OPS/CEPIS/PUB/02.76
Original: español

Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua

Manual de capacitación para operadores

Adaptación y actualización del manual *Operaçao e manutençao de E. T. A. (vols. 1 y 2)*, elaborado por la Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluiçao das Águas (CETESB). São Paulo, Secretaria dos Serviços e Obras Públicas,1973.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
División de Salud y Ambiente
Organización Panamericana de la Salud
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Lima, 2002

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/CEPIS, se reserva todos los derechos. El contenido de este documento puede ser reseñado, reproducido o traducido en todo o en parte, sin autorización previa, a condición de que se especifique la fuente y de que no se use para fines comerciales.

El CEPIS es una agencia especializada de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS).

Los Pinos 259, Lima, Perú.
Casilla de correo 4337, Lima 100, Perú.
Teléfono: (511)437 1077
Fax: (511)437 8289
e-mail: cepis@cepis.ops-oms.org
Internet: http://www.cepis.ops-oms.org

Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

ÍNDICE

Pág.

Capítulo 1: Matemáticas 1
1. Conjuntos 3
    1.1 Subconjuntos 6
    1.2 Intersección de conjuntos 7
    1.3 Reunión de conjuntos 8
    1.4 Diferencia de conjuntos 9
2. Conjunto de los números naturales (N*) 12
    2.1 Números primos 13
    2.2 Reconocimiento de los números primos 13
    2.3 Descomposición de un número en factores primos 15
    2.4 Máximo común divisor (MCD) 17
    2.5 Cálculo del MCD de varios números 18
    2.6 Máximo común divisor de más de dos números 19
    2.7 Números primos entre sí 20
    2.8 Mínimo común múltiplo (MCM) 21
    2.9 Cálculo del MCM de varios números 22
3. Conjunto de los números racionales 26
    3.1 Números fraccionarios 26
    3.2 Noción de fracción 26
    3.3 Cómo leer una fracción 28
    3.4 Fracciones propias, impropias y aparentes 30
    3.5 Casos particulares de fracciones 31
    3.6 Propiedades de las fracciones 32

3.7 Conjunto de los números racionales absolutos 42
4. Operaciones fundamentales con fracciones 45
4.1 Adición de fraciones 45
4.2 Sustracción de fracciones 48
4.3 Multiplicación de fracciones 49
4.4 División de fracciones 50
4.5 Fracción de fracción 51
5. Fracciones y números decimales 54
5.1 Fracciones decimales 54
5.2 Cómo leer un número decimal 54
5.3 Transformación de fracciones decimales a números decimales 55
5.4 Transformación de números decimales en fracciones decimales 56
5.5 Propiedades de los números decimales 57
5.6 Conversión de fracciones ordinarias a números decimales 59
5.7 Condiciones para que una fracción se convierta en decimal exacto o no 61
5.8 Fracciones generatrices de las décimas periódicas 63
6. Conjunto de los números racionales relativos *(Q)* 64
6.1 Números racionales negativos 66
6.2 Números relativos simétricos u opuestos 70
6.3 Valor absoluto de un número relativo 70
6.4 Operaciones con números relativos 71
6.5 Eliminación de paréntesis precedidos por signos (+) o (–) 72
7. Operación de potenciación 76
7.1 Propiedades de las potencias que poseen una misma base 78
8. La extracción de raíces como operación inversa a la potenciación 83
8.1 Los cuadrados perfectos 85
8.2 Técnica de cálculo de la raíz cuadrada de los números absolutos 85
8.3 Límite de la diferencia de una raíz cuadrada. Cómo comprobar la raíz cuadrada 89
8.4 Raíces cuadradas de las fracciones ordinarias y de los números decimales 90
9. Sistema métrico decimal 94
9.1 Unidades de longitud 94
9.2 Unidades de área 98
9.3 Unidades de volumen y de capacidad 103
10. Razones 107
10.1 Propiedad fundamental de las razones 108
11. Proporciones 109
11.1 Propiedad fundamental de las proporciones 110
11.2 Propiedades generales de las proporciones 111
11.3 Sucesiones de números proporcionales 112
11.4 Dimensiones proporcionales 114
11.5 Regla de tres simple 114
11.6 Regla de tres compuesta 116
11.7 Porcentaje 120
12. Nociones de logaritmo 124
12.1 Propiedades de los logaritmos 127
12.2 Cologaritmo de un número 128

Capítulo 2: Nociones de Química 131
1. Concepto 133
2. Clasificación 133
3. Concepto y clasificación de la materia 134
3.1 Materia 134
3.2 Sustancia 134
3.3 Muestra 135
3.4 Soluciones 135
4. Símbolos, nombres y números atómicos de los elementos químicos (sustancias simples) 135
4.1 Símbolo 136
5. Nociones sobre el átomo 136
5.1 Núcleo 137

5.2 Nube atómica 137
6. Número atómico y número de masa 138
6.1 Masa atómica 140
6.2 Átomo gramo 140
7. Clasificación de los elementos 140
7.1 Molécula 141
8. Sustancias simples o especies químicas simples 141
9. Sustancias compuestas 143
9.1 Covalencia 145
9.2 Electrovalencia 147
9.3 Valencia dativa 148
10. Peso molecular 149
11. Molécula gramo o mol 150
12. Iones-cationes y aniones 152
13. Valencia 153
13.1 Algunos cationes principales 153
13.2 Algunos aniones principales 154
14. Escritura y nomenclatura de los compuestos iónicos 155
14.1 Escritura 155
14.2 Nomenclatura 156
15. La molécula del agua 157
16. Disociación iónica 160
17. Ácidos 161
18. Bases o hidróxidos 162
19. Sales 162
20. Óxidos 163
20.1 Peróxidos 164
20.2 Polióxidos 164
21. Reacciones químicas 164
21.1 De análisis o descomposición 164
21.2 Síntesis 165
21.3 Sustitución simple 166
21.4 Sustitución doble 166
21.5 Reacción reversible 166
21.6 Óxido-reducción 167

22. Ecuación química 168
23. Tipos clásicos de ecuaciones químicas 168
24. Agua de cristalización 169
25. Soluciones 170
25.1 Componentes de una solución 170
25.2 Características de una solución 170
25.3 Clasificación de las soluciones 171
26. Medición de las soluciones 172
26.1 Porcentaje en peso 172
26.2 Porcentaje en volumen (composición centesimal de una solución) 173
26.3 Concentración de gramos por litro (Cg/L) 175
26.4 Molaridad 176
26.5 Normalidad 177
26.6 Equivalente gramo 178
26.7 Factor de corrección 183
27. Disolucion con o sin reacción 184
28. Suspensión 184
28.1 Concentradas 185
28.2 Ultramicroscópicas 185
29. Solución coloidal 186
29.1 Tipos de coloides 187
29.2 Tipos de soluciones coloidales 188
30. Propiedades del estado coloidal 189
30.1 Difusión 189
30.2 Efecto de Tyndall 189
30.3 Movimiento browniano 190
30.4 Propiedades eléctricas 190
31. Precipitación de los coloides. Coagulación 190
32. Teoría de la coagulación e importancia del pH óptimo de floculación 191
33. pH. Potencial de hidrógeno. Introducción 193
33.1 Equilibrio iónico 194
33.2 Producto iónico del agua 196
33.3 Acidez y basicidad de las soluciones 197

34. Determinación del pH (concentración de los iones de H^+ en iones gramo/L) 201
34.1 Método colorimétrico 201

Capítulo 3: Problemática del agua 211
1. Generalidades 213
1.1 Ciclo hidrológico 213
1.2 Clasificación de las aguas naturales según el ciclo hidrológico 215
1.3 Importancia del agua 216
2. Calidad del agua 217
2.1 Influencia del ciclo hidrológico en la calidad del agua 217
2.2 Impurezas 219
2.3 Características del agua 221
2.4 Niveles de potabilidad 221
2.5 Contaminación 222
2.6 Consecuencias de la contaminación 223
2.7 ¿Cómo se debe combatir la contaminación? 224
2.8 Necesidad de tratamiento de los desagües para preservar los cursos de agua 225
2.9 Nomenclatura 226
3. El agua y las enfermedades 227
3.1 Enfermedades causadas por agentes biológicos 228
3.2 Enfermedades causadas por la existencia de ciertas sustancias en concentraciones inadecuadas 229
4. Usos del agua, consumo del agua, cantidad de agua necesaria . 230
4.1 Usos del agua 230
4.2 Consumo de agua 230
4.3 Cantidad de agua necesaria 231
5. Importancia del abastecimiento del agua 233
5.1 Aspecto sanitario 233
5.2 Aspecto económico 234
6. Abastecimiento de agua en el medio rural 234
6.1 Cisternas, manantiales, pozos superficiales y otras soluciones 234

6.2 Localización de los pozos 238
6.3 Principales causas de contaminación de los pozos superficiales excavados 239
6.4 Protección sanitaria de los pozos superficiales excavados 240
6.5 Desinfección de pozos y fuentes 241
7. Abastecimiento de agua en el medio urbano 245
7.1 Elección de una fuente de abastecimiento de agua 246
7.2 Elementos que constituyen un sistema de abastecimiento urbano de agua 247
7.3 El reservorio de almacenamiento 248
7.4 Captación 254
7.5 Conducción de las aguas 256
7.6 Bombeo 257
7.7 Tratamiento 257
7.8 Restricción de la distribución 259
7.9 Distribución 263
7.10 Materiales empleados en los conductos de agua del sistema de abastecimiento público 264
7.11 Sistema de distribución de agua 265
7.12 Servicios de suministro al consumidor 266

Capítulo 4: Física 267
1. Fuerza 269
1.1 ¿Qué significa fuerza? 269
1.2 ¿Cuáles son las unidades de fuerza? 269
1.3 Unidad absoluta de fuerza 270
2. Presión en los líquidos 271
2.1 ¿Qué significa presión? 271
2.2 Unidades de presión 273
2.3 Presión del agua 274
2.4 Presión en unidades métricas 275
3. Densidad y peso específico 276
3.1 Cómo medir la densidad 277
3.2 Presión en un líquido 279

4. Empuje 281
4.1 ¿Qué quiere decir *empuje*? 281
4.2 ¿Es posible determinar la densidad utilizando la ley de Arquímedes? 281
5. Ley de Stevin 283
6. Principio de Pascal 285
7. Líquidos no mezclables en equilibrio 286
8. Experiencia de Torricelli (medición de la presión) 287
9. Trabajo 289
10. Energía: definición 292
10.1 Formas de energía 293
10.2 Energía potencial 293
10.3 Energía cinética 294
10.4 Principio de conservación de la energía 296
11. Potencia 299
12. Solución a los problemas 300

Capítulo 5: Hidrometría 303
1. Definición 305
2. Concepto de caudal 305
2.1 Fórmula del caudal 307
3. Generalidades 308
3.1 Cómo hallar S (levantamiento de la sección normal de la corriente de agua) y *v* (la velocidad del líquido) 309
3.2 Cálculo de la velocidad 311
3.3 Cálculo del caudal *(Q)* 312
3.4 Uso del molinete 312
3.5 Uso de vertederos para medir el caudal *(Q)* 313
3.6 Otros métodos 317
4. Determinación del caudal de los pozos 318
5. Determinación del caudal en tuberías 319
5.1 El tubo Pitot 319
5.2 Tubo Venturi 319
5.3 El uso del orificio para medir el caudal 320
6. Determinación del caudal en las plantas de tratamiento de agua 321
6.1 Caudal de la(s) bomba(s) 321
6.2 Medición directa 321
6.3 Canaleta Parshall 322
7. Consumo de agua. Necesidades del servicio medido. Hidrómetros. Generalidades 326
7.1 Los hidrómetros de volumen 327
7.2 Los hidrómetros de velocidad 327

Capítulo 6: Aspectos biológicos de la calidad del agua 329
1. Introducción 331
2. Organismos propios de las aguas superficiales 333
3. Bacterias patógenas 338
4. Virus entéricos 342
5. Enteroparásitos 345
6. Protozoarios patógenos 347
7. Helmintos enteropatógenos 358
8. Cyanobacterias 364
9. Organismos cuya presencia en el agua tratada origina reclamos de los usuarios 365
10. Indicadores microbiológicos de la calidad del agua 367
11. Criterios microbiológicos de los valores guía de la Organización Mundial de la Salud 369

Capítulo 7: Fundamentos para la caracterización de las aguas 371
1. Generalidades 373
2. Análisis físicos 373
2.1 pH 374
2.2 Turbidez 374
2.3 Color 374
2.4 Olor y sabor 374
3. Análisis químicos 375
4. Exámenes bacteriológicos 379
4.1 Nociones sobre bacteriología 379
4.2 Origen de las bacterias existentes en las aguas 379
4.3 Factores que afectan el número de bacterias 380

4.4 Clasificación de las bacterias 380
4.5 La observación en el microscopio y la coloración de Gram 383
4.6 Resistencia de las bacterias a la destrucción 385
4.7 Nociones sobre esterilización, desinfección, antisepsia, asepsia 385
5. Examen bacteriológico del agua 386
5.1 Necesidad del examen bacteriológico del agua 386
5.2 Toma de muestras para el examen bacteriológico 387
5.3 Envío de la muestra al laboratorio 388
5.4 Indicadores de contaminación 388
5.5 Características de los coliformes 389
5.6 Investigación de coliformes en el agua 390
5.7 Investigación de bacterias aerobias, en un medio de agar patrón u otro similar (en el agua) 391
5.8 Estimación del Número Más Probable de coliformes (NMP) 391
6. Normas de calidad del agua para el consumo desde el punto de vista bacteriológico 392
6.1 Tablas sobre el Número Más Probable de coliformes/100 mL 396
7. Tipos de exámenes bacteriológicos que podrían realizarse en el laboratorio de una planta de tratamiento de agua 399
7.1 Colimetría (pruebas presuntiva y confirmativa) 399
7.2 Conteo de colonias en placas (agar patrón) 399
7.3 Otras técnicas bacteriológicas para el examen del agua 399
8. Otros indicadores de contaminación 400
8.1 Estreptococos fecales 400
9. Apéndice 400
9.1 Ficha para la toma de muestras de agua para el análisis bacteriológico 400
10. Fórmulas de medios de cultivo y de colorantes 401
11. Cuidado del material 404

Capítulo 8: Tratamiento de agua 405
1. Normas de agua potable 407
1.1 *Guías para la calidad del agua potable.* Organización Mundial de la Salud, 1998 407
2. Métodos generales de tratamiento 416
2.1 Objetivos del tratamiento 416
2.2 Procesos de tratamiento 417
3. Aeración del agua 417
3.1 Introducción 417
3.2 Principales tipos de aeradores 419
3.3 Control del proceso de aeración 420
3.4 Limitaciones 420
4. Coagulación 421
4.1 Generalidades 421
4.2 Sustancias químicas utilizadas 421
4.3 Propiedades de los coagulantes 422
4.4 Factores que influyen en la coagulación 422
4.5 Coagulantes de aluminio 425
4.6 Coagulantes del hierro 426
4.7 Alcalinizantes 427
5. Dosificadores 428
5.1 Dosificadores por vía húmeda 428
5.2 Dosificadores por vía seca 429
6. Cámaras de mezcla 433
6.1 Introducción 433
6.2 Cámaras de mezcla rápida 434
6.3 Cámaras de mezcla lenta. Floculadores 435
6.4 Observaciones 436
7. Decantación 438
7.1 Introducción 438
7.2 Mecanismos de la decantación 439
7.3 Zonas del decantador 440
7.4 Lavado del decantador 443
7.5 Sistemas de remoción de lodo 445
7.6 Observaciones 445

7.7 Control del proceso de decantación 446
8. Filtración 448
8.1 Clasificación de los filtros 449
8.2 Filtros lentos 449
8.3 Filtros rápidos de gravedad 452
8.4 Lavado de los filtros 457
8.5 Determinación de la expansión de la arena 461
8.6 Determinación de la velocidad de lavado 465
8.7 Determinación experimental de la velocidad de filtración (tasa de filtración) 467
8.8 Determinación de la pérdida de carga 470
8.9 Estado de un filtro 470
8.10 Método de Baylis para clasificar el lecho filtrante mediante el volumen de bolas de lodo 476
8.11 Fijación racional del tiempo del lavado 482
8.12 Determinación de la pérdida de carga cuando el nivel de agua en los filtros se mantiene constante 483
9. Desinfección del agua (cloración) 485
9.1 Introducción 485
9.2 Cloro líquido 486
9.3 Precauciones sobre el uso del cloro líquido 487
9.4 Dosificadores para el cloro líquido 489
9.5 Compuestos de cloro más utilizados 490
9.6 Dosificadores 490
9.7 Demanda de cloro 491
9.8 Práctica de la cloración 492
10. Control del sabor y del olor 494
10.1 Introducción 494
10.2 Causas del sabor y del olor 494
10.3 Tratamiento 494
11. Corrección del pH 495
11.1 Introducción 495
11.2 Control de la dosificación de cal para evitar la corrosión o la incrustación excesiva 496
11.3 Control en la red 497

12. Fluoración 497
12.1 Compuestos de flúor utilizados en la fluoración del agua 499
12.2 Métodos de aplicación y uso 500
12.3 Dosis requeridas de compuestos de flúor 502
12.4 Toxicidad del flúor 504
12.5 Conclusión 505
13. Dureza 506
13.1 Introducción 506
13.2 Ablandamiento 507
13.3 Métodos para expresar la dureza 508
13.4 Clasificación de la dureza de las aguas 508
13.5 Procesos de ablandamiento 508
14. Remoción de fierro y manganeso 511
15. Más sobre la cloración 512
15.1 Demanda de cloro 514
15.2 Cloración al punto de quiebre 518
15.3 Limpieza y desinfección de la red y reservorios de distribución 521

Capítulo 9: Equipos 531
1. Introducción 533
2. Captación y conducción del agua 533
2.1 Compuertas 534
2.2 Rejillas 535
2.3 Válvulas 535
2.4 Bomba 540
2.5 Motores 541
3. Tratamiento 543
3.1 Aeración 543
3.2 Medidores 546
3.3 Dosificadores 550
3.4 Coagulación 556
3.5 Decantación 561
3.6 Filtración 563

4. Equipo de laboratorio 567
4.1 Aparatos 567

Capítulo 10: Mantenimiento. Implementación del mantenimiento preventivo en los sistemas de abastecimiento de agua 571
1. Introducción 573
1.1 ¿Qué es el mantenimiento? 573
1.2 ¿Por qué se debe realizar el mantenimiento? 574
1.3 ¿Qué ventajas tiene el mantenimiento? 574
2. Definiciones 574
3. Organización del mantenimiento preventivo 575
4. Elaboración del mantenimiento preventivo 578

Anexo 1: Registro del equipo 587
Anexo 2: Descripción de las actividades para el mantenimiento 588
Anexo 3: Plan estratégico 589
Anexo 4: Orden de trabajo 590
Anexo 5: Solicitud de repuestos y materiales 591
Anexo 6: Reporte semanal de mantenimiento 592
Anexo 7: Historial del equipo 593
Anexo 8: Manual de mantenimiento del equipo 594
Anexo 9: Manual para eliminar averías del equipo 595
Anexo 10: Almacén 604

Capítulo 11: Seguridad 605
1. Introducción 607
2. Organización de un sistema de seguridad 609
2.1 Plan operativo de seguridad 609
3. Instrucciones sobre seguridad 612
4. Primeros auxilios 626
4.1 Fracturas de la columna vertebral 631
4.2 Respiración artificial 632
4.3 Masaje cardiaco externo 636
4.4 Hemorragias 638
4.5 Pérdida del conocimiento 642
4.6 Atragantamiento 643
4.7 *Shock* (conmoción) 645
4.8 Reanimación cardiorrespiratoria 648
4.9 Descarga eléctrica 649
4.10 Hemorragia nasal 650
4.11 Quemaduras 650
4.12 Envenenamiento 652

Capítulo 12: Recolección de muestras 657
1. Introducción 659
2. Importancia de la recolección de muestras 660
3. Mecanismo de análisis 660
4. Mecanismo de la recolección 661
5. El recolector de muestras 662
6. Técnica de recolección 663
6.1 Para análisis fisicoquímicos del agua 663
6.2 Para análisis bacteriológicos e hidrobiológicos 667

Capítulo 13: Análisis de laboratorio 671
1. Orientación del trabajo en el laboratorio 673
2. Conceptos básicos 677
2.1 Temperatura del aire 677
2.2 Temperatura del agua 677
2.3 Color 678
2.4 Turbidez 679
2.5 pH 679
2.6 Alcalinidad 680
2.7 Gas carbónico libre 681
2.8 Cloro residual 681
2.9 Consumo de oxígeno 683
2.10 Hierro total 684
2.11 Alúmina residual 685
2.12 pHs-pH de saturación (ensayo de mármol) 686
2.13 Flúor 687

2.14 Oxígeno disuelto 688
2.15 Dureza 689
2.16 Ensayo de coagulación (determinación de la dosis mínima y del pH óptimo) 690
2.17 Cloración al punto de quiebre 694
2.18 Análisis de cal 696
2.19 Gas sulfhídrico (H_2S) 697
3. Determinaciones 697
3.1 Temperatura del aire 699
3.2 Temperatura del agua 700
3.3 Color 700
3.4 Turbidez 702
3.5 pH 704
3.6 Alcalinidad 706
3.7 Gas carbónico CO_2 libre 709
3.8 Cloro residual. Métodos OT y OTA 711
3.9 Oxígeno consumido 718
3.10 Hierro total 719
3.11 Alúmina residual 723
3.12 pHs (ensayo de mármol) 725
3.13 Flúor 729
3.14 Oxígeno disuelto (método de Winkler) 730
3.15 Dureza 732
3.16 Ensayo de coagulación 742
3.17 Cloración al punto de quiebre 749
3.18 Determinación del CaO de una muestra de cal 753
3.19 Gas sulfhídrico 755
4. Preparación de soluciones 756
4.1 Carbonato de sodio (Na_2CO_3) N / 10 (0,1 N) 756
4.2 Ácido sulfúrico (H_2SO_4) N / 10 (0,1 N) 757
4.3 Solución de hidróxido de sodio NaOH N / 10 (0,1 N) . 761
4.4 Oxalato de amonio. Solución madre N / 5 (0,2 N) 765
4.5 Permanganato de potasio. Solución madre N / 5 766
4.6 Solución de bicromato de potasio 771
4.7 Solución de tiosulfato de sodio N / 10 ($Na_2S_2O_3$) 771

4.8 Solución agua-alcohol al 80% 774
4.9 Solución de jabón (para la dureza) 774
4.10 Solución de sulfato de fierro II amoniacal 775
4.11 Solución madre de flúor 777
5. Soluciones, reactivos e indicadores 778
5.1 Anaranjado de metilo 778
5.2 Solución de H_2SO_4 N / 50 (a partir de la solución madre H_2SO_4 N / 10) 778
5.3 Solución de NaOH N / 44 (0,02273) (a partir de la solución madre de NaOH N / 10 de la subsección 4.3) .. 780
5.4 Solución de NaOH N / 20 (0,05 N) (a partir de la solución madre de NaOH N / 10) 783
5.5 Indicador rojo de metilo (use 0,2 mililitros para 10 mililitros de la muestra) (para pH de 4,4 a 6,0) 783
5.6 Indicador azul de bromotimol (use 0,5 mililitros para 10 mililitros de la muestra) (para pH de 6,0 a 7,6) 784
5.7 Indicador rojo de fenol (use 0,25 mililitros para cada 10 mililitros de la muestra) (para pH de 6,8 a 8,4) 786
5.8 Indicador fenolftaleína para alcalinidad 786
5.9 Reactivo ortolidina (use 0,5 mililitros para cada 10 mililitros de la muestra) 787
5.10 Reactivo ortolidina de baja acidez (use un mililitro para cada 100 mililitros de la muestra) 788
5.11 Solución de arsenito (cuidado: veneno) 789
5.12 Oxalato de amonio $(NH_4)_2C_2O_4$ 790
5.13 Permanganato de potasio $KMnO_4$ 791
5.14 Preparación de la solución de H_2SO_4 1:3 792
5.15 Tiosulfato de sodio $Na_2S_2O_3$ 793
5.16 Sulfato de fierro II amoniacal $FeSO_4.(NH_4)_2\ SO_4.6H_2O$ 794
5.17 Ácido nítrico 6 N 795
5.18 Solución de tiocianato de potasio: KCNS (cuidado: veneno) 796
5.19 Solución de sulfato de aluminio al 1% 796
5.20 Solución saturada de $Ca(OH)_2$ (hidróxido de calcio) ... 798
5.21 Alúmina. Solución madre 800

5.22 Hematoxilina. Solución 801
5.23 Ácido acético al 30% 801
5.24 Carbonato de amonio. Solución saturada 802
5.25 Flúor. Solución de uso 802
5.26 Circonil. Solución 803
5.27 Rojo de alizarina. Solución 804
5.28 Tiosulfato de sodio. Solución de uso N / 40 (0,025 N) . 805
5.29 Sulfato de manganeso. Solución 806
5.30 Yoduro de potasio alcalino. Solución. KI 806
5.31 Almidón. Solución 807
5.32 Jabón. Solución para uso 808
5.33 $CaCO_3$. Solución madre 810
5.34 Solución de soda reactiva 812
5.35 Cristales de NaCN (cianuro de sodio) 812
5.36 Solución amortiguadora 813
5.37 Mezcla indicadora sólida: negro de eriocromo 814
5.38 Titulador EDTA 815
5.39 Solución de cloro (agua de cloro) 815
5.40 Acetato de plomo. Solución al 1% 817
6. Balanzas 824
6.1 Balanza común 825
6.2 Métodos de pesaje 830
6.3 Cajas de pesas 836
6.4 Balanzas de precisión 837
6.5 Calibración de pipetas volumétricas 851

Capítulo 14: Sugerencias para informes diarios de registro sobre la operación de la planta 855

CAPÍTULO I

MATEMÁTICAS

1. CONJUNTOS

En el lenguaje común, *conjunto* es, hasta cierto punto, sinónimo de *colección, clase* o *grupo*.

Sin embargo, en el desarrollo de este estudio, veremos que la noción matemática de conjunto es más amplia. Se puede hablar, en matemáticas, de *conjunto unitario, conjunto vacío, conjunto finito*.

Consideramos que el concepto de conjunto es primitivo; por eso, lo aceptamos sin definirlo. Pero vamos a ilustrar la idea con algunos ejemplos.

Designaremos a los conjuntos con letras mayúsculas *(A, B, C,* etcétera) y el conjunto vacío con la letra escandinava *Ø*.

Los objetos que pertenecen al conjunto se denominan *elementos del conjunto*. Los elementos se indican con nombres, figuras o símbolos (en este caso, es preferible usar letras latinas minúsculas: *a, b, c,* etcétera).

En los conjuntos numéricos, los números bien determinados se indican con numerales (la representación usual en la aritmética) y los genéricos con letras minúsculas.

Solo nos interesan los conjuntos bien determinados; es decir, aquellos para los cuales podemos decidir si un objeto dado pertenece o no al conjunto.

Cuando dos conjuntos A y B poseen exactamente los mismos elementos, decimos que A es igual a B, o que son lo mismo. Representamos esa identidad del siguiente modo:

$$A = B$$

Ejemplo:

Los conjuntos $\{a, b, c\}$ y $\{c, a, b\}$ son iguales; es decir, uno es el otro.

Para determinar un conjunto, generalmente usamos uno de los dos procesos siguientes:

1) Representamos los elementos uno después de otro, entre llaves. Decimos entonces que hemos realizado la enumeración, diferenciación o lista de los elementos.

Ejemplo:

$A = \{a, b, c, d\}$

$B = \{lápiz, cuaderno, lapicero\}$

$C = \{2, 4, 6, 8.....\}$

Nota: este proceso se usa principalmente con los conjuntos finitos (aquellos que tienen un número determinado de elementos); pero cuando el conjunto es infinito, por lo general se escriben los primeros números del conjunto para que quede clara la ley que determina a los demás, como en el ejemplo C. Los puntos suspensivos (…) deben leerse *así sucesivamente*.

2) Cuando todos los elementos del conjunto y solamente esos elementos cumplen un criterio de pertenencia, ese criterio se denomina *propiedad característica del conjunto*. Por ejemplo, si se denomina x al elemento genérico del conjunto A, y p a la propiedad característica del conjunto, escribimos lo siguiente:

$$A = \{x \,/\, p(x) \text{ es conforme}\}$$

o simplemente

$$A = \{x \,/\, p(x)\}$$

Esto se lee así: "A es el conjunto de los elementos x tal que para cada x se cumple la propiedad $p(x)$".

Ejemplo:

$$A = \{x \,/\, x \text{ es vocal del alfabeto castellano}\} = \{a, e, i, o, u\}$$

donde x es el elemento genérico de A o la variable del conjunto A y la propiedad característica es p; es decir, "cada elemento es vocal del alfabeto latino".

$$B = \{x \,/\, x \in N^* \text{ y } x \leq 10\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$$

Nota: N* es el conjunto de los números naturales $\{1, 2, 3\ldots\}$
El signo $\leq$ se lee "menor o igual".

Escribimos $a \in A$ para indicar que el elemento a pertenece al conjunto A; y $a \notin A$ cuando a no pertenece al conjunto A; en caso contrario, usaremos las expresiones "A posee a a" y "A no posee a a".

En general, se puede escribir el mismo conjunto de las dos formas o se puede pasar de una forma a la otra.

Ejemplo:

$$A = \{x \,/\, x \in N^* \text{ y } x < 4\} = \{1, 2, 3\}$$

Asimismo, un conjunto puede ser considerado elemento de otro conjunto.

Ejemplo:

$$A = \{\{1, 2\}, \{3, 4\}, \{5\}\}$$

Los elementos de A son los conjuntos $\{1, 2\}$, $\{3, 4\}$ y $\{5\}$.

Nota: los siguientes ejemplos ilustran los conceptos de conjunto vacío y conjunto unitario:

$$A = \{x \,/\, x \in N^* \text{ y } 2 < x < 3\} = \varnothing$$
$$B = \{x \,/\, x \in N^* \text{ y } 2 < x \leq 3\} = \{3\}$$

Por consiguiente, un conjunto es vacío cuando la propiedad característica p no es verdadera para ningún valor de la variable x, y es unitario cuando p es verdadera para uno y solo un valor de x.

1.1 Subconjuntos

Dados dos conjuntos A y B, si cada elemento del conjunto A es elemento del conjunto B, decimos que A es un subconjunto de B. Representamos esta relación de la siguiente manera:

$$A \subset B$$
o
$$B \supset A$$

que se lee *"A es subconjunto de B"*, *"A está incluido (o contenido) en B"* o *"B incluye (o contiene a) A"*.

Decimos también que un conjunto es subconjunto de sí mismo; o sea

$$A \subset A$$
o
$$A \supset A$$

El conjunto vacío también se considera subconjunto de cualquier conjunto.

1.2 Intersección de conjuntos

Dados dos conjuntos A y B, se llama *intersección de A* y B al conjunto C, constituido por todos los elementos que pertenecen al conjunto A y al conjunto B; es decir, los que son comunes a ambos.

La intersección se escribe del siguiente modo:

$$C = A \cap B$$

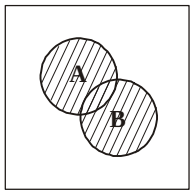
que se lee *"C es A intersectado con B"* o *"C es la intersección de A y B"*.

Por ejemplo:

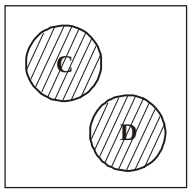
1) $\left.\begin{array}{l} A = \{1, 3, 4, 6\} \\ B = \{1, 2, 3, 5\} \end{array}\right\} \longrightarrow A \cap B = \{1, 3\}$

2) $\left.\begin{array}{l} C = \{1, 3, 5, 7\ldots\} \\ D = \{2, 4, 6\ldots\} \end{array}\right\} \longrightarrow C \cap D = \varnothing$

Podemos representar los conjuntos con figuras que reciben el nombre de *diagramas de Venn*. Cuando en un estudio aparece un conjunto U que contiene a todos los demás, entonces lo llamamos *conjunto universo* o *soporte*, y lo representamos en el diagrama con un rectángulo. Los siguientes diagramas corresponden a los ejemplos 1 y 2.



$A \cap B = \{1, 3\}$



$C \cap D = \varnothing$

1.3 Reunión de conjuntos

Se llama *reunión* o *unión* de dos conjuntos A y B al conjunto C, formado por todos los elementos que pertenecen al conjunto A o al conjunto B.

Esto se escribe así:

$$C = A \ U \ B$$

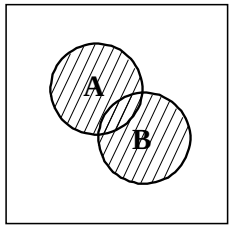
Esto se lee *"C* es *A unión (o reunión) B"* o *"C* es *A unido con B"* o *"C* es igual a *A unión B"*.

Ejemplo:

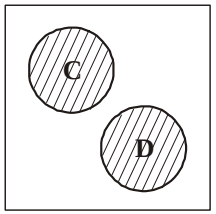
1) $\left.\begin{array}{l} A = \{1, 3, 7, 8\} \\ B = \{1, 2, 7\} \end{array}\right\} \longrightarrow A \cup B = \{1, 2, 3, 7, 8\}$

2) $\left.\begin{array}{l} C = \{1, 3, 5, 7\ldots\} \\ D = \{2, 4, 6, 8\ldots\} \end{array}\right\} \longrightarrow C \cup D = \{1, 2, 3, 4, 5\ldots\}$

En los diagramas de Venn, el conjunto *reunión* está formado por la parte **sombreada.**



$A \cup B = \{1, 2, 3, 7, 8\}$



$C \cup D = \{1, 2, 3, 4, 5\ldots\}$

1.4 Diferencia de conjuntos

Se llama *diferencia* entre dos conjuntos A y B, en ese orden, al conjunto D, formado por elementos de A que no pertenecen al conjunto B.

Esto se escribe así:

$$D = A - B$$

Ejemplo:

$$\left.\begin{array}{l} A = \{1,\ 2,\ 5,\ 7,\ 8\} \\ B = \{1,\ 5,\ 6,\ 9\} \end{array}\right\} \quad A - B = \{2,\ 7\ \ 8\}$$

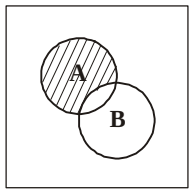
Principalmente cuando B es subconjunto de A, la diferencia $A - B$ se llama *conjunto complementario* de B en relación con A, y esto se escribe así:

$$D = A - B = C_A^B$$

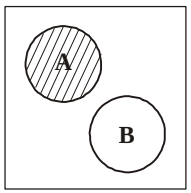
y se lee "complemento de B en relación con A".
Ejemplo:

$$\left.\begin{array}{l} A = \{2,\ 3,\ 4,\ 6,\ 8\} \\ B = \{3,\ 4,\ 8\} \end{array}\right\} \longrightarrow C_A^B = \{2,\ 6\}$$

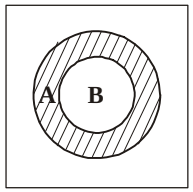
En los diagramas de Venn, las siguientes diferencias se representan mediante las partes sombreadas.



$A - B \subset A$



$A - B = A$



$C_A^B = A - B \subset A$

Ejercicios:

1) Forme todos los subconjuntos de los conjuntos dados:

a) $\{a,\ b\}$ b) $\varnothing$ c) $\{1,\ 2,\ 3\}$

2) Dados los siguientes conjuntos, efectúe las operaciones que se le indican:

$A = \{a,\ b,\ c\}$; $B = \{c,\ e,\ f,\ g\}$; $C = \{c,\ f\}$;
$D = \{m,\ n\}$

a) $A \cup B$	b) $A \cup D$	c) $A \cup \varnothing$
d) $D \cup D$	e) $A \cap B$	f) $A \cap D$
g) $D \cap D$	h) $C \cap C$	i) $A - B$
j) C_B^C	k) $C_B^{\varnothing}$	l) C_D^D

3) Escriba los siguientes conjuntos en forma de lista:

a) $\{x\ /\ x \in N$ y $(2 < x < 8)\}$

b) $\{z\ /\ z \in N$ y $(3 < z < 10)$ y $(6 < z < 13)\}$

Siendo que $N = \{0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4\ \ldots\ldots\ldots\}$

4) Escriba V si es verdadero y F si es falso.

a) $2 \in \{1,\ 2,\ 3\}$ ( )

b) $12 \in \{1,\ 2,\ 3\}$ ( )

c) $\varnothing = \{0\}$ ( )

d) $\{a\} \subset \{a,\ b,\ c\}$ ( )

e) $\{a,\ b\} \subset \{a,\ c\}$ ( )

f) $\{a,\ b,\ c\} \supset \{b,\ c,\ a\}$ ( )

g) $\varnothing \subset \{a, b, c\}$ ( )

h) $b \subset \{b, c\}$ ( )

i) $\{i, j\} \in \{g, h, i, j\}$ ( )

2. CONJUNTO DE LOS NÚMEROS NATURALES (N*)

Los números naturales se utilizan para responder a la pregunta "¿Cuántos?" Los hombres primitivos desarrollaron el concepto de número gracias a la práctica de asociar los objetos o elementos de un conjunto con los elementos de otro. Por ejemplo, cuando por la mañana las ovejas salían del establo, ellos ponían una piedra en una pila por cada cabeza de ganado. Por la tarde, cuando las ovejas regresaban, sacaban una piedra de la pila por cada oveja que entraba en el redil. Si no sobraba ninguna piedra en la pila cuando la última oveja había entrado en el establo, ellos sabían que el ganado estaba completo. Ellos estaban tratando de resolver la pregunta "¿Cuántos?" haciendo una correspondencia biunívoca entre las piedras de la pila y las ovejas del rebaño. Por *correspondencia biunívoca* entendemos que cada piedra corresponde exactamente a una oveja y que cada oveja corresponde exactamente a una piedra, lo cual significa que el número de ovejas es el mismo que el de piedras.

Afortunadamente, contamos con un conjunto modelo que nos puede ayudar a saber "cuántos" existen en cada conjunto. Este conjunto puede usarse también para confirmar que existe "exactamente tantos" en un conjunto en relación con otro.

Este conjunto modelo es el conjunto de los números naturales, representado por los numerales *1, 2, 3, 4, 5*… Simbolizamos este conjunto con la letra mayúscula ene con asterisco (N*).

Estos números se utilizan para contar objetos de una colección y por eso también se llaman *números de conteo*. Vamos a suponer que nuestro primer número natural sea *1*. Si queremos hablar sobre todos los números naturales incluyendo al cero, llamaremos al conjunto *conjunto de números enteros,* y lo representaremos mediante la letra *N*.

2.1 Números primos

Número primo es aquel que solo es divisible por sí mismo y por la unidad. Así, son primos los números del conjunto *P,* o sea

$$P = \{1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19\ldots\}$$

que forman una sucesión infinita de números.

Observe que *2* es el único número par que es primo. Cualquier otro número par sería divisible por lo menos por *2*.

Los números que no son primos se llaman *números múltiplos* o *compuestos*.

Se debe prestar atención en distinguir cuándo un número es primo y cuándo múltiplo. A continuación veremos cómo se reconocen los números primos.

2.2 Reconocimiento de los números primos

Los números primos pueden ser reconocidos mediante un proceso práctico que se basa en el hecho de que

Todo número múltiplo tiene por lo menos un divisor primo.

Por ejemplo:

20 es múltiplo y es divisible por *2* y *5*.
30 es múltiplo y es divisible por *2*, *3* y *5*.

El reconocimiento se basa en la siguiente regla práctica:

Se divide el número dado por los números de la sucesión de los números primos 2, 3, 5, 7, 11, 13… y se obtiene un cociente y una diferencia. Si la diferencia es distinta de cero, se prueba otra división hasta que el cociente sea menor o igual al divisor, y entonces podemos afirmar que el número es primo.

Ejemplos:

1) Verificar, mediante la regla, si el número *47* es primo o múltiplo.

$$\begin{array}{r|l} 47 & 3 \\ \hline 17 & 15 \\ 2 & \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 47 & 5 \\ \hline 2 & 9 \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 47 & 7 \\ \hline 5 & 6 \end{array}$$

Obtenemos inmediatamente el cociente *6* y el divisor *7*; es decir, el cociente es menor que el divisor.

Afirmamos, entonces, que el número *47* es primo.

En efecto, si no lo fuera, aceptaría un divisor primo mayor que *7* y el cociente sería menor que *6*. Y como ya hemos visto, no acepta divisores menores que *6*. Si aceptara un divisor menor que *6*, este ya hubiera aparecido en las divisiones anteriores.

2) Como *89* no es divisible por *2, 3, 5, 7* y *11*, empezaremos a dividir por *13*.

$$\begin{array}{r|l} 89 & 13 \\ \hline 11 & 6 \end{array}$$

Y ya obtuvimos un cociente menor que el divisor.

Luego, *89* es primo.

3) Verificar si *289* es primo.

289 no es divisible por *2, 3, 5, 7, 11*. Veamos si es divisible por *13, 17, 19…*

$$\begin{array}{r|l} 289 & 13 \\ \hline 29 & 22 \\ 3 & \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 289 & 17 \\ \hline 119 & 17 \\ 00 & \end{array}$$

Como la diferencia es cero, *289* es múltiplo de *17*.

2.3 Descomposición de un número en factores primos

Hemos visto que todo número múltiplo puede ser descompuesto en un producto de dos o más factores primos.

Para realizar esta descomposición, basta dividir primero el número dado por el menor número primo que sea su divisor y proceder de la misma manera con el cociente obtenido, y así sucesivamente hasta obtener un cociente primo.

Ejemplo:

1) Descomponer el número *30* en sus factores primos.

30	*2*		
10	*15*	*3*	
0	*0*	*5*	*5*
		0	*1*

En la práctica, esto se realiza siguiendo el siguiente esquema:

30	*2*
15	*3*
5	*5*
1	

Se traza una línea vertical al lado derecho del número *30*. Los factores primos se colocan a la derecha de la línea vertical y los cocientes sucesivos de las divisiones efectuadas se colocan a la izquierda.

Por lo tanto: $30 = 2 \times 3 \times 5$

2) Descomponer el número *72* en sus factores primos:

72	*2*
36	*2*
18	*2*
9	*3*
3	*3*
1	

$72 = 2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 3$

Ejercicios:

1) Verificar si los siguientes números son números primos:
a) *289* b) *731* c) *1.111* d) *521*

2) Descomponer los siguientes números en factores primos:
a) *160* b) *250* c) *289* d) *243*
e) *1.024* f) *1.728*

2.4 Máximo común divisor (MCD)

Dados los números *12, 18 y 30,* y los conjuntos de sus divisores:

$$D(12) = \{1, 2, 3, 4, 6, 12\}$$
$$D(18) = \{1, 2, 3, 6, 9, 18\}$$
$$D(30) = \{1, 2, 3, 5, 6, 10, 15, 30\}$$

Los conjuntos *D(12), D(18)* y *D(30)* son finitos y ordenados.

Consideremos ahora el conjunto de los divisores comunes; es decir, el conjunto intersección de *D(12), D(18)* y *D(30)*:

$$D(12) \cap D(18) \cap D(30) = \{1, 2, 3, 6\}$$

que también es finito y ordenado.

Todo conjunto finito y ordenado posee un máximo; es decir, un valor mayor que todos los demás. En este caso, es el número *6*. El valor máximo de este conjunto intersección se llama *máximo común divisor* de los números dados (*12, 18, 30*).

Se escribe: $MCD\ (12,\ 18,\ 30) = 6$

De manera general, indicaremos:

$$MCD\ (a,\ b,\ c) = D$$

2.5 Cálculo del MCD de varios números

Método de las divisiones sucesivas

Primer caso. Cuando el número mayor es divisible por el menor.

Por ejemplo, para calcular el MCD entre *30* y *6* tenemos que como *6* divide a *30* y es exacto, entonces *6* es el divisor común mayor. Esto se puede escribir de la siguiente manera:

$$MCD\ (6,\ 30) = 6$$

y, entonces, se puede concluir lo siguiente:

> *Si el número mayor es divisible por el número menor, entonces este último es el MCD de ambos.*

Segundo caso. Cuando el número mayor no es divisible por el número menor.

Por ejemplo, para calcular el MCD (*45, 36*), se procede de la siguiente forma: $45 = 1 \times 36 + 9$ y, de esta manera, todo divisor común de *36* y de *9* será también divisor de *45*. Podemos identificar ahora el MCD (*36, 9*), que —siguiendo el primer caso— es *9*. Luego:

$$MCD\ (45,\ 36) = 9$$

En la práctica se realiza:

	1	*4*	*cociente*
45	*36*	*9*	*divisores*
9	*00*		*diferencias*

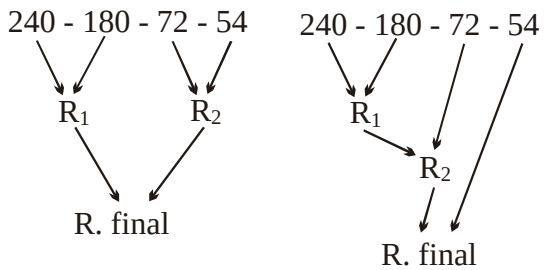
Esto significa que cuando la diferencia es cero, el último divisor (*9*) es el MCD.

Se deduce entonces la regla siguiente:

> *Para encontrar el MCD de dos números se divide el número mayor por el menor; luego se divide el número menor por la diferencia de la división entre el número mayor y el menor; inmediatamente se divide la primera diferencia por la segunda y así sucesivamente; cuando se obtiene una diferencia cero, el último divisor es el MCD.*

2.6 Máximo común divisor de más de dos números

Calcular el MCD (*240, 180, 72, 54*). En este caso, basta usar cualquiera de los esquemas siguientes, en los que llamamos *R1* y *R2* a los resultados parciales y *R* al resultado final.



	1	3
240	180	60
060	00	

$R_1 = 60$

	1	3
240	180	60
060	00	

$R_1 = 60$

	1	3
72	54	18
18	00	

$R_2 = 18$

	1	5
72	60	12
12	00	

$R_2 = 12$

	3	3
60	18	6
6	00	

$R = 6$

	4	2
54	12	6
6	00	

$R = 6$

MCD (240, 180, 72, 54) = 6 *MCD (240, 180, 72, 54) = 6*

2.7 Números primos entre sí

Buscamos el MCD entre *25* y *36*.

	1	2	3	1	2
36	25	11	3	2	1
11	3	2	1	0	

Notamos que el MCD es *1*. Cuando esto ocurre, decimos que los números son primos entre sí.

Se puede decir también que los números primos entre sí son aquellos cuyo único divisor común es la unidad.

Ejercicios:

1) Calcule el máximo común divisor de los siguientes números:
   a) *576, 96* c) *1.414, 910, 700*
   b) *168, 252, 315* d) *2.264, 360, 432, 378*

2) En el cálculo del MCD de dos números, se obtuvo el siguiente esquema mediante las divisiones sucesivas. Llene con números los espacios señalados con *x*.

	2	6	1	2
x	x	x	x	6
x	x	x	0	

3) En el MCD de dos números se obtuvo como cociente, mediante las divisiones sucesivas, los números *3, 6, 1* y *3*. Si se sabe que el MCD es *4*, determine cuáles son esos dos números.

4) El MCD de dos números es *12* y los cocientes obtenidos en el esquema de las divisiones sucesivas son *1, 3* y *2*. ¿Cuáles son esos dos números?

2.8 Mínimo común múltiplo (MCM)

Consideremos los números *3, 4* y *6*, y el conjunto de sus múltiplos, *M(3), M(4) y M(6)*.

$$M(3) = \{0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 \ldots\ldots\}$$
$$M(4) = \{0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32 \ldots\ldots\}$$
$$M(6) = \{0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 \ldots\ldots\}$$

A continuación, consideremos el conjunto de los múltiplos comunes a *3, 4* y *6* con excepción de cero, que es el múltiplo común. Sabemos que el conjunto de los múltiplos comunes es el conjunto intersección;

por ejemplo:

$$M(3) \cap M(4) \cap M(6) = \{12, 24, 36\ldots\}$$

Se observa que los conjuntos *M(3), M(4) y M(6)* son ordenados y finitos. Asimismo, el conjunto intersección posee un mínimo; es decir, un valor menor que todos los demás. En este caso, es el número *12*.

Este valor se llama *mínimo común múltiplo de los números dados (3, 4 y 6)*.

Y se escribe del siguiente modo:

$$MCM\ (3, 4, 6) = 12$$

De manera genérica, indicaremos:

$$MCM\ (a, b, c) = M$$

2.9 Cálculo del MCM de varios números

Primer método

Mediante la descomposición de los factores primos.

Veamos primero lo que debe ocurrir entre los factores primos de un número N y su múltiplo M.

Ejemplos:

1) *36* es múltiplo de *9*. Se descomponen ambos y se observa lo siguiente: $36 = 2^2 \times 3^2$ y $9 = 3^2$; es decir, *36* contiene 3^2 ó 3×3, que son los factores primos de *9*.

2) *180* es múltiplo de *45*. Se observa que $180 = 2^2 \times 3^2 \times 5$ y $45 = 3^2 \times 5$. Esto quiere decir que *180* contiene todos los factores primos de *45*.

Podemos afirmar lo siguiente:

Si M es múltiplo de N, entonces M contiene todos los factores primos de N.

Ahora calculemos el MCM *(12, 30, 42)*.

Una vez realizada la descomposición, obtenemos:

$$12 = 2^2 \times 3$$
$$30 = 2 \times 3 \times 5$$
$$42 = 2 \times 3 \times 7$$

Luego, para que el número *M* sea múltiplo común o mínimo común múltiplo de *12, 30, 42*, debe contener, por lo menos, todos los factores primos que figuran en *12, 30, 42*. Debe contener, por lo menos, los factores

$$2^2 \times 3 \times 5 \times 7$$

En caso de contener únicamente esos factores, será el múltiplo común menor o el mínimo común múltiplo de los números dados.

Se deduce, entonces, lo siguiente:

Para calcular el MCM de varios números se procede de la siguiente manera:

a) se descomponen los números en factores primos;

b) se toma el producto de los factores primos comunes y no comunes a esas descomposiciones, y cada uno de ellos con el mayor de los exponentes que dicho factor posee en las descomposiciones.

Ejemplo:

1) Calcular el MCM de los números *105, 625 y 343*.

Al descomponer, vemos lo siguiente:

$105 = 3 \times 5 \times 7$
$625 = 5^4$
$343 = 7^3$

$MCM\ (105, 625, 343) = 3 \times 5^4 \times 7^3 = 3 \times 625 \times 343$
$MCM\ (105, 625, 343) = 643.125$

En la práctica, la descomposición se puede realizar en un solo esquema, en el que los factores primos comunes y no comunes se colocan a la derecha de una línea vertical que separa los números dados de dichos factores, de la siguiente manera:

Calcular el MCM de *90, 105 y 135*.

90	-	105	-	135	2
45	-	105	-	135	3
15	-	35	-	45	3
5	-	35	-	15	3
5	-	35	-	5	5
1	-	7	-	1	7
1	-	1	-	1	

$MCM\ (90, 105, 135) = 2 \times 3 \times 3 \times 3 \times 5 \times 7 = 2 \times 3^3 \times 5 \times 7$
$MCM\ (90, 105, 135) = 1.890$

Podemos concluir lo siguiente:

Cuando dos números son primos entre sí, el MCM de ambos es igual al producto.

Ejemplo:

5 y *8* son primos entre sí.
Luego, el MCM $(5, 8) = 5 \times 8 = 40$.

Ejercicios:

Calcular el MCM de los siguientes números mediante la descomposición de los factores primos:

1) *18, 30, 48*
2) *18 y 19*
3) *60, 84, 132, 120*
4) *1.225, 1.715, 70*

5) Del aeropuerto Santos Dumont, parten aviones hacia São Paulo cada 20 minutos, hacia el sur del país cada 40 minutos y hacia Brasilia cada 100 minutos. A las 8.00 horas hay una partida simultánea. ¿Cuáles son las otras horas, hasta las 18.00, en las que hay partidas simultáneas?

6) Tres satélites artificiales giran alrededor de la Tierra en órbitas constantes; el tiempo de rotación del primero es 42 minutos; el del segundo, 72 minutos; y el del tercero, 126 minutos. En un momento dado, los tres pasan por un mismo meridiano (pero en latitudes diferentes). ¿Después de cuánto tiempo volverán a pasar simultáneamente por ese meridiano?

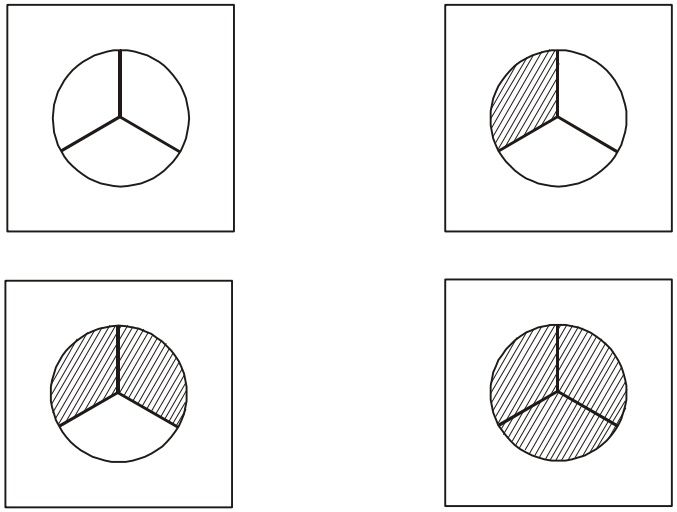
3. CONJUNTO DE LOS NÚMEROS RACIONALES

3.1 Números fraccionarios

Tenemos ahora un nuevo problema: el de la división del tipo *2:3*, que significa *a:b,* donde *a* no es múltiplo de *b*. Este problema no se resuelve en el conjunto *N* de los enteros que hemos visto. Tenemos, pues, que ampliar el campo de los números una vez más, y así podremos trabajar con un nuevo tipo de número. A continuación estudiaremos la noción de fracción.

3.2 Noción de fracción

Tomemos cualquier entero. La figura geométrica del círculo es ideal para representar un entero. Vamos a dividirlo en tres partes iguales y luego vamos a tomar una, dos o inclusive tres partes iguales de ese círculo, conforme lo indican las siguientes figuras:



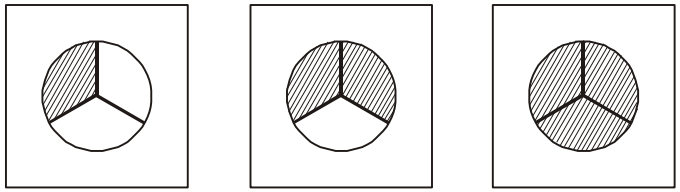
Hemos dividido el entero en tres partes y de manera sucesiva, hemos tomado una, dos y tres partes.

Por convención, se establece lo siguiente:

a) El número que indica en cuántas partes se dividió el entero se coloca bajo una línea horizontal (_____) que se llama *trazo de fracción* (en el caso que hemos visto, en tres partes).

b) El número que indica cuántas partes tomamos o deseamos representar se coloca sobre el trazo de fracción (en el caso examinado fueron, sucesivamente, una, dos y tres partes).

Tenemos:



$\frac{1}{3}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{3}{3}$

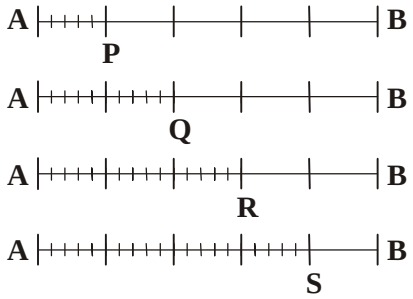
Todas las fracciones de las figuras anteriores se llaman *tercios*. El número que queda bajo el trazo de fracción recibe el nombre de *denominador* porque es el que le da el nombre a la fracción.

El número que queda sobre el trazo de fracción y que indica el número de partes que tomamos se llama *numerador*.

De manera más simple, podemos decir que se llama *fracción* o *número fraccionario* a una o más partes iguales en las que se divide un entero.

Asimismo, podemos imaginar el entero como si fuese un segmento de recta —una parte de una recta limitada por dos puntos— y proceder de manera similar:

Para un segmento AB, tendríamos:



$$AP = \frac{1}{5} \text{ de } AB$$

$$AQ = \frac{2}{5} \text{ de } AB$$

$$AR = \frac{3}{5} \text{ de } AB$$

$$AS = \frac{4}{5} \text{ de } AB$$

$$AB = \frac{5}{5} \text{ de } AB$$

3.3 Cómo leer una fracción

Se deben distinguir tres casos:

Primer caso

Los denominadores son los números *2, 3, 4, 5, 6, 7, 8* y *9*.

Se lee el número que corresponde al numerador, seguido de *medios, tercios, cuartos, quintos, sextos, séptimos, octavos y novenos,* según los denominadores sean, respectivamente, *2, 3, 4, 5, 6, 7, 8* y *9*.

Ejemplos:

$\frac{3}{8}$ = *3 octavos* $\qquad$ $\frac{1}{8}$ = *1 octavo*

$\frac{5}{7}$ = *5 séptimos* $\qquad$ $\frac{1}{7}$ = *1 séptimo*

Segundo caso

Los denominadores son potencias enteras de *10 (10, 100, 1.000,* etcétera).

Se lee el numerador seguido del denominador, que a su vez se lee en forma ordinal.

$\frac{3}{10}$ = *3 décimos* $\qquad$ $\frac{5}{1.000}$ = *5 milésimos*

$\frac{1}{100}$ = *1 centésimo* $\qquad$ $\frac{17}{10.000}$ = *17 décimos de milésimos*

Tercer caso

Los denominadores son números distintos de los mencionados en los casos primero y segundo.

Se lee el numerador seguido del denominador, al que se añade el sufijo *-avo* (o, en plural, *-avos),* según el numerador sea *1* ó mayor que *1*.

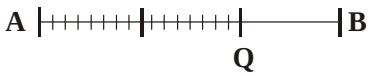
$\frac{1}{17}$ = *un 17avo* $\qquad$ $\frac{3}{17}$ = *3 17avos*

$\frac{1}{26}$ = *un 26avo* $\frac{15}{26}$ = *15 26avos*

3.4 Fracciones propias, impropias y aparentes

Fracciones propias

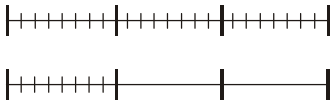
Son aquellas fracciones cuyo numerador es menor que el denominador y que, por consiguiente, representan fracciones; es decir, partes de un entero.



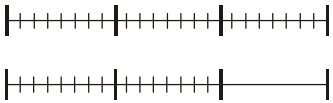
$AP = \frac{1}{3}$ *de AB* $AQ = \frac{2}{3}$ *de AB*

Fracciones impropias

Llamamos *fracciones impropias* a aquellas cuyo numerador es mayor que el denominador y que, por consiguiente, representan enteros y fracciones.



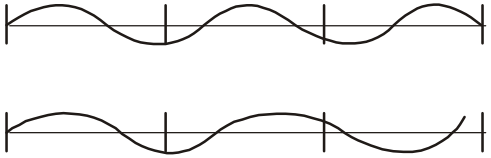
$= \frac{4}{3}$



$= \frac{5}{3}$

Fracciones aparentes

Llamamos *fracciones aparentes* a aquellas que representan enteros y fracciones, y cuyo numerador es múltiplo del denominador.



$= \frac{6}{3} = 2$ *enteros*

3.5 Casos particulares de fracciones

1) Si el numerador de una fracción es cero, la fracción es igual a cero.

   En efecto: *0/5 = 0*; se dividió el entero en *5* partes y ninguna fue tomada.

2) Si el denominador es igual a cero, la fracción no tiene significado porque no tiene sentido dividir el entero en cero partes.

   Por ejemplo, *5/0* no existe; no tiene sentido aritmético.

3) Si el denominador de la fracción es la unidad, la fracción es igual al entero representado por el numerador.

   Ejemplo: $\frac{5}{1} = 5$ $\frac{10}{1} = 10$

4) Si el numerador es igual al denominador, la fracción es igual a la unidad.

$$\frac{4}{4} = 1; \qquad \frac{5}{5} = 1; \qquad \frac{120}{120} = 1$$

3.6 Propiedades de las fracciones

Propiedad fundamental

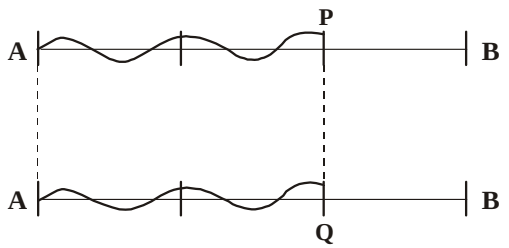
Al multiplicar o al dividir los términos de una fracción por un mismo número diferente de cero se obtiene una fracción equivalente a la fracción dada.

Comprobación:

Dada la fracción *2/3*. Al multiplicar sus términos por *2* (por ejemplo) se obtiene *4/6*.

Debemos demostrar que $\frac{2}{3} = \frac{4}{6}$

Para *2/3* obtendremos el siguiente gráfico:



$$AP = \frac{2}{3} \text{ de } AB$$

Si representamos 4/6 del mismo entero, se tiene AQ = 4/6 de AB.

Como AP = AQ, entonces se tiene que *2/3* de AB = *4/6* de AB,

donde:

$$\boxed{\frac{2}{3} = \frac{4}{6}}$$

Esto equivale a multiplicar los términos de la fracción por *2*. Si hubiéramos representado primero *4/6* y después *2/3*, hubiéramos llegado a la conclusión de que

$$\frac{4}{6} = \frac{2}{3}$$

Esto equivale a dividir los términos de la fracción por un mismo número y obtener una segunda fracción equivalente a la primera.

Primera inferencia: simplificación de fracciones

Una fracción puede ser simplificada al dividir sus términos por un factor común.

Primer caso: simplificación por cancelación. Consiste en realizar divisiones sucesivas de los términos de la fracción por factores comunes.

Ejemplo:

Simplificar:

1) *12/18*

Al dividir sus términos por *2* y luego por *3*,

da como resultado: $\frac{12}{18} = \frac{6}{9} = \frac{2}{3}$

2) $\frac{144}{216} = \frac{72}{108} = \frac{36}{54} = \frac{18}{27} = \frac{2}{3}$

Segundo caso: simplificación con el MCD. El caso más simple de simplificación consiste en dividir los términos de la fracción por el MCD.

Ejemplo:

Simplificar:

1) $\frac{108}{576}$

El MCD (108, 576) = 36;

luego: $\frac{108 : 36}{576 : 36} = \frac{3}{16}$

2) $\frac{289}{323}$

El MCD (289, 323) = 17;

luego: $\frac{289 : 17}{323 : 17} = \frac{17}{19}$

Segunda inferencia: reducción de fracciones a un mismo denominador

Cuando dos o más fracciones tienen denominadores diferentes se llaman *heterogéneas*.

Ejemplo: $\frac{3}{5}; \frac{1}{4}; \frac{1}{2}$ son heterogéneas.

Cuando dos o más fracciones tienen denominadores iguales, se llaman *homogéneas*.

Ejemplo: $\frac{3}{7}; \frac{1}{7}; \frac{5}{7}$ son homogéneas

Por lo tanto, reducir las fracciones al mismo denominador, significa convertirlas en homogéneas.

Dadas las fracciones $\frac{1}{2}; \frac{2}{3}; \frac{3}{4}; \frac{5}{6}$

Obtenga, a partir de las fracciones dadas, fracciones homogéneas equivalentes a las primeras.

En conclusión, debemos tratar de encontrar cuáles son los números menores por los que se deben multiplicar los denominadores de las fracciones para que sean iguales.

Se sigue el siguiente procedimiento:

a) Se determina el MCM de los denominadores:

$$MCM\ (2, 3, 4, 6) = 12$$

b) Se divide el MCM hallado *(12)* por los denominadores de las fracciones, y el cociente obtenido en cada caso debe ser multiplicado por los numeradores. Por propiedad fundamental, se deberá obtener una fracción equivalente a la primera.

Así, tendremos: $\frac{1}{2}; \frac{2}{3}; \frac{3}{4}; \frac{5}{6}$

$$\frac{6}{12}; \frac{8}{12}; \frac{9}{12}; \frac{10}{12}$$

Ejemplo:

Reduzca las siguientes fracciones al menor denominador común:

$$\frac{3}{8}; \frac{1}{2}; \frac{3}{5}; \frac{3}{4}$$

a) Se encuentra el MCM $(8, 2, 5, 4) = 40$

b) Se multiplican los numeradores de cada fracción por el cociente entre el MCM hallado y el denominador de dicha fracción.

$$\frac{15}{40}; \frac{20}{40}; \frac{24}{40}; \frac{30}{40}$$

En la práctica, se puede adoptar la siguiente regla:

Para reducir dos o más fracciones al menor denominador común:

a) Se encuentra el MCM de los denominadores; dicho MCM será el menor denominador común.

b) Se multiplica el numerador de cada fracción por el cociente entre el denominador común y el primer denominador de la fracción.

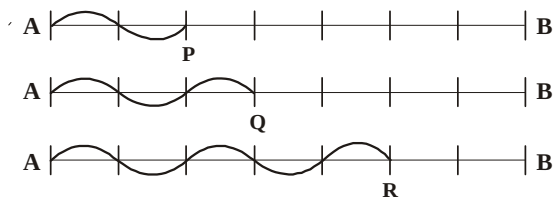
Tercera inferencia: comparación de fracciones

Comparar dos o más fracciones quiere decir determinar una relación de igualdad o desigualdad entre ellas. Debemos examinar tres casos.

Primer caso: cuando las fracciones son homogéneas

Comparar: $\frac{2}{7}; \frac{3}{7}; \frac{5}{7}$

Gráficamente, tendremos:



$AP = \frac{2}{7}$ *de AB*

$AQ = \frac{3}{7}$ *de AB*

$AR = \frac{5}{7}$ *de AB*

Como $AP < AQ < AR$ (el signo $<$ significa 'menor'), entonces:

$$\frac{2}{7} \text{ de } AB < \frac{3}{7} \text{ de } AB < \frac{5}{7} \text{ de } AB$$

o, en relación con el mismo entero,

$$\frac{2}{7} < \frac{3}{7} < \frac{5}{7}$$

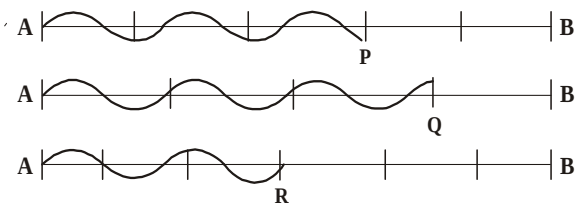
de lo cual se deduce lo siguiente:

Cuando varias fracciones son homogéneas, la mayor de ellas es la que tiene mayor numerador.

Segundo caso: cuando las fracciones tienen numeradores iguales

Comparar: $\frac{3}{5}; \frac{3}{4}; \frac{3}{7}$

Si tomamos el mismo entero *AB*, tenemos:



$AP = \frac{3}{5}$ *de AB*

$AQ = \frac{3}{4}$ *de AB*

$AR = \frac{3}{7}$ *de AB*

Como $AR < AP < AQ$, vemos: *3/7* de *AB* < *3/5* de *AB* < *3/4* de *AB* o, en relación con el mismo entero:

$$\frac{3}{7} < \frac{3}{5} < \frac{3}{4}$$

De lo cual se infiere lo siguiente:

Cuando varias fracciones tienen el mismo numerador, la mayor de ellas es la que tiene menor denominador.

Tercer caso: cuando las fracciones son heterogéneas

Comparar: $\frac{2}{3}; \frac{3}{4}; \frac{1}{2}; \frac{5}{6}$

En este caso, se debe reducir las fracciones a un denominador común, pero únicamente al menor denominador común.

$$\frac{8}{12}; \frac{9}{12}; \frac{6}{12}; \frac{10}{12}$$

Como las fracciones resultantes son homogéneas, volvemos al primer caso; es decir:

$$\frac{6}{12} < \frac{8}{12} < \frac{9}{12} < \frac{10}{12}$$

o, en orden creciente,

$$\frac{1}{2} < \frac{2}{3} < \frac{3}{4} < \frac{5}{6}$$

mientras que en orden decreciente, tendríamos:

$$\frac{5}{6} > \frac{3}{4} > \frac{2}{3} > \frac{1}{2}$$

Ejercicios:

1) Obtenga tres fracciones equivalentes a *3/5*.

Basta tomar los términos de la fracción *3/5* y multiplicarlos por un número diferente de cero.

$$\frac{3 \times 2}{5 \times 2} = \frac{6}{10}; \quad \frac{3 \times 3}{5 \times 3} = \frac{9}{15}; \quad \frac{3 \times 10}{5 \times 10} = \frac{30}{50}$$

2) Obtenga una fracción equivalente a *3/4* cuyo denominador sea *60*.

Como $60 = 4 \times 15$ (es decir, como *60* es múltiplo de *4*), se puede realizar el problema.

Basta multiplicar el numerador por el mismo factor *15*.

Por lo tanto, $\frac{3}{4} = \frac{45}{60}$

3) Obtenga dos fracciones equivalentes a *12/18* cuyos denominadores sean *30* y *42*.

Se reduce *12/18* a su forma equivalente más simple:

$$\frac{12}{18} = \frac{2}{3} \quad ; \quad \frac{2}{3} = \frac{x}{30}$$

Para determinar el valor desconocido *(x)* del numerador de la nueva fracción, se aplica $30 \div 3 = 10$. Por lo tanto, $10 \times 2 = 20$. Luego:

$$\frac{2}{3} = \frac{20}{30}$$

Análogamente: 2/3 = *y/42*. Para determinar el numerador *y* se aplica: $42 : 3 = 14$; $14 \times 2 = 28$; donde $2/3 = 28/42$.

4) Escriba una fracción equivalente a *5/6* cuya suma de términos sea *88*.

Como la suma de los términos de *5/6* es *11*, para determinar el factor por el que se multiplicarán los términos de *5/6*, se aplica que $88 : 11 = 8$.

8 es el factor que se buscaba. Luego:

$$\frac{5 \times 8}{6 \times 8} = \frac{40}{48}$$

En efecto, $40 + 48 = 88$.

5) Halle una fracción equivalente a *15/24* cuya suma de términos sea *78*.

15/24 es equivalente a *5/8*; basta simplificar *15/24* y se obtiene *5/8*. La suma de los términos de *5/8* es $5 + 8 = 13$.

Se obtiene un valor por el cual se multiplicarán los términos de *5/8*.

Aplicando: $78 : 13 = 6$

Luego: $\frac{5 \times 6}{8 \times 6} = \frac{30}{48}$; se tiene $\frac{15}{24} = \frac{5}{8} = \frac{30}{48}$

o bien : $\frac{15}{24} = \frac{30}{48}$

Otras propiedades

1) Una fracción aumenta dos, tres… etcétera veces cuando *su numerador se multiplica por 2, 3…* etcétera.

2) Una fracción disminuye dos, tres … etcétera veces cuando *su denominador se multiplica por 2, 3…* etcétera.

Verifique estas propiedades gráficamente.

Todo número entero *n* puede ser escrito en forma de fracción.

En efecto, dado el entero *3,* que puede escribirse *3/1* ó *6/2* ó *9/3,* solo basta aplicar:

$$3 = \frac{3 \times 2}{1 \times 2} = \frac{6}{2}$$

$$3 = \frac{3 \times 3}{1 \times 3} = \frac{9}{3}, \text{ etcétera.}$$

Es así que todo entero $n \in N$ se escribe en una forma p/q siendo $q \neq 0$ ($\neq$ se lee *diferente)*.

Podemos hablar entonces del conjunto de los números racionales absolutos.

3.7 Conjunto de los números racionales absolutos

Diremos que un número es racional cuando puede ser colocado bajo la forma p/q, siendo $q \neq 0$.

Nos damos cuenta de que:

a) las fracciones son racionales: $\frac{2}{3}; \frac{3}{5}; \frac{7}{8}; \frac{1}{3}; \cdots$

b) los enteros son racionales: $2 = \frac{2}{1} = \frac{4}{2} = \frac{6}{3}; \cdots$

c) el cero es racional: $0 = \frac{0}{1} = \frac{0}{2} = \frac{0}{3}; \cdots$

Obtenemos, entonces, un nuevo conjunto numérico llamado *conjunto de los números racionales absolutos* que representamos por *Qa*:

$$Qa = \left\{ q, \text{ donde } q = \frac{a}{b}, \text{ siendo } a, b \in N \text{ y } b \neq 0 \right\}$$

Vemos lo siguiente:

$$n \in N^* \rightarrow n \in Qa$$
$$n \in N \rightarrow n \in Qa$$

Por consiguiente, *N* y *N** son subconjuntos de *Qa* y podemos escribir lo siguiente:

$$\boxed{N^* \subset Qa} \quad \boxed{N \subset Qa} \quad \therefore \quad \boxed{N^* \subset N \subset Qa}$$

Ejercicios:

1) Escriba, basándose en la propiedad fundamental, tres fracciones ordinarias equivalentes a cada una de las siguientes fracciones:

a) $\frac{3}{4}$ b) $\frac{7}{8}$ c) $\frac{25}{30}$

2) Escriba una fracción equivalente a las siguientes:

a) $\frac{3}{4}$ cuyo denominador sea *56*

b) $\frac{15}{45}$ cuyo denominador sea *27*

3) Simplifique cada una de las siguientes fracciones:

a) $\frac{180}{240}$ b) $\frac{289}{2.057}$ c) $\frac{121}{2.057}$ d) $\frac{343}{490}$

Reduzca los siguientes grupos de fracciones a su denominador común:

4) $\frac{1}{2}; \frac{1}{3}; \frac{1}{4}; \frac{1}{6}$

5) $\frac{3}{7}; \frac{1}{12}; \frac{5}{42}; \frac{8}{21}$

Escriba cada uno de los siguientes grupos de fracciones según el orden decreciente de sus valores:

6) $\frac{3}{8}; \frac{5}{8}; \frac{1}{8}; \frac{7}{8}$

7) $\frac{8}{3}; \frac{8}{5}; \frac{8}{11}; \frac{8}{7}$

8) $\frac{4}{3}; \frac{3}{4}; \frac{5}{6}; \frac{6}{5}$

4. OPERACIONES FUNDAMENTALES CON FRACCIONES

4.1 Adición de fracciones

En la adición de fracciones, distinguimos tres casos:

Primer caso: cuando las fracciones son homogéneas. Si las fracciones son homogéneas, se suman los numeradores y se da el denominador común al resultado.

Ejemplo: $\frac{1}{7} + \frac{2}{7} + \frac{3}{7} = \frac{6}{7}$

Segundo caso: cuando las fracciones son heterogéneas. Por ejemplo, para efectuar la suma:

$$\frac{2}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6}$$

al reducir al mismo denominador, tenemos:

$$\frac{8}{12} + \frac{3}{12} + \frac{2}{12}$$

y aplicando la regla del primer caso,

$$\frac{8}{12} + \frac{3}{12} + \frac{2}{12} = \frac{8 + 3 + 2}{12} = \frac{13}{12}$$

Tercer caso: adición de enteros y fracciones. Números mixtos.

Dada la suma: $2 + \frac{1}{4}$

El número *2* puede escribirse como $\frac{2}{1}$ y la suma: $\frac{2}{1} + \frac{1}{4}$.

Luego, reduciendo al mismo denominador, se tiene:

$$\frac{8}{4} + \frac{1}{4} = \frac{8+1}{4} = \frac{9}{4}$$

Así: $2 + \frac{1}{4} = \frac{9}{4}$

La suma *2 + 1/4* puede indicarse, como se hace comúnmente, por *2 y 1/4*, o de una manera más sencilla: *2 1/4*; es decir, un número mixto de entero y fracción.

Entonces, es válida la igualdad $2\frac{1}{4} = \frac{9}{4}$

que en la práctica se efectúa de acuerdo con la siguiente regla:

Regla para transformar números mixtos en fracciones impropias

> *Se multiplica la parte entera por el denominador de la parte fraccionaria y se le suma al producto el numerador de dicha parte. El resultado será el numerador de la fracción impropia a la cual se le da el mismo denominador de la parte fraccionaria.*

Ejemplos:

$$3\frac{1}{5} = \frac{3 \times 5 + 1}{5} = \frac{16}{5}$$

$$4\frac{1}{3} = \frac{4 \times 3 + 1}{3} = \frac{13}{3}$$

Extracción de enteros de fracciones impropias

Una fracción impropia contiene enteros. En efecto,

$$\frac{9}{4} = \frac{4}{4} + \frac{4}{4} + \frac{1}{4} \text{ ó}$$

$$\frac{9}{4} = 1 + 1 + \frac{1}{4} \text{ ó } \frac{9}{4} = 2 + \frac{1}{4}$$

que se indica: $\frac{9}{4} = 2\frac{1}{4}$

El problema consiste en verificar cuántos *4/4* contiene *9/4*, para lo cual basta dividir el numerador *9* por el denominador *4* de la fracción; es decir:

$$\frac{9}{4} \longrightarrow \begin{array}{r|l} 9 & 4 \\ \hline 1 & 2 \end{array} \longrightarrow \frac{9}{4} = 2\frac{1}{4}$$

Del mismo modo:

$$\frac{8}{3} \longrightarrow \begin{array}{r|l} 8 & 3 \\ \hline 2 & 2 \end{array} \longrightarrow \frac{8}{3} = 2\frac{2}{3}$$

De lo cual se deduce la siguiente regla:

Para extraer los enteros de una fracción impropia, se divide el numerador por el denominador; el cociente indicará la parte entera del número mixto y la diferencia será el numerador de la parte fraccionaria que conserva el denominador inicial.

4.2 Sustracción de fracciones

En la sustracción se opera de la misma manera que en la adición cuando las fracciones son homogéneas.

$$\frac{5}{8} - \frac{3}{8} = \frac{5-3}{8} = \frac{2}{8} = \frac{1}{4}$$

Es decir:

Se sustraen los numeradores y se le da al resultado el denominador común de las fracciones.

Si las fracciones son heterogéneas, se tiene:

$$\frac{3}{4} - \frac{1}{8}$$

Reduciendo al menor denominador común:

$$\frac{6}{8} - \frac{1}{8} = \frac{6-1}{8} = \frac{5}{8}$$

4.3 Multiplicación de fracciones

El producto de dos fracciones es una fracción en la cual el numerador es el producto de los numeradores, y el denominador, el producto de los denominadores de las fracciones dadas.

Ejemplos:

1) $$\frac{3}{5} \times \frac{1}{4} \times \frac{5}{6} = \frac{3 \times 1 \times 5}{5 \times 4 \times 6}$$

Antes de efectuar la multiplicación se debe realizar la simplificación por cancelamiento. En el producto anterior obtendríamos el siguiente resultado:

$$\frac{\overset{1}{\cancel{3}}}{\underset{1}{\cancel{5}}} \times \frac{1}{4} \times \frac{\overset{1}{\cancel{5}}}{\underset{2}{\cancel{6}}} = \frac{1}{8}$$

2) Efectuar: $3\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{13} \times \frac{1}{6}$

En primer lugar, se reducen los números mixtos en fracciones impropias, y se obtiene como resultado:

$$\frac{13}{4} \times \frac{14}{13} \times \frac{1}{6}$$

Hecha la simplificación, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{1}{2} \times \frac{7}{1} \times \frac{1}{6} = \frac{7}{12}$$

El producto de un número entero por una fracción se efectúa considerando siempre que el entero es igual a una fracción cuyo numerador es el mismo entero y cuyo denominador es la unidad.

4.4 División de fracciones

Consideremos la división 2/3 : 3/5 cuyo resultado es desconocido, por lo cual lo llamaremos *x*. Entonces,

$$\frac{2}{3} : \frac{3}{5} = x$$

Sin embargo, según la definición de división, se tiene:

$$x \times \frac{3}{5} = \frac{2}{3}$$

Como nuestro problema es hallar *x*, y se sabe que $3/5 \times 5/3 = 1$, entonces vamos a multiplicar ambos miembros de la igualdad $x \times 3/5 = 2/3$ por $5/3$, o sea, la fracción inversa de $3/5$.
Veamos:

$$x \times \frac{3}{5} \times \frac{5}{3} = \frac{2}{3} \times \frac{5}{3}$$

o bien $$x \times 1 = \frac{2}{3} \times \frac{5}{3}$$

En resumen:

$$\frac{2}{3} : \frac{3}{5} = \frac{2}{3} \times \frac{5}{3}$$

De lo cual se deduce la siguiente regla:

> *Para dividir una fracción por otra, se multiplica la primera por la fracción inversa de la segunda.*

Ejemplos:

1) $$\frac{3}{10} : \frac{6}{5} = \frac{3}{10} \times \frac{5}{6} = \frac{1}{4}$$

2) $$3\frac{1}{4} : 2\frac{3}{5} = \frac{13}{4} : \frac{13}{5} = \frac{13}{4} \times \frac{5}{13} = \frac{5}{4}$$

3) $$4\frac{1}{2} : 2 = \frac{9}{2} : 2 = \frac{9}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{9}{4}$$

4.5 Fracción de fracción

Para calcular *2/3* de *12*

debemos dividir *12* en tercios y después tomar dos partes. Esta operación equivale a dividir *12* entre *3* y multiplicar por *2* el resultado, o sea:

$$\frac{2}{3} \text{ de } 12 = \frac{2}{\cancel{3}_{1}} \times \cancel{12}^{4} = 2 \times 4 = 8$$

La preposición *de* se substituye por el signo de multiplicación.

Ejemplos:

1) $\frac{3}{5}$ *de* $15 = \frac{3}{5} \times 15 = 9$

2) $\frac{2}{5}$ *de* $\frac{15}{18} = \frac{2}{5} \times \frac{15}{18} = \frac{1}{3}$

3) $\frac{2}{5}$ *de* $\frac{10}{15}$ *de* $20 = \frac{2}{5} \times \frac{10}{15} \times \frac{20}{1} = \frac{16}{3}$

Ejercicios:

1) Extraer los enteros de las siguientes fracciones:

a) $\frac{5}{4}$ b) $\frac{125}{15}$ c) $\frac{289}{17}$ d) $\frac{343}{49}$ e) $\frac{1.024}{32}$

2) Transformar los siguientes números mixtos en fracciones impropias:

a) $5\frac{1}{4}$ b) $12\frac{3}{5}$ c) $7\frac{1}{6}$ d) $121\frac{1}{10}$ e) $3\frac{13}{5}$

Calcular las siguientes expresiones fraccionarias:

3) $4 + \frac{1}{7} - (\frac{2}{3} + 2 - \frac{5}{21})$

4) $2 + \frac{1}{9} - (\frac{4}{7} + \frac{11}{3} - 4) + \frac{1}{63}$

5) $(\frac{1}{2} + \frac{1}{7}) - \frac{8}{27} \times \frac{9}{16} + (\frac{3}{7} - \frac{5}{42} + 1) \times \frac{2}{11} + \frac{2}{7}$

6) $(14 : \frac{25}{9} \times \frac{5}{6} : \frac{21}{5} + \frac{3}{10}) : (5 + \frac{126}{35}) + \frac{18}{43}$

7) $\frac{14}{5} \times (\frac{5}{7} : \frac{5}{4} - \frac{1}{14}) : (5 - \frac{2}{3}) \times \frac{65}{12} - \frac{3}{4}$

8) $(7 - \frac{15}{4}) \times (1 + \frac{5}{13}) - \left[(\frac{2}{3} + 4) : \frac{7}{6} - \frac{5}{8}\right] - \frac{1}{4}$

9) Se consumió 3/5 de la carga de un medidor que contenía 120 kg de sulfato de aluminio. ¿Cuántos kg de sulfato de aluminio se consumieron?

10) Los 3/4 de la carga de un tostador de cal equivalen a 180 kg. ¿A cuánto equivale el total de la carga?

11) Debido a la suspensión de energía eléctrica, la planta de tratamiento de agua —que trabaja 18 horas por día— trabajó solo 7/9 del tiempo habitual. ¿Cuánto tiempo trabajó?

12) Vivo en una calle que mide 3.240 metros. Si el número de mi casa equivale a 2/3 del metraje de la calle, ¿cuál es el número de mi casa?

5. FRACCIONES Y NÚMEROS DECIMALES

5.1 Fracciones decimales

Se llama *fracción decimal* a toda fracción cuyo denominador es una potencia entera de 10.

Ejemplo: $\frac{9}{10}$; $\frac{17}{100}$; $\frac{121}{1.000}$

3/10 representa, como ya hemos visto, las tres partes de un entero que se dividió en diez partes.

Aritméticamente también puede representarse con el símbolo *0,3* que se lee "3 décimos". Igualmente, si tuviéramos *3/100* se emplearía el término *0,03* (tres centésimos).

La fracción decimal *3/10* escrita bajo la forma *0,3*, recibe el nombre de *número decimal*.

5.2 Cómo leer un número decimal

Para leer un número decimal, se debe tener en cuenta los nombres que reciben las cifras decimales (lugares decimales) a partir de los décimos, que van separados de la parte entera por una coma.

Observemos los siguientes ejemplos con su correspondiente lectura:

0,1	*un décimo*
0,01	*un centésimo*
0,001	*un milésimo*
0,0001	*un décimo de milésimo*

0,00001	*un centésimo de milésimo*
0,000001	*un millonésimo*
0,0000001	*un décimo millonésimo.*

Por ejemplo, para leer *2,437* se dice "2 enteros y 437 milésimos" o "2 enteros, 4 décimos, 3 centésimos y 7 milésimos".

5.3 Transformación de fracciones decimales a números decimales

Dada la fracción *3.791/1.000*, descomponemos el numerador en unidades diferentes y tenemos:

$$\frac{3.791}{1.000} = \frac{3.000}{1.000} + \frac{700}{1.000} + \frac{90}{1.000} + \frac{1}{1.000}$$

o, simplificando las fracciones, se tiene:

$$\frac{3.791}{1.000} = 3,791$$

A partir de esta igualdad se deduce la siguiente regla:

> *Para transformar una fracción decimal en un número decimal, basta dar al numerador tantas cifras decimales como ceros tenga el denominador.*

Ejemplos:

1) $\frac{31}{100} = 0,31$

2) $\frac{5}{1.000} = 0,005$

Ahora podemos examinar el problema inverso.

5.4 Transformación de números decimales en fracciones decimales

Todo número decimal es igual a una fracción en la cual el numerador es el número decimal sin la coma y el denominador es la unidad seguida de tantos ceros como fueran las cifras decimales del número dado.

Ejemplos:

Transformar en fracciones decimales y simplificar, si es necesario.

1) $0,015 = \frac{15}{1.000} = \frac{3}{200}$

2) $1,25 = \frac{125}{100} = 1\frac{1}{4}$

Cuando el número decimal presenta enteros, como en el ejemplo anterior, se puede obtener un número mixto de la transformación si se realiza el siguiente procedimiento:

$$1,25 = 1\frac{25}{100} = 1\frac{1}{4}$$

3) $3,75 = 3\frac{75}{100} = 3\frac{3}{4}$

5.5 Propiedades de los números decimales

Primera propiedad

> *Un número decimal no se altera cuando se aumenta uno o más ceros a la derecha de la parte decimal.*

Verificación: para que la propiedad sea verdadera, debemos comprobar que, por ejemplo,

$$0,3 = 0,30 = 0,300, \text{ etc.}\ldots$$

Si se toma el número decimal *0,3* y se transforma en fracción decimal, se tiene:

$$0,3 = \frac{3}{10}$$

Ahora, de acuerdo con la propiedad fundamental de las fracciones, podemos multiplicar los términos de *3/10* por *10*, por *100*, por *1.000*, etcétera, y siempre obtendremos fracciones equivalentes a *3/10*.

Por consiguiente,

$$\frac{3}{10} = \frac{30}{100} = \frac{300}{1.000}$$

o, en la forma de números decimales,

$$0,3 = 0,30 = 0,300 = 0,3000$$

lo cual comprueba la propiedad.

Segunda propiedad

Para multiplicar un número decimal por 10, por 100, por 1.000… etc., basta mover la coma hacia la derecha en una, dos, tres, etc. cifras.

Ejemplos:

$$1{,}24 \times 10 = 12{,}4$$
$$1{,}24 \times 100 = 124$$
$$1{,}24 \times 1.000 = 1.240$$

Tercera propiedad

Para dividir un numero decimal por 10, 100, 1.000, etcétera, basta mover la coma hacia la izquierda en una, dos, tres, etc. cifras decimales.

Ejemplo:

$$387{,}2 : 10 = 38{,}72$$
$$387{,}2 : 100 = 3{,}872$$
$$387{,}2 : 1.000 = 0{,}3872$$

Comprobación: estas dos propiedades pueden verificarse de la siguiente manera:

1) $1{,}24 \times 10 = \frac{124}{100} \times 10 = \frac{124}{10} = 12{,}4$

2) $387{,}2 : 10 = \frac{3.872}{10} \times \frac{1}{10} = \frac{3.872}{100} = 38{,}72$

Ejercicios:

1) Escriba bajo la forma de fracciones decimales las siguientes fracciones ordinarias:

a) $\frac{3}{4}$ b) $\frac{1}{5}$ c) $\frac{121}{125}$ d) $\frac{7}{25}$

2) Transformar en números decimales las siguientes fracciones decimales:

a) $\frac{3}{10}$ b) $\frac{15.431}{100}$ c) $\frac{5.731}{1.000}$ d) $\frac{5.731}{100}$ e) $\frac{71}{10.000}$

Calcule las siguientes expresiones:

3) $0{,}1 + \frac{1}{3} + (2 + \frac{4}{15}) - (\frac{2}{25} + 0{,}4 - 0{,}12) - \frac{17}{50}$

4) $(5{,}7 - 5{,}6) + \frac{34}{15} + \frac{1}{3} - (\frac{1}{18} + 0{,}5 - 0{,}3)$

5.6 Conversión de fracciones ordinarias a números decimales

Transforme las siguientes fracciones en números decimales:

1) $\frac{3}{4}$ 2) $\frac{4}{11}$ 3) $\frac{5}{6}$

Puesto que una fracción indica una división del numerador por el denominador, se tiene:

1) $\frac{3}{4} \longrightarrow$

$$\begin{array}{l|l} 3 & 4 \\ \hline 30 & 0,75 \\ \quad 20 & \\ \quad\ \ 0 & \end{array}$$

$\frac{3}{4} = 0,75$ *es un decimal exacto*

2) $\frac{4}{11} \longrightarrow$

$$\begin{array}{l|l} 4 & 11 \\ \hline 40 & 0,3636 \\ \quad 70 & \\ \quad\ \ 40 & \\ \quad\quad 70\ldots & \\ \quad\quad\ \ 4\ldots & \end{array}$$

Por lo tanto $4/11 = 0,3636\ldots$ es un decimal no exacto; más precisamente, es una décima periódica simple.

El periodo es *36*. El *periodo,* entonces, es el número formado por una o más cifras que se repiten en la parte decimal.

La décima periódica es simple cuando el periodo se inicia seguidamente a la parte entera. Por ejemplo:

$0,414141\ldots. = 0,\overline{41}$ *es una décima periódica simple*

$2,333\ldots.. = 2,\overline{3}$ *es una décima periódica simple*

3) $\frac{5}{6} \longrightarrow$

$$\begin{array}{l|l} 5 & 6 \\ \hline 50 & 0,8333\ldots \\ \quad 20 & \\ \quad\ \ 20 & \\ \quad\quad 20 & \\ \quad\quad\ \ 2 & \end{array}$$

$\frac{5}{6} = 0,8333\ldots = 0,\overline{83}$ es una décima periódica compuesta

En efecto; *0,83* tiene el periodo *3* y la parte no periódica *8*.

Se acostumbra representar las décimas con los siguientes símbolos:

$0,3636\ldots. = 0,\overline{36}$ *ó* $0,(36)$

$5,333\ldots = 5,\overline{3}$ *ó* $5,(3)$

$4,2414141\ldots. = 4,\overline{241}$ *ó* $4,2\ (41)$

La coma (,), el trazo (¯) o incluso los paréntesis indican el periodo.

5.7 Condiciones para que una fracción se convierta en decimal exacto o no

Una fracción se convierte en decimal exacto cuando se puede escribir bajo la forma equivalente cuyo denominador sea una potencia entera de *10*.

En efecto: $\frac{3}{4} = \frac{3 \times 25}{4 \times 25} = \frac{75}{100} = 0,75$

Como $10 = 2 \times 5$ y entonces $100 = 2 \times 5 \times 2 \times 5$, podemos afirmar:

1) Una fracción ordinaria se convierte en decimal exacto cuando su denominador contiene solo los factores *2* y *5*, o solo *2* ó solo *5*.

Ejemplo: $\frac{3}{40}$

como $40 = 2 \times 2 \times 2 \times 5$, entonces, la décima será exacta; en efecto: $3/40 = 0{,}075$.

2) Una fracción ordinaria se convierte en una décima periódica simple cuando su denominador no presenta ninguno de los factores *2* ó *5*.

Ejemplo: $\frac{5}{9}$

como $9 = 3 \times 3$, entonces la décima será periódica simple; en efecto: $5/9 = 0{,}555\ldots = 0{,}5$.

3) Una fracción ordinaria se convierte en una décima periódica compuesta cuando su denominador contiene cualquiera de los factores *2* ó *5* (o ambos) y otros factores primos cualesquiera.

Ejemplo: $\frac{5}{12}$

como $12 = 2 \times 2 \times 3$, la décima será compuesta; en efecto: $5/12 = 0{,}4166\ldots = 0{,}416$.

Entonces, surge el siguiente problema:

5.8 Fracciones generatrices de las décimas periódicas

La fracción generatriz de una décima es aquella que al ser transformada en número decimal dio origen a esa décima.

$\frac{5}{12}$ es la generatriz de la décima $0{,}41666\ldots = 0{,}416$

$\frac{2}{3}$ es la generatriz de la décima $0{,}666\ldots = 0{,}6$

Las generatrices se determinan siguiendo las siguientes reglas:

1) La fracción generatriz de una décima periódica simple es una fracción que tiene como numerador el periodo y como denominador tantos nueves como cifras tenga ese periodo.

Ejemplos:

Encontrar las generatrices de las siguientes décimas:

1) $0{,}3 = \frac{3}{9} = \frac{1}{3}$ 2) $0{,}36 = \frac{36}{99} = \frac{4}{11}$

3) $2{,}5 = 2\,\frac{5}{9}$

2) La generatriz de una décima periódica compuesta es una fracción en la cual el numerador está formado por la parte no periódica seguida del periodo menos la parte no periódica y el denominador tiene tantos nueves como cifras tenga el periodo, seguidos de tantos ceros como cifras tenga la parte no periódica.

Ejemplos:

Determinar las siguientes generatrices:

$$1)\ 2{,}4222\ldots = 2{,}42 = 2\,\frac{42-4}{90} = 2\,\frac{38}{90} = 2\,\frac{19}{45}$$

$$2)\ 5{,}32121\ldots = 5{,}321 = 5\,\frac{321-3}{990} = 5\,\frac{318}{990} = 5\,\frac{53}{165}$$

Observación: en los ejemplos anteriores o incluso en las reglas enunciadas, no hacemos referencias a la parte entera del número decimal periódico. Es conveniente dejar siempre esa parte como parte entera del número mixto que se va a obtener. Se tiene entonces:

$$3{,}4222 = 3{,}42 = 3\,\frac{42-4}{90} = 3\,\frac{38}{90} = 3\,\frac{19}{45}$$

6. CONJUNTO DE LOS NÚMEROS RACIONALES RELATIVOS (Q)

En los conjuntos estudiados hasta el momento, la operación $a - b$ solo es posible cuando a es mayor que b.

Ahora estudiaremos un conjunto en el cual esta operación siempre será posible; es decir, nos va a dar respuesta para casos como el siguiente:

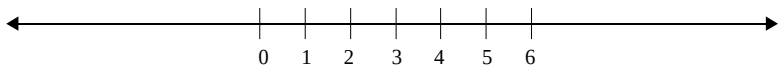
$$3 - 5 \ \text{ó}\ \frac{3}{10} - \frac{1}{2}$$

A este conjunto lo llamamos *racionales relativos*, y lo simbolizamos con la letra Q. Antes de continuar, haremos algunas reflexiones sobre la recta numérica.

La recta numérica

La idea de número es abstracta. La civilización humana necesitó siglos para desarrollar un buen sistema de números. Mientras el hombre aún no profundizaba en el conocimiento de los números y en su uso, se utilizaron muchos esquemas. El método más acertado para esta representación fue el uso de la recta numérica.

Supongamos que la siguiente recta se extiende indefinidamente hacia los extremos. Elegimos cualquier punto de la recta y lo señalamos con *0*.



Seguidamente, elegimos otro punto a la derecha de *0* y escribimos *1*, lo cual determina una unidad de longitud de *0* a *1*.

Partimos de *0* y colocamos esta unidad repetidamente de izquierda a derecha a lo largo de la recta numérica. Lo cual determina la localización de los puntos correspondientes a los siguientes números naturales: *2, 3, 4, 5, 6, 7…*

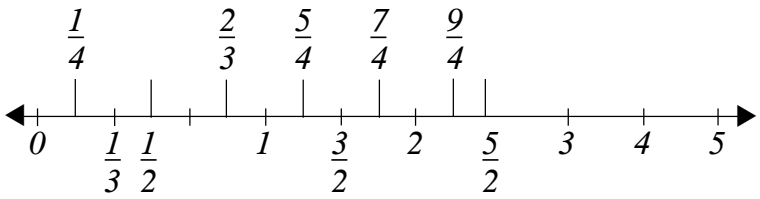
Colocamos el número *1/2* en el punto medio entre *0* y *1*.

Al colocar este segmento de longitud, mitad del segmento unitario, determinamos nuevamente los puntos adicionales correspondientes a

1/2, 3/2, 5/2…. Luego, con un largo de un tercio del segmento unitario y marcando esta longitud sucesivamente a la derecha de *0*, colocar los puntos *1/3, 2/3, 4/3, 5/3*…

De la misma manera, vamos a colocar en la recta numérica los puntos a la derecha de *0* correspondientes a las fracciones que tienen denominadores *4, 5, 6, 7, 8*…

Algunas de estas fracciones aparecen en la siguiente figura.



Mediante este proceso natural, colocamos cada número racional en un punto de la recta. Cada número racional se coloca en un solo punto de ella. Así, establecemos una correspondencia biunívoca entre los números racionales y algunos puntos de la recta.

Decimos que el punto correspondiente al número *2* en la recta numérica es el punto *2*. Debido a esta correspondencia entre número y punto, cada punto recibe el nombre del número que le corresponde. Esta es una de las grandes ventajas de la recta numérica.

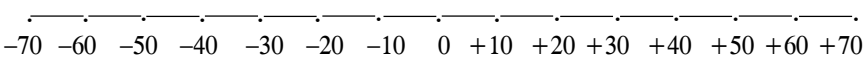
6.1 Números racionales negativos

En la explicación que acabamos de realizar sobre la recta numérica, nos olvidamos de algo muy importante: no marcamos los puntos a la izquierda del cero. Solo utilizamos el segmento de recta comprendido entre el origen y el sentido positivo. Para recordar cómo marcar

estos puntos (y porque es de nuestro interés), veamos un ejemplo común, relacionado con la temperatura.

Una recta numérica que representa a la temperatura, tal como la vemos en el termómetro, por lo general es similar a la siguiente recta numérica:

Temperaturas en grados centígrados



En esta recta numérica, las temperaturas menores que cero están representadas por números a la izquierda del punto de origen y se designan con el símbolo "−". Las temperaturas mayores que cero se identifican con el signo "+". Por consiguiente, *−10* se refiere a una temperatura de 10 grados bajo cero (a la izquierda del cero). En realidad, *sobre cero* y *bajo cero* son términos que parecen más adecuados para usarlos cuando la escala es vertical.

Esta idea de distancia (o de puntos) a lo largo de una recta a los lados opuestos de un punto fijo aparece frecuentemente en el tipo de estudio que realizamos. Piense en lo frecuente que es hablar de distancias hacia la izquierda o hacia la derecha, ubicaciones al norte o al sur de un punto dado (o de un número) o de distancias medidas en sentidos opuestos a partir de un punto dado (o de un número). Todos estos ejemplos sugieren la necesidad de una recta numérica que utilice puntos tanto hacia la izquierda como hacia la derecha del punto de inicio.

Comenzamos con la recta numérica para racionales positivos, que ya hemos utilizado. Con la misma unidad de longitud, medimos distancias a la izquierda de cero como lo mostramos en la siguiente recta:

–6	–5	–4	–3	–2	–1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6

Colocamos *– 1* como opuesto a *+1* porque es una unidad ubicada a la izquierda del cero. De la misma forma, *–2* es opuesto a *+2; –1/4* está situado al lado opuesto de *+1/4*, etcétera….

Llamamos a los números opuestos que corresponden a los puntos que están hacia la izquierda del cero *números negativos*.

Cada número negativo está a la izquierda del cero y corresponde al número positivo opuesto. Este sentido 'hacia la izquierda' se llama *sentido negativo*.

Representamos a los números negativos de la siguiente manera: *–1, –2, –1/4, –3/2*, etcétera, con el signo "–" a la izquierda del número. Leemos *–2* como "2 negativo".

El símbolo negativo ("–") indica que este número es menor que cero; esto es, que está a la izquierda del cero. Algunas veces señalamos que un número es positivo (mayor que cero) escribiendo el signo "+" delante del número. Sin embargo, no es necesario señalarlo, puesto que la escritura puede simplificarse.

Los nuevos números introducidos mediante este proceso son los números racionales negativos. El conjunto constituido por los números racionales negativos, por los números racionales positivos y el cero se llama *conjunto de los números racionales*.

El conjunto de números racionales que consiste en los enteros positivos, los enteros negativos y el cero se llama *conjunto de los números enteros relativos*. Por lo general, escribimos dicho conjunto de la siguiente manera:

$$Z = \{\ldots -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\ldots\}$$

Es de notar que el conjunto de los enteros esta formado solo por los números naturales y sus opuestos juntamente con el cero.

Ejemplos:

Los números negativos son tan reales y tan útiles como los positivos que ya hemos utilizado. En efecto, muchas veces los utilizamos sin llamarlos *números negativos*. Su utilidad especial está en designar la idea de 'opuesto' o 'directamente opuesto' que hemos mencionado.

Utilizamos números positivos para designar distancias al este de Brasilia. Los números negativos señalarán las distancias al oeste de Brasilia. Una recta numérica como la siguiente

–400	–300	–200	–100	0	+100	+200	+300	+400

Distancia de Brasilia en kilómetros

puede ser utilizada para señalar la posición de un avión que vuela en la ruta este-oeste de Brasilia. ¿Cómo sería interpretada la recta numérica para un avión que vuela en la ruta norte-sur?

El tiempo previo y posterior al lanzamiento de un satélite puede ser indicado en una recta numérica de la siguiente manera:

Segundos antes del lanzamiento — Segundos después del lanzamiento

–6	–5	–4	–3	–2	–1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6

Debe notarse que la recta numérica que utilizamos no necesita ser colocada horizontalmente. Si hablamos de altitud sobre el nivel del

mar como algo positivo y de altitud bajo el nivel del mar como algo negativo, sería más adecuado utilizar una recta numérica en posición vertical.

6.2 Números relativos simétricos u opuestos

Dos números relativos son simétricos cuando sus imágenes sobre la recta numerada están colocadas en segmentos de recta opuestos y en la misma distancia en relación con el punto 0. Por consiguiente, $+3$ y -3 son simétricos y $+7$ y -7 también.

Cualquier número positivo es mayor que un número negativo; de lo cual se deduce que $+3$ es mayor que su simétrico -3. Esta desigualdad también puede ser representada de la siguiente manera: $+3 > -3$.

6.3 Valor absoluto de un número relativo

El valor absoluto de un número o módulo de dicho número es el mayor valor del conjunto formado por él y su simétrico u opuesto.

Ejemplos:

El valor absoluto de -3 es el mayor valor entre $\{+3$ y $-3\}$, que es $+3$. Esto también se escribe: $|-3| = +3$; y se lee: "módulo de -3 igual a $+3$".

Si dos números negativos son diferentes, el mayor de ellos es aquel que tiene menor valor absoluto. También podríamos decir que el mayor entre dos números negativos es aquel que está más cerca del cero. Con los números positivos sucede lo contrario: el mayor es el que está más alejado del cero.

6.4 Operaciones con números relativos

La adición y sustracción se definen simultáneamente mediante dos reglas referentes a dos elementos de las operaciones.

Primera regla

Cuando los dos elementos tienen el mismo signo, se suman los valores absolutos y se da al resultado el signo común.

Ejemplos: 1) $+3 + 2 = +5$ 2) $-1 - 5 = -6$

3) $\frac{+1}{2} + \frac{+2}{5} = \frac{+5 + 4}{10} = \frac{+9}{10}$

Segunda regla

Cuando los dos elementos tienen signos diferentes, se restan los valores absolutos y se da al resultado el signo del mayor elemento como valor absoluto.

Ejemplos: 1) $\frac{+2}{3} - \frac{1}{4} = \frac{+8}{12} - \frac{3}{12} = \frac{+5}{12}$

2) $-10 + 9 = -1$

La multiplicación y la división tienen también dos reglas:

Primera regla

Cuando dos elementos tienen el mismo signo, se efectúa la operación indicada (multiplicación o división, según el caso) y se da al resultado el signo positivo (+).

Ejemplos: 1) $\left(\frac{+1}{4}\right) \times \left(\frac{+2}{3}\right) = \frac{+1}{6}$

2) $(-8) : (-4) = +2$

Segunda regla

Cuando los dos elementos tienen signos contrarios, se efectúa la operación (multiplicación o división) y se da al resultado el signo negativo (–).

Ejemplos: 1) $\frac{(-2)}{7} : \frac{(+14)}{5} = \frac{(-2)}{7} \times \frac{(+5)}{14} = \frac{-5}{49}$

2) $(+5) \times (-15) = -75$

6.5 Eliminación de paréntesis precedidos por signos (+) o (–)

Queda por resolver, en el cálculo de los enteros relativos, cómo se eliminan los paréntesis precedidos por signos: – (–3); – (+3); + (–3); + (+3).

Basta recordar que a y $+a$ son el mismo número y a y $-a$ son números simétricos.

Por ejemplo, si llamamos a $+4 = a$ y a $-5 = b$, tenemos que

$+a = a$ $\quad$ $+(+4) = +4$ ó

$+b = b$ $\quad$ $+(-5) = -5$

Análogamente, como $-a$ es el simétrico de a, $-(+4) = -4$

como $-b$ es el simétrico de b, $-(-5) = +5$

Conclusión:

Se elimina un paréntesis teniendo en cuenta lo siguiente:

a) Cuando el paréntesis de inicio está precedido por el signo positivo, se conserva el signo del número que está dentro de los paréntesis.

b) Cuando el paréntesis de inicio está precedido por el signo negativo, se cambia el signo del número que está dentro de los paréntesis.

Ejemplos: 1) $+(+3) = +3$ $\quad$ 3) $+(-5) = -5$

2) $-(+3) = -3$ $\quad$ 4) $-(-3) = +3$

Observación: en la práctica, se procede como si se estuviera aplicando la regla de la multiplicación de números relativos.

Por ejemplo: 1) $+(+5) = +5$ $\quad$ 3) $+(-1) = -1$

2) $-(+2) = -2$ $\quad$ 4) $-(-2) = +2$

Ejercicios:

Eliminar los paréntesis y efectuar las operaciones siguientes:

1) $(-1) + \frac{(+1)}{3} + \frac{(-2)}{5} + (-0,1)$

2) $\frac{(+7)}{3} + (+0,4) + \frac{(+2)}{3} + \frac{(-2)}{5} + (-3)$

3) $(-15) - (-28)$

Calcular las siguientes expresiones:

4) $-2 - \frac{1}{3} + \frac{1}{2} - 0,2$

5) $-2 + \frac{1}{3} - \frac{1}{2} + \frac{1}{5}$

6) $\frac{-1}{3} + 1 + 0,2 - 0,10 - 0,666\ldots$

7) $\frac{-5}{6} - \left[3 + (\frac{7}{10} - 5 - \frac{3}{4}) - \frac{11}{24}\right]$

8) $+8 - \left\{- \left[-2 + \frac{1}{2} - (+ 2 - \frac{6}{5}) \right]\right\}$

9) $-2 + \left\{- 1 + \left[+ \frac{1}{5} - \frac{1}{2} - (0,1 + \frac{1}{5}) - 3\right] - \frac{2}{5} + 1\right\}$

10) $(-3) \times (- \frac{2}{-3}) \times (- \frac{1}{2})$

11) $(\frac{-3}{4}) \times (-2) \times (\frac{+5}{3}) \times (\frac{-1}{8})$

12) $(+3 - \frac{1}{4}) \times (\frac{-2}{3})$

13) $(-1 + \frac{2}{4}) \times (+ 1 - \frac{3}{4})$

14) $(0,5) \times (-0,2) \times (\frac{-3}{4}) \times (-0,222\ldots)$

15) $(-3) \times (\frac{-5}{6}) \times (\frac{1}{10} - 2)$

16) $(-3) \times (4 - \frac{7}{2}) \times (\frac{3}{4} - \frac{1}{3} - \frac{1}{12})$

17) $(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} - \frac{1}{4}) \times (\frac{1}{4} - \frac{1}{3} - \frac{1}{2})$

18) $(\frac{9}{35} - \frac{18}{25} - \frac{27}{25}) : \frac{9}{105}$

19) $(-9) : (\frac{3}{8} - \frac{7}{20} - 1)$

20) $(\frac{-3}{5}) : (- 1 + \frac{2}{3} - 0,1)$

21) $(1 + \frac{1}{5} - 2,5) \times (1 - \frac{2}{3})$

22) $(1 - 0,333\ldots) : (\frac{1}{2} - 1)$

23) $(\frac{3}{4} - \frac{1}{10}) : \frac{3}{8} \left[- \frac{5}{12} - (3 - \frac{1}{2}) + 2\right]$

Ordenar en orden creciente:

24) $-3;\ -7;\ +2;\ 0;\ -4;\ -1;$

25) $+\frac{1}{3}\ ;\ +\frac{2}{5}\ ;\ 0{,}5;\ -2;\ \frac{-3}{4}$

26) $-0{,}363636\ldots;\ \frac{-3}{11};\ -0{,}38;\ +0{,}3$

Complete las siguientes tablas:

27)

x	$1/2\ x$
4	
	1
0	
-2	
	-2
-5	
-6	
	10

28)

x	$2\ x$	$2\ x - 3$
-1		
2		1
-4	-8	
	0	
-7		
-9		-21

7. OPERACIÓN DE POTENCIACIÓN

Podemos definir la potenciación del siguiente modo:

Sea a un número racional y n un natural mayor o igual a 2; se define a^n como el producto de n factores iguales al número a.

$$\underbrace{a^n = a \times a \times a \times \ldots\ldots\ldots\ldots \times a}_{n\ factores}$$

a = *base*
n = *exponente*
El resultado se llamará *potencia*.

Ejemplos: 1) $(-2)^3 = (-2) \times (-2) \times (-2) = -8$

2) $(-\frac{1}{5})^2 = (-\frac{1}{5}) \times (-\frac{1}{5}) = \frac{1}{25}$

Esta definición permite inferir reglas de signos para las potencias, como las que se dan a continuación:

1) $(+3)^2 = (+3) \times (+3) = +9$

2) $(+3)^3 = (3) \times (+3) \times (+3) = +27$

3) $(\frac{1}{5})^3 = \frac{1}{5} \times \frac{1}{5} \times \frac{1}{5} = \frac{1}{125}$

4) $(-3)^2 = (-3) \times (-3) = +9$

5) $(-3)^3 = (-3) \times (-3) \times (-3) = -27$

6) $(\frac{-1}{5})^3 = (\frac{-1}{5}) \times (\frac{-1}{5}) \times (\frac{-1}{5}) = \frac{-1}{125}$

Se infiere lo siguiente:

Todo número positivo elevado a cualquier exponente, par o impar, presentará siempre un resultado positivo.

Todo número negativo elevado a un exponente par, presenta un resultado positivo. Cuando un número negativo es elevado a un exponente impar, el resultado es negativo.

7.1 Propiedades de las potencias que poseen una misma base

Siempre vamos a tomar las potencias a^n; en las que a es racional y n es natural, con las convenciones usuales:

$$a^0 = 1 \qquad y \qquad a^1 = a$$

Primera propiedad

$$\boxed{a^3 \times a^2 = a^{3+2} = a^5}$$

Comprobación

$$\left.\begin{array}{l} a^3 = a \times a \times a \\ a^2 = a \times a \end{array}\right\} = a^3\, a^2 = a \times a \times a \times a \times a = a^{3+2} = a^5$$

Luego:

$$\boxed{a^3 \times a^2 = a^5}$$

Es decir que para multiplicar la potencia de la misma base a se da como resultado la base común a, y como exponente, la suma de los exponentes.

Ejemplos:

1) $\left(\frac{1}{2}\right)^3 \times \left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = \left(\frac{1}{2}\right)^{3+1+4} = \left(\frac{1}{2}\right)^8$

2) $\left(\frac{-2}{5}\right)^2 \times \left(\frac{-2}{5}\right) = \left(\frac{-2}{5}\right)^{2+1} = \left(\frac{-2}{5}\right)^3$

Segunda propiedad

$$\boxed{a^5 : a^2 = a^{5-2} = a^3}$$

Comprobación:

$$\left.\begin{array}{l} a^5 = a \times a \times a \times a \times a \\ a^2 = a \times a \end{array}\right\} \quad a^5 : a^2 = \frac{a \times a \times a \times \cancel{a} \times \cancel{a}}{\cancel{a} \times \cancel{a}}$$

Luego:

$$\boxed{a^5 : a^2 = a^3}$$

Esto significa que para dividir potencias que tienen una misma base, se da como resultado la base común a, y como exponente, la diferencia entre el exponente del dividendo y el exponente del divisor.

Ejemplos:

1) $a^4 : a = a^{4-1} = a^3$

2) $\left(\frac{2}{3}\right)^5 : \left(\frac{2}{3}\right)^4 = \left(\frac{2}{3}\right)^{5-4} = \frac{2}{3}$

Tercera propiedad

$$\boxed{(a^3)^2 = a^{3 \times 2}}$$

Comprobación:

$$(a^3)^2 = a^3 \times a^3 \longrightarrow a^{3+3} \longrightarrow a^{3 \times 2} \longrightarrow a^6$$

Luego:

$$\boxed{(a^3)^2 = a^6}$$

Entonces:

Para elevar una potencia a otra, se eleva la misma base al producto de los exponentes parciales.

Ejemplos:

1) $(a^2)^5 = a^{10}$

2) $[\,(-2)^3\,]^2 = (-2)^{3 \times 2} = (-2)^6$

Cuarta propiedad

$$\boxed{(a \times b \times c)^3 = a^3 \times b^3 \times c^3}$$

Comprobación:

$(a \times b \times c)^3 = (a \times b \times c) \times (a \times b \times c) \times (a \times b \times c) =$

$a \times a \times a \times b \times b \times b \times c \times c \times c$. O, lo que es lo mismo,

$$\boxed{(a \times b \times c)^3 = a^3 \times b^3 \times c^3}$$

Luego:

Para elevar un producto a un exponente dado, se eleva cada factor a dicho exponente.

Ejemplos:

1) $(2 \times 5)^3 = 2^3 \times 5^3$

2) $(a \times b^2 \times c^3)^2 = a^2 \times (b^2)^2 \times (c^3)^2 = a^2 \times b^4 \times c^6$

3) $(3\,a\,b^2)^4 = 3^4 \times a^4 \times b^8 = 81\,a^4b^8$

Quinta propiedad

$$\boxed{a^{-2} = \frac{1}{a^2}}$$

Comprobación:

$a^3 : a^5 = a^{3-5} = a^{-2}$ (por la segunda propiedad)

Pero $a^3 : a^5 = \dfrac{\cancel{a} \times \cancel{a} \times \cancel{a}}{\cancel{a} \times \cancel{a} \times \cancel{a} \times a \times a} = \dfrac{1}{a^2}$

Luego:

$$\boxed{a^{-2} = \frac{1}{a^2}}$$

Donde:

Todo número elevado a un exponente negativo es igual al inverso de la base elevada al mismo exponente, con el signo cambiado.

Ejemplos:

1) $x^{-3} = \frac{1}{x^3}$ 2) $(a^2)^{-3} = a^{-6} = \frac{1}{a^6}$

3) $2^{-1} = \frac{1}{2}$ 4) $(\frac{-2}{3})^{-2} = (\frac{-3}{2})^2$

5) $(\frac{1}{5})^{-3} = 5^3$

La expresión 0^0 no tiene significado.

Ejercicios:
Efectuar lo siguiente:

1) $(-1)^3 \times (-1)^{-5}$

2) $(-3)^2 \times (-3) \times (-3)^3 \times (-3)^0$

3) $a^m \times a^n$ con $(a \neq 0)$

4) $[(-2)^{-1}]^5$

5) $[(-15)^0]^8$

6) $[(-2)^3]^4$

7) $[(-3) \times (+2)]^4$

8) $[(+8)^2 \times (-1)^8]^{125}$

9) $[(-8) : (+4)^2]$

10) $[(-1)^2 : (+1)^8]^{125}$

11) $[(7)^2 + (3)^3 + (-1)^8] \times (-2)^2 \times (-3)^0$

12) $(0,2)^2 + (1 - \frac{1}{4})^2 - (1 - 0,2)^2$

13) $[(1 - \frac{2}{3})^2]^5$

14) $[(0,5 - 0,1)^3 - (1 - \frac{1}{5})^2]$

15) $(\frac{-17}{15} + 0,4)^2 \times (-2) - \frac{1}{6} \times (\frac{-2}{3} + \frac{1}{2} - 2)^2$

8. LA EXTRACCIÓN DE RAÍCES COMO OPERACIÓN INVERSA A LA POTENCIACIÓN

1) Como $\left.\begin{array}{l}(-3)^2 = 9 \\ \text{ó} \quad 3^2 = 9\end{array}\right\} \longrightarrow$ 3 ó -3 son números cuyo cuadrado es 9.

2) Como $\left.\begin{array}{l}(-5)^2 = 25 \\ 5^2 = 25\end{array}\right\} \longrightarrow$ 5 ó -5 son números cuyo cuadrado es 25.

Pero si tuviéramos:

1) $x^2 = 9\} \longrightarrow$ formularíamos la siguiente pregunta: "¿Cuál o cuáles son los números cuyo cuadrado es 9?"

La pregunta anterior se escribe de la siguiente manera:

$x^2 = 9$ $\quad \sqrt[2]{9}$ $\quad$ ó $\quad \sqrt{9}$

Además, se sabe que $\sqrt{9} = 3$ ó -3

Igualmente:

2) $x^2 = 25 \longrightarrow$ "¿Cuál o cuáles son los números cuyo cuadrado es 25?"

Se escribe: $x^2 = 25 \longrightarrow \sqrt[2]{25}$ ó $\sqrt{25}$

Además, se sabe que $\sqrt{25} = 5$ ó -5

Esto se lee $\sqrt{9} = \pm 3$; la raíz cuadrada de 9 es $+3$ ó -3.

En $\sqrt[2]{25} = \pm 5$ $\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ es el índice; } \sqrt{} \text{ es el radical; } 25 \text{ es el} \\ \text{radicando y } \pm 5 \text{ son las raíces.} \end{array} \right.$

Ejemplos:

1) $x^3 = 8 \longrightarrow \sqrt[3]{8} = 2;\ (2)^3 = 8$
2) $x^3 = -8 \longrightarrow \sqrt[3]{-8} = -2;\ (-2)^3 = -8$
3) $y^4 = 81 \longrightarrow \sqrt[4]{81} = +3;\ (+3)^4 = 81$
4) $w^5 = -32 \longrightarrow \sqrt[5]{-32} = -2;\ (-2)^5 = -32$

Conclusiones:

Cuando el índice de la raíz es par, siempre encontraremos dos raíces simétricas y el problema solo será posible si el radicando es positivo. Por ejemplo, ¿cuál será la raíz de -16?

$$\sqrt[2]{-16} = x \quad \text{tal que} \quad x^2 = -16$$

Esta operación es imposible, porque cualquier número $(\neq 0)$ elevado al cuadrado da siempre un resultado positivo, lo cual siempre sucede con los exponentes pares, según las reglas ya vistas de potenciación.

Cuando el índice es impar solo encontraremos una raíz negativa o positiva dependiendo de si el radicando es negativo o positivo.

En este estudio nos basaremos en las raíces cuadradas más frecuentes.

8.1 Los cuadrados perfectos

Se llama *cuadrados perfectos* a aquellos que tienen raíz cuadrada exacta. Veamos el siguiente cuadro:

$\sqrt[A]{A}$	1 ± 1	4 ± 2	9 ± 3	16 ± 4	25 ± 5	36 ± 6	49 ± 7	64 ± 8	81 ± 9

Son cuadrados perfectos menores que 100.

Sin embargo, existen números que no presentan raíz cuadrada exacta, como los siguientes:

$\sqrt{2}$, $\sqrt{5}$, $\sqrt{7}$, $\sqrt{15}$, *etcétera*

Estos se llaman *números irracionales*.

Todo número irracional tiene infinitas cifras decimales. Las cifras decimales infinitas de un número irracional no son periódicas.

8.2 Técnica del cálculo de la raíz cuadrada de los números absolutos

Con el fin de desarrollar los procesos de cálculo de la raíz cuadrada, vamos a limitarnos al conjunto de los números racionales absolutos *(Qa)*.

En este campo, daremos los siguientes cuadrados perfectos menores que 100.

CUADRADOS PERFECTOS	1	4	9	16	25	36	49	64	81
RAÍCES	1	2	3	4	5	6	7	8	9

y examinaremos en primer lugar la raíz cuadrada de los números menores que *100* por defecto o por exceso.

Para calcular $\sqrt{40}$, basta encuadrar el número *40* entre los dos cuadrados perfectos del cuadro que sean inmediatamente menor y mayor que *40*.

$$36 < 40 < 49 \quad ó \quad 6 < \sqrt{40} < 7$$

Se define:

$6 = \sqrt{40}$, por defecto, con error menor que la unidad.

$7 = \sqrt{40}$, por exceso, con error menor que la unidad.

Raíz cuadrada de los números mayores que *100*, por defecto, con error menor que la unidad.

Calcular las raíces:

$\sqrt{3.028}$ $\qquad$ $\sqrt{15.129}$

Primer paso

Se divide el número dado en clases de dos cifras desde la derecha hacia la izquierda y se separa el radical del lugar destinado a la raíz.

$$\begin{array}{l|l} \sqrt{30.28} & \underline{Raíz} \\ & \end{array} \qquad \begin{array}{l|l} \sqrt{1.51.29} & \underline{Raíz} \\ & \end{array}$$

La primera clase puede tener una o dos cifras, como en los ejemplos anteriores.

Segundo paso

Se encuentra el cuadrado perfecto mayor que pueda sustraerse de la primera clase; se efectúa la substracción.

La raíz de ese cuadrado perfecto se coloca en el lugar destinado a la raíz y el doble de esta se coloca bajo la línea destinada a la raíz.

$$\begin{array}{l|l} \sqrt{30.28} & \underline{5} \\ -\underline{25} & 10 \\ \quad 5 & \end{array} \qquad \begin{array}{l|l} \sqrt{1.51.29} & \underline{1} \\ -\underline{1} & 2 \\ \quad 0 & \end{array}$$

Tercer paso

Se baja el siguiente orden que, con la diferencia anterior, va a formar un nuevo número.

$$\begin{array}{l|l} \sqrt{30.28} & \underline{5} \\ -\underline{25} & 10 \\ \quad 528 & \end{array} \qquad \begin{array}{l|l} \sqrt{1.51.29} & \underline{1} \\ -\underline{1} & 2 \\ \quad 051 & \end{array}$$

Cuarto paso

Se separa con una coma la última cifra de la derecha en ese nuevo número y se divide lo que quedó a la izquierda de esa coma por el doble de la raíz hasta el momento.

√ 30.28	5
− 25	10
52,8	

√1.51.29	1
− 1	2
05,1	

(52 : 10 ≅ 5) (5 : 2 ≅ 2)

Quinto paso

El cociente aproximado que se obtiene (*5* en el primer caso y *2* en el segundo) se coloca en dos lugares a la derecha de la raíz y a la derecha del doble de la raíz.

√ 30.28	55
− 25	105
52,8	

√1.51.29	12
− 1	22
05,1	

Sexto paso

Con el cociente obtenido (*5* en el primer caso y *2* en el segundo) se multiplican los números *105* y *22*, respectivamente. El producto obtenido se sustrae del nuevo número que se obtiene.

√ 30.28	55
− 25	105 x 5 = 525
52,8	
52,5	
3	

√1.51.29	12
− 1	22 x 2 = 44
05,1	
− 4 4	
7	

En el ejemplo presentado la raíz es *55* y la diferencia *3*. Por lo tanto, *√3.028 = 55*; por defecto, menor que la unidad.

En este ejemplo se baja el siguiente orden y se procede tal como se hizo a partir del cuarto paso en adelante.

√1.51.29	123
− 1	22 x 2 = 44
05,1	243 x 3 = 729
− 4 4	
072,9	
− 72 9	
0	

En el ejemplo de la derecha, obtuvimos una diferencia igual a cero. Por lo tanto, *√15.129 = 123* y el número *15.129* es un cuadrado perfecto.

Este proceso sirve para obtener la raíz cuadrada de cualquier número entero o decimal, como veremos más adelante.

8.3 Límite de la diferencia de una raíz cuadrada. Cómo comprobar la raíz cuadrada

La diferencia de una raíz cuadrada no puede ser mayor que el doble de la raíz hallada.

Para comprobar si una raíz cuadrada es correcta, se debe realizar la siguiente verificación:

1) La diferencia no puede ser mayor que el doble de la raíz.
2) El cuadrado de la raíz más la diferencia debe ser igual al radicando.

Por ejemplo:

$\sqrt{1.53.96}$	124	*Raíz* $= 124$
-1	$22 \times 2 = 44$	
053	$244 \times 4 = 976$	*Diferencia* $= 20$
-44		
0996		*Verificación:* $(124)^2 + 20 =$
-976		$15.376 + 20 = 15.396.$
20		

8.4 Raíces cuadradas de las fracciones ordinarias y de los números decimales

Sabemos que $\left(\frac{2}{3}\right)^2 = \frac{4}{9}$, entonces $\sqrt{\frac{4}{9}} = \frac{2}{3}$ (a)

Por otro lado, como

$2^2 = 4$ .....: $\frac{\sqrt{4}}{\sqrt{9}} = \frac{2}{3}$ (b)

$3^2 = 9$

Comprobando (a) y (b), vemos lo siguiente:

$$\sqrt{\frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{4}}{\sqrt{9}} = \frac{2}{3}$$

Este hecho nos permite afirmar lo siguiente:

La raíz cuadrada de una fracción es igual al cociente entre la raíz cuadrada del numerador y la raíz cuadrada del denominador.

Ejemplos:

$$\sqrt{\frac{25}{36}} = \frac{5}{6}; \quad \sqrt{\frac{100}{225}} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3}; \quad \sqrt{\frac{25}{3}} = \frac{\sqrt{25}}{\sqrt{3}} = \frac{5}{\sqrt{3}}$$

Este último $5/\sqrt{3}$ es una fracción cuyo denominador es irracional. Esta forma no es funcional para el cálculo. Cuando aparece, su denominador debe ser racionalizado. Para ello basta con multiplicar los términos de la fracción por $\sqrt{3}$.

$5/\sqrt{3} = 5 \times \sqrt{3}/\sqrt{3} \times \sqrt{3}$, podemos multiplicar el numerador y el denominador de la fracción por $\sqrt{3}$ puesto que cuando una fracción tiene sus términos multiplicados o divididos por un mismo número, no se altera.

$\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ $\sqrt{(3)^2} = 3$ (vemos que las operaciones de extracción de raíces y de potenciación son inversas y por lo tanto se anulan).

Por lo tanto:

$$\frac{5}{\sqrt{3}} = \frac{5\sqrt{3}}{3}$$

Ejercicios:

Racionalizar los denominadores de las siguientes fracciones:

1) $\frac{2}{\sqrt{2}}$ 2) $\frac{6}{\sqrt{3}}$ 3) $\frac{a}{\sqrt{b}}$ 4) $\frac{c}{\sqrt{c}}$

Observe ahora las siguientes potencias y raíces:

$(0,1)^2 = 0,01$; luego $\sqrt{0,01} = 0,1$
$(0,05)^2 = 0,0025$; luego $\sqrt{0,0025} = 0,05$
$(0,003)^2 = 0,000009$; luego $\sqrt{0,000009} = 0,003$

de lo cual se deduce lo siguiente:

La raíz cuadrada de un número decimal tiene la mitad de las cifras decimales del radical.

1) Calcule $\sqrt{3}$ con un error menor que $0,001$.
En este ejercicio necesitamos una raíz con tres cifras decimales.

Luego el radicando debe tener seis cifras decimales.
Por consiguiente, como $3 = 3,000000$, se tiene lo siguiente:

$\sqrt{3.00.00.00}$	$1,732$
$-\underline{1}$	$27 \times 7 = 189$
200	
$-\underline{189}$	$343 \times 3 = 1.029$
0110.0	$3.462 \times 2 = 6.924$
$-\underline{102\ 9}$	Raíz: $1,732$
$007\ 100$	
$-\ \underline{6.924}$	Comprobación: $(1.732)^2 + 176 = 2.999.824$
$0\ 176$	$+ 176 = 3.000.000$

En la práctica, se ignoran las cifras decimales de $3,000000$ y al resultado se le atribuye la mitad de cifras decimales del radical.

2) Calcule $\sqrt{19,3}$ con un error menor que $0,01$. Debemos aumentar tres ceros al radical, puesto que con cuatro cifras decimales tendremos la raíz aproximada con un error de 0,01. Así, escribimos $19,3 = 19,3000$. Se debe ignorar la coma y atribuir al resultado dos cifras decimales.

$\sqrt{19.30.00}$	439
$-\underline{16}$	$83 \times 3 = 249$
0330	$869 \times 9 = 7.821$
$-\underline{249}$	
0810.0	Raíz: $4,39$
$-\underline{782\ 1}$	
0279	Comprobación: $(439)^2 + 279 = 193.000$

Ejercicios:

1) Calcule la raíz cuadrada exacta de los siguientes cuadrados perfectos:

a)	6.084	b)	33.856	c)	110.889
d)	714.025	e)	866.761	f)	$1.752.976$
g)	$1.030.225$	h)	11.025	i)	$1.234.321$

2) Extraiga la raíz cuadrada aproximada por defecto, según lo requiera cada uno de los siguientes ejercicios:

a) $36,14$ (con un error menor que $0,01$)
b) $16796,2$ (con un error menor que $0,1$)
c) 1234589 (con un error menor que $0,1$)
d) $0,811902$ (con un error menor que $0,001$)

e) *4,0562 (con un error menor que 0,001)*
f) *167,036 (con un error menor que 0,01)*
g) *0,00781 (con un error menor que 0,001)*

9. SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

9.1 Unidades de longitud

Medir quiere decir comparar; medir una longitud determinada significa compararla con otra tomada como unidad de medida. Para que exista uniformidad, se estableció un sistema universal de medida que es el Sistema Métrico Decimal; este sistema se basa en el metro lineal.

Definición: se llama *metro lineal* a la longitud equivalente a la fracción 1/10.000.000 de la distancia que va de un polo hasta la línea ecuatorial medida sobre un meridiano. Dicha longitud calculada se encuentra señalada sobre una barra de metal noble (platino e iridio) que está custodiado en el Museo Internacional de Pesos y Medidas en Sèvres (Francia).

Múltiplos y submúltiplos del metro lineal

Los múltiplos y submúltiplos del sistema métrico decimal tienen nombres que están formados con los siguientes prefijos de origen griego:

kilo- que significa 'mil veces'
hecto- " " 'cien veces'
deca- " " 'diez veces'
deci- " " 'décima parte (1/10)'
centi- que significa 'centésima parte (1/100)'
mili- " " 'milésima parte (1/1.000)'

Es así que tenemos el siguiente cuadro:

MÚLTIPLOS			UNIDAD	SUBMÚLTIPLOS		
Kilómetro	Hectómetro	Decámetro	Metro	Decímetro	Centímetro	Milímetro
(km)	(hm)	(dam)	(m)	(dm)	(cm)	(mm)
1.000 m	100 m	10 m	1 m	0,1 m	0,01 m	0,001 m

Ejemplos:

1) 4,52 km se lee de una de las siguientes formas: "4 kilómetros y 52 centésimos de kilómetros" o "4 kilómetros y 52 decámetros";

2) 123,425 m se lee "123 metros y 425 milésimos de metro" o "123 metros y 425 milímetros".

Transformación de unidades

Los cambios de unidades en el sistema lineal de medidas (medidas de extensión) se basan en el siguiente hecho:

Cada unidad de extensión es 10 veces mayor que la unidad inmediatamente inferior.

Ejemplos:

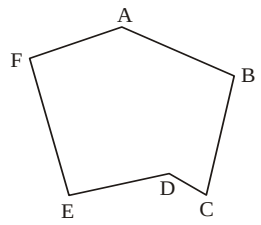
1) *0,02 hm en metros*
   0,02 hm = (0,02 x 100) m = 2 m

2) *54,36 dm en dam*
   54,36 dm = (54,36 : 100) dam = 0,5436 dam

En la práctica, cada vez que se cambia la coma hacia la derecha, la unidad se transforma en la unidad inmediatamente inferior y cuando la coma se cambia hacia la izquierda (o se divide entre 10), la unidad se transforma en la inmediatamente superior.

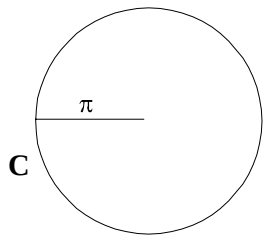
Perímetro de un polígono

El perímetro de un polígono es la suma de las medidas de sus lados.



El perímetro del polígono de al lado será:

$P = AB + BC + CD + DE + EF + FA.$



El cociente entre la longitud de una circunferencia y su diámetro es constante y vale 3,14. Llamamos *C* a la longitud de la circunferencia y *2r* a su diámetro (dos radios). Se representa de la siguiente manera:

$C/2r = 3{,}14$, entonces $C = 2 \times 3{,}14 \times r$.

Por lo general, se representa el número 3,14 mediante la letra π (pi) del alfabeto griego; entonces, la fórmula para obtener el perímetro de la circunferencia es la siguiente:

$$C = 2 \times \pi \times r$$

Ejercicios:

Expresar en metros:

1)	*0,005 hm*	2)	*1,2 km*	3)	*134,2 dm*
4)	$\frac{3}{4}$ *hm*	5)	$1\frac{1}{4}$ *dm*	6)	$\frac{5}{6}$ *km*
7)	$3\frac{3}{8}$ *hm*	8)	$4\frac{1}{6}$ *cm*		

Expresar en dm los siguientes resultados:

1) *2,5 m + (5,4 hm − 48 dam)*
2) *5,28 dm + [85 dam − (4,5 km − 42 hm)]*
3) *4,2 km − [(65 dm + 8,5 m) + (25 dam − 240 m)]*
4) *120 hm − [10 dam − (120 m − 1.120 dam)]*
5) *0,08 hm + [0,05 km + (120 hm − 11,2 km)]*
6) Calcular el perímetro de un polígono de 5 lados, en el cual el lado menor vale 4 dm y los otros son números consecutivos a este.
7) Determinar el perímetro de un rectángulo en el cual uno de los lados vale 12 cm y el otro 5/4 del primero.
8) Si se tiene un triángulo isósceles (que tiene dos lados iguales), cuya suma de la base (lado desigual) con uno de los lados es 28 cm, calcule el perímetro si se toma en cuenta que el lado es el triple de la base.

9) La longitud de una circunferencia es 18,84 cm. Calcule su radio.

9.2 Unidades de área

Superficie de área

Tenemos una idea de lo que es una superficie. Parece ser un concepto intuitivo porque lo conocemos sin necesidad de definirlo. La superficie de la mesa, la de la tarima, etcétera, son superficies planas. La superficie de una pelota de fútbol es esférica.

Se llama *área* al número que mide una superficie en una determinada unidad.

La unidad usada para medir la superficie es el metro cuadrado. Se llama *metro cuadrado* al cuadrado que tiene un metro de lado.

Toda unidad de medida de superficie es 100 veces mayor que la unidad inmediatamente inferior.

MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DEL METRO CUADRADO

MÚLTIPLOS			UNIDAD	SUBMÚLTIPLOS		
Kilómetro cuadrado	Hectómetro cuadrado	Decámetro cuadrado	Metro cuadrado	Milímetro cuadrado	Centímetro cuadrado	Milímetro cuadrado
km^2	hm^2	dam^2	m^2	dm^2	cm^2	mm^2
1.000.000 m^2	10.000 m^2	100 m^2	1 m^2	0,01 m^2	0,0001 m^2	0,000001 m^2

Transformación de las unidades

1) Para convertir un número medido en determinada unidad a la unidad inmediatamente inferior, se lo debe multiplicar por 100 (y mover la coma a la derecha en dos cifras decimales).

2) Para convertir un número medido en la unidad inmediatamente superior, se lo debe dividir entre 100 (y mover la coma a la izquierda en dos cifras decimales).

Unidades agrarias

La medición de tierras se realiza mediante unidades especiales denominadas *unidades agrarias*.

La unidad fundamental es el área (are).

Se llama *área* al cuadrado que tiene diez metros de lado.

Las unidades agrarias se resumen en el siguiente cuadro.

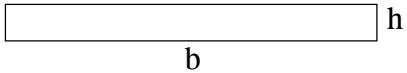
hectárea	–	ha	–	100 a	ó	10.000 m^2
área	–	are	–	1 a	ó	100 m^2
centiárea	–	ca	–	0,01 a	ó	1 m^2

Áreas planas

Estudiaremos a continuación las principales áreas planas.

1) El área del rectángulo es igual al producto de la base por la altura.

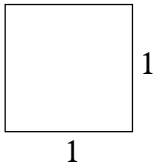
$S = base\ (b) \times altura\ (h)$



Área del cuadrado

El área del cuadrado es igual al cuadrado del lado.

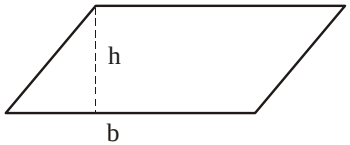
$S = lado^2\ (1^2)$



Área del paralelogramo

El área del paralelogramo es igual al producto de la base por la altura.

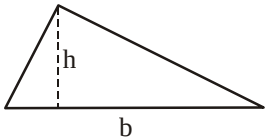
$S = b \times h$



Área del triángulo

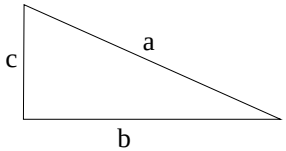
El área del triángulo es igual al semiproducto de la base por la altura.

$$S = \frac{b \times h}{2}$$



Caso particular. Si el triángulo es rectángulo, sus lados tienen nombres propios, según lo señalado. Los lados que forman el ángulo recto son catetos y el tercer lado se llama *hipotenusa*. Los catetos son, indiferentemente, la base y la altura del triángulo.

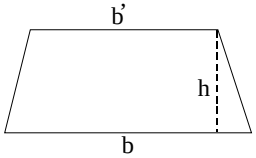
$$S = \frac{b \times c}{2}$$



Área del trapecio

El área del trapecio es igual al producto de la semisuma de las bases por la altura.

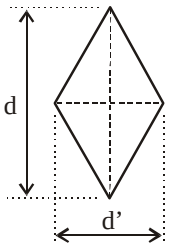
$$S = \frac{(b + b') \times h}{2}$$



Área del rombo

El área del rombo es igual al semiproducto de sus diagonales.

$$S = \frac{d \times d'}{2}$$

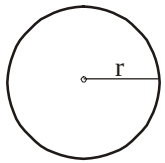


Área del círculo

El área del círculo es igual al producto del número *3,14* por el cuadrado del radio.

$$S = \pi r^2$$

$$\pi = 3,14$$



Ejercicios:

Calcular en metros cuadrados las siguientes dimensiones:

1) $\frac{5}{4}\ dam^2$

2) $1\frac{1}{4}\ dam^2$

3) $(1\frac{1}{3} + 0,2)\ mm^2$

4) $(0,2 + 1\frac{1}{4})\ dm^2$

5) $\frac{3}{5}\ cm^2$

6) $(2\frac{1}{3} + 0,2)\ km^2$

7) $(0,125 + \frac{1}{4})\ km^2$

8) $(0,25 + 1\frac{1}{4})\ km^2$

Efectúe las siguientes operaciones en dm^2:

9) $2,25\ km^2 - (80\ hm^2 - 120\ dm^2)$

10) $0,4\ hm^2 - [5,2\ dam^2 - (8,6\ m^2 - 120\ dm^2)]$

11) $54,5\ dm^2 - [0,04\ m^2 - (12\ dm^2 - 1.100\ cm^2)]$

12) $(2,4\ dam^2 + 120\ dm^2) - (540\ cm^2 + 2,8\ m^2)$

13) El perímetro de un rectángulo es 48 cm y la base es el triple de la altura; determine el área de dicho rectángulo.

14) El perímetro de un cuadrado mide 96 dm. Calcule el área.

15) Calcule el área del rombo cuyas diagonales suman 30 cm, si se sabe que una es el doble de la otra.

16) Calcule el área de un trapecio en el que las bases miden 8 m y 10 m, y la altura es 2/5 de la base mayor.

17) Calcule el área del círculo si se sabe que la longitud es 18,84 dm.

18) La suma de la base y de la altura de un triángulo es 72 cm. Calcule el área del triángulo si se sabe que la base es el doble de la altura.

9.3 Unidades de volumen y de capacidad

Unidades de volumen

La unidad fundamental para medidas de volumen es el metro cúbico. Se llama *metro cúbico* al volumen de un cubo cuya arista mide un metro.

Cada unidad de volumen es 1.000 veces mayor que la unidad inmediatamente inferior.

MÚLTIPLOS			UNIDAD	SUBMÚLTIPLOS		
Kilómetro cúbico	Hectómetro cúbico	Decámetro cúbico	Metro cúbico	Decámetro cúbico	Centímetro cúbico	Milímetro cúbico
km^3	hm^3	dam^3	m^3	dm^3	cm^3	mm^3
1.000.000.000 m^3	1.000.000 m^3	1.000 m^3	1 m^3	0,001 m^3	0,000001 m^3	0,000000001 m^3

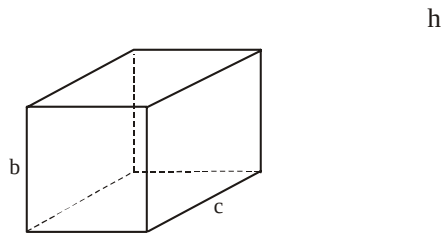
Volumen de los principales sólidos geométricos

En los sólidos, los largos, anchos y alturas se conocen como *aristas*.

Volumen del paralelepípedo rectángulo

El volumen de un paralelepípedo rectángulo es el producto de sus tres dimensiones.

$V = a \times b \times c$
$a = largo$
$b = altura$
$c = profundidad$



Volumen del cubo

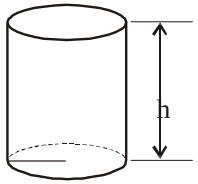
Como el cubo es un paralelepípedo rectángulo de aristas iguales, llamamos a esa arista *a* y se tiene:

$V = a \times a \times a$
$V = a^3$

El volumen del cubo equivale a su arista al cubo.

Volumen del cilindro

$$V = \pi \ r^2 \ h$$

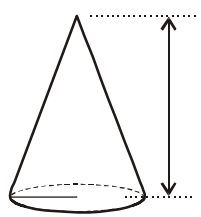


siendo πr^2 el área de la base del cilindro, y h la altura.

Volumen del cono

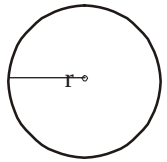
El volumen del cono es la tercera parte del volumen del cilindro que tiene la misma base y la misma altura del cono.

Por lo tanto: $V = \frac{1}{3} \pi \ r^2 \ h$



Volumen de la esfera

$$V = \frac{4}{3} \pi \ r3$$



Ejercicios:

Escriba las siguientes medidas en metros cúbicos:

1) $0,005 \ km^3$ 2) $4,1 \ hm^3$

3) $\frac{3}{2}$ *de* hm^3 4) $1 \frac{1}{4}$ *de* dam^3

5) $(1\frac{1}{8} + 0{,}5)\ dm^3$ 6) $(4\frac{1}{4} + 0{,}5)\ cm^3$

7) $(2\frac{1}{3} + 0{,}2)\ hm^2$ 8) $(3\frac{1}{2} + 0{,}2)\ km^3$

9) Calcular el volumen del cono en el que la suma del radio de la base y la altura es 36 cm, si se sabe que la altura es el triple del radio.

10) Calcular el volumen de un cilindro en el que el radio de la base vale 3 m y la altura es 10 m.

11) Un cubo de 0,80 m de arista está lleno de agua hasta sus 3/4. ¿Cuántos m^3 de agua contiene?

12) Determinar cuál es el volumen de una caja de agua que tiene forma de paralelepípedo, cuyas aristas miden 0,60 m por 0,40 m x 1 m.

Unidades de capacidad

La unidad fundamental para medir la capacidad es el litro, que se abrevia L. Definición:

El litro es el volumen equivalente a un decímetro cúbico.

MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DEL LITRO

MÚLTIPLOS			UNIDAD	SUBMÚLTIPLOS		
Kilolitro	Hectolitro	Decalitro	Litro	Decilitro	Centilitro	Mililitro
(kL)	(hL)	(daL)	(L)	(dL)	(cL)	(mL)
1.000 L	100 L	10 L	L	0,1 L	0,01 L	0,001 L

Definición:

1 L = 1 dm^3

Entonces:	*1 hectolitro*	=	*100 L*	=	*100 dm^3*
	1 litro	=	*1 L*	=	*1 dm^3*
	1 mililitro	=	*0,001 L*	=	*0,001 dm^3*

Ejercicios:

Convierta:

1) *1,4 hL en L*
2) *4.385 mL en dL*
3) *22,5 m^3 en L*
4) *58.450 dL en dam^3*
5) Calcular a cuántos hectolitros corresponde el volumen de 152,4 cm^3.
6) Diga cuántos cm^3 contienen 1.253 dL.
7) Una industria farmacéutica importa 10 frascos de vacunas contra la polio de 5 L cada uno. Si quiere revender la vacuna en frascos de 20 cm^3, ¿cuántos frascos tendrá para vender?

10. RAZONES

Se llama *razón de dos dimensiones del mismo tipo* al cociente que indica los números que miden dichas dimensiones en una misma unidad; por ejemplo, la dimensión entre las medidas de la puerta y de la pared de la sala del aula. Si el ancho de la puerta es de un metro y la medida de la longitud de la pared de 6 m, la razón entre estas medidas será 1/6, que se lee: “uno es a seis”.

Si se tiene la razón a/b también podemos escribirla de la siguiente forma: $a : b$ y se lee "a es a b".

Los términos a y b de la razón se llaman *antecedente* y *consecuente,* respectivamente.

$a \longrightarrow$ *antecedente*
$b \longrightarrow$ *consecuente*

Las razones $a : b$ y $b : a$ se llaman *inversas*.

Por ejemplo,

1 : 4 y 4 : 1 son inversas.

Se deduce lo siguiente:

Dos razones son inversas cuando el antecedente de una es igual al consecuente de la otra.

10.1 Propiedad fundamental de las razones

Si se multiplican o dividen los términos de una razón por un mismo número diferente de cero, se obtiene una razón equivalente a la razón dada.

Ejemplo:

Obtenga razones equivalentes a la razón $\frac{6}{8}$

$$\frac{6}{8} = \frac{6 : 2}{8 : 2} = \frac{3}{4} \qquad \frac{6}{8} = \frac{6 \times 3}{8 \times 3} = \frac{18}{24}$$

Ejercicios:

Determine los valores de las siguientes razones:

1) $(1 + \frac{1}{3}) : 0,4$

2) $[(\frac{9}{2})^2 \times \frac{1}{4}] : (3 - \frac{1}{8})$

3) $(a + \frac{1}{2}) : (a - \frac{1}{2})$

Determine el antecedente de las siguientes razones, si se sabe que:

4) el consecuente es 5 y la razón vale $\frac{3}{2}$

5) el consecuente es $(2 - 1\frac{1}{4})$ y la razón es $(4 + \frac{2}{3})$

11. PROPORCIONES

Se llama *proporción* a la expresión de igualdad de *dos* razones.

Por ejemplo:

$\frac{1}{2} = \frac{5}{10}$ es una proporción que se lee:

"1 es a 2 como 5 es a 10", y se escribe del siguiente modo:

$1 : 2 :: 5 : 10$, donde 1 y 10 son los extremos y 2 y 5 los medios.

11.1 Propiedad fundamental de las proporciones

En toda proporción el producto de los medios es igual al producto de los extremos.

$$Si \quad \frac{1}{2} = \frac{5}{10} \quad entonces \quad 1 \times 10 = 2 \times 5$$

Ejercicios:

Verifique si las siguientes igualdades, escritas en forma de proporción, son verdaderas o falsas.

1) $5 : \frac{1}{2} :: \frac{5}{3} : \frac{5}{30}$

2) $\frac{11}{8} : (2 + \frac{3}{4}) :: (3 - \frac{1}{2}) : 5$

3) $(5 - \frac{1}{2}) : (2 + \frac{1}{4}) :: \frac{3}{4} : \frac{3}{8}$

Calcule el valor de x en las siguientes proporciones:

4) $\frac{2}{3} = \frac{x}{6}$

5) $\frac{9}{x} = \frac{3}{5}$

6) $(4 + \frac{1}{2}) : (2 + \frac{1}{4}) = x : \frac{3}{8}$

7) $1\frac{3}{8} : (3 - \frac{1}{4}) = (3 - \frac{1}{2}) : x$

8) $\frac{4 + x}{3} = \frac{5x}{9}$

9) $\frac{16}{7} = \frac{36}{x + 9}$

10) $\frac{3x - 1}{2} = \frac{x - 3}{5}$

11.2 Propiedades generales de las proporciones

Dada la siguiente proporción: $\boxed{\frac{a}{b} = \frac{c}{d}}$

tenemos:

1) $\begin{cases} \frac{a + b}{b} = \frac{c + d}{d} \\ \text{ó} \\ \frac{a + b}{a} = \frac{c + d}{c} \end{cases}$

2) $\begin{cases} \frac{a - b}{b} = \frac{c - d}{d} \\ \\ \frac{a - b}{a} = \frac{c - d}{c} \end{cases}$

3) $\left\{ \frac{a + c}{b + d} = \frac{a}{b} = \frac{c}{d} \right.$

4) $\left\{ \frac{a - c}{b - d} = \frac{a}{b} = \frac{c}{d} \right.$

5) $\frac{a \times c}{b \times d} = \frac{a^2}{b^2} = \frac{c^2}{d^2}$

6) $\frac{a^2}{b^2} = \frac{c^2}{d^2}$

7) $\frac{a : c}{b : d} = 1$

8) $\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}} = \frac{\sqrt{c}}{\sqrt{d}}$

11.3 Sucesiones de números proporcionales

Sucesiones de números directamente proporcionales

Dos sucesiones a, *b, c, d…* y *a', b', c', d'…* son directamente proporcionales cuando la razón entre cualquier elemento de la primera sucesión y su correspondiente en la segunda es una constante K.

Ejemplos:

1)	5	7	11	12
2)	10	14	22	24

donde: $\frac{5}{10} = \frac{7}{14} = \frac{11}{22} = \frac{12}{24} = \frac{1}{2} = K$

Son sucesiones de números directamente proporcionales y el coeficiente de proporcionalidad es 1/2.

Sucesiones de números inversamente proporcionales

Dos sucesiones *a, b, c, d…* y *a', b', c', d'…* son inversamente proporcionales cuando el producto entre cualquier elemento de la primera sucesión y su correspondiente en la segunda es siempre una constante K.

1)	4	2	1	10
	5	10	20	2

donde $4 \times 5 = 2 \times 10 = 1 \times 20 = 10 \times 2 = K$.

20 es el coeficiente de proporcionalidad inversa entre las sucesiones dadas.

La sucesión (1) también es directamente proporcional a:

$$\frac{1}{5} \quad \frac{1}{10} \quad \frac{1}{20} \quad \frac{1}{2}$$

Si verificamos esto con la definición de sucesión de números directamente proporcionales, tenemos lo siguiente:

$$\frac{4}{\frac{1}{5}} = \frac{2}{\frac{1}{10}} = \frac{1}{\frac{1}{20}} = \frac{10}{\frac{1}{2}} = 20 = K$$

Este punto es muy importante para resolver los problemas que veremos a continuación.

Ejercicio:

Determine los valores de las incógnitas presentes en las siguientes sucesiones directamente proporcionales:

1) $\begin{bmatrix} 4 & x & y \\ \frac{1}{2} & 4 & \frac{3}{2} \end{bmatrix}$ 2) $\begin{bmatrix} 4 & 6 & 8 & 10 \\ z & y & x & 25 \end{bmatrix}$

3) $\begin{bmatrix} 12 & 15 & 18 & 42 & 69 \\ x & 5 & y & z & w \end{bmatrix}$

Determine los valores de las incógnitas en las siguientes sucesiones inversamente proporcionales:

4) $\begin{bmatrix} x & 12 & 72 & z \\ 4 & y & 2 & 16 \end{bmatrix}$ 5) $\begin{bmatrix} 2 & 5 & 8 & 10 \\ w & z & y & 4 \end{bmatrix}$

6) Divida *490* en partes proporcionales a *1, 12, 23* y *34*.

7) Divida el número *9.954* en partes directamente proporcionales a los números *1, 3/7* y *7/3*.

8) Divida el número *234* en partes inversamente proporcionales a las cifras *2, 3* y *4*.

9) Divida el número *9.954* en partes inversamente proporcionales a *1, 3/7* y *7/3*.

11.4 Dimensiones proporcionales

Dimensiones directamente proporcionales

Dos dimensiones son directamente proporcionales cuando, al aumentar una de ellas, la otra aumenta en la misma razón que la primera.

Dimensiones inversamente proporcionales

Dos dimensiones son inversamente proporcionales cuando, al aumentar una de ellas, la otra disminuye en la misma razón que la primera.

11.5 Regla de tres simple

Veamos, como ejemplos, los siguientes problemas:

1) Compré 50 m de alambre y pagué $2,50. Si quisiera comprar 120 m, ¿cuánto tendría que pagar?

Solución por el método de las proporciones:

Si esquematizamos el problema y colocamos en una misma columna las dimensiones del mismo género y en una línea las dimensiones de géneros diferentes que se corresponden en el problema, tenemos:

Alambre	*Precio*
50 m	$2,50
120 m	x

Se colocan las dos flechas en el mismo sentido para indicar que al aumento del alambre le corresponde un aumento del precio del alambre. Son dimensiones directamente proporcionales.

Escribimos entonces la siguiente proporción:

$$\frac{50}{120} = \frac{2,50}{x} \quad x = \frac{120 \times 2,50}{50} = \$6,00$$

Por lo tanto, 120 m de alambre cuestan $6.00.

Decimos que la regla de tres es directa porque implica dimensiones directamente proporcionales.

2) Con una velocidad media de 50 km/h, un auto recorre la distancia entre dos ciudades en 6 horas y 30 minutos. Si mantuviera una velocidad media de 60 km/h, ¿en cuánto tiempo recorrería el mismo trayecto?

Velocidad	**Tiempo**
50 km/h	6 horas 30 minutos
60 km/h	x

Las flechas tienen sentidos opuestos porque la regla de tres es inversa. En efecto, si la velocidad aumenta, el tiempo disminuye. En este caso, invertimos los valores de una de las dimensiones para que las flechas queden en el mismo sentido y entonces podemos colocar la proporción.

Luego: $$\frac{50}{60} = \frac{x}{6{,}30\ h}$$

como 6 horas y 30 minutos = 390 minutos, obtenemos la respuesta en minutos efectuando la siguiente operación:

$$\frac{50}{60} = \frac{x}{390} \quad x = \frac{50 \cdot 390}{60} = 325 \text{ minutos}$$

11.6 Regla de tres compuesta

Consideremos el siguiente problema:

18 telares tejen 360 metros de paño en 10 días. ¿Cuántos días se necesitarán para tejer 480 metros de paño usando 30 telares?

Podemos abreviar el problema, al hacer las siguientes modificaciones:

a) Colocar en la primera línea los elementos del problema.

b) En la segunda línea, los elementos relacionados con la incógnita.

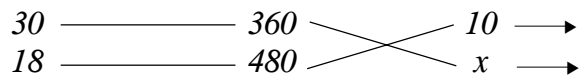
c) En la misma columna, las dimensiones del mismo género.

Telares	**Metros de paño**	**Días**
↑ 18	↓ 360	↓ 10
30	480	x

Al relacionar por separado la dimensión de la incógnita con cada dimensión del problema, notamos si son directa o inversamente proporcionales; entonces, colocamos flechas en el mismo sentido para el primer caso y con sentido diferente para el segundo.

Se usa la siguiente regla práctica:

Invertimos el orden de las líneas cuyas flechas tienen sentido contrario a la dimensión de la incógnita:



Se obtiene el valor de x mediante la siguiente razón:

$$x = \frac{18 \cdot 480 \cdot 10}{30 \cdot 360} = 8 \text{ días}$$

Verificación:

Telares	**Metros de paño**	**Días**
↑ 18	↓ 360	↓ 10
30	480	x

Si *18/30* es inversamente proporcional a *10/x*, entonces *30/18* es directamente proporcional a *10/x*. Como *360/480* también es directamente proporcional a *10/x,* la razón formada por el producto *30 · 360/18 · 480* también es directamente proporcional a *10/x*. O sea:

$$\frac{30 \cdot 360}{18 \cdot 480} = \frac{10}{x} \therefore x = \frac{18 \cdot 480 \cdot 10}{30 \cdot 360} = 8 \text{ días}$$

1) Para purificar 50.000 m^3 de agua se consumieron 2.250 kg de sulfato de aluminio. ¿Cuántos kg de sulfato de aluminio se utilizarán para tratar 2.575.000 m^3 de agua?

2) Un decantador se llena en 6 horas y 30 minutos con un caudal de 42 L/seg. ¿Cuántos L/seg se necesitarán para llenar el mismo decantador en 5 horas y 15 minutos?

3) Un operario lleva 29 días trabajando en promedio 5 horas y 30 minutos por día para lavar, escobillar y pintar con un desinfectante los decantadores de una planta de tratamiento de agua. ¿Cuánto tardaría en realizar el servicio si trabajara 7 horas y 15 minutos por día?

4) 18 litros de aceite pesan 14,4 kg. ¿Cuál es el volumen en cm^3 de 1,2 kg del mismo aceite?

5) Un decímetro cúbico de mercurio (metal líquido) pesa aproximadamente 13,6 kg. ¿Cuánto pesan 35 cL del mismo mercurio?

6) 50 sacos de carbón activo, de 36 kg cada uno, se mezclan en 120 sacos de sulfato de aluminio, de 60 kg cada uno, para producir sulfato negro. ¿Cuántos sacos de sulfato de aluminio, de 60 kg, se necesitarán para producir sulfato negro de la misma clase si se usan 100 sacos de carbón de 50 kg cada uno?

7) En unos cilindros de cloro existen impurezas en una razón de 6:1.000. ¿Qué cantidad útil del gas habrá en cilindros de 250 litros?

8) La cantidad de sulfato de aluminio que existe en una planta de tratamiento de agua es suficiente para tratar 3.000 m^3/día durante 40 días. ¿Cuántos días duraría la mitad almacenada si tratara solo 2.000 m^3/día?

9) El revestimiento de un muro de 16 m de dimensión y 2,5 m de altura consume 84 kg de revoque preparado. ¿Cuántos kg se necesitarán para revestir otro muro de 30 m de dimensión y 1,8 m de altura?

10) La caja dosificadora de cal entrega 120 litros de solución en 15 horas de funcionamiento si los recipientes giran con una rotación de 12 giros por minuto. ¿Qué cantidad de solución dosificará en 4 horas si la rotación aumentara a 15 giros por minuto?

11) Una máquina tiene capacidad para asfaltar 160 m de pista de carretera con 12 m de ancho en 4 días. ¿Cuántos días y fracciones de día se necesitarán para asfaltar, en igualdad de condiciones, 800 m de pista de 16 m de ancho?

12) Invertí en un negocio $12.000,00 durante 6 meses y obtuve una renta de $1.800,00. ¿Cuál sería mi renta si invirtiera en el mismo negocio $180.000,00 durante 4 meses?

11.7 Porcentaje

Tasas centesimal y milesimal

Consideremos los siguientes ejemplos:

1) Un vendedor gana 5 dólares por cada 100 dólares vendidos.

   Decimos que gana una comisión en la razón 5/100, ó 5 : 100 y representamos esa ganancia como el 5%.

2) En mi escuela, de cada 100 alumnos, 60 son niños. Decimos que los niños prevalecen en la razón de 60/100, ó 60 : 100 y representamos ese predominio como el 60%.

3) En mi ciudad, de cada 1.000 habitantes, 25 son extranjeros Decimos que los extranjeros residentes en mi ciudad están en razón de 25/1.000, ó 25:1.000 y representamos esa proporción como el 25‰.

   5% y 60% son tasas centesimales.

   25‰ es una tasa milesimal.

   La tasa centesimal relaciona un acontecimiento o evento con el número 100; la milesimal vincula un acontecimiento con el número 1.000.

   Los números 100 y 1.000 son referencias fijas y tradicionales. La razón también puede representarse de otra manera.

Por ejemplo:

1) La comisión del vendedor está en la razón 1/20 de la venta.

   En efecto: $1/20 = x/100 \longrightarrow x = 5$. *Y, por lo tanto, 1/20* equivale a 5/100 ó a 5%.

2) En mi escuela, los niños son 3/5 del total. En efecto;

$$\frac{3}{5} = \frac{y}{100} \longrightarrow y = 60\%.$$

Luego: $\frac{3}{5} \longrightarrow \frac{60}{100}$ *ó 60%.*

3) Los extranjeros residentes en la ciudad en que yo vivo están en razón de 1/40 con respecto a los habitantes.

En efecto: $\frac{1}{40} = \frac{z}{1.000} \longrightarrow z = 25$

Luego: $\frac{1}{40} \longrightarrow \frac{25}{1000}$ *ó 25‰*

La expresión *parte por millón* obedece a un razonamiento análogo y relaciona un acontecimiento con el número 1.000.000.

Principal y porcentaje

Reflexionemos sobre el siguiente problema:

¿Qué comisión le corresponde al vendedor que vende $1.200,00 si la tasa de comisión es el 5%?

Analicemos el problema:

La tasa es 5% ó 5/100.

La cantidad principal del problema es $1.200,00.

La comisión del vendedor es su porcentaje.

Podemos representar estas cantidades de la siguiente manera:

Tasa centesimal = i%
Principal = C
Porcentaje = p

Con esta representación, se sabe lo siguiente:

Si la tasa fuera de 1%, el vendedor ganaría $1,00 por cada $100,00 vendidos. Es un problema de regla de tres compuesta que puede esquematizarse de la siguiente manera:

Principal	**Tasa**	**Porcentaje**
$100,000	1%	$1,00
↓ C	↓ i%	↓ p

Estamos ante una regla compuesta directa puesto que si aumenta el principal, crece el porcentaje, y si la tasa se incrementa, también lo hace el porcentaje. Luego:

$$\begin{array}{ccc} 100 & 1 & 1 \\ C & i & p \end{array}$$

$$\boxed{p = \frac{C \times i}{100}}$$

En el siguiente problema tenemos:

$C = \$1.200,00; \qquad i = 5\ \% \qquad p = ?$

$$p = \frac{\$1.200.00 \times 5}{100} = 60,00 \qquad p = 60,00$$

Con la misma fórmula es posible conocer *C* e *i*.

Si la tasa fuera milesimal, la fórmula sería la siguiente:

$$\boxed{P = \frac{C \times i}{1.000}}$$

La forma ha sido deducida mediante un razonamiento análogo al caso anterior. Cuando la tasa es milesimal, se utiliza *P* mayúscula.

Ejercicios:

Determine el porcentaje cuando se da lo siguiente:

1)	$C = 1.000$	$i = 6\%$
2)	$C = 90$	$i = 12\%$
3)	$C = 2.400$	$i = 12\%$

Determine la tasa de porcentaje para los siguientes datos:

1)	$C = 5.400$	$P = 180$
2)	$C = 800$	$P = 24$
3)	$C = 12.810$	$P = 36$

Determine el principal cuando se da lo siguiente:

1)	$P = 2.520$	$i = 12\%$
2)	$P = 6,5$	$i = 1,3\%$
3)	$P = 120$	$i = 5\%$
4)	$P = 144$	$i = 2,4\%$

12. NOCIONES DE LOGARITMO

Dados dos números a y b positivos, con $a \neq 1$, se llama logaritmo del numero b en la base a al número x tal que: $a^x = b$

Esto se escribe del siguiente modo: $\log_a b = x$

Y significa: $a^x = b$

Veremos que toda ecuación del tipo $\log_a b = x$ corresponde a un exponencial equivalente, o sea $a^x = b$ cuya equivalencia indicaremos con: $\log_a b = x \rightleftarrows a^x = b$

Ejemplos

1) ¿Cuál es el logaritmo de 16 en la base 2?

$$\log_2 16 = x \rightleftarrows 2^x = 16$$

o bien

$$2^x = 2^4 \qquad \boxed{x = 4}$$

Esto quiere decir que si las bases son iguales, los exponentes también deberán serlo para que la igualdad sea verdadera.

2) ¿Cuál es el logaritmo de 1 en la base a?

$$\log_a 1 = x \rightleftarrows a^x = 1$$

$$\text{Si } a^x = a^o \longrightarrow x = 0$$

3) ¿Cuál es el logaritmo de a^n en la base a?

$$\log_a a^n = x \rightleftarrows a^x = a^n \qquad \boxed{x = n}$$

4) ¿Cuál es el logaritmo de a en la base a?

$$\log_a a = x \rightleftarrows a^x = a$$

$$a^x = a^1 \longrightarrow \boxed{x = 1}$$

Vemos que los siguientes símbolos no tienen significado:

1) $\log_1 b$ 2) $\log_a 0$ 3) $\log_a (-b)$

En efecto:

1) $\log_1 b = x \rightleftarrows 1^x = b$ (?)

porque $1^x = 1$ cualquiera que sea x.

2) $\log_a 0 = x \qquad a^x = 0$ (?)

para cualquier x, el valor a^x nunca se anula.

3) $\log_a (-b) = x \; a^x = -b$ (?)

Como la base a es mayor que cero, cualquier potencia de un número positivo da un resultado siempre positivo; de lo cual se deduce que no existe logaritmo de un número negativo.

Ejemplos

1) Determine cuál es la base del sistema de logaritmos donde el logaritmo de 7 es $1/4$.

$\log_a 7 = 1/4$ equivale al exponencial $a^{1/4} = 7$ si se elevan los miembros a la cuarta potencia; se tiene:

$(a^{1/4})^4 = 7^4 \qquad a = 7^4 \rightleftarrows \boxed{a = 2.401}$

2) ¿Cuál es el número cuyo logaritmo en la base 3 es igual a 4?

$\log_3 y = 4$ ó $3^4 = y$ ó $\boxed{y = 81}$

3) Determine el número cuyo logaritmo en el sistema de base $\sqrt[3]{9}$ equivalga a $0,75$.

$\log_{\sqrt[3]{9}} x = 0,75 \rightleftarrows (\sqrt[3]{9})^{0,75} = x$

o bien $\left(9^{\frac{1}{3}}\right)^{\frac{75}{100}} = x$

o bien $\left(9^{\frac{1}{3}}\right)^{\frac{3}{4}} = x$

o bien $9^{\frac{1}{3}} = x$

donde $x = \sqrt[4]{9}$ ó $x = \sqrt[4]{3^2} = \sqrt{3}$

Por lo tanto $\boxed{x = \sqrt{3}}$

12.1 Propiedades de los logaritmos

Teorema del producto

El logaritmo del producto de dos o más factores en una determinada base es igual a la suma de los logaritmos de los factores en la misma base.

$$\boxed{\log_a (x_1.x_2.x_3 \ldots x_n) = \log_a x_1 + \log_a x_2 + \log_a x_3 \ldots + \log_a x_n}$$

Teorema del cociente

El logaritmo del cociente de dos números en una determinada base es igual a la diferencia entre el logaritmo del dividendo y el logaritmo del divisor.

$$\boxed{\log_a \frac{x_1}{x_2} = \log_a x_1 = \log_a x_2}$$

Teorema de la potencia

El logaritmo de base a de la potencia x^p es igual al producto del exponente p por el logaritmo de x en la base a.

$$\boxed{\log_a x^p = p \log_a x}$$

Teorema de la raíz

El logaritmo de la raíz enésima de un número x, en una determinada base a, es igual al producto del exponente por el logaritmo de x en la base a.

$$\boxed{\log_a \sqrt[n]{x} = \frac{1}{n} \log_a x}$$

12.2 Cologaritmo de un número

Se llama cologaritmo de un número, en una determinada base, al logaritmo del recíproco de dicho número en la misma base.

$$\boxed{\operatorname{colog}_a x = \log_a \frac{1}{x}}$$

Propiedad: el cologaritmo de un número, en una determinada base, es igual al logaritmo de dicho número, con el signo cambiado (en la misma base).

Tesis:

$$\operatorname{colog}_a x = -\log_a x$$

En efecto, de la definición de cologaritmo se deduce lo siguiente:

$$\operatorname{colog}_a x = \log_a \frac{1}{x}$$

Pero, por el teorema del cociente, tenemos lo siguiente:

$$\operatorname{colog}_a x = \log_a \frac{1}{x} = \log_a 1 - \log_a x$$

y como $\log_a 1 = 0$, resulta que

$$\boxed{\operatorname{colog}_a x = -\log_a x}$$

Por ejemplo:

$$\operatorname{colog}_2 16 = -\log_2 16$$

y como $\log_2 16 = 4$ *porque* $2^4 = 16$, *vemos que*

$$\operatorname{colog}_a 16 = -\log_2 16 = -4$$

Ejercicios:

Determine el valor de las siguientes letras:

1) $\log_5 125 = y$

2) $\log_4 x = 0{,}5$

3) $log_2\ 32 = y$

4) $log_3\ 81 = y$

5) $log_7\ 2.401 = y$

6) $log_4\ x = 3$

7) $log_7\ 343 = y$

8) $log_{25}\ x = -0,5$

9) $log_{16}\ x = -0,25$

10) $log_{81}\ x = -0,25$

11) $log_a\ 64 = 2$

12) $log_a\ 27 = 3$

13) $log_a\ 625 = 4$

14) $log_a\ 2 = 2$

12.3 Logaritmos decimales o logaritmos ordinarios

Se llaman logaritmos *decimales* u *ordinarios* o *de Briggs* a los logaritmos de base 10.

Se llaman *ordinarios* porque son los que se utilizan comúnmente.

Otro sistema de logaritmos, muy utilizado en Matemática superior, es el sistema de logaritmos neperianos o hiperbólicos o incluso naturales, creado por John Napier, el matemático escocés introductor de los logaritmos. Él les atribuye como base el siguiente número:

$$e = 2,7182818284590\ldots\ldots\ldots$$

CAPÍTULO 2

NOCIONES DE QUÍMICA

3) $log_2\ 32 = y$

4) $log_3\ 81 = y$

5) $log_7\ 2.401 = y$

6) $log_4\ x = 3$

7) $log_7\ 343 = y$

8) $log_{25}\ x = -0,5$

9) $log_{16}\ x = -0,25$

10) $log_{81}\ x = -0,25$

11) $log_a\ 64 = 2$

12) $log_a\ 27 = 3$

13) $log_a\ 625 = 4$

14) $log_a\ 2 = 2$

12.3 Logaritmos decimales o logaritmos ordinarios

Se llaman logaritmos *decimales* u *ordinarios* o *de Briggs* a los logaritmos de base 10.

Se llaman *ordinarios* porque son los que se utilizan comúnmente.

Otro sistema de logaritmos, muy utilizado en Matemática superior, es el sistema de logaritmos neperianos o hiperbólicos o incluso naturales, creado por John Napier, el matemático escocés introductor de los logaritmos. Él les atribuye como base el siguiente número:

$$e = 2,7182818284590\ldots\ldots\ldots$$

CAPÍTULO 2

NOCIONES DE QUÍMICA

1. CONCEPTO

La ciencia química es una ciencia experimental que estudia distintos tipos de materia (las sustancias) desde los siguientes puntos de vista:

a) sus propiedades (lo cual permite identificarlas);
b) su formación;
c) su composición;
d) las transformaciones que las sustancias pueden sufrir y las leyes que rigen estas modificaciones.

2. CLASIFICACIÓN

Como toda ciencia, la ciencia química puede dividirse en distintos campos que son los siguientes:

- Ciencia química
  - Pura
    - General
      - Estudia los conceptos fundamentales de la estructura de la materia, los fenómenos químicos en general y las reglas de escritura y nomenclatura.
    - Descriptiva
      - *Orgánica:* estudia todos los compuestos que poseen átomos de carbono en su estructura.
      - *Inorgánica:* estudia las sustancias que no poseen átomos de carbono en su estructura.

- Ciencia química
  - Pura
    - Analítica
      - *Cualitativa:* estudia y aplica métodos que permiten examinar cuáles son los elementos que componen la sustancia o las sustancias de una mezcla.
      - *Cuantitativa:* estudia la cantidad o porcentaje de los elementos químicos en una sustancia o la cantidad de sustancias que hay en una mezcla.
    - *Fisicoquímica:* estudia los fenómenos relacionados con la química y la física.
  - *Aplicada:* fue abordada primero para obtener ventajas económicas; luego, para fines industriales.

3. CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN DE LA MATERIA

3.1 Materia

La materia es todo aquello que ocupa un lugar en el espacio, tiene cuerpo y no puede alterar su estado de reposo o movimiento por sí solo. Por ejemplo, el agua, la madera, el fierro, el papel, etcétera.

3.2 Sustancia

Es una especie de materia definida y determinada. Por ejemplo, el agua, la sal de cocina, el azúcar, etcétera.

Observación: según el tratamiento que reciba, la materia puede ser o no ser pura. Las sustancias que se encuentran en el mercado como

productos químicos técnicos, industriales o comerciales no son puras y están destinadas a fines industriales, al tratamiento de agua, etcétera.

Por ejemplo, la soda cáustica, el cloruro de sodio (generalmente, comprados a granel) y los productos que generalmente se utilizan en los laboratorios, con fines analíticos. Por lo tanto, el químico debe saber emplear unos y otros.

3.3 Muestra

Se llama *muestra* a una porción de materia que se considera separada del universo que es objeto de estudio.

3.4 Soluciones

Son mezclas homogéneas de sustancias simples o compuestas cuyos constituyentes son imposibles de separar mecánicamente y cuya composición puede variar de manera continua dentro de ciertos límites.

Por ejemplo, la sal diluida en agua, el sulfato de aluminio diluido en agua, el latón, etcétera.

4. SÍMBOLOS, NOMBRES Y NÚMEROS ATÓMICOS DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS (SUSTANCIAS SIMPLES)

Los elementos químicos han recibido el nombre de su descubridor, una denominación arbitraria por lo general relacionada con alguna particularidad referente a su descubrimiento, a alguna de sus propiedades características o incluso en homenaje a una persona o en celebración de algún acontecimiento.

4.1 Símbolo

Para cada elemento se designó un símbolo gráfico representativo que corresponde a la primera letra (mayúscula) de su nombre y cuando es necesario, otra letra (minúscula) de su denominación. (Observe la tabla de elementos químicos.)

5. NOCIONES SOBRE EL ÁTOMO

El átomo (de la palabra griega equivalente a *indivisible)* es la menor partícula imaginable de un elemento químico, indivisible por procesos físicos y químicos, susceptible de alguna reacción.

A pesar de que el átomo es una partícula de dimensiones extremadamente reducidas, presenta una estructura bastante compleja. Está constituido por una serie de partículas de características distintas. Para el estudio de la química nos interesan, por el momento, las tres siguientes:

PARTÍCULAS	LOCALIZACIÓN	MASA MECÁNICA PROPORCIONAL	CARGA ELÉCTRICA	REPRESENTACIÓN
Protones	Núcleo atómico	1	Positiva	⊕ o p
Neutrones	Núcleo atómico	$1 + \frac{1}{1.840}$	Cero	○ o n
Electrones	Nube atómica	$\frac{1}{1.840}$	Negativa	⊖ o e

Todo átomo está constituido por dos partes características, denominadas *núcleo* y *nube atómica:*

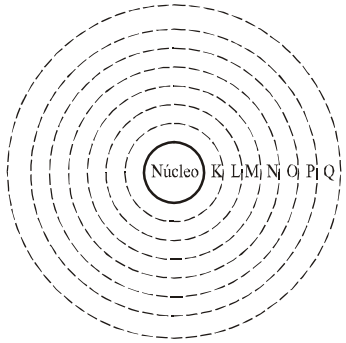
5.1 Núcleo

Es la parte central del átomo, en la cual se encuentran las partículas denominadas *protones* y *neutrones*.

5.2 Nube atómica

Es la parte que rodea al núcleo y en la cual gravitan las partículas llamadas *electrones*. El diámetro del núcleo atómico es por lo menos 10.000 veces menor que el diámetro total del átomo y en él se encuentra casi la totalidad de la masa del átomo. La nube atómica está constituida por capas electrónicas u órbitas electrónicas cuyo número puede variar de 1 a 7 y que convencionalmente se designan con las letras *K, L, M, N, O, P* y *Q*.

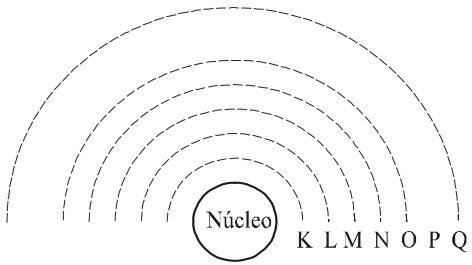
Figura 1



La distribución de los electrones en las distintas capas electrónicas u órbitas puede explicarse de una manera más sencilla con el postulado de Bohr.

a) El límite máximo de electrones en las distintas capas electrónicas y en cada una de ellas es el siguiente:

Figura 2



K = 2e
L = 8e
M = 18e
N = 32e
O = 32e
P = 18e
Q = 8e

b) La última capa electrónica de cualquier átomo, en cualquiera de las capas (a excepción de las capas *K* y *L),* podrá tener un máximo de ocho electrones.

c) La penúltima capa electrónica de cualquier átomo (a excepción de las capas *K* y *L)* admitirá un máximo de 18 electrones.

d) Para los átomos que tengan más de tres capas electrónicas, si la penúltima capa no está completa (es decir, con 18 electrones), la última capa electrónica tendrá un máximo de dos electrones.

e) Para los átomos que tengan más de cinco capas electrónicas, si la antepenúltima capa no está completa (es decir, con 32 electrones), la penúltima capa tendrá un máximo de diez electrones.

Nota: la tabla de clasificación periódica de los elementos proporciona también el número de electrones de cada capa.

6. NÚMERO ATÓMICO Y NÚMERO DE MASA

Los átomos de los elementos se caracterizan por sus números atómicos. Se sabe que el átomo es una partícula eléctricamente neutra, pues el número de partículas positivas (protones) es necesariamente igual al de partículas negativas (electrones). El número de protones, que es

siempre igual al número de electrones, recibe el nombre de *número atómico*.

$$NA = n.° \text{ atómico} = n.° \text{ de protones} = n.° \text{de electrones}$$

El número de la masa del átomo de un elemento es la suma del número de protones con el número de neutrones.

$$NM = n.° \text{ de masa} = n.° \text{ de protones} + n.° \text{ de neutrones}$$

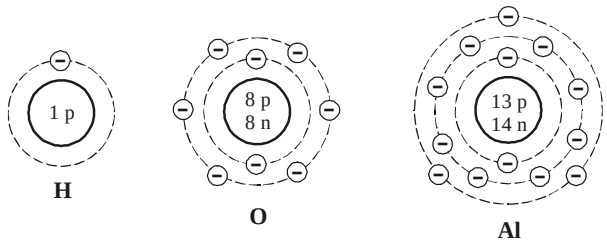
Cuando se conocen los valores correspondientes a los números atómicos y al número de la masa de los átomos que conforman los elementos, es posible representar dichos átomos.

Ejemplos:

Hidrógeno	*Oxígeno*	*Aluminio*
H { NA = 1, NM = 1	O { NA = 8, NM = 16	A1 { NA = 13, NM = 27

Ilustración:

Figura 3



Ejercicio:

Ilustre los átomos de todos los elementos de la tabla.

6.1 Masa atómica

Es un número que indica cuántas veces el átomo del elemento es más pesado que la doceava parte del átomo del isótopo del carbono 12, tomada como patrón.

Por ejemplo, la masa atómica del aluminio (Al) es 26,9815 (casi 27) porque el átomo del aluminio es 27 veces más pesado que 1/12 del isótopo del carbono 12 (C); el sodio (Na) tiene masa atómica 22,9898 (casi 23) porque el átomo del sodio tiene masa atómica 23 veces el valor de 1/12 del isótopo del carbono 12.

6.2 Átomo gramo

Es la cantidad en gramos de un elemento, expresada con el valor numérico que nos indica la masa atómica.

Así, 22,9898 gramos de Na (sodio) equivale a un átomo gramo de Na; 15,994 gramos de oxígeno (O) indica un átomo gramo de oxígeno (O); 26,9815 gramos de aluminio (Al) indica un átomo gramo de aluminio (Al), etcétera.

7. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS

En general, podemos clasificar los elementos químicos en cuatro grandes grupos:

a) Semimetales: B, Si, Ge, As, Sb, Te, Po (observe la tabla).

b) No metales: son los elementos colocados en la tabla, a la derecha de los semimetales.

c) Metales: son los elementos colocados en la tabla a la izquierda de los semimetales.

d) Gases nobles o raros (fila 0 de la tabla): son aquellos que siempre tienen la última capa electrónica completa; es decir, ocho electrones.

Observación: el elemento H (hidrógeno) ocupa un lugar separado.

7.1 Molécula

La molécula es la menor partícula imaginable de una sustancia, capaz de existir independientemente y de conservar todas las propiedades de aquella. Entonces, la menor partícula del agua que conserva todas sus propiedades representa la molécula del agua.

Observación: cuando los átomos de los elementos forman moléculas tienden a completar su capa electrónica más externa (capa de valencia) y adquieren una representación similar a la del gas noble más próximo (regla del octeto).

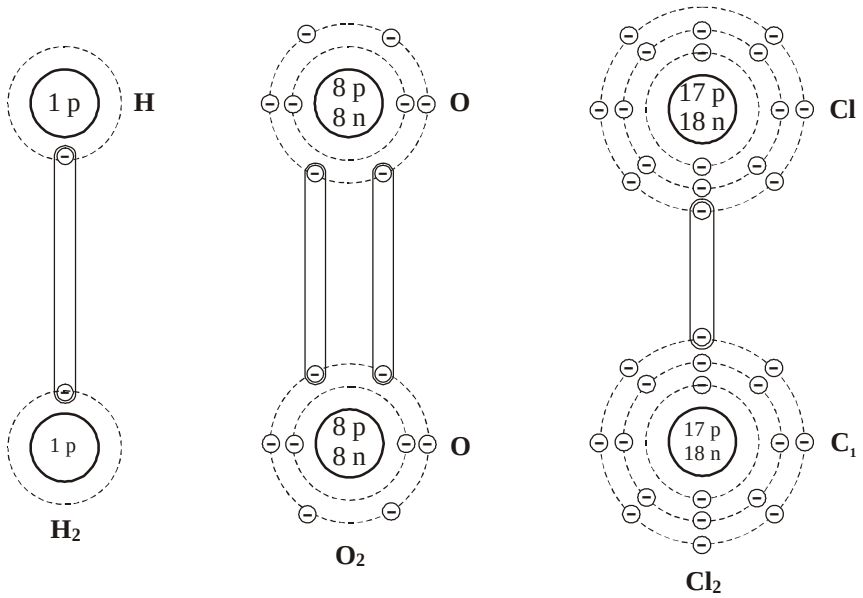
8. SUSTANCIAS SIMPLES O ESPECIES QUÍMICAS SIMPLES

Son las sustancias cuyas moléculas están formadas por átomos de idéntico número atómico.

Ejemplos: el gas hidrógeno (H2), el oxígeno (O2), el cloro (Cl2), etcétera, presentan la molécula diatómica.

Hidrógeno	*Oxígeno*	*Cloro*
H { NA = 1, NM = 1	O { NA = 8, NM = 16	C1 { NA = 17, NM = 35

Figura 4



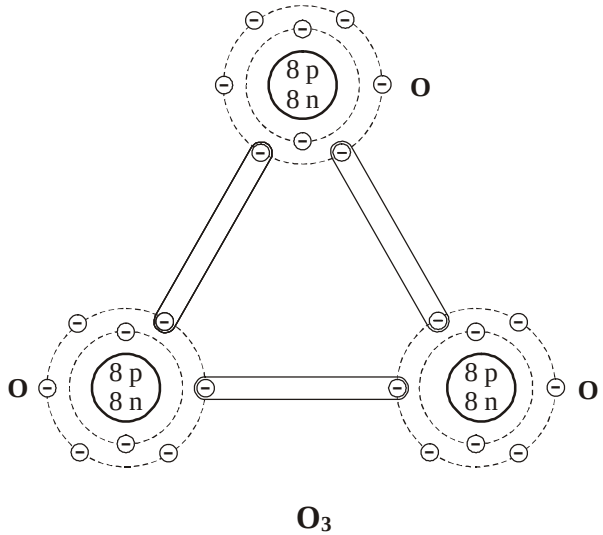
Observación: por lo general, los metales presentan una molécula monoatómica (de un solo átomo) y se cristalizan o bien en una forma cúbica que toma como eje el centro o bien en una forma cúbica que toma como eje una de las caras.

El gas ozono (O_3) presenta una molécula triatómica.

Ozono

O { NA = 8
NM = 16

Figura 5



Ejercicio:

Represente las moléculas de los siguientes metales: Cu, Mg, Mn, K, Na y Ca; y de los siguientes no metales: F_2, N_2, I_2 y Br_2.

9. SUSTANCIAS COMPUESTAS

Son aquellas sustancias cuyas moléculas están formadas por átomos de elementos químicos diferentes.

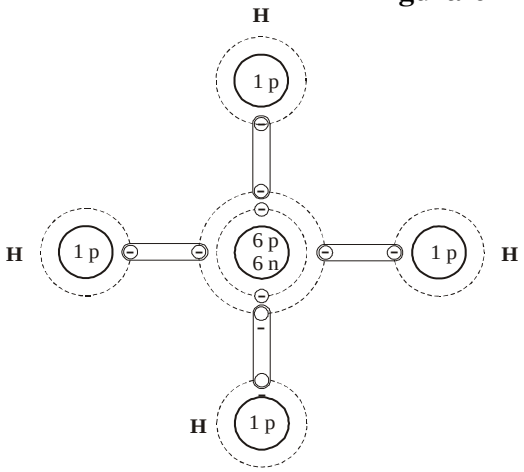
Por ejemplo: la molécula del gas metano (CH_4) y la molécula del agua (H_2O).

Gas metano

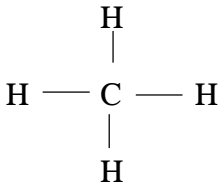
C { NA = 6
NM = 12

H { NA = 1
NM = 1

Figura 6

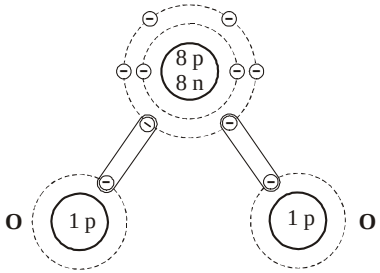


(CH_4)



Fórmula estructural
de gas metano

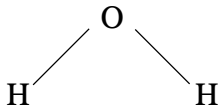
Figura 7



H_2O

Agua

H { NA = 1, NM = 1 } O { NA = 8, NM = 16 }

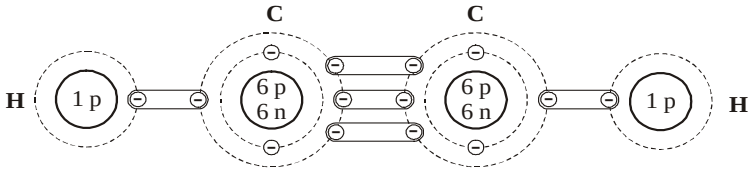


Gas acetileno (C_2H_2)

C { NA = 6, NM = 16 } H { NA = 1, NM = 12 }

H – C = C – H

Figura 8



(C_2H_2)

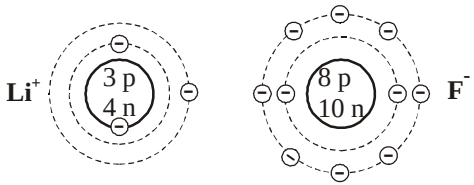
9.1 Covalencia

En los ejemplos anteriores, como podemos observar, el enlace entre los átomos se realiza por pares de electrones (uno de cada átomo), que giran simultáneamente alrededor de los dos núcleos. De esta manera, la última capa electrónica (u órbita) queda saturada. Cuando se trata de la capa K, dos electrones, y en las demás, ocho electrones, y adquieren la representación estable de los gases raros o nobles (observe la columna 0 de la tabla de clasificación periódica). Este tipo de enlace entre los átomos se llama *enlace covalente* y los compuestos formados de esta manera, *compuestos moleculares*.

Mólecula del fluoruro de litio

F { NA = 9, NM = 19 } Li { NA = 3, NM = 7 }

Figura 9

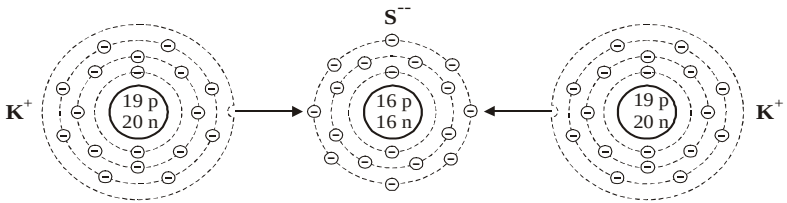


Observación: a fin de que los átomos consigan una configuración electrónica estable (como dos gases raros), el átomo de litio (Li) cede un electrón que pasa a girar en la última órbita del flúor.

Molécula del sulfuro de potasio (K_2S)

S { NA = 16, NM = 32 } K { NA = 19, NM = 39 }

Figura 10

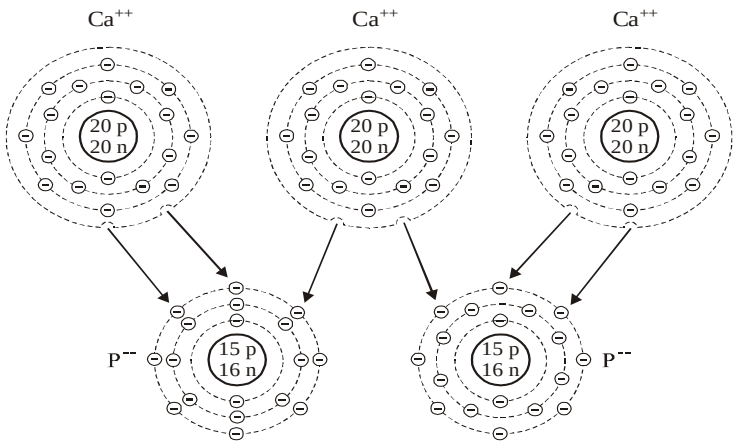


(K_2S)

Molécula del fosfuro de calcio (Ca_2P_2)

Ca { NA = 20, NM = 40 } P { NA = 15, NM = 31 }

Figura 11



(Ca_3P_2)

9.2 Electrovalencia

En los ejemplos anteriores, podemos observar que no hay unión entre los átomos sino que se produce una transferencia de electrones de un átomo a otro que forman partículas cargadas de electricidad negativa (llamadas *electrones)* y positivas (las que donan los electrones). Dichas partículas cargadas de electricidad se llaman *iones*. Los iones positivos reciben el nombre de *cationes* y los iones negativos, el de *aniones*.

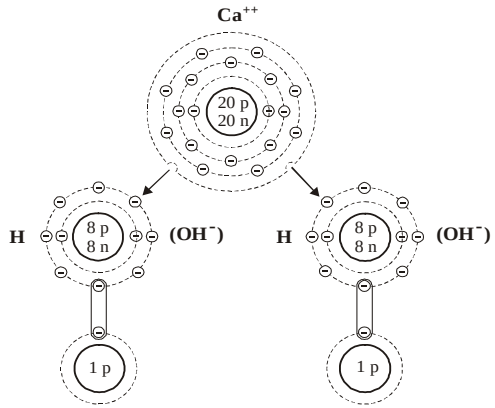
Estos tipos de enlace se denominan *enlaces iónicos por electrovalencia* y los compuestos formados de esta manera reciben los nombres de *compuestos iónicos*.

Veamos el siguiente ejemplo de un compuesto que tiene enlaces por electrovalencia y por covalencia:

Molécula del hidróxido de calcio: Ca $(OH)_2$

Ca { NA = 20, NM = 40 } O { NA = 8, NM = 16 } H { NA = 1, NM = 1 }

Figura 12



$Ca(OH)_2$

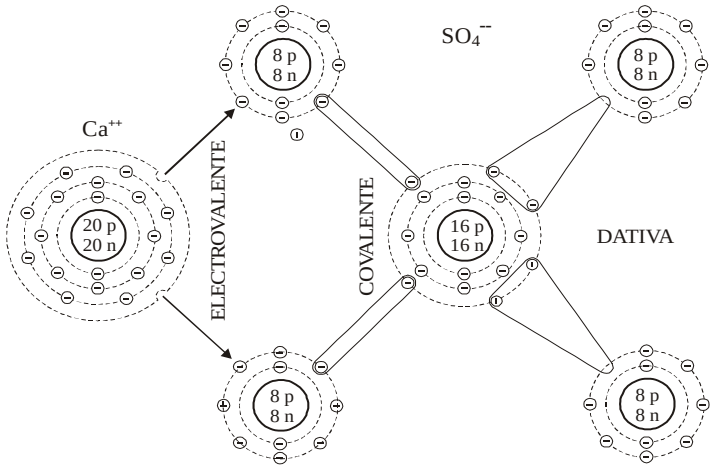
9.3 Valencia dativa

Se habla de *valencia dativa* o *valencia de coordinación* cuando el par electrónico de enlace pertenece a un átomo único que funciona en su última capa electrónica y en la última capa electrónica del átomo que recibe la donación.

Molécula del sulfato de calcio $(CaSO)_4$

Ca	NA = 20 NM = 40	S	NA = 16 NM = 32	O	NA = 8 NM = 16

Figura 13



Ejercicio:

Represente electrónicamente la molécula del gas etileno (C_2H_4).

$$\begin{array}{ccccccc} H & - & C & = & C & - & H \\ & & | & & | & & \\ & & H & & H & & \end{array}$$

la molécula del hidróxido del litio (LiOH);
la molécula del hidróxido de aluminio Al $(OH)_3$;
la molécula del nitrato de potasio KNO_3.

$$K\left[O - N \quad \begin{matrix} O \\ O \end{matrix}\right] \text{ dativa}$$

10. PESO MOLECULAR

El peso molecular de una sustancia es la suma de los pesos atómicos (o masas atómicas) de los átomos de sus elementos.

Ejemplo: el peso molecular del agua es:

H_2O $\quad H = 1 \quad O = 16$

$$\begin{array}{l} 2\,H = 2 \times 1 = \quad 2 \\ 1\,O = 1 \times 16 = \underline{16} \\ \textit{Peso molecular} = 18 \end{array}$$

Ejercicio:

Determine el peso molecular de las siguientes sustancias:

a) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18\,H_2O$ d) Na_2CO_3 g) NaF
b) $Ca(OH)_2$ e) CI_2 h) Na_2SiF_6
c) CaO f) $NaClO$

Respuestas:

a) *666* d) *106* g) *42*
b) *74* e) *71* h) *188*
c) *56* f) *74,5*

11. MOLÉCULA GRAMO O MOL

Es la cantidad en gramos de una sustancia, expresada por el mismo valor numérico que nos indica su peso molecular.

Ejemplo: la sal de cocina, cloruro de sodio (NaCl).

Pesos atómicos	Peso molecular
Na = 23	*1 x Na = 23*
Cl = 35,5	*1 x Cl = 35,5*
	NaCl = 58,5 = peso molecular

Molécula gramo o mol del NaCl = 58,5 gramos.

Ejercicios:

1) Dé el peso molecular y el mol de las siguientes sustancias:

a) $KMnO_4$ *(permanganato de potasio);*

b) $(NH_4)_2\ C_2O_4$ *(oxalato de amonio);*

c) H_2SO_4 *(ácido sulfúrico);*

d) *HCl (ácido clorhídrico)*

2) ¿Cuántos gramos de azufre hay en dos moles de ácido sulfúrico (H_2SO_4)?

3) ¿Cuántos moles de NaCl (cloruro de sodio) hay en 500 gramos de sal?

4) ¿Cuántos gramos de O (oxígeno) hay en 200 gramos de $KMnO_4$?

Respuestas:

a) $KMnO_4$ *(permanganato de potasio)*

K = 39 *Mn = 55* *O = 16*

	1 K	*= 1 x 39*	*=*	*39*
	1 Mn	*= 1 x 55*	*=*	*55*
	4 O	*= 4 x 16*	*=*	*64*
	Peso molecular			*158*

Molécula gramo o mol del KMn_4 = 158 gramos.

b) $(NH_4)_2\ C_2O_4$ *(oxalato de amonio)*

N = 14 *H = 1* *C = 12* *O = 16*

	2 N	*= 2 x 14*	*=*	*28*
2 x	*4 H*	*= 2 x 4 x 1*	*=*	*8*
	2 C	*= 2 x 12*	*=*	*24*
	4 O	*= 4 x 16*	*=*	*64*
	Peso molecular		*=*	*124*

Molécula gramo o mol del $(NH_4)_2\ C_2O_4$ = 124 gramos.

c) H_2SO_4 *(ácido sulfúrico)*

H = 1 *S = 32* *O = 16*

2 N	*= 2 x 1*	*=*	*2*
1 S	*= 1 x 32*	*=*	*32*
4 O	*= 4 x 16*	*=*	*64*
Peso molecular		*=*	*98*

Molécula gramo o mol del H_2SO_4 = 98 gramos.

d) *HCl (ácido clorhídrico)*

$$\begin{array}{rcl} H & = & 1 \\ 1\ H & = & 1 \\ 1\ Cl & = & \underline{35,5} \\ \text{Peso molecular} & = & 36,5 \end{array} \qquad Cl = 35,5$$

Molécula gramo o mol del HCl = 36,5 gramos.

2) *1 mol de H_2SO_4 tiene 32 gramos de azufre (1 átomo gramo)*

1 mol — 32 gramos
2 moles — x $\qquad x = 32 \text{ gramos} \times 2 = 64 \text{ gramos}$
2 moles de H_2SO_4 tienen 64 gramos de S.

3) *Molécula gramo o mol de NaCl = 58,5 gramos*

1 mol — 58,5 gramos
x — 500 gramos $\qquad x = \dfrac{500}{58,5} = 8,55 \text{ moles}$

4) *1 mol de $KMnO_4$ = 158 gramos*

158 gramos de $KMnO_4$ tienen 64 gramos de O

200 gramos de $KMnO_4$ tienen x gramos de O

$$x = \frac{64 \times 200}{158} = 81 \text{ gramos de O}$$

12. IONES-CATIONES Y ANIONES

Cuando un átomo cede uno o más electrones (esto es, partículas con carga eléctrica negativa) se carga eléctricamente con carga positiva. El que recibe electrones, por el contrario, queda con carga negativa.

Dichas cargas eléctricas forman un campo de atracción entre las partículas (iones) que se unen para formar las moléculas. Por ejemplo, el sodio (Na) cede un electrón al cloro (Cl) y queda cargado positivamente como Na^+; el cloro (Cl) recibe del sodio un electrón y queda con carga negativa (Cl^-). Dichos iones (los positivos, llamados *cationes,* y los negativos, llamados *aniones)* se unen, por atracción electrostática, produciendo el cloruro de sodio (NaCl).

Hemos visto que en el enlace por electrovalencia, hay elementos cuyos átomos ceden más de un electrón, y quedan cargados por dos, tres o más cargas eléctricas, y ceden sus electrones no solo a otro átomo sino también a grupos de átomos (radicales) que también forman aniones.

Ejemplos:
$Na^+ + Cl^- \longrightarrow$ *NaCl (cloruro de sodio)*
$Ca^{++} + O^{--} \longrightarrow$ *CaO (óxido de calcio)*
$K^+ + (OH^-) \longrightarrow$ *KOH (hidróxido de potasio)*
$Ba^{++} + (SO_4)^{--} \longrightarrow$ *$BaSO_4$ (sulfato de bario)*

13. VALENCIA

Es el poder de combinación que presentan los átomos de los elementos químicos. Dicho poder de combinación está representado en los iones por los signos + o – según el número de electrones que cedan o reciban.

13.1 Algunos cationes principales

Valencia 1, monovalente

H^+ — *hidrógeno* $\qquad K^+$ — *potasio*

NH_4^+ — *amonio* Ag^+ — *plata*

Na^+ — *sodio* Au^+ — *oro*

Valencia 2, bivalente

Ca^{++} — *calcio* Zn^{++} — *zinc*

Mg^{++} — *magnesio* Cu^{++} — *cobre*

Ba^{++} — *bario* Fe^{++} — *fierro*

Valencia 3, trivalente

Al^{+++} — *aluminio*

Fe^{+++} — *fierro*

Cr^{+++} — *cromo*

Valencia 4, tetravalente

Sn^{++++} — *estaño*

Pt^{++++} — *platino*

13.2 Algunos aniones principales

Valencia 1, monovalente

H^- — *hidrato* NO^-_2 — *nitrito*

F^- — *fluoruro* NO^-_3 — *nitrato*

Cl^- — *cloruro* OH^- — *hidróxido*

$Cl0^-$ — *hipoclorito*

Valencia 2, bivalente

CO_3^{--} — *carbonato* S^{--} — *sulfato*

SO_4^{--} — *sulfato* SO^{--} — *sulfito*

$C_2O_4^{--}$ — *oxalato* SiF_6^{--} — *fluosilicato*

CrO_4^{--} — *cromato* $Cr_2O_7^{--}$ — *dicromato*

Valencia 3, trivalente

N^{---} — *nitrato* PO_4^{---} — *ortofosfato*

P^{---} — *fósforo* $Al0_3^{---}$ — *aluminato*

Valencia 4, tetravalente

$P_2O_7^{----}$ — *pirofosfato*

$[Fe\ (CN)_6]^{----}$ — *ferrocianuro*

14. ESCRITURA Y NOMENCLATURA DE LOS COMPUESTOS IÓNICOS

14.1 Escritura

Para dar fórmulas a los compuestos iónicos (una representación gráfica abreviada), se escribe la representación gráfica del anión, dando al catión un índice numéricamente igual al número de valencia del anión y al anión un índice numéricamente igual al número de valencia del catión. Cuando los índices permiten un divisor común se realiza la simplificación máxima posible.

Cationes

Fe^{++} — *(fierro bivalente)*

Fe^{+++} — *(fierro trivalente)*

Ca^{++} — *(calcio bivalente)*

Aniones

CO_3^{--} — *(carbonato bivalente)*

SO_4^{--} — *(sulfato bivalente)*

$P_2O_7^{----}$ — *(pirofosfato-tetravalente)*

$Fe_2(CO_3)_2$ — *simplificando:* $FeCO_3$

Fórmulas:

$Fe_2(SO_4)_3$ — *no hay divisor común entre 2 y 3*

$Ca_4(P_2O_7)_2$ *Como 4 y 2 son divisibles por 2,*

simplificamos $Ca_2P_2O_7$

Observación: solamente se realiza la simplificación de los índices dados; los índices de los átomos que componen los cationes o los aniones no pueden simplificarse.

14.2 Nomenclatura

Se emplea el nombre del anión, seguido por la preposición *de* y por el nombre del catión y, en caso de ser necesario, se coloca un número romano para que indique la valencia del catión (en el caso de que tenga más de una valencia).

Ejemplo: carbonato de Fierro II; sulfato de Fierro III; Pirofosfato de calcio.

Cuando el catión es hidrógeno (H^+), se emplea una regla especial de nomenclatura que consiste en usar la palabra *ácido* seguida del nombre del anión, con la terminación apropiada.

Entonces

Cationes		**Aniones**
H^+	+	CO_3^- *(carbonato)*
H^+	+	NO_2^- *(nitrito)*
H^+	+	Cl^- *(cloruro)*
H_2CO_3	–	*Ácido carbónico*
HNO_2	–	*Ácido nitroso*
HCl	–	*Ácido clorhídrico*

Se reemplazan las terminaciones:

-ato, *-ito*, *-uro* *respectivamente por* *-ico*, *-oso*, *-hídrico*

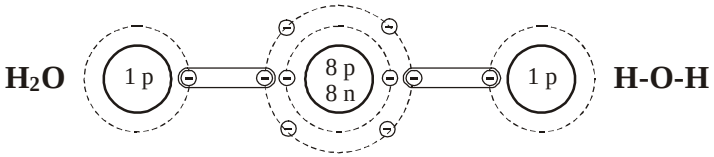
15. LA MOLÉCULA DEL AGUA

Según lo que hemos estudiado hasta este punto, queda implícito que cuando los átomos se unen para formar las moléculas lo hacen con el fin de completar sus últimas capas, lo cual les da estabilidad porque quedan en un estado de energía más bajo que aquel en el que estaban cuando eran átomos aislados.

Por ejemplo, la molécula de agua:

fórmula molecular	fórmula electrónica	fórmula estructural

Figura 14



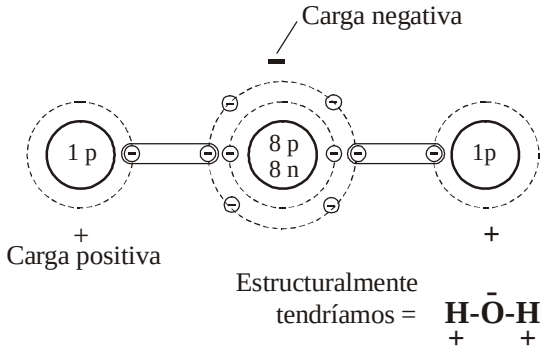
Sin embargo, esta distribución, en principio lógica y verdadera, no puede explicar innumerables propiedades del agua tales como el hecho de que su punto de ebullición sea mayor que el de otras sustancias con mayor peso molecular, así como la solubilidad de las sustancias iónicas.

Pero si observamos atentamente la fórmula electrónica del agua, podemos darnos cuenta con facilidad de que el oxígeno necesita ocho electrones en su última capa mientras que el hidrógeno requiere solamente dos. Debido a esta "necesidad" de más electrones, el oxígeno atraerá los dos pares electrónicos que lo unen a los átomos de hidrógeno lo más cerca de sí. En química, esa mayor "necesidad" de electrones se llama *electronegatividad*.

Como el átomo de oxígeno atrae lo más cerca de sí al par electrónico, sufre un desequilibrio en su carga eléctrica (hasta entonces neutra) y se vuelve ligeramente negativo debido a la proximidad del par electrónico. En consecuencia y por raciocinio análogo, el hidrógeno, al alejarse del par electrónico, se vuelve ligeramente negativo.

Por ejemplo:

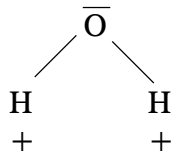
Figura 15



Ahora vamos a considerar a la molécula del agua como molécula *polar;* es decir, como una molécula con polos (puntas extremas) cargados eléctricamente.

Sabemos por física, en lo referente a electricidad, que si tenemos un sistema de cargas, estas buscarán, mediante fuerzas de atracción y repulsión, alcanzar un estado de equilibrio. Lo mismo sucede con la molécula del agua, que crea de esa manera una nueva forma en la disposición de los átomos, lo contrario de la forma lineal clásica.

Estructuralmente, tendríamos:



Gracias a la física, fue posible calcular el ángulo formado por los átomos en la molécula, lo cual llegó a ser comprobado más recientemente en la práctica mediante el uso de técnicas científicas modernas (rayos X). El ángulo es de 104º 31'.

Desde entonces tenemos un nuevo concepto de la molécula del agua, que coincide con la realidad y puede explicar todos los fenómenos en los que esta interviene.

16. DISOCIACIÓN IÓNICA

Un gran número de productos químicos, al ser agregados al agua (solventes), sufren una difusión rápida y pierden su estado sólido, y el líquido permanece transparente, incoloro o coloro. Se dice que esa sustancia está en disolución (es un soluto). La solución pasa totalmente por el filtro sin producirse retención alguna de la sustancia.

Las soluciones en general se caracterizan por presentar una solución total o parcialmente bajo la forma de iones, que poseen cargas positivas (cationes) y cargas negativas (aniones). La molécula se divide, pero debe encontrar un equilibrio de cargas debido a la compensación de cargas positivas y negativas.

Ejemplos:

$$HCl \quad — \quad H^+ \quad + \quad Cl^-$$

$$Na\ OH \quad — \quad Na^+ \quad + \quad OH^-$$

$$NaCl \quad — \quad Na^+ \quad + \quad Cl^-$$

Las sustancias que se disocian en solución se llaman *electrolitos,* y la solución, *electrolítica*.

Existen sustancias que se disocian casi totalmente, y se llaman *electrolitos fuertes*.

Ejemplos: H_2SO_4, NaOH, NaCl, etcétera.

Dichas sustancias permiten el paso de la corriente eléctrica por una solución (corriente fuerte).

Otras sustancias que se disocian poco se llaman *electrolitos débiles*.

Ejemplos: H_3CCOOH (ácido acético), NH_4OH, Al $(OH)_3$, que ofrecen cierta resistencia al paso de la corriente eléctrica (corriente débil).

17. ÁCIDOS

Son sustancias que, diluidas en agua, al disociarse forman específicamente cationes de hidrógeno (H^+).

Algunas propiedades:

Tienen sabor ácido, agrio, corrosivo o cáustico.

Tienen la propiedad de cambiar el color de determinadas sustancias llamadas *indicadores:*

INDICADORES	MEDIO ÁCIDO	MEDIO BÁSICO O ALCALINO
Fenolftaleína	Incoloro	Rojo
Anaranjado de metilo	Rosado fuerte	Amarillo
Tornasol	Rojo	Azul
Rojo de metilo	Rojo fuerte	Amarillo

Estas sustancias producen CO_2 (gas carbónico) al entrar en contacto con el carbonato.

Disuelven metales no nobles con desprendimiento de gas hidrogénico (H_2).

Actúan con las bases y producen sal y agua.

18. BASES O HIDRÓXIDOS

Son sustancias en solución acuosa que, por disociación iónica o electrolítica, liberan, específicamente en forma de anión, el anión hidróxido (OH^-), llamado también *hidroxilo*.

Algunas de sus propiedades son las siguientes:

Tienen un sabor denominado cáustico, corrosivo, básico o alcalino.

Reaccionan con indicadores.

Actúan con los ácidos produciendo sal y agua.

19. SALES

Son sustancias que, en solución acuosa, producen cationes diferentes de H^+ y aniones diferentes de OH^-.

Hemos visto que si colocamos una sustancia en agua, pueden haber varios grados de disociación (fuerte o frágil). Según sea dicha disociación, los ácidos y las bases pueden ser fuertes o débiles. Las sales, a su vez, pueden tener carácter ácido, básico o neutro cuando se originan:

Ácidos		**Bases**		**Sales** (carácter)
fuertes	+	*fuertes*	=	*neutro*
fuertes	+	*frágiles*	=	*ácido*
frágiles	+	*fuertes*	=	*alcalino (básico)*
frágiles	+	*frágiles*	=	*neutro*

En cada caso, hay un comportamiento distinto en el equilibrio de las reacciones, debido a la variación de la relación entre la concentración de iones de hidróxido en la solución.

Ejemplo: ácido fuerte + base fuerte = sal neutra

$$HCl + NaOH \longrightarrow NaCl + H_2O$$

Ácido fuerte + base fuerte = sal ácida

$$3H_2SO_4 + 2Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2(SO_4)_3 + 3H_2O$$

Ácido débil + base fuerte = sal básica

$$H_2CO_3 + 2KOH \longrightarrow K_2CO_3 + 2\,H_2O$$

Ácido débil + base débil = sal neutra

$$H_3CCOOH + NH_4OH \longrightarrow NH_4H_3C_2O_2 + H_2O$$

Observación: $Al_2(SO_4)_3$ es una sal de carácter ácido.

20. ÓXIDOS

Son compuestos formados por oxígeno y por otro elemento. Se representan con la fórmula YO (considerados como procedentes del agua [H_2O] debido a la sustitución de los H de esta última por átomos de otro elemento).

Ejemplo: CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, *etc.*

20.1 Peróxidos

Son óxidos considerados como originarios del agua oxigenada (H_2O_2) por sustitución de los H de esta última por átomos de otro elemento.

Ejemplos:

$$Na_2O_2 \longrightarrow 2Na^+ + O_2^{--}$$

K_2O_2, CaO_2, *etcétera.*

20.2 Polióxidos

Son los óxidos que se caracterizan por presentar en la formación de sus moléculas cuatro átomos de oxígeno unidos entre sí por covalencia (O_4^-).

Ejemplo: Na_2O_4, BaO_4, etcétera.

21. REACCIONES QUÍMICAS

Se llama *reacción química* a todo fenómeno en el cual una o más sustancias se transforman y dan origen a la aparición de otra u otras. Se trata del fenómeno químico en sí.

Las reacciones químicas pueden ser las siguientes:

21.1 De análisis o descomposición

Ejemplo:

Descomposición térmica de una sustancia:

$$2\,HgO \xrightarrow{\triangle} 2\,Hg + O_2\uparrow$$ — *dos sustancias simples.*

$$NH_4NO_2 \xrightarrow{\triangle} 2\,H_2O + N_2\uparrow$$ — *una sustancia simple y una compuesta.*

$$NH_4NO_3 \xrightarrow{\triangle} N_2O + 2\,H_2O$$ — *dos sustancias compuestas.*

$$CaCO_3 \xrightarrow{\triangle} CaO + CO_2$$ — *dos sustancias compuestas.*

21.2 Síntesis

Es una reacción entre dos sustancias simples y puede ser total o parcial.

Ejemplo:

$$H_2 + Cl_2 \xrightarrow[luz]{} 2\,HCl$$

$$2\,H_2 + O_2 \xrightarrow[\text{energía eléctrica}]{} 2\,H_2O$$

Total

$$CO + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow CO_2$$

Parcial (compuesta + simple)

$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$$

(compuesta + compuesta)

21.3 Sustitución simple

Es la reacción entre una sustancia simple y una compuesta, en la cual la simple hace que un elemento de la compuesta cambie de lugar.

Ejemplo:

$$CuSO_4 + Fe° \longrightarrow FeSO_4 + Cu°$$
$$3\ H_2SO_4 + 2\ Al° \longrightarrow Al_2(SO_4)_3 + 3\ H_2$$

21.4 Sustitución doble

Es la reacción entre dos sustancias compuestas que intercambian elementos químicos o radicales.

Ejemplo:

$$NaOH + HCl \longrightarrow NaCl + H_2O$$
$$NaCl + AgNO_3 \longrightarrow AgCl + NaNO_3$$

21.5 Reacción reversible

Es aquella reacción en la cual se procede en sentido opuesto simultáneamente.

Ejemplo: la descomposición térmica de $CaCO_3$ en un recipiente cerrado. Cuando la reacción se calienta, ocurre lo siguiente:

$$CaCO_3 \xrightarrow[\triangle]{} CaO + CO_2$$

Debido a la presión provocada por la descomposición y por el calor, esta también actúa en sentido contrario.

$$CaO + CO_2 \longrightarrow CaCO_3$$

La reacción reversible se expresa de la siguiente forma:

$$CaCO_3 \rightleftarrows CaO + CO_3$$

La disolución de sustancias iónicas en agua —por ejemplo, NaCl—, cuando hay disociación, se produce del siguiente modo:

$$NaCl \rightleftarrows Na^+ + Cl^-$$
$$Na_2SO_4 \rightleftarrows 2\ Na^+ + SO_4$$

21.6 Óxido-reducción

Es la reacción que se realiza para ganar o perder electrones.

Cuando un elemento se oxida, se dice que cedió electrones. Cuando un elemento se reduce, se dice que los ganó.

No puede haber oxidación si no hay reducción.

Ejemplo: $CuSO_4 + Zn° \longrightarrow ZnSO_4 + Cu°$

- $Cu°$: recibió 2 electrones
- $ZnSO_4$: cedió 2 electrones
- $Zn°$: tiene todos los electrones
- $CuSO_4$: valencia + 2 (faltan 2 electrones)

Zn es el elemento reductor $\longrightarrow$ *se oxidó*
Cu es el elemento oxidante $\longleftarrow$ *se redujo*

22. ECUACIÓN QUÍMICA

Los fenómenos o reacciones químicas pueden expresarse gráficamente mediante ecuaciones químicas. Una ecuación química debe traducir lo que ocurre en la práctica, cuantitativa y cualitativamente. Una ecuación química comprende esencialmente dos partes. En la primera parte, a la izquierda, se colocan los elementos que reaccionan y en la segunda, a la derecha —que se indica con una flecha—, los productos resultantes.

En cualquier reacción, la suma de las masas de las sustancias reactivas es igual a la suma de las masas de las sustancias resultantes, lo cual indica que el número de átomos de cada elemento en el primer miembro es necesariamente igual al número de átomos de ese mismo elemento en el segundo miembro.

Ejemplo:

$$2\,Na^{\circ} + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,NaOH + H_2$$
$$46\,g + 36\,g \longrightarrow 80\,g + 2\,g$$
$$82\,g = 82\,g$$

$$2KCl0_3 \xrightarrow[\triangle]{\text{calor}} 3\,0_2 + 2\,KCl \text{ (cloruro de potasio)}$$

23. TIPOS CLÁSICOS DE ECUACIONES QUÍMICAS

a) Siempre que hacemos que un ácido actúe con una base, se forman la sal y el agua.

Ejemplo:

$$NaOH + HCl \longrightarrow NaCl + H_2O$$
$$3\,H_2SO_4 + 2\,Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2(SO_4)_3 + 3\,H_2O$$
$$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaSO_4 + 2\,H_2O$$

b) Siempre que hacemos que un ácido actúe con un carbonato, se forman sal, agua y gas carbónico (CO_2).

Ejemplo:

$$2\,HCl + Na_2CO_3 \longrightarrow 2\,NaCl + H_2O + CO_2$$
$$H_2SO_4 + CaCO_3 \longrightarrow CaSO_4 + H_2O + CO_2$$

c) Siempre que hacemos que un ácido actúe con un metal no noble, se forman sal e hidrógeno.

Ejemplo:

$$2\,HCl + 2\,K \longrightarrow 2\,KCl + 2\,H_2$$
$$H_2SO_4 + Zn \longrightarrow ZnSO_4 + H_2$$

24. AGUA DE CRISTALIZACIÓN

Las sales, en la mayoría de los casos, son estables en forma cristalina, en la cual las moléculas de agua constituyen parte integrante del cristal.

Debido a este hecho, se encuentran reactivos químicos incluso en la forma p. a. (pura para análisis), que contienen agua de cristalización en la molécula.

La fórmula del producto indica el número de moléculas de agua.

Ejemplo:

$FeSO_4 \ . \ 7\ H_2O$

$Na_2S_2O_3 \ . \ 5\ H_2O$

$Al_2(SO_4)_3 \ . \ 18\ H_2O$ *(Agua de cristalización)*

25. SOLUCIONES

Se llama *soluciones* a las mezclas homogéneas de sustancias simples o compuestas de las cuales es imposible separar mecánicamente los constituyentes y cuya composición puede variar dentro de ciertos límites, de manera continua.

25.1 Componentes de una solución

En una solución, el dispersante recibe el nombre de *soluto* o *disuelto* y el medio dispersante se llama *solvente* o *disolvente*.

Se llama *solvente* al componente de la solución que participa en mayor cantidad.

Se llama *soluto* al componente de la solución que participa en menor cantidad.

25.2 Características de una solución

Las soluciones se caracterizan por lo siguiente:

a) Tienen composición variable.
b) Son de propiedades variables.
c) No son resistentes a procesos físicos de fraccionamiento.
d) No pueden ser representadas por fórmulas.

25.3 Clasificación de las soluciones

a) *soluciones sólidas:* el solvente es sólido; el soluto puede ser sólido, líquido o gaseoso.

Ejemplos:

aleaciones metálicas (latón, bronce, etcétera);
amalgama de cobre;
H_2 disuelto en Pd (paladio) o Pt (platino).

b) *soluciones líquidas:* el solvente es líquido; el soluto puede ser sólido, líquido o gaseoso.

Ejemplo:

salmuera;
agua + alcohol;
CO_2 disuelto en agua.

c) *soluciones gaseosas:* el solvente es un gas; el soluto puede ser sólido, líquido o gaseoso.

Ejemplo:

el aire, el polvo, el humo;
nubes (vapor de agua, humedad).

Las soluciones también pueden ser clasificadas de acuerdo con las relaciones entre soluto y solvente:

a) soluciones diluidas;
b) soluciones concentradas;
c) soluciones saturadas;
d) soluciones sobresaturadas.

Con respecto a la naturaleza de las partículas, las soluciones pueden ser del siguiente modo:

a) soluciones iónicas;
b) soluciones moleculares;
c) soluciones atómicas (de gases raros o de metales);
d) soluciones coloidales.

26. MEDICIÓN DE LAS SOLUCIONES

Como no es posible representar las soluciones mediante fórmulas, ha sido necesario definirlas; es decir, indicar su composición.

Tenemos dos tipos de medidas:

a) medidas de porcentaje
- porcentaje en peso
- fracción molar

b) medidas de concentración
- porcentaje en volumen
- gramos por litro
- normalidad
- molaridad

26.1 Porcentaje en peso

Es el que nos indica la masa en gramos del soluto contenida en 100 gramos de solución. El porcentaje se calcula de la siguiente manera:

Siendo m la masa del soluto y
m' la masa del solvente

Entonces, en $m + m'$ existen mg de soluto
en 100 existirá un % de soluto, donde

$$\% \text{ en peso} = \frac{100\ m}{m + m'}$$

Ejercicio:

Se disolvieron 50 g de NaOH en 200 g de agua.
Calcular el porcentaje:

$$m = 50\ g$$
$$m' = 200\ g$$

Por lo tanto,

$$\% = \frac{100 \times 50}{50 + 200} = \frac{5.000}{250} = 20\%$$

26.2 Porcentaje en volumen (composición centesimal de una solución)

Esta medida indica la masa del soluto en 100 mL de solución.

Siendo: m = *la masa del soluto en g*
m' = *es el volumen de la solución en mL*

Si en m' mL de solución existen mg de soluto, en 100 mL de solución, ¿qué porcentaje en volumen existirá?

$$\% \text{ en volumen} = \frac{100 \times m}{m'}$$

Ejercicio:

Disolví 50 g de NaOH con agua para obtener 500 mL de solución. Calcule el porcentaje en volumen.

$$m = 50\ g$$
$$m' = 500\ mL$$

$$\%\ en\ volumen = \frac{100 \times 50}{500} = 10\%$$

Este tipo de solución se utiliza en el servicio de agua. Así, para el tratamiento se preparan soluciones de sulfato de aluminio, cal, etcétera.

Ejercicio:

Un depósito de sulfato de aluminio contiene 6 m^3 de solución. ¿Cuántos kilos de sulfato de aluminio debo colocar para obtener una solución de 5%?

$$\%_{volumen} = 5\%$$
$$m = ?$$
$$m' = 6.000.000\ mL$$
$$\% = \frac{100 \times m}{m'} \quad luego, \quad 5 = \frac{100 \times m}{6.000.000}$$
$$5 \times 6.000.000 = 100\ m$$
$$100\ m = 30.000.000$$
$$m = 300.000\ g$$
$$como\ 1\ kg = 1.000\ g$$
$$Y = 300.000\ g$$

$$y = \frac{1 \times 300.000}{1.000} = 300\ kilogramos$$

Ejercicio:

¿Cómo preparar 200 mL de solución acuosa con 1% de sulfato de aluminio?

$$\%_{volumen} = \frac{100 \times m}{m'} \quad m = ?$$
$$m' = 200\ mL$$
$$\% = 1\%$$

$$1 = \frac{100 \times m}{200} \quad luego,\ 1 \times 200 = 100\ m$$
$$100\ m = 200$$
$$m = \frac{200}{100} = 2\ g$$

Se toman 2 g de sulfato de aluminio, se los disuelve en agua y se eleva el volumen a 200 mL, con agua.

26.3 Concentración en gramos por litro (Cg/L)

Es el tipo de concentración que nos indica la masa en gramos de soluto contenida en un litro (o 1.000 mL) de solución.

dado m = masa del soluto
dado $V(L)$ = volumen en litros

$$\boxed{Cg/L = \frac{m}{V(L)}}$$

Ejercicio:

Disolví 50 gramos de NaCl en 500 mL de agua.

¿Cuál es el Cg/L de la solución?

$$Cg/L = \frac{m}{V(L)} \qquad m = 50\ g \quad V(L) = 0{,}5\ L$$

$$Cg/L = \frac{50}{0{,}5} = 100\ g/L$$

26.4 Molaridad

Es el tipo de concentración que indica el número de moles o de moléculas gramo contenidas en un litro (ó 1.000 mL) de la solución.

Sea: m la masa del soluto en gramos;
n el número de moles del soluto;
M el mol (molécula gramo) del soluto;
V(L) el volumen de la solución en litros.

$$Molaridad = Mr = \frac{n}{V(L)}$$

$$N = \frac{m}{M}$$

$$Mr = \frac{\frac{m}{M}}{V(L)}$$

Luego: $$\boxed{Mr = \frac{m}{M.V(L)}}$$

Ejercicio:

Se disolvieron 66,6 g de sulfato de aluminio común en 500 mL de agua. ¿Cuál es la molaridad de la solución?

$$m = 66{,}6\ g$$
$$M = 666\ g$$

Si tomamos en cuenta que la fórmula de sulfato de aluminio es $Al_2(SO_4)_3.18\ H_2O$, veremos que la molécula contiene:

peso atómico

2	x	Al	–	2	x	27	=	54
3	x	S	–	3	x	32	=	96
30	x	O	–	30	x	16	=	480
36	x	H	–	36	x	1	=	36
Mol							=	666 g

$$V(L) = 0{,}5\ L$$

$$Mr = \frac{m}{M \times V(L)} \qquad Mr = \frac{66{,}6}{666 \times 0{,}5} = \frac{66{,}6}{333} = 0{,}2\ Mr$$

26.5 Normalidad

Es un tipo de concentración que nos indica el número de equivalente gramo de soluto que contiene un litro de solución. Para calcular la normalidad de una solución, se relaciona el número de equivalente gramo de soluto con el volumen total de la solución expresada en litros.

Sea: m la masa del soluto en g
Eq el equivalente gramo
n_1 el número de equivalente gramo
N la normalidad

$$N = \frac{n_1}{V(L)} \qquad n_1 = \frac{m}{Eq} \quad \text{entonces,}$$

$$N = \frac{\frac{m}{Eq}}{V(L)} \quad \textit{luego:} \qquad \boxed{N = \frac{m}{Eq \times V(L)}}$$

26.6 Equivalente gramo

Se determina el equivalente gramo de elementos y sustancias iónicas no oxidantes y no reductoras.

a) *Equivalente gramo de un elemento*

$$Eq_{elemento} = \frac{\text{átomo gramo}}{\text{valencia del elemento}}$$

Ejemplos:

$$Eq_{Na} = \frac{23}{1} = 23\ g$$

$$Eq_{Ca} = \frac{40}{2} = 20\ g$$

$$Eq_{Ba} = \frac{137}{2} = 68{,}5\ g$$

$$Eq_{Al} = \frac{27}{3} = 9\ g$$

b) Equivalente gramo de un ácido

Para determinar el equivalente gramo de un ácido, se divide la molécula gramo (o Mol) del ácido entre el número de H ionizables que contiene.

Ejemplos:

$$Eq_{HCl} = \frac{36{,}5}{1} = 36{,}5\ g$$

$$Eq_{H_2SO_4} = \frac{98}{2} = 49\ g$$

$$Eq_{H_3PO_4} = \frac{98}{3} = 32{,}66\ g \ \textit{(ácido ortofosfórico)}$$

$$Eq_{H_4P_2O_7} = \frac{178}{4} = 44{,}5\ g \ \textit{(ácido pirofosfórico)}$$

c) *Equivalente gramo de una base*

Se divide la molécula gramo (o Mol) de la base por el número de grupos OH de ella (o por la valencia del catión).

Ejemplos:

$$Eq_{NaOH} = \frac{40}{1} = 40\ g$$

$$Eq_{Ca(OH)_2} = \frac{74}{2} = 37\ g$$

$$Eq_{Al(OH)_3} = \frac{78}{3} = 26\ g$$

$$Eq_{Sn(OH)_4} = \frac{248}{4} = 62\ g$$

d) Equivalente gramo de una sal simple

Para determinar el equivalente gramo de una sal simple, se divide la molécula gramo (o mol) entre el número total de unidades de valencia del catión (o del anión).

Ejemplos:

$$Eq_{NaNO_3} = \frac{95}{1} = 95\ g$$

$$Eq_{K_2SO_4} = \frac{174}{2} = 87\ g$$

$$Eq_{FeCl_3} = \frac{162,5}{3} = 54,16\ g$$

$$Eq_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{342}{6} = 57\ g$$

e) *Equivalente gramo de sustancias oxidantes o reductoras*

Para determinar el equivalente gramo de una sustancia oxidante o reductora, se divide la molécula gramo (o mol) de dicha sustancia entre la variación total de valencia que pueda sufrir el elemento de valencia variable existente en dicha sustancia.

Ejemplos:

$$Fe\ Cl_3 \longrightarrow Fe\ Cl_2$$

$$3 \qquad\qquad 2$$

$$3 - 2 = 1$$

$$Eq_{FeCl_3} = \frac{162,5}{1} = 162,5$$

Equivalente del $KMnO_4$ en un medio ácido:

$$2\ KMnO_4 + 3\ H_2SO_4 \longrightarrow 2\ MnSO_4 + K_2SO_4 + 3\ H_2O$$

Mn pasa en la reacción de la valencia + 7 a + 2

$$7 - 2 = 5$$

$$Eq_{KMnO_5} = \frac{158}{5} = 31,6\ g\ (ácido)$$

Equivalente del $KMnO_4$ en un medio básico

$$2\ KMnO_4 + H_2O \longrightarrow 2\ KOH + 2\ MnO_2 + 3\ O$$

Mn pasa de la valencia + 7 a + 4

$$7 - 4 = 3$$

$$Eq_{KmnO_4} = \frac{158}{3} = 52,66\ g\ (básico)$$

Ejercicio:

Se disolvieron 12 g de NaOH en agua destilada y se completó el volumen hasta un litro con agua destilada. ¿Cuál es la normalidad de la solución?

$$N = \frac{m}{Eq \times V(L)}$$

$$m = 12\ g$$

$$Eq_{NaOH} = \frac{40}{1} = 40\ g$$

$$V(L) = 1$$

$$1 \times Na = 1 \times 23 = 23$$
$$1 \times O = 1 \times 16 = 16$$
$$1 \times H = 1 \times 1 = 1$$
$$Mol = 40$$

$$N = \frac{12}{40 \times 1} = 0{,}3\ N$$

Ejercicio:

Se disolvieron 9,8 g de H_2SO_4 en agua destilada y se completó el volumen hasta 2.000 mL con agua destilada. ¿Cuál es la normalidad de la solución?

$$m = 9{,}8\ g$$

$$Eq_{H_2SO_4} = \frac{98}{2} = 49\ G$$

$$V(L) = 2\ L$$

$$N = \frac{9{,}8}{49 \times 2} = 0{,}01\ N$$

Ejercicio:

Se preparó una solución de 0,1 N con 9,48 g de $KMnO_4$ para oxidar en medio ácido. ¿Cuántos litros de solución se prepararon?

$$m = 9{,}48\ g$$

$$EqKMnO_4 = \frac{158}{5} = 31{,}6\ g$$

$$V(L) = ?$$
$$N = 0{,}1\ N$$

$$N = \frac{m}{Eq.\ V(L)} \quad 0{,}1 = \frac{9{,}48}{31{,}6 \times V(L)} \quad entonces,\ 3{,}16 \times V(L) = 9{,}48$$

$$V(L) = \frac{9{,}48}{3{,}16} = 3\ litros$$

26.7 Factor de corrección

El factor de corrección se obtiene de la siguiente manera:

$$fc = \frac{N.\ real}{N.\ teóric} = \frac{mL\ teóricos}{mL\ real} = \frac{cantidad\ real\ del\ soluto}{cantidad\ teórica\ del\ soluto}$$

27. DISOLUCIÓN CON O SIN REACCIÓN

En la práctica, muchas disoluciones se verifican mediante reacciones químicas.

$$HCl + H_2O = H_3O^+ + C10^-$$

$$Cl_2 + H_2O = HCl + HCl0$$

$$NH_3 + H_2O = NH_4OH$$

etcétera.

Algunos ejemplos de disolución son los siguientes:

yodo en el tetracloruro sin reacción;
azufre en el sulfato de carbono;
grasas en el éter, etcétera.

Todos los ejemplos anteriores son de soluciones verdaderas, en las cuales las partículas de soluto dispersas en el solvente son menores a 0,001 μm (micrómetro) (μm = milésima parte del milímetro).

28. SUSPENSIÓN

Cuando hacemos hervir el gas carbónico (CO_2) en agua de cal, se produce una formación de pequeñas partículas de carbonato de calcio ($CaCO_3$). Dichas partículas permanecen suspendidas y dan al agua un aspecto lechoso (suspensión).

Las suspensiones pueden ser de los tipos siguientes:

28.1 Concentradas

En las suspensiones ordinarias las partículas pueden observarse a simple vista y, por lo tanto, tienen diámetro mayor a 0,1 μm (microscópicas y macroscópicas).

Ejemplo:

Se coloca un polvo fino e insoluble en un líquido y se agita.

28.2 Ultramicroscópicas

Se llama *ultramicroscópicas* a las partículas no visibles a simple vista, menores que 0,1 μm.

SISTEMAS		DIMENSIÓN DE LAS PARTÍCULAS
1. Soluciones verdaderas		Menores que 0,001 μm
2. Suspensiones	Ultramicroscópicas (coloidales)	0,001 µm a 0,1 μm
	Concentradas (microscópicas o macroscópicas)	Mayores que 0,1 μm

Suspensiones coloidales (soluciones falsas) o soluciones coloidales son sistemas dispersos en que las partículas en suspensión varían entre 0,001 μm y 0,1 μm; reciben el nombre de *coloides*.

Ejemplos de coloides:

a) Constituidos por una sola molécula (moléculas gigantes)
Ejemplo: las proteínas (como la clara de huevo).

b) Constituidos por agregados de átomos
Ejemplo: oro coloidal, plata coloidal, platino coloidal, etcétera.

c) Constituidos por conglomerados de moléculas
Ejemplo: mayonesa, sílice coloidal, aceite de hígado de bacalao, etcétera.

Observaciones: los sólidos dispersos en líquidos pueden dar como resultado la formación de líquidos o de sólidos.

Los líquidos reciben el nombre de *soles* y, cuando el dispersante es el agua, se conocen como *hidrosoles*.

Ejemplos: tintas, gomas de almidón, etcétera.

Los sólidos reciben el nombre de *gel* y cuando el dispersante es el agua, se conocen como *hidrogel*.

Ejemplos: jaleas, gel sílico, hidróxido de aluminio, etcétera.

Cuando el líquido dispersante penetra en la misma estructura de la fase dispersa —es decir, cuando las partículas absorben el líquido dispersante y, en consecuencia, no pueden ser reconocidas en el microscopio— los coloides reciben el nombre de *emulsoides*.

29. SOLUCIÓN COLOIDAL

Cuando estudiamos las soluciones y las suspensiones quedó implícito que es posible distinguir fácilmente una solución (mezcla homogénea) de una suspensión (mezcla heterogénea). Sin embargo, esta distinción no es exacta, pues existen otros sistemas que no son claramente homogéneos ni heterogéneos. Tales sistemas son intermediarios y se conocen como *coloidales*.

Entre las suspensiones gruesas y las soluciones existe una región en la cual las partículas dispersas son tan pequeñas que no constituyen una fase nítidamente separada y, a la vez, no son lo suficientemente pequeñas como para formar una solución.

Las líneas limítrofes entre soluciones y coloides, y entre coloides y fases discretas no son rigurosamente fijas, puesto que siempre es posible una graduación del tamaño de las partículas. Definimos a la solución coloidal como un sistema disperso en el cual las partículas en suspensión varían entre los límites de 10^{-7} cm (0,001μm) y 10^{-4} cm (0,1μm).

29.1 Tipos de coloides

Aunque la solución coloidal se define en función del tamaño de las partículas, el tamaño no guarda relación con la constitución de las partículas; así, podemos tener partículas formadas por los siguientes elementos:

1) Moléculas aisladas (moléculas gigantes):
las proteínas (tales como la clara de huevo);
azúcares complejos (almidón).

2) Conglomerados de átomos:
oro, plata, platino coloidal.

3) Conglomerados de moléculas:
mayonesa;
sílice coloidal;
aceite de hígado de bacalao.

29.2 Tipos de soluciones coloidales

La clasificación de las soluciones coloidales se realiza sobre la base del estado de adición de las fases componentes, a pesar de que estas no puedan distinguirse a simple vista cuando el coloide está formado.

Según lo expuesto anteriormente, los coloides se clasifican del siguiente modo:

1) Soles
Un sólido es dispersado por un líquido, de manera que este forma la fase continua y los fragmentos de sólido (partículas), la fase discontinua.

2) Gel
Es un tipo no común de coloide en el cual un líquido contiene un sólido en un retículo fino que se dilata a través del sistema. Ambas fases, la sólida y la líquida, son continuas.

Ejemplos: jaleas, gelatinas, hidróxido de aluminio, etcétera.

3) Emulsiones
Son soluciones coloidales en las cuales un líquido está disperso en otro.

Ejemplo: la leche. La leche está formada por glóbulos de grasa en solución acuosa.

4) Aerosol
Es una solución coloidal que se obtiene de la dispersión de un sólido en un gas.

Ejemplo: el humo del cigarro (sólido + gas), pulverización de DDT (líquido + gas).

30. PROPIEDADES DEL ESTADO COLOIDAL

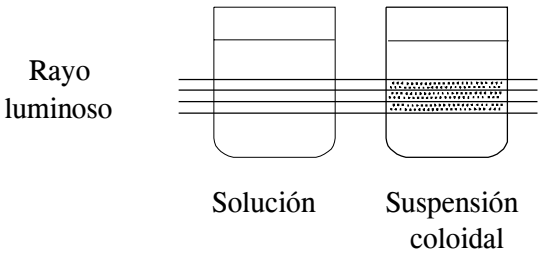
30.1 Difusión

Los coloides se obtienen de membranas porosas (pergamino animal o vegetal). Las sustancias disueltas atraviesan las membranas (diálisis); sin embargo, las partículas en suspensión quedan retenidas.

30.2 Efecto de Tyndall

Cuando se hace pasar un rayo luminoso a través de una solución verdadera y de una suspensión coloidal,

Figura 16



si se observa la dispersión coloidal de manera perpendicular a la luz y contra un fondo oscuro, se comprueba la existencia de puntos brillantes que resultan de la difusión luminosa en las partículas coloidales, lo contrario de lo que ocurre en la solución verdadera. Este fenómeno se conoce como *efecto de Tyndall*.

30.3 Movimiento browniano

Las partículas de los coloides están en constante movimiento debido al movimiento molecular del dispersante.

30.4 Propiedades eléctricas

Muchas partículas de los coloides, al absorber iones, quedan cargadas de electricidad. Estos coloides reciben el nombre de *coloides protegidos*.

31. PRECIPITACIÓN DE LOS COLOIDES. COAGULACIÓN

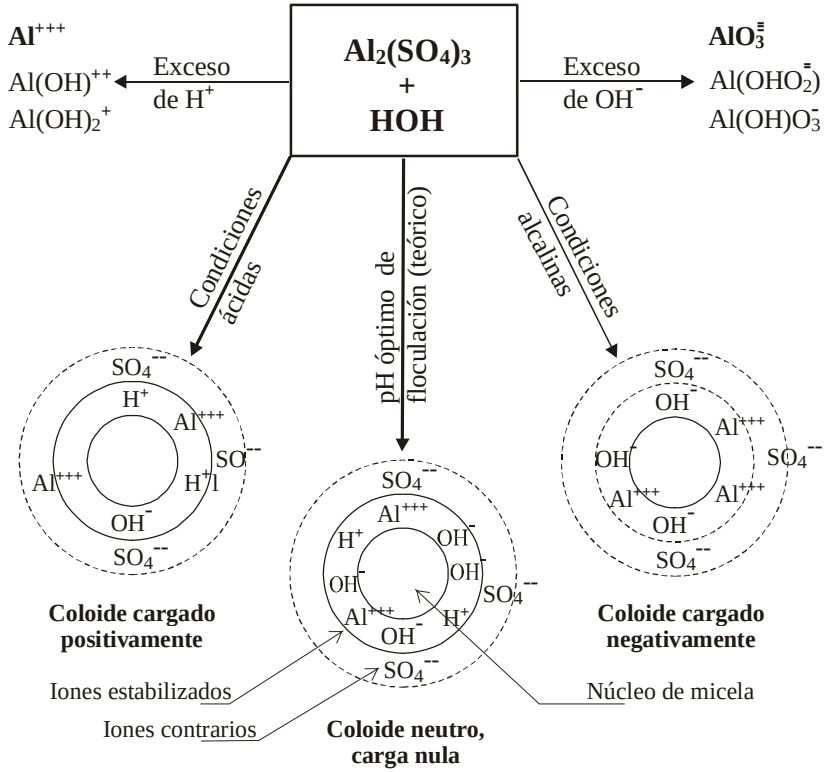
La adición de sustancias electrolíticas a los coloides puede neutralizar sus cargas eléctricas protectoras y, como consecuencia, las partículas se reúnen y dan como resultado la precipitación. Este fenómeno se llama *coagulación de coloide*.

Se debe remarcar que cuanto mayor sea carga eléctrica del ion neutralizador, mayor será la capacidad coagulante.

Esta es una de las razones por las cuales el sulfato de aluminio se utiliza como coagulante del agua.

32. TEORÍA DE LA COAGULACIÓN E IMPORTANCIA DEL pH ÓPTIMO DE FLOCULACIÓN

Figura 17



El sulfato de aluminio actúa con la alcalinidad propia (o agregada) del agua:

$$Al_2(SO_4)_3 + 3\ Ca\ (HCO_3)_2 \longrightarrow 2\ Al\ (OH)_3 + 3\ CaSO_4 + 6\ CO_2$$

para producir así el hidróxido de aluminio, que es un hidróxido anfótero; es decir, que puede ionizar como un compuesto o un compuesto básico positivo, dependiendo principalmente de la concentración hidrogénica (pH).

Así, cuando el pH es muy bajo:

$$[H^+] \text{ alta}$$

$$Al\,(OH)_3 \rightleftarrows Al\,(OH)_2^+ + (H^+ + OH^-)$$

O bien

$$AlOH^{++} + 2(H^+ + OH^-) \ldots$$

O bien

$$Al^{+++} + 3(H^+ + OH^-).$$

Cuando el pOH es muy bajo:

$$[OH^-] \text{ alta}$$

$$Al\,(OH)_3 \rightleftarrows Al\,(OH)_2O^- + (H^+ + OH^-) \ldots.$$

O bien

$$Al(OH)O_2^- + 2(H^+ + OH^-) \ldots.$$

O bien

$$AlO_3^- + 3(H^+ + OH^-)$$

En el primer caso, la acidez presente neutraliza el OH^- y forma sales de aluminio que disocian.

En el segundo caso, los aluminatos (AlO_3^{--}), solubles, se forman en zonas alcalinas.

Por ello es importante el pH óptimo de floculación, que determina el campo isoeléctrico (carga cero) del coágulo y la mayor posibilidad de reunión de los coágulos para formar el mejor flóculo.

33. pH. POTENCIAL DE HIDRÓGENO. INTRODUCCIÓN

En 1887, Swante Arrhenius observó que las soluciones cuyo comportamiento es anormal en relación con las leyes de Raoult y Vant-Hoff, a diferencia de las que obedecen a estas leyes, presentan también la particularidad de dejarse atravesar por la corriente eléctrica. A partir de ese hecho afirmó que las moléculas de las sustancias cuyas soluciones son conductoras de corriente eléctrica cuando están disueltas, sufren una separación y originan átomos o grupos de átomos dotados de carga eléctrica positiva y negativa.

Arrhenius llamó a esta separación *disociación electrolítica* o *ionización* y a las partículas así formadas, *iones*.

De acuerdo con esta teoría, la molécula del NaCl, por ejemplo, se descompone en iones positivos de Na^+ y en iones negativos de Cl^- cuando está en solución. Para representar la disociación electrolítica (o iónica) de la sal se escribe simplemente lo siguiente:

$$NaCl \rightleftarrows Na^+ + Cl^-$$

El signo $\rightleftarrows$ representa la reversibilidad de la disociación.

Para otros electrolitos:

$$HCl \rightleftarrows H^+ + Cl^-$$

$$H_2SO_4 \rightleftarrows 2H^+ + SO_4^{--}$$
$$NaOH \rightleftarrows Na^+ + OH^-$$
$$Ca(OH)_2 \rightleftarrows Ca^{++} + 2\ OH^-$$

La propia agua experimenta, aunque en proporciones muy reducidas, una disociación que podríamos representar mediante la siguiente ecuación:

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

33.1 Equilibrio iónico

Utilicemos un electrolito AB binario cuyo equilibrio representaremos del siguiente modo:

$$AB \rightleftarrows A^+ + B^-$$

La experiencia demuestra que si AB fuera un electrolito débil —es decir, si su grado de disociación fuera relativamente bajo—, la ley de Gildberg-Waage se podría aplicar en este equilibrio. Si aplicamos dicha ley tenemos:

$$\frac{[A^+]\ [B^-]}{[A\ B]} = K$$

En las soluciones de electrolitos débiles, una vez que se ha alcanzado el estado de equilibrio $AB \rightleftarrows A^+ + B^-$, la relación entre el producto de las concentraciones iónicas y la concentración del electrolito no disociado es constante.

(K = constante de disociación)

El examen de tal expresión revela que al aumentar la concentración de uno de los iones en equilibrio; por ejemplo,

$[B^-]$ a la ecuación reversible $AB \rightleftarrows A^+ + B^-$, habrá una reacción de derecha a izquierda y, en consecuencia, aumentará la concentración del electrolito no disociado.

En efecto, si K permaneciera constante en la relación

$$\frac{[A^+]\ [B^-]}{[A\ B]} = K$$

cuando aumente $[B^-]$ también debería aumentar [AB], lo cual solo es posible con la reacción

$$A^+ + B^- \longrightarrow AB$$

En otras palabras, cuando se agregan iones $[B^-]$ a una solución electrolítica de [AB], las moléculas nuevas [AB] se forman a expensas de una parte de $[A^+]$ ya existente en la solución.

Por lo tanto, cuando se agregan iones $[B^-]$ a la solución del electrolito [AB], la ionización de [AB] retrocede.

En resumen, se puede generalizar lo siguiente:

Cuando a la solución de un electrolito se le añade otro que tenga un ion común con el primero, este impide su ionización.

Y en conclusión:

Cuando a la solución de un electrolito se suma la concentración de uno de los iones en equilibrio, la concentración del otro debe disminuir.

33.2 Producto iónico del agua

Como el agua es un electrolito binario que se disocia y proporciona catión H^+ y aniones OH^-, se puede escribir:

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

Si aplicamos la ley de la acción de las masas, tenemos lo siguiente:

$$\frac{[H^+]\ [OH^-]}{[H_2O]} = K, \text{ donde } K = \textit{constante de ionización del agua.}$$

El agua es un electrolito muy frágil.

Mediante métodos electrométricos se concluye que en 1.000 g de agua (1.000/18 = 55,5) o en 55,55 moles de agua, solamente (10^{-7}) o 0,00000010 mol se disocian a temperatura ambiente, 22 °C; esto es: de 1.000 g de agua ó 55,55 moles de agua a temperatura ambiente se disocia solo un décimo millonésimo de un mol del agua.

En ese caso, la concentración molar del agua no disociada es prácticamente igual a la concentración total del agua. Por lo cual podemos escribir lo siguiente:

$$[H_2O] = constante$$

Donde:

$$\frac{[H^+]\ [OH^-]}{[H_2O]} = \frac{[H^+]\ [OH^-]}{constante} = K$$

Entonces: $[H^+]\ [OH^-] = K\ constante$

K.constante es una constante nueva del agua que se representa mediante K_w y se llama producto iónico del agua. Luego:

$$[H^+]\ [OH^-] = K_w \qquad \textit{(producto iónico del agua)}$$

Experimentalmente, se verificó que K_w a 22 °C es aproximadamente igual a 0,000000000000010 ó (10^{-14}). Por lo tanto, podemos escribir lo siguiente:

$$[H^+]\ [OH^-] = 10^{-14} = 0{,}000000000000010$$

La disociación de un mol de agua proporciona un ion gramo de H^+ y un ion gramo de OH^-. Por equivalencia, en el agua pura podemos escribir:

$$[H^+]^2 = 10^{-14} = 0{,}000000000000010 \text{ ion gramo}$$

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} = 0{,}00000010 \text{ ion gramo/litro}$$

Por lo tanto, en un litro de agua pura a temperatura ambiente, existe un décimo millonésimo de ion gramo de H^+ y un décimo millonésimo de ion gramo de OH^-.

33.3 Acidez y basicidad de las soluciones

Si $[H^+]\ [OH^-]$ es una constante y recordamos que cuando en la solución de un electrolito se aumenta la concentración de uno de los iones la concentración del otro debe disminuir, podemos afirmar lo siguiente:

a) Si se disuelve un ácido en agua pura, o se aumenta la concentración hidrogénica $[H^+]$, consecuentemente se reducirá la concentración

hidroxílica $[OH^-]$ e, inversamente, si disolvemos el agua pura en una base —es decir, si la concentración oxidrílica aumenta—, la concentración hidrogénica disminuye.

b) La concentración $[OH^-]$ en una solución ácida y la concentración $[H^+]$ en una solución básica no pueden ser nulas. Esto quiere decir que en la solución acuosa de cualquier ácido siempre se encuentran iones $[OH^-]$ y en la solución acuosa de cualquier base siempre se encuentran iones $[H^+]$.

A una temperatura de 22 °C, tenemos:

1) en el agua pura $[H^+] = 10^{-7}$ y $[OH^+] = 10^{-7}$

2) en una solución ácida $[H^+] > 10^{-7}$ y $[OH^-] < 10^{-7}$

3) en una solución básica $[H^+] < 10^{-7}$ y $[OH^-] > 10^{-7}$ iones gramo/L

De lo cual se deduce lo siguiente:

Solución ácida es aquella cuya concentración hidrogénica es mayor que 10^{-7} iones gramo/L.

Solución básica es aquella cuya concentración hidrogénica es menor que 10^{-7} iones gramo/L.

Solución neutra es aquella en la cual $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$.

Cuando el carácter ácido, básico o neutro de una solución depende de su $[H^+]$, se puede tomar la concentración hidrogénica o hidroxílica $[OH^-]$ como "medida" de su acidez o basicidad.

Por ejemplo:

Siendo $[H^+]$ de una solución molar de $H_3CCOOH = 0{,}004$ iones gramo/L; es decir:

$[H^+] = 0{,}004 = 4 \times 10^{-3}$ *iones gramo/L* y si se sabe que

$[H^+]\,[OH^-] = 10^{-14}$; luego,

$$[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{4 \times 10^{-3}} = \frac{1}{4} \times 10^{-11} =$$

$$2{,}5 \times 10^{-12} = 0{,}0000000000025 \text{ iones gramo/L}$$

y la acidez igual a 4×10^{-3} la basicidad será $2{,}5 \times 10^{-12}$ iones gramo/L. Para el estado del agua tendríamos:

$$\begin{array}{lcl} [H^+] & . & [OH^-] = 10^{-14} \\ [10^{-5}] & . & [10^{-9}] = 10^{-14} \\ [10^{-3}] & . & [10^{-11}] = 10^{-14} \\ [10^{-0}] & . & [10^{-14}] = 10^{-14} \end{array} \qquad (1)$$

Para el estado básico del agua tendríamos lo siguiente:

$$\begin{array}{lcl} [10^{-9}] & . & [10^{-5}] = 10^{-14} \\ [10^{-12}] & . & [10^{-2}] = 10^{-14} \\ [10^{-14}] & . & [10^{-0}] = 10^{-14} \end{array} \qquad (1)$$

(1) Tabla de Sorensem

Para evitar la dificultad de operar con números fraccionarios grandes o con exponentes negativos, Sorensem sugirió, en 1909, el índice pH para representar las concentraciones hidrogénicas.

$$pH = \textit{potencial de hidrógeno}$$

Logarítmicamente, sabemos lo siguiente:

$log_{10}\, x = y$, *y se lee* $10^{y} = x$; o, de otro modo, que

$colog_{10}\, x = -y$, *y se lee* $10^{-y} = x$; y que

$-log\, x = colog\, x$

Entonces:

$$log\, 10^{-7} = -7 \;\; y \;\; -log\, 10^{-7} = 7$$

Para representar el índice de Sorensem o índice pH se definió lo siguiente:

$$pH = -\,log\,[H^+] \text{ o bien } pH = log\,\frac{1}{[H^+]}$$

o bien $pH = colog\,[H^+]$

El potencial de hidrógeno, representado por el símbolo pH, es el logaritmo negativo de la concentración hidrogénica; el logaritmo del inverso de la concentración de hidrógeno ionizado o el cologaritmo de la concentración hidrogénica (expresados en iones gramo por litro).

En las soluciones ácidas $[H^+] > 10^{-7}$ o bien $pH < 7$
En las soluciones básicas $[H^+] < 10^{-7}$ o bien $pH > 7$

Las tablas (1) de Sorensem podrían ser representadas de la siguiente manera:

Para el estado ácido del agua:

pH		pOH		suma
5	+	9	=	14
3	+	11	=	14
0	+	14	=	14

Para el estado básico del agua:

9	+	5	=	14
12	+	2	=	14
14	+	0	=	14

donde pH + pOH = 14

Si se conoce el pH de una solución, también se conoce el pOH.

34. DETERMINACIÓN DEL pH (CONCENTRACIÓN DE LOS IONES DE H^+ EN IONES GRAMO/L)

Los procesos para la determinación del pH de un medio acuoso agua son dos:

1. colorimétrico
2. electrométrico

34.1 Método colorimétrico

El método colorimétrico se basa en la existencia de ciertas sustancias llamadas *indicadores*, que tienen la propiedad de cambiar de color

según el pH de la solución en la que son introducidos. Tales indicadores son ácidos o bases frágiles (de naturaleza orgánica) cuyas moléculas presentan colores diferentes de los colores de sus iones; estos cambian de coloración según el grado de descomposición que sufran, la cual, a su vez, depende del pH de la solución en la que son introducidos.

Los indicadores utilizados con más frecuencia para determinar el pH del agua en una planta de tratamiento de agua son el azul de bromotimol, el rojo de metilo, el rojo de fenol, el rojo de cresol y la fenolftaleína.

Cuando se añade un indicador ácido en una solución ácida, los iones H^+ de la solución hacen retroceder la disociación del indicador y la solución adquiere el color de las moléculas del indicador no disociado.

Cuando, por el contrario, se añade un indicador básico en una solución ácida, se obtiene la salificación del indicador y, como la sal formada se disocia con mayor fuerza que el ácido, la solución adquiere el color del anión del indicador. Fenómenos análogos ocurrirían si se utilizara un indicador en una solución básica.

En la actualidad, la variación cromática que un indicador experimenta en un medio ácido o básico se explica por los fenómenos de tautomería.

El cambio de color que experimenta un indicador —o como se suele decir, su *viraje*—, nunca es brusco sino que se realiza gradualmente, pasando por colores intermedios que constituyen las "zonas de viraje" de la sustancia.

Indicador	Zona de pH	Cambio de color
Azul de bromotimol	6,0 a 7,6	amarillo-verde-azul
Rojo de metilo	4,4 a 6,0	amarillo-rosado-rojo
Rojo de fenol	6,8 a 8,4	verde-rojizo-violeta
Fenolftaleína	8,6 a 10,2	incoloro-lila-violeta

Tabla 1

Tabla de elementos químicos

con masas atómicas relacionadas con el isótopo del carbono 12

N.° atómico	Símbolo	Nombre	Masas atómicas	Capas electrónicas						
				K	L	M	N	O	P	Q
1	H	Hidrógeno	1,00797	1						
2	He	Helio	4,0026	2						
3	Li	Litio	6,939	2	1					
4	Be	Berilio	9,0122	2	2					
5	B	Boro	10,811	2	3					
6	C	Carbono	12,01115	2	4					
7	N	Nitrógeno	14,0067	2	5					
8	O	Oxígeno	15,9994	2	6					
9	F	Flúor	18,9984	2	7					
10	Ne	Neón	20,183	2	8					
11	No	Sodio	22,9893	2	8	1				
12	Mg	Magnesio	24,312	2	8	2				
13	Al	Aluminio	26,9815	2	8	3				
14	Si	Silicio	28,096	2	8	4				

N.º atómico	Símbolo	Nombre	Masas atómicas	Capas electrónicas						
				K	L	M	N	O	P	Q
15	P	Fósforo	30,9738	2	8	5				
16	S	Azufre	32,064	2	8	6				
17	Cl	Cloro	35,453	2	8	7				
18	Ar	Argón	39,948	2	8	8				
19	K	Potasio	39,102	2	8	8	1			
20	Ca	Calcio	40,08	2	8	9	2			
21	Sc	Escandio	44,95	2	8	10	2			
22	Ti	Titanio	47,90	2	8	11	2			
23	V	Vanadio	50,942	2	8	13	1			
24	Cr	Cromo	51,996	2	8	13	2			
25	Mn	Manganeso	54,9381	2	8	13	2			
26	Fe	Fierro	55,847	2	8	14	2			
27	Co	Cobalto	58,9332	2	8	15	2			
28	Ni	Níquel	58,71	2	8	16	2			
29	Cu	Cobre	68,54	2	8	18	1			
30	Zn	Zinc	65,38	2	8	18	2			
31	Ga	Galio	69,72	2	8	18	3			
32	Ge	Germanio	72,59	2	8	18	4			
33	As	Arsénico	74,9216	2	8	18	5			
34	Se	Selenio	78,96	2	8	18	6			
35	Br	Bromo	79,909	2	8	18	7			
36	Kr	Criptón	83,80	2	8	18	8			
37	Rb	Rubidio	85,47	2	8	18	8	1		

N.º atómico	Símbolo	Nombre	Masas atómicas	Capas electrónicas						
				K	L	M	N	O	P	Q
38	Sr	Estroncio	87,62	2	8	18	8	2		
39	Y	Itrio	88,905	2	8	18	9	2		
40	Zr	Circonio	91,22	2	8	18	10	2		
41	Nb	Niobio	92,906	2	8	18	12	1		
42	Mo	Molibdeno	95,94	2	8	18	13	1		
43	Tc	Tecnecio	(99)	2	8	18	14	1		
44	Ru	Rutenio	101,07	2	8	18	14	1		
45	Rh	Rodio	102,905	2	8	18	16	1		
46	Pd	Paladio	106,4	2	8	18	18			
47	Ag	Plata	107,870	2	8	18	18	1		
48	Cd	Cadmio	112,40	2	8	18	18	2		
49	In	Indio	114,82	2	8	18	18	3		
50	Sn	Estaño	118,69	2	8	18	18	4		
51	Sb	Antimonio	121,75	2	8	18	18	5		
52	Te	Teluro	127,60	2	8	18	18	6		
53	I	Yodo	126,9044	2	8	18	18	7		
54	Xe	Xenón	131,30	2	8	18	18	8		
55	Cs	Cesio	132,905	2	8	18	18	8	1	
56	Ba	Bario	137,34	2	8	18	18	8	2	
57	La	Lantano	138,91	2	8	18	18	9	2	
58	Ce	Cerio	140,12	2	8	18	20	8	2	
59	Pr	Praseodimio	140,907	2	8	18	21	8	2	
60	Nd	Neodimio	144,24	2	8	18	22	8	2	

N.° atómico	Símbolo	Nombre	Masas atómicas	Capas electrónicas						
				K	L	M	N	O	P	Q
61	Pm	Promecio	(147)	2	8	18	23	8	2	
62	Sm	Samario	150,35	2	8	18	24	8	2	
63	Eu	Europio	151,96	2	8	18	25	8	2	
64	Gd	Gadolinio	157,25	2	8	18	25	9	2	
65	Tb	Terbio	158,924	2	8	18	27	8	2	
66	Dy	Disprosio	162,50	2	8	18	28	8	2	
67	Ho	Helmio	164,930	2	8	18	29	8	2	
68	Er	Erbio	167,26	2	8	18	30	8	2	
69	Tm	Tulio	168,934	2	8	18	31	8	2	
70	Yb	Iterbio	173,04	2	8	18	32	8	2	
71	Lu	Lutecio	174,97	2	8	18	32	9	2	
72	Hf	Hafnio	178,49	2	8	18	32	10	2	
73	Ta	Tántalo	180,948	2	8	18	32	11	2	
74	W	Tungsteno	183,85	2	8	18	32	12	2	
75	Re	Renio	186,2	2	8	18	32	13	2	
76	Os	Osmio	190,2	2	8	18	32	14	2	
77	Ir	Iridio	192,2	2	8	18	32	17		
78	Pt	Platino	195,09	2	8	18	32	17	1	
79	Au	Oro	196,967	2	8	18	32	18	1	
80	Hg	Mercurio	200,59	2	8	18	32	18	2	
81	Tl	Talio	204,37	2	8	18	32	18	3	
82	Pb	Plomo	207,19	2	8	18	32	18	4	
83	Bi	Bismuto	208,980	2	8	18	32	18	5	

N.° atómico	Símbolo	Nombre	Masas atómicas	Capas electrónicas						
				K	L	M	N	O	P	Q
84	Po	Polonio	(210)	2	8	18	32	18	6	
85	At	Astato	(210)	2	8	18	32	18	7	
86	Rn	Radón	(222)	2	8	18	32	18	8	
87	Fr	Francio	(223)	2	8	18	32	18	8	1
88	Ra	Radio	(226)	2	8	18	32	18	8	2
89	At	Actinio	(227)	2	8	18	32	18	9	2
90	Th	Torio	232,038	2	8	18	32	18	10	2
91	Pa	Protactinio	(231)	2	8	18	32	20	9	2
92	U	Uranio	238,03	2	8	18	32	21	9	2
93	Np	Neptunio	(237)	2	8	18	32	22	9	2
94	Pu	Plutonio	(242)	2	8	18	32	23	9	2
95	Am	Americio	(243)	2	8	18	32	24	9	2
96	Cm	Curio	(247)	2	8	18	32	25	9	2
97	Bk	Berkelio	(247)	2	8	18	32	26	9	2
98	Cf	Californio	(251)	2	8	18	32	27	9	2
99	Es	Einstenio	(254)	2	8	18	32	28	9	2
100	Fm	Fermio	(253)	2	8	18	32	29	9	2
101	Md	Mendelevio	(256)	2	8	18	32	30	9	2
102	No	Nobelio	(253)	2	8	18	32	32	9	2
103	Lw	Laurencio	(257)	2	8	18	32	32	9	2

( ): Número de masa del isótopo más estable.

Tabla 2

Clasificación de elementos

Semi-metales	No metales	Gases raros o nobles	Metales	Metales alcalinos	Alcalinos terrosos	Halógenos
B	C	He	O	Li	Mg	F
Si	N	Ne	S	Na	Ca	Cl
Ge	O	Ar		K	Sr	Br
As	F	Kr	D	Rb	Ba	I
			E			
Sb	P	Xe	M	Cs		
			A			
Te	S	Rn	I			
			S			
Po	Cl					
	Se					
	Br					
	I					
	At					

Alteración del nombre del radical al pasar de sal a ácido

Sal	*Ácido*
-ato	-ico
-ito	-oso
-uro	-hídrico

Tabla 3

Tabla de cationes (+)

Monovalentes : H, Li, Na, Rb, Cs, Ag, Cu, Au, NH (amonio), K.

Bivalentes : Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zn, Cd, Cu, Hg, Fe, Mn, Pb, Sn, Pt, Cu, Ni, Be, Cr, Co.

Trivalentes : Al, Bi, Cr, Co, Fe, Au, As, Sb, Ni.

Tetravalentes : Pb, Pt, Sn, Mn.

Pentavalentes : As, Sb.

Observaciones

1) Los cationes subrayados en la lista anterior pueden funcionar con valencias distintas: la valencia más frecuente está señalada con dos líneas y la menos frecuente, con una.

2) Los aniones del bromo y del yodo que no aparecen en la tabla se forman por analogía con los del cloro.

Ejemplo:
Cloruro (ClO_3), bromato (BrO_3) y yodato (IO_3), todos monovalentes. Los aniones del arsénico y del antimonio se formulan por analogía con los del fósforo.

Ejemplo:
P_2O_7 (pirofosfato), As_2O_7 (piroarseniato) y Sb_2O_7 (piroantimoniato), todos tetravalentes.

3) Los ácidos se formulan con el catión H y un anión de la tabla; para saber cuál es el anión del ácido, se sustituyen las terminaciones *-hídrico*, *-oso* e *-ico* de los nombres de los ácidos, por *-uro*, *-ito* y *-ato*, respectivamente.

Ejemplo:
El ácido clorhídrico se formula con el anión cloruro; el ácido nitroso, con el anión nitrito; y el ácido nítrico, con el anión nitrato.

Orden de los elementos de acuerdo con sus potenciales

K, Na, Ba, Li, Sr, Ca, Mg, Zn, Cr, Fe, Co, Ni, Pb, Sn(H), Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au.

Tabla de aniones

Monovalentes		Bivalentes	
F	fluoruro	O	óxido
Cl	cloruro	O_2	peróxido
Br	bromuro	S	sulfuro
I	yoduro	SO_3	sulfito
CLO	hipoclorito	SO_4	sulfato
CLO_2	clorito	S_2O_4	hiposulfato
CLO_3	clorato	S_2O_3	tiosulfato
CLO_4	perclorato	S_2O_8	persulfato
NO_2	nitrito	CO_3	carbonato
NO_3	nitrato	C_2O_4	oxalato
CN	cianuro	SiO_3	metasilicato
CNO	cianato	SiF_6	fluorsilicato
CNS	tiocianato o sulfocianato o rodanuro	H_3PO_3	fosfito
		$PtCl_6$	cloroplatinato
		CrO_4	cromato
		Cr_2O_7	dicromato
PO_3	metafosfato	MnO_4	manganato
H_2PO_2	hipofosfito	MnO_3	manganito
$H_3 - C - COO$	acetato	SnO_3	estanato
AlO_2	aluminato	PbO_2	plumbito
MnO_4	permanganato	PbO_3	plumbato
OH	hidróxido	ZnO_2	zincato
H	hidruro	C_2	acetiluro o carburo
N_3	azida		
IO_3	yodato	SnO	estanito
BrO_3	bromato		
Trivalentes		**Tetravalentes**	
N	nitruro	C	Metano o carburo
P	fosfuro		
PO_4	ortofosfato	P_2O_7	pirofosfato
AsO_3	arsenito	P_2O_6	hipofosfato
AsO_4	arseniato	SiO_4	ortosilicato
SbO_3	antimonito	$Fe(CN)_6$	ferrocianuro
SbO_4	antimoniato	AS_2O_7	piroarseniato
BO_3	borato	Sb_2O_7	piroantimoniato
$Fe(CN)_6$	ferricianuro		

Tabla 4
Tabla periódica de elementos con masas atómicas referidas al isótopo 12 de carbono

Grupo	1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Período																			
1	Hidrógeno 1 H																		Helio 2 He
2	Litio 3 Li	Berilio 4 Be												Boro 5 B	Carbono 6 C	Nitrógeno 7 N	Oxígeno 8 O	Flúor 9 F	Neón 10 Ne
3	Sodio 11 Na	Magnesio 12 Mg												Aluminio 13 Al	Silicio 14 Si	Fósforo 15 P	Azufre 16 S	Cloro 17 Cl	Argón 18 Ar
4	Potasio 19 K	Calcio 20 Ca		Escandio 21 Sc	Titanio 22 Ti	Vanadio 23 V	Cromo 24 Cr	Manganeso 25 Mn	Hierro 26 Fe	Cobalto 27 Co	Níquel 28 Ni	Cobre 29 Cu	Zinc 30 Zn	Galio 31 Ga	Germanio 32 Ge	Arsénico 33 As	Selenio 34 Se	Bromo 35 Br	Kriptón 36 Kr
5	Rubidio 37 Rb	Estroncio 38 Sr		Itrio 39 Y	Circonio 40 Zr	Niobio 41 Nb	Molibdeno 42 Mo	Tecnecio 43 Tc	Rutenio 44 Ru	Rodio 45 Rh	Paladio 46 Pd	Plata 47 Ag	Cadmio 48 Cd	Indio 49 In	Estaño 50 Sn	Antimonio 51 Sb	Teluro 52 Te	Yodo 53 I	Xenón 54 Xe
6	Cesio 55 Cs	Bario 56 Ba	*	Lutecio 71 Lu	Hafnio 72 Hf	Tantalio 73 Ta	Tungsteno 74 W	Renio 75 Re	Osmio 76 Os	Iridio 77 Ir	Platino 78 Pt	Oro 79 Au	Mercurio 80 Hg	Talio 81 Tl	Plomo 82 Pb	Bismuto 83 Bi	Polonio 84 Po	Astato 85 At	Radón 86 Rn
7	Francio 87 Fr	Radio 88 Ra	**	Laurencio 103 Lr															
** Lantánidos*			*	Lantanio 57 La	Cerio 58 Ce	Praseodimio 59 Pr	Neodimio 60 Nd	Prometio 61 Pm	Samario 62 Sm	Europio 63 Eu	Gadolinio 64 Gd	Terbio 65 Tb	Disprosio 66 Dy	Holmio 67 Ho	Erbio 68 Er	Tulio 69 Tm	Iterbio 70 Yb		
*** Actínidos*			**	Actinio 89 Ac	Torio 90 Th	Protactinio 91 Pa	Uranio 92 U	Neptunio 93 Np	Plutonio 94 Pu	Americio 95 Am	Curio 96 Cm	Berkelio 97 Bk	Californio 98 Cf	Einstenio 99 Es	Fermio 100 Fm	Mendelevio 101 Md	Nobelio 102 No		

CAPÍTULO 3

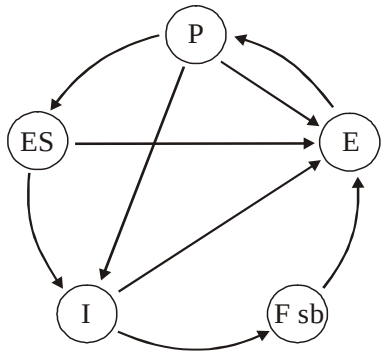
PROBLEMÁTICA DEL AGUA

1. GENERALIDADES

1.1 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el recorrido del agua, que empieza en la atmósfera y pasa por varias fases hasta regresar de nuevo a ella.

Gráfico 1



P = precipitación
ES = escorrentía superficial
I = infiltración
F sb = aguas subterráneas
E = evaporación

P (precipitación): el agua evaporada de los mares, lagos, pantanos, ríos, vegetales y animales da origen a las nubes, que al llegar a las regiones frías, se condensan y caen en forma de lluvia.

ES (escorrentía superficial): una parte de la lluvia que cae se escurre sobre la superficie de la Tierra y forma corrientes que llegan a los ríos, los mares, etcétera.

I (infiltración): parte de la lluvia se infiltra en la tierra y forma la napa freática y los acuíferos artesianos.

FSb (flujo subterráneo): la escorrentía superficial proveniente de la lluvia alimenta a los acuíferos y estos salen a la superficie a través de los manantiales y pozos.

E (evaporación): cuando la lluvia cae en el suelo caliente, se evapora. El agua de los ríos, lagos y mares se evapora al entrar en contacto con el Sol. El agua de las plantas y de los animales (proveniente de la transpiración), en forma de vapor, se condensa, da origen a las nubes y a la lluvia.

En el ciclo hidrológico, distinguimos las siguientes fases:

a) Precipitación

b) Escorrentía superficial
- directa: ríos, mares, etcétera
- indirecta
  - subterránea
  - fuentes: afloramiento o emergencia desde lo profundo del valle

La escorrentía superficial indirecta tiene dos fases:

1.ª fase. Flujo subterráneo

2.ª fase. Es la fase en la cual se forman las fuentes, que pueden ser de afloramiento o de pendiente, y de aguas que emergen desde lo profundo del valle.

c) Infiltración

d) Evaporación:
- en el suelo;
- en la superficie de las aguas, y
- transpiración de vegetales y animales.

1.2 Clasificación de las aguas naturales según el ciclo hidrológico

a) Pluviales (lluvias, nieve, granizo).

b) Superficiales (ríos, riachuelos, lagos naturales o artificiales, reservorios para el almacenamiento, etcétera).

c) Subterráneas

La capa que contiene agua subterránea se llama *acuífero*.

Existen dos tipos de acuíferos: el freático y el artesiano.

El freático es el acuífero en el cual la superficie del agua se encuentra a presión atmosférica (normal).

El artesiano es el acuífero en el cual la superficie del agua se encuentra a una presión mayor a la atmosférica.

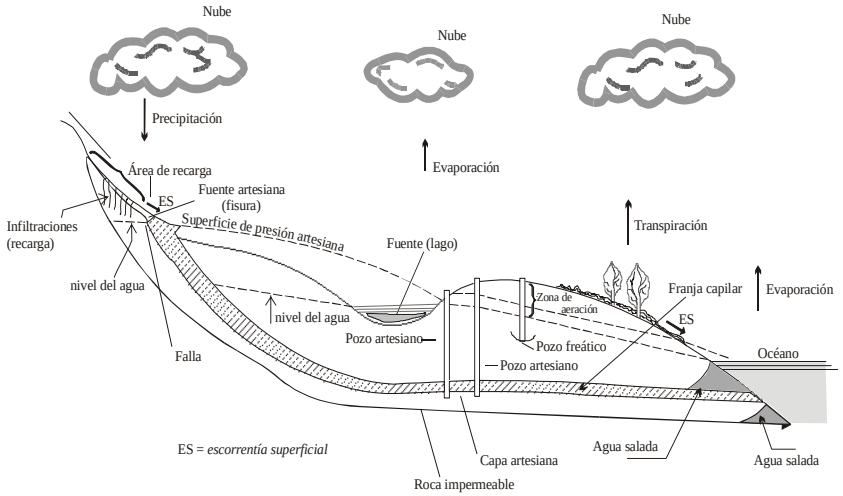
Los pozos que llegan hasta el acuífero freático se denominan *pozos rasos*.

Los pozos que llegan hasta el acuífero artesiano se denominan *pozos profundos* o *artesianos*.

Según el nivel del agua traspase o no el nivel del terreno, los pozos artesianos pueden ser *emergentes* o *no emergentes*.

Por consiguiente, las aguas subterráneas provienen de la napa freática, de los acuíferos artesianos y de las fuentes.

Figura 1



Escorrentía superficial

1.3 Importancia del agua

El agua es indispensable para vivir; sin agua no hay vida.

En un inicio, el hombre se limitaba a usar el agua para subsistir; es decir, la aprovechaba como bebida y para preparar los alimentos.

La difusión de hábitos higiénicos y el desarrollo industrial hicieron que aumentara el consumo de agua por el hombre.

El agua se define como una sustancia compuesta, producto de la combinación de dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno (H_2O).

El agua pura prácticamente no existe, porque, además de presentar impurezas incluso después de una destilación en laboratorio, también posee la propiedad de disolver numerosas sustancias, por lo que se la conoce como *solvente universal*.

Cuando el agua entra en contacto con el aire, el suelo o incluso el propio hombre, adquiere impurezas y modifica su composición, lo que puede producir enfermedades y perjuicios para el ser humano.

Según la Organización Mundial de la Salud, “aproximadamente un cuarto de las camas existentes en todos los hospitales del mundo están ocupadas por enfermos cuyos males se deben a la mala calidad del agua”.

Por esta razón, el hombre debe disponer de agua en cantidad suficiente y de calidad adecuada para que pueda atender todas sus necesidades.

2. CALIDAD DEL AGUA

2.1 Influencia del ciclo hidrológico en la calidad del agua

El agua pura, en sentido estricto, no existe en la naturaleza debido a que es un excelente solvente.

Cuando el agua cae en forma de lluvia, las gotas disuelven los gases de la atmósfera (gas carbónico, oxígeno, etcétera) y transportan el polvo de la tierra.

Cuando el agua arrastra el gas carbónico que existe en la atmósfera, se acidifica y se incrementan aún más sus propiedades solventes.

Al llegar a la Tierra, una parte de dicha agua corre sobre la superficie, otra se infiltra en el terreno y otra se evapora.

El agua que corre sobre la superficie disuelve, en mayor o menor medida —según el tiempo de contacto y el grado de solubilidad—, sales presentes en los minerales que encuentra a su paso. Por ejemplo, los carbonatos de calcio y magnesio (calcáreos), debido a la acción del CO_2 y del H_2O, se transforman en bicarbonatos que se hacen solubles.

El agua también se acidifica cuando entra en contacto con materias orgánicas en descomposición, generalmente de origen vegetal, que liberan gas carbónico y otros gases, como el sulfhídrico, el amoníaco, etcétera.

El gas sulfhídrico se transforma posteriormente en sulfitos y sulfatos, y el amoníaco en nitritos y nitratos.

La materia orgánica en descomposición también libera sustancias orgánicas coloreadas que, disueltas por el agua o puestas en un fino estado de suspensión denominado *estado coloidal,* colorean el agua. También el hierro y el manganeso pueden asociarse a tales sustancias orgánicas y producir color.

Además de su capacidad de solvente, el agua posee otra virtud, que también depende de la velocidad con la que marcha sobre la superficie de la Tierra: la capacidad de transportar material en suspensión. Dicho material en suspensión confiere al agua la característica que llamamos *turbidez*.

En el cuerpo de un curso de agua existe también una gran variedad de organismos vivos tales como algas, protozoarios, etcétera, que pueden dar color, gusto y olor a las aguas.

El agua de la lluvia que se infiltra por el suelo se libera de la turbidez a medida que se filtra en el terreno.

Pero el agua conserva su acción solvente y disuelve las sales de los minerales que encuentra a su paso (carbonatos, compuestos de fierro y de manganeso).

El agua puede o no recibir aguas residuales. Este factor influye considerablemente en la cantidad de materiales que ella contiene debido a que las aguas residuales pueden incluir una gran cantidad de bacterias patógenas —cuando provienen de desagües domésticos— y una gran variedad de productos químicos —cuando provienen de residuos industriales—.

Dicho factor actúa tanto sobre las aguas superficiales como sobre las subterráneas, principalmente las de la napa freática.

2.2 Impurezas

El concepto de impureza del agua es relativo; depende del uso específico que se da al recurso. Por ejemplo, impurezas poco impor-

tantes para el agua que se usa en la limpieza pueden ser claves en el agua para beber.

Por lo general, las aguas de abastecimiento contienen las siguientes impurezas:

a) En suspensión:
   - bacterias;
   - microorganismos (algas y protozoarios);
   - arena, sílice y arcilla, y
   - residuos industriales y domésticos.

b) En estado coloidal:
   - sustancias colorantes vegetales, y
   - sílice.

c) En disolución:
   - sales de calcio y magnesio;
   - sales de sodio;
   - hierro;
   - manganeso, y
   - gases (oxígeno, CO_2, etcétera).

Además de estas sustancias, las aguas presentan:

a) sustancias de interés especial: flúor, yodo y sustancias radiactivas;
b) sustancias que pueden causar envenenamiento: arsénico, cromo, cobre, plomo, etcétera, y
c) sustancias que en exceso tienen un efecto laxante: magnesio, sulfatos y sólidos totales.

2.3 Características del agua

El concepto de calidad del agua se relaciona con la naturaleza de esta y con la concentración de impurezas que contenga. Las impurezas presentes en el agua son las que le proporcionan sus características.

Por lo tanto, la calidad del agua se define según sus características, que son físicas, químicas y biológicas.

Tales características se determinan mediante los siguientes procedimientos:

a) examen físico;
b) análisis químico;
c) examen bacteriológico, y
d) examen microscópico.

2.4 Niveles de potabilidad

Puesto que el agua nunca se encuentra en estado de absoluta pureza, es necesario que los órganos competentes establezcan límites generales aceptables para las impurezas que hay en las aguas, según los fines a que estas se destinen; es decir, es necesario establecer normas de potabilidad.

Las normas de potabilidad fijan los límites generales aceptables para las impurezas contenidas en las aguas destinadas al abastecimiento público.

Aunque es recomendable que la calidad de las aguas de abastecimiento público destinadas a las comunidades pequeñas no sea inferior a

aquellas que están dirigidas a las comunidades grandes, a veces los servicios pequeños tienen dificultades para satisfacer los límites fijados por las normas de potabilidad. Por ello se definen normas de seguridad.

Las normas de seguridad indican los límites aceptables de las impurezas que contienen las aguas destinadas al abastecimiento y garantizan que, a pesar de que se desatiendan ciertos aspectos por privilegiar el económico, dichas aguas no causen daño a la salud de la población.

2.5 Contaminación

Si examinamos los efectos del vertimiento de residuos en las aguas receptoras, se pueden distinguir las siguientes formas de contaminación:

- contaminación física;
- contaminación exclusivamente química;
- contaminación bioquímica;
- contaminación microbiológica, y
- contaminación radiactiva.

Debido a las terribles consecuencias que trae para la estética, la contaminación física es la que más impresiona a los inexpertos. Por ello, la alteración del color, la presencia de cuerpos extraños y las partículas flotantes tienen mucha influencia en la opinión pública.

La contaminación exclusivamente química de las aguas interiores presenta inconvenientes que provienen del "enriquecimiento" de ellas con sustancias extrañas a su composición normal. La presencia de

determinados compuestos en concentraciones apreciables puede ocasionar el desarrollo nocivo de microorganismos que perjudican la calidad del agua, principalmente algas.

La contaminación bioquímica ha sido la forma de degradación que mejor se ha investigado. Para su previsión y análisis ya se han establecido las ecuaciones generales sobre la base de investigaciones de extraordinario valor técnico y científico.

La contaminación microbiológica se debe a la presencia de organismos patógenos, en forma de bacterias, virus y parásitos.

En la actualidad la separación de residuos radiactivos constituye un grave problema.

2.6 Consecuencias de la contaminación

Descarga de aguas residuales en el mar

Aunque la contaminación marítima no es tan grave como la de las aguas dulces, se caracteriza por producir efectos contrarios en las playas, ensenadas, bahías, etcétera, y por perjudicar el medio ambiente.

Por lo general, se pueden presentar los siguientes inconvenientes:

- contaminación de las orillas por virus, bacterias y parásitos;
- inconvenientes de orden estético en playas, ensenadas, bahías, etcétera;
- contaminación de los llamados frutos del mar (langostas, ostras, mariscos), y
- formación de depósitos indeseables (aceite, lodo, inmundicias).

Disposición de residuos en las aguas interiores

En general, los principales daños que ocasiona la contaminación de cursos de agua pueden agruparse y resumirse de la siguiente manera:

- daños causados por los abastecimientos públicos que toman el recurso hídrico aguas abajo del punto de descarga contaminante;
- daños causados por los abastecimientos de agua para fines industriales situados aguas abajo del punto de descarga contaminante;
- inconvenientes relativos al uso de las aguas receptoras para finalidades recreativas o prácticas deportivas;
- daños causados a la fauna natural: a aves migratorias y animales salvajes;
- perjuicios causados a la regularización de las aguas para finalidades múltiples o específicas, e inconvenientes para el drenaje, y
- daños para la navegación.

2.7 ¿Cómo se debe combatir la contaminación?

Para que la lucha contra la contaminación sea eficaz, es necesario contar con la participación de la población y de las autoridades. Las medidas no solo deben ser impuestas sino comprendidas, aceptadas y defendidas. Las entidades involucradas y los medios de comunicación deberán colaborar en defensa del bien común.

Los mejores resultados siempre se obtienen mediante la acción preventiva (bien dice el dicho: *Más vale prevenir que lamentar)*. En una región en desarrollo, es fundamental establecer un plan para las nuevas industrias y examinar su localización así como impartir las medidas necesarias para controlar la contaminación causada por ellas.

Una condición esencial es una legislación adecuada. Esta debe ser actualizada, fácil de aplicar y debe establecer formas de control. Una ley imperfecta o desequilibrada no funciona.

La participación de personal competente, *bien entrenado* y que sepa trabajar en equipo es otra condición para que un programa tenga éxito. Conocer el problema, su extensión, causas e implicancias constituye un requisito para establecer un plan de acción.

Finalmente, se debe aprovechar la experiencia de otras regiones porque ello puede ofrecer contribuciones valiosas.

2.8 Necesidad de tratamiento de los desagües para preservar los cursos de agua

Las condiciones locales determinan en cada caso la necesidad y la intensidad del tratamiento requerido. Una industria o una ciudad localizada en la costa marítima o a las orillas de un gran río podrá prescindir de tratamiento debido a que las condiciones de disolución pueden ser suficientes para la dispersión y separación de los efluentes, sin que por ello constituyan un perjuicio para la colectividad. Contraria será la situación de un río de caudal pequeño que sirve a una región ampliamente desarrollada, con industrias y ciudades ubicadas aguas abajo:

a) Con respecto a la salud pública:

- efectos nocivos en los sistemas de tratamiento situados aguas abajo de las descargas;
- contaminación directa: a los bañistas, a las poblaciones marginales, etcétera, y
- contaminación indirecta: verduras, leche, etcétera.

b) Con respecto a la economía:
   - desvalorización de las tierras;
   - perjuicios para la industria, la caza y la pesca, las actividades ganaderas, etcétera.

c) Con respecto a la estética:
   - mal aspecto, y
   - mal olor.

d) Motivos legales: son los derechos de los propietarios que viven en las márgenes de los cursos de agua contaminados con desagües.

2.9 Nomenclatura

Para definir la calidad del agua, se utilizan varios términos:

- *agua potable:* es la que cumple las normas de potabilidad;
- *agua segura:* es la que sigue las normas de seguridad;
- *agua contaminada:* es la que contiene microorganismos patógenos o contaminantes tóxicos;
- *agua desinfectada:* es la que, mediante una técnica adecuada, se ha liberado de los organismos patógenos;
- *agua esterilizada:* es la que, mediante una técnica adecuada, se ha liberado de organismos vivos;
- *agua de calidad dudosa:* es la que puede estar contaminada;
- *agua turbia:* es la que posee partículas en suspensión;
- *agua ácida:* es la que posee una cantidad acentuada de CO_2, ácidos y ciertas sales como el sulfato de fierro y el aluminio;
- *agua alcalina:* es la que posee una elevada cantidad de bicarbonato de calcio y magnesio, carbonatos o hidróxidos de sodio, potasio, calcio y magnesio;

- *agua mineral:* es el agua subterránea que contiene una cantidad acentuada de sustancias en solución que le confieren valor terapéutico, tales como gas carbónico, bicarbonato de sodio, gas sulfhídrico, sulfatos solubles, sales de fierro y sales neutras de magnesio, potasio y sodio, este último generalmente bajo la forma de bromatos, yoduros y sulfatos;
- *agua termal:* es el agua mineral que llega a la superficie con una temperatura elevada;
- *agua radiactiva:* es el agua mineral o termal que posee radiactividad;
- *agua salobre:* es el agua que posee dureza. También se llama así a las aguas que contienen una alta proporción de cloruro de sodio.

3. EL AGUA Y LAS ENFERMEDADES

El agua tiene muchos usos y algunos de ellos guardan mayor relación con la salud: (1) bebida, (2) higiene personal, (3) limpieza del hogar, (4) riego de hortalizas, aprovechamiento del recurso hídrico en criaderos de mariscos.

La nocividad del agua puede ser resultado de la mala calidad o de la cantidad insuficiente.

En los puntos 1 y 4 influye la calidad, mientras que en los puntos 2 y 3, además de la calidad, es muy importante la cantidad disponible y, en algunos casos, este constituye el factor preponderante.

Las enfermedades relacionadas con el agua pueden deberse a los siguientes factores:

- microorganismos (agentes patógenos) que transporta el agua;

- concentraciones inadecuadas de ciertas sustancias que contiene el agua.

3.1 Enfermedades causadas por agentes biológicos

Estas enfermedades pueden ser transmitidas por (1) vía oral (boca) y (2) vía cutáneo-mucosa (piel).

Las enfermedades que se transmiten por vía predominantemente oral son las siguientes:

- fiebre tifoidea;
- fiebre paratifoidea:
- cólera;
- disentería;
- hepatitis infecciosa;
- parálisis infantil (poliomielitis), etcétera.
- enfermedades enteroparasitarias, causadas por la Giardia y el Cryptosporidium y los geohelmintos como el *Ascaris, Trichuris* y las tenias.

Las enfermedades que se transmiten por vía cutáneo-mucosa son las siguientes:

- esquistosomiasis;
- enfermedades relacionadas con baños en piscinas, playas y ríos;
- conjuntivitis, otitis, corizas o romadizos, etcétera (enfermedades de ojos, nariz, oído).

Observaciones:

a) El agua es de importancia básica en la transmisión de fiebre tifoidea, fiebre paratifoidea, cólera, esquistosomiasis y disentería.

b) El peligro de transmisión de enfermedades mediante el agua se refiere, en la práctica, a las enfermedades intestinales. Para evitar tales enfermedades, se deben tomar las siguientes medidas:

   1) protección de las fuentes (pozos, manantiales o ríos);
   2) tratamiento adecuado del agua;
   3) control permanente de la calidad bacteriológica del agua en la red de distribución;
   4) solución adecuada al problema de los desagües;
   5) control de moscas, y
   6) cuidado de los alimentos.

3.2 Enfermedades causadas por la existencia de ciertas sustancias en concentraciones inadecuadas

Tales concentraciones pueden provenir de los siguientes contaminantes tóxicos:

1) Contaminantes naturales del agua, que a su vez los recibe por contacto con minerales (arsénico).
2) Contaminantes naturales del agua donde se desarrollan colonias de microorganismos venenosos.
3) Contaminantes introducidos en el agua por obras hidráulicas defectuosas o prácticas de tratamiento inadecuadas.
4) Contaminantes introducidos en los cursos de agua a través de desechos industriales.

Estas concentraciones inadecuadas de sustancias en el agua causan algunas enfermedades como las siguientes:

- bocio (falta de yodo);
- saturnismo (plomo en exceso), y
- fluorosis (flúor en exceso).

4. USOS DEL AGUA, CONSUMO DEL AGUA, CANTIDAD DE AGUA NECESARIA

4.1 Usos del agua

- uso doméstico;
- uso industrial;
- uso comercial;
- uso agrícola y pecuario;
- uso público.

4.2 Consumo de agua

El consumo de agua puede medirse mediante las siguientes unidades:

- m^3 por año;
- m^3 por día, y
- consumo medio per cápita o dotación per cápita.

El consumo medio per cápita, en el caso de que exista una red de abastecimiento, será el siguiente:

$$q_m = \frac{\textit{Volumen de agua distribuido por año}}{\textit{365 x población abastecida}}$$

La unidad es L/hab. x día (litros por habitante por día).

Cuando no existe una red de abastecimiento y se necesita saber cuál es el consumo medio per cápita, este puede conocerse mediante tasas expresadas en normas: de 200 a 300 litros por habitante por día en zonas urbanas y de 50 a 70 litros por habitante por día en zonas rurales.

El consumo de agua varía según la estación del año, el mes, el día y la hora. Tales variaciones pueden ser expresadas mediante dos coeficientes:

1) Variación diaria: coeficiente del día de mayor consumo:

$$k_1 = \frac{\textit{consumo efectuado en el día de mayor consumo}}{\textit{consumo medio diario}}$$

El rango usual es de 1,2 a 1,5.

2) Variación horaria: coeficiente de la hora de mayor consumo.

$$k_2 = \frac{\textit{consumo efectuado en la hora de mayor consumo}}{\textit{consumo medio horario}}$$

El rango usual es de 2 a 3.

4.3 Cantidad de agua necesaria

En la determinación de la cantidad de agua necesaria para abastecer a una ciudad, se deben considerar los siguientes puntos:

1) fijar el consumo medio per cápita;

2) establecer el plazo en el que se proyecta terminar las obras, y

3) determinar la población que debe ser abastecida, ya sea en el presente o en el futuro; esto deberá considerarse en las obras proyectadas.

Para conocer la cantidad de población que se va a abastecer en la fase final del plan, se debe realizar una estimación basada en diversos métodos: aritmético, geométrico, etcétera.

Esa cantidad de agua será calculada para el día de mayor consumo, porque el consumo de la hora de mayor demanda es atendido por los reservorios. Al volumen de agua calculado se le deberá aumentar de 3% a 5%, correspondiente al agua consumida en la planta de tratamiento de agua (descarga de decantadores, dosificación de filtros, etcétera).

Ejemplo:

Una ciudad tiene 20.000 habitantes. En 1990 la población se estimó en 40.000 habitantes. ¿Cuál debe ser la capacidad de la planta de tratamiento?

Si consideramos 200 L/hab. x día como consumo medio per cápita, tendremos:

cantidad de agua en el día de mayor consumo =

$$40.000 \times 200 \times 1,25 = 10.000.000 \text{ L/día}$$

Si medimos el agua consumida en la planta de tratamiento (considerando el 5%), tenemos que la capacidad de la planta será:

$$10.000.000 \times 1,05 = 10.500.000 \text{ L/día} = 10.500 \text{ m}^3\text{/día}$$

Obviamente, en un inicio, la estación no necesitaría trabajar las 24 horas del día.

5. IMPORTANCIA DEL ABASTECIMIENTO DEL AGUA

La importancia del abastecimiento del agua debe ser evaluada desde dos puntos de vista: el aspecto sanitario y el económico.

5.1 Aspecto sanitario

El abastecimiento de agua influye de manera decisiva sobre los siguientes puntos:

1) el control y la prevención de enfermedades;

2) las prácticas que promueven la salud;

   - hábitos de higiene: aseo corporal, limpieza de utensilios, etcétera;
   - servicios de limpieza pública, y
   - práctica de deportes y de actividades recreativas.

3) implementación de servicios importantes para el bienestar y la seguridad colectiva:

   - instalaciones de aire acondicionado;
   - equipos contra incendios, etcétera.

5.2 Aspecto económico

La importancia del abastecimiento de agua se resume en lo siguiente:

1) En un aumento evidente del número de horas productivas, debido a la disminución de la mortalidad general, al incremento del promedio de vida de la población y a la reducción del número de horas perdidas por enfermedades.

2) En el desarrollo industrial, que —de la mano del progreso material— permite elevar el nivel de vida de la comunidad. Además, se debe resaltar que los efectos beneficiosos del establecimiento o perfeccionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua se acentúan con la ejecución de otros servicios, todos ellos relacionados con el saneamiento: sistemas de alcantarillado, de recolección de basura, control de insectos y roedores, etcétera.

También debemos considerar que el establecimiento o perfeccionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua y desagüe ocasiona indirectamente la disminución de la incidencia de una serie de enfermedades no relacionadas con el agua.

6. ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL MEDIO RURAL

6.1 Cisternas, manantiales, pozos superficiales y otras soluciones

En las zonas rurales, se pueden satisfacer todas las necesidades:

- con el almacenamiento del agua de la lluvia;

- con los manantiales, y
- con la excavación de pozos.

Por esta razón, en la zona rural el abastecimiento se realiza principalmente gracias a lo siguiente:

- aguas de la lluvia: por cisternas, y
- aguas subterráneas, provenientes de la napa freática: manantiales y pozos.

El uso del agua superficial en las zonas rurales no es recomendable porque su calidad es dudosa y necesita por lo menos una desinfección, lo cual, en algunas oportunidades, resulta muy difícil de garantizar en este medio.

a) Cisternas

Las aguas de las lluvias no se usan mucho. Sin embargo, en algunos lugares se emplea el agua que cae en los techos de las casas, que se almacena en cisternas.

En la línea de abastecimiento de la cisterna, se debe instalar un dispositivo que permita expulsar las primeras aguas que caigan y de este modo evitar el polvo y las excretas que se puedan haber acumulado en el techo.

Se recomienda intercalar un filtro de cascajo en la tubería que va del techo a la cisterna; aunque este no purificará el agua, evitará el ingreso de insectos.

Las cisternas pueden ser:

- enterradas, y
- no enterradas.

Las cisternas enterradas deben tener una tapa bien ajustada.

En ambos casos se debe colocar un rebose protegido con una tela para evitar el ingreso de los insectos.

Para retirar el agua se debe utilizar bombas.

b) Manantiales y pozos superficiales

Las aguas subterráneas que se utilizan para el abastecimiento de agua son las que provienen de la napa freática.

Estas aguas presentan un nivel variable y como están cerca de la superficie del terreno se contaminan fácilmente, por lo cual es necesario proteger el manantial, ya sea con respecto al lugar circundante como en lo que se refiere a su adecuada ubicación, además de los cuidados necesarios en la construcción de las instalaciones.

El uso de la napa freática presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- permite obtener agua de buena calidad, con ciertas precauciones;
- la captación es simple y económica, y
- brinda facilidades para encontrar agua cerca del domicilio.

Desventajas:

- puede tener ciertas sustancias disueltas;
- requiere bombeo.

Las aguas subterráneas se obtienen de las siguientes fuentes:

1) manantiales;
2) galerías de infiltración, y
3) pozos.

Manantiales: los manantiales están formados por aguas subterráneas que llegan a la superficie.

Estas pueden ser:

- de afloramiento o de pendiente;
- provenientes de las aguas que emergen desde lo profundo del valle.

La captación de las fuentes puede realizarse mediante:

- puntos de captación;
- drenes, y
- galerías.

Los puntos de captación se usan en los manantiales de afloramiento y son muy frecuentes en el medio rural.

Los drenes constituyen el principal tipo de captación de los manantiales de las aguas emergentes. Están formados por tubos perforados. Pueden organizarse en una fila simple o en sistemas con forma de espina de pescado o de parrilla.

Las galerías de infiltración están formadas por sistemas de drenes. Se usan con las finalidades siguientes:

- obtener agua de los manantiales, y
- obtener agua de la napa freática poco profunda.

Pozos superficiales: son excavaciones hechas en el suelo con la finalidad de retirar agua. Existen dos tipos de pozos:

- pozos freáticos, y
- pozos profundos o artesianos.

En las zonas rurales, los que se utilizan con mayor frecuencia son los pozos freáticos, que pueden ser:

- excavados: obtenidos mediante excavación manual, con un diámetro de 0,80 m a 1,50 m;
- perforados: abiertos con taladros o barrenos, con diámetros del orden de 0,30 m;
- enclavados: son tubos metálicos, insertos por percusión o rotación, con un diámetro de 3 a 5 cm. Estos constituyen una solución para aguas que emergen de acuíferos poco profundos, de gran caudal.

6.2 Localización de los pozos

Deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones básicas respecto a la localización de los pozos:

- buena capacidad del acuífero;
- el pozo debe estar ubicado en el punto más elevado posible del lote;

- debe estar lo más distante posible y en dirección opuesta a flujos subterráneos provenientes de puntos de convergencia conocidos, o susceptibles de contaminación (fosas negras, letrinas, pozos de percolación, desagües, etcétera).

Con el fin de examinar el problema en términos prácticos, se recomienda lo siguiente:

a) respetar las siguientes distancias mínimas entre la fuente de abastecimiento y los puntos de contaminación:

- letrinas, tanques sépticos, formaciones de desagües: 15 m;
- pozos de percolación, líneas de irrigación subsuperficial, establos y corrales: 30 m;
- fosas negras (solución no recomendada): 45 m;
- depósitos de basura, estercoleros: 15 m.

b) en lugares donde el área adyacente al pozo sea accesible al ganado, se deberá construir una cerca a no menos de 30 m de distancia del pozo.

6.3 Principales causas de contaminación de los pozos superficiales excavados

- contaminación directa: debido a impurezas que pueden caer directamente por la abertura superior del pozo, por una cuerda, por un balde, etcétera;
- contaminación por escorrentía superficial: aguas pluviales que pueden penetrar por la abertura superior del pozo;

- contaminación por infiltración de las aguas pluviales en la zona próxima al pozo y que llega hasta él por la permeabilidad de sus paredes;
- contaminación de la napa freática por un punto de contaminación (fosa negra o pozo de percolación).

6.4 Protección sanitaria de los pozos superficiales excavados

a) **Contra la contaminación de la napa freática.** Está garantizada por la adecuada localización —aguas arriba— respecto de eventuales focos de contaminación, respetando las distancias mínimas indicadas.

b) **Contra la infiltración.** Mediante un revestimiento impermeable, hasta una profundidad de 3 a 4 m por debajo del suelo y también alrededor de la boca del pozo. Este revestimiento debe prolongarse sobre el suelo, en una proporción de 20 a 30 cm.

Se utilizan los siguientes revestimientos:

- concreto;
- paredes de ladrillo revestidas con cemento y arena con impermeabilizante, y
- tubos de cemento.

c) **Contra la contaminación por escorrentía superficial.** Está asegurada por vallas pequeñas de desviación de las aguas pluviales, mediante tierra apilada alrededor del pozo, de manera que resulte una escorrentía exterior a este.

Observaciones:

El borde superior del pozo deberá sobresalir 20 cm sobre el nivel de la tierra apilada.

d) **Contra la contaminación directa.** Depende de la cobertura del pozo y de la forma de extraer el agua, de preferencia mediante bombas manuales o dispositivos que protejan de la contaminación el balde y la cuerda utilizados.

6.5 Desinfección de pozos y fuentes

a) La desinfección es necesaria:

- después de la construcción y antes de usar el agua;
- después de efectuar cualquier reparación en las instalaciones, y
- siempre que haya probabilidad de contaminación.

b) Acción:

- la desinfección no previene la contaminación; solamente elimina la que existe cuando se utilizan los agentes desinfectantes, y
- la desinfección es puramente local y no tendrá ningún efecto sobre la contaminación de la napa.

c) Agentes desinfectantes:

- los más utilizados son los compuestos de cloro: hipoclorito de calcio con 70% de cloro;

- cloruro de cal (cal clorada) con 25% de cloro;
- hipoclorito de sodio con 10% de cloro, y
- lejía con 2% de cloro disponible.

d) Cantidad de desinfectante que se debe usar:

- 50 mg/L de Cl_2 (libre) durante 12 horas;
- 100 mg/L de Cl_2 (libre) durante 4 horas, y
- 200 mg/L de Cl_2 (libre) durante 2 horas.

e) Técnica:

Los primeros tres agentes desinfectantes se encuentran en estado sólido y el último se vende en solución. Los líquidos se utilizan en el mismo estado en el que se compraron. Con los sólidos es conveniente hacer una masa y mezclarlos con agua. La operación de desinfección propiamente dicha comienza con el escobillado de las superficies con una solución concentrada de 100 a 200 mg/L de Cl_2 y se deja la solución en la concentración señalada durante el plazo que sea necesario.

Terminado este plazo, se extrae toda la solución desinfectante del recipiente y se reemplaza por agua una y otra vez hasta que el olor y el sabor a cloro desaparezcan del agua.

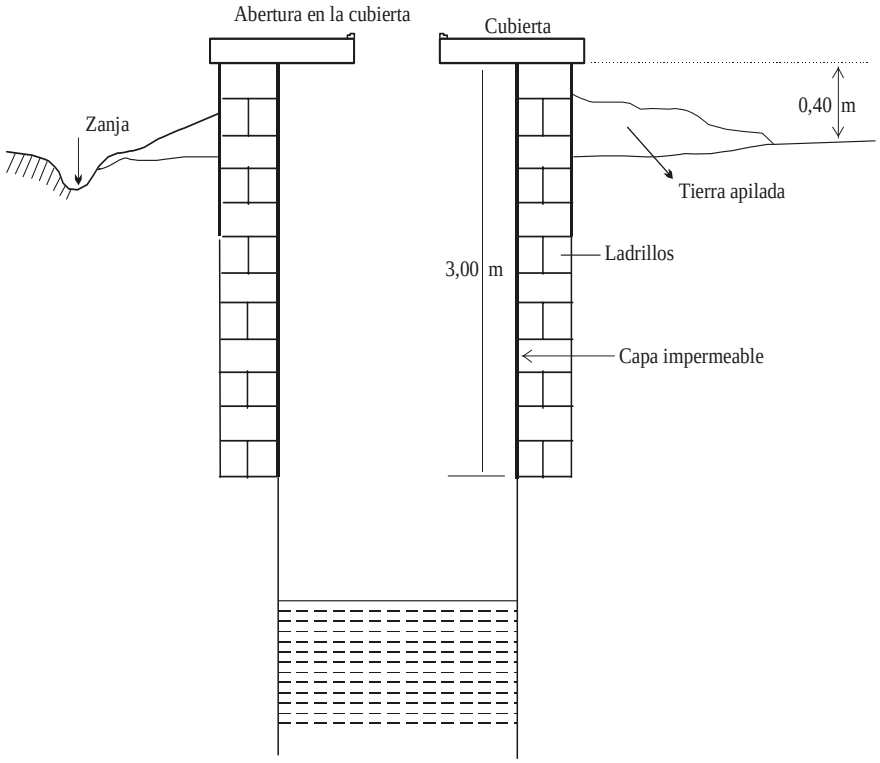
Antes de utilizar el agua para beber, es necesario verificar el resultado de la desinfección mediante un examen bacteriológico.

En el caso de que el tiempo de contacto fuera de 12 horas, que la dosis fuera de 50 mg/L y que las proporciones de cloro de los distintos agentes desinfectantes fueran los indicados, las cantidades

necesarias para 1.000 litros de capacidad en el pozo o en el punto de captación serían las siguientes:

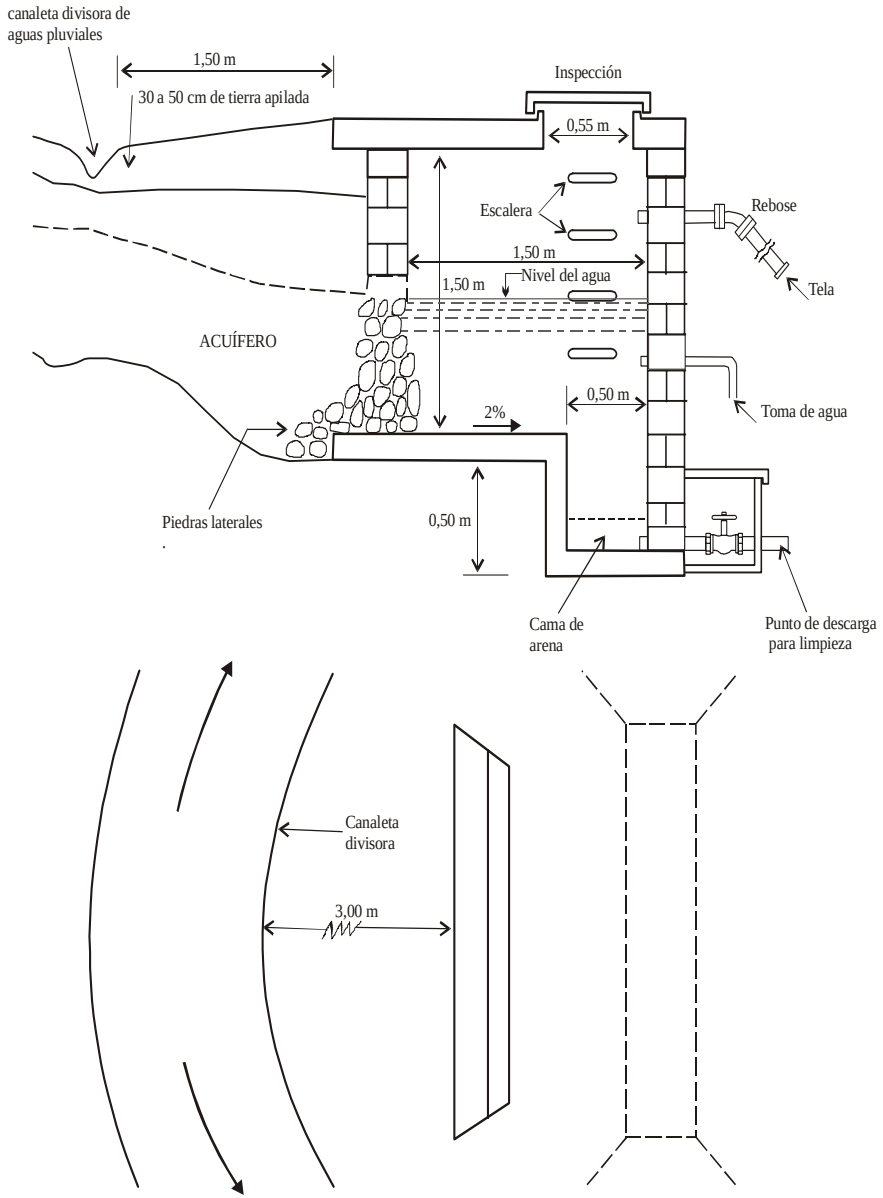
- hipoclorito de calcio 70 g
- cloruro de cal 200 g
- hipoclorito de sodio 500 g
- lejía 2,5 L

Figura 2



Pozo superficial

Figura 3



7. ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL MEDIO URBANO

Las comunidades se desarrollan y tarde o temprano sienten la necesidad de poseer un sistema público de abastecimiento de agua, con una red de distribución, para satisfacer las necesidades no solo de las residencias sino también de las industrias, del comercio y del público. No existe una regla general que indique en qué etapa del desarrollo demográfico una comunidad necesita un sistema público de abastecimiento de agua.

En los Estados Unidos existen pocas localidades con poblaciones de más de 1.000 habitantes que no tengan agua canalizada.

En las zonas urbanas, en las ciudades o villas, no bastan los manantiales usados en zonas rurales para satisfacer a las poblaciones y generalmente se utilizan las siguientes aguas:

- aguas superficiales: de ríos, barrancos, etcétera;
- aguas subterráneas: que provienen de la capa artesiana.

7.1 Elección de una fuente de abastecimiento de agua

Para elegir una fuente de abastecimiento se deben considerar tres factores:

- cantidad;
- calidad, y
- costo.

Un abastecimiento insuficiente ocasiona la falta de agua, principalmente durante las horas de mayor consumo. El agua debe ser de

buena calidad, principalmente para la salud pública, puesto que prácticamente toda la ciudad hace uso del agua y hay riesgo de que aparezcan epidemias si esta contiene gérmenes patógenos. Por otro lado, si el agua tuviera sabor o color, no sería aprovechada libremente y se estancarían los fines para los cuales se creó el sistema de abastecimiento.

Por otro lado, el costo del abastecimiento debe ser razonable y el más bajo posible, siempre teniendo en cuenta el número de personas a las que se sirve y tomando en consideración que debe ser amortizado en 20 ó 30 años.

En algunos casos, en ciudades pequeñas e incluso medianas, el abastecimiento de agua a partir de pozos profundos ha sido la solución más segura y viable, en virtud de la relativa facilidad de exploración de estas cisternas y de la buena calidad de aguas que se encuentra en ellas.

Por lo general, las captaciones de aguas superficiales se realizan cerca de los ríos, pero a veces se necesitan obras para la retención y almacenamiento de las aguas.

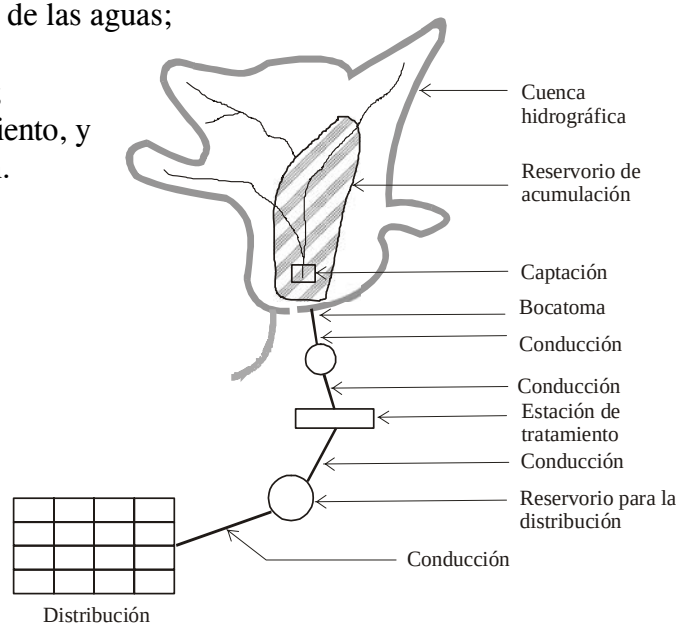
Estas obras suelen ser innecesarias en las ciudades pequeñas y, por lo tanto, es fácil obtener el agua de las fuentes superficiales. Sin embargo, frente a esta facilidad relativa se contrapone, como factor negativo, el hecho de que el tratamiento es costoso y difícil de mantener en buen estado de operación y mantenimiento.

Recientemente, en el estado de São Paulo se prefirió el sistema de abastecimiento mediante pozos profundos para las zonas en vías de desarrollo, porque elimina el tratamiento y la perforación de los pozos es relativamente fácil. Además, no se requieren obras complementarias como represas y puntos de captación, etcétera.

7.2 Elementos que constituyen un sistema de abastecimiento urbano de agua

Figura 4

- fuente;
- captación;
- conducción de las aguas;
- bombeo;
- tratamiento;
- almacenamiento, y
- distribución.



No es obligatorio seguir paso a paso la secuencia indicada; se puede prescindir de algunas partes. Por ejemplo:

- es posible que no exista la estación de bombeo, debido a la posición elevada de la captación;
- es probable que no se necesite hacer la represa para tener un reservorio de almacenamiento cuando la cantidad de agua

disponible sea suficiente para satisfacer la demanda de manera continua;
- cuando el agua satisface las normas de potabilidad, la planta de tratamiento de agua no es necesaria.

7.3 El reservorio de almacenamiento

El principal objetivo de los reservorios de almacenamiento es almacenar el agua durante el periodo de lluvias, para utilizarla cuando hay sequía.

Por lo general los reservorios se construyen en áreas protegidas, donde no estén propensos a la contaminación doméstica o industrial. Ello permite que el agua cruda tenga una decantación natural (predecantación o decantación simple), con mejores condiciones físicas, químicas y bacteriológicas, antes de que entre en la planta de tratamiento.

Sin embargo, esa agua almacenada por lo general es alterada por áreas pantanosas, por hojas secas de árboles, por plantas y animales que viven en la orilla y en el agua, como algas, así como por la recepción eventual de residuos domésticos e industriales. Es necesario prestar atención a todos estos factores y darles un tratamiento específico.

El material depositado en el fondo de la represa —partículas de tierra y piedra—, al no estar propenso a la intensa descomposición orgánica o incluso, con su descomposición controlada, puede obstruir el reservorio y disminuir rápidamente la capacidad de almacenamiento del agua.

Cuando se produce una descomposición orgánica rápida (putrefacción o fermentación), se originan gases que al disolverse en el agua, intensifican sabores y olores (gas sulfhídrico, por ejemplo). Por ello es indispensable tomar ciertas precauciones con los reservorios de almacenamiento:

Precauciones especiales

a) Control de la obstrucción:

- por el uso frecuente de compuertas y la descarga del sílice en las épocas de flujo elevado de agua;
- para prevenir la erosión del suelo por el agua y evitar que este suelo erosionado llegue al reservorio (lo cual puede lograrse mediante curvas de nivel y plantación de especies rastreras como las gramíneas), y
- uso de dragas para la remoción del material depositado.

b) Control de hierbas acuáticas:

Las hierbas y otras plantas acuáticas causan trastornos que producen sabor y olor en el agua, y favorecen la proliferación de algas. Especies vegetales como las espadañas pueden echar raíces en las cavas protegidas y diseminarse rápidamente.

El control de las hierbas acuáticas exige programas elaborados con mucho cuidado:

- saber cuándo puede desocuparse el reservorio para realizar limpiezas periódicas;
- aprovechar la disminución del nivel de la represa para retirar las hierbas;

- cortar las flores que se encuentran sobre o bajo el nivel del agua antes de que produzcan semillas;
- arrastrar un cabo por el agua, para impedir el crecimiento de las plantas;
- utilizar compuestos químicos como los compuestos clorados de bencina y salpicarlos como una emulsión.

c) Control de hierbas en las cercanías de los reservorios:

Al margen de los reservorios crecen hierbas comunes y otras especies vegetales. El control de estas hierbas puede realizarse mediante las siguientes acciones:

- control manual: corte, extracción del vegetal desde la raíz, etcétera.
- quema de la vegetación;
- uso de herbicidas como el cloruro de potasio y el sulfato de amonio. Personal especializado debe estar a cargo de seleccionar dichos compuestos, determinar su proporción y método de aplicación.

d) Control de aves:

Además de las alteraciones que a veces causan en los análisis bacteriológicos, las aves migratorias esparcen semillas y hacen que las hierbas acuáticas se multipliquen; la presencia de estas aves puede controlarse mediante las siguientes acciones:

- ataque directo;
- en pequeños represamientos, por medio de alambres cruzados a intervalos de 0,60 a 1,50 m y aproximadamente de 3 a 6 metros por encima del nivel máximo de agua.

Tómese en cuenta que un método útil para controlar la presencia de aves grandes puede favorecer la presencia de las más pequeñas, que pueden utilizar los alambres como pajareras.

e) Control de algas:

Uno de los mayores problemas que surgen en los reservorios se relaciona con la proliferación de una gran cantidad de algas, que pueden dar un sabor y un olor fuertes al agua. Esto ocurre debido a la liberación (putrefacción) de los organismos muertos.

Cuando esta proliferación es exagerada, puede influir en los procesos de purificación, principalmente en la filtración.

Algunas medidas recomendadas para combatir este problema son las siguientes:

1) *Como prevención,* se cubren los reservorios para evitar que la luz solar penetre; en la práctica, este procedimiento es muy difícil de aplicar.

2) *Uso de alguicidas:*

   a) Sulfato de cobre: en dosis generalmente inferiores a una parte por millón (ppm), es suficientemente tóxico para la mayoría de las algas. Sin embargo, su uso es limitado debido a su elevado precio y a su alto grado de toxicidad para los peces.

   Puede aplicarse con el uso de los siguientes implementos:

   - dosificadores en seco o en solución, colocados en la entrada del reservorio;

- en los grandes reservorios para tratamiento total o parcial, se puede colocar una cantidad determinada de sulfato de cobre en un costal poroso. Este se mueve de abajo a arriba, a medida que el barco recorre la superficie del agua;
- pulverización con un inyector, mediante boquillas, bajo presión.

b) Cloro: es muy eficaz como alguicida, ya sea en forma simple o como hipoclorito. Sin embargo, muchos tipos de algas, cuando son atacados por dicha sustancia, desprenden mal sabor o mal olor, y producen la formación de compuestos como los clorofenoles. Algunas especies dan al agua clorada un sabor a tierra o a pescado. Aunque es costoso, en estos casos la solución reside en aplicar dosis mayores de cloro.

La aplicación del cloro puede realizarse con dosificadores apropiados, colocados en la entrada de los reservorios.

c) Sulfato de cobre clorado: ambos, el sulfato de cobre y el cloro, son eficaces en disolución alta (es decir, lo suficientemente diluidos).

d) Compuestos de zinc: el más eficaz es un compuesto orgánico, el dimetil-ditiocarbonato de zinc, que es eficaz a 0,2 ppm. Su uso es limitado debido a su alto precio y a su toxicidad para los peces.

e) Compuestos de urea: principalmente el 3-p-clorofenol-1, 1 dimetilolurea. Muy eficaz para las algas pero no para los animales. Sin embargo, es muy tóxico para otros vegetales como árboles, arbustos, grama, etcétera.

f) Antibióticos: son eficaces en pequeñas dosis (0,015 ppm). Por ejemplo: estreptomicina, neomicina, terramicina y actidina. Su uso es limitado debido al alto precio. Actualmente se quiere cultivar hongos *Streptomyces* (vegetales sin clorofila, de donde se extrae la estreptomicina) en los reservorios infestados de algas para tratar de conseguir un equilibrio entre ambas especies.

3) *Utilización de peces para combatir las algas:*

Se puede utilizar especies como la carpa, que se alimentan de grandes cantidades de algas, principalmente filamentosas, además de plantas acuáticas superiores.

Por ejemplo, en Brasil, se introdujo un pez característico de Sudamérica —la *Tilapia melanopleura*— que se alimenta únicamente de microorganismos (incluyendo algas) durante toda la vida. Debido a su fácil adaptación, esta especie puede ser importada.

La aplicación de alguicidas siempre debe ser, dentro de lo posible, una medida preventiva y no correctiva.

Existen tablas de valores sobre las cantidades de sulfato de cobre y cloro admitidas como letales para varios tipos de microorganismos, que deben ser consultadas. En el caso de represas que contienen peces, se debe realizar un examen experimental en laboratorio para que la aplicación sea eficaz en la eliminación de las algas sin perjudicar a los demás seres vivos.

4) *Uso de carbón activado en polvo:*

Puesto que la fotosíntesis (reacción por la cual un vegetal clorofilado cualquiera sintetiza la materia orgánica) depende de la luz, en los reservorios pequeños se puede impedir la penetración

de los rayos solares si se aplica carbón activado en polvo y se hace que caiga alrededor de las paredes del reservorio mediante un costal que contenga un determinado peso de carbón. En áreas mayores, el carbón puede colocarse sobre la superficie en forma de lodo.

5) *La alcalinidad cáustica* que se produce cuando se añade cal al agua también provoca la destrucción de las algas.

6) *La cloramina* se usa ventajosamente como alguicida en piscinas y reservorios abiertos, así como en los sistemas de distribución.

7) *La existencia de peces* en los reservorios de almacenamiento:

   No existe sustituto para los peces en el mantenimiento del equilibrio biológico.

   La pesca en las represas debe ser controlada y se debe criar las especies de peces recomendadas, principalmente peces vegetarianos.

8) *Punto de captación de agua:*

   Por lo general, el agua de mejor calidad está en la profundidad media. Las superficies facilitan el desarrollo de algas. En el fondo se puede producir una proporción elevada de gas carbónico, fierro, manganeso y, en ocasiones, gas sulfhídrico. En los reservorios profundos existe una zona con un estancamiento relativo bajo los seis metros.

7.4 Captación

La captación está formada por el conjunto de obras y servicios que hacen posible retirar el agua de las fuentes, para que posteriormente sea utilizada. Los tipos de captación son los siguientes:

- captación de aguas superficiales:
- sin represa;
- con represa (mediante reservorios de almacenamiento);
- captación de aguas subterráneas: manantiales, pozos (superficiales y profundos), y
- captación de aguas pluviales: cisternas.

Por lo general, el reservorio almacena cierto volumen de agua destinada a los siguientes usos:

- abastecimiento;
- aprovechamiento hidroeléctrico;
- irrigación;
- control de inundaciones, y
- regularización de los cursos de agua.

En los tres primeros casos, la necesidad del reservorio reside en la existencia de caudales inferiores a las necesidades de consumo, pero el caudal medio es superior a dichas necesidades. El reservorio acumulará agua durante el ciclo de lluvia para que sea utilizada en tiempos de sequía.

En cuanto al control de las inundaciones, el reservorio de almacenamiento está previsto para mantener en el curso inferior un caudal compatible con la capacidad del canal y de este modo evitar las inundaciones.

Sobre la regularización de los cursos de agua, el reservorio de almacenamiento permite mantener caudales compatibles con la forma como se usa el curso de agua: sea para navegación, disposición de desagües, fines recreativos, etcétera. Obviamente, la construcción

de un reservorio podrá tener como objetivo solo una de dichas finalidades o bien objetivos múltiples como en el caso del uso integral de los recursos hídricos de una cuenca, lo que constituye la tendencia en la mayoría de nuestros países.

7.5 Conducción de las aguas

Es el conjunto de canales, piezas especiales e infraestructura destinada a promover la circulación del agua entre los diversos elementos del sistema de abastecimiento, que son los siguientes:

- toma en el reservorio para la distribución;
- captación y planta de tratamiento;
- planta de tratamiento y reservorio de distribución, y
- reservorio de distribución y red.

Por lo general, las tuberías matrices no distribuyen directamente el recurso. En algunos casos, se puede reemplazar una de estas tuberías por un canal secundario, que va a producir agua para un fin determinado, ya sea para una industria grande o para otra comunidad.

Los canales de conducción se clasifican del siguiente modo:

- Conductos libres: abiertos;
  cerrados.
- Conductos forzados: por gravedad;
  por bombeo.
- Conductos mixtos: en parte libres, y
  en parte cerrados.

En el primer caso, la presión es igual a la atmosférica.

En el segundo, es superior a la atmosférica.

Para el abastecimiento de agua, la presión debe ser mayor que la atmosférica; por ello, se usan conductos forzados, principalmente cuando estamos ante agua tratada.

También podemos clasificar los canales de conducción del siguiente modo:

- por gravedad;
- por bombeo;
- mixtos.

7.6 Bombeo

Es la parte del abastecimiento constituida por el conjunto de bombas, motores y elementos afines, así como por el conjunto de transformadores y elementos accesorios y complementarios.

7.7 Tratamiento

Es la técnica que tiene por finalidad reducir las impurezas perjudiciales y nocivas.

El tratamiento tiene como finalidad fundamental mejorar la calidad del agua natural desde los siguientes puntos de vista:

a) desde el punto de vista sanitario:

- remoción de bacterias, protozoarios y otros organismos, sustancias venenosas, proporción excesiva de compuestos orgánicos;

b) desde el punto de vista estético:

- remoción del color, sabor, turbidez y olor;

c) desde el punto de vista económico:

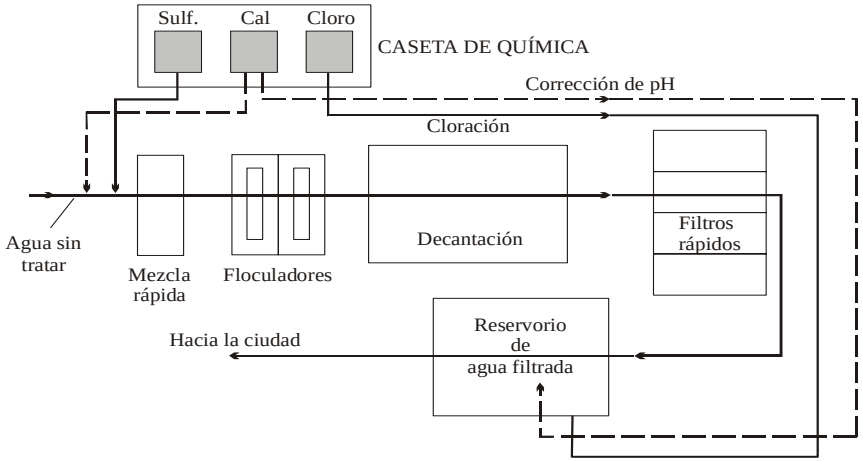
- reducción de la corrosividad y del fierro, etcétera.

Procesos de purificación

- Aeración: intercambio de gases entre el agua y el aire.
- Objetivo principal: remoción de gases disueltos CO_2, H_2S.
- Coagulación.
- Sedimentación o decantación: simple o con coagulación previa.
- Filtración: lenta o rápida.
- Desinfección.

Rara vez los procesos indicados aparecen de manera aislada. Es muy común usar tres o cuatro procesos de purificación. La combinación más común es la siguiente:

Figura 5



Sedimentación: es el proceso mediante el cual se verifica el asentamiento de materiales en suspensión, por acción de la gravedad. En algunos casos, es necesario aumentar el tamaño de las partículas mediante la coagulación para facilitar la sedimentación.

La coagulación transforma las impurezas que se encuentran en suspensiones finas, en estado coloidal e incluso en solución (Fe y Mn) en partículas que se puedan remover mediante sedimentación y filtración.

La filtración del agua consiste en hacerla pasar a través de sustancias porosas, capaces de retener o remover algunas de sus impurezas. Por lo general, el material que se usa es la arena.

Ninguno de los procesos de purificación del agua mencionados anteriormente puede ser considerado eficaz en la remoción total de las bacterias existentes en el agua. Hay que considerar también la posibilidad de que el agua pueda contaminarse al pasar por el sistema de distribución antes de llegar al consumidor o incluso en las propias residencias o edificios adonde llega. Por ello es necesario *desinfectar* el agua cuando sale de la planta de tratamiento. En estos casos, el desinfectante comúnmente usado es el cloro.

7.8 Restricción de la distribución

Permite almacenar el agua para atender las variaciones de consumo y las demandas de emergencia en la ciudad.

a) Atención de las variaciones de consumo

El consumo de agua en la ciudad no es constante; cambia a lo largo de las 24 horas del día.

La localización de un reservorio entre el sistema de captación–conducción-tratamiento y distribución de las aguas permite contar con un caudal constante para los diversos componentes del sistema:

- captación del agua;
- líneas de conducción por bombeo;
- planta de tratamiento de agua, y
- líneas de conducción por gravedad.

Estas unidades del sistema serán adecuadas al caudal medio del día de mayor consumo mientras que la red de distribución lo será para el caudal máximo de la hora de mayor consumo del mismo día.

En consecuencia, estas unidades tendrán dimensiones más económicas y serán operadas con mayor facilidad y eficiencia debido a la posibilidad de adecuarse de manera constante al caudal.

En la red de distribución de una ciudad, en cuyas diversas áreas podrán existir consumos diferentes, la localización del reservorio podrá influir en el costo de la red de distribución, haciendo posible un servicio más económico cuando está ubicado en las proximidades del punto de concentración relativa de los distintos consumos de la ciudad.

b) Atención de las demandas de emergencia

El reservorio de distribución permite dotar de continuidad al abastecimiento cuando ocurren interrupciones en el suministro por accidentes ocurridos en elementos del sistema o en ciertos tramos de la misma red de distribución.

Para que el suministro no sea interrumpido por el reservorio cuando no recibe agua debido a accidentes en otros componentes del sistema,

es necesario que en el cálculo de su capacidad esté previsto un volumen correspondiente al consumo de la ciudad durante el lapso correspondiente a la interrupción. En caso contrario, el abastecimiento será interrumpido cuando el reservorio quede vacío. Es necesario prever cuál es el intervalo necesario para colocar el componente accidentado en condiciones de funcionar otra vez y, en consecuencia, determinar el volumen correspondiente al reservorio.

Los reservorios para los que se prevé un volumen de agua destinado a combatir incendios contribuyen con la seguridad y la economía de la comunidad y con la protección de la vida de los habitantes y de la propiedad pública y privada.

Algunas demandas especiales pueden elevar sensiblemente el costo de los reservorios y de las redes de distribución; es el caso de los balnearios, lugares turísticos o ciudades a las que se realizan peregrinaciones religiosas.

La localización de los reservorios de distribución puede influir en las condiciones de presión de la red al reducirse la variación de la presión en ciertas áreas. Cuando los reservorios se ubican junto a las áreas de mayor consumo, en las proximidades de lugares donde existen edificios e instalaciones que necesitan protección contra incendios o en las proximidades de la zona central, posibilitan una mejor distribución del agua y mayor presión en los hidrantes, debido a la reducción de las oscilaciones de presión en la red.

Con respecto a la *localización en el sistema,* los reservorios pueden clasificarse en los siguientes tipos:

a) reservorio de cabecera: situado antes de la red de distribución; asegura una variación relativamente grande de la presión en los extremos de la red (los puntos más alejados del reservorio);

b) reservorio flotante: recibe agua a través de la red durante las horas de menor consumo y ayuda al abastecimiento de la ciudad durante las horas de mayor consumo. Este tipo de reservorio, por su ubicación, hace posible una menor oscilación de la presión de la red; se ubica al final de la red.

Con respecto a la *ubicación en el terreno,* los reservorios pueden ser de los siguientes tipos:

a) reservorios enterrados;
b) reservorios semienterrados, y
c) reservorios elevados.

Con respecto al *material de construcción,* los reservorios pueden ser de las siguientes clases:

a) de albañilería (ladrillo);
b) concreto armado común;
c) concreto pretensado;
d) acero;
e) madera;
f) fierro;
g) cemento,
h) paredes revestidas, etcétera.

Precauciones especiales:

En el caso de los reservorios enterrados y semienterrados deben seguirse las siguientes medidas de precaución:

1) Deben estar localizados en terrenos no inundables.

2) Se debe tomar en cuenta la pendiente de la superficie del terreno próximo.

3) Deben estar protegidos contra el agua del subsuelo y de las tuberías de desagüe. Si es inevitable que estén próximos a una tubería de desagüe, esta debe localizarse a 15 metros de distancia del reservorio y se deben usar tuberías de hierro.

En el caso de los reservorios enterrados, semienterrados y elevados:

1) La cobertura debe estar bien hecha, de tal manera que impida el ingreso de insectos, aves, etcétera.
2) Los tubos de ventilación deben protegerse con telas.
3) Deben desinfectarse después de la construcción, la limpieza o las reparaciones.

7.9 Distribución

La red de distribución es el conjunto de tuberías y piezas especiales destinadas a conducir el agua hasta los puntos de captación de las instalaciones domiciliarias.

Las tuberías distribuyen agua en movimiento y se extienden formando una red.

En el sistema de abastecimiento de agua, la red es uno de los componentes menos cuidados, puesto que está formada por conductos totalmente enterrados. Esto se relaciona con dos aspectos fundamentales:

a) salud pública, y
b) economía.

Las redes se construyen para suministrar agua a los consumidores y por ello se exigen ciertos requisitos cuya finalidad es conservar la potabilidad del agua, según dos principios fundamentales:

- presión: la red debe operarse en condiciones de presión adecuada, y
- disponibilidad de agua: se debe garantizar continuidad en el abastecimiento.

Si se consideran estos dos principios, el agua será siempre potable.

En cuanto a la economía, podemos decir que de 50 a 75% del presupuesto de un sistema de abastecimiento se invierte en la red de distribución.

7.10 Materiales empleados en los conductos de agua del sistema de abastecimiento público

1. Hierro, usado prácticamente en todas las obras de ingeniería sanitaria:

   - redes de distribución;
   - tuberías matrices;
   - tuberías de reservorios, y
   - plantas de tratamiento de agua.

2. Tuberías de cemento:

   - tuberías matrices, y
   - redes de distribución.

3. Tuberías de concreto:

   - obras de captación, y
   - tuberías matrices de conducto libre.

4. Tuberías de acero:

   - tuberías matrices de gran diámetro.

   Tales tuberías pueden ser:

   - sin revestimiento, y
   - con revestimiento (asfalto, por ejemplo), galvanizadas.

5. Tuberías de plástico

   - Usadas en redes de distribución y en conexiones domiciliarias.

7.11 Sistemas de distribución de agua

- Distribución domiciliaria completa: es el sistema ideal y recomendable para toda la población, pero su costo es elevado e inaccesible para los sectores más pobres.
- Distribución por pileta pública: en comunidades de un nivel de vida bajo y de escasa educación sanitaria, esta distribución es recomendable, por lo menos en una primera etapa.
- Distribución domiciliaria parcial: es un sistema que presenta las siguientes soluciones:

  a) Distribución mixta entre las dos anteriores:

     - completa para las familias de nivel económico más alto;
     - pileta pública para el resto de la población.

  b) Distribución domiciliaria completa para las familias de nivel de vida más alto y una pileta pública de agua para cada una de las demás localidades.

c) Solo una pileta de agua por localidad. La elección de una de las soluciones señaladas depende de una serie de factores relacionados con la situación económica de la población.

7.12 Servicios de suministro al consumidor

Existen tres tipos de distribución de agua para los domicilios:

a) Servicio libre:

El agua se suministra al consumidor sin restricción ni control, con una tasa fija, independiente del consumo. Este tipo de distribución fomenta el derroche de agua y por ello no es recomendable.

b) Restricción del agua:

Suministro de agua limitado. Es una solución tolerable.

c) Servicio medido:

El consumidor obtiene el agua que desea o necesita, pero paga una tasa de acuerdo con el volumen consumido. Este es el sistema racional y el que se debe aplicar siempre.

CAPÍTULO 4

F Í S I C A

1. FUERZA

1.1 ¿Qué significa fuerza?

Cuando usted presiona un resorte o patea una pelota de fútbol, usted está aplicando una fuerza para aumentar o disminuir el largo del primero o para impulsar la segunda. Podemos definir la fuerza de la siguiente manera:

La fuerza es una presión o un impulso que ejercemos sobre un cuerpo para hacer que se mueva.

La fuerza más común es la fuerza de gravedad. La Tierra atrae piedras, pelotas de fútbol, sillas y todo tipo de cuerpos. Atrae todo. La fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre un cuerpo recibe el nombre de *peso del cuerpo*.

1.2 ¿Cuáles son las unidades de fuerza?

El kilogramo es una unidad de fuerza del sistema métrico. Un kilogramo es el peso de determinado cilindro, fabricado con una mezcla de platino, que se conserva junto con el metro patrón cerca de París. Un gramo es la milésima parte del kilogramo. Mil centímetros cúbicos (un litro) de agua helada pesan casi un kilogramo. Por lo

tanto, un centímetro cúbico de agua pesa un gramo. Dichas unidades de fuerza se denominan *kilogramo-fuerza* y *gramo-fuerza;*[1] los nombres *kilogramo* y *gramo* se reservan para las unidades de masa. Sin embargo, en el uso común se suprime la designación *fuerza*, siempre y cuando no exista posibilidad de confusión.

Los científicos frecuentemente utilizan una unidad de fuerza muy pequeña llamada *dina*. Un gramo equivale aproximadamente a 980 dinas. La dina es una unidad absoluta de fuerza.

1.3 Unidad absoluta de fuerza

El peso del kilogramo modelo que se conserva en París variaría si se lo transportara a otros lugares; a lo alto de una montaña, por ejemplo. Pero los científicos necesitan unidades absolutas, que no dependan de la posición. Ellos eligieron la dina como unidad absoluta de fuerza en el sistema centímetro-gramo-segundo (CGS). Una dina es la fuerza que produce la aceleración de un centímetro por segundo en un cuerpo de un gramo de masa.

La fuerza con que la Tierra atrae un cuerpo de un gramo de masa, al nivel del mar y a una latitud de 45º N, constituye el gramo-fuerza (g^*) y transmite a ese cuerpo una aceleración de 980 centímetros por segundo. De esta manera, la fuerza de un gramo equivale a 980 dinas.

$$1g^* = 980 \text{ dinas}.$$

[1] El texto se basa en el sistema centímetro-gramo-segundo (CGS). Actualmente, la unidad de fuerza aprobada por el Sistema Internacional (SI) es el newton.

Podemos escribir la ecuación siguiente:

$$\frac{F}{P} = \frac{a}{g} \text{ de la siguiente manera: } F = \frac{P}{g} \times a$$

En esta ecuación, P/g es la masa (m) del cuerpo que experimenta una aceleración. La masa $m = P/g$ es constante; no depende del lugar porque cualquier variación en el peso de un cuerpo produce una variación proporcional en g.

Por lo tanto: $F = m \times a$.

Empleando esa ecuación, se recuerda que *1 dina = 1 gramo*.

masa x 1 cm/s/s.

Ejemplo:

¿Qué fuerza en (a) dinas y (b) gramos se necesita para acelerar un cuerpo de 10 gramos de masa, de 490 cm/s²?

a) $F = ma = 10\ g \times 490\ cm/s^2 = 4.900\ g\ cm/s^2 = 4.900$ *dinas*.

b) $1\ g^* = 980$ *dinas; luego,* 4.900 *dinas* $= 5\ g^*$

2. PRESIÓN EN LOS LÍQUIDOS

2.1 ¿Qué significa presión?

Muchas personas piensan que *presión* es sinónimo de *fuerza*. Sin embargo, la presión no solo implica la fuerza que se ejerce sino

también el área en que esta actúa. La Figura 1-A muestra un bloque de un centímetro cuadrado por dos de altura que pesa 4 kg*. El peso del bloque se distribuye sobre un área de un dm², de manera que ejerce una presión de 4 kg* por decímetro cuadrado. Si el bloque estuviera apoyado en la parte lateral (Figura 1-B), de modo que el área en contacto con la mesa fuera de 2 dm², la presión sería de 2 kg* por dm*. La superficie del neumático de un automóvil de aproximadamente 20 centímetros de ancho está en contacto con el suelo. Con ese neumático, un carro pesado avanza más suavemente que con uno más pequeño, que requeriría una presión mayor, dado que la presión es la fuerza dividida por el área.

Figura 1-A

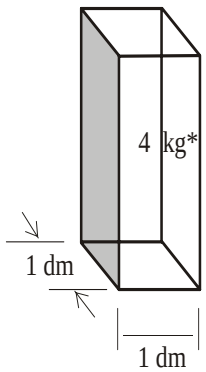
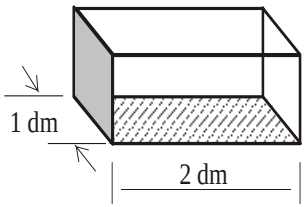


Figura 1-B



$$Presión = \frac{fuerza}{área}; \quad P = \frac{F}{A}$$

Ejemplo:

Una caja que pesa 129 kg* mide 1,20 m de largo por 0,5 m de ancho. ¿Qué presión ejerce sobre el suelo?

$120\ kg^* = peso\ de\ la\ caja.$
$0{,}5\ m = ancho\ de\ la\ caja.$
$1{,}2\ m = longitud\ de\ la\ caja.$

Determinar la presión.

$$P = \frac{F}{A};$$

$$P = \frac{120\ kg^*}{0{,}5 \times 1{,}2\ m} = \frac{120\ kg^*}{0{,}6\ m^2} = 200\ kg^*/m^2$$

2.2 Unidades de presión

a) $CGS \longrightarrow P = 1\ \frac{dina}{cm^2} = 1\ baria: 1\ d/cm^2 = 1\ ba$

b) $MKS \longrightarrow P = 1\ \frac{newton}{m^2} = 1\ pascal: 1\ \frac{N}{m^2} = 1\ pascal$

c) $MKS \longrightarrow P = 1\ kgf/m^2$

Unidades prácticas:

$1\ bar = 10^6\ barias$
$1\ atm = 76\ cm\ de\ Hg = 760\ mm\ de\ Hg = 1.013 \times 10^6\ ba.$

Problemas:

1) Un tanque con agua pesa 480 kg*. El tanque tiene 1,20 m de longitud por 80 cm de ancho. ¿Cuál es la presión en el fondo del tanque, en kilogramos por decímetro cuadrado?

2) La base de un monumento tiene un área de 4 m^2. Si su peso es de 6 toneladas, ¿cuál es la presión que ejerce (en kg^*/m^2)?

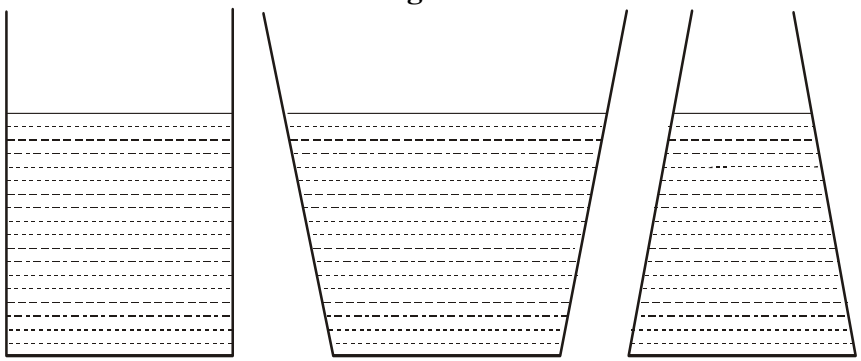
3) El vapor de una caldera ejerce una presión de 100 kg^*/cm^2 en la base de un pistón de 40 cm^2. ¿Qué fuerza ejerce el vapor sobre el pistón?

2.3 Presión del agua

Al abrir el grifo de agua, la presión hace que el líquido corra. El nivel del agua en el reservorio de la ciudad o en el tanque de su casa es más alto que el lavatorio, lo que ocasiona la presión. Si la diferencia de nivel es de 30 metros y el agua no corre, entonces la presión del agua en el grifo es de tres kilogramos por centímetro cuadrado. La presión correspondiente a un líquido no depende de la forma ni de las dimensiones del vaso sino solamente de la profundidad del líquido (Figura 2).

Una columna de agua de un decímetro de profundidad produce una presión de 1 kg^* por dm^2.

Figura 2



La presión es la misma en el fondo de todos los vasos. La presión depende de la profundidad del líquido y no de la forma del vaso.
Para demostrar que la presión depende de la profundidad podemos llenar con agua una lata con dos agujeros, uno en la parte superior y otra en la parte inferior. La mayor presión en el agujero inferior hará que el agua brote más lejos que la del agujero superior.

¿Cómo se puede calcular la presión del agua?

A cualquier profundidad, la presión del agua se obtiene al multiplicar la presión de la profundidad unitaria por la profundidad medida en dicha unidad.

2.4 Presión en unidades métricas

Imagine una caja pequeña, de un centímetro por lado, llena de agua. El agua va a pesar un gramo y causará una presión equivalente. Si tuviéramos una caja de cinco centímetros de altura, la presión en el fondo sería de cinco gramos por centímetro cuadrado.

La presión en gramos por centímetro cuadrado es igual a la profundidad del agua medida en centímetros.

De esta manera, se puede hallar la presión en gramos por centímetro cuadrado al multiplicar la presión en la profundidad de un centímetro por la profundidad en centímetros.

Ejemplo:

El agua de un acuario tiene una profundidad de 40 cm. ¿Cuál es la presión en el fondo?

40 cm = profundidad del agua.

Determine la presión.

Presión = 40 x 1 g/cm² = 40 g*/cm².*

Problemas:

1) Un tanque está lleno de agua hasta una altura de 2,20 m. ¿Cuál es la presión en kg^*/dm^2?

2) El reservorio de agua de una localidad está a 45 m por encima del suelo. ¿Cuál es la presión en las tuberías en kg^*/dm^2 y en kg^*/cm^2?

3) ¿Cuál es la presión en el fondo de una piscina de 6 m de profundidad: (a) en gramos por centímetro cuadrado, (b) en kilogramos por centímetro cuadrado?

3. DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO

Para calcular la presión en un líquido cualquiera, se necesita saber cuál es el peso específico y cuál la densidad. Cuando decimos que el mercurio es más pesado que el agua —o, mejor dicho, más denso que el agua— queremos expresar que un cierto volumen de mercurio es más pesado que el mismo volumen de agua. Densidad es el número de veces en que una sustancia es más pesada que el mismo volumen de agua.

Peso específico es el peso de la unidad de volumen de una sustancia.

$$\textit{Peso específico} = \frac{\textit{Peso}}{\textit{Volumen}} \qquad C = \frac{P}{V}$$

	Sólidos		Líquidos (a 20 °C)	
Densidad de sólidos y líquidos. (Un cm^3 de agua pesa un gramo.)	Pino	0,3	Agua	1,000
	Roble	0,6 a 0,9	Alcohol etílico	0,791
	Aluminio	2,7	Gasolina	0,66 a 0,69
	Oro	19,3	Litio	1,028 a 1,035
	Fierro	7,9	Mercurio	13,6
	Níquel	8,9	Acido sulfúrico	1,84
	Platino	21,4	Solución con 5% de sulfato de aluminio	1,06
	Plata	10,5		
	Uranio	18,7		

Si un bloque de madera pesa 40 kilogramos y tiene un volumen de 50 centímetros cúbicos, su peso específico es de 0,8 kilogramos por decímetro cúbico.

El peso específico del agua es de un gramo por centímetro cúbico. Para hallar el peso específico de una sustancia, si se sabe su densidad, se debe multiplicar esta por el peso específico del agua.

Por ejemplo, la densidad del mercurio es 13,6 y su peso específico, 13,6 gramos por centímetro cúbico, 13,6 kilogramos por decímetro cúbico ó 13.600 kilogramos por metro cúbico. Observe que el peso específico de ciertas unidades del sistema métrico equivale al número de la densidad. En el sistema inglés, tales números son siempre diferentes. De esta manera, la densidad del agua es uno y su peso específico, 62,4 libras por pie cúbico.

3.1 Cómo medir la densidad

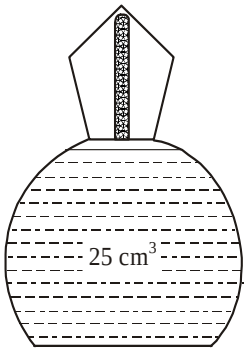
Para medir la densidad de un líquido de manera sencilla, se puede utilizar un frasco que tenga un pequeño agujero en la tapa (Figura

3). Primero se pesa el frasco vacío con la tapa. Luego se llena el frasco con agua. Se coloca la tapa (el exceso de agua saldrá por el agujero) y se pesa nuevamente. Determine, por sustracción, el peso del agua que llena el frasco. De modo análogo, determine el peso de la cantidad del otro líquido que llena el mismo frasco.

Luego, determine la densidad con la siguiente ecuación:

$$Densidad = \frac{Peso\ del\ líquido}{Peso\ de\ igual\ volumen\ de\ agua}$$

Figura 3



Frasco de densidad. Para determinar la densidad: (a) determine el peso del agua que llena el frasco; (b) determine el peso del líquido que lo llena; (c) divida el peso del líquido por el peso del agua.

Ejemplo:

Un frasco de densidad pesa 30 g* cuando está vacío y 65 g* cuando está lleno de agua. Si su peso es de 75 g* cuando está lleno de un ácido, ¿cuál es la densidad del ácido?

30 g = peso del frasco vacío.*
65 g = peso del frasco lleno de agua.*
75 g = peso del frasco lleno del ácido.*

Determine la densidad *(D)* del ácido:

$$D = \frac{Peso\ del\ ácido}{Peso\ del\ volumen\ equivalente\ de\ agua}$$

$$Peso\ del\ agua = 65\ g^* - 30\ g^* = 35\ g^*$$
$$Peso\ del\ ácido = 75\ g^* - 30\ g^* = 45\ g^*$$

$$D = \frac{45\ g^*}{35\ g^*} = 1{,}28$$

Problemas:

1) Un frasco de densidad pesa 20 g* cuando está vacío. Cuando está lleno de agua, pesa 36 g*; lleno de ácido, 56 g*. ¿Cuál es la densidad del ácido?

2) Un frasco pesa 48 g* cuando está lleno de agua. Cuando está lleno de otro líquido, 40 g*. Vacío pesa 15 g*. ¿Cuál es la densidad del otro líquido?

3) Un frasco que pesa 28 g* contiene 36 g* de agua. Si el sulfato de cobre (en solución) que puede contener pesa 40 g*, (a) ¿cuál es la densidad del sulfato de cobre? y (b) ¿cuál es el volumen del frasco?

3.2 Presión en un líquido

Supongamos que se ha llenado un vaso de 10 cm de profundidad con mercurio, que es 13,6 veces más pesado que el agua. Si el vaso estuviera lleno de agua, la presión en el fondo sería de 10 g* por centímetro cuadrado. Lleno de mercurio, la presión es 13,6 veces

mayor; es decir, de 136 g^* por centímetro cuadrado. Para determinar la presión a cierta profundidad en cierto líquido, determine primero la presión a la misma profundidad en el agua y luego multiplique por la densidad del líquido.

Ejemplo:

Un pozo de aceite de 300 m de profundidad está lleno de aceite con una densidad de 0,80. ¿Cuál es la presión en el fondo del pozo?

300 m = profundidad del aceite.
0,80 = densidad del aceite.

Determine la presión.

Presión en el agua = 300 x 100 g^*/cm^2 = 30.000 g^*/cm^2 = 30 kg^*/cm^2.

Presión en el aceite = 0,80 x 30 kg^*/cm^2 = 24 kg^*/cm^2.

Problemas:

1) Determine la presión en un tanque de aceite de 5 m de profundidad si la densidad del aceite es de 0,82.

2) La densidad del ácido sulfúrico es de 1,84. Determine la presión en gramos por centímetro cuadrado, a una profundidad de 3 m.

3) Determine la presión en kilogramos por decímetro cuadrado en un tanque de leche de 6 m de profundidad, si la densidad de la leche es de 1,035.

4. EMPUJE

4.1 ¿Qué quiere decir *empuje?*

Cuando usted camina hacia la parte más honda de una piscina, su peso parece disminuir y sus pies ejercen una fuerza cada vez menor sobre el fondo. Cuando usted entra en un bote que flota, su peso le hace parecer como si estuviera hundiéndose en el agua. El fondo del bote, que está a mayor profundidad, donde la presión del agua es mayor, recibe ahora una fuerza mayor del agua, de abajo hacia arriba, lo que compensa el peso adicional. Esa fuerza es el *empuje,* la fuerza ejercida de abajo hacia arriba por un líquido, sobre todo cuerpo que flota o se encuentra sumergido en él.

Arquímedes descubrió la ley del empuje, que denominamos *ley de Arquímedes*.

La pérdida aparente de peso de un cuerpo inmerso o flotante es igual al peso del líquido desplazado.

Por ejemplo, si el volumen de una esfera fuera de 5 cm^3, esta desplazaría el volumen de agua equivalente al estar sumergida. Este volumen de agua desplazado pesa 5 gramos. Por lo tanto, la esfera parecerá pesar menos de 5 gramos cuando esté sumergida en el agua respecto de cuando está en el aire. Si la esfera pesa 20 g^* en el aire, parecerá pesar 15 g^* cuando está en el agua.

4.2 Es posible determinar la densidad utilizando la ley de Arquímedes

Para determinar la densidad de un cuerpo, se debe dividir su peso entre el peso de igual volumen de agua. Por otro lado, la ley de

Arquímedes dice que la disminución del peso de un cuerpo en un líquido es igual al peso del líquido desplazado (que tiene el mismo volumen que el cuerpo). Supongamos que una piedra de 5 kg pese 3 kg cuando está inmersa en el agua. Deduciremos que esta desplaza 2 kg de agua. La densidad de la piedra es 5 kg^* ÷ 2 kg^* = 2,5.

Para calcular la densidad de un cuerpo, se divide su peso por su pérdida de peso en el agua; es decir, por el peso de igual volumen de agua.

Ejemplo:

Determine la densidad de una piedra que pesa 90 g^* en el aire y 60 g^* cuando está sumergida en el agua.

90 g^* = peso de la piedra en el aire.
60 g^* = peso de la piedra en el agua.

Peso de igual volumen de agua = peso perdido en el agua = 90 g^* – 60 g^* = 30 g^*.

En resumen: $$Densidad = \frac{Peso\ del\ cuerpo}{Peso\ del\ volumen\ de\ agua\ equivalente}$$

$$\frac{Peso\ del\ cuerpo}{Pérdida\ de\ peso\ en\ el\ agua}$$

Problemas:

1) Determine la densidad de una piedra que pesa 120 g^* en el aire y 40 g^* en el agua.

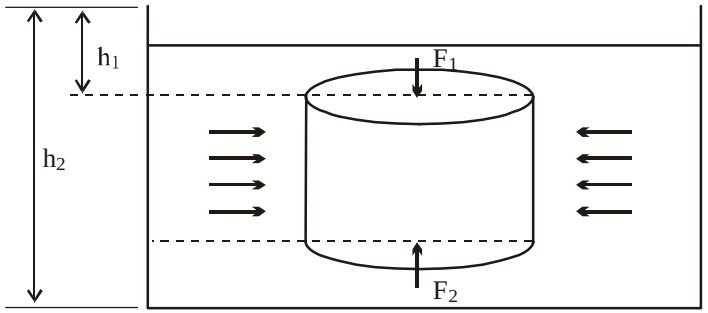
2) Una pieza de metal pesa 63 g^* en el aire y tiene una densidad igual a 7. Halle su peso en el agua.

3) Un pedazo de parafina pesa 164 g^* en el aire. Cuando está completamente sumergido, mueve 184 g^* de agua. ¿ Cuál es la densidad de la parafina?

5. LEY DE STEVIN

Sea un recipiente que contiene un líquido en reposo. Imaginemos una porción de dicho líquido con la forma de un pequeño cilindro recto que tiene una altura de $\triangle h = h_2 - h_1$, y cuyas bases muestren un área *A*.

Figura 4



Las fuerzas laterales provienen de la presión ejercida por la parte restante del líquido, de manera que al actuar en dos puntos simétricos en relación con el eje, son de la misma intensidad y de sentidos contrarios y, por consiguiente, se anulan. Las fuerzas verticales se deben a la presión en las bases y al peso del cilindro. Como hay equilibrio, se tiene lo siguiente:

$$F_1 + P = F_2$$

$$F_1 = P_1 A$$

$$F_2 = P_2 A$$

$$= \quad P^1 \cancel{A} = d(h_2 - h_1)\, \cancel{A} g = P_2 \cancel{A}$$

$$P = mg = d.w.g = d(h_2 - h_1)\, Ag \quad \boxed{P_2 = P_1 + d.g\,(h_2 - h_1)}$$

La presión varía paralelamente con la profundidad si la base superior del cilindro está en la superficie libre del líquido. Se tiene:

$$P_1 = P\ atm\ y\ h_1 = 0$$

El resultado muestra que la presión en un punto de un líquido en equilibrio depende de lo siguiente:

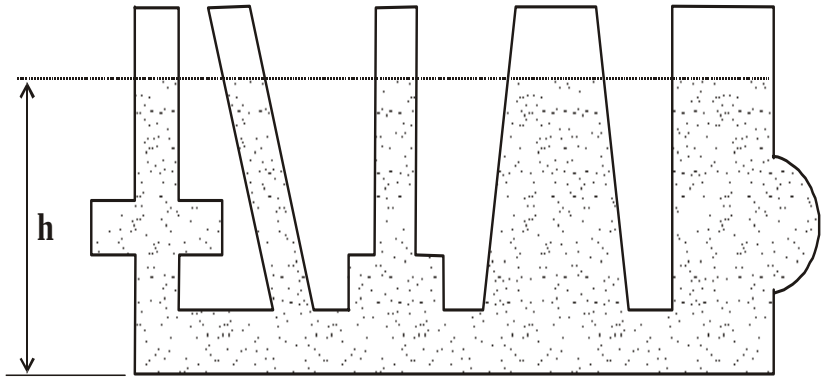
a) de la masa específica del líquido (por consiguiente, de su naturaleza);

b) de la aceleración de la gravedad en el punto considerado;

c) de la profundidad (de lo cual se deduce que los puntos situados en un mismo plano horizontal soportan presiones iguales);

d) pero es independiente de la forma geométrica del vaso que contiene el líquido.

Figura 5



Puesto que las alturas de los distintos recipientes son iguales, se deduce que la presión en la base de ellos es la misma.

6. PRINCIPIO DE PASCAL

De la ecuación $P_2 = P_1 + d.g.\Delta h.$ se infiere el principio de Pascal:

> *La presión que se aplica en un líquido contenido en un recipiente se transmite integralmente a todos los puntos del líquido y de las paredes del recipiente.*

En efecto, si mediante cualquier proceso, P_1 aumentara a $P'_1 = P_1 + \Delta P$, obtendremos un aumento igual a P_2, que pasará a: $P'_2 = P_2 + \Delta P$.

$$\boxed{P_2 = P_1 + d\,g\triangle h}$$

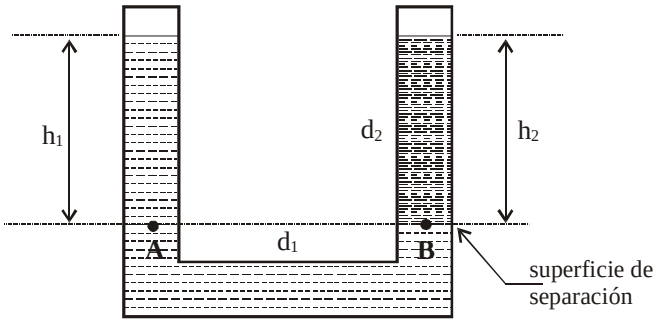
$$\frac{P_2 + \triangle P}{P_2'} = \frac{P_1 + \triangle P}{P_1'} = d\,g\triangle h \cdot :$$

$$\boxed{P'_2 = P'_1 + d\,g\triangle h}$$

7. LÍQUIDOS NO MEZCLABLES EN EQUILIBRIO

Cuando colocamos dos líquidos no mezclables en vasos comunicantes, estos se distribuirán de tal manera que sus alturas, medidas a partir de la superficie de separación, sean inversamente proporcionales a sus masas específicas.

Figura 6



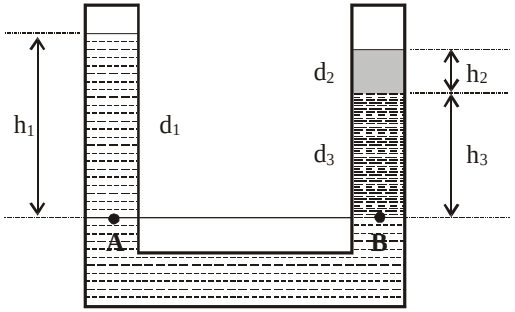
$$P_A = P_B$$

$$P\,atm + d1.g.h1 = P\,atm + d_2 \,.\, g \,.\, h_2 \quad :\cdot$$

$$\boxed{d1 \,.\, h1 = d_2 \,.\, h_2}$$

Por ejemplo, si hay tres líquidos, tenemos lo siguiente:

Figura 7



$$P_A = P_B$$

$$P\,atm + d1.\,g \,.\, h1 =$$
$$P\,atm + d_2 \,.\, g \,.\, h_2 + d_3 \,.\, g \,.\, h3 \quad \boxed{d1.\,h1 = d_2 \,.\, h_2 + d_3 \,.\, h_3}$$

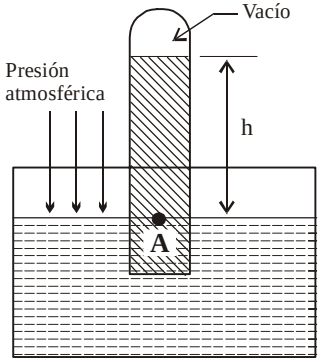
8. EXPERIENCIA DE TORRICELLI (medición de la presión)

Torricelli (1608-1645), discípulo de Galileo, fue el primer hombre que logró medir la presión atmosférica.

Torricelli inventó un tubo de vidrio con mercurio en una cubeta que también contenía mercurio y verificó que la columna de Hg (mercurio) en el tubo, se estancaba a una altura *h*.

En un mismo nivel horizontal, la presión es la misma en todos los puntos; luego, en *A,* la presión, debido al peso de la columna de Hg, es igual a la presión atmosférica, que actúa en la superficie y es independiente del Hg que contiene la cubeta.

Figura 8



$$P\ atm = \frac{Peso\ de\ la\ columna}{área} = \frac{m.g}{A}\ \frac{d_{Hg}.V.g}{A} = \frac{d_{Hg}.\cancel{A}.h.g}{\cancel{A}};\ luego:$$

$$\boxed{P\ atm = d_{Hg}.g.h}$$

Al nivel del mar y a 0 °C, se tiene lo siguiente:

$$\left.\begin{array}{ll} h & = 76\ cm \\ g & = 980\ cm/s^2 \\ d_{Hg} & = 13{,}6\ g/cm^3 \end{array}\right\} \begin{array}{l} P\ atm = 1{,}013 \times 10^6\ d/cm^2 \\ Esta\ presión\ se\ llama\ \text{“una atmósfera”} \end{array}$$

Observación: es frecuente el uso del cm de Hg y del mm de Hg como unidades de presión. Las definiciones correspondientes son las que siguen: un centímetro de Hg es la presión equivalente a la ejercida por una columna de mercurio de un centímetro de altura a 0 °C y en un lugar de aceleración de gravedad normal. Para el mm de Hg, se tiene una definición análoga.

9. TRABAJO

Consideremos una fuerza constante, que actúa sobre un cuerpo que se mueve siguiendo una dirección determinada (en línea recta), recorriendo una distancia d (Figura 9).

El trabajo (T) de la fuerza es por definición:

$$T = F.d.\cos\theta$$

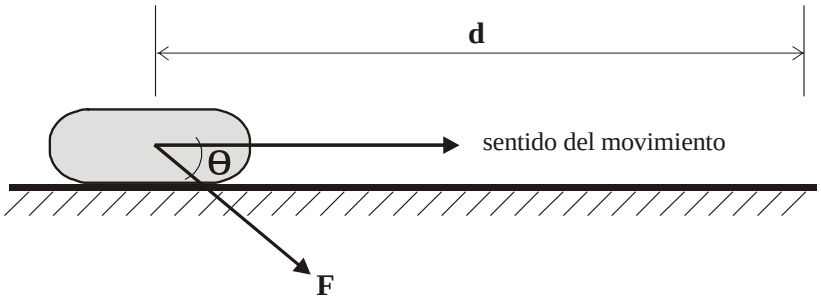
Donde:

F : *fuerza*

θ : *ángulo entre F y el sentido del movimiento.*

d : *distancia recorrida.*

Figura 9



Unidad

De la definición se deduce la unidad de trabajo:

unidad (T) = unidad (F) x unidad (d)

Si recordamos que la unidad de fuerza es el newton y la de longitud el metro (m), se tiene lo siguiente:

unidad (T) = N.m

El término N.m se denomina *julio* (J):

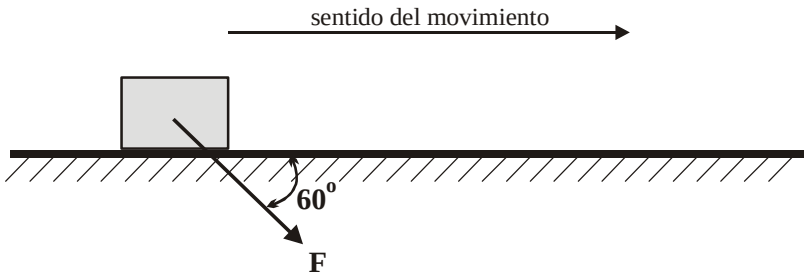
$$\boxed{N.m = J}$$

Ejemplos:

1) Un cuerpo se desliza sobre un plano y recorre 2 m con una fuerza F de 20 N. El trabajo será dado por (Figura 10):

$$(T) = F.d \cos\theta$$

Figura 10



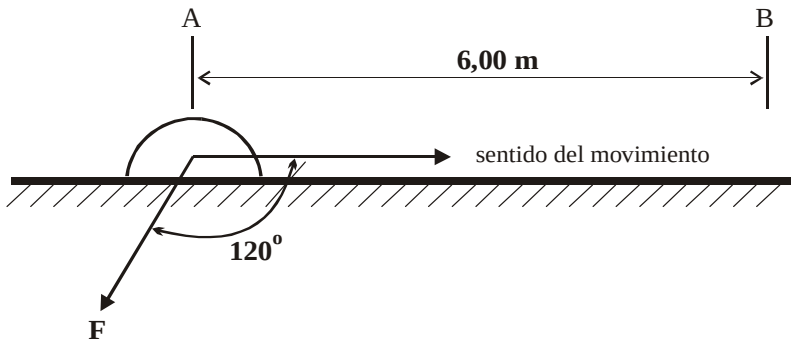
Como $F = 20$
$d = 2$
$\cos\theta = \cos 60° = 0,5$

Tenemos:

$$T = 20 \times 2 \times 0,5 = 20\ J$$

2) El cuerpo se mueve sobre el plano de A hacia B con una fuerza F de 10 N y la distancia entre A y B es de 6 metros. El trabajo de F será dado por:

Figura 11

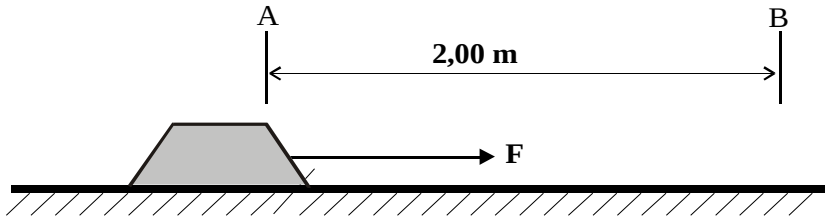


Solución:

$T = F.\ q.\ \cos\theta$
$F = 10$
$d = 6$
$\cos 120° = -\cos 60° = -0,5$; luego :
$T = 10 \times 6 \times (-0,5) = -30\ J$

3) El cuerpo se mueve de *A* hacia *B*, bajo la fuerza *F,* con el valor de 20 N, conforme a la siguiente figura:

Figura 12



El valor del trabajo será:

$$T = 20 \times 2 \times \cos\theta = 40\ J$$

Observaciones:

1) Nótese que el ángulo θ siempre es el ángulo entre F y el sentido del movimiento.

2) El trabajo será positivo o negativo conforme el ángulo sea menor o mayor que 90º.

3) En la expresión del trabajo, los términos F y d siempre deberán ser calculados con sus valores absolutos.

4) Para facilitar la expresión, utilizaremos las siglas SM para simbolizar el sentido del movimiento.

5) Cuando el movimiento es perpendicular a la fuerza, siendo $\theta = 90º$, el trabajo será nulo, ya que $\cos 90° = 0$.

10. ENERGÍA: DEFINICIÓN

La energía de un sistema es la capacidad de realizar un trabajo.

Por ejemplo:

Un cuerpo de masa m y peso P, suspendido a una altura h, podrá realizar un trabajo si lo dejamos caer. Conforme a lo estudiado anteriormente, podemos obtener dicho trabajo del siguiente modo:

$$T = P.h.\ com\ \theta = mg.h.\ \cos\theta = mhg$$

Este trabajo es la energía del cuerpo.

Unidad

Las unidades de trabajo y energía son las mismas.

10.1 Formas de energía

Existen varias formas de energía que, fundamentalmente, se dividen en dos:

10.2 Energía potencial

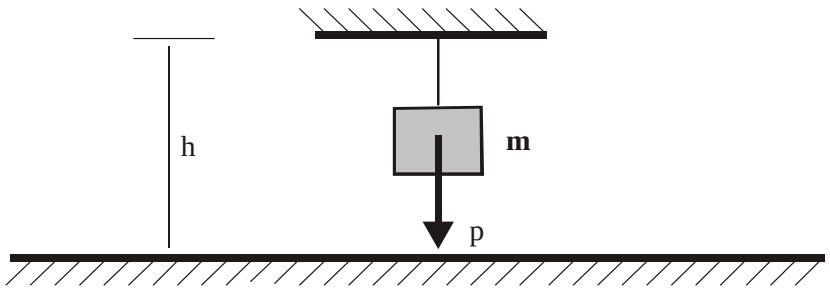
La energía potencial es aquella que solamente depende de la posición.

Ejemplo:

Consideremos el siguiente gráfico (Figura 13). Si el cuerpo cae, habrá una realización de trabajo por su peso. Según lo que hemos visto, dicho trabajo será dado por lo siguiente:

$$T = mgh$$

Figura 13



El trabajo que puede realizarse es la energía que el cuerpo posee en relación con el suelo. Tal energía es potencial puesto que depende únicamente de la altura del cuerpo o de su posición en relación con el suelo.

10.3 Energía cinética

La energía cinética es aquella que constituye una función de la velocidad.

Tomemos como ejemplo un cuerpo de masa *m,* impulsado por una velocidad *v*.

Apliquemos, al mismo tiempo, una fuerza contraria a *v*. El cuerpo entrará en movimiento rectilíneo retardado de manera uniforme y, con una aceleración *a,* recorrerá una distancia *d* hasta parar.

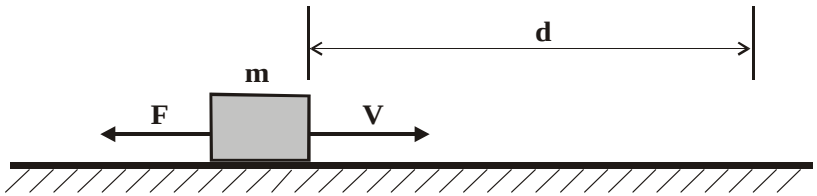
Por los conocimientos de mecánica, sabemos lo siguiente (Figura 14):

$$v = a.t \quad (1)$$

$$d = \frac{1}{2}\ a.t^2 \quad (2)$$

$$F = m.a \quad (3)$$

Figura 14



Al multiplicar (3) por (2), miembro por miembro:

$$F.\ d = m.a\ \frac{1}{2}\ a.\ t^2$$

$$F.\ d = \frac{1}{2}\ m.a^2\ t^2 \quad (4)$$

Por (1), vemos que $a^2 t^2 = v^2$ y, al hacer el reemplazo correspondiente con (4), tenemos como resultado:

$$F.\ d = \frac{1}{2}\ m.v^2$$

Observe el primer miembro de (5): *F.d.*

Si calculamos el trabajo de *F,* obtendremos: $T_F = -F.\ d.$

Así, el término mencionado es igual al trabajo de *F,* con excepción del signo. La fuerza *F* tuvo que "gastar" ese trabajo para detener el cuerpo, tal como cuando tenemos que aplicar una parte de la energía de nuestro organismo al subir una escalera debido al trabajo realizado por nuestro peso en el movimiento.

El cuerpo poseía algo que fue consumido por el trabajo de la fuerza *F.* Ese algo era la energía de velocidad o energía cinética.

Examinemos la expresión:

$$F.d = \frac{1}{2}\ m.v^2$$

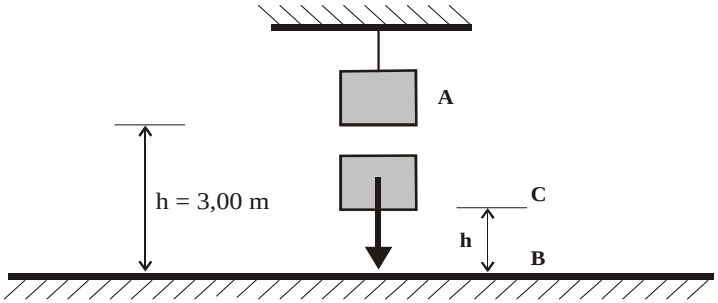
En el primer elemento de la ecuación tenemos energía. Debido a la igualdad, en el segundo elemento también debemos tener energía. El segundo elemento expresa la energía cinética.

Vemos que la energía cinética será mayor cuanto mayor sea la velocidad del cuerpo.

10.4 Principio de conservación de la energía

Consideremos ahora un cuerpo en reposo en el cual comienza a actuar una fuerza *F*. Este recorre una determinada distancia *d* bajo la acción de *F,* que sale de *A* y llega a *B,* con una determinada velocidad *v* (Figura 15).

Figura 15



También es válido lo siguiente:

$$F.\ d = \frac{1}{2}\, m.v^2$$

Podemos decir que, con respecto al punto *B,* el cuerpo tiene una energía potencial dada por lo siguiente:

$$E_p = F.d$$

Cuando la energía se aproxima al punto *B*, va disminuyendo, pues *d* disminuye. Por otro lado, la velocidad aumenta y, por consiguiente, también lo hace la energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2}\, m.v^2$$

En el punto *B,* la energía cinética es igual a la energía potencial en *A*.

En los puntos intermedios, el cuerpo tiene energía potencial y energía cinética.

En cualquier punto tendremos la siguiente equivalencia:

$$E_p + E_c = constante = F.d = \frac{1}{2}\, m.v^2$$

En *A,* tenemos:

$$E_c = 0.$$

En *B,* tenemos:

$$E_p = 0.$$

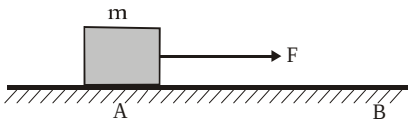
Estas consideraciones ilustran el principio de conservación de la energía, que establece lo siguiente:

La energía total de un sistema aislado es constante.

Ejemplos:

1) Se deja caer el cuerpo *m* desde el punto *A*. Determine su velocidad al tocar el suelo, si se sabe que $g = 10\ m/s^2$ (Figura 16).

Figura 16



Solución:

Según el principio de conservación de la energía, podemos decir que la energía total del cuerpo en *A* es igual a la energía en *B*.

En símbolos:

$$A^E \ total \ = \ B^E \ total \ (1)$$

En *A* tenemos la energía potencial:

$$A^E \ potencial = mgh$$

En *B* tenemos la energía cinética:

$$B^E \ cinética \ = \ \frac{1}{2} m.v^2$$

Por (1) se tiene lo siguiente:

$$mgh = \frac{1}{2} \ m.v^2 \longrightarrow V \cong 7,7 \ m/s$$

2) Determine, en el problema anterior, la velocidad en el punto *C,* a 2 m del suelo.

Sobre la base del principio mencionado anteriormente, la energía total en *C* será igual a la energía en *A* o en *B* o en cualquier otro punto:

$$C^E \ total \ = \ A^E \ total \ = \ B^E \ total \ (2)$$

En el punto *C,* el cuerpo tiene energía potencial y cinética, tal que:

$$C^E \ total = mgh' \ + \ \frac{1}{2} \ mv^2$$

Según (2):

$$mgh = mgh' \ + \ \frac{1}{2} \longrightarrow v \ \cong \ 4,4 \ m/s$$

Con estos ejemplos, podemos darnos cuenta de la importancia de los conceptos de trabajo y energía, que nos permiten relacionar distintos fenómenos y, por consiguiente, analizar el comportamiento de una infinidad de sistemas físicos.

11. POTENCIA

La potencia relaciona el trabajo con el tiempo. Si consideramos que un sistema realiza determinado trabajo *(T)* en un intervalo de tiempo *t:*

Definición:

Potencia es la razón entre el trabajo realizado y el intervalo de tiempo que toma su realización.

En símbolos:

$$P = \frac{T}{t}$$

Unidad

La unidad de potencia es la de trabajo dividida por el tiempo y recibe el nombre de *watt (W)*.

12. SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS

Páginas 275 y 276	1)	*5 kg*/ dm²*
	2)	*1.500 kg*/ m²*
	3)	*4.000 kg**
Página 278	1)	*22 kg*/ dm²*
	2)	*450 kg*/ dm² y 4,5 kg*/ cm²*
	3)	(a) *600 g*/ cm²* y (b) *0,6 kg*/ cm²*
Página 281	1)	*2,25*
	2)	*0,75*
	3)	(a) *1,11* (b) *36 cm³*
Página 282	1)	*410 g*/ cm²*
	2)	*0,552 kg*/ cm²*
	3)	*0,062 kg*/ dm²*
Páginas 284 y 285	1)	*1,5*
	2)	*54 g**
	3)	*0,89*

CAPÍTULO 5

HIDROMETRÍA

1. DEFINICIÓN

La palabra *hidrometría* proviene del griego *hydro-* 'agua' y *-metría* 'medición'. Entonces, *hidrometría* significa 'medición del agua', sea el agua que corre en un riachuelo o en un río, la que pasa por una tubería, la que se produce en un pozo, la que llega a —o sale de— una planta de tratamiento, la que se consume en una ciudad, industria o residencia, etcétera.

2. CONCEPTO DE CAUDAL

Cuando se mide el agua que pasa por un riachuelo o río, por una tubería, por una sección normal de una corriente de agua, o cuando se mide el volumen del agua que produce un pozo o una mina o la que entra a —o sale de— una planta de tratamiento, *en una unidad de tiempo,* se conoce el caudal.

Por ejemplo, se dice:

- El caudal de un riachuelo o río es de tantos metros cúbicos de agua por día (m^3/día);
- El caudal de una tubería es de tantos litros por segundo (L/seg);
- El caudal de un pozo o de una mina es de tantos litros por minuto (L/min);

- El caudal de entrada en una planta de tratamiento —esto es, el afluente— es de tantos litros por segundo (L/seg);
- El caudal que sale de una planta de tratamiento —esto es, el efluente— es de tantos metros cúbicos por día (m^3/día).

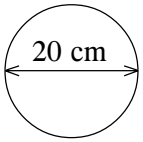
El caudal se define, entonces, como el volumen del líquido que pasa por una sección normal de una corriente de agua en una unidad de tiempo.

Según este concepto, podríamos imaginar una sección rectangular:

Figura 1

o una sección circular:

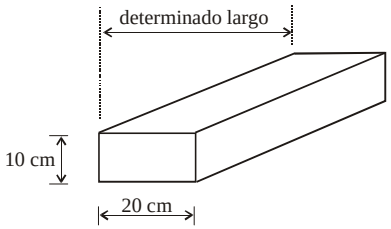
Figura 2



Imaginemos que el líquido que pasa por esa sección durante un tiempo determinado se va congelando. Al terminar ese *tiempo* tendremos el líquido congelado bajo la forma de una figura geométrica.

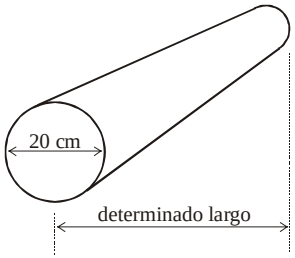
En el primer caso, un paralelepípedo.

Figura 3



En el segundo caso, un cilindro.

Figura 4



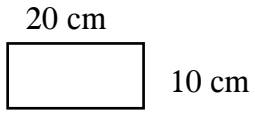
2.1 Fórmula del caudal

El volumen de esa figura geométrica imaginaria sería el caudal. Para calcular el volumen del paralelepípedo en el primer caso o del cilindro en el segundo, tenemos:

Área de la base x la altura

Área de la base: ancho x largo

Figura 5



10 cm x 20 cm = 200 cm^2 = 2 dm^2 que llamaremos S

S = sección calculada

Altura

Verifique que la altura (igual a un “largo determinado”) depende de la velocidad de la escorrentía.

Velocidad es el espacio recorrido durante determinado *tiempo*.

Ejemplo:

Un tren corre a 80 km/h. La luz viaja a 300.000 km/seg, etcétera.

Llamaremos *v* a la velocidad:

Por consiguiente, el volumen de la figura (caudal) sería:

Caudal = S x v

Simbolizamos el caudal con *Q,* de donde:

$$Q = Sv$$

Si *v* (velocidad) se expresara en metros por minutos y *S* en m^2, *Q* será:

$Q = m^2 \times m = m^3$*/minuto (metros cúbicos por minuto)*

Si se hallara en dm^2 y *v* en dm/seg, luego:

$Q = dm^2 \times dm/seg = dm^3/seg.$

1 dm^3 *= 1 litro;* entonces, *Q* se obtendrá en litros por segundo (L/seg)

Nota: se procede igual para el *Q* del cilindro.

3. GENERALIDADES

Es importante saber cuál es el caudal *(Q)* de una fuente, porque ese caudal fluctúa según las condiciones meteorológicas. En tiempo de lluvias, el caudal es mayor, y más pequeño al final del estiaje.

Cuando se utiliza una fuente (sea un río o un riachuelo) para el abastecimiento de agua, podemos usar hasta 75% de ella. El resto (25%) debe mantenerse para las poblaciones ubicadas aguas abajo.

Una vez conocida la fluctuación del caudal del río durante un período largo, se puede saber cuál es el volumen útil o disponible para abastecer a una localidad.

Para calcular el caudal de un curso de agua *(Q),* necesitamos conocer lo siguiente:

S (sección normal de la corriente de agua) = área del lecho en determinado lugar.

3.1 Cómo hallar *S* (levantamiento de la sección normal de la corriente de agua) y *v* (la velocidad del líquido)

a) Elección del trecho

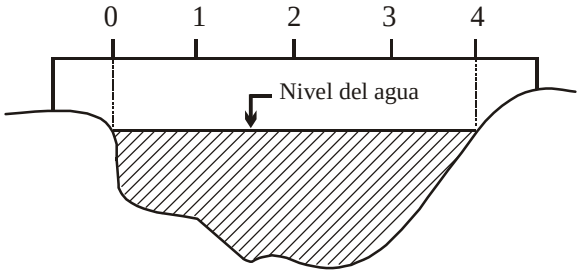
Cuando se desea medir el caudal de un curso de agua, se elige un trecho lo más recto y largo posible, libre de obstáculos.

b) Cálculo de la sección

En la mitad del trecho escogido se marca la sección normal de la corriente de agua; por ejemplo, mediante una cuerda extendida.

En la cuerda extendida, se divide el ancho del curso en un número cualquiera de partes iguales; por ejemplo:

Figura 6

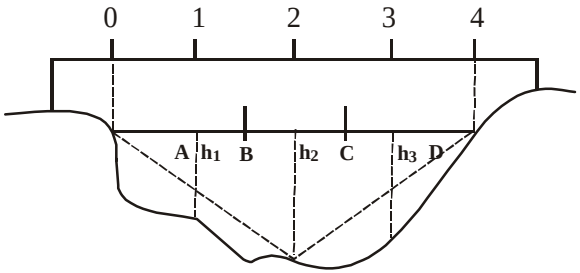


de 20 en 20 cm, de 30 en 30 cm, etcétera, como en la figura anterior, los puntos 0, 1, 2, 3, 4.

Mida, en estos puntos (perpendicularmente), la lámina de agua.

Dichas medidas se transfieren a un gráfico, con ayuda del cual es posible calcular *S* (la sección).

Figura 7



S será igual a la suma del área de los triángulos *A* y *D* y de las áreas de los trapecios *B* y *C* (la división de *L* determinará el número de figuras).

$$S = \frac{h^1}{2} \cdot \frac{L}{n} + \frac{h^1 + h^2}{2} \cdot \frac{L}{M} + \frac{h^2 + h^3}{2} \cdot \frac{L}{n} + \frac{h^3}{2} \cdot \frac{L}{n} \ldots$$

N = número de partes en las que L se dividió (partes iguales).
L = ancho total del curso de agua en la sección.

Conocida la sección *S* mediante este procedimiento, necesitamos conocer *v* (velocidad del agua).

3.2 Cálculo de la velocidad

La velocidad se puede determinar con la ayuda de flotadores y cronómetros.

En el trecho escogido, partimos de un punto *A* hasta *B,* el más distante posible (20, 50 ó 100 m señalados a lo largo del curso de agua), soltamos un flotador en el centro de la corriente y señalamos el tiempo que toma recorrer desde *A* hasta *B*.

Otras mediciones deben realizarse mediante la colocación de flotadores distribuidos a lo ancho del curso.

El espacio recorrido por los flotadores, dividido por el promedio de los tiempos utilizados (en segundos), dará como resultado la velocidad del agua *(v)*.

Se acostumbra corregir esta velocidad multiplicándola por 0,8 con el fin de obtener la velocidad promedio. (La velocidad no es uniforme en toda la extensión de la masa líquida.)

Imaginemos que la sección medida *S,* por la suma de las áreas de las diversas figuras, sea de 52 dm^2.

$$S = 52\ dm^2$$

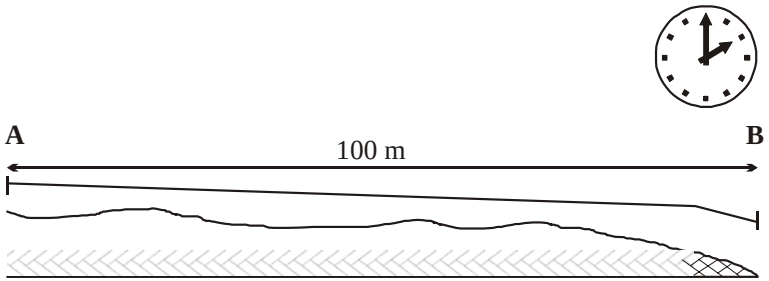
En el cálculo de la velocidad verificamos que las diversas boyas recorren 100 metros de distancia en un tiempo promedio de 400 segundos (16 minutos y 40 segundos).

$$10\ m = 1.000\ dm$$

$$v = \frac{1.000\ dm}{400\ seg} \times 0{,}8 = 2\ dm/seg$$

$$v = 2\ dm/seg = velocidad$$

Figura 8



3.3 Cálculo del caudal *(Q)*

Si la fórmula para el cálculo del caudal es $Q = Sv$ y sabemos que, por ejemplo, $S = 52\ dm^2$ y $v = 2\ dm/seg$, y reemplazamos S y v por sus valores, tenemos:

$$Q = 52\ dm^2 \times 2\ dm/seg = 104\ dm^3/seg$$
$$Q = 104\ L/seg = caudal\ del\ curso\ de\ agua$$

3.4 Uso del molinete

El molinete es un aparato que mide la velocidad de la corriente de agua. Posee una turbina que combina su movimiento giratorio con un indicador-registrador. El número de rotaciones de la turbina será, evidentemente, una función de la velocidad de la corriente de agua. La sección puede determinarse tal como en el punto 4.2.

3.5 Uso de vertederos para medir el caudal *(Q)*

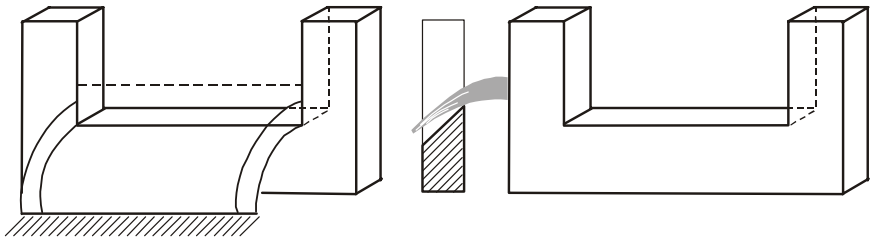
Los vertederos son simples aberturas sobre las que se desliza un líquido. Pueden ser entendidos como orificios cuya arista superior está sobre el nivel de la superficie libre del líquido. Se suelen usar para medir caudales en conductores libres (canales, ríos, etcétera). Pueden ser triangulares o rectangulares.

Figura 9

a) Vertedero rectangular de pared delgada

Es el vertedero cuya sección de caudal es un rectángulo de paredes delgadas, de metal o de madera, y la cresta es achaflanada —es decir, cortada en declive— a fin de obtener una arista delgada.

Figura 10



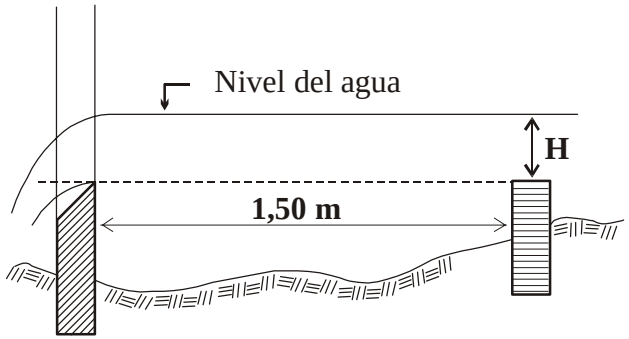
b) Localización del vertedero en un curso de agua

En un trecho rectilíneo del curso de agua, libre de turbulencias, preferiblemente sobre una saliente natural, se coloca el vertedero de tal manera

1) que la cresta quede perfectamente colocada en nivel;
2) que esté en posición normal respecto a la corriente de agua;
3) que esté firmemente colocada, con ayuda de estacas de madera o piedra;
4) que el agua no corra por el fondo o por los lados; es decir, que toda el agua discurra dentro de la abertura rectangular, y
5) que el agua caiga libremente sin represamiento en el vertedero.

A 1,50 m se clava una estaca de madera nivelada con la cresta del vertedero.

Figura 11



6) Se espera que el flujo del agua se normalice y se mide sobre la estaca la altura *H*.

La siguiente tabla muestra el caudal del curso de agua para las diversas alturas de H cuando el ancho de la cresta es 1,00 m.

Si *L* fuera mayor o menor que 1,00 m, se corrige el caudal mediante la multiplicación del caudal de la tabla para *H* por el valor real de *L*.

VERTEDEROS RECTANGULARES

En una pared delgada, sin contracciones. Caudal por metro lineal de solera.

ALTURA H (CM)	Q (L/SEG)	ALTURA H (CM)	Q (L/SEG)
3	9,57	25	230,0
4	14,72	30	302,3
5	20,61	35	381,1
6	27,05	40	465.,5
7	34,04	45	555,5
8	41,58	50	650,6
9	49,68	55	750,5
10	58,14	60	855,2
11	67,12	65	964,2
12	76,53	70	1.077,7
13	86,24	75	1,195,1
14	96,34	80	1.316,5
15	106,90	85	1.442,0
20	164,50	90	1.571,0

Los vertederos pueden utilizarse en combinación con un aparato denominado *limnígrafo*. En este caso, el aparato registra la variación del nivel aguas arriba del vertedero.

Consta esencialmente de una boya, cuyo eje está unido, a través de un cable, a un tambor cilíndrico que registra las variaciones de nivel con una pluma de tinta sobre un papel registrador.

Este papel está colocado sobre un cilindro que da una rotación completa cada 24 horas. Desde el inicio se hace coincidir el punto cero con la altura de la cresta. Con las variaciones de nivel, la boya hará que la pluma registre ese nivel en el papel.

c) Vertedero triangular (ángulo recto) de paredes delgadas

El registro y medida de la altura del líquido es el indicado para un vertedero rectangular.

Los vertederos triangulares permiten tener medidas más precisas de las alturas correspondientes a caudales reducidos. Por lo general, se trabajan en metal.

En la práctica, únicamente se emplean los que tienen forma de isósceles y los más usuales son los de 90º.

El siguiente cuadro proporciona el caudal del curso de agua para las diversas alturas de *H*.

VERTEDEROS TRIANGULARES

En una pared delgada y lisa.

ALTURA H (CM)	Q (L/SEG)	ALTURA H (CM)	Q (L/SEG)
3	0,14	17	16,7
4	0,42	18	19,2
5	0,80	19	22,0
6	1,24	20	25,0
7	1,81	21	28,3
8	2,52	22	31,8
9	3,39	23	35,5
10	4,44	24	39,5
11	5,62	25	43,7
12	6,98	30	69,0
13	8,54	35	101,5
14	10,25	40	141,7
15	12,19	45	190,1
16	14,33	50	247,5

3.6 Otros métodos

Existen otros métodos, tales como el método químico, que aprovecha un trazador; es decir, una sustancia (soluto) aplicada en un punto del curso de agua, en una solución conocida. El trazador formará con el agua del río una solución diluida. En un punto distante del lugar de aplicación, se determina la concentración de la solución diluida. Mediante la diferencia de concentración, es posible calcular el solvente adicional, que constituye el caudal del río.

4. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE LOS POZOS

Por lo general, esta determinación se efectúa de manera directa; es decir, con un recipiente de una capacidad determinada (generalmente, un tambor de 200 litros) y un cronómetro. Se hace funcionar el compresor o la bomba y cuando el agua comienza a caer en el tambor, se enciende el cronómetro. Cuando el recipiente está lleno, el cronómetro se detiene para obtener el tiempo en el que el pozo suministró 200 litros. El volumen obtenido se divide entre el período de tiempo que tomó el llenado para obtener el caudal de bombeo.

Para obtener mediciones genéricas, se necesitan perforaciones de pozos de observación donde se puedan medir los descensos del nivel durante el bombeo y sea posible aplicar fórmulas más complejas como las de Thiem:

$$Q = \frac{2\,\pi\ km\ (S_2 - S_1)}{2.303\ \log \frac{r_2}{r_1}} \qquad \text{para pozos artesianos}$$

$$Q = \pi\ K \frac{(m - s_2)^2 - (m - s_1)^2}{2.303\ \log \frac{r_2}{r_1}} \qquad \text{para pozos freáticos}$$

Donde:

Q = caudal del pozo
K = coeficiente de permeabilidad del material
m = espesor de la capa de agua
s_1 y s_2 = descenso del nivel verificado en los pozos de observación distantes r_1 y r_2 del pozo en bombeo

5. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL EN TUBERÍAS

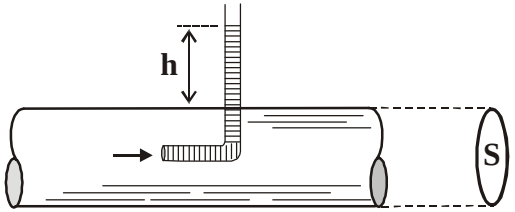
5.1 El tubo Pitot

Generalmente, para determinar el caudal en tuberías se usa el tubo Pitot, que permite verificar la velocidad en un punto de la sección de escorrentía.

Se mide h y luego se obtiene la velocidad $v = \sqrt{2\,gh}$.

El caudal se determina con la sección S y la fórmula $Q = Sv$.

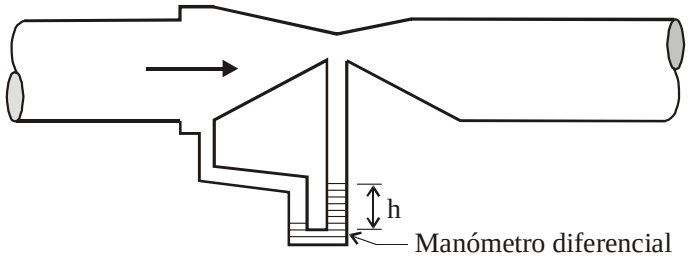
Figura 12



5.2 Tubo Venturi

Otro tipo de tubo es el Venturi. Este tubo se intercala en la tubería y, con un manómetro diferencial, mide la diferencia de presiones h entre la zona de conducción y la zona de estrangulamiento.

Figura 13



Se aplican las fórmulas $Q = c\sqrt{h}$ o $v = m\sqrt{h}$ para determinar el caudal o la velocidad. Las constantes c o m se determinan experimentalmente. Leemos h y medimos directamente Q.

De esta manera, en la fórmula anterior, c es la única incógnita. Con la fórmula $Q = Sv$, conocida S, se determina v y luego, en la fórmula de la velocidad, m es la única incógnita.

5.3 El uso del orificio para medir el caudal

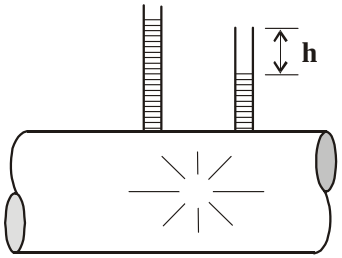
Otra manera para determinar el caudal en las tuberías consiste en hacer un orificio en un diafragma que se intercala en la tubería.

Con dos manómetros colocados antes y después del orificio se mide la variación de presión h.

Se utiliza la siguiente fórmula:

Figura 14

$$Q = cA\sqrt{2gh}$$



Donde

Q = caudal; A = área del orificio; c = coeficiente experimental inferior a la unidad e independiente de la forma del orificio, de la arista y de la carga. Para un orificio de pared delgada es aproximadamente igual a 0,61 y g = aceleración de la gravedad (9,8 m/seg^2).

6. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

En las plantas de tratamiento de agua, se puede determinar el caudal de varias formas. Siempre hay una manera de hacerlo. Para que el operador pueda determinar este dato tan importante para el tratamiento, *solo necesita tener buena voluntad.*

6.1 Caudal de la(s) bomba(s)

Por lo general, las bombas contienen en la "plaqueta" la indicación del caudal de bombeo contra la altura manométrica, lo cual da una idea bastante aproximada del caudal de la planta. Sin embargo, debemos resaltar que el caudal de las bombas varía según las modificaciones de la fuerza eléctrica.

6.2 Medición directa

Como acabamos de ver, consiste en la medición del tiempo necesario para que el agua llene un volumen determinado. Luego, ese determinado volumen podrá ser el volumen de la cámara del floculador de pantallas, del floculador mecánico o del mismo decantador.

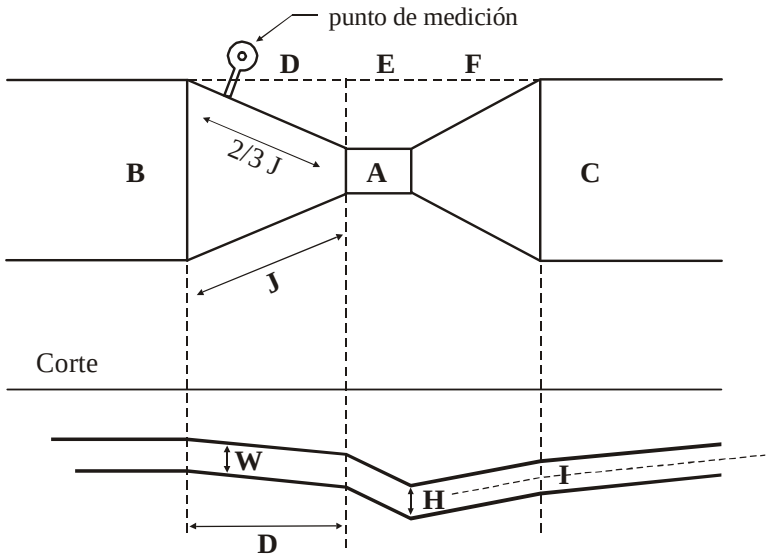
No es necesario llenar todo el volumen.

Una vez que se sabe cuál es el largo y el ancho, basta fijar una altura de 10, 20 ó 50 cm, o un metro, y determinar, con ayuda del cronómetro, el tiempo que tarda el agua para llegar a ese nivel. Tenemos, entonces, un volumen $V(m^3)$ de agua que manó en el tiempo t *(seg)*.

6.3 Canaleta Parshall

Por lo general, las plantas ya cuentan con este dispositivo para medir el caudal afluente. Esta canaleta posee una zona de estrangulamiento y otra de relieve, como vemos en el siguiente gráfico:

Figura 15



Las medidas *A, B,* etcétera, son fijas y están señaladas en la tabla 6-A, extraída del *Manual de Hidráulica*, del profesor Azevedo Neto. La tabla 6-B, extraída del mismo libro, proporciona los límites de medición para las diversas medidas del Parshall. A los 2/3 de J se ha conectado la canaleta con un tambor grande, donde una boya comunica la medida del nivel *(W)* con el indicador. La tabla 6-C señala los caudales en medidores Parshall en función de *W* y *A*.

Observación: las canaletas Parshall también se utilizan para mezclar rápidamente los productos químicos con el agua.

Tabla 6-A

DIMENSIONES FIJAS EN CANALETAS PARSHALL

(en centímetros)

A		J	D	C	B	G	E	F	I	H
1"	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	45,7	15,2	30,5	2,5	5,7
6"	15,2	61,0	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4
9"	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	76,3	30,5	45,7	7,6	11,4
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
1½'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
2	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
4'	122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
5'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
7'	213,6	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
10'	305 0	274 5	427 0	366 0	475 9	122 0	91 5	[illegible]	15 3	34 3

Tabla 6-B

Límites de aplicación para los medidores Parshall con escorrentía libre (L/seg)

A		Capacidad: L/seg	
		Mínimo	Máximo
3"	7,6 cm	0,85	53,8
6"	15,2 cm	1,52	110,4
9"	22,9 cm	2,55	251,9
1"	30,5 cm	3,11	455,6
1 1/2"	45,7 cm	4,25	696,2
2"	61,0 cm	11,89	936,7
3"	91,5 cm	17,26	1.426,3
4"	122,0 cm	36,79	1.921,5
5"	152,5 cm	62,8	2.422
6"	183,0 cm	74,4	2.929
7"	213,5 cm	115,4	3,440
8"	240,0 cm	130,7	3.950
10"	306,0 cm	200,0	5.660

Tabla 6-C

Caudales en medidores Parshall (L/seg)

W cm	A							
	3"	6"	9"	1'	1½'	2'	3'	4'
3	0,8	1,4	2,5	3,1	4,2	--	--	--
4	1,2	2,3	4,0	4,6	6,9	--	--	--
5	1,5	3,2	5,5	7,0	10,0	13,8	20	--
6	2,3	4,5	7,3	9,9	14,4	18,7	27	35
7	2,9	5,7	9,1	12,5	17,8	23,2	34	45
8	3,5	7,1	11,1	14,5	21,6	28,0	42	55
9	4,3	8,5	13,5	17,7	26,0	34,2	50	60
10	5,0	10,3	15,8	20,9	30,8	40,6	60	78
11	5,8	11,6	18,1	23,8	35,4	46,5	69	90
12	6,7	13,4	24,0	27,4	40,5	53,5	79	105
13	7,5	15,2	23,8	31,0	45,6	60,3	93	119
14	8,5	17,3	26,6	34,8	51,5	68,0	101	133
15	9,4	19,1	29,2	38,4	57,0	75,5	112	149
16	10,8	21,1	32,4	42,5	63,0	83,5	124	165
17	11,4	23,2	35,6	46,8	60,0	92,0	137	182
18	12,4	25,2	38,8	51,0	75,4	100,0	148	198
19	13,5	27,7	42,3	52,2	82,2	109,0	163	216
20	14,6	30,0	45,7	59,8	89,0	118,0	177	235
25	20,6	42,5	64,2	83,8	125,0	167,0	248	331
30	27,4	57,0	85,0	111,0	166,0	221,0	334	446
35	34,4	72,2	106,8	139,0	209,0	280,0	422	562
40	42,5	89,5	131,0	170,0	257,0	345,0	525	700
45	51,0	107,0	157,0	203,0	306,0	410,0	629	840
50	--	--	185,0	240,0	362,0	486,0	736	990
55	--	--	214,0	277,0	418,8	563,0	852	1.144
60	--	--	243,0	314,0	478,3	642,0	971	1.308
65	--	--	--	356,0	543,4	730,0	1.110	1.490
70	--	--	--	402,0	611,3	825,0	1.255	1.684

7. CONSUMO DE AGUA. NECESIDADES DEL SERVICIO MEDIDO. HIDRÓMETROS. GENERALIDADES

Es absolutamente necesario que el consumo de agua sea disciplinado; esto es, que su medición y costo sean razonables. Esto evitará que el agua se desperdicie y permitirá una autonomía financiera para el servicio de suministro.

La experiencia ha demostrado que implantar un servicio medido en algunas ciudades equivale a la instalación de un nuevo acueducto. Por ello, los operadores de una planta de tratamiento deberán, siempre dentro de sus posibilidades, recomendar con insistencia la implantación del servicio medido.

Los sistemas de abastecimiento carentes de medición son los de "surtidor libre". Estos son injustos porque el cobro de las tarifas no puede basarse en el volumen de agua suministrado.

El sistema de abastecimiento utiliza como referencia los medidores denominados *hidrómetros*. Son aparatos destinados a consignar la cantidad de agua consumida por una conexión predial.

De manera genérica, los hidrómetros poseen una cámara de medición, un dispositivo reductor, un mecanismo de medición del tiempo y una pantalla o mostrador.

Los hidrómetros pueden ser a) de volumen y b) de capacidad, taquimétricos o inferenciales.

7.1 Los hidrómetros de volumen

Son hidrómetros que poseen cámaras que se llenan y liberan sucesivamente, con el paso del agua, en un proceso continuo. El movimiento de la pieza móvil de la cámara se transmite a un sistema de marcación.

Estos hidrómetros exigen aguas de excelente calidad, pues las partículas muy reducidas pueden quedar presas junto a la pieza móvil de la cámara y paralizar el hidrómetro y el abastecimiento de agua. También tienen un costo elevado. Sin embargo, su sensibilidad es muy elevada, aunque los caudales sean bajos.

7.2 Los hidrómetros de velocidad

Estos hidrómetros poseen una turbina que gira de la mano con la escorrentía. Como la velocidad de la escorrentía depende del volumen que pasa por la sección constante, también el número de giros de la turbina lo hará.

Este número de giros se transmite al sistema que registra el volumen en la pantalla o mostrador.

Estos hidrómetros pueden ser de rotor, cuando la incidencia del agua en la turbina es tangencial, y de hélice, cuando la incidencia es axial. Los rotores pueden ser de surtidor único o múltiple.

Los hidrómetros de velocidad son menos sensibles y precisos que los volumétricos; por lo tanto, no exigen aguas de alta calidad. No presentan el problema de la paralización ni requieren ajustes cuando hay alteraciones de nivel.

Los hidrómetros de velocidad con hélice se utilizan para caudales mayores. Existen los llamados Woltman, que se utilizan para caudales grandes, entre 350 y 15.000 m^3 por día, y por ello se usan en tuberías matrices, efluentes de las plantas de tratamiento, reservorios, etcétera.

En cuanto al marcador, los hidrómetros pueden funcionar como alertas de cifras muy elevadas.

De no realizarse el mantenimiento del equipo, la medición carecería de eficiencia y, además de desperdiciarse el agua, también se perdería el dinero invertido en los medidores.

CAPÍTULO 6

ASPECTOS BIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas superficiales son las provenientes de los ríos, lagunas, lagos y mares. Los tres primeros se utilizan frecuentemente como fuentes de agua para el abastecimiento de las comunidades. Las aguas superficiales están expuestas a una amplia gama de factores que pueden alterar la calidad del agua en diferentes niveles de intensidad y de maneras simples o complejas.

La ocurrencia de eventos naturales y la influencia de actividades realizadas por el hombre (en los ámbitos doméstico, industrial, minero, etcétera) pueden afectar el ambiente acuático; en especial, los cuerpos de aguas superficiales. En cambio, la calidad de las aguas subterráneas está relacionada predominantemente con las características fisicoquímicas del suelo que actúa como filtro y, en la mayoría de casos, el agua subterránea tiene escasa variabilidad.

La contaminación fecal de las aguas superficiales que sirven como fuente de abastecimiento es uno de los problemas más preocupantes en los países en vías de desarrollo. Esta contaminación se debe al vertimiento de los desagües sin ningún tratamiento, hecho que es usual en las grandes ciudades. En las zonas rurales la contaminación fecal se origina en la defecación a campo abierto, la presencia de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorios de

agentes patógenos, etcétera. En cuerpos de agua expuestos a la contaminación fecal se han detectado niveles sumamente altos de coliformes termotolerantes, indicadores de contaminación fecal. Por ejemplo, el río Rímac (Lima, Perú) alcanza en algunos puntos niveles de 10^5 coliformes termotolerantes o fecales por 100 mililitros de muestra.

Los agentes patógenos involucrados en la trasmisión hídrica son las bacterias, virus y protozoos, helmintos y cyanobacterias. Ellos pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple hasta severos —y a veces fatales— cuadros de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. La transmisión hídrica es solo una de las vías, pues estos agentes patógenos también pueden ser transmitidos a través de alimentos, de persona a persona debido a malos hábitos higiénicos, de animales al hombre, entre otras rutas.

Los agentes patógenos que pueden estar presentes en aguas superficiales y cuya transmisión hídrica ha sido demostrada pertenecen a los siguientes grupos:

Bacterias:	*Escherichia coli, Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae, Yersinia enterocolitica, Campylobacter jejuni.*
Virus	*Enterovirus, rotavirus, adenovirus.*
Protozoos	*Giardia, Cryptosporidium, Entamoeba histolytica, Balantidium coli.*
Helmintos	*Ascaris, Trichuris, Taenia.*
Cyanobacterias	*Anabaena, Microcystis.*

Se ha demostrado la presencia de patógenos en el agua, así como su relación con los brotes epidémicos; en algunos casos, no se ha detectado la fuente de origen pero por las características del brote se presume que su transmisión ocurrió por la vía hídrica. Brotes de Giardia, Cryptosporidium y fiebre tifoidea con transmisión hídrica han sido bien documentados.

2. Organismos propios de las aguas superficiales

En las aguas superficiales se encuentra una amplia gama de organismos no perceptibles a simple vista. En condiciones normales, estos organismos permiten el desarrollo de los ciclos biológicos y químicos en el cuerpo de agua y no son necesariamente nocivos para la salud o para el tratamiento del agua.

Los organismos que en forma normal se encuentran en aguas superficiales son los siguientes:

Algas. Son plantas de organización sencilla; existen formas unicelulares, coloniales y pluricelulares. Presentan clorofila. La clasificación sanitaria de las algas está basada en sus características más saltantes y de fácil observación. Dicha clasificación considera los siguientes grupos: algas azul–verdes, verdes, diatomeas y flageladas.

El incremento anormal de las algas se produce por el exceso de nutrientes y cambios en la temperatura. Este fenómeno, que se conoce como eutrofización, tiene como consecuencia la producción de olores desagradables, múltiples dificultades en el tratamiento y en la desinfección del agua, por la producción de triahalometanos y otras sustancias químicas que alteran el sabor y el olor del agua tratada.

Bacterias. Son seres de organización simple, unicelulares. Están distribuidas en una amplia variedad de sustratos orgánicos (suelo, agua, polvo atmosférico). La mayor parte de bacterias son beneficiosas. De ellas dependen la mayor parte de las transformaciones orgánicas y favorecen la autodepuración de los cuerpos de agua. Existe otro grupo de bacterias que son patógenas y pueden causar enfermedades graves en el hombre y en los animales.

Protozoarios. Son organismos unicelulares, con una amplia distribución en los cuerpos acuáticos. La mayor parte de los protozoarios son beneficiosos, pues contribuyen a preservar el equilibrio de los ecosistemas acuáticos; otros son parásitos y pueden causar enfermedades en el hombre y en los animales.

Rotíferos, Copépodos y otros crustáceos. Conforman los grupos predominantes del zooplancton de aguas superficiales y, al igual que los protozoarios, participan en la cadena alimenticia de los ecosistemas acuáticos. El incremento anormal del zooplancton causa un desequilibrio en el sistema y trae consecuencias negativas como la disminución del oxígeno disuelto, alteraciones en el pH y cambios en el olor y color del agua.

Insectos. En el agua generalmente se encuentran insectos en los estadios larvarios y huevos de insectos. Estos conforman el zooplancton solo en forma temporal.

Todos los organismos antes mencionados están en permanente actividad, pero ninguno vive aislado. Su existencia depende del medio que los rodea y se extienden a través de él, tanto en el ambiente físico como en los organismos con los cuales conviven; todos forman parte de un ecosistema.

Un ecosistema es una unidad ecológica cuyos componentes básicos fisicoquímicos y biológicos operan juntos para producir una estabilidad funcional. La supervivencia de los microorganismos propios de las aguas superficiales está influenciada por múltiples factores tales como la temperatura, las horas-luz y la intensidad de la luz, la presencia de gases como el gas carbónico, los minerales, el pH, los nutrientes, elementos tóxicos como los metales, etcétera. Precisamente la contaminación del agua y los cambios ambientales alteran el ecosistema y, como consecuencia, la calidad del agua, lo cual ocasiona dificultades para sus diferentes usos.

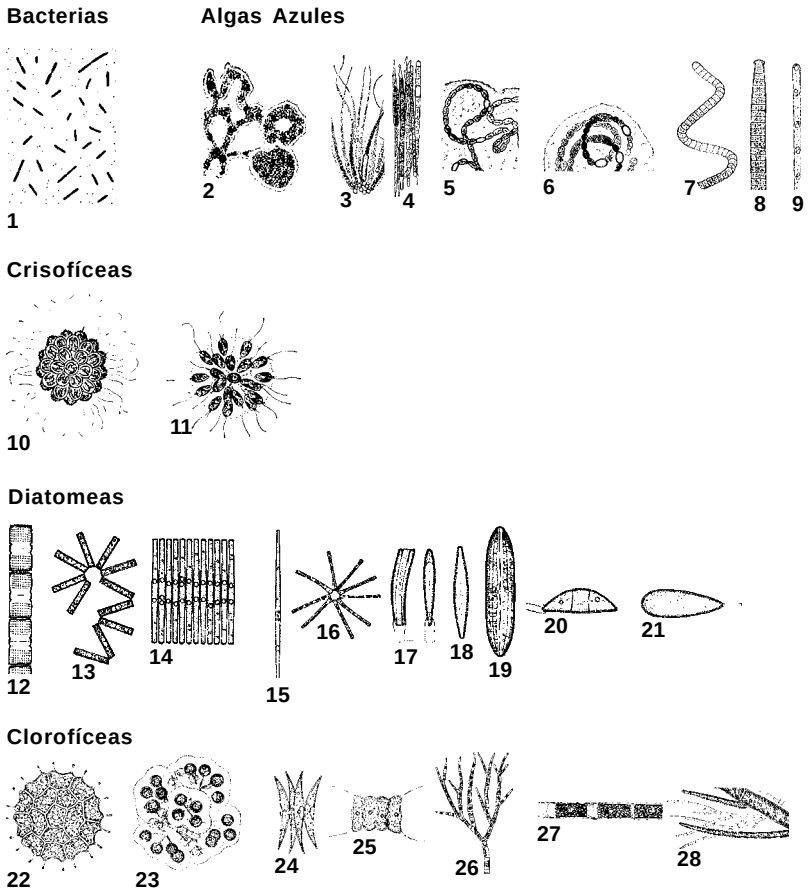
El exceso de algas verdes *(Chlorophytas)* puede ser la causa de alteraciones en el color; el agua toma un color verde y puede presentar olor y sabor desagradables según las especies de algas predominantes. Algunas especies de algas como el *Scenedesmus* originan un olor a pescado. Las diatomeas pueden causar obstrucción de los filtros; cuando la decantación no se realiza adecuadamente, pueden pasar organismos al filtro y producir una colmatación. Algunos tipos de algas pueden causar toxicidad, como las algas azul-verdes, ahora denominadas *Cyanobacterias,* que causan disturbios intestinales en los consumidores; la *Oscillatoria* causa problemas de corrosión en los tubos de acero.

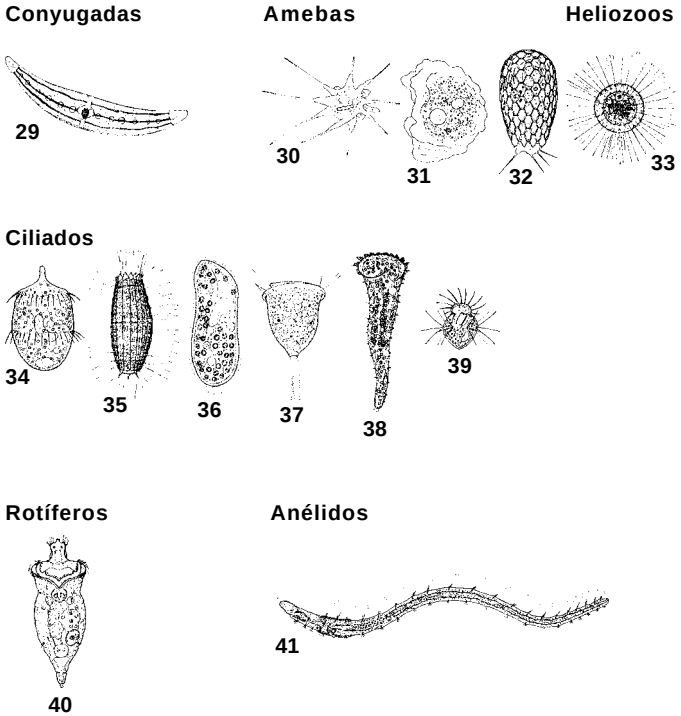
Otras algas dificultan la decantación química de los flocs de hidróxido de aluminio y causan serios problemas. También pueden alterar el pH debido a la dinámica de CO_2 con precipitación del $CaCO_3$, lo que aumenta el pH.

Se considera que la calidad del agua superficial es muy variable y necesita ser caracterizada a través del tiempo para definir los aspectos que deben considerarse en el tratamiento y los parámetros que servirán para el control del mismo.

En conclusión, la presencia de los organismos de vida libre en condiciones normales es beneficiosa para las aguas superficiales; su presencia se convierte en un problema cuando su concentración y su composición alteran la calidad del agua y se presentan dificultades para el uso y tratamiento de esta.

Figura 1





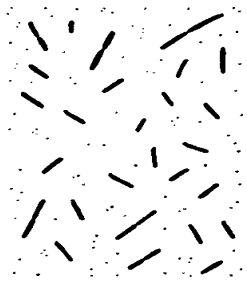
Microorganismos de aguas superficiales

Bacterias: 1. *Escherichia coli*. Algas azules: 2. *Microcystis flos-aquae*. 3. *Gloetrichia echinulata*. 4. *Aphanizomenon flos-aquae*. 5. *Nostoc carneum-Nostoc linckia*. 6. *Anabaena spiroides*. 7. *Spirulina platensis*. 8. *Oscillatoria rubescens-Oscillatoria agardhii*. 9. *Oscillatoria redeckei*. Crisofíceas: 10. *Synura uvella*. 11. *Uroglena volox*. Diatomeas: 12. *Melosira granulata-Melosira varians-Melosira italica*. 13. *Tabellaria fenestrata-Diatoma vulgare-Diatoma elongatum*. 14. *Fragilaria crotonensis-Fragilatia construens*. 15. *Synedra ulna-Synedra acus*. 16. *Asterionella formosa*. 17. *Rhoicosphenia curvata-Stauroneis phoenicenteron*. 18. *Navicula rhynchocephala*. 19. *Pinnularia major*. 20. *Cymbella ventricosa*. 21. *Gomphonema olivaceum-Epithemia turgida-Nitzchia acicularis-Nitzchia stagnorum-Cymatopleura solea-Cymatopleuta elliptica-Surirella biseriata-Surirella ovata-Surirella tenera*. Clorofíceas: 22. *Pediastrum boryanum*. 23. *Dictyosphaerium pulchellum-Selenastrum bibraianum-Anikistrodesmus acicularis*. 24. *Scenedesmus acuminatus*. 25. *Scendesmus quadricauda-Enteromorpha intestinalis*. 26. *Chaetophora elegans-Microthamnion kützingianum*. 27. *Oedogonium capillare*. 28. *Cladophora crispata*. Conyugadas: 29. *Closterium moniliferum-Closterium parvulum-Spirogyra crassa*. Amebas: 30. *Astramoeba radiosa*. 31. *Thecamoeba verrucosa*. 32. *Euglypha alveolata*. Heliozoos: 33. *Actinosphaerium eichhorni*. Ciliados: 34. *Didinium nasutum*. Rotíferos: 41. *Rhinoglena frontalis*. Anélidos: 41. *Nais elinguis*.

3. BACTERIAS PATÓGENAS

Las bacterias son microorganismos unicelulares muy pequeños, de menos de un micrómetro hasta 10 micrómetros de longitud y de 0,2 a un micrómetro de ancho. Hay algunas que tienen forma de bacilos como la *Escherichia coli* (Figura 2). Otras son esféricas, llamadas *cocos,* y otras en forma de espirales. Están cubiertas por una pared celular fuerte y rígida y están provistas de una cápsula viscosa que representa una capa protectora adicional, lo que permite su supervivencia durante varias horas o días en el medio ambiente.

Figura 2



Escherichia coli

Las bacterias patógenas de transmisión hídrica provienen de seres humanos y de animales de sangre caliente (animales domésticos, ganado y animales silvestres). Estos agentes microbianos llegan a los cursos de agua a través de las descargas de aguas residuales sin tratar o con tratamiento deficiente, del drenaje de lluvias, de las descargas provenientes de plantas de procesamiento de carne de ganado y de aves y de escorrentías que pasan por los corrales de ganado. En las zonas rurales, la práctica de la defecación a campo abierto también constituye una fuente de contaminación de las aguas superficiales.

Se ha demostrado la presencia de bacterias patógenas en aguas superficiales. Sin embargo, no todas las bacterias patógenas que se transmiten por el agua tienen igual significación para la salud. En algunos casos, su presencia representa un serio riesgo y su eliminación del agua de consumo humano reviste alta prioridad debido a que su ingestión podría ocasionar una epidemia con consecuencias graves para la salud de la población. Otras bacterias se presentan en forma natural en las aguas y normalmente no son patógenas, pero pueden causar enfermedades en personas con ciertas deficiencias orgánicas que facilitan la infección. Estos microorganismos se denominan *bacterias patógenas oportunistas*.

Algunas bacterias patógenas que tienen gran significación para la salud son el *Vibrio cholerae*, la *Escherichia coli*, la *Salmonella typhi,* la *Shigella*, el *Campylobacter jejuni* y la *Yersinia enterocolitica*. Estas bacterias se transmiten por vía oral. La mayoría tiene un tiempo de persistencia en el agua que va de corto a moderado, baja resistencia al cloro y una dosis infectiva alta. Se ha demostrado que en el caso de algunas bacterias como la *Salmonella*, el reservorio animal cumple un papel importante. También se conoce que la mayoría de bacterias patógenas no se multiplican en el ambiente, pero algunas —como el *Vibrio cholerae*— pueden multiplicarse en aguas naturales.

Un factor que permite la transmisión hídrica es el alto número de bacterias que elimina un individuo enfermo. En el caso de la *Escherichia coli*, elimina 10^8 por gramo de heces; en el de la *Salmonella*, 10^6; en el del *Campylobacter*, 10^7; y en el del *Vibrio cholerae,* 10^6. Otro factor es el tiempo de supervivencia en agua. La *E. Coli* y la *Salmonella* sobreviven 90 días; la *Shigella*, 30 días; el *Campylobacter*, 7 días; el *Vibrio cholerae*, 30 días. Con respecto a la dosis infectiva —un factor que se debe tener en cuenta cuando se

trata de interpretar el significado de la presencia de las bacterias en el agua—, la dosis infectiva[1] de *E. coli* está entre 10^2 y 10^9; en el caso de la *Salmonella*, 10^7; y en el del *Vibrio cholerae*, 10^3.

En la actualidad se reconoce la presencia de bacterias patógenas emergentes, como la *Escherichia coli 0157*, enteropatógeno que está causando diarreas y colitis hemorrágica. Algunos brotes han sido atribuidos al agua de consumo.

La epidemia de cólera ocurrida recientemente en América evidencia las consecuencias que puede tener el agua de calidad deficiente. Hasta 1991 no se habían detectado casos de cólera en América. En forma repentina, se identificaron los primeros casos en Chimbote (Perú) y a los pocos días, la enfermedad se había propalado hacia las ciudades de la costa y rápidamente a los países vecinos.

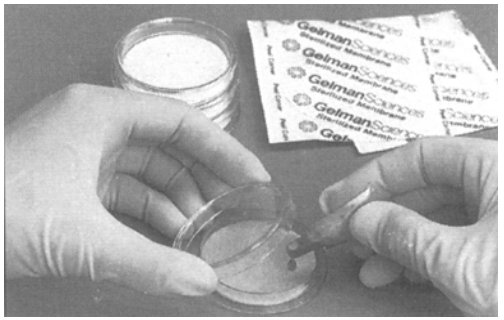
En las aguas superficiales sin tratar se ha demostrado la presencia de las bacterias patógenas antes mencionadas. Es muy difícil demostrarla en agua tratada. Su presencia indicaría serias fallas en el diseño y manejo del sistema, así como la posible presencia de sedimentos en las redes de distribución del agua debido a fluctuaciones en la presión. Los tratamientos convencionales y la desinfección son efectivos contra las bacterias patógenas y otro tipo de bacterias propias del agua.

Las bacterias patógenas oportunistas que se presentan en forma natural en las aguas pueden causar enfermedades cuando se exponen ancianos, niños, pacientes que están recibiendo terapias que disminuyen las defensas, individuos con el sistema de defensa debilitado y

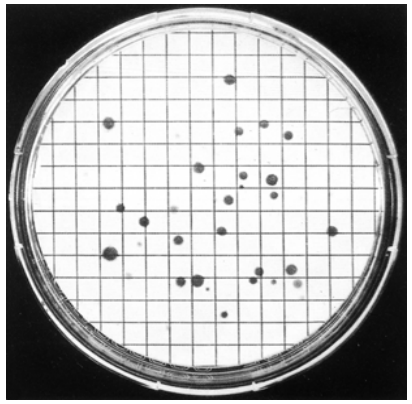
[1] *Dosis infectiva* es el número de microorganismos necesarios para producir la infección.

personas con sida. El agente microbiano puede producir una variedad de infecciones que ingresan por la piel, las membranas mucosas de los ojos, los oídos y la nariz. También por vía oral, por inhalación. Estas bacterias pueden multiplicarse en el agua tratada. Tienen una resistencia al cloro entre leve y moderada y no tienen reservorio animal. Las bacterias hídricas patógenas oportunistas son *Legionella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas* y *Mycobacterium*.

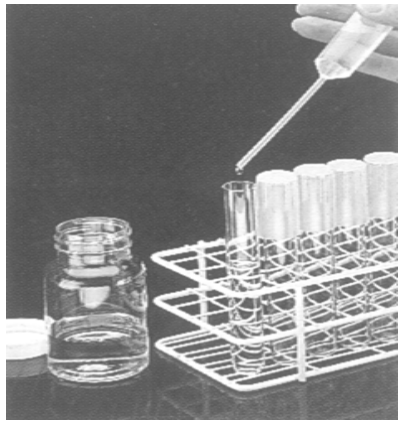
Los métodos para detectar bacterias patógenas en el agua son caros y demandan mucho tiempo. Por este motivo, la vigilancia de la calidad del agua se efectúa mediante la búsqueda de indicadores bacterianos a través de métodos de filtración y del Número Más Probable por tubos múltiples. En la actualidad, el mercado ofrece otras técnicas más avanzadas, pero el empleo de las técnicas tradicionales está aprobado por los estándares internacionales.



Técnica de métodos de filtración



Coliformes fecales



Tubos para el método de Número Más Probable

4. VIRUS ENTÉRICOS

Los virus son moléculas de ácido ribonucleico que pueden penetrar en las células y replicarse en ellas.

Los virus entéricos se multiplican en el intestino del hombre y son excretados en gran número en las heces de los individuos infectados. Algunos virus entéricos sobreviven en el ambiente y permanecen infectivos. Es complicado encontrar la relación entre la ocurrencia de virus en agua y el riesgo para la salud de la población, debido a que en el desarrollo de la enfermedad están involucrados muchos factores.

La incidencia y el comportamiento de los virus humanos en los ambientes acuáticos y en los procesos de tratamiento puede ser diferente de la incidencia de los indicadores fecales. Este comportamiento se debe a las siguientes razones:

- El número de virus en los ambientes acuáticos es generalmente inferior, en varios órdenes de magnitud, a los coliformes termotolerantes.
- Los virus son excretados durante periodos cortos y en número elevado; hasta 10^{12} por gramo de heces.
- La estructura, la composición, la morfología y el tamaño de los virus difiere fundamentalmente del de las bacterias, lo que implica que el comportamiento y la supervivencia son diferentes.

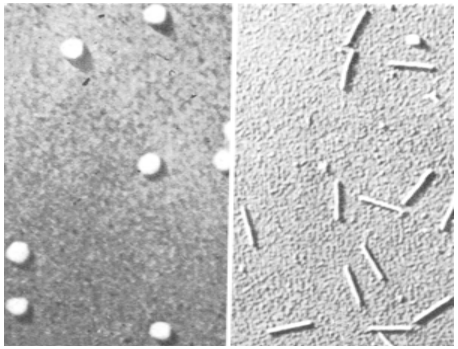
En aguas superficiales sin tratar se han detectado *Picornavirus,* entre los cuales se incluye al virus de la hepatitis A. Estos virus son sumamente resistentes a la inactivación por los factores ambientales. Esto ocurre cuando los virus se encuentran adheridos a los sedimentos y partículas propias de las aguas superficiales.

La presencia de *Rotavirus* en el agua de abastecimiento tiene una alta relevancia para la salud pública; en especial, para los niños, quienes pueden verse afectados por severos cuadros de diarrea. También se

han detectado *Adenovirus*, que causan infecciones en la conjuntiva e infecciones respiratorias e intestinales; *Norwalk virus*, que causan infecciones en el yeyuno; y otros virus como los *Reovirus*, *Parvovirus* y los *Papovavirus*.

La transmisión de virus ha sido vinculada a la ingestión de aguas crudas y tratadas, pero su detección en el agua no es suficiente prueba de que esta sea un vehículo de trasmisión de virus, pero sí indica que el riesgo existe. El tratamiento apropiado y la desinfección del agua son pasos esenciales para la eliminación de los virus.

Debido al riesgo que representa la presencia de virus en el agua de abastecimiento humano, es deseable que el análisis virológico esté incluido en la vigilancia de la calidad del agua, pero debido al costo, complejidad y tiempo que demanda su análisis, esto no es posible. Aún se considera válida la vigilancia en función de la detección de indicadores bacteriológicos.



Microfotografía electrónica de virus

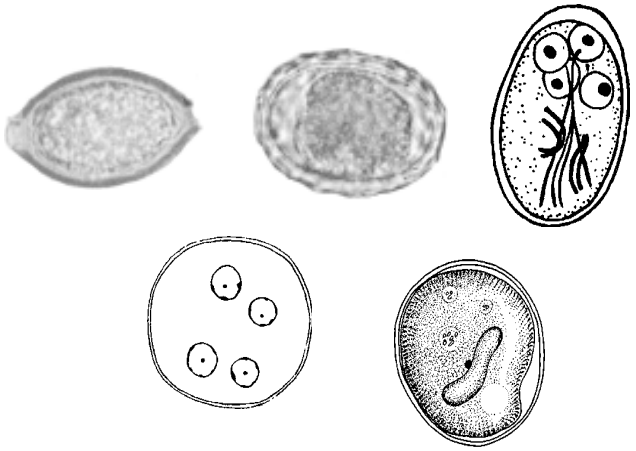
5. ENTEROPARÁSITOS

Estudios procedentes de países desarrollados indican que la mayoría de aguas superficiales tienen niveles de contaminación parasitaria que deben ser considerados en los procesos de tratamiento y desinfección. Se afirma que 60% de los casos de giardiasis ocurridos en los Estados Unidos han sido transmitidos por vía hídrica. Los estudios epidemiológicos demuestran que existe una clara relación entre la aparición de los brotes de giardiasis y de cryptosporidiosis por un lado y la presencia de quistes u ooquistes de estos parásitos en el agua de abastecimiento por otro. La detección de tasas superiores a los niveles endémicos puede estar indicando que la epidemia está significativamente ligada a una transmisión hídrica.

Para la detección de quistes u ooquistes de protozoos y huevos[2] de helmintos enteroparásitos en aguas superficiales y tratadas, se requiere la concentración de un volumen de muestra mayor que el designado para los análisis microbiológicos, debido a que los huevos y quistes de enteroparásitos se encuentran dispersos en los cuerpos de aguas superficiales y sistemas de agua potable. La mayoría de investigadores sugiere que la muestra debe ser de 10 litros en aguas sin tratamiento y 100 litros para aguas tratadas.

[2] Los quistes y los ooquistes son estadios evolutivos de los protozoarios que se caracterizan por tener una membrana protectora sumamente resistente a los factores ambientales. *Trofozoíto* es un estadio de los protozoarios. Son vegetativos, se reproducen en el huésped y no son resistentes a los factores ambientales.

Figura 3



Huevos y quistes de enteroparásitos

Uno de los procedimientos de concentración es el equipo de filtración de grandes volúmenes de agua que cuenta con un cartucho de hilo de polipropileno de un micrómetro de porosidad nominal. Otra alternativa es el uso de cápsulas de muestreo. Para la identificación de los quistes se están usando anticuerpos monoclonales[3] y PCR[4] y, en el caso de los huevos, la observación directa en el microscopio óptico.

[3]*Anticuerpos monoclonales* son anticuerpos específicos que permiten identificar especies.

[4]PCR son las siglas en inglés de ''réplica en cadena de la polimerasa'', una técnica que en el campo de la microbiología ambiental se usa para la identificación de especies.

Figura 4

Cápsula de muestreo de enteroparásitos

6. PROTOZOARIOS PATÓGENOS

Las aguas superficiales están expuestas a la contaminación con quistes de *Giardia* y ooquistes de *Cryptosporidium* y otros protozoarios enteroparásitos como la *Entamoeba histolytica* y el *Balantidium coli*.

Asimismo, en las aguas superficiales pueden estar presentes las amebas patógenas de vida libre, las cuales se introducen por las vías nasales, al nadar o bucear en aguas dulces, especialmente en acequias estancadas; lagos ubicados en zonas de clima cálido o a finales de verano; manantiales con agua caliente; grandes masas de aguas calentadas por el vertimiento de aguas industriales; aguas calientes de tinas, estaciones de aguas termales o piscinas públicas con deficiente mantenimiento sanitario. Los trofozoítos de *Naegleria* colonizan las vías nasales y después invaden el cerebro y las meninges. *Acanthamoeba* llegan al cerebro por la vía sanguínea. Probablemente, utilizan como punto de entrada una lesión en la piel o lesiones de córnea. En personas que usan lentes de contacto blandos, la infección corneal se ha relacionado con la solución salina casera que se usa como agente de limpieza o humedecimiento.

Giardia y *Cryptosporidium* son protozoarios parásitos de humanos y animales; numerosos estudios epidemiológicos han demostrado que

la vía hídrica es la ruta más importante de transmisión. La propagación a través de los alimentos ha sido demostrada en pocos casos.

Numerosos estudios han demostrado la presencia de quistes de *Giardia* y ooquistes de *Cryptosporidium* en aguas superficiales, ríos, lagos y en aguas pristinas. Esto último demuestra la importancia de los animales silvestres como aporte de elementos parasitarios.

Es difícil precisar el origen biológico de la contaminación parasitaria en aguas superficiales. Se ha demostrado la presencia de *Giardia* en el ganado vacuno y caballar, en ratas, ratones, castores, chinchillas y otros animales. Se piensa que existen varios reservorios naturales, tanto silvestres como domésticos. También se ha demostrado la importancia de los reservorios domésticos y silvestres de *Cryptosporidium*.

Para lograr la remoción de protozoarios mediante el tratamiento y la desinfección, se debe considerar lo siguiente:

- La remoción de partículas mediante coagulación, sedimentación, filtración y desinfección.
- El tratamiento combinado de coagulación con filtración convencional logra una remoción de 99% a 99,99% de quistes y ooquistes. La filtración es la mejor manera de optimizar el proceso.
- La filtración rápida no garantiza la remoción de *Giardia* y *Cryptosporidium.*
- Se ha demostrado la presencia de *Cryptosporidium* en el agua de retrolavado de los filtros, por lo que se considera que esta es una fuente potencial de contaminación.

- El ooquiste de *Cryptosporidium* es 30 veces más resistente al ozono que el quiste de *Giardia*.
- Los quistes de *Giardia* y los ooquistes de *Cryptosporidium* son extremadamente resistentes al cloro y demás desinfectantes en las concentraciones que comúnmente se usan para la desinfección de agua.
- El ozono y el dióxido de cloro son varias veces más efectivos para eliminar la *Giardia* y el *Cryptosporidium* que el cloro libre.

Se ha demostrado que los brotes de *Giardia* y *Crypyosporidium* están asociados con aguas de abastecimiento que provienen de fuentes de aguas superficiales. Los reportes mencionan que al menor incremento de la turbidez del agua tratada, aumenta el riesgo de transportar partículas con las dimensiones de la *Giardia* y el *Cryptosporidium*. Se observan las siguientes condiciones de riesgo:

- Aguas con turbidez de 0,7 pueden indicar la presencia de quistes; es ideal una turbidez de 0,1 UNT.
- Deficiencias en los filtros.
- Deficiente control de la coagulación y remoción de sólidos.

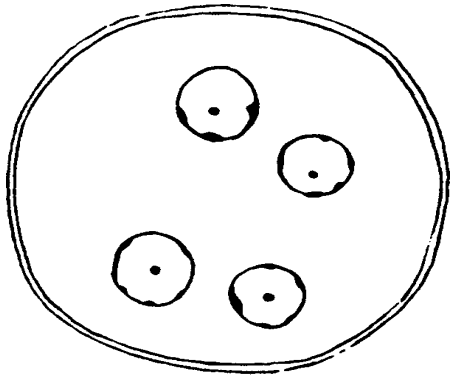
No existe una buena correlación con los parámetros microbiológicos de calidad de agua tradicionales con la presencia de *Giardia* y *Cryptosporidium*. Se ha encontrado una correlación aceptable con niveles de turbidez y conteo de partículas de 5 μm. El tratamiento multibarrera que incluye filtración es la mejor forma de disminuir el riesgo de exposición frente a los enteroparásitos.

A continuación se describen los principales protozoarios que podrían ser transmitidos por vía hídrica:

Entamoeba histolytica. Es un protozoario que produce la amibiasis, la disentería amebiana y la hepatitis amebiana. Presenta dos estadios evolutivos bien definidos: el estadio de quiste, que mide entre tres y cinco μm; y el quiste, que es la única forma en la que se observa en aguas superficiales.

El quiste tiene forma redonda u oval, es hialino, con pared lisa. El estadio de trofozoíto mide entre 10 y 60 μm. Este estadio se encuentra alojado en el huésped definitivo, el hombre.

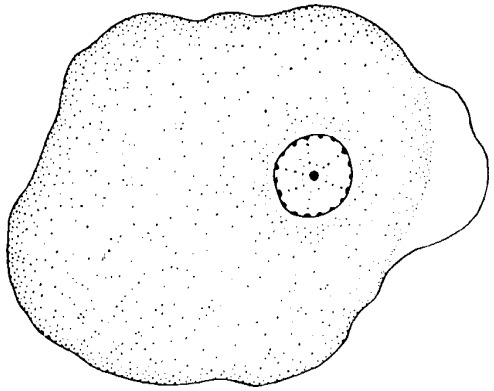
Figura 5



Quiste de Entamoeba histolytica

El trofozoíto de la *Entamoeba histolytica* es una ameba que tiene la capacidad de reproducirse en los tejidos humanos. En el intestino, es capaz de lesionar la mucosa intestinal y migrar a otros órganos como el hígado, el pulmón, el cerebro y otros órganos. Los trofozoítos se ubican en el intestino. Posteriormente, se transforman en quistes y salen al exterior con las heces. Estos quistes se dispersan en el ambiente y contaminan las aguas superficiales, el suelo y los alimentos.

Figura 6



Trofozoíto de Entamoeba histolytica

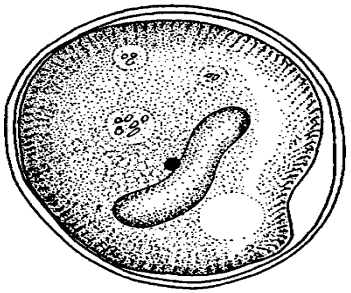
Trofozoíto de E. histolytica *en úlcera amebiana intestinal*

La infección se realiza por la ingesta de los quistes con el agua o con los alimentos. Los quistes son sumamente resistentes a los factores ambientales. En cambio, el estadio de trofozoíto no es capaz de sobrevivir en el medio fuera del huésped. También es posible la transmisión directa de persona a persona.

Balantidium coli. Es un protozoario ciliado[5] que produce la enfermedad denominada *balantidiasis,* llamada también *balantidiosis* y *disentería por balantidios*.

Presenta dos estadios evolutivos bien definidos: el estadio de quiste y el de trofozoíto. El estadio de quiste mide aproximadamente 55 μm de diámetro. El quiste sin teñir es amarillo verduzco. Solo posee macronúcleo,[6] vacuolas contráctiles[7] y cilios.[8]

Figura 7



Quiste de Balantidium coli

[5] Un *protozoario ciliado* posee cilios que le permiten moverse.

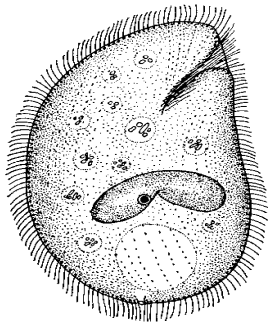
[6] El *macronúcleo* es un organelo que sirve para la reproducción y nutrición de los protozoarios ciliados.

[7] *Vacuolas contráctiles:* órganos excretores de los animales unicelulares.

[8] *Cilios:* pestañas vibrátiles localizadas en toda la superficie del ciliado; tienen función locomotora.

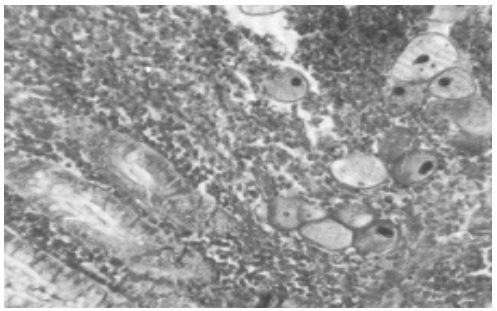
Se aloja en los huéspedes —el cerdo y el hombre— en el estadio de trofozoíto. También se detectado en monos y ratas. La enfermedad humana es la menos frecuente.

Figura 8



Trofozoíto de Balantidium coli

El trofozoíto es ciliado. Mide entre 50 y 200 μm largo por 41 a 70 μm de ancho. Cuando infecta el intestino, ocasiona lesiones en la pared intestinal, produce úlceras, a veces perfora la pared intestinal. En el intestino, los trofozoítos se enquistan y los quistes salen al exterior con las heces. Estos quistes se dispersan en el ambiente y contaminan las aguas superficiales, suelos y alimentos.



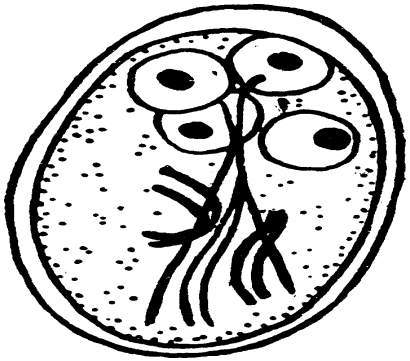
Trofozoítos de B. coli *en úlcera intestinal*

La infección se realiza por la ingesta de los quistes con el agua o alimentos. Los quistes son muy resistentes a los factores ambientales. El estadio de trofozoíto no es capaz de sobrevivir fuera del huésped. También es posible la transmisión directa de persona a persona.

Giardia lamblia. Agente etiológico de la *giardiasis*, llamada también *lambliasis*.

Es un protozoario flagelado[9] que presenta dos estadios evolutivos: el quiste, que es la forma en la que se encuentra en aguas superficiales, y el trofozoíto. El quiste tiene forma elipsoide, mide de 9 a 12 micrómetros, su pared es lisa, tiene dos o cuatro núcleos, dos axostilos[10] que se tiñen intensamente con colorantes como el lugol.

Figura 9

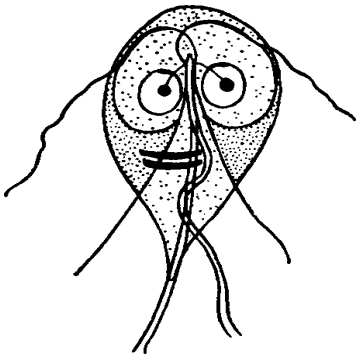


Quiste de Giardia lamblia

[9] Un *protozoario flagelado* es uno que tiene organelos en forma de látigo, que le sirven para el movimiento y para atraer partículas alimenticias.
[10] *Axostilos* son organelos rígidos que se encuentran en el citoplasma de los flagelados.

El estadio de trofozoíto se encuentra en el huésped, que es el hombre. Mide de 12 a 15 micrómetros de largo, tiene forma piriforme,[11] con simetría bilateral,[12] el extremo anterior ancho y redondo y el extremo posterior termina en punta. En la parte ventral tiene un disco suctorio,[13] dos núcleos, dos axostilos y cuatro flagelos.

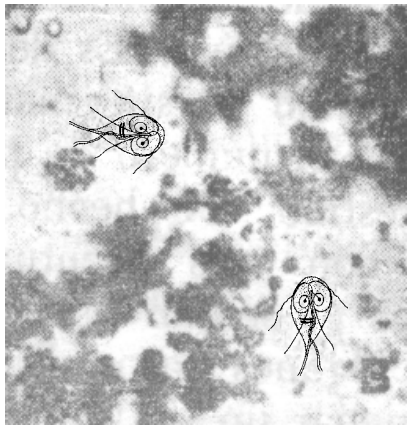
Figura 10



Trofozoíto de Giardia lamblia

El trofozoíto se ubica en el duodeno y en las primeras porciones del yeyuno. El parásito absorbe el alimento del contenido intestinal y de las células epiteliales del intestino. Produce inflamación, trastorna la absorción de las vitaminas y grasas.

[11] Forma de pera.
[12] Es decir, ambas mitades del parásito son semejantes.
[13] El *disco suctorio* es un organelo de estructura muscular que funciona a manera de ventosa; tiene la función de fijación.



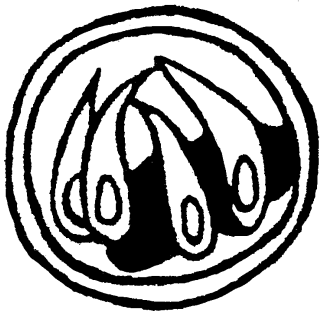
Trofozoítos de G. lamblia *en mucosa intestinal*

Tanto los trofozoítos como los quistes salen al exterior con las deposiciones del huésped. Se dispersan en el ambiente y contaminan las aguas superficiales, los suelos y los alimentos. El trofozoíto muere rápidamente y los quistes sobreviven a las condiciones ambientales. Los quistes son ingeridos por el hombre mediante la ingestión de agua o alimentos contaminados. Se ha demostrado que los quistes son sumamente resistentes a la desinfección con cloro y sobreviven en el ambiente durante varios meses.

Cryptosporidium. Agente etiológico de la criptosporidiasis. Es un protozoario Coccidio que presenta dos estadios evolutivos: el ooquiste y el trofozoíto. El ooquiste, que mide de cinco a seis micras, es de pared gruesa y tiene cuatro esporozoítos.[14]

[14] *Esporozoíto* es un estadio de reproducción asexual.

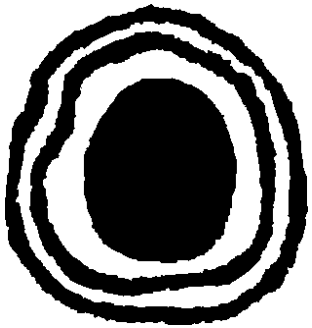
Figura 11



Quiste de Cryptosporidium parvum

El trofozoíto se reproduce asexual y sexualmente. Algunos zigotos[14] evolucionan a ooquistes. El trofozoíto y las formas sexuales y asexuales del parásito se localizan en el intestino delgado. Produce atrofia de las vellosidades intestinales. La enfermedad es persistente en las personas con el sistema de defensa debilitado. Se ha demostrado que en pacientes con sida, los cuadros clínicos persisten por muchos meses y pueden conducir a la muerte por deshidratación.

Figura 12



Trofozoíto de cryptosporidium parvum

[15] *Zigoto* es un estadio de reproducción sexual.

Figura 13

Esporozoítos de Cryptosporidium parvum *en mucosa intestinal*

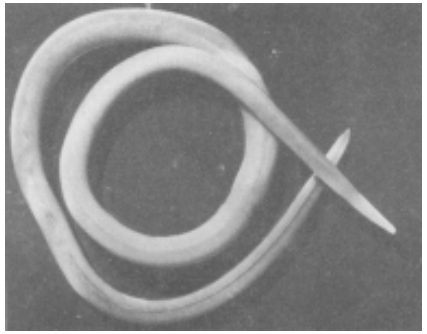
Los ooquistes salen al exterior con las heces y contaminan el agua y los alimentos. Son persistentes en el ambiente y resistentes a la desinfección con cloro. La remoción por pretratamiento químico y la filtración son barreras importantes para remover los ooquistes del agua. Cuando falla una de estas medidas, se puede ocasionar brotes de gran magnitud en la población.

7. HELMINTOS ENTEROPATÓGENOS

Los helmintos son animales invertebrados que tienen forma de gusano y comúnmente se los llama así. En este grupo están incluidos los helmintos parásitos y de vida libre. En aguas superficiales se pueden presentar huevos de dos grupos de helmintos: los Nematodos y los Platelmintos. Existen otros helmintos en el agua cuya transmisión no ocurre a través del agua de bebida.

Los Nematodos son gusanos redondos, como el *Ascaris lumbricoides,* y los Platelmintos son acintados, como la *Taenia solium*.

Ascaris lumbricoides. Es el agente etiológico de la ascariasis. Es un Nematodo que presenta diferenciación sexual. La hembra mide aproximadamente 30 centímetros y el macho 15 centímetros. Tienen los extremos aguzados y son de color rosa nacarado. La hembra puede desovar aproximadamente 200.000 huevos por día.



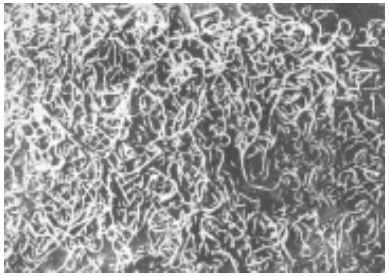
Adulto de Ascaris lumbricoides

Los huevos son de color parduzco y los fecundados tienen forma elíptica, miden de 45 a 75 micras de largo y de 35 a 50 micras de ancho. Tienen una cubierta externa gruesa de superficie mamelonada[16] y de color café. Los huevos deben madurar en el suelo antes de ser infectivos.

Huevo de Ascaris lumbricoides

[16] Es decir, no lisa sino con una serie de lóbulos muy pronunciados.

El hombre se infecta al ingerir agua y verduras contaminadas con huevos de *Ascaris*. En el organismo humano cumplen un complicado mecanismo de desarrollo hasta que los adultos se instalan en el intestino delgado. Las infestaciones masivas pueden causar síndrome de mala absorción, con alteraciones en el tratamiento de grasas, proteínas e hidratos de carbono. En otros individuos se presentan cuadros de hipersensibilidad.

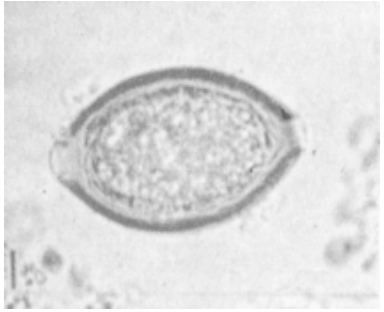


Obstrucción intestinal de A. lumbricoides *en un niño de 2 años*

Trichuris trichiura. Es el agente etiológico de la tricocefalosis. Es un Nematodo blanquecino que presenta diferenciación sexual. La hembra mide de 35 a 50 milímetros de largo, y el macho, de 20 a 25 milímetros. Es delgado en la parte anterior y, en la parte posterior, grueso. Se ha calculado que se eliminan entre 200 y 300 huevos por gramo de heces por cada hembra.

Adulto de Trichuris trichiura

Los huevos son elípticos, de color parduzco, miden alrededor de 40 a 50 micrómetros y presentan una gruesa envoltura de doble contorno. En ambos polos tienen tampones mucosos que confieren al huevo un aspecto típico de tonel. El huevo debe desarrollarse en el medio ambiente para ser infectivo. Presenta una gran resistencia a las condiciones adversas del medio ambiente y puede permanecer vivo durante años.



Huevo de Trichuris trichiura

El daño de la tricocefalosis es directamente proporcional al número de especímenes presentes en el intestino. La tricocefalosis masiva puede producir anemia e interfiere en la absorción intestinal.

Infección masiva con miles de adultos de Trichuris trichiura *en el intestino grueso*

El único huésped es el hombre, que se infecta al ingerir agua y alimentos contaminados con huevos de *Trichuris*.

Taenia solium. La *Taenia solium* produce la teniasis y la cisticercosis. El cerdo es el huésped definitivo habitual. Es un Cestodo[17] que mide de tres a cinco metros de longitud, presenta un escólex[18] armado con una corona de ganchos con los cuales se fija al intestino. El hombre se infecta con *Taenia* al ingerir carne de cerdo mal cocida, pero también puede contaminarse con la ingestión de huevos de *Taenia* y adquirir la enfermedad llamada *cisticercosis*. Esta forma es la que puede ser transmitida por el agua de bebida.

Escólex de Taenia solium

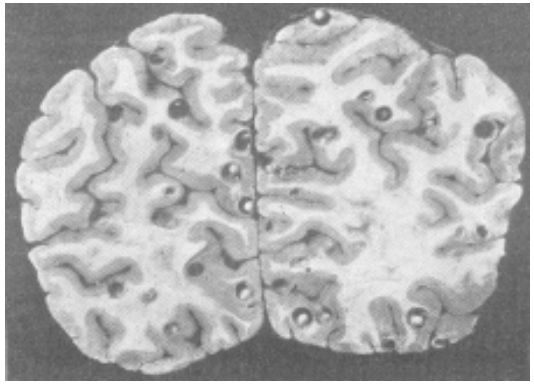
[17] Los *Cestodos* son la clase de los Platelmintos que tienen forma de cinta.

[18] El *escólex* es un órgano de los Cestodos que les sirve para fijarse al intestino del huésped.

El hombre puede adquirir la cisticercosis por la ingestión de huevos de *Taenia* en el agua o los alimentos. Los huevos miden entre 30 y 40 micrómetros de diámetro, son esféricos, de paredes gruesas y radiadas y en su interior encierran un embrión provisto de seis ganchos, llamado *embrión hexacanto*. Esta es la forma infectiva para el huésped intermediario.

Huevo de Taenia sp.

En el intestino, el embrión penetra la mucosa intestinal, cae a los vasos sanguíneos y es conducido por la sangre a varios órganos. Los cisticercos se pueden ubicar, en el hombre, en el tejido celular subcutáneo, en la musculatura esquelética, en el sistema nervioso central y sus anexos, en el corazón, hígado, pulmón, etcétera. Los daños que causa una cisticercosis dependen del órgano afectado y de otros factores propios de la parasitosis. Cualquiera que sea su localización, los signos y los síntomas de la cisticercosis son los de un tumor que afecta al órgano comprometido.

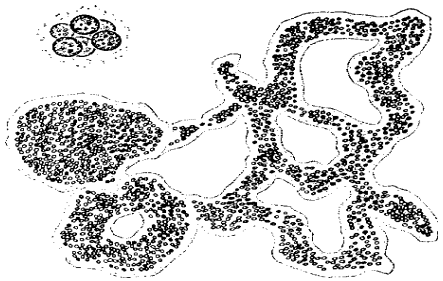


Cisticercosis cerebral

8. CYANOBACTERIAS

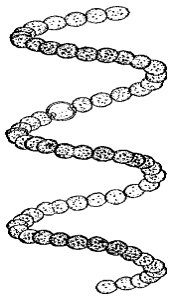
Las afloraciones de *Cyanobacterias* son muy comunes en los lagos y reservorios usados para agua potable. Estas bacterias son capaces de producir dos tipos de toxinas ampliamente conocidas: las hepatotoxinas —producidas por *Microcystis, Oscillatoria* y *Anabaena*— y las neurotoxinas —producidas por *Anabaena, Oscillatoria, Nostoc* y *Cylindrospermum*—. Las toxinas pueden producir gastroenteritis en la población y las hepatotoxinas pueden ocasionar muerte por *shock*.

Figura 14



Microcystis aeruginosa

Figura 15



Anabaena sp.

Hay un número no confirmado de reportes sobre problemas de salud causados por toxinas provenientes de algas y relacionados con el agua de bebida. Estudios realizados han demostrado que la remoción de las toxinas solo se logra con carbón activado. No se recomienda el uso de alguicidas debido a que ocasionan la muerte masiva de algas y es posible que esto conduzca a la producción de olores desagradables y altere el sabor del agua en los reservorios.

9. ORGANISMOS CUYA PRESENCIA EN EL AGUA TRATADA ORIGINA RECLAMOS DE LOS USUARIOS

Frecuentemente, en las fuentes de agua y en los reservorios se presentan animales invertebrados que son de vida libre y que, por problemas en la filtración, pueden pasar a los sistemas de distribución de agua tratada y causar pánico en la población.

Estos invertebrados no son patógenos pero representan un riesgo de transporte de agentes microbianos. Una de las causas de este trans-

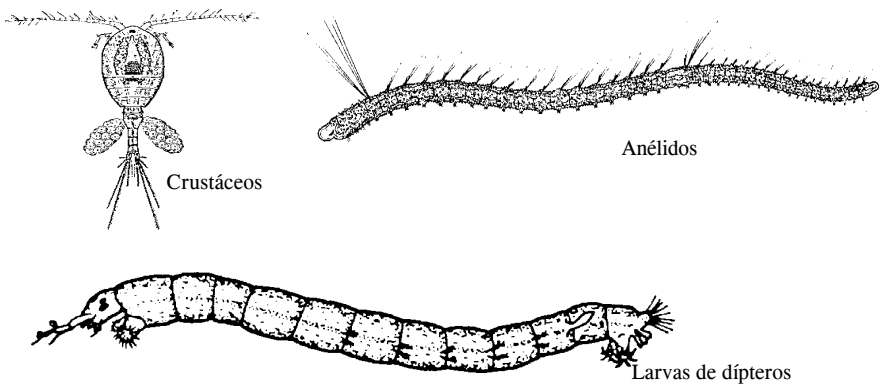
porte es que el cloro no actúa sobre ellos ni sobre las partículas que tienen incorporadas en sus intestinos y otros órganos; además, su presencia altera la calidad estética del agua.

En el agua tratada se han observado dos grupos de invertebrados: los que nadan libremente en el agua como los crustáceos (Copépodos, pulgas de agua, etcétera) y otro grupo que tiene escaso movimiento (Briozoos como *Plumatella* o los que viven en el limo como *Nais* y también Nematodos, larvas de *Chironomidos*, etcétera).

En estaciones de verano, los filtros de arena pueden tener problemas con la superpoblación de larvas de dípteros como *Chironomidos* y *Culex*. Su presencia puede causar problemas en los filtros y en la calidad del agua filtrada.

La solución de este problema es compleja. Debe abordarse teniendo en cuenta el hábitat de la especie predominante y su ciclo de vida, así como los riesgos ambientales y para la salud que se corren al aplicar biocidas.

Figura 16



Organismos cuya presencia en agua tratada origina reclamos en el usuario

10. INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Se sabe que la contaminación fecal del agua está relacionada con la transmisión hídrica de agentes patógenos. Por este motivo se requieren métodos sensibles que permitan medir el grado de contaminación fecal. Los análisis de patógenos son caros y el procedimiento es largo.

Por las razones antes mencionadas, la evaluación de la calidad microbiológica del agua de abastecimiento humano se basa en la determinación de indicadores bacterianos.

Grupo colifome. El grupo coliforme abarca géneros que utilizan la lactosa para producir ácido y gas.

Los siguientes géneros conforman el grupo coliforme:

Klebsiella
Escherichia
Enterobacter
Citrobacter
Serratia

Coliformes termotolerantes (fecales). Se denomina *coliformes termotolerantes* a ciertos miembros del grupo de bacterias coliformes totales que están más estrechamente relacionados con la contaminación fecal. Los coliformes termotolerantes generalmente no se multiplican en los ambientes acuáticos. También se los conoce como *bacterias coliformes fecales*.

Los coliformes termotolerantes crecen a una temperatura de incubación de 44,5 °C. Esta temperatura inhibe el crecimiento de los coliformes no tolerantes. Se miden por pruebas sencillas y de bajo costo y ampliamente usadas en los programas de vigilancia de la calidad del agua. Los métodos de análisis son la prueba de tubos múltiples y la de filtración con membrana.

Escherichia coli. Es el principal indicador bacteriano en el agua. Estudios efectuados han demostrado que la *E. coli* está presente en las heces de humanos y animales de sangre caliente entre 10^8 y 10^9 por gramo de heces.

Coliformes totales. Los coliformes totales se emplean para la evaluación sanitaria de los efluentes finales de la planta de tratamiento. Para su determinación se emplean los métodos mencionados para coliformes termotolerantes.

Recuento en placa de bacterias heterotróficas. El recuento en placa de bacterias heterotróficas detecta una amplia variedad de microorganismos, principalmente bacterias que son indicadoras de la calidad microbiológica general del agua.

Se ha comprobado que el conteo total es uno de los indicadores más confiables y sensibles del tratamiento o del fracaso de la desinfección. Para su determinación se emplea una prueba sencilla y de bajo costo. Los métodos son el vertido en placa, la difusión en superficie y la filtración con membrana. Se emplea un medio de cultivo rico, como el extracto de levadura, y la incubación se realiza durante 48 horas a 35 °C.

Como se puede apreciar, la evaluación de la calidad microbiológica del agua se basa en la determinación de indicadores bacterianos

—coliformes totales y coliformes termotolerantes—, los cuales son removidos con mayor facilidad que los quistes de protozoarios, por lo cual la ausencia de coliformes no indica en forma absoluta la ausencia de quistes. Ante un brote epidémico de enteroparásitos, no bastaría la determinación de coliformes en el agua, sobre todo cuando esta es de origen superficial y ha sido únicamente sometida a desinfección.

A raíz de numerosos estudios, se ha encontrado que en el agua superficial sin tratamiento existe una buena correlación entre la presencia de algas y protozoarios enteroparásitos y, en el agua tratada, entre la presencia de protozoarios y niveles de turbidez; asimismo, con el conteo de partículas de cinco micrómetros.

11. CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS DE LOS VALORES GUÍA DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

Una de las metas de la Organización Mundial de la Salud es que todas las personas logren, por derecho, acceder a un suministro adecuado de agua de bebida segura; es decir, que no represente ningún riesgo para su salud.

Es difícil contar con estudios epidemiológicos que permitan conocer profundamente los riesgos para la salud que representa un determinado nivel de patógenos en el agua, debido a que la infección depende de múltiples factores como el grado de infectividad del patógeno y el grado de inmunidad de los consumidores.

Las *Guías para la calidad del agua potable* de la OMS indican que no es práctico monitorear cada agente patógeno que está en el agua

y que el enfoque más lógico es detectar organismos que por lo general se encuentran en las heces de los seres humanos y de animales de sangre caliente.

Numerosas investigaciones han estado dirigidas a la búsqueda de un indicador óptimo que podría emplearse rutinariamente para determinar si el agua potable es segura, bajo los supuestos siguientes: el indicador debe evaluar la probabilidad de que existan patógenos en el agua potable, su determinación debe representar un bajo costo y ser fácil de analizar y debe proporcionar resultados definitivos en corto tiempo.

En los valores guía se mencionan dos tipos de indicadores microbiológicos: los coliformes termotolerantes y los coliformes totales, y como organismo indicador de mayor precisión para determinar la contaminación fecal, la detección de *Escherichia coli*. La vigilancia de la calidad del agua que sea efectuada a través de la medición de los parámetros antes mencionados garantiza, con las limitaciones y el grado de incertidumbre que conlleva la aplicación de cualquier sistema de vigilancia, que el agua está libre de microorganismos infecciosos.

CAPÍTULO 7

FUNDAMENTOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS

1. GENERALIDADES

Como ya hemos visto, durante su ciclo hidrológico, el agua es capaz de disolver sales minerales, acarrear greda, agentes contaminantes como desechos industriales, aguas residuales domésticas, etcétera.

La apariencia (el aspecto físico) del agua puede engañarnos totalmente con respecto a su calidad. Por ejemplo, si bebemos agua destilada a la que se ha añadido cantidades convenientes de sal de cocina, cianuro de sodio y *Shigella* —una bacteria causante de diarrea, generalmente acompañada por fiebre—, no sentiremos los efectos de la bacteria porque, como el cianuro de sodio es venenoso, habremos muerto antes. Sin embargo, el agua seguirá cristalina como si estuviera destilada; es decir, conservará un buen aspecto.

Para saber si el agua es o no peligrosa para la salud, se debe determinar sus características, que se obtienen mediante análisis de laboratorio físico-químicos, microbiológicos, de compuestos orgánicos y metales.

2. ANÁLISIS FÍSICOS

Estos exámenes dan a conocer el olor, el sabor, la apariencia y aceptabilidad del agua de una manera general.

Las determinaciones físicas más comunes son las siguientes:

2.1 pH

Con este examen solo determinamos si el agua es ácida (aquella característica que provoca la corrosión de las tuberías de fierro), neutra o básica. Una solución que tenga pH menor que 7 es ácida, la que tenga un pH equivalente a 7 es neutra y, si el pH es mayor que 7, la solución es alcalina.

2.2 Turbidez

La turbidez de una muestra de agua es la medida de la interferencia que presentan las partículas en suspensión al paso de la luz. Se debe a la arcilla, al lodo, a las partículas orgánicas, a los organismos microscópicos y a cuerpos similares que se encuentran suspendidos en el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.

2.3 Color

El color del agua se debe a la presencia de sustancias orgánicas disueltas o coloidales, sustancias inorgánicas disueltas, así como cuerpos vivos presentes, tales como algas. Cuando hay turbidez, el agua presenta un color evidente y para obtener el color verdadero se recurre a algún mecanismo técnico. El color constituye una característica de orden estético y su acentuada concentración puede causar cierto rechazo.

2.4 Olor y sabor

Por lo general, la determinación que se realiza es la del olor (el olfato humano es más sensible que el paladar), debido a que el sabor depende de este.

En el agua, todas las sustancias inorgánicas pueden producir olor y sabor, según la concentración en que se encuentren. Los seres vivos, como las algas, el plancton, etcétera, también pueden producir olor y sabor. Debe recordarse que el cloro, además de ser desinfectante, puede quitar el olor, el sabor, e impedir la proliferación de algas (que producen olor, sabor y color); eliminar el fierro y el manganeso y coagular las materias orgánicas. Sin embargo, cuando el cloro está presente en exceso, puede producir olor y sabor en el agua (principalmente cuando esta tiene fenol).

Observación: cuando el agua posee compuestos de fenol y se desinfecta con cloro, adquiere un sabor a remedio.

3. ANÁLISIS QUÍMICOS

Los análisis químicos constituyen uno de los principales requisitos para caracterizar el agua. Las *Guías para la calidad del agua potable* de la Organización Mundial de la Salud (1995) señalan que los problemas relacionados con las sustancias químicas presentes en el agua de bebida se deben sobre todo a que ellas pueden afectar la salud después de una exposición prolongada. Entre los contaminantes químicos, los que generan especial inquietud son los que tienen propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados y las sustancias carcinógenas.

Por otro lado, el empleo de desinfectantes químicos para tratar el agua produce, por lo general, la formación de productos químicos secundarios, algunos de los cuales son potencialmente peligrosos (OMS, 1995, p. 3).

Entre las sustancias químicas de importancia para la salud que pueden afectar el agua potable, destacan el cadmio, el cianuro, el cobre, el mercurio y el plomo.

El cadmio se utiliza en la industria siderúrgica y en los plásticos, y sus compuestos se aprovechan en las pilas o baterías. Además, las aguas residuales lo liberan en el medio ambiente, tal como los fertilizantes y la contaminación local del aire. El agua de bebida puede contaminarse de cadmio debido a impurezas del zinc que contienen las tuberías galvanizadas y las soldaduras, así como algunos accesorios de metal. Está clasificado como un carcinógeno probable para los seres humanos (OMS, 1995, p. 46). Como se observa en la tabla 1, el valor guía recomendado por la OMS para la presencia de cadmio en el agua de consumo humano es 0,003 miligramos por litro.

Como señalan las guías de la OMS (1995, pp. 46-47), los cianuros tienen una toxicidad aguda elevada. Pueden hallarse en ciertos alimentos y, ocasionalmente, afectan al agua de bebida por contaminación industrial. En algunas comunidades se han observado efectos en la tiroides y en el sistema nervioso como resultado del consumo prolongado de mandioca insuficientemente elaborada, que contiene altas dosis de cianuro. Como se señala en la tabla 1, el valor guía recomendado por la OMS para la presencia de cianuro en el agua de consumo humano es 0,07 miligramos por litro.

Según la misma fuente (OMS, 1995, pp. 47-48), las concentraciones de cobre en el agua de bebida suelen ser bajas, pero el hecho de que existan tuberías de este metal puede incrementarlas de manera considerable. Aunque la ingesta de cobre es necesaria para el organismo humano, en algunas personas, cuando la concentración del compuesto supera los tres miligramos por litro, se produce una irritación gástrica aguda y en adultos que padecen degeneración hepatolenticular, la regulación del cobre es defectuosa, por lo cual la ingestión prolongada puede provocar cirrosis. Finalmente, existe cierta inquietud por el hecho de que en los lactantes, el metabolismo del

cobre no está bien desarrollado y, desde 1984, se ha discutido la posibilidad de que el cobre presente en el agua de bebida genere la aparición de cirrosis hepática durante la primera infancia en lactantes alimentados con biberón. Como se observa en la tabla 1, el valor guía recomendado por la OMS para la presencia de cobre en el agua de consumo humano es 2 miligramos por litro.

El mercurio se encuentra en forma inorgánica en las aguas superficiales y subterráneas. Este metal afecta sobre todo al riñón, mientras que el metil-mercurio opera principalmente sobre el sistema nervioso central (OMS, 1995, p. 52). Como se observa en la tabla 1, el valor guía recomendado por la OMS para la presencia de mercurio en el agua de consumo humano es 0,001 miligramos por litro.

El plomo presente en el agua de consumo humano procede, en parte, de fuentes naturales por disolución, pero sobre todo de los sistemas de plomería doméstica. Se trata de un tóxico general que se acumula en el esqueleto. Sus efectos negativos para la salud son más perjudiciales en mujeres embarazadas, niños hasta los seis años de edad y lactantes. Es tóxico para el sistema nervioso y existen datos certeros de que concentraciones en la sangre inferiores a 30 microgramos por decilitro afectan al sistema nervioso de los niños. El plomo está clasificado como un posible carcinógeno para los seres humanos (OMS, 1995, pp. 55-56). Como se observa en la tabla 1, el valor guía recomendado por la OMS para la presencia de cianuro en el agua de consumo humano es 0,01 miligramos por litro.

Por otro lado, hay sustancias químicas cuya presencia puede producir quejas en los usuarios por diversas razones. Entre ellas, resaltan el cloruro, el cobre, el manganeso y el total de sólidos disueltos. Asimismo, hay que tomar en cuenta la dureza del agua.

Las concentraciones elevadas de cloruro forman un sabor desagradable en el agua y las bebidas, mientras que la presencia del cobre puede dificultar el uso de esta con fines domésticos, al aumentar, por ejemplo, la corrosión de los accesorios de hierro galvanizado y acero, lo que puede ocasionar la aparición de manchas en la ropa lavada y en las instalaciones de plomería (OMS, 1995, p. 131).

En cuanto al manganeso, en concentraciones superiores a 0,1 miligramo por litro también mancha las instalaciones de plomería y la ropa lavada, y produce en las bebidas un sabor desagradable. Además, como el hierro, puede producir que se acumulen depósitos en el sistema de distribución. Incluso, en ciertas concentraciones, suele ocasionar la aparición de un revestimiento en las tuberías que puede desprenderse en la forma de un precipitado negro. Por otro lado, ciertos organismos que tienen efectos molestos concentran el manganeso, lo que hace que el agua muestre problemas de sabor, olor y turbidez (OMS, 1995, p. 132).

El total de sólidos disueltos puede tener efectos significativos en el sabor del agua de consumo humano. Según las guías de la OMS, se piensa, por lo general, que con concentraciones inferiores a 600 miligramos por litro, el agua tiene un sabor agradable, que se deteriora progresivamente con concentraciones mayores a 1.200 miligramos por litro. Los niveles elevados de sólidos disueltos pueden provocar quejas de los consumidores, ya que pueden causar incrustaciones en las tuberías y los aparatos domésticos. Concentraciones muy bajas, por otro lado, pueden resultar inaceptables debido a su falta de sabor (OMS, 1995, pp. 133-134).

La dureza generalmente es causada por el calcio y, en menor grado, por el magnesio, disueltos en ella. Aunque la OMS no propone para la dureza un valor guía basado en criterios sanitarios, el grado de

dureza puede influir en la aceptación de esta por los usuarios, debido a sus efectos sobre el sabor y a la aparición de incrustaciones. La aceptación de la dureza puede ser muy variable según las comunidades, en función de las condiciones locales. En algunos casos, los consumidores toleran una dureza de más de 500 miligramos por litro (OMS, 1995, pp. 49, 131).

4. EXÁMENES BACTERIOLÓGICOS

4.1 Nociones sobre bacteriología

La bacteriología es el estudio de las bacterias. Las bacterias son microorganismos que se encuentran en el aire, en el suelo y en el agua. Pertenecen al reino de los protistas (organismos unicelulares o multicelulares sin diferencia tisular). Algunos autores las clasifican dentro del reino vegetal. Generalmente, son organismos de dimensiones microscópicas.

Las bacterias que usualmente se encuentran en las aguas de abastecimiento presentan de uno a cuatro micrómetros.

un micrómetro = 0,001 mm.

4.2 Origen de las bacterias existentes en las aguas

a) bacterias cuyo hábitat es el agua;
b) bacterias provenientes del suelo y transportadas al agua por la escorrentía;
c) bacterias presentes en la atmósfera y transportadas al agua por la lluvia, y
d) bacterias provenientes de desagües o de residuos orgánicos arrojados al agua.

4.3 Factores que afectan el número de bacterias

a) alteración del abastecimiento alimenticio (materia orgánica);
b) temperatura;
c) luz: propiedad germicida hasta los tres metros de profundidad;
d) sedimentación;
e) acción de otros seres vivos: por ejemplo, algunas algas producen antibióticos y los protozoarios ingieren las bacterias;
f) filtración, y
g) oxígeno disuelto (aerobios y anaerobios).

4.4 Clasificación de las bacterias

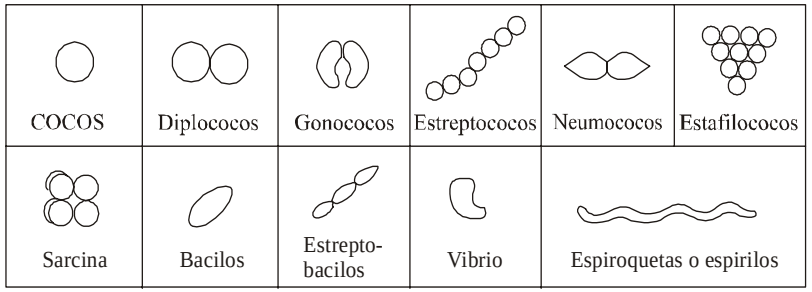
Para la elaboración de esta sección nos hemos basado en el libro *Microbiología,* de Michael Pelczar, Roger Reid y E. C. S. Chan (1981).

a) Según su forma, las bacterias pueden ser:

- cocos: son ovales o esféricos. Estos, a su vez, pueden ser:
  – diplococos;
  – gonococos;
  – neumococos;
  – estreptococos;
  – sarcinas, y
  – estafilococos.

- bacilos: cilíndricos o en forma de bastón. Pueden ser:
  – estreptobacilos, y
  – vibrios.

- espiroquetas o espirilos: de forma helicoidal o espiral.



b) Según su nutrición, las bacterias pueden dividirse en dos grandes grupos: los llamados *fototrofos* y *quimiotrofos*:

fototrofos: son aquellas formas de vida, como las plantas verdes, que pueden consumir la energía de la luz.

quimiotrofos: son aquellas formas de vida incapaces de asimilar la luz y que se valen de la oxidación de compuestos químicos para obtener su energía; por ejemplo, la vida animal.

Ahora bien, entre las bacterias fototróficas, hay algunas especies que consumen CO_2 como fuente principal de carbono. Estas se denominan *fotolitotróficas*.

Otras precisan de un compuesto orgánico, y se llaman *fotoorganotróficas*.

Entre las bacterias quimiotróficas, hay algunas que oxidan compuestos inorgánicos para satisfacer sus necesidades de carbono, y se llaman *quimiolitotróficas*. Hay otras que requieren compuestos orgánicos de carbono a partir de los cuales obtienen energía mediante oxidación, y se denominan *quimioorganotróficas*.

c) De acuerdo con la complejidad química de las sustancias nutritivas requeridas para el crecimiento, las bacterias se dividen en autotrofas y heterotrofas.

Las bacterias autotrofas tienen las necesidades más simples, puesto que poseen una capacidad muy compleja para llevar a cabo la síntesis de las sustancias nutritivas.

Las bacterias heterotrofas varían considerablemente en cuanto a sus necesidades de nutrientes específicos para el desarrollo. Todas requieren carbono orgánico, pero difieren en los tipos de compuestos orgánicos de carbono que pueden asimilar. Pueden tener necesidades nutricionales relativamente simples o sumamente complejas dependiendo de la especie.

Todas las especies de *Escherichia coli* son heterotrofas.

d) Según su capacidad para causar enfermedades, las bacterias pueden ser:

- patógenas: causan enfermedades;
- no patógenas: no las causan.

e) Según su necesidad de oxígeno, las bacterias pueden ser:

- aerobias: necesitan oxígeno para vivir;
- anaerobias facultativas: pueden vivir con oxígeno o sin él;
- anaerobias estrictas: viven solo cuando no hay oxígeno, y
- microaerófilas: viven con poco oxígeno.

f) Según las reacciones bioquímicas producidas por las bacterias y su crecimiento en medios de cultivo. Por ejemplo, fermentación de lactosa por la *E. coli*.

g) Mediante reacciones serológicas. Por ejemplo, identificación de las distintas especies de salmonellas.

h) Las bacterias se pueden clasificar mediante técnicas más actualizadas. Por ejemplo, la inmunofluorescencia.

4.5 La observación en el microscopio y la coloración de Gram

Para la redacción de esta sección también nos hemos basado en el libro *Microbiología,* de Michael Pelczar, Roger Reid y E. C. S. Chan (1981).

Para estudiar las características morfológicas de las bacterias en el microscopio se usan dos técnicas generales: la suspensión de los organismos en un líquido y el empleo de películas o frotes desecados, fijos y teñidos de la muestra.

Las preparaciones fijas y teñidas son las que se usan con más frecuencia porque las células se pueden observar con más claridad después de teñidas y porque en las preparaciones teñidas se puede ver también las diferencias entre células de especies diferentes e incluso dentro de la misma especie.

Hay dos maneras de hacer esto: mediante una técnica de coloración simple —realizada a través de la aplicación de una solución colorante— y mediante procedimientos de coloración diferencial, que muestran diferencias entre las células bacterianas o entre partes de ellas.

Entre los procedimientos de coloración diferencial de uso más común en microbiología se encuentra la coloración de Gram. En esta técnica, la película o frote bacteriano teñido se somete a las soluciones

siguientes, en orden de prelación: cristal violeta, solución de yodo, alcohol y safranina, fucsina o alguna otra solución colorante de contraste.

Según el método de coloración de Gram, para la identificación morfológica, las bacterias pueden ser:

- gramnegativas, y
- grampositivas.

Las bacterias que retienen el cristal violeta y adoptan color violeta profundo son grampositivas; las que pierden el cristal violeta y aparecen rojas son gramnegativas. Esta reacción es importante para la clasificación de las bacterias.

Ejemplos:

Los cocos generalmente son grampositivos, con la excepción de las *Neisserias* (gonococos y meningococos). Los bacilos generalmente son gramnegativos, con la excepción de los géneros *Corynebacterium* (bacilo diftérico), *Bacillus* (por ejemplo, el bacilo del carbunco) y *Clostridium* (por ejemplo, el bacilo del tétanos).

Algunas características de las bacterias relacionadas con la reacción de Gram son las siguientes:

GRAMPOSITIVAS	GRAMNEGATIVAS
• Mucha sensibilidad a los detergentes; • sensibles a los sulfos, penicilina, tirotricina.	• Poca sensibilidad a los detergentes; • poco sensibles o insensibles a los agentes citados en el recuadro izquierdo.

4.6 Resistencia de las bacterias a la destrucción

a) Al calor

- calor húmedo: 60 °C durante una hora (destrucción de las bacterias más sensibles);
- calor seco: 120 °C durante una hora.

b) A la luz solar

- el Sol es un poderoso agente bactericida, debido a los rayos ultravioletas.

c) A la temperatura ambiente

- alta (dentro de ciertos límites): acelera la reproducción, en caso de haber alimentos.
- baja: favorece la supervivencia pero retarda la reproducción.

d) A ciertos iones

- ejemplos: plata y cobre (acción oligodinámica).

e) A la desecación

4.7 Nociones sobre esterilización, desinfección, antisepsia, asepsia

a) Esterilización

Esterilizar un material es *destruir todos los microorganismos* que existen en él. Para la esterilización utilizamos agentes físicos, principalmente el calor, que puede ser húmedo o seco.

Calor húmedo

- hervor a 100 °C durante media hora (algunos microorganismos resisten esta temperatura);
- en autoclave, bajo una presión de 120 °C durante 15 minutos;
- esterilización parcial, con una temperatura menor a 100 °C durante un lapso de dos a tres días.

Calor seco

- flameo: paso de una material por la llama;
- calentamiento en estufa durante dos horas a una temperatura entre 170 °C y 180 °C, y
- rayos ultravioleta.

b) Desinfección

Desinfectar un material es destruir los microorganismos nocivos que existen en él.
La desinfección se obtiene mediante el uso de sustancias químicas (desinfectantes); por ejemplo, formol, ozono, cloro, etcétera.

c) Asepsia

Es el conjunto de medidas utilizadas para impedir la penetración de gérmenes allí donde no existen.

5. EXAMEN BACTERIOLÓGICO DEL AGUA

5.1 Necesidad del examen bacteriológico del agua

a) El examen bacteriológico es importante porque permite determinar las características del agua en estado natural, a fin de realizar las siguientes acciones:

- estudio del tipo de tratamiento efectuado;
- uso para consumo, recreación, irrigación, etcétera;

- clasificación de un curso de agua según tenga contacto con aguas residuales u otros desechos.

b) También es importante porque permite realizar la medición de la eficacia de las plantas de tratamiento de agua: agua en estado natural, decantada, filtrada y clorada.

c) Finalmente, permite efectuar un control de la potabilidad del agua distribuida.

Cabe resaltar que la caracterización del agua depende del uso que se le va a dar.

5.2 Toma de muestras para el examen bacteriológico

Es necesario usar frascos de vidrio no corrosivo o de plástico de boca ancha, estériles y con capacidad mínima de 250 mililitros. El método de muestreo se determina de acuerdo con el objetivo de estudio.

a) agua de los grifos: deje correr el agua durante un lapso de uno a dos minutos; destape el frasco esterilizado con todos los cuidados necesarios, llénelo hasta 4/5 de su capacidad y ciérrelo sin contaminar el material.

Nota: si el agua estuviera clorada, el frasco con el que se tomará una muestra de 100 mL deberá contener 0,1 mL de solución de tiosulfato de sodio al 3% para neutralizar el cloro residual.

b) pozos: cuando no hay grifos u otro tipo de conducción, amarre una cuerda esterilizada al frasco de toma de muestras y recolecte la muestra, siempre con todos los cuidados que demanda la asepsia. (Existen aparatos adecuados para la toma de muestras en profundidad.)

Observación: el frasco debe estar lleno hasta 4/5 de su volumen. Evite tomar puntos muertos.

c) agua de superficie: recolecte la muestra contra la corriente, lo más distante de la orilla para evitar puntos muertos, y siempre bajo la superficie (más o menos a 30 cm de profundidad).

Observación: los puntos de toma de muestras deben ser determinados a fin de que la muestra sea verdaderamente representativa.

Para mayor información sobre este tema, véase el capítulo 12.

5.3 Envío de la muestra al laboratorio

Una vez elegida la muestra, esta debe enviarse al laboratorio lo más rápido posible.

a) agua muy contaminada: antes de que transcurran seis a ocho horas después de la toma;

b) agua tratada o libre de contaminación: antes de que pasen 24 a 30 horas después de la toma;

c) conservación de la muestra: la muestra debe conservarse en refrigeradores portátiles hasta que se haga el análisis.

5.4 Indicadores de contaminación

La investigación de organismos patógenos en el agua es muy compleja. Además de las dificultades técnicas propiamente dichas, estas bacterias se encuentran en el agua en cantidad reducida y su llegada es intermitente. Como índice de su posible presencia en el agua, usamos otros organismos: los pertenecientes al grupo coliforme.

Los coliformes son organismos indicadores de contaminación fecal debido a las siguientes razones:

a) Normalmente se encuentran en el intestino del hombre y de los animales de sangre caliente.

b) Existen en las heces en una proporción de 300 millones por gramo de heces (algunas bacterias del grupo también se originan en el suelo o en los vegetales).

c) Debido a la prevalencia de los elementos del grupo coliforme en las aguas residuales, estos pueden ser rápidamente aislados en el agua recientemente contaminada por materia fecal.

De lo anterior se deduce que si el agua está contaminada por materia fecal, los agentes de enfermedades transmitidos por vía hídrica también podrán estar presentes en ella.

d) La ausencia de coliformes es prueba de que el agua es potable desde el punto de vista bacteriológico.

5.5 Características de los coliformes

Las bacterias del grupo coliforme se encuentran en el intestino, en las heces humanas y en las de animales de sangre caliente. Se denomina *organismos coliformes* a las bacterias gramnegativas en forma de bastoncillos, no esporuladas, aerobias y anaerobias facultativas y oxidasa negativa, capaces de crecer en presencia de sales biliares u otros compuestos tensoactivos; fermentan la lactosa a temperaturas de 35 ^{o}C a 37 ^{o}C con producción de ácido, gas y aldehído entre 24 y 48 horas. Pertenecen a este grupo los siguientes géneros: *Escherichia, Citrobacter, Enterobacter* y *Klebsiella*.

5.6 Investigación de coliformes en el agua

Método de los tubos múltiples

Se efectúa mediante tres pruebas: presuntiva, confirmativa y completa.

a) Prueba presuntiva: consiste en colocar volúmenes determinados de muestra en una serie de tubos que contengan caldo lauril triptosa y son incubados a 35 ± 0,5 °C durante 24-48 horas. En esta prueba, la actividad metabólica de las bacterias es estimulada vigorosamente y ocurre una selección inicial de organismos que fermentan la lactosa con producción de gas.

b) Prueba confirmativa: consiste en transferir un inóculo de cada tubo positivo de la prueba presuntiva a tubos que contengan caldo de lactosa verde brillante bilis 2% e incubados posteriormente a 35 ± 0,5 °C durante 24-48 horas. Esta prueba reduce la posibilidad de resultados falsos positivos que pueden ocurrir por la actividad metabólica de bacterias formadoras de esporas. La formación de gas, el enturbiamiento y la fermentación dentro del lapso de 24 a 48 horas constituyen una prueba confirmativa de la presencia de coliformes. Los resultados se expresan en términos de Número Más Probable (NMP) de microorganismos.

c) Prueba completa: consiste en el traspaso de colonias provenientes de réplicas obtenidas en placas de agar Mac Conkey a tubos de caldo de lactosa y de agar inclinado.

Prueba para determinar los coliformes fecales (termotolerantes): se realiza a partir de tubos con caldo lauril triptosa positivo; se inocula en un medio EC con un asa de inoculación y se incuba en baño María a 44,5 ± 0,2 °C durante 24 horas.

5.7 Investigación de bacterias aerobias, en un medio de agar patrón u otro similar (en el agua)

Técnica: se cultiva un mililitro de agua (directamente) o un mililitro de agua diluida (diluciones decimales), en una placa Petri esterilizada. Se vierte el agar patrón u otro agar específico para el recuento de bacterias heterotróficas, fundido y enfriado a 46 °C.

Se incuba a 35 °C por 24 a 48 horas o a 20 °C a 48 horas.

Observación: las aguas cloradas necesitan 35 °C durante 48 horas.

Se cuentan las colonias con la ayuda de un lente de aumento o de un contador de colonias. Esto se expresa en número de coliformes por mililitro.

5.8 Estimación del Número Más Probable de coliformes (NMP)

El Número Más Probable (NMP) es el cálculo de la densidad probable de bacterias coliformes en la combinación de resultados positivos y negativos obtenidos en cada dilución. La precisión de cada prueba depende del número de tubos utilizados. Son necesarias tres diluciones para la obtención del código del NMP. Las tablas de NMP se basan en la hipótesis de una dispersión de Poisson (dispersión aleatoria). Sin embargo, si la muestra no se ha agitado adecuadamente antes de hacer las porciones o si existe agrupamiento de bacterias, el valor de NMP podrá resultar mayor que el número real de densidad bacteriana. La densidad bacteriana se obtiene a través de la fórmula facilitada o a través de tablas en las que se presenta el límite de confianza de 95% para cada valor determinado y se expresa como NMP de coliformes/100 mL.

$$\textit{Valor de NMP en la tabla} = \frac{10}{\textit{volumen de dilución inicial}} = \frac{NMP}{100\ mL}$$

6. NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA PARA EL CONSUMO DESDE EL PUNTO DE VISTA BACTERIOLÓGICO

Las siguientes son algunas de las normas de calidad del agua de bebida de algunos países latinoamericanos (Argentina, Bolivia, Brasil, Guatemala, Nicaragua y Perú) que han incorporado los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) como valores específicos para sus normas nacionales. Se han extraído del sitio web del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (para ver la tabla completa, puede ingresar al sitio web: http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas.html), donde se hace la siguiente advertencia: "(1) No siempre se han obtenido las normas de los documentos oficiales de los países, por lo que los valores presentados pueden contener incorrecciones. Los presentes no son datos oficiales. (2) Si bien se ha tratado de colocar las últimas normas de cada país, es posible que existan versiones más actualizadas […]. Algunos parámetros tienen valores muy distintos cuando comparados entre las distintas normas. Ello se debe a la forma de obtención del límite y (en unos pocos casos) a la forma de expresión de su concentración". En la tercera columna se presentan, como punto de referencia, los valores guía de la OMS.

Tabla 1

Parámetro	Unidad	OMS	Argentina	Bolivia	Brasil	Guatemala	Nicaragua	Perú
Año		1995	1994	1997	1990	1998	1994	1999
Origen		Valores guía	Código alimentario	IBNORCA NB512	Portaria 36-GM	NGO 29001	CAPRE	DIGESA (propuesta)
Microbiológicos								
Coli. fecales o E. Coli	UFC/100 mL	0	0	0	0	< 2,2	0	0
Coliformes totales	UFC/100 mL	0	£ 3	0	0	< 2,2	£ 4	0
Bact. heterotróficas	UFC/mL	-	-	-	-	-	-	500
Químicos de importancia para la salud								
Inorgánicos								
Antimonio	mg/L	0,005	-	0,05	-	-	0,05	0,005
Arsénico	"	0.01	0,005	0,05	0,05	0,05	0,01	0,05
Bario	"	0,7	-	1	1	1	-	1
Boro	"	0,3	-	-	-	1	-	-
Cadmio	"	0,003	0,005	0,005	0,005	0,01	0,05	0,005
Cianuro	"	0,07	0,1	0,02	0,1	0,05	0,05	0,07
Cobre	"	2	1	0,05	1	1,5	2	1
Cromo	"	0,05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Fluoruro	"	1,5	1,7	1,5	Variable	1,7	1,5	1,5
Manganeso	"	0,5	0,1	0,3	0,1	0,5	0,5	0,5
Mercurio	"	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
Molibdeno	"	0,07	-	-	-	-	-	-
Níquel	"	0,02	-	0,05	-	0,02	0,05	0,05
Nitrato	"	50	45	-	10	45	50	10
Nitrito	"	3	0,1	0,05	-	0,01	1	0,9
Plomo	"	0,01	0,05	0,01	0,05	0,1	0,01	0,05
Selenio	"	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Orgánicos								
Tetracloruro de carbono	mg/L	2	3	-	3	-	2	-
Diclorometano	"	20	-	-	-	-	20	-
1.1 dicloroetano	"	NDS	0,3	-	-	-	-	-
1.2 dicloroetano	"	30	10	-	10	-	30	-
1.1.1 tricloroetano	"	2.000	-	-	-	-	2.000	-
Cloruro de vinilo	"	5	2	-	-	-	5	-
1.1 dicloroeteno	"	30	-	-	0,3	-	30	-
1.2 dicloroeteno	"	50	-	-	-	-	50	-
tricloroeteno	"	70	-	-	30	-	70	-
tetracloroeteno	"	40	-	-	10	-	40	-
benceno	"	10	10	-	10	-	-	-
tolueno	"	700	-	-	-	-	700	-
xilenos	"	500	-	-	-	-	500	-
etibenceno	"	300	-	-	-	-	300	-
estireno	"	20	-	-	-	-	20	-
benzopireno	"	0,7	0,01	-	0,01	-	0,07	-
monoclorobenceno	"	300	3	-	-	-	300	-

Parámetro	Unidad	OMS	Argentina	Bolivia	Brasil	Guatemala	Nicaragua	Perú
1.2 diclorobenceno	"	1.000	500	-	-	-	1,000	-
1.3 diclorobenceno	"	NDS	-	-	-	-	-	-
1.4 diclorobenceno	"	300	400	-	-	-	300	-
Triclorobenceno	"	20	-	-	-	-	20	-
Adipato de di (2 etihexilo)	"	80	-	-	-	-	80	-
Ftalato de (2 etilbexilo)	"	8	-	-	-	-	8	-
Acrilamida	"	0.5	-	-	-	-	0,5	-
Epiclorhidrina	"	0.4	-	-	-	-	0,4	-
Hexaclorobutadieno	"	0,6	-	-	-	-	0,5	-
EDTA	"	200	-	-	-	-	200	0
Ac. nitrilotriacético	"	200	-	-	-	-	200	-
Óxido de tributilestaño	"	2	-	-	-	-	2	-
Plaguicidas								
Alacloro	mg/L	20	-	-	-	-	20	-
Aldicarb	"	10	-	-	-	-	10	-
Aldrina/dieldina	"	0,03	0,03	-	0,03	17	0,03	0,03
Atrazina	"	2	-	-	-	-	2	-
Bentazona	"	30	-	-	-	-	30	-
Carbofurano	"	5	-	-	-	-	5	-
Clordano	"	0,2	0,3	-	0,3	3	0,2	0,3
DDT	"	2	1	-	1	50	2	1
2,4 D	"	30	100	-	100	100	30	50
1,2 dicloropropano	"	20	-	-	-	-	20	-
1,3 dicloropropano	"	20	-	-	-	-	20	-
Heptacloro y HCI-epóxido	"	0,03	0,1	-	0,01	18	0,03	0,03
Hexaclorobenceno	"	1	0,01	-	0,01	-	-	0,01
Lindano	"	2	3	-	3	56	2	2
Metoxicloro	"	20	30	-	30	35	20	20
Metolacloro	"	10	-	-	-	-	10	-
Molinato	"	6	-	-	-	-	6	-
Pendimetalina	"	20	-	-	-	-	20	-
Pentaclorofenol	"	9	10	-	10	-	9	-
Permetrina	"	20	-	-	-	-	20	-
Fenoprop	"	9	-	-	-	-	-	-
2,4,5 T	"	9	-	-	-	100	9	-
Desinfectantes y productos secundarios								
Monocloramina	mg/L	3	-	-	-	-	4,000	-
Cloro aplicado	"	5	-	-	-	-	5	-
Cloro residual	"	-	0,2	-	0,2	1	0,5	-
Plata	"	-	0,05	-	0,05	0,05	-	-

Parámetro	Unidad	OMS	Argentina	Bolivia	Brasil	Guatemala	Nicaragua	Perú
Bromato	"	25	-	-	-	-	25	-
Clorito	"	200	-	-	-	-	200	-
2,4,6 triclorofenol	"	200	10	-	10	-	200	-
Formaldehído	"	900	-	-	-	-	900	-
Trihalometanos	"	Nota	100	-	100	-	-	200
Bromoformo	"	100	-	-	-	-	100	-
Dibromoclorometano	"	100	-	-	-	-	100	-
Cloroformo	"	200	-	-	-	-	200	-
Radiactivos								
Radiactividad alfa global	Bq/L	0,1	-	0,1	-	-	-	-
Radiactividad beta global	"	1	-	1	-	-	-	-
Sustancias que pueden producir quejas en los usuarios								
Color	UCV	15	5	15	5	50	15	15
Olor	Varias	sin	sin	-	No obj.	No rechaz.	25°	Acept.
Sabor	Varias	-	sin	-	No obj.	No rechaz.	25°	Acept.
Turbidez	UNT	5	3	5	1	25	5	3
Temperatura	°C	-	-	-	-	34	30	-
Conductividad	m S/cm	-	-	-	-	-	400	1,500
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Amoniaco	"	1,5	0,2	0,05	-	-	0,5	0,5
Cloruro	"	250	350	250	250	600	250	400
Dureza	"	-	400	500	500	500	400	500
Calcio	"	-	-	200	-	200	100	-
Magnesio	"	-	-	150	-	150	50	-
Hierro	"	0,3	0,3	0,3	0,3	1	0,3	0,3
pH	Unidad	-	8,5	8,5	8,5	9,2	8,5	8,5
Sodio	mg/L	200	-	200	-	-	200	-
Sulfato	"	250	400	300	400	400	250	400
Alcalinidad total	"	-	-	370	-	-	-	-
Detergentes	"	-	0,5	-	0,2	1	-	0,5
Sulfuro de hidrógeno	"	0,05	-	-	0,2	-	0,5	-
Sólidos disueltos totales	"	1,000	1,500	1,000	1,000	1,500	1,000	-
Zinc	"	3	5	5	5	15	3	3
Tolueno	mg/L	170	-	-	-	-	-	-
Xileno	"	1,800	-	-	-	-	-	-
Etilbenceno		200	-	-	-	-	-	-
Monoclorobenceno	"	120	-	-	-	-	-	-
Triclorobencenos (total)	"	50	-	-	-	-	-	-

Fuente: CEPIS (http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas.html), octubre del 2001.

6.1 Tablas sobre el Número Más Probable de coliformes/100 mL

Tabla 2

Prueba de potabilidad para 5 porciones de 10 mL

Número de porciones		NMP coliformes/100 mL
Negativas	Positivas	
5	0	< 2,2
4	1	2,2
3	2	5,1
2	3	9,2
1	4	16,0
0	5	>16,0

Tabla 3

Tabla de N.os Más Probables (NMP) y límites de confianza de 95% para varias combinaciones de resultados positivos usando tubos con volúmenes de 10, 1 y 0,1 mL

5 tubos de 10 mL	5 tubos de 1 mL	5 tubos de 0,1 mL	NMP /100 mL	Límites de NMP	
				Inferior	Superior
0	0	0	<2	-	-
0	0	1	2	1	10
0	1	0	2	1	10
0	2	0	4	1	13
1	0	0	2	1	11
1	0	1	4	1	15
1	1	0	4	1	15
1	1	1	6	2	18
1	2	0	6	2	18
2	0	0	4	1	17
2	0	1	7	2	20
2	1	0	7	2	21
2	1	1	9	3	24
2	2	0	9	3	25
2	3	0	12	5	20
3	0	0	8	3	24
3	0	1	11	4	29
3	1	0	11	4	25
3	1	1	14	6	35
3	2	0	14	6	35
3	2	1	17	7	40
4	0	0	13	5	38
4	0	1	17	7	45
4	1	0	17	7	46
4	1	1	21	9	55
4	1	2	26	12	63
4	2	0	22	9	56
4	2	1	26	12	65
4	3	0	27	12	67
4	3	1	33	15	77
4	4	0	34	16	80
5	0	0	23	9	86
5	0	1	30	10	110
5	0	2	40	20	140

5 tubos de 10 mL	5 tubos de 1 mL	5 tubos de 0,1 mL	NMP /100 mL	Límites de NMP	
				Inferior	Superior
5	1	0	30	10	120
5	1	1	50	20	150
5	1	2	60	30	180
5	2	0	50	20	170
5	2	1	70	30	210
5	2	2	90	40	250
5	3	0	80	30	250
5	3	1	110	40	300
5	3	2	140	60	360
5	3	3	170	80	410
5	4	0	130	50	390
5	4	1	170	70	480
5	4	2	220	100	580
5	4	3	280	120	690
5	4	0	350	160	820
5	5	0	240	100	940
5	5	1	300	100	1.300
5	5	2	500	200	2.000
5	5	3	900	300	2.900
5	5	4	1,600	600	5.300
5	5	5	>1,600	--	--

7. TIPOS DE EXÁMENES BACTERIOLÓGICOS QUE PODRÍAN REALIZARSE EN EL LABORATORIO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

7.1 Colimetría (pruebas presuntiva y confirmativa)

a) en el agua de la fuente, se realiza un examen mensual como mínimo;
b) en el agua tratada y clorada (salida de la estación), el examen debe ser diario, y
c) en el agua presente en los distintos puntos de la red, el examen también debe ser diario.

7.2 Conteo de colonias en placas (agar patrón)

Se realiza en las distintas fases de tratamiento del agua: en fuente, decantada, filtrada y clorada, para que el operador pueda controlar la eficacia del tratamiento y el estado de filtros y decantadores en cuanto a higiene; estas determinaciones podrían efectuarse cada dos días.

7.3 Otras técnicas bacteriológicas para el examen del agua

Además de la investigación de coliformes en el agua por el método de los tubos múltiples, se realizaron determinaciones mediante la técnica de las membranas filtrantes, pruebas bioquímicas y por microscopía de inmunofluorescencia, etcétera.

8. OTROS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

8.1 Estreptococos fecales

Además de los coliformes, también podemos examinar los estreptococos fecales en el agua. Estos organismos existen en menor cantidad que los coliformes en las heces de origen humano y no se multiplican en el agua.

9. APÉNDICE

9.1 Ficha para la toma de muestras de agua para el análisis bacteriológico

Identificación (numeración) y datos complementarios
Lugar de toma de la muestra .....
Fecha y hora de la toma .....
Fecha de ingreso en el laboratorio .....
Temperatura ambiente .....
Temperatura del agua .....
Lluvia (en las 24 horas previas) .....

1. Cuando las muestras provienen de un pozo, se debe indicar:

Profundidad .....
Edad del pozo .....
Condiciones higiénicas del lugar .....
Tipo de pozo .....
Capacidad del pozo .....
¿Existen fosas negras en las cercanías? .....

2. Cuando las muestras son de origen superficial, se debe indicar:

Origen (río, riachuelo, arroyo, etcétera) .....
Caudal (cuando sea posible) .....
¿Hay vertimiento de desagües aguas arriba? .....
¿A qué distancia? .....

3. Cuando la muestra proviene de una planta de tratamiento de agua, se debe indicar lo siguiente:

Fuente .....
Sistema de purificación: sulfato de aluminio, sulfato de cobre, carbón activado, ozono, cloro, etcétera .....
Sistema de filtración (lento, rápido, bajo presión) .....
Cloro residual en el agua de consumo .....
Condiciones higiénicas del depósito de distribución.....
¿Hay quejas sobre la calidad del agua? .....
¿Hay enfermedades de origen hídrico en las localidades vecinas?
Observaciones .....
Nombre del colector .....

10. FÓRMULAS DE MEDIOS DE CULTIVO Y DE COLORANTES

a) Caldo de lauril triptosa

Triptosa	20,0 g
Lactosa	5,0 g
Fosfato de hidrógeno dipotasio (K_2HPO_4)	2,75 g
Fosfato de dihidrógeno potasio (KH_2PO_4)	2,75 g
Cloruro de sodio (NaCl)	5,0 g
Lauril sulfato de sodio	0,1 g
Agua destilada	1 L

b) Caldo de lactosa con verde brillante bilis 2%

Disuelva 10 g de peptona y 10 g de lactosa en no más de 500 mL de agua destilada. Junte 20 g de bilis (de buey) deshidratada previamente en 200 mL de agua destilada disuelta.

Dicha solución deberá tener un pH entre 7,0 y 7,5. Complete con el agua destilada hasta obtener cerca de 975 mL. Adapte el pH para 7,4. Junte 13,3 mL de una solución a 0,1% de verde brillante en agua destilada. Complete el volumen hasta llegar a un litro y filtre a través de algodón. Distribuya, mediante tubos de fermentación Durham, en tubos mayores en un volumen de 10 mL por cada uno y esterilice a 121 °C durante 15 minutos.

Si hubiera dificultades en obtener buenos ingredientes para preparar este medio, se recomienda el uso del medio deshidratado proporcionado por un fabricante idóneo.

c) Agar Mac Conkey

Peptona	17 g
Proteosa peptona	3 g
Lactosa	10 g
Sales biliares n.° 3	1,5 g
Cloruro de sodio	5 g
Agar	13,5 g
Rojo neutro	0.03 g
Violeta cristal	0,001 g
Agua destilada	1.000 mL

d) Medio EC

Triptona	20 g
Lactosa	5 g
Mezcla de sales biliares n.° 3	1,5 g
Fosfato bipotásico	4 g
Cloruro de sodio	5 g
Agua destilada	1.000 mL

Caliente hasta que los ingredientes se diluyan, sin que hiervan. Distribuya, mediante tubos de fermentación Durham, en tubos, 5 mL por cada uno, y esterilice como ya se ha especificado.

e) Colorantes para el método Gram (modificación de Hucker)

- **Cristal violeta oxalatado**

Disuelva 2 g de cristal violeta (proporción en colorante de 85%) en 20 mL de alcohol etílico a 95% y mezcle con 80 mL de una solución acuosa a 10% de oxalato de amoníaco. Esta fórmula a veces produce una coloración muy intensa y algunos gérmenes gramnegativos no se decoloran bien. Entonces se puede diluir la solución de cristal violeta, hasta 10 veces en alcohol de 95% y mezcle volumen a volumen con la solución de oxalato.

- **Solución de Lugol**

Disuelva un gramo de yodo y 2 de yoduro de potasio en 300 mL de agua destilada.

- **Solución de safranina**

Disuelva 0,25 g de safranina en 10 mL de alcohol etílico de 95% y mezcle con 100 mL de agua destilada.

f) Agua de dilución

Solución madre: 34,0 g (fosfato de hidrógeno y potasio) KH_2PO_4
500 mL de agua destilada

adapte el pH a 7,2 con NaOH-1 N (complete hasta un litro, con agua destilada), guarde en la congeladora.

Agua de dilución: 1,25 mL de la solución en un litro de agua destilada. Distribuya en tubos de 9 mL o en frascos de 90 mL $\pm$ 2mL. Utilice el autoclave a 121 °C durante 15 minutos. (*Observación:* a veces se necesita aumentar volúmenes mayores de agua porque durante la operación realizada en el autoclave se pierde.)

Recomendación: todos los reactivos utilizados en bacteriología deben ser químicamente puros y adecuados para fines biológicos.

11. CUIDADO DEL MATERIAL

a) *Material de vidrio:* debe ser rigurosamente limpiado y esterilizado en la estufa, a 170 °C, durante dos horas o en autoclave a 121 °C, 15 libras de presión durante 15 minutos.

b) *Medios de cultivo y agua de dilución:* se llevan al autoclave según instrucciones especiales del fabricante. Debe haber cuidado al desconectar el autoclave para que el medio no entre en ebullición; en ese caso, sería inutilizable. Los medios no deberán sufrir un sobrecalentamiento.

CAPÍTULO 8

TRATAMIENTO DE AGUA

1. NORMAS DE AGUA POTABLE

Las normas de agua potable indican o fijan límites generales aceptables para las impurezas de las aguas que están destinadas al abastecimiento público (condiciones mínimas de calidad física, química y bacteriológica).

Los normas de agua potable no se deben considerar como un criterio para evaluar o controlar la operación de las plantas de tratamiento de agua sino como especificaciones generales para la aceptación del producto. Cuando el tratamiento de las aguas está bien controlado, se pueden obtener mejores resultados que los establecidos en las normas.

1.1 *Guías para la calidad del agua potable*. Organización Mundial de la Salud, 1998

Tabla 1

CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA DE BEBIDA

ORGANISMOS	GUÍAS
a) Todo tipo de agua de bebida *E. Coli* o bacterias coliformes termotolerantes.*	No deben ser detectadas en ninguna muestra de 100 mL.

ORGANISMOS	GUÍAS
b) Agua tratada que ingresa al sistema de distribución *E. Coli* o bacterias coliformes termotolerantes.* Bacterias coliformes totales.	No deben ser detectadas en ninguna muestra de 100 mL.
c) Agua tratada en el sistema de distribución *E. Coli* o bacterias coliformes termotolerantes* Bacterias coliformes totales.	No deben ser detectadas en ninguna muestra de 100 mL. No deben ser detectadas en ninguna muestra de 100 mL. En el caso de grandes abastecimientos, en donde se haya examinado un número suficiente de muestras, no deben estar presentes en el 95% de las muestras recolectadas a lo largo de un periodo de 12 meses.

* Si se detectan bacterias *E. Coli* o coliformes totales, la situación debe investigarse de inmediato. La mínima medida que se debe adoptar en el caso de coliformes totales es repetir el muestreo; si la bacteria se detecta en la nueva muestra, debe determinarse de inmediato el origen de la contaminación mediante una investigación más profunda.

No obstante que la *E. Coli* es el indicador de contaminación fecal más preciso, el conteo de bacterias coliformes termotolerantes es una alternativa aceptable. Si fuera necesario, deben desarrollarse pruebas confirmativas apropiadas. Las bacterias coliformes totales no son un indicador aceptable de la calidad sanitaria de los sistemas rurales de abastecimiento de agua, particularmente en áreas tropicales, donde muchas bacterias no tienen significación sanitaria, pues se presentan en casi todos los sistemas de abastecimiento que carecen de tratamiento.

Se admite que en la gran mayoría de los sistemas rurales de abastecimiento de agua de los países en desarrollo, la contaminación fecal está diseminada. En estas condiciones, la agencia nacional de vigilancia deberá establecer metas de mediano plazo para la progresiva mejora del agua de bebida.

Los siguientes son ejemplos comunes de niveles de contaminación altamente indeseables, encontrados inclusive en abastecimientos protegidos: el agua de un manantial protegido sin cloración puede contener 10 coliformes fecales por cada 100 mL de agua y el agua superficial protegida puede dar un recuento de más de 1.000 coliformes fecales por cada 100 mL.

Por razones de simplicidad, para sistemas de abastecimiento en pequeñas comunidades, las guías de calidad del agua potable se limitan al análisis microbiológico del grupo coliforme, ya que este grupo es mejor conocido y de medición relativamente fácil. Normalmente, cuando se detectan bacterias coliformes en el agua se halla información adecuada para tomar las decisiones necesarias respecto a medidas correctivas, particularmente si se cuenta también con los resultados de una inspección sanitaria realizada paralelamente.

En abastecimientos de agua sin tratamiento ni cloración, provenientes de aguas superficiales o de aguas de pozos superficiales o profundos, la sola detección de coliformes fecales puede servir generalmente como una guía adecuada para determinar la presencia de organismos patógenos en el agua y tomar las medidas que correspondan.

La Tabla 2 presenta una serie de medidas correctivas y preventivas, recomendadas para la protección de las fuentes de agua y para el modo de abastecimiento.

Tabla 2
Químicos inorgánicos de significación para la salud en el agua de bebida

Inorgánicos	Valor guía (mg/L)	Observaciones
Antimonio	0,005	(P)
Arsénico	0,01*	(P) Grado de riesgo de ocurrencia de cáncer a la piel de 6(10)-4. Se acumula en el organismo y puede causar efectos tóxicos.
Bario	0,7	
Berilio	--	No hay información adecuada para establecer un valor guía.
Boro	0,3	
Cadmio	0,003	Efecto tóxico, afecta el riñón y el aparato circulatorio.
Cromo	0,05	(P) Principalmente, el hexavalente es tóxico y potencialmente carcinógeno.
Cobre	2	ATO (P)
Cianuro	0,07	Inhibe el metabolismo del oxígeno.
Fluoruro	1,5	Concentraciones altas afectan la dentadura y los huesos. Puede producirse una fluorosis endémica.
Plomo	0,01	Altamente tóxico. Se acumula en el organismo.
Manganeso	0,5	ATO (P)
Mercurio (total)	0,001	Tiene efectos tóxicos. Se acumula en el organismo. Afecta principalmente las glándulas salivares y renales, las funciones psicológicas y psicomotoras.
Molibdeno	0,07	
Níquel	0,02	
Nitrato(como NO^-_3) Nitrito (como NO^-_2)	50 3	La relación de la suma de las concentraciones de cada uno con su respectivo valor guía no deberá exceder de 1 (P).
Selenio	0,01	
Uranio	--	NIA

Notas

ATO Concentraciones de la sustancia menores o iguales al valor guía, sobre la base de criterios de salud, pueden afectar el olor o sabor del agua.

NIA No hay información adecuada para recomendar y establecer un valor guía sobre la base de criterios de salud.

(P) Valores guía provisionales. Este término se usa en constituyentes para los cuales hay alguna evidencia de riesgo potencial. La información disponible se limita a efectos en la salud donde un factor de incertidumbre mayor de 1.000 se emplea en la deducción del límite de ingestión diaria tolerable (TDI). También se recomiendan valores guía provisionales: (1) para aquellas sustancias en las cuales el valor guía calculado podría ser: a) más bajo que el nivel práctico de cuantificación, b) más bajo que el nivel que se puede alcanzar mediante los métodos de tratamiento utilizados en la práctica, o (2) cuando la desinfección puede influir haciendo exceder el valor guía.

* Para sustancias que se consideran carcinogénicas, el valor guía es la concentración en el agua de bebida, con un grado de riesgo de cáncer durante el periodo de vida de 10^{-5} (un caso adicional de cáncer en una población de 100.000 que ingiere el agua de bebida con un contenido de la sustancia igual al valor guía, durante 70 años).

Tabla 3
Químicos orgánicos de significación para la salud en el agua de bebida

Orgánicos	Valor guía (µg/L)	Observaciones
Alcanos clorados		
Tetracloruro de carbono	2	
Diclorometano	20	Grado de riesgo de 10^{-5}.
1,1-dicloroetano	--	NIA
1,2-dicloroetano	30*	
1,1,1-tricloroetano	2.000	(P) ATO

Orgánicos	Valor guía (µg/L)	Observaciones
Etenos clorados		
Cloruro de vinilo	5	Grado de riesgo de 10^{-5}.
1,1-dicloroeteno	30*	
1,2-dicloroeteno	50	
Tricloroeteno	70	(P)
Tetracloroeteno	40	
Hidrocarburos aromáticos		
Benceno	10*	Grado de riesgo de 10^{-5}.
Tolueno	700	ATO
Xilenos	500	ATO
Etilbenceno	300	ATO
Estireno	20	
Benzopireno	0,7*	Grado de riesgo de 10^{-5}.
Bencenos clorados		
Monoclorobenceno	300	ATO
1,2-diclorobenceno	1.000	ATO
1,3-diclorobenceno	--	NIA
1,4-diclorobenceno	300	ATO
Triclorobencenos (total)	20	ATO
Orgánicos misceláneos		
Adipato de di-2-etilhexil	80	
Ftalato de di-2-etilhexilo	8	
Acrilamida	0,5*	Grado de riesgo de 10^{-5}.
Epiclorhidrina	0,4	(P)
Hexaclorobutadieno	0,6	
(EDTA) ácido edético	200	
Ácido nitrilotriacético	200	
Dialquilos de estaño	--	NIA
Óxido de tributilestaño	2	

Plaguicidas	Valor guía (µg/L)	Observaciones
Alacloro	20*	Grado de riesgo de 10^{-5}.
Aldicarb	10	
Aldrina/dieldrina	0,03	
Atrazina	2	
Bentazona	30	
Carbofurano	5	
Clordano	0.20	
Clorotolurón	30	
DDT	2	
1,2-dibromo-3-cloropropa-no	1*	Grado de riesgo de 10^{-5}.
2,4-D	30	
1,2-dicloropropano	20	(P)
1,3-dicloropropano	--	NIA
1,3-dicloropropeno	20*	Grado de riesgo de 10^{-5}.
Dibromuro de etileno	--	NIA
Heptacloro y heptacloroepóxido	0,03	
Hexaclorobenceno	1*	Grado de riesgo de 10^{-5}.
Isoproturón	9	(P)
Lindano	2	
MCPA	2	
Metoxicloro	20	
Metolacloro	10	
Molinato	6	
Pendimetalina	20	
Pentaclorofenol	9	
Permetrina	20	
Propanil	20	
Piridato	100	
Simazina	2	
Trifluralina	20	

HERBICIDAS		OBSERVACIONES
Fenóxidos distintos del 2,4-D y el MCPA		
Fenoprop	9	
Dicloropropano	100	
2,4-DB	90	
2,4,5-T	9	
Mecoprop	10	
MCPB	--	NIA
DESINFECTANTES	**VALOR GUÍA (mg/L)**	**OBSERVACIONES**
Monocloramina	3	
Di- y tricloramina	--	NIA
Cloro	5	ATO Para una desinfección efectiva se debe tener un cloro libre residual > 0,5 mg/L después de por lo menos 30 min de tiempo de contacto a pH < 8,0.
Dióxido de cloro		No se ha establecido un valor guía porque el dióxido de cloro rápidamente baja y porque el valor guía de clorito es una protección adecuada para el potencial de toxicidad del dióxido de cloro.
Yodo		NIA
PRODUCTOS SECUNDARIOS DE LA DESINFECCIÓN	**VALOR GUÍA (µg/L)**	**OBSERVACIONES**
Bromato	25*	(P) Grado de riesgo de $7(10)^{-5}$.
Clorito	200	(P)
Clorato	--	NIA
Clorofenoles		
2-clorofenol	--	NIA
2,4-diclorofenol	--	NIA
2,4,6-triclorofenol	200*	Grado de riesgo de $7(10)^{-5}$.
Formaldehído	900	
MX		NIA

Trihalometanos		La relación de la suma de las concentraciones de cada uno con su respectivo valor guía no deberá exceder de 1.
Bromoformo	100	
Dibromoclorometano	100	
Bromodiclorometano	60*	Grado de riesgo de 10^{-5}.
Cloroformo	200*	Grado de riesgo de 10^{-5}.
Ácidos acéticos clorados		
Ácido monocloroacético	--	NIA
Acido dicloroacético	50	(P)
Ácido tricloroacético	100	(P)
Hidrato clorado (tricloroacetaldehído)	10	(P)
Cloroacetona	--	NIA
Acetonitrilos halogenados		
Dicloroacetonitrilo	*90*	
Dibromoacetonitrilo	100	
Bromocloroacetonitrilo	--	NIA
PRODUCTOS SECUNDARIOS DE LA DESINFECCIÓN	**VALOR GUÍA (µg/L)**	**OBSERVACIONES**
Tricloroacetonitrilo	1	(P)
Cloruro de cianógeno (como CN)	70	
Cloropicrina	--	NIA

Notas

ATO Concentraciones de la sustancia menores o iguales al valor guía, sobre la base de criterios de salud, pueden afectar el olor o sabor del agua.

NIA No hay información adecuada para recomendar y establecer un valor guía sobre la base de criterios de salud.

(P) Valores guía provisionales. Este término se usa en constituyentes para los cuales hay alguna evidencia de riesgo potencial. La información disponible se limita a efectos en la salud donde un factor de incertidumbre mayor de 1.000 se emplea en la deducción del límite de ingestión diaria tolerable (TDI). También se recomiendan valores guía provisionales: (1) para aquellas sustancias en las cuales el valor guía calculado podría ser: a) más bajo que el nivel práctico de cuantificación, b) más bajo que el nivel que se puede alcanzar mediante los métodos de tratamiento utilizados en la práctica, o (2) cuando la desinfección puede incluir haciendo exceder el valor guía.

* Para sustancias que se consideran carcinogénicas, el valor guía es la concentración en el agua de bebida, con un grado de riesgo de cáncer durante el periodo de vida de 10^{-5} (un caso adicional de cáncer en una población de 100.000 que ingiere el agua de bebida con un contenido de la sustancia igual al valor guía, durante 70 años).

2. MÉTODOS GENERALES DE TRATAMIENTO

2.1 Objetivos del tratamiento

Los objetivos del tratamiento para mejorar la calidad del agua de abastecimiento son de los siguientes tipos:

Higiénico: remover bacterias y elementos venenosos o nocivos, así como resolver la mineralización excesiva y las concentraciones elevadas de compuestos orgánicos, protozoarios y otros microorganismos.

Estético: corregir el color, la turbidez, el olor y el sabor.

Económico: reducir la corrosividad, la dureza, el color, la turbidez; reducir las concentraciones de hierro y manganeso; resolver problemas de olor y sabor, etcétera.

2.2 Procesos de tratamiento

Los procesos de tratamiento son los siguientes:

- aeración;
- coagulación;
- floculación;
- decantación o sedimentación;
- filtración;
- tratamiento por contacto;
- corrección de la dureza;
- desinfección;
- sabor y olor;
- control de la corrosión, y
- cloración.

3. AERACIÓN DEL AGUA

3.1 Introducción

La aeración es el proceso de tratamiento mediante el cual se incrementa el área de contacto del agua con el aire para facilitar el intercambio de gases y sustancias volátiles.

La aeración se realiza por tres razones:

1) Remoción de gases disueltos:

a) Gas carbónico presente en el agua en forma natural;

b) gas sulfhídrico proveniente de la putrefacción o fermentación de los depósitos orgánicos putrescibles o fermentables del fondo de los reservorios;

c) cloro en exceso (proveniente de la supercloración).

2) Introducción del oxígeno del aire en el agua:

a) Para oxidar el fierro y el manganeso, cuya remoción se realiza mediante la decantación y filtración (de esta manera también se reduce el sabor debido al hierro y al manganeso);

b) para añadir oxígeno en el agua hervida o destilada.

3) Remoción de sustancias causantes de sabores y olores:

a) Sustancias oleaginosas provenientes de algas y otros organismos (cuando son volátiles);

b) gas sulfhídrico;

c) sabores debidos al hierro y al manganeso;

d) descomposición de la materia orgánica (quema).

Cuando se remueve el gas carbónico o se reduce la tendencia corrosiva del agua y el consumo de alcalis, se obtiene un aumento del pH. En la práctica, es imposible la reducción por aeración de todo gas carbónico presente en el agua debido a que el gas carbónico del aire también puede disolverse.

La remoción del gas sulfhídrico por aeración es lo suficientemente eficaz para reducir los olores, sabores y demanda del cloro.

3.2 Principales tipos de aeradores

1) Aeradores de gravedad: son los siguientes:

a) Aeradores de cascada: el principio general consiste en esparcir el agua al máximo y dejarla correr sobre obstáculos para producir turbulencia. La estructura más simple es la de escaleras, las cuales esparcen el agua y permiten la caída de un nivel a otro.

b) Aeradores de bandejas: consisten en una serie de bandejas con hendiduras o perforaciones o con un fondo de malla de alambre sobre las cuales se distribuye el agua para que caiga en un estanque de recolección. Algunos aeradores de este tipo están dotados de un lecho grueso de trozos de carbón o bolas de cerámica, cuyo espesor varía de 5 a 15 centímetros y que se coloca en las bandejas para lograr mayor eficacia y producir mayor turbulencia. Los lechos gruesos son eficaces, especialmente cuando se utilizan como auxiliares catalizadores de las reacciones de oxidación, para causar la precipitación del óxido de fierro y el manganeso (pirolusita).

2) Aeradores de aire difuso: por lo general, son tanques rectangulares de concreto con tubos perforados o placas porosas u otros dispositivos que se encuentran cerca del fondo y a través de los cuales el aire comprimido se inyecta en el sistema. Como resultado, se producen burbujas de aire que aumentan el contacto entre el agua y el aire.

La cantidad de aire que se requiere depende de la finalidad de la aeración.

3) Aeradores de aspersión: están compuestos por boquillas colocadas en un tubo de distribución. Los aeradores de aspersión poseen un valor estético y agradan al público (son fuentes luminosas). Necesitan un área grande y por ello no son económicos. Son los aeradores más eficaces para el intercambio de gases y sustancias volátiles.

3.3 Control del proceso de aeración

El control del proceso de aeración consiste en determinar la concentración de oxígeno disuelto, gas carbónico libre, gas sulfhídrico y el valor del pH.

El proceso de aeración tendrá éxito si se cumplen las siguientes tres condiciones simultáneamente:

- cuando la concentración de oxígeno disuelto está entre 7 y 10 ppm;
- cuando la concentración de gas carbónico se ubica entre 3 y 5 ppm;
- cuando hay ausencia total de gas sulfhídrico.

3.4 Limitaciones

El oxígeno que se incorpora al agua durante el proceso de aeración puede volverla más corrosiva y formar, con el hierro de la tubería, tubérculos que reducen su diámetro y su capacidad de escurrimiento.

Por ello, la aeración no se debe utilizar indiscriminadamente sino solo cuando las finalidades están controladas.

La aeración no siempre es un método eficaz para la remoción o reducción de los sabores y olores debido a que muchas de las sustancias que causan estas características indeseables no son suficientemente volátiles. Por ejemplo, los aceites esenciales de las algas.

4. COAGULACIÓN

4.1 Generalidades

Las impurezas que contiene el agua pueden estar en los siguientes estados:

- en suspensión;
- disueltas;
- suspensiones concentradas: en particular vegetales, restos de hojas, vegetales (macroscópicos), sílice, etcétera, que pueden flotar o sedimentarse fácilmente cuando el agua está en reposo;
- suspensiones finas: turbidez, bacterias, plancton, etcétera;
- coloidales: dureza, en parte (sales de calcio y magnesio); fierro y manganeso no oxidados, etcétera.

La coagulación tiene como finalidad anular las cargas eléctricas de las partículas y transformar las impurezas que se encuentran en suspensiones finas o en estado coloidal y algunas que están disueltas en partículas que puedan ser removidas por la decantación (sedimentación) y la filtración. Tales aglomerados gelatinosos se agrupan y producen los flóculos (floculación).

4.2 Sustancias químicas utilizadas

Las sustancias químicas utilizadas en la coagulación se pueden clasificar en tres categorías:

1) Coagulantes: compuestos de aluminio o de fierro que generalmente pueden producir hidróxidos gelatinosos no solubles y absorber las impurezas.

2) Alcalinizantes: cal viva (óxido de calcio), hidróxido de calcio, hidróxido de sodio (soda cáustica), carbonato de sodio (carbonato sódico), que pueden proporcionar la alcalinidad necesaria para la coagulación.

3) Coadyuvantes de la coagulación: compuestos (arcilla, sílice activada, polielectrólitos, etcétera), que se pueden convertir en partículas más densas y hacer que los flóculos sean más firmes.

Los coadyuvantes de fórmulas desconocidas se deben utilizar con mucha reserva porque en su composición pueden contener elementos no recomendables para la salud.

4.3 Propiedades de los coagulantes

1. Actúan con los alcalis para producir hidróxidos gelatinosos que contienen y absorben impurezas. Esta propiedad es más adecuada para la remoción de la turbidez.

2. Producen iones trivalentes de cargas eléctricas positivas, que atraen y neutralizan las cargas eléctricas de los coloides protegidos que, por lo general, son negativas. Esta propiedad es más adecuada para la remoción del color.

4.4 Factores que influyen en la coagulación

1. Tipo de coagulante:

   - de aluminio;
   - de fierro.

2. Cantidad de coagulante. Esta cantidad tiene relación con dos factores:

   - la turbidez y el color que se va a remover;
   - la concentración bacteriológica.

   Las dosis de coagulantes más adecuadas son las que reducen más la concentración bacteriológica y dan como resultado mayor economía en la desinfección.

   Hay tablas que relacionan la cantidad de coagulante con la de turbidez del agua. Sin embargo, la cantidad exacta solamente se puede determinar con una prueba. En esta investigación, el equipo de prueba de jarras es de gran ayuda.

3. Concentración y tipo de color y turbidez:

   - mayor o menor cantidad de coloides protegidos;
   - mayor o menor cantidad de partículas en suspensión;
   - sustancias coloreadas disueltas, etcétera.

4. Otras características químicas del agua:

   - alcalinidad natural;
   - concentración de hierro;
   - materia orgánica, etcétera.

Cada mg/L (ppm) de sulfato de aluminio aplicado actúa con 0,45 mg/L (ppm) de alcalinidad.

5. Concentración de iones-hidrógeno en el agua (pH):

   - hay un pH óptimo de floculación, que se determina experimentalmente.

6. Tiempo de retención de las unidades de mezcla rápida y lenta:

   - *unidades de mezcla rápida:* el tiempo deberá ser instantáneo y en este lapso se debe dispersar el coagulante de tal modo que la reacción de coagulación se produzca en toda la extensión de la masa líquida;

   - *lenta:* para la formación de flóculos (floculación). Aglomeración del material gelatinoso (coágulo) en partículas mayores que se decantan con mayor rapidez (flóculos).

7. Temperatura:

   - la coagulación es mejor cuando la temperatura es alta.

8. Agitación:

   - si hay poca velocidad en la agitación, la formación de flóculos disminuye y dificulta la decantación.

9. Presencia de núcleos:

   - los coadyuvantes de la floculación (aditivos de floculación) son sustancias que pueden impulsar núcleos más densos para obtener flóculos más pesados.

Observación: el proceso de coagulación implica la dispersión del coagulante, su reacción con la alcalinidad para la formación del gel e inclusive la aglomeración de dicha gelatina para la formación del flóculo (floculación).

En una planta de tratamiento de agua, tal fenómeno sucede de dos maneras distintas: mezcla rápida y mezcla lenta.

4.5 Coagulantes de aluminio

Sulfato de aluminio: es el más utilizado para el tratamiento del agua.

Fórmula química: $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$
Se puede presentar de tres formas:

Blanco: llamado también *libre de fierro*. Es más costoso debido a que posee una característica que no es indispensable (libre de fierro).

Amarillo: es el más común y económico. Se produce mediante la reacción del ácido sulfúrico comercial con la bauxita pulverizada.

Negro: mezcla homogénea de sulfato de aluminio (blanco o amarillo) con 2 a 5% de carbón activo. Se utiliza para el control del sabor y del olor. La coagulación con hidróxido de aluminio $Al(OH)_3$ se realiza en la zona de pH entre 5,0 y 8,0 por la reacción del sulfato con la alcalinidad natural o cuando se añade al agua.

Teóricamente, las reacciones son las siguientes:

- con la alcalinidad natural;

  $$Al_2(SO_4)_3.18H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2\ Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 18H_2O + 6CO_2.$$

- con la alcalinidad agregada;

  $$Al_2(SO_4)_3.18H_2O + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2\ Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 18H_2O.$$

  $$Al_2(SO_4)_3.18h_2O + 3Na_2CO_3 \rightarrow 2\ Al(OH)_3 + 3Na_2SO_4 + 15h_2O + 3CO_2.$$

- sulfato doble de aluminio y amonio:

  $Al_2(SO_4)_3.(NH_4)_2SO_4.24H_2O$, llamado también *alumbre de amonio*.

- alumbre de sodio:

  $Na_2O.Al_2O_3$, llamado también *alumbre de soda*.

4.6 Coagulantes del hierro

Sulfato de hierro II ($FeSO_4.7H_2O$), sulfato ferroso (vitriolo verde). No muy utilizado, subproducto de bajo costo de industrias siderúrgicas; en el agua se transforma en hidróxido de hierro III [$Fe(OH_3)$], después de pasar por las siguientes dos etapas:

$$FeSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_2 + CaSO_4$$

El $Fe(OH)_2$ se oxida y se transforma en $Fe(OH)_3$ debido al oxígeno disuelto en el agua.

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3$$

Proceso de extraer el aire del agua (reducir el O_2 disuelto).
Esta reacción se produce en la zona de pH entre 9,0 y 11,0.

Sulfato de hierro II-clorado (sulfato ferroso clorado):

$$6FeSO_4.7H_2O + 3Cl_2 \rightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 2FeCl_3 + 7H_2O$$

La oxidación de Fe^{++} a Fe^{+++} dependerá del cloro y no del oxígeno disuelto.

La coagulación se produce en dos zonas de pH: entre 4,0 y 6,0 ó por encima de 9,0 sin peligro de que el flóculo formado se vuelva a disolver.

Sulfato de hierro III: $Fe_2(SO_4)_3.9H_2O$

Cloruro de hierro III: $FeCl_3.6H_2O$

Anhidro: $FeCl_3$

$$2FeCl_3 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 3CaCl_2$$

Zona de floculación: pH entre 4,0 y 11,0.

4.7 Alcalinizantes

- La cal virgen o viva, la cal hidratada o extinta y la cal dolomítica son denominaciones comerciales del óxido de calcio (CaO), del hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$] y de mezclas derivadas tales como el óxido de magnesio (MgO) y el hidróxido de magnesio [$Mg(OH)_2$] en proporciones que pueden alcanzar el 50%. Los efectos de la neutralización del CaO o MgO, Ca(OH) o $Mg(OH)_2$ son teóricamente equivalentes. En la práctica, en la corrección final del pH, la parte de magnesio de la mezcla tiene menor solubilidad que la del calcio. Inicialmente, se presenta en el agua como turbidez. La parte de calcio se solubiliza y actúa hasta alcanzar el pH deseado. La turbidez de magnesio (de solubilidad retardada), al solubilizarse en la tubería, vuelve a producir el pH.

Especificaciones para la adquisición:

Cal virgen: CaO. En el extintor, deberá extinguirse rápidamente sin producir una cantidad excesiva de material no disuelto o extinto.

No se debe aceptar cal con menos del 70% en CaO.

Cal hidratada: CaO 90%. No aceptable menos de 60%.

Carbonato de sodio: Na_2CO_3

99,4% de Na_2CO_3

58% de Na_2O

5. DOSIFICADORES

Sulfato de aluminio.
Se puede dosificar por las siguientes vías:

- vía húmeda;
- vía seca.

5.1 Dosificadores por vía húmeda

Las soluciones se preparan en tanques apropiados (de concreto, asbesto, cemento o fibra de vidrio), debidamente protegidos con pintura antiácida.

Tales tanques poseen un dispositivo manual o mecánico de agitación para homogeneizar la solución. La agitación debe mantenerse durante una a dos horas, dependiendo del tipo de coagulante que se esté empleando.

En aguas poco turbias (o en el uso del sulfato negro), el trabajo del agitador es conveniente para mantener las partículas insolubles en suspensión.

Para otros tipos de agua, se utiliza la solución decantada.

La solución se debe preparar en una concentración de 1 a 2% y se debe aplicar en el agua mediante dosificadores que pueden ser los siguientes:

- tanque de nivel constante, con orificio graduable;
- tanque de nivel constante, con dosificador rotativo;
- tanque de nivel constante y bomba con retorno del líquido excedente, y
- bomba de diafragma regulable.

5.2 Dosificadores por vía seca

Para utilizar el sulfato en el dosificador por vía seca, este debe tener tal granulometría que no menos del 90% pase por una malla de 10 orificios por pulgada y 100% por una malla de 4 orificios por pulgada. No deberá contener mucho polvo para que el arco formado por la compactación del polvo en las paredes no interrumpa la dosificación.

Los dosificadores pueden ser:

- dosificadores volumétricos de disco rotativo;
- volumétricos vasculantes;
- volumétricos de correa, y
- gravimétricos.

Para la disolución del sulfato, posterior al dosificador, el volumen de agua debe ser por lo menos equivalente a la preparación de una solución al 1% del producto dosificado.

Observaciones: toda tubería utilizada en el transporte de la solución de sulfato de aluminio debe ser superficial (es decir, no debe estar enterrada) y con un PVC de rigor clase 12. Los registros deben ser del tipo membrana, cuyo interior resiste la corrosión.

Es preferible que la tubería que conduce la solución no esté tendida horizontalmente. En caso de necesitar codos, se los debe usar operculados o con tubos en forma de te o una cruz con tapón, para facilitar la limpieza.

La dosificación requerida para el tratamiento se realiza a partir de experiencias en laboratorio (ensayo de coagulación).

Es importante y económico elegir para la aplicación del coagulante el punto de mayor agitación. La reacción del sulfato de aluminio y la alcalinidad natural (o adicionada) es instantánea y debe producirse en toda la extensión de la masa líquida (para no tener porciones de agua sin tratamiento).

Lo establecido para los coagulantes de aluminio también es válido para los coagulantes de fierro.

Cal viva (CaO), cal hidratada $Ca(OH)_2$. La cal virgen o hidratada se emplea para los siguientes fines:

1) optimizar la coagulación; ajuste del pH óptimo;

2) corrección del pH final del agua tratada (después de la cloración).

La dosis, en ambos casos, se puede aplicar en forma de lechada de cal o de agua saturada de cal, o inclusive, con dosificadores al seco (cal hidratada).

Lechada de cal. La preparación de la lechada de cal se realiza en el extintor, donde la cal virgen se quema y la hidratada se mezcla con el agua por medio de agitadores.

La mezcla se diluye en tanques de alimentación y de dosificación, provistos de agitadores para mantener la cal permanentemente en suspensión.

La suspensión dosificada de dicha manera se envía a la entrada (en el caso de ajuste del pH óptimo de floculación) o a la salida del tratamiento (en el caso de la corrección final del pH) o a ambos puntos de la planta de tratamiento de agua, mediante tuberías y con una inyección de agua auxiliar.

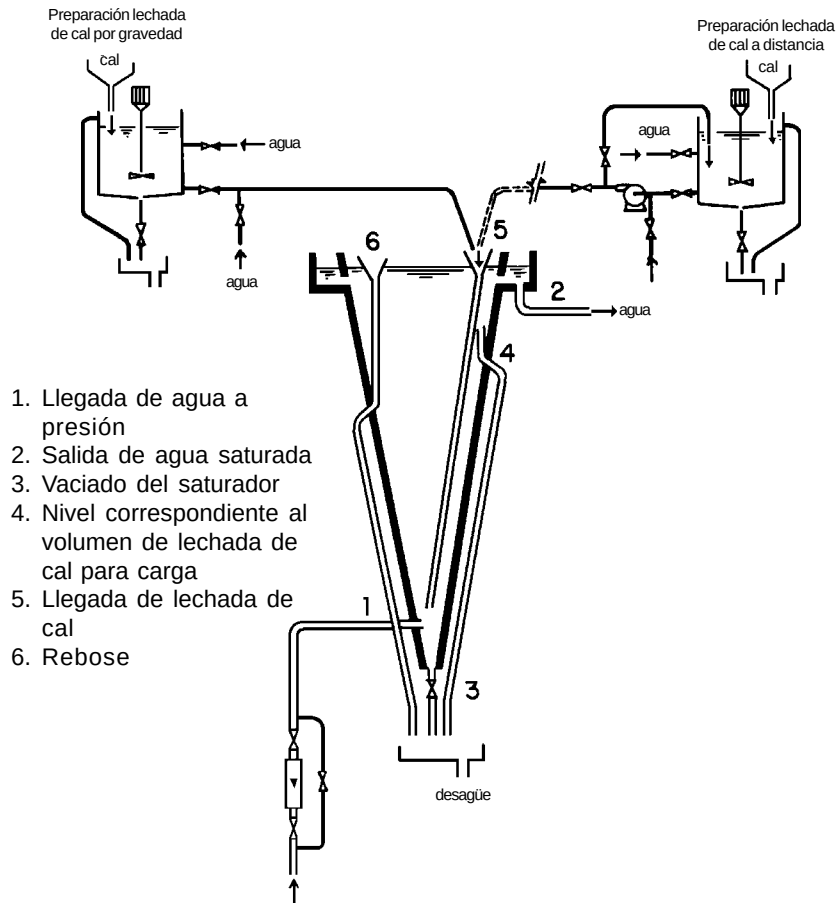
La suspensión de lechada de cal se prepara en una concentración de 5%.

Agua saturada de cal. Primero se prepara una suspensión con cal virgen o hidratada en el extintor, como en el caso anterior y luego dicha solución se dirige a los saturadores mediante la tubería. El saturador es un compartimiento de forma cónica apoyado en el vértice, que tiene como centro una tubería que baja hasta el fondo próximo.

La suspensión preparada en el extintor se coloca en el saturador y luego se deposita. El agua añadida por la pileta atraviesa la capa de cal precipitada de la suspensión y, al saturarse, se derrama de una cubeta que hay en el extremo superior del tanque. Luego, el agua

saturada se transporta hacia la entrada o la salida de la planta de tratamiento de agua mediante tuberías (véase la Figura 1).

Figura 1



Saturador estático de cal

La dosificación se regula con el volumen de entrada de agua al saturador y la carga se controla mediante análisis, por titulación, del agua saturada.

En seco

Mide la dosis de cal en seco. El proceso es idéntico al del dosificador en seco de sulfato de aluminio.

La dosificación de cal se debe realizar según la finalidad que se persiga:

a) para mejorar la coagulación;
b) para la corrección final del pH.

La dosis de cal para mejorar la coagulación del agua (en caso de ser necesaria) se determina en función de un ensayo de laboratorio (ensayo de prueba de jarras).

La dosis de cal para la corrección final del pH se determina mediante el ensayo de saturación de carbonato (pHs).

La corrección final del pH se realiza con el propósito de eliminar la posibilidad de corrosión de la tubería, así como para colocar una película de carbonato de calcio que evite el contacto del agua con el hierro de la tubería.

6. CÁMARAS DE MEZCLA

6.1 Introducción

Una vez que se han agregado las sustancias químicas al agua, tenemos dos fases:

1) mezcla rápida;
2) mezcla lenta o floculación.

La mezcla rápida tiene el propósito de dispersar en forma uniforme e instantánea los productos químicos en el agua que se va a tratar.

La mezcla lenta va a permitir el desarrollo de los flóculos.

6.2 Cámaras de mezcla rápida

Los reactivos químicos se deben distribuir de manera rápida y uniforme por toda la masa líquida.

Para lograr este objetivo se deben aplicar en puntos de mucha turbulencia, originados por resaltos hidráulicos, cámaras con deflectores, mezcladores mecánicos, etcétera.

Los mezcladores mecánicos se componen de tanques provistos de agitadores mecánicos; con entrada de agua por la parte inferior o por el fondo y la salida por la parte superior.

En los mezcladores no mecanizados o hidráulicos se aprovecha la energía del agua para realizar la mezcla.

Los tipos más comunes son los siguientes:

a) Cámaras con deflectores:

- deflectores para introducir movimiento horizontal al agua;
- deflectores con movimiento vertical del agua (son más comunes).

b) Resalto hidráulico: medidores Parshall, vertederos rectangulares, rampas, etcétera.

c) Difusores en canales o en tuberías.

6.3 Cámaras de mezcla lenta. Floculadores

Están destinados a promover una agitación moderada, para que los flóculos se formen bien. Las cámaras de mezcla lenta pueden ser mecanizadas o hidráulicas:

a) Floculadores mecánicos: pueden ser de eje vertical u horizontal.
b) Floculadores hidráulicos:

Floculadores de pantallas de flujo horizontal (fotografía superior) y vertical (inferior)

- cámaras con deflectores o pantallas con movimiento horizontal del agua;
- cámaras con deflectores o pantallas con movimiento vertical del agua (son más comunes).
- cámaras del tipo Alabama, conformadas por compartimientos donde el agua realiza un movimiento ascendente-descendente. Estas unidades son poco comunes por su alta sensibilidad a las variaciones del caudal de operación. Con caudales muy bajos, puede anularse el trabajo de la unidad.

6.4 Observaciones

1) Puede haber una combinación de floculador mecánico y floculador de pantallas para obtener una agitación más rápida al principio y más lenta después.

2) Asimismo, los floculadores de pantallas deben tener varios tramos con espaciamientos diferentes entre las pantallas. El espaciamiento entre las primeras pantallas debe ser menor, para que la agitación del agua sea mayor que en las últimas.

3) Los floculadores de pantallas se calculan de acuerdo con la cantidad de agua que se va a tratar. Cuando la cantidad aumenta, el agua pasa más rápidamente y la floculación no es buena. Si, por el contrario, la cantidad de agua disminuye, la velocidad del agua también lo hace, el flóculo no se forma bien y se produce sedimentación entre las pantallas.

   Cuando se trata de unidades mecánicas, estos inconvenientes se pueden compensar si se regula la velocidad de agitación de las paletas.

4) Aspectos que deben recibir especial atención y cuidado por parte de los operadores:

Floculadores mecánicos

   a) lubricación de las partes mecánicas;
   b) limpieza periódica: esta limpieza se realiza vaciando la unidad. Debe ser simultánea a la limpieza de los decantadores;
   c) comprobar en qué parte de la unidad se está empezando a formar el flóculo. Lo deseable es que se forme en el primer tercio de la unidad.
   d) si en los primeros compartimientos se está formando una espuma amarillenta sobre la superficie del agua, se requiere revisar la dosis coagulante que se está aplicando o el ajuste o calibración del dosificador porque esto indica que la dosis de coagulante es excesiva;
   e) verificar la existencia de zonas muertas, donde se pueden depositar los flóculos. Este material depositado se fermenta fácilmente y puede producir sabor y olor en el efluente de la planta;

f) verificar si por el exceso de velocidad de las aguas, los flóculos no se rompen en la entrada de los decantadores. Si esto sucede, se debe disminuir el caudal;

g) revisar si faltan pantallas, porque esto distorsiona el flujo dentro de la unidad, lo cual crea zonas muertas y pasos directos del agua que anulan el recorrido entre el conjunto de pantallas. Esto disminuye el tiempo de permanencia del agua en la unidad y afecta la formación del flóculo;

h) revisar la disposición de las pantallas después de una actividad de mantenimiento en que estas hayan sido removidas y comprobar que no se haya alterado el espaciamiento entre ellas y la amplitud de las vueltas. Cuando el espaciamiento entre las pantallas se reduce, se crean variaciones en la velocidad del flujo, que afectan muy negativamente la formación del flóculo.

7. DECANTACIÓN

7.1 Introducción

La decantación es el proceso mediante el cual se promueve el depósito del material en suspensión por acción de la gravedad.

Por lo general, las aguas en movimiento arrastran partículas granulares y materia floculenta que, por su carácter liviano, se mantienen en suspensión.

La remoción de materiales en suspensión se obtiene al reducir la velocidad del agua, hasta lograr que las partículas en suspensión se depositen en determinado tiempo de retención. Este proceso se produce en los decantadores.

El decantador es un tanque generalmente de sección rectangular o circular, cuyo fondo muchas veces está inclinado hacia uno o más puntos de descarga. Este tanque posee dispositivos de entrada y salida del agua, previstos para evitar cortocircuitos y zonas muertas y obtener una mejor distribución del líquido en el interior de la unidad.

7.2 Mecanismos de la decantación

Cada partícula tiene una velocidad máxima por encima de la cual no hay decantación.

Esta velocidad depende de la forma y, principalmente, de la densidad de la sustancia considerada.

Una partícula dentro de la masa de agua del decantador está sujeta a la acción de dos fuerzas:

1) fuerza horizontal resultante del movimiento del agua en el decantador, que origina la velocidad horizontal (VH);

2) fuerza vertical debida a la acción de la gravedad, que causa la velocidad de sedimentación (Vs).

En consecuencia, la partícula avanza en el decantador y baja simultáneamente hasta aproximarse al fondo.

Si en el decantador la partícula solo posee tales movimientos, entonces el tiempo necesario para que el agua lo atraviese sería igual al tiempo que demora en llegar al fondo, pero esto, en la práctica, no sucede, porque existen movimientos ascendentes del agua que se deben a las variaciones de temperatura, a la acción de los vientos, etcétera.

El periodo teórico de retención en un decantador equivale al volumen del tanque dividido por el caudal. Como en todo decantador existen espacios muertos, cortocircuitos, etcétera, el periodo real de retención siempre es inferior al teórico (el tiempo normal de travesía del agua en el decantador es de 4 a 6 horas).

7.3 Zonas del decantador

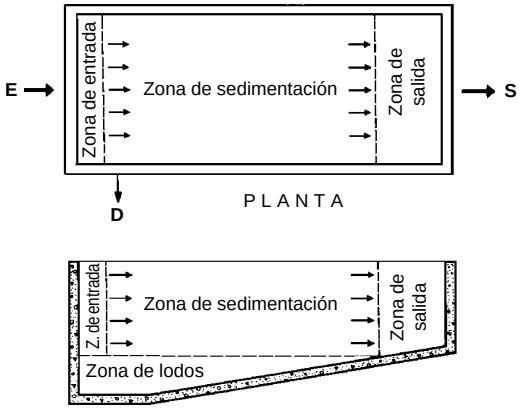
La conformación de esta estructura depende del tipo de decantador. En la práctica, los más usuales son los convencionales, los decantadores de placas y los clarificadores de manto de lodos.

a) Decantador convencional de flujo horizontal

Este decantador se puede dividir en cuatro zonas:

1) zona de turbulencia o de entrada;
2) zona de sedimentación o de decantación;
3) zona de recolección o de salida;
4) zona de depósito de lodos.

Figura 2



Corte longitudinal de un decantador

1) **Zona de entrada.** En esta zona las partículas se encuentran en turbulencia. Se caracteriza por cierta agitación; la ubicación de las partículas varía y las "nubes" de flóculos cambian de lugar constantemente (fenómeno de entrada).

2) **Zona de decantación.** Es la zona donde las "nubes" de flóculos se mantienen aparentemente inmóviles o estacionarias. En esta zona no hay agitación y las partículas avanzan de manera longitudinal y simultánea y descienden lentamente en dirección a la zona de reposo o zona de depósito de lodos.

3) **Zona de recolección o de salida.** Esta zona es relativamente tranquila, como la segunda. Sin embargo, en la salida, los flóculos que no llegaron a depositarse en la zona de reposo siguen el movimiento ascendente del agua y traspasan la estructura de salida (efecto de salida).

4) **Zona de depósito de lodos o tolvas de almacenamiento de lodos.** Es la zona de reposo, donde finalmente se acumula el lodo. Esta zona no sufre la influencia de la corriente de agua del decantador, a no ser que ocurran anormalidades (inversión de las capas de agua por un cambio brusco de temperatura, fermentación del lodo, etcétera).

Cuando el lodo llena las tolvas de almacenamiento de lodos y comienza a alcanzar otras zonas, se debe lavar el decantador para que la corriente de agua ascendente no arrastre los flóculos fuera de la unidad.

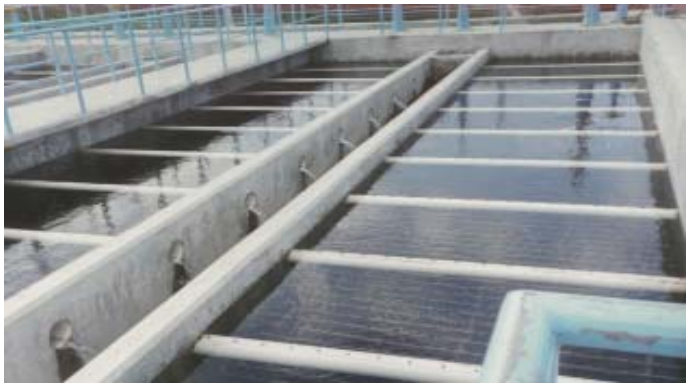
Decantador convencional

Tal aumento de flóculos se observa en el canal de salida del decantador (zona de recolección). Sin embargo, la fermentación (putrefacción) del lodo inferior puede comenzar antes de que se produzca dicha situación y puede darse un desprendimiento de gases que provocan olor y sabor desagradables en el efluente de la planta.

b) Decantador laminar de placas paralelas

En estas unidades la estructura de entrada está constituida por un canal de altura variable, ubicado en el nivel inferior del canal central de la unidad. Este canal tiene orificios a ambos lados del fondo, por donde sale el agua floculada y se eleva por el módulo de placas y, finalmente, alcanza el sistema de tuberías de recolección de agua decantada, que descargan en el nivel superior del canal central.

La capacidad de producción de estas unidades es muy superior a la de una unidad convencional de la misma área, debido a la serie de placas paralelas inclinadas a 60°, colocadas en la zona de decantación.



Decantador laminar de placas paralelas

7.4 Lavado del decantador

Se realiza por dos motivos:

a) cuando la tolva de almacenamiento de lodo se llena;

b) cuando comienza la fermentación del lodo almacenado.

El primer caso ocurre cuando el agua presenta alta turbidez y se produce gran cantidad de lodo.

El segundo caso se produce cuando el tratamiento es discontinuo o el agua cruda está clara y se forma poco lodo. En este caso, la fermentación se inicia antes de que el lodo llegue a llenar las tolvas.

En la zona de turbulencia, se sabe que hay fermentación cuando aparecen unas pequeñas burbujas de gas en su superficie.

Si el operador no observa este fenómeno y la fermentación continúa, no solo se van a producir sabor y olor desagradables sino que,

además, van a aparecer grandes placas de lodo en la zona de decantación (lo que producirá un aspecto similar a la piel de un reptil).

Por lo general, la capa espesa de lodo o el inicio de fermentación se produce después de tres o cuatro meses de usar el decantador, según la calidad del agua y la temperatura ambiental.

En este caso, se debe proceder con el lavado del decantador, que, de preferencia, se realiza con una manga de agua.

Algunas veces, en las paredes del decantador y en los canales, tanto de entrada como de salida, se forman incrustaciones de algas y de lodo, que dan un mal aspecto y pueden llegar a los filtros e impedir su buen funcionamiento. Cuando esto sucede, se debe realizar una limpieza para retirar tales incrustaciones con más frecuencia sin tener que vaciar el decantador.

Los decantadores de placas están provistos de sistemas hidráulicos de extracción de lodo y no es necesario ingresar a la unidad para efectuar la limpieza en forma manual. Por esta razón, las tolvas de almacenamiento no son tan grandes como en el caso de las unidades convencionales. En época de lluvias, pueden operar sin interrupciones y efectuar descargas de lodo cada cuatro horas. Para ello se procederá del siguiente modo:

- cerrar la compuerta de ingreso de agua floculada;
- abrir las válvulas de los colectores o canales de extracción de lodo;
- observar que el nivel del agua sobre las placas baje 30 centímetros, y
- cerrar la válvula de lodo y abrir la compuerta de entrada.

En época de seca, esta operación se efectuará cada semana y en climas cálidos, como mínimo, cada tres días, para evitar la descomposición del lodo.

7.5 Sistemas de remoción de lodo

- **Simple:** remoción manual, remoción continua.
- **Mecanizado:** remoción intermitente, remoción continua.

La mecanización del decantador para extraer el lodo se puede realizar por dos razones: debido a la gran cantidad de material sedimentable existente en el agua que va a ser tratada y por la naturaleza del lodo, que es rápidamente putrescible.

7.6 Observaciones

La decantación es una operación de preparación del agua para la filtración. Cuanto mejor sea la decantación, más eficiente será la filtración.

En consecuencia, para tener una decantación perfecta, se deben tomar las siguientes precauciones:

1) correcta aplicación de coagulantes al pH óptimo (incluye la aplicación de alcalinizante, en caso de que sea necesario);
2) mezcla rápida eficaz;
3) mezcla lenta suficiente para producir buenos flóculos, grandes y pesados;
4) limpieza rutinaria de los decantadores.

Cuando la flora acuática es relativamente grande (algas), se recomienda pintar las paredes de los decantadores con caldo bordelés.

Operación: lave bien las paredes con cepillo. Deje secar y pinte con caldo bordelés y con ayuda de pinceles o pulverizadores. No llenar el decantador hasta que la pintura esté bien seca.

Preparación de caldo bordelés:

a) disuelva un kilo de sulfato de cobre en 50 litros de agua;

b) añada 500 gramos de cal a otros 50 litros de agua;

c) añada gotas del indicador fenolftaleína a una muestra de la mezcla (a + b). Debe dar la coloración característica de alta alcalinidad; de no ser así, agregue más preparado (b). Pinte las paredes con caldo bordelés.

Cantidad

Se debe considerar que la cantidad de caldo bordelés que se necesita para la pintura de un decantador debe ser tal que al llenar el decantador, considerando que toda la pintura esté disuelta, la dosis de sulfato de cobre en el agua no sea superior a un miligramo por litro (un gramo de $CuSO_4$ por metro cúbico de agua).

7.7 Control de proceso de decantación

Para ahorrar agua en el lavado de los filtros, es importante que el agua decantada que ingrese a estas unidades sea de la mejor calidad posible, para que las carreras de operación de los filtros sean largas.

En ese caso, se debe considerar lo siguiente:

- el agua decantada debe tener un color bajo, de 5 a 10 UC como máximo.
- la turbidez debe ser baja; idealmente, no mayor de 2 UNT. El decantador debe remover por lo menos 90% de la turbidez del agua cruda.

$$\frac{(\text{turbidez del agua cruda - turbidez del agua decantada}) \times 100}{\text{turbidez del agua coagulada}} \cong 90\%$$

Una turbidez o color elevado puede significar que la decantación no es eficaz debido a alguna de las siguientes razones:

- dosis de coagulante inadecuada;
- pH óptimo de coagulación erróneo;
- problemas de diseño o de mantenimiento del floculador, y
- decantadores sucios.

La determinación del oxígeno consumido también es un óptimo proceso de control de la eficiencia de la decantación, que se puede comparar con la del agua cruda. El porcentaje de reducción debe ser el siguiente:

$$\frac{(O_2 \text{ consumido del agua cruda - } O_2 \text{ consumido del agua decantada}) \times 100}{O_2 \text{ consumido del agua cruda}} > 50\%$$

La comparación de conteo de colonias en placas Petri de agar patrón (agua cruda y agua decantada) también constituye un proceso de control de la decantación.

El control con todos los medios puede ofrecer al operador formas distintas de garantizar la eficiencia del proceso de decantación y mejorar sus instrumentos para corregir eventuales deficiencias.

Observación: estas determinaciones, comparadas con el modelo final del agua, pueden proporcionar al operador excelentes parámetros de decantación para el sistema que opera.

Si al lavar el decantador los parámetros mencionados no fueran alcanzados:

- la turbidez del agua decantada aumenta y el porcentaje de reducción disminuye (cuando la zona de reposo llega a otras zonas, la zona de ascensión presenta un gran número de flóculos);
- el O_2 consumido aumenta (el porcentaje de reducción disminuye) cuando el lodo entra en fermentación, etcétera.

8. FILTRACIÓN

La filtración del agua consiste en hacerla pasar por sustancias porosas que puedan retener o remover algunas de sus impurezas.

Por lo general, se utiliza como medio poroso la arena soportada por capas de piedras, debajo de las cuales existe un sistema de drenaje.

Con el paso del agua a través de un lecho de arena se produce lo siguiente:

- la remoción de materiales en suspensión y sustancias coloidales;
- la reducción de las bacterias presentes;
- la alteración de las características del agua, inclusive de sus características químicas.

Los fenómenos que se producen durante la filtración son los siguientes:

a) la acción mecánica de filtrar;

b) la sedimentación de partículas sobre granos de arena;

c) la floculación de partículas que estaban en formación, debido al aumento de la posibilidad de contacto entre ellas;

d) la formación de la película gelatinosa en la arena, producida por microorganismos que se reproducen allí (filtro lento).

8.1 Clasificación de los filtros

1) Según la tasa o velocidad de filtración:

- *filtros lentos:* funcionan con una tasa media de 4 m^3/m^2/día;
- *filtros rápidos:* con una tasa media de 120 m^3/m^2/día.

2) Según la presión, los filtros rápidos pueden ser de dos tipos:

- *de presión:* cerrados, metálicos, en los cuales el agua que va a ser tratada se aplica a presión (usados en piscinas e industrias);
- *de gravedad:* los más comunes.

8.2 Filtros lentos

Se utilizan para la remoción de concentraciones poco elevadas de color y turbidez (color + turbidez = 50 ppm) sin ayuda de la coagulación.

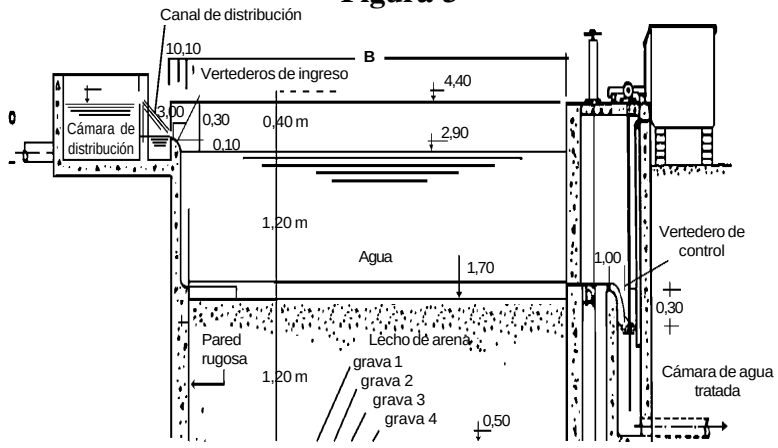
Por lo general, se aplican en comunidades pequeñas.

Tienen forma rectangular y, por lo general, debido a la baja tasa de filtración, son relativamente grandes.

Están conformados por una caja de mampostería o concreto en el fondo de la cual existe un sistema de drenaje cubierto por piedras y sobre este hay arena (más fina y menos uniforme que la de los filtros rápidos).

Tamaño efectivo: 0,25 a 0,35 mm. Coeficiente de uniformidad entre 2 y 3.

Figura 3



Elevación de un filtro lento

Operación del filtro lento. Al iniciar la puesta en marcha del filtro lento, la operación de llenado debe hacerse en forma ascendente, con el agua de otro filtro en funcionamiento.

Después de llenar el filtro, se abre el ingreso y el desagüe.

Como el agua producida al inicio de la operación no es de buena calidad, se debe desechar hasta que se presente con la calidad deseada.

Periodo de maduración del filtro lento. A medida que el filtro funciona, la arena retiene el material más grueso en suspensión (algas, protozoarios, etcétera), que forman sobre esta una capa de lodo (capa biológica).

A medida que se forma esta capa gelatinosa, absorbe partículas menores (coloides, emulsoides, etcétera) y mejora la calidad del agua. Solo cuando el agua está en buenas condiciones por el tratamiento, se cierra el desagüe y se abre el efluente para enviar el agua al reservorio de distribución después de que haya sido clorada y el pH se haya corregido.

La operación de maduración puede durar de dos a tres semanas y el filtro operado de esta manera puede proporcionar agua de buena calidad por un lapso de dos a tres meses.

Pérdida de carga. Durante el proceso de filtración, la capa de lodo aumenta y ofrece mayor resistencia al paso del agua (pérdida de carga) y el filtro pierde caudal. Cuando la pérdida de carga alcanza de 0,90 a 1,50 m (límite común: 1,20 m), se debe lavar el filtro porque el caudal ya no es económico.

Limpieza del filtro lento (Figura 3). Cuando se alcanza el límite de la pérdida de carga, se cierra el ingreso y se deja al filtro operando con la capa de agua que tiene sobre el lecho. Esta operación debe iniciarse al atardecer y se debe dejar que el filtro opere toda la noche de esta manera. A la mañana siguiente, apenas hay luz, debe iniciar-

se el raspado del filtro. Es necesario abrir la válvula de desagüe del fondo y dejar que el nivel descienda alrededor de 0,20 m por debajo del nivel de la arena.

La operación de limpieza debe efectuarse en el menor tiempo posible para que los microorganismos benéficos que constituyen la capa biológica no perezcan por efecto de los rayos del Sol y por falta de nutrientes. Se retira una capa de uno a dos centímetros de arena con el lodo de toda la superficie filtrante.

Después de extraer la capa de arena de dos centímetros, se rastrilla el lecho para esponjar la superficie y se le pasa un emparejador.

El filtro se llena por debajo. Cuando el filtro no estuvo fuera de funcionamiento por más de 24 horas, el periodo de maduración es prácticamente nulo.

Observación: por lo general, una instalación de filtros lentos posee más de una unidad filtrante. Mientras uno está lavado y maduro, los otros están en funcionamiento.

8.3 Filtros rápidos de gravedad

Los filtros rápidos de gravedad se utilizan en las plantas de tratamiento para la filtración de grandes volúmenes de agua previamente coagulada.

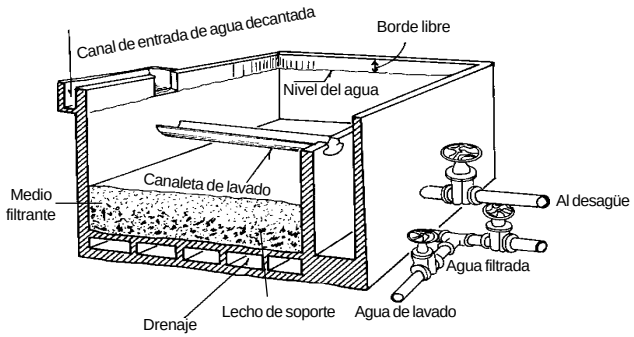
Tienen forma rectangular y se lavan con agua tratada que se introduce de abajo hacia arriba (sistema que se denomina *de retrolavado)*. Debido a ello, se construyen en áreas más pequeñas.

Están conformados por una caja de concreto en el fondo de la cual hay un sistema de canalización central y canales laterales cubiertos por varias capas y diámetros de grava que sostienen la capa de arena gruesa y la de arena preparada (Figura 4).

Sistema de canalización del fondo del filtro

También pueden estar construidos con un sistema de fondo falso (de concreto) donde se ha colocado un drenaje cuya finalidad es distribuir el agua filtrada y el agua de lavado de manera uniforme en toda el área filtrante.

Figura 4



Esquema de un filtro rápido de gravedad con fondo falso

Al inicio de la filtración, como la arena está expandida, el agua arrastra parte del material en suspensión y el filtrado no es de buena calidad.

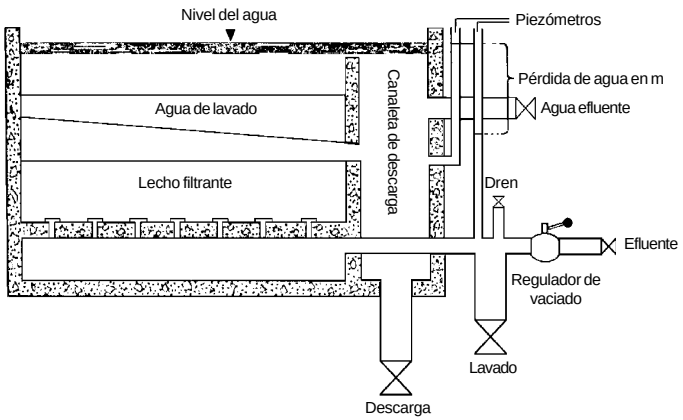
Los materiales en suspensión en el agua, que son más grandes que los espacios intergranulares de la arena, quedan retenidos en la superficie filtrante. Los que son más pequeños se van adhiriendo a la superficie interna de los granos y, de esa manera, disminuyen los espacios por donde pasa el agua. Así, a medida que el filtro se ensucia, hay una mayor resistencia al paso del agua.

El aumento de resistencia al paso del agua por la arena corresponde a una reducción del caudal del filtro. Cuando el filtro está limpio, es posible filtrar un volumen de agua mayor (tasa: 120 m^3/m^2/día); a medida que el filtro se obstruye por la suciedad (lo que se denomina *colmatación),* la tasa disminuye.

Para evitar que esto suceda, los filtros de tasa y nivel constante están provistos de un aparato controlador de caudal que mantiene la tasa de filtración constante de 120 m^3/m^2/día (desde el inicio de la filtración hasta el momento del lavado del filtro). En los filtros de tasa declinante y nivel variable no se controla el caudal de operación del filtro sino que se deja que cada filtro tome buenamente lo que su estado de colmatación le permita.

El fenómeno que se produce con la obstrucción del filtro por la suciedad retenida se llama *pérdida de carga,* que puede ser medida rápidamente de la siguiente manera (véase la Figura 5):

Figura 5



Filtro rápido de gravedad. Corte vertical

- El canal de descarga del filtro se conecta a un tubo (piezométrico) transparente, para que cuando el agua suba por este, indique el nivel de agua en el filtro.
- Se adhiere otro tubo (piezométrico) transparente a la tubería de salida del agua filtrada, de manera que cuando la válvula del efluente esté cerrada, indique también el nivel de agua en el filtro.

Cuando el filtro está en funcionamiento, el nivel del agua es más bajo en el tubo piezométrico unido a la tubería del agua filtrada, debido a que la arena ofrece cierta resistencia al paso del agua. La diferencia en metros entre los niveles del agua de los dos tubos es la medida de la pérdida de carga. En los filtros limpios recién lavados la diferencia de nivel se ubica alrededor de 0,50 metros, según la configuración del filtro y la granulometría de la arena.

Conforme el filtro se ensucia, la diferencia de nivel entre los dos tubos piezométricos aumenta (se incrementa la pérdida de carga) y cuando alcanza de 1,80 a 2,50 m (por lo general 2 m), el filtro se debe lavar.

En los filtros de tasa declinante no hay un aparato regulador de caudal, en el diseño se deja una carga hidráulica disponible, que actúa sobre la tasa máxima del filtro cuando, recién lavado, reinicia la operación. En estas condiciones, la tasa máxima del filtro no será mayor que 1,5 veces la tasa promedio del proyecto, para evitar que el efluente se deteriore. Conforme aumenta la pérdida de carga (por suciedad de la arena), el caudal disminuye. El lavado del filtro se realiza cuando la tasa de filtración ya no es económica.

Observación: cuando las partículas en suspensión en el agua (flóculos, etcétera) son más grandes que los espacios intergranulares de la arena, se quedan retenidas en la superficie. Cuando son más pequeñas, accionadas por la fuerza centrífuga, se adhieren a las superficies de los gránulos debajo de la superficie. La capa superior de la arena (que es más fina) realiza el trabajo de filtración. Actualmente, para que la obstrucción sea más lenta, se utilizan dos procesos:

- filtración en sentido contrario, en el mismo sentido del lavado (filtros rusos);
- filtros de doble capa (con una capa de antracita). Se coloca una capa de antracita (un determinado tipo de carbón mineral), de granulometría mayor a la de la arena, sobre la arena preparada. La antracita (cuyos espacios intergranulares son más grandes que los de la arena) retiene las partículas en suspensión en el agua (filtrada por gravedad) y la arena cumple una labor de pulimento.

De esta manera, el filtro no se ensucia tan rápido. Como la antracita tiene una densidad menor a la de la arena, durante el lavado permanece en la superficie sin mezclarse.

- Filtros de triple capa:
  - granulada (más densa que la arena);
  - arena, y
  - antracita (menos densa que la arena).

Por lo general, el proceso de lavado es el mismo en los diversos tipos de filtros.

8.4 Lavado de los filtros

a) Filtros convencionales de tasa y nivel constante

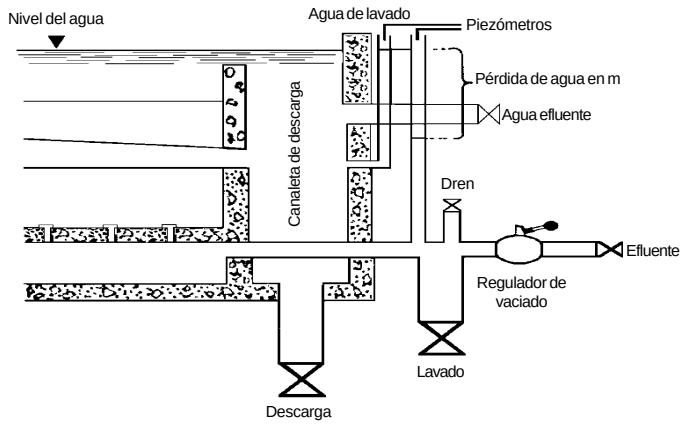
Para lavar los filtros se invierte la corriente (el agua se introduce de abajo hacia arriba). A este proceso se le denomina *de retrolavado*.

En el lavado, la arena que constituye el lecho filtrante se debe expandir en el agua.

La velocidad ascendente del agua de lavado debe ser suficiente para expandir la arena entre 25% y 30%, pero no tanta como para conducirla hacia la canaleta de recolección del agua de lavado.

Cuando la pérdida de carga del filtro alcanza 1,80 a 2,50 m (usualmente 2 m), se debe lavar de la siguiente manera:

Figura 6



Lavado simple

1. Cerrar el ingreso de agua decantada.
2. Cerrar la salida de agua filtrada**.**
3. Abrir el desagüe.
4. Abrir la válvula de lavado (al principio, lentamente). Cuando el agua comience a caer en la canaleta de agua de lavado, iniciar el conteo de tiempo (tiempo de lavado).
5. Cerrar el ingreso de agua de lavado cuando el filtro esté limpio (lo cual se sabe por la clarificación y la ausencia de flóculos en el agua que rebalsa por la canaleta). Cuando el agua deja de correr en la canaleta, verificar el tiempo transcurrido entre el inicio y este instante (tiempo de lavado de cuatro a siete minutos, según la época del año: estiaje o creciente).
6. Cerrar el desagüe.
7. Abrir el ingreso de agua decantada.

8. Cuando el filtro este lleno, abrir el drenaje de fondo por un lapso de 2 a 3 minutos.
9. Cerrar el drenaje.
10. Llenar el filtro primero por el fondo; dejar una capa de agua de 0,10 m sobre la arena.
11. Cerrar el desagüe.
12. Abrir la salida de agua filtrada. *El filtro está en uso*.

Tiempo de lavado. Se cuenta desde el instante en que comenzó a caer el agua por las canaletas de agua de lavado (operación 4) hasta el instante en que el agua de lavado dejó de caer en la canaleta (operación 5).

Dado:

Tiempo = *t* minutos.
Área del lecho filtrante = A m^2.
Velocidad ascendente del agua de lavado = 0,60 m/minutos.

Cálculo del agua de lavado:

A x 0,60 x t = m^3 de agua usada en el lavado del filtro (pérdida).

- El tiempo de lavado de un filtro depende de varios factores y puede variar de cuatro a siete minutos.
- El tiempo en el que un filtro queda fuera de funcionamiento durante las operaciones de lavado oscila entre 8 y 15 minutos.
- El volumen de agua empleado para lavar un filtro se puede determinar de manera empírica: tomando un tiempo para el lava-

do equivalente a seis minutos, se multiplica el caudal de agua máximo en un minuto por seis (caudal máximo de agua = velocidad ascendente del agua de lavado en metros por minuto x área del lecho filtrante).

- En una instalación debidamente proyectada y operada, el volumen que se gasta con el lavado de los filtros debe ir de 2 a 2,5% del volumen de agua filtrada en la instalación.

$$\frac{\textit{Volumen gastado para el lavado de los filtros (día, mes o año) } m^3}{\textit{Volumen total del agua filtrada (día, mes o año) } m^3} \times 100 = 2 \text{ a } 2{,}5\%$$

Tiempo de drenaje. Por lo general, se acostumbra drenar un filtro durante dos o tres minutos, inmediatamente después del lavado. El drenaje se realiza para acomodar el lecho filtrante y preparar el filtro para el proceso.

Como la arena está expandida debido al lavado, en los primeros instantes, el agua que atraviesa el filtro arrastra partículas en suspensión (turbidez). La turbidez se reduce conforme disminuyen los espacios intergranulares de la arena (por el acomodamiento de esta).

Para determinar el tiempo necesario de drenaje, se deben recolectar muestras continuas del agua del drenaje (de 10 en 10, de 20 en 20 ó de 30 en 30 segundos) y determinar la turbidez de tales muestras. El tiempo transcurrido entre la abertura del drenaje y el instante de recolección de la muestra que presentó turbidez en el límite usual del agua filtrada en la planta corresponde al tiempo de drenaje necesario para la preparación del filtro.

La velocidad ascendente del agua de lavado varía de acuerdo con el tamaño de la arena; si, por ejemplo, fuera de 0,60 m por minuto, querría decir que en un minuto el agua de lavado debe subir en el área filtrante con una velocidad de 0,60 metros.

La expansión de la arena durante el lavado del filtro (expresada en porcentajes de la altura de la capa de arena preparada) debe ser de 25 a 30%; es decir, si la capa de arena preparada es, por ejemplo, de 0,60 metros, la expansión de la arena debe ser de 0,15 a 0,18 metros adicionales a su nivel normal.

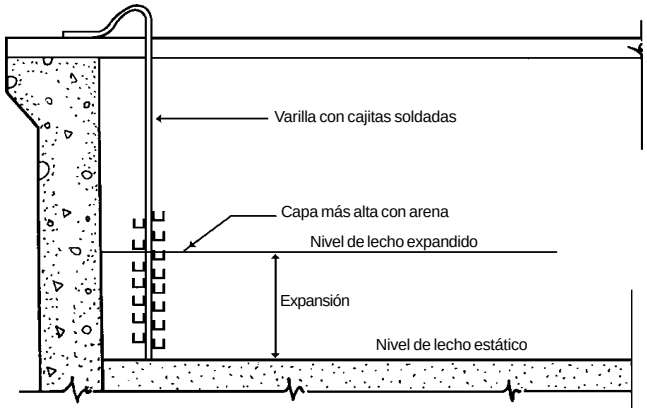
En el caso de filtros con sistema de lavado mediante aire y agua, la expansión solo debe ser de 10%, porque en este caso la fricción de los granos de arena para desprender la suciedad adherida la hace el aire comprimido y no el agua.

La tasa de filtración (velocidad de filtración) de un filtro rápido clásico, de arena, debe ser de 120 $m^3/m^2/d$; es decir, por cada metro cuadrado de área filtrante debe pasar 120 m^3 de agua por día.

8.5 Determinación de la expansión de la arena

Esta determinación se puede realizar con la ayuda de un sencillo aparato que consiste en una vara metálica (cuya longitud será la que corresponda a la altura existente entre la superficie del lecho estático y el borde superior del muro de la caja del filtro), con cajitas intercaladas cada 0,05 metros a partir del extremo inferior (Figura 7).

Figura 7



Medición de la expansión de la arena

La varilla se debe fijar en la parte superior de la caja del filtro para que no se mueva durante la prueba. Las cajas deben quedar en posición horizontal.

1. Colocar la varilla sobre el nivel del lecho estático (antes de que se inicie el lavado).
2. Iniciar la operación de lavado y dejar dos a tres minutos la varilla en la posición seleccionada.
3. Retirar con cuidado la varilla.
4. Volver a colocar la varilla de tal manera que la última plataforma quede a 15 centímetros de la superficie anterior de la arena. Para lograrlo se utiliza la medida grabada en la vara en el lado opuesto al extremo en el que están las cajas y se ajusta con el tornillo de ajuste.
5. Se abre nuevamente el lavado en la abertura convencional como para el lavado simple.

6. Cerrar el lavado. Cuando el agua deje de correr por la canaleta de lavado, se retira la vara metálica con cuidado y se verifica hasta qué plataforma tiene arena.

Si la arena quedó retenida en la primera y segunda plataformas y no en la tercera, se sabe que esta se expandió hasta 25 centímetros de la superficie anterior de la arena.

De esta manera, con medidas sucesivas, es posible determinar la expansión real de la arena.

Varilla para medir la expansión del lecho

Cálculo:

capa de arena preparada ..... 0,575 m
expansión de la arena ..... 0,25 m

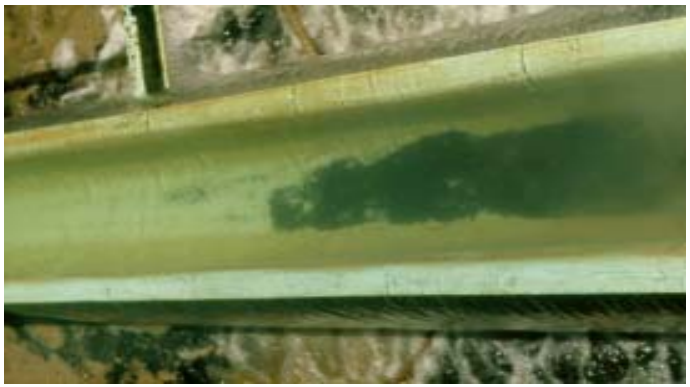
$$\frac{\textit{expansión de la arena (en m)}}{\textit{altura de la capa de arena (en m)}} \times 100 = \%\ \textit{expansión}$$

$$\frac{0,25 \ x \ 100}{0,575} = 43\% \text{ de expansión}$$

El rango de expansión de la arena debe estar entre 30 y 50%.

Observación: cuando el caudal y, por consiguiente, la velocidad del agua de lavado cambian, el porcentaje de expansión de la arena también varía.

7. Cerrar la descarga de agua de lavado.
8. Abrir el efluente.
9. Drenar el filtro.
10. Abrir el efluente. *El filtro está en funcionamiento*.



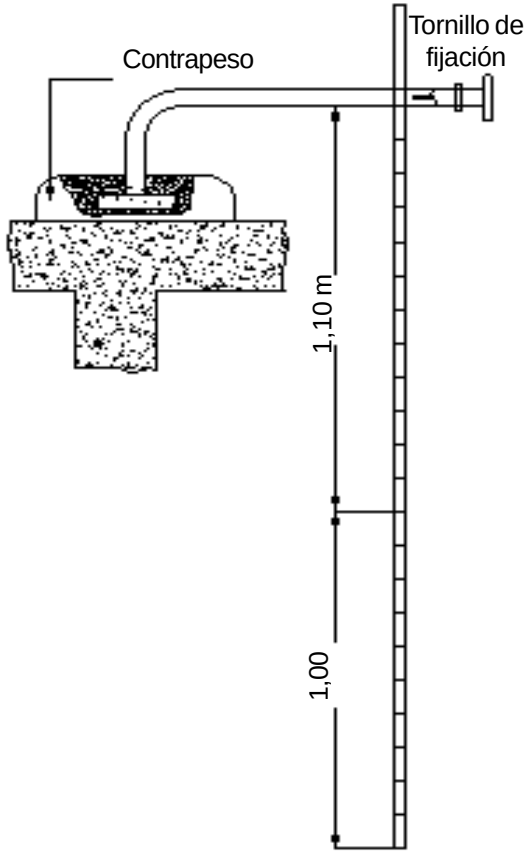
Pérdida de arena o antracita durante el lavado

Si después de la operación de lavado se encuentra material filtrante en las canaletas de lavado, esto es signo de que la expansión es excesiva y si no tomamos medidas para solucionar el problema, el lecho filtrante se irá perdiendo poco a poco. Debemos calibrar el caudal de lavado hasta que la expansión se encuentre en el rango adecuado.

8.6 Determinación de la velocidad de lavado

Para determinar experimentalmente la velocidad ascendente del agua de lavado y la expansión de la arena (cuando un filtro alcanzó la pérdida de carga de 1,80 a 2,50 metros), se procede de la siguiente manera:

Figura 8



1. Cerrar el ingreso y esperar a que el nivel del agua baje hasta aproximadamente cuatro centímetros de la superficie de la arena.
2. Cerrar el efluente.
3. Abrir la descarga de agua de lavado.
4. Colocar el aparato de la Figura 8 a exactamente 10 centímetros de la superficie de la arena.
5. Abrir el lavado (ligeramente al principio).
6. Cuando el lavado esté abierto por completo, cronometrar el tiempo que lleva el agua en recorrer el espacio entre dos o tres marcas de una regla graduada.

Datos:

t = tiempo en segundos, y
d = distancia recorrida por el agua en cm (10 ó 20 cm).

Cálculo:

$$\frac{d \times 60}{t} = \text{elevación del agua durante el lavado, en cm/min}$$

= velocidad del agua de lavado

Ejemplo:

d = 10 cm;
t = 12 segundos

$$\text{Velocidad de lavado} = \frac{10 \times 60}{12} = 50 \text{ cm/min}$$

Nota: para obtener dicha medida, se debe utilizar la altura disponible debajo de las canaletas de recolección del agua de lavado para que el volumen de estas no influya en la velocidad ascendente del agua.

7. Continuar el lavado hasta la clarificación del agua.
8. Cerrar la descarga de agua de lavado cuando el agua deje de correr por las canaletas.
9. Retirar con cuidado la regla graduada.

8.7 Determinación experimental de la velocidad de filtración (tasa de filtración)

Para determinar experimentalmente la tasa de filtración, se utiliza el mismo aparato empleado para determinar experimentalmente la velocidad ascendente del agua de lavado (Figura 9).

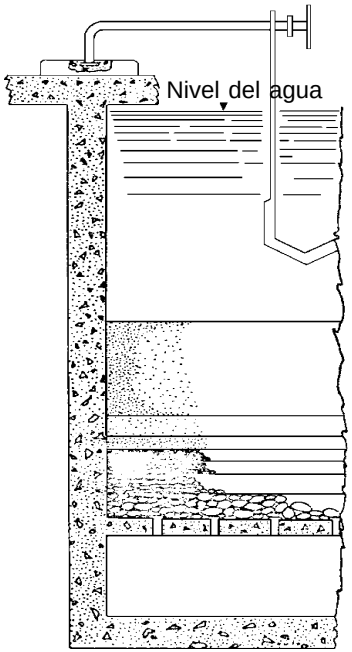
Se deben tomar las siguientes precauciones:

a) El filtro debe estar lleno y en funcionamiento, en su nivel máximo.

b) El aparato debe colocarse sobre el borde de la canaleta como en la Figura 9.

Se debe tomar esta precaución para que las canaletas de lavado o las paredes internas del filtro no ocupen volumen en el espacio en que se va a medir el agua. Si este fuera el caso, este volumen debe ser descontado en los cálculos que se van a efectuar.

Figura 9



c) Calcular el área total del filtro (ATm^2).

- El área total del filtro comprende el área filtrante y el área de la canaleta de descarga. La longitud total del filtro, en metros, multiplicada por el ancho del filtro, en metros.
- Por ejemplo, dado $ATm^2 = 20\ m^2$.

d) Calcular el área del lecho filtrante (AFm^2).

Longitud del área filtrante, en metros, multiplicada por el ancho del área filtrante en metros.

- Por ejemplo, dado $AFm^2 = 15\ m^2$.

Una vez que se han tomado las precauciones anteriores:

1) Cerrar el ingreso del filtro.

- El nivel del agua va a bajar.

2) Cronometrar el tiempo (*t* segundos) que toma el nivel para bajar a la altura h (en metros) correspondiente al borde de una de las plataformas hasta la siguiente o a otra (0,10 a 0,20 metros).

Por ejemplo, dado un tiempo $t = 192$ seg y una altura $h = 0{,}20$ m.

Cálculo de la tasa de filtración

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\textit{tasa de filtración} = \frac{ATm^2 \times hm \times 86.400\ seg}{t\ (segundos) \times AF(m^2)} = m^3/m^2/día$$

Por ejemplo:

Según los datos numéricos sugeridos, la tasa de filtración será:

$$\textit{tasa de filtración} = \frac{20\ m^2 \times 0{,}20\ m \times 86.400\ seg}{192\ seg \times 15\ m^2} = 120\ m^3/m^2/día$$

Observación: un día tiene 86.400 segundos.

8.8 Determinación de la pérdida de carga

Por lo general, los filtros poseen aparatos que indican la pérdida de carga.

Para calibrar tales aparatos o para los filtros que no los poseen, se pueden adaptar tubos piezométricos como en la Figura 8.

Tales tubos pueden ser de vidrio o de plástico cristal (transparente).

Detrás de los tubos se debe colocar una regla de 2,80 metros, graduada en centímetros, para poder medir la diferencia de nivel del agua entre los dos tubos.

Dicha diferencia, en metros, es la medida de la pérdida de carga.

El filtro se debe lavar cuando la diferencia entre los dos niveles es de 1,80 a 2,50 metros.

8.9 Estado de un filtro

Es el conjunto de características que define las condiciones de funcionamiento de un filtro en un momento determinado.

El estado de un filtro varía continuamente en el periodo de filtración (entre un lavado y otro) y se modifica lentamente con el paso de los años.

El filtro comienza a funcionar mal cuando las condiciones normales no son las correctas.

Las causas de las perturbaciones en el lecho filtrante pueden ser causadas por los siguientes factores:

a) Dosis incorrectas de coagulantes, mala floculación y mala decantación, que hacen que el filtro reciba material gelatinoso y materia orgánica que van a obstruir el lecho filtrante.

b) Desprendimiento del aire que normalmente está disuelto en el agua, en forma de burbujas.

   Este fenómeno se produce debido a la pérdida de carga excesiva (es decir, una pérdida de carga que sobrepasa el límite aconsejado) y podrá causar efectos nocivos: irregularidades en la filtración y en el lavado, arrastre del material filtrante durante el lavado, etcétera.

c) Formación de bolas de lodo provenientes de material gelatinoso (organismos, hidróxido de aluminio y arena). La dosificación inadecuada, el lavado deficiente de los filtros y la excesiva pérdida de carga durante el funcionamiento producen la compresión del lecho filtrante y la consecuente compactación de las bolas de lodo.

d) Presencia de algas y otros microorganismos que llegan a los filtros y se reproducen en ellos.

Colmatación de la arena. La colmatación de la arena se produce cuando, debido a la deficiencia en las operaciones, se da alguna de las siguientes situaciones:

a) No se usa la dosificación adecuada de sulfato de aluminio (coagulación deficiente).

b) El pH de floculación no es óptimo; los coágulos se cargan eléctricamente y, al repelerse, no floculan de manera correcta.

c) El tiempo de los floculadores o su agitación es excesiva o escasa (los flóculos no se forman o se forman pero se vuelven a romper).

d) Hay corrientes preferenciales en los decantadores, decantadores sucios, alta velocidad del agua en los decantadores, etcétera.

- Gran parte de los coágulos o pedazos diminutos de los flóculos atraviesan los decantadores y, al llegar a los filtros,

  1) se pueden adherir entre sí y en los granos de arena debido a la fuerza centrífuga a la que están sujetos al atravesar la capa filtrante (en zigzag alrededor de los granos de arena);

  2) debido a la fricción que ejercen al pasar por la arena, descargan su carga eléctrica para poder formar flóculos en el filtro entre los granos de arena;

  3) los flóculos formados y arrastrados por las corrientes de agua en los decantadores, de tamaño mayor que los espacios intergranulares de la arena, quedan depositados en su superficie.

Tales fenómenos se producen por la colmatación de la arena.

Los granos de arena quedan revestidos por una capa gelatinosa de hidróxido de aluminio, materia orgánica y otros materiales absorbidos por los coágulos; en la superficie queda una espesa capa gelatinosa y todo esto contribuye a aumentar la pérdida de carga.

Si el filtro no está adecuadamente lavado, la acumulación de esa suciedad hace que las condiciones del filtro sean deficientes.

Al lavar el filtro, la arena colmatada, por quedar con menor densidad, puede ser arrastrada por el agua de lavado.

Al poner a funcionar el filtro nuevamente después de un lavado, como la presión del agua y los granos están envueltos con material gelatinoso y adheridos unos a otros, se produce una reducción de volumen, tanto vertical como horizontal, lo cual puede producir un desplazamiento de la arena contra las paredes del filtro.

El agua pasará, de preferencia, por tales retracciones y perjudicará la calidad del efluente.

- El aparato controlador de la pérdida de carga se vuelve irregular.
- El filtro no se lavará a la hora exacta.
- El problema tiende a agravarse y la colmatación de la arena llega a profundidades mayores.

Desprendimiento del aire. Cuando el filtro no se lava en el tiempo exacto —es decir, cuando la pérdida de carga (1,80 a 2,50 m) es correcta—, sucede lo siguiente:

- Si se lava antes de tiempo, se consume mayor cantidad de agua.
- Si se lava con exceso de pérdida de carga, se puede producir lo siguiente:

  a) La colmatación de la superficie ofrece mayor resistencia y proporciona al agua una presión negativa en el interior del lecho filtrante. Los gases son solubles en razón directa a la presión y, con la presión negativa, los gases disueltos (O_2, CO_2, etcétera) abandonan el agua, primero en pequeñas burbujas que se unen y luego tienden a subir a la superficie del lecho filtrante.

b) Por el aire introducido directamente hacia los filtros por la empaquetadura de succión de las bombas que impiden la expansión del agua.

c) Cuando la válvula lo permite, tales bombas se vacían y la tubería de bombeo se llena de aire.

d) Cuando se utiliza toda el agua del reservorio de agua de lavado y este se seca al final de la operación.

e) Cuando se forma un remolino dentro del reservorio, etcétera.

Ese volumen de gas obstruye el paso del agua en el filtro, lo cual ocasiona una pérdida de carga mayor y reduce el área filtrante.

Se puede observar que cuando se cierra el efluente del filtro o se abre el registro de lavado, el aire produce un burbujeo.

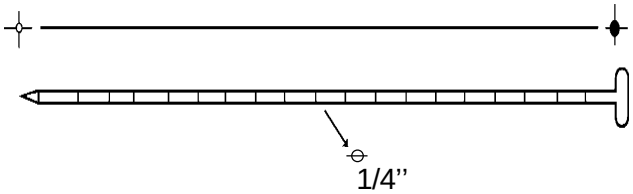
Distribución uniforme de la filtración y del agua de lavado. Cuando se lava un filtro, al inicio de la operación de retrolavado, se debe observar si la suciedad retenida en la superficie de la arena sube horizontalmente en toda el área filtrante.

Cuando esto no sucede, es porque el sistema de drenaje del filtro es deficiente, o bien por un error en el lavado:

- formación de aire en el lecho filtrante;
- aire en la cámara bajo el fondo falso;
- repentina abertura del registro de lavado;
- las capas de grava se agitaron y no se encuentran en nivel.

Es posible comprobar esta imperfección con una varilla de fierro de 1/4 de pulgada de diámetro y dos metros de largo, graduada de 10 en 10 centímetros.

Figura 10



Varilla graduada para determinar la profundidad de la arena

Se introduce dicho instrumento en la arena del filtro seco, hasta percibir que llegó a la grava. La profundidad de la grava en relación con el nivel de la arena se mide con las marcas del instrumento.

Con cambios sucesivos en líneas predeterminadas y a distancias prestablecidas, se puede hacer lo siguiente:

- concluir si la capa de grava está o no nivelada;
- levantar el perfil de la superficie de la grava en el filtro.

Donde existe depresión en la grava, también existen corrientes preferenciales de agua de filtración o de lavado.

Esta imperfección se puede corregir con la remoción, separación (por tamizado) de los diversos tamaños de piedras y arena y su reubicación adecuada.

- Las bolas de lodo se pueden acumular en la grava del filtro.

Bolas de lodo. Las bolas de lodo aparecen cuando el agua en tratamiento es rica en algas (principalmente, las que se adhieren a las paredes) o los filtros no se lavan completamente debido a un periodo de lavado muy corto o con una velocidad ascendente del agua de lavado incorrecta (baja). Los flóculos más densos, que el agua de lavado no condujo hacia afuera, se vuelven a sedimentar en la superficie filtrante; crecen debido a la adherencia de más flóculos y se vuelven más densos al recibir granos de arena.

Tales agregados, inicialmente pequeños y por lo general de forma esférica, pueden llegar a medir tres centímetros o más. Estos se pueden eliminar mediante el lavado mecánico o evitar con la agitación del material del lecho filtrante durante el lavado con rastrillos.

Las bolas de lodo en la superficie del filtro no tienen importancia sanitaria. Sin embargo, al volverse densas y crecer, pueden penetrar en la arena y, al llegar a la grava, formar masas homogéneas que obstruyen el paso del agua.

8.10 Método de Baylis para clasificar el lecho filtrante mediante el volumen de bolas de lodo

Muestreo de la arena

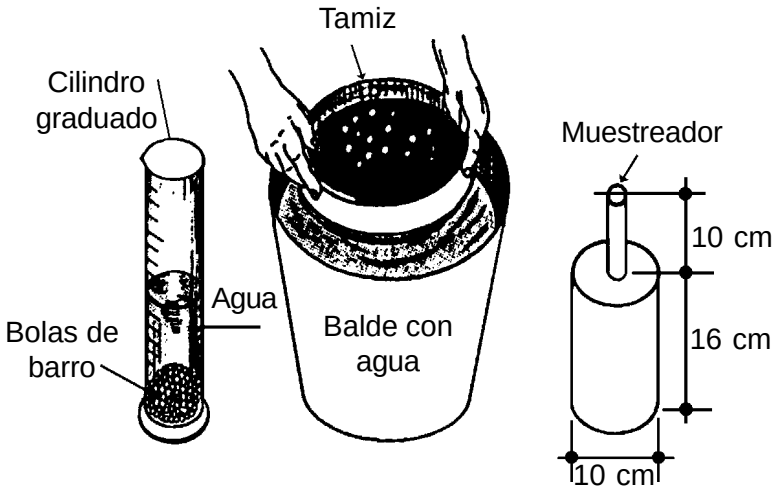
1. Lavar el filtro de la manera usual.
2. Secar el filtro abriendo el drenaje.
3. Recolectar por lo menos cinco muestras de arena de distintas partes del lecho, con la inserción vertical completa en la arena de un tubo de muestra. Cerrar la base del tubo de muestreo y transferir la arena del tubo a un recipiente portátil (por ejemplo, un balde).

Tubo de muestreo o muestreador. Es un tubo metálico de 7,5 centímetros de diámetro por 15 centímetros de altura (véase la Figura 11). Completamente lleno, contiene 662 mililitros de material filtrante, recolectado en la lámina de 15 centímetros del tope de la arena del filtro.

Las cinco muestras tendrán un volumen total de 5 x 662 = 3.310 mL.

Separación de las bolas de lodo. En otro balde de agua, se coloca un tamiz US Standard 10 mesh (10 hilos por pulgada) como se indica en la Figura 11. La arena recolectada se coloca dentro del tamiz, mientras que el tamizado se hace lentamente; de esta manera, la arena se separa de las bolas de lodo, pues estas no pasan por la malla.

Figura 11



No se debe colocar mucha arena en el tamiz porque ello puede hacer que las bolas de lodo —que deben colocarse en una probeta de 500 mililitros n.º1— se rompan.

Medición del volumen de las bolas de lodo. Con otra probeta de 500 mililitros (n.º2), llena de agua hasta la marca, se vierte cuidadosamente el agua en la probeta que contiene las bolas de lodo (n.º1), y se llena hasta la marca.

El volumen del agua que sobre en la probeta n.º 2 será igual al volumen que ocupen las bolas de lodo.

Se puede utilizar el siguiente cuadro:

FILTRO N.º	VOLUMEN DE LA MUESTRA DE ARENA mL (B)	VOLUMEN DEL LODO mL (A)	% DE BOLAS DE LODO (A/B x 100)
1			
2			
3			

Si, por ejemplo, la cantidad total de bolas de lodo y la arena recolectada tienen un volumen igual a 3.310 mililitros y el volumen de bolas de lodo es de 120 mililitros, el porcentaje de bolas de lodo será 3,26% de la muestra.

3.310 mL ——————— 100%
120 mL ——————— x

$$x = \frac{100 \times 120}{3.310} = 3,62\ \%$$

Clasificación

La clasificación del siguiente cuadro para la línea de tope de 15 centímetros se utiliza en Chicago y está basada en pruebas efectuadas en numerosas instalaciones.

% EN VOLUMEN DE BOLAS DE LODO	CONDICIONES DEL MATERIAL FILTRANTE
0,0-0,1	excelente
0,1-0,2	muy bueno
0,2-0,5	bueno
0,5-1,0	regular
1,0-2,5	de regular a malo
2,5-5,0	malo
7,5	muy malo

El operador de la planta de tratamiento de agua se debe esforzar por mantener las bolas de lodo en una concentración inferior a 0,1% en la capa correspondiente al tope del lecho filtrante, de 15 centímetros de espesor.

Grietas y ranuras en el lecho filtrante

Cuando el material filtrante se encuentra en malas condiciones, aparecen grietas o ranuras en el lecho filtrante. Las bolas de lodo penetran en la arena y en la grava durante los lavados debido al crecimiento y a la densidad; todo ello forma una masa compacta impermeable con la grava mientras que el agua filtrada y el agua de lavado son desviadas del flujo natural. En consecuencia, se produce un lavado y una filtración deficientes.

Durante el lavado, la arena no se expande de manera uniforme. Durante la filtración, la arena más expandida y compactada se separa de la menos expandida y compactada mediante ranuras o grietas que terminan llenas de lodo.

Ese lodo se mezcla con la arena y se forman nuevas bolas.

Para encontrar los lugares donde se encuentran obstrucciones de la grava, se utiliza un aparato (Figura 12) que tiene un asta de madera de 2,50 metros en el extremo de la cual se coloca una pequeña tabla de 10 x 5 centímetros (observe la Figura 12).

El aparato se introduce verticalmente en la arena expandida durante el lavado.

En los lugares obstruidos la vara no puede llegar hasta la grava por falta de expansión.

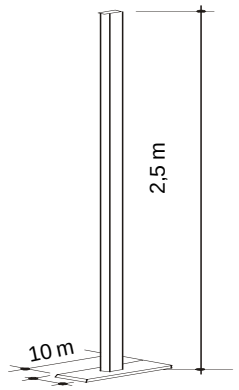
Una vez señalados los lugares resistentes, se pueden romper las compactaciones mediante la introducción de rastrillos en dichos puntos durante el lavado (con agua en dirección contraria a la corriente) para mejorar la condición de los filtros.

Precauciones para la corrección de las alteraciones en los filtros:

1. Correcta aplicación de la dosificación de coagulante.
2. Buena decantación.
3. Lavado con una velocidad de agua correcta y expansión de arena adecuada.
4. Lavado de la superficie de la arena con chorros de agua cuando el filtro no posee un dispositivo para el lavado superficial (Palmer).

5. Lavado mecánico de la arena; renovación de la arena superficial, después de un lavado normal, con paletas, rastrillos y mallas (para deshacer las bolas de lodo).
6. Eventualmente, se puede hacer un lavado químico de la arena, en soda o ácido, dentro o fuera del filtro.
7. Sustitución total de la arena.

Figura 12



Lavado mecánico de la arena:

a) Hacer un lavado normal como lo indican los puntos 1 a 5.

b) Abrir el drenaje para el secado de la arena.

c) Revolver, con paletas, una capa de más o menos 0,20 metros de la arena del filtro y mezclar la arena colmatada de la superficie con la más limpia de la misma profundidad.

   Se debe cuidar de que la arena que se encuentra en las esquinas y junto a las paredes sea sustituida por mezclas de arena con aquella que se encuentra en el centro del filtro.

d) Después de la renovación, se utilizan los rastrillos para encontrar el nivel de la arena. Los dientes de los rastrillos deben ser largos, para que las bolas de lodo eventualmente formadas se rompan con la penetración y el rastrillaje.

e) Cerrar el drenaje.

f) Abrir el lavado (al inicio, lentamente). Fijar el tiempo de lavado.

g) Mantener el lavado normal como en el punto 5.

8.11 Fijación racional del tiempo de lavado

El filtro se debe lavar cuando la tasa de filtración deja de ser económica. Cuando esto sucede, se dice que el filtro está sucio u obstruido.

Normalmente, para lavar los filtros se toma como criterio el tiempo de filtración o el valor de la pérdida de carga.

El tiempo de lavado depende de las condiciones del agua.

Si el tratamiento permanece más o menos constante, se puede lavar el filtro una vez por día, una vez cada dos días, etcétera, después de verificar cuál es el tiempo en que se ensucia el filtro.

Para determinar ese tiempo experimentalmente, se realizan lavados a intervalos crecientes hasta que el filtro presente un burbujeo de aire. Se adopta el tiempo inmediatamente anterior a la formación del burbujeo.

Consecuentemente, cuando no hay constancia en el tratamiento, el único criterio que se debe adoptar es el de la pérdida de carga. Para cada filtro hay una pérdida de carga máxima hasta la cual el filtro funciona bien (y suministra agua de buena calidad). Luego aparecen

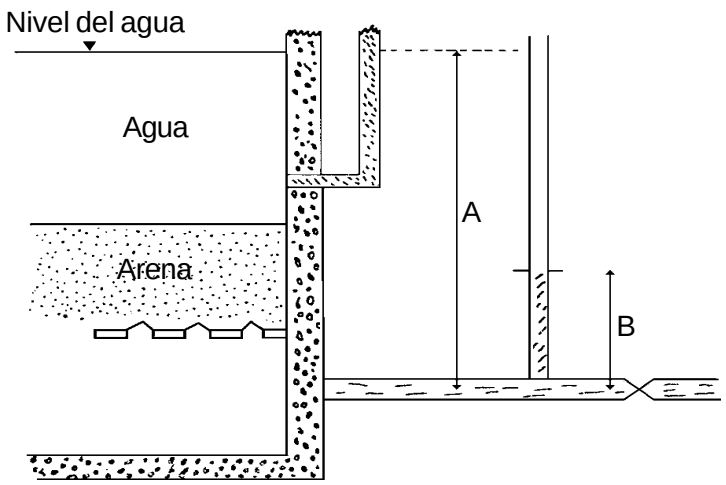
anormalidades y, entonces, se debe lavar el lecho filtrante. Rara vez la pérdida de carga llega a 2,5-3,0 metros, debido a que el lecho filtrante pierde calidad antes.

8.12 Determinación de la pérdida de carga cuando el nivel de agua en los filtros se mantiene constante

En este caso, se puede utilizar un tubo de vidrio o plástico transparente, fijado a una escala graduada en centímetros y conectada al tubo de salida del efluente de cada filtro.

La pérdida de carga será la diferencia entre la altura de la carga (eje de tubería efluente y la altura del nivel de agua constante) y la altura del nivel de agua en el tubo transparente (medida a partir del eje de la tubería efluente del filtro) (Figura 13).

Figura 13



Pérdida de carga = A – B (en m)

Para graduar los medidores e indicadores se considera:

a) el caudal;
b) la pérdida de carga;
c) la velocidad de agua de lavado;
d) la expansión de la arena.

Evaluación de la filtración

En el control sistemático del color y turbidez del agua filtrada en cada unidad de filtración es importante saber lo siguiente:

Un aumento del color y de la turbidez en una unidad filtrante puede significar:

- necesidad de lavado;
- filtro con grietas o desplazamiento de la arena contra las paredes, etcétera.

La determinación de la albúmina residual en el agua filtrada es una confirmación sobre el pH óptimo de floculación, pero la misma prueba en el agua de salida de cada filtro (albúmina soluble e insoluble) puede indicar el paso de flóculos por el lecho filtrante y, de esa manera, ayudar a evaluar las condiciones del filtro en estudio.

La eficacia del tratamiento se evalúa mediante la determinación del O_2 consumido o el conteo de colonias de bacterias en una placa de agar patrón. Las mismas determinaciones en las unidades filtrantes pueden controlar la eficacia de la filtración de cada una de ellas.

El tiempo transcurrido entre dos lavados del mismo filtro (controlado por la pérdida de carga) muestra la eficacia del tratamiento (coagulación y decantación).

Cuando ese tiempo comienza a disminuir, ello significa que las condiciones del tratamiento son malas o que el lecho filtrante es deficiente.

El control y las determinaciones citadas anteriormente en relación con la pérdida de carga ayudan a evaluar la filtración y proporcionan al operador los medios para fijar convenientemente el instante de lavado (el límite de la pérdida de carga para cada unidad filtrante) con el fin de producir el mejor efluente.

El consumo de agua para el lavado del filtro debe ser del orden de 2% a 2,5% del caudal diario (mensual o anual) de la planta de tratamiento de agua.

- Pérdida de carga de 1,80 a 2,50 m;
- O_2 consumido menor que 1,80 ppm;
- albúmina residual total menor que 0,3 ppm, y
- reducción conveniente (90%) del conteo de colonias del agua cruda/agua filtrada.

9. DESINFECCIÓN DEL AGUA (cloración)

9.1 Introducción

La desinfección del agua en las plantas de tratamiento de agua se realiza con cloro y, por ello, el término *desinfección* comúnmente se substituye por *cloración*.

La desinfección es una medida que se debe adoptar en todos los sistemas de abastecimiento, bien con carácter correctivo, bien preventivo. Esto se debe a que toda agua pura o purificada en una estación de tratamiento puede tener un largo recorrido hasta el momento en que es consumida. Del mismo modo, los reservorios pueden ocasionar su contaminación.

La cloración se puede realizar con los siguientes elementos:

a) cloro líquido;
b) cal clorada, e
c) hipocloritos.

9.2 Cloro líquido

Se suministra en cilindros especiales, bajo presión, con una pureza de hasta 99,99%, con pesos de 40, 68 y 900 kilogramos.

Cuando se retira el gas del recipiente, la presión interior disminuye y se pierde calor. Para conservar el calor y la presión, se necesita una fuente de calor externa que puede ser agua o un irradiador en el caso de temperaturas bajas (frío).

La cantidad de cloro que se puede retirar de los cilindros a una temperatura de 25 °C sin congelación será:

8 kg/día por cilindro de 40 kg;
16 kg/día por cilindro de 68 kg;
180 kg/día por cilindro de 900 kg.

En caso de que se necesiten cantidades mayores, se utilizan baterías de cilindros, pero cada cilindro debe proporcionar solo la cantidad indicada anteriormente.

9.3 Precauciones sobre el uso del cloro líquido

Cuando el cloro se utiliza sin cuidado, es peligroso para las personas y puede destruir materiales. Por ello, se necesitan cuidados constantes de parte de los operadores de las plantas de tratamiento de agua, así como un mantenimiento eficaz en el equipo de cloración:

Los cloradores se deben mantener en temperatura ambiente entre 10 y 30 °C. En ningún caso se deben mantener sobre 65 °C.

Cuando el cloro es altamente tóxico, es indispensable usar una máscara.

El gas seco no es corrosivo; las tuberías que conectan los cilindros a los aparatos dosificadores pueden ser de cobre, pero la solución concentrada de cloro es altamente corrosiva, por lo cual sus tuberías deben ser de material adecuado (caucho, tuberías de plástico PVC, etcétera).

Para verificar y localizar pequeñas fugas de cloro, se utiliza amoniaco en los cilindros o en los dosificadores. La combinación de amonio con cloro produce un humo blanco visible.

Nunca se debe aplicar agua en la fuga de cloro, porque se formará ácido clorhídrico (cloro húmedo), que es muy corrosivo y con lo cual aumentará la fuga.

La soda cáustica puede absorber rápidamente el cloro gaseoso: se necesitan 800 gramos de soda cáustica para 500 gramos de cloro. Once kilogramos de soda cáustica pueden disolverse en 38 litros de agua.

En resumen, se deben seguir las siguientes indicaciones:

1) El cloro puede ser utilizado solamente por una persona preparada y de confianza.
2) Se deben evitar los residuos. También se debe garantizar que los recipientes no se golpeen, pues se puede quebrar el tubo y se pueden dañar las válvulas.
3) Los recipientes se deben almacenar a temperaturas medias, lejos del calor.
4) Nunca hay que hacer una conexión de un recipiente lleno al tubo de enlace con otros recipientes mientras las temperaturas y presiones no sean aproximadamente las mismas.
5) Conservar las tapas sobre las válvulas de los recipientes cuando estos no estén en uso y volver a colocarlas cuando estén vacíos.
6) Cerrar la válvula del recipiente cuando este vacío.
7) No aplicar fuego o soplete para calentar el recipiente.
8) Los cilindros de cloro, antes de ser conectados al aparato, deben tener sus válvulas probadas al aire libre. Cuando el cilindro no está en buen estado, debe ser rechazado y marcado.

9.4 Dosificadores para el cloro líquido

Existen dos tipos:

a) **Alimentación directa:**
El gas se disuelve directamente en el punto de tratamiento.

b) **Alimentación por solución:**
El gas se disuelve en una corriente de agua menor y la solución resultante se coloca en el punto de tratamiento.

En la operación y mantenimiento de los dosificadores (cloradores), se debe tomar las siguientes precauciones:

a) Cerrar todos los extremos de las tuberías que estén desconectados con la tapa de jebe o plástico para impedir que la humedad entre.
b) Mantener siempre ventilado el compartimiento de los cloradores o el del depósito de los cilindros.
c) Manejar las válvulas lentamente y sin forzarlas.
d) Controlar el flujo de cloro y la dosificación de la respectiva aplicación permanentemente en función de los análisis de cloro residual.
e) Prever la reparación o sustitución de todas las piezas gastadas o dañadas.
f) Conservar el equipo limpio, bien preparado y seco.
g) Prever la sustitución inmediata de los cilindros a medida que se vacían y tener siempre un almacén adecuado para ellos.

9.5 Compuestos de cloro más utilizados

Cal clorada (cloruro de cal). Polvo blanco con una proporción de 25 a 30% de cloro disponible.

Cuando se almacena en un lugar seco y frío, se pierde poco cloro, pero cuando el lugar es húmedo y caliente, se deteriora rápidamente.

Se utiliza en instalaciones pequeñas, en casos de emergencia, fábricas y piscinas, con una solución de hasta 2,5% de cloro disponible.

Hipoclorito de calcio (Perchloron, HTC, etcétera). Polvo blanco con aproximadamente 70% de cloro disponible. En su empleo, se deben tomar las mismas precauciones que las del almacenamiento de la cal clorada. Se aplica en una solución de hasta 2,5% de cloro disponible. Puede estar almacenado durante un año o más, siempre y cuando sea en un ambiente bien acondicionado.

Hipoclorito de sodio. Se encuentra en forma de solución a 10% de cloro activo almacenado en reservorios metálicos de 40%.

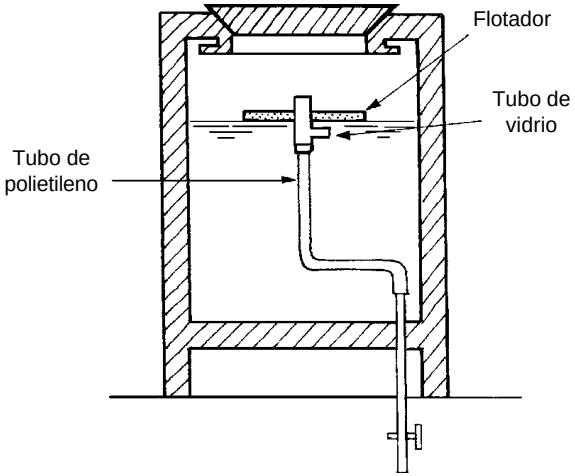
Cuando es una preparación reciente, dura tres meses y se debe guardar en un lugar oscuro y fresco.

9.6 Dosificadores

Los dosificadores para la solución de hipocloritos o de cal clorada son:

1) frasco de Mariote;
2) hipocloradores, y
3) dispositivos simples para instalaciones pequeñas y servicios de emergencia.

Figura 14



Esquema de dispositivo simple de cloración

Está formado por un tanque que contiene la solución que va a ser dosificada. En su interior se encuentra el recolector de la solución formado por un simple tubo de plástico que atraviesa un extremo situado debajo del nivel de la solución. El tubo de plástico se une mediante un tubo flexible (jebe) a una válvula externa para la aplicación del agua que va a ser tratada.

9.7 Demanda de cloro

La demanda de cloro se define como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicado en el agua y la cantidad de cloro (libre o combinado) que permanece al final de un periodo de contacto específico.

La demanda de cloro es la cantidad de cloro que consumen las impurezas en un determinado lapso.

9.8 Práctica de la cloración

1. **Cloración simple** (marginal). Consiste en la aplicación de la cantidad mínima de cloro para obtener un residual pequeño.

   Se aplica una determinada dosis de cloro (según el pH) y, después del intervalo recomendado, se verifica el residual; si es necesario, se gradúa la dosis de cloro.

   Cuando se trata de aguas filtradas:
   - cloro aplicado: 0,20 a 0,60 mg/L.

   Cuando se trata de aguas no filtradas:
   - cloro aplicado: 1 mg/L o más (según el pH del agua).

   El examen bacteriológico frecuente demuestra la eficacia de la desinfección.

2) **Precloración.** Es la aplicación del cloro en el agua antes de cualquier otro tratamiento.

   Como vimos en el capítulo sobre represas de almacenamiento, el cloro se puede aplicar como alguicida, solo o con sulfato de cobre.

   La precloración también se puede realizar en agua cruda, a la entrada de la planta, con los siguientes objetivos:

   a) Para controlar o limitar el desarrollo de microorganismos en los decantadores y filtros (es decir, para evitar la proliferación de algas y otras plantas en las paredes del decantador y del filtro, además de retardar la fermentación del lodo).

   b) Para mejorar las condiciones de coagulación; en algunos casos, se utiliza menos coagulantes.

   c) Para reducir el número de bacterias en una instalación que trata agua muy contaminada (cuando el número de bacterias asciende a 5.000 por 100 mililitros, se recomienda la precloración).

   d) Reducción de la concentración del amonio libre en el agua.

   e) Reducción de la concentración de fierro y manganeso.

   Por lo general, la precloración exige dosis elevadas (una ppm o más) debido a la presencia de grandes cantidades de impurezas concentradas.

3) **Poscloración.** Consiste en la aplicación de cloro en el agua después del tratamiento.

   Esta aplicación completa la desinfección previa y proporciona el residual que se va a mantener.

4) **Cloración adicional.** Es la aplicación de cloro en el agua en uno o más puntos del sistema de distribución después de la poscloración.

   Se utiliza para asegurar el mantenimiento de un residual de cloro adecuado en el sistema de distribución y constituye una protección adicional para evitar que las bacterias ingresen en la red de distribución.

10. CONTROL DEL SABOR Y DEL OLOR

10.1 Introducción

Con frecuencia se asocia el olor con el gusto del agua. Ambas características se pueden derivar de las mismas impurezas. El sabor constituye una asociación de las dos sensaciones y en ella predomina el olor, por ser más perceptible. Por ello, el agua que recibe el consumidor debe tener buen sabor y olor.

10.2 Causas del sabor y del olor

Los sabores y olores se pueden deber a los siguientes elementos:

a) algas (es lo más frecuente);

b) descomposición de vegetales;

c) lodos ricos en bacterias;

d) transformaciones bacterianas de ciertas sustancias inorgánicas;

e) residuos industriales arrojados a las fuentes.

Uno de los olores más desagradables es el que producen los clorofenoles.

Los clorofenoles son producto de la reacción de los fenoles que contienen los residuos industriales, como el cloro añadido al agua.

10.3 Tratamiento

El tratamiento más eficaz es el preventivo. Entre los métodos preventivos podemos mencionar el tratamiento del agua cruda con sulfato de cobre, cloro, carbón activado y el lavado de los decantadores.

La cloramina se ha usado regularmente como tratamiento preventivo de sabores y olores, principalmente de los fenólicos.

El carbón activado es uno de los medios que más se utiliza para controlar el sabor y olor. Este se puede aplicar en el agua cruda, en la capa de mezcla, en el tanque de decantación y a la entrada del filtro.

La cantidad de carbón que se necesita para este trabajo es, en la práctica, de 0,24 a 120 g por m^3, según la concentración de las sustancias productoras de sabor y olor.

La aeración elimina el sabor y el olor que provocan las sustancias volátiles o la presencia de H_2S, pero es ineficaz para combatir los olores y sabores causados por algas y otros vegetales, o bien por la descomposición de microorganismos.

11 CORRECCIÓN DEL pH

11.1 Introducción

La corrección del pH es un método preventivo de la corrosión de tuberías. Consiste en la alcalinización del agua para remover el gas carbónico libre y formar una película de carbonato en la superficie interna de las tuberías.

Para formar la capa o película protectora se eleva el pH del agua al punto de saturación (o incluso, una ligera sobresaturación) con carbonato de calcio.

11.2 Control de la dosificación de cal para evitar la corrosión o la incrustación excesiva

1) Se toma una muestra del agua que se va a distribuir:
   a) se determina el pH;
   b) se determina la alcalinidad.
2) Se agrega un exceso de carbonato de calcio precipitado, puro (una cucharadita de carbonato en cada 150 mililitros de la muestra) a una porción de la misma agua tratada.
3) Agitar por algunos instantes en un frasco cerrado y dejar que el carbonato se deposite.
4) Filtrar una porción y determinar el pH.
5) Repetir las operaciones (3) y (4) hasta que el pH sea constante.
6) Finalmente, filtrar una nueva porción (con el pH constante) y determinar el pH y la alcalinidad en el agua filtrada.
7) Comparar con el pH y la alcalinidad del agua inicial:
   a) Si la alcalinidad o el valor del pH y m(a) y (b) es menor que en (6), entonces el agua no está saturada con carbonato y se debe aumentar la cal de corrección.
   b) Si son iguales, el agua está saturada de carbonato de calcio (está en el pHs).
   c) Si es menor, el agua está sobresaturada de carbonato de calcio y se debe reducir la cal de corrección. El pH de saturación es el que se encuentra en (6) y es el que se va a utilizar.

En los casos (a) y (b), el pH de corrección debe ser ligeramente más alto que el pH de saturación encontrado mediante la precipitación de carbonato para formar la película protectora en la tubería.

11.3 Control en la red

Para formar la película protectora interna en la tubería de distribución mediante la precipitación de carbonato, se debe controlar y observar la tubería para que la incrustación no sea mayor que lo deseado (un milímetro). Para ello se deben observar los tubos retirados de la red por ruptura, substitución, etcétera.

12. FLUORACIÓN

La finalidad convencional del tratamiento de agua para el abastecimiento público es presentar agua de buena calidad física, química y bacteriológica.

Naturalmente, en un principio hubo oposición al empleo de compuestos químicos como el sulfato de aluminio, el cloro, etcétera, pero actualmente esto es de aceptación general.

Hace algunos años, cuando se reconoció que ciertas sustancias como el plomo, el selenio y el cromo hexavalente e incluso el flúor en exceso eran tóxicas, se trató de impedir el uso de tales aguas o remover los ingredientes indeseables. El objetivo siempre ha sido ofrecer agua de buen aspecto físico y calidad sanitaria segura.

La idea de añadir al agua sustancias que podrán estar presentes tanto en esta como en los alimentos con el propósito de asegurar el adecuado desempeño fisiológico del cuerpo humano constituye una nueva finalidad del tratamiento de agua.

Se sabe que muchas sustancias alimenticias básicas son necesarias para la salud. Muchas veces se desconoce que ciertos elementos que

se obtienen del agua o de los alimentos tienen la misma importancia en cantidades muy pequeñas.

Por ejemplo:

Cada individuo necesita cerca de dos miligramos de cobre, de 6 a 10 miligramos de hierro, de 0,01 a 0,1 miligramos de yodo por día (necesario para la actividad normal de la glándula tiroidea), etcétera.

Recientemente, después de polémicas exhaustivas, el flúor pasó a formar parte de esta lista de elementos esenciales.

La fluoración, por ejemplo, es un método preventivo contra la descomposición del esmalte de los dientes (el cual, una vez dañado, no tiene reparo). La caries dental ataca a cada 95 de 100 personas y, sin duda, es la enfermedad más expandida.

La fluoración de las aguas de abastecimiento público ayuda a que los dientes sean más resistentes y saludables.

Los dientes son huesos muertos y, obviamente, la acción benéfica del flúor tiene más ventajas durante el tiempo de su formación. Se trata de un proceso de largo plazo (10 años). Sin embargo, la aplicación del flúor no debe ser discontinua para que se pueda lograr el efecto deseado.

La acción del flúor puede producirse por las siguientes razones:

1) aumento de la insolubilidad de la parte mineralizada del diente, con lo cual se vuelve más resistente a las bacterias;

2) mayor concentración de fluoruro en la cavidad oral e inhibición de los procesos enzimáticos que disuelven la sustancia orgánica protética y el material calcificador del diente;
3) su presencia hace que el medio se vuelva inadecuado para el desarrollo de *Lactobacillus acidophillus*.

La saliva tiene una gran acción protectora contra las caries dentales, la cual se refuerza cuando se utiliza agua fluorada.

12.1 Compuestos de flúor utilizados en la fluoración del agua

En la fluoración del agua se utilizan los siguientes compuestos:

- fluoruro de sodio comercial;
- fluosilicato de sodio;
- ácido fluosilícico;
- fluosilicato amónico (en escala reducida), y
- fluoruro de calcio o fluorita.

Fluoruro de sodio. Se presenta en forma de polvo fino o granulado, con una pureza de 95% y con 45% de flúor. Posee una solubilidad casi constante: 4,03% a 15 °C y 4,11% a 100 °C.

El pH de la solución a 1% es 6,5 y el de una solución saturada, entre 6,0 y 7,0, sin ser por ello corrosiva.

Fluosilicato de sodio. Es un polvo cristalino, blanco amarillento, no higroscópico, sin agua de cristalización. Su solubilidad es muy baja: 0,54% a 10 °C y 2,45% a 100 °C.

El pH de una solución saturada de fluosilicato de sodio es de 3,5, lo cual significa que es muy corrosiva.

Ácido fluosilícico. De uso y transporte peligrosos.

Fluoruro de calcio o fluorita. Solubilidad: 0,0016%. Soluble en ácidos y también en solución de sulfato de aluminio.

Aunque no se hayan superado las dificultades que impiden el uso del fluorito, se ha logrado una concentración de hasta 0,5 mg/L en el agua tratada mediante la aplicación de su solubilización.

Es probable que en el futuro esta forma de fluoración sea más económica.

12.2 Métodos de aplicación y uso

Fluoruro de sodio. Precauciones: evite respirar el polvo; báñese después de usarlo; limpie inmediatamente cuando se derrame; utilice máscaras protectoras, guantes, lentes, principalmente cuando el producto viene en polvo. Es preferible utilizar el fluoruro de sodio granulado para correr menos riesgos.

Aplicación:

Por lo general, se aplica una solución de 2% a 3%. Es lo más conveniente para las instalaciones pequeñas. La solución de fluoruro de sodio se prepara con agua (se debe realizar con guantes), en tanques con capacidad para 24 a 30 horas de consumo. La sal se deberá pesar con el máximo rigor y el agua se deberá medir de la misma manera. Una vez que la concentración de la solución se

conoce con exactitud, la aplicación de la dosis conveniente resulta más fácil.

La solución se podrá aplicar mediante el sistema de aplicación de hipocloritos: con frasco de Mariote, bombas volumétricas, dosificadores de nivel flotante, etcétera. En todos los casos, se recomienda medir la cantidad de solución que se está aplicando periódicamente. Si se conoce el escurrimiento, la concentración de la solución, el porcentaje de pureza de la sal y el volumen de agua en tratamiento, se puede mantener una dosificación perfecta.

El ensayo de laboratorio se utilizará como confirmatorio.

Ejemplo:

V (en m^3) = volumen de agua en tratamiento por minuto = sea 3 m^3/minuto.
v (en mL) = escurrimiento de la solución en mL/minuto = x
P = pureza de la sal = 95%
C = concentración de la solución = 2%
D = dosis de fluoruro que se va a aplicar = 0,8 mg/L

Cálculo:

$$x = \frac{V.\ D.\ 10.000}{C.\ P} = \frac{3 \times 0{,}8 \times 10.000}{2 \times 9{,}5} = 126{,}2 \text{ mililitros por minuto}$$

Solución saturada. Es el sistema recomendable para ciudades que tienen una población de hasta 80.000 habitantes, por ser sencillo, fácil de usar y por tener equipos de bajo costo.

Como la solubilidad del fluoruro de sodio es prácticamente constante (4%), se obtiene una solución aplicable por medio de dosificadores comunes con un saturador donde se puede aplicar sal para varios días.

Suspensión. La suspensión se puede preparar en agitadores o mezcladores mecánicos y dosificar mediante dosificadores similares a los que se usan para aplicar la lechada de cal.

Aplicación al seco. El fluoruro de sodio se puede aplicar al seco, en grandes instalaciones, mediante alimentadores comunes de tipo volumétrico o gravimétrico (observe el sulfato de aluminio).

Fluosilicato de sodio. El fluosilicato de sodio se utiliza directamente en polvo o en suspensión, debido a su solubilidad variable más baja.

La suspensión se prepara en agitadores o mezcladores mecánicos (hasta 20%) y se aplica con un dosificador de líquidos que debe ser de material anticorrosivo y especial para suspensiones espesas. Este sistema no funciona en instalaciones pequeñas, aunque el fluosilicato de sodio sea relativamente más barato que el fluoruro de sodio.

Aplicación al seco. Es semejante a la aplicación del fluoruro de sodio.

12.3 Dosis requeridas de compuestos de flúor

La cantidad o dosificación del compuesto de flúor, necesaria para la fluoración de un agua determinada, depende de los siguientes factores:

1) de la pureza del compuesto que se va a utilizar;
2) de la dosificación del fluoruro natural del agua;
3) de la concentración de ion fluoruro del compuesto;
4) de la concentración deseada para el agua tratada.

Se cree que el consumo per cápita de ion fluoruro debe ser de 1,5 miligramos por día. No se dispone de información segura sobre el consumo real de agua potable y hábitos de alimentación y bebidas, etcétera. Sin embargo, McClure señala que el consumo promedio de agua potable es de aproximadamente 1,2 a 1,6 litros per cápita por día.

Estudios realizados en California a inicios de los años cincuenta demostraron que cada aumento de grado de temperatura máxima del día, entre 10 °C y 38 °C, corresponde a un aumento de ingestión promedio de agua, lo que fue calculado sobre la base de los datos climatológicos de dos ciudades.

Tales conclusiones hicieron posible establecer una fórmula para determinar la concentración óptima de fluoruro para una colectividad, la cual se puede determinar simplemente con la temperatura mínima durante un periodo de cinco años o incluso mayor.

La mínima de las máximas temperaturas en °C es la única medida que se puede utilizar para determinar dicha concentración. El método se fundamenta en la siguiente ecuación.

La fórmula es la siguiente:

$$mg/L \text{ de fluoruro} = \frac{0,34}{E}$$

El número 0,34 es el promedio de ingestión de agua para niños de 10 años de edad en unidades de peso (28,691 g) por 0,453 g de peso corporal.

Esto se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$E = 0{,}1604 + 0{,}01116\ ^{o}C$$

^{o}C = temperatura menor máxima durante un periodo de 5 años o más.

Ejemplo:

Cuando la menor temperatura es 30 ^{o}C, si aplicamos la fórmula tendremos lo siguiente:

$$mg/L\ de\ fluoruro = \frac{0{,}38}{E}$$

dado que:

$E = 0{,}1604 + 0{,}1116\ ^{o}C$, tendremos:

$E = 0{,}1604 + 0{,}01116 \times 30 = 0{,}4952$. Si reemplazamos:

$$\text{mg/L de fluoruro} = \frac{0{,}34}{0{,}4952} = 0{,}7\ \text{mg/L}$$

12.4 Toxicidad del flúor

La aplicación incorrecta de un compuesto de flúor requeriría un error de por lo menos 50% por encima de la dosificación establecida

para producir una concentración de iones de fluoruro de 1,5 miligramos por litro o más. Este margen de error debería mantenerse durante varios meses antes de que el exceso de flúor cause manchas en los dientes de los niños que consumen el agua excesivamente dosificada.

Ese margen supera muchos errores inevitables, propios de los dosificadores químicos que fluctúan entre 1,5 y 10%.

La ingestión de 0,25 gramos de fluoruro de sodio puede causar un estado agudo que se manifiesta mediante vómitos y un aumento de salivación. Tal cantidad, en un vaso de agua, equivale a la dosificación de una tonelada de fluoruro de sodio en un millón de litros de agua. Esto excedería la capacidad de los dosificadores que, por seguridad, se eligen con una capacidad de reserva tan solo ligeramente mayor de la establecida.

12.5 Conclusión

La fluoración del agua de un abastecimiento público constituye una mejora de la calidad del líquido distribuido a la población.

Cuando se desea favorecer esa mejora, es importante que las respuestas a las siguientes preguntas sean afirmativas:

- ¿Se abastece a toda la población con el agua tratada?
- ¿La población acepta, consume y confía en el abastecimiento?
- ¿El agua distribuida cumple los patrones de potabilidad?
- ¿El agua se mide antes de la llegada a la planta, en la planta de tratamiento de agua y durante la distribución?
- ¿La temperatura ambiente se conoce por un periodo largo para calcular la dosificación?

- ¿Es posible controlar el sistema de fluoración de manera eficaz?

13 DUREZA

13.1 Introducción

El agua pluvial, al caer, contiene pequeñas cantidades de materia orgánica y gases disueltos.

Al escurrirse o correr por la superficie de la tierra, ejerce su acción disolvente sobre los minerales y las sustancias orgánicas.

La corteza terrestre contiene una cantidad de sales minerales, como sulfatos de calcio y magnesio, que se disuelven en el agua.

Cuando hay un aumento de CO_2 en el agua, esa disolución aumenta aún más.

El calcio es el principal causante de la dureza del agua, seguido del magnesio, que se encuentra en las aguas naturales en una concentración de 5 a 20% sobre la concentración de calcio.

Tales elementos se encuentran en el agua como bicarbonatos y sulfatos y algunas veces como cloruros y nitratos.

La dureza, conformada por bicarbonatos de calcio y magnesio, se denomina *dureza temporal* y la conformada por sulfatos, cloruros y nitratos, *dureza permanente*.

La suma de las dos constituye la *dureza total*.

La dureza permanente está relacionada con los denominados *incrustantes*.

La dureza temporal puede removerse fácilmente con un simple proceso de ebullición, mientras que la dureza permanente solo podrá removerse con un tratamiento específico.

13.2 Ablandamiento

El ablandamiento del agua es económico (se ahorra jabón y combustible); prolonga la duración de los materiales; reduce las pérdidas, las reparaciones y la substitución de piezas, principalmente en los sistemas de agua caliente. Da comodidad a los hogares y facilita el trabajo casero. Atrae industrias nuevas y hay menos quejas por parte del consumidor.

Existen pocas desventajas del ablandamiento del agua y se presentan solo cuando la reacción de ablandamiento es excesiva.

El agua muy densa puede ser corrosiva.

Si la proporción sodio-calcio es muy alta, no se puede utilizar el agua sin perjuicio para irrigar los sembrados.

Existen varios procesos para determinar la dureza del agua. El más sencillo y rápido es la trituración de la muestra con una solución de jabón (alcohólica), graduada de tal forma que un mililitro de la solución sea equivalente a un miligramo por litro de dureza, en términos de $CaCO_3$.

13.3 Métodos para expresar la dureza

Dureza-correspondencia	ppm o mg/L	Grados US galón	Grado Clark	Grado francés	Grado alemán
ppm o mg/L	1	0,058	0,07	0,10	0,056
Grados US galón	17,1	1,0	1,2	1,71	0,96
Grado Clark	14,3	0,83	1,0	1,43	0,80
Grado francés	10,0	0,583	0,7	1,00	0,56
Grado alemán	17,8	1,04	1,25	1,78	1,00

13.4 Clasificación de la dureza de las aguas

Dureza: ppm o μg/L en CaCO3	Clasificación
0 a 55	densa
56 a 100	ligeramente dura
101 a 200	moderadamente dura
201 a 500	muy dura

13.5 Procesos de ablandamiento

Reducción de la dureza temporal

- Por calentamiento, y
- por la aplicación de hidróxido de calcio.

En caso de haber un ablandamiento del agua, este se puede explicar mejor si se representa con ecuaciones químicas.

Por calentamiento:

$$Ca(HCO_3)_2 \rightleftharpoons \underline{CaCO_3} + H_20 + CO_2$$

Por aplicación de hidróxido de calcio:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow 2\ \underline{CaCO_3} + 2H_20$$

Como este proceso proporciona agua altamente cáustica (alcalinidad debida al OH^-), se recomienda el tratamiento parcial. La mayor parte del agua recibe ese tratamiento y después se agrega agua cruda para compensar la causticidad.

También se puede volver a carbonatar el agua con CO_2 hasta que la alcalinidad total, menos del doble de la alcalinidad para la fenolftaleína, sea aproximadamente igual a 5.

Reducción de la dureza temporal y permanente

- Mediante el uso de cal sodada (hidróxido de calcio + carbonato de sodio);
- mediante el cambio de cationes.

Uso de la cal sodada

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow \underline{CaCO_3} + H_2O$$

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow 2\ \underline{CaCO_3} + 2H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow \underline{CaCO_3} + MgCO_3 + 2H_2O$$

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow \underline{CaCO_3} + \underline{Mg(OH)_2}$$

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow \underline{Mg(OH)_2} + \underline{CaSO_4}$$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow \underline{CaCO_3} + \underline{Na_2SO_4}$$

Intercambio de cationes

El ablandamiento del agua mediante el proceso de intercambio de cationes depende de la capacidad que tienen ciertas sustancias insolubles (principalmente los silicatos) para intercambiar cationes con otras sustancias disueltas en el agua.

Cuando un agua dura pasa a través de un intercambiador de cationes de sodio, el sodio del dispositivo reemplaza el calcio y al magnesio del agua dura.

Cuando el intercambiador haya proporcionado todo el sodio (cuya proporción se conoce por la determinación de la dureza del agua efluente), tendrá que ser reproducido con una solución de cloruro de sodio (NaCl) en dirección contraria a la corriente y después con agua blanda hasta la remoción de los cloruros.

Nota: por lo general, son más económicas la reducción de la dureza temporal con cal y la reducción de la dureza permanente con un dispositivo para intercambiar cationes. En algunos casos, se puede utilizar una combinación de ambos procesos para disminuir el costo.

14 REMOCIÓN DE FIERRO Y MANGANESO

El fierro tiene más demanda que el manganeso, aunque, por lo general, se utilizan simultáneamente.

Las aguas almacenadas en represas en cuyo fondo quedan sumergidas formaciones mangano-ferruginosas, tienden a acumular fierro y manganeso debido a que la descomposición de la materia orgánica acumulada en la parte más profunda de la presa resulta en la eliminación del oxígeno y CO_2, de tal manera que los compuestos de fierro y manganeso existentes en el suelo y en las rocas sumergidas se convierten en compuestos solubles. Las aguas próximas a la superficie de las represas probablemente tienen menos fierro y manganeso.

Las capas de agua en profundidades diversas permiten obtener agua del nivel más adecuado.

En la aeración, el fierro se puede oxidar, pero en la remoción del manganeso, la aeración sola no es suficiente.

Es necesario elevar el pH de 8,5 a 10,0, pero la precipitación es mejor cuando la aeración está acompañada por un contacto de dióxido de manganeso o un lecho de mineral de pirolusita.

El cloro oxidará el hierro y el manganeso.

La coagulación convencional mediante el sulfato de aluminio, especialmente cuando se practica la precloración, remueve el fierro y el manganeso.

Se obtienen mejores resultados cuando se utiliza sulfato de hierro II clorado o sal de hierro III con cal como coagulante para la coagulación en valores altos de pH.

Cuando se remueve el hierro y el manganeso, estos se pueden acumular en los sistemas de distribución, transmitir sabor y olor al agua, darle color, interferir en la determinación del residual de cloro y provocar manchas en la ropa y en los sanitarios.

15 MÁS SOBRE LA CLORACIÓN

Hay una tendencia general a adoptar el término *cloración* como sinónimo de *desinfección*. Esto se debe a que, normalmente, en los abastecimientos de agua se realiza la desinfección con cloro.

Sin embargo, en las fuentes se puede emplear el cloro como alguicida, solo o con sulfato de cobre; también se puede emplear en la precloración como oxidante del hierro y del manganeso natural del agua; como oxidante del amonio; como auxiliar de la coagulación en el sulfato ferroso, etcétera.

Entonces, sería mejor definir la cloración como la aplicación de cloro en el agua.

El término *desinfección* quedaría reservado para la definición inicial: la eliminación de los microorganismos nocivos.

Cuando se añade cloro gaseoso al agua, se mezcla y forma el ácido clorhídrico y el ácido hipocloroso.

$$Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HCl + HClO$$

Cuando aplicamos hipoclorito de sodio:

- la sal se disocia por hidrólisis:

$$Ca(ClO)_2 + 2H_2O \rightleftharpoons Ca(OH)_2 + 2HClO$$

- Hipoclorito de sodio:

$$NaClO + H_2O \rightleftharpoons NaOH + HClO$$

Para verificar la formación del HCl0 (ácido hipocloroso), se añade cualquiera de las sustancias representadas en las fórmulas anteriores.

A su vez, el HCl0 también se disocia.

$$HClO \rightleftharpoons H^+ + ClO^-$$

La constante de disociación: $\frac{(H^+)\ (ClO^-)}{(HClO)} = K$

varía con la temperatura; pero también varía —y esto es más importante— con la concentración hidrogénica del agua: el pH.

En los valores de pH bajo 5,0, el cloro también se halla en forma molecular.

Siempre son tres las formas en las que se puede encontrar el cloro en el agua:

$$Cl_9\ HClO_9\ ClO^-$$

En el pH inferior a 5,0 predomina el cloro en la forma Cl_2; en la zona de pH entre 5,0 y 7,5 predomina la forma HClO y en el pH de 7,5 a más, la más frecuente es la forma ClO^-, aunque también están presentes las otras formas, pero en una proporción mucho menor.

Para los valores corrientes del pH de las aguas que se van a tratar (sobre 5,0), en la práctica el cloro predominante siempre está en las formas de HClO y ClO^-.

El ácido hipocloroso, HClO, es aproximadamente 80 veces más poderoso como desinfectante que el ion hipoclorito ClO^-.

Se concluye, así, que el poder bactericida del cloro decrece a medida que el pH aumenta.

El cloro disponible en la forma de HClO y ClO^- se denomina *cloro residual libre*.

15.1 Demanda de cloro

Cuando se añade cloro al agua, este interactúa con la materia orgánica e inorgánica contenida en ella y, al mezclarse, provoca oxidaciones u origina la coagulación de ciertos compuestos orgánicos.

Mientras que con la materia inorgánica el cloro actúa rápidamente, la reacción con la materia orgánica es más lenta, hecho de gran importancia en el proceso de desinfección del agua.

Tomemos un ejemplo de tres muestras de la misma agua (de determinada calidad) a las que se añade cantidades crecientes de cloro en sendos frascos:

1	2	3
1	2	3

Los frascos tienen el mismo volumen del líquido y en ellos colocamos cantidades 1, 2 y 3 de cloro. Entonces, podremos verificar:

- frasco 1: el cloro añadido se mezcla y permite un residual;
- frasco 2: el cloro añadido se mezcla inicialmente y después se oxida (permite un residual), y
- frasco 3: el cloro añadido se mezcla, oxida, coagula y permite un residual.

Hay una aceleración de las reacciones cuando hay mayor cantidad de cloro.

Entre las sustancias frecuentemente contenidas en el agua, con las cuales interactúa el cloro, el amonio (NH_3) tiene una importancia especial, así como otros compuestos nitrogenados orgánicos, tales como proteínas y aminoácidos, con los cuales el cloro forma las llamadas cloraminas y otros derivados del cloro de menor importancia.

La importancia de las cloraminas en la desinfección del agua reside en la particularidad de contener cloro disponible para nuevas reacciones, aunque *menos enérgicas* que las del cloro libre.

1) – $NH_3 + \rightarrow NH_2Cl + H_2O$ *(monocloramina)*

2) – $NH_2Cl + HC10 \rightarrow NHCl_2 + H_2O$ *(dicloramina)*

3) – $NHCl_2 + HC10 \rightarrow NCl_3 + H_2O$ *(tricloruro de nitrógeno)*

En los valores de pH del agua superiores a 9,0 predominan las monocloraminas (NH_2Cl). En los valores de pH inferiores a 5,0 predominan la dicloramina ($NHCl_2$) y el tricloruro de nitrógeno (NCl_3).

En los valores de pH de 5,0 a 9,0, a medida que crece el pH se forma una mezcla de monocloramina y dicloramina con concentraciones crecientes para la primera y decrecientes para la segunda.

La acción bactericida de las cloraminas se debe principalmente a la dicloramina, lo cual explica por qué los valores altos de pH del agua también son desfavorables.

El residual de cloro en la forma $NHCl_2$ y NH_2Cl se denomina *cloro residual combinado*.

Cuando se aplica cloro en el agua, las reacciones que se originan absorben una parte (del cloro) de tal manera que su poder desinfectante, en determinado momento, depende solo del cloro disponible para las nuevas reacciones; es decir, del *cloro residual disponible*. Este incluye no solo el cloro residual libre HClO y ClO^- sino también las cloraminas, cloro residual combinado: $NHCl_2$ y NH_2Cl.

Como ambos tienen velocidades de reacción diferentes, es importante distinguirlos (método OTA).

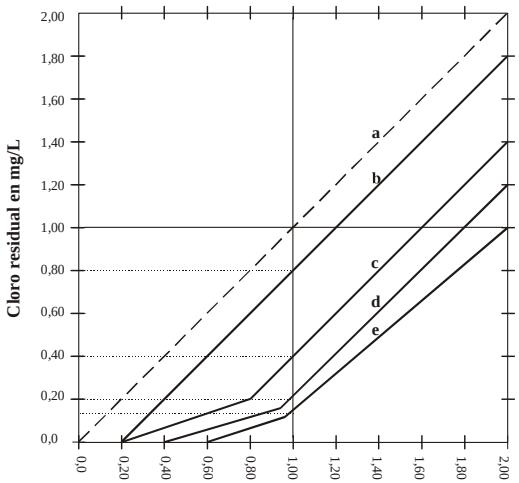
Se dice que la demanda de cloro de un agua determinada es la cantidad de cloro que absorbe sin dejar residual.

Como ciertas reacciones son lentas, la cantidad de cloro que se consume varía con el tiempo de contacto cloro-agua, por lo cual lo más correcto es hablar de *demanda de cloro para un determinado tiempo de contacto*.

Incluso se puede definir demanda de cloro de un agua para determinado tiempo de contacto cloro-agua como la diferencia entre la dosificación de cloro aplicada y el residual disponible (cloro residual

libre + cloro residual combinado) al final del periodo de contacto. Observe el siguiente gráfico:

Gráfico 1



a) Demanda nula;
b) demanda inorgánica;
c) demanda orgánica (un minuto de contacto);
e) demanda orgánica (10 minutos de contacto), y
f) demanda orgánica (30 minutos de contacto).

Verifique en la perpendicular 1,00; para la dosificación de 1,00 miligramos por litro de cloro aplicado:

curva a. El residual correspondería a un agua sin demanda de cloro y el cloro residual equivaldría a la dosificación de cloro aplicada.

curva b. Demanda de un agua sin demanda de naturaleza orgánica. (1,00 – 0,80 = 0,20); 0,20 mg/L de demanda inorgánica mediante una reacción rápida. La curva seguirá paralela si el tiempo no varía.

curva c. Demanda inorgánica inmediata = 0,20 mg/L y demanda orgánica = 0,40 mg/L. Demanda total = 0,60 mg/L. Cloro residual disponible = 0,40 mg/L.

Variaciones en un minuto.

curva d. Demanda inorgánica inmediata = 0,20 mg/L. Demanda orgánica = 0,60 mg/L al transcurrir 10 minutos. Demanda total = 0,80 mg/L. Cloro residual disponible = 0,20 mg/L.

curva e. Demanda inorgánica inmediata = 0,20 mg/L. Demanda orgánica = 0,70 mg/L al transcurrir 30 minutos. Demanda total = 0,90 mg/L. Cloro residual disponible = 0,10 mg/L.

Si la dosificación aplicada fuera de 2,00 mg/L, se obtendrían demandas ligeramente superiores para los mismos periodos de contacto debido a un aceleramiento de las reacciones en presencia de mayor cantidad de cloro.

Cuando los periodos de contacto son mayores, los valores de las demandas tienden a identificarse, sin importar cuál sea la dosificación aplicada.

15.2 Cloración al punto de quiebre

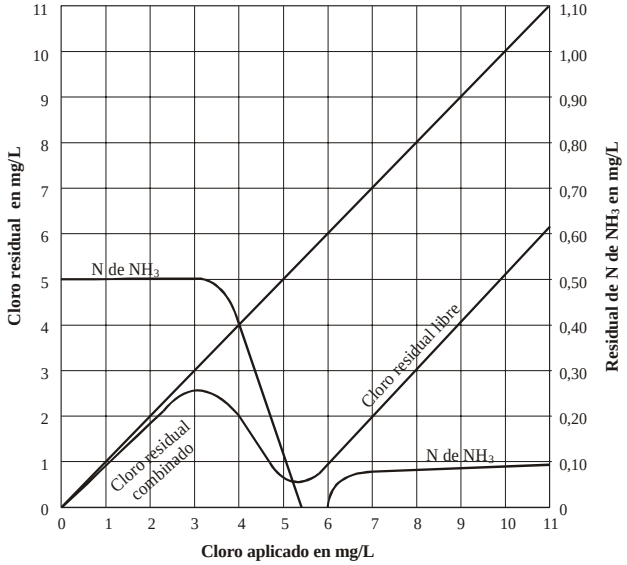
Cuando las dosis de cloro para un mismo tiempo varían, se produce un fenómeno que se llama *cloración al punto de quiebre*.

Ejemplo:

En volúmenes iguales de una muestra de un agua que contenía 0,50 mg/L de nitrógeno de amonio (N de NH_3), pH igual a 7,0 y una

temperatura comprendida entre 7,2 y 8,8 °C, se dosificó cloro de manera creciente. Después de dos horas de contacto, se determinó el cloro residual disponible.

Gráfico 2



El cloro residual llega a un mínimo de punto de quiebre cuando la razón N y Cl de las concentraciones de amonio y de cloro aplicadas es aproximadamente 1:10. El amonio desaparece totalmente cuando la relación es de 1:11 ó 1:12.

A partir del punto de quiebre, el cloro residual empieza a crecer proporcionalmente a la dosificación del cloro aplicado. El amonio vuelve a aparecer en un valor de 1/5 de su concentración inicial.

Para verificar que el residual de cloro se mezcla en la línea ascendente y descendente de la curva (antes del punto de quiebre), se

analiza la naturaleza del residual de cloro. Después del punto de quiebre, el cloro residual es libre.

En la primera fase del proceso tenemos las siguientes reacciones:

$$NH_3 + HCl0 \rightarrow NH_2Cl + H_2O$$

$$NH_2Cl + HCl0 \rightarrow NHCl_2 + H_2O$$

$$NHCl_2 + HCl0 \rightarrow NCl_3 + H_2O$$

El punto máximo de la curva se alcanza cuando todo el amonio disponible se ha mezclado con el cloro para la formación de las cloraminas.

En consecuencia, como estas son químicamente inestables, si se añade más cloro al agua cuando se alcanza el máximo de la curva, las cloraminas se oxidan y destruyen, lo cual da lugar a la formación de productos inertes como N_2, N_2O, HCl, etcétera. A estas reacciones les corresponde la línea decreciente de la curva.

Se llega al mínimo del punto de quiebre después de la destrucción total de las cloraminas.

Una vez satisfecha la demanda de cloro del agua, aparecen nuevos derivados de cloro como cloro residual libre.

En la práctica, solo presentan un punto de quiebre pronunciado las aguas que contienen amonio en otros compuestos nitrogenados, como las aguas muy contaminadas.

Las aguas que no contienen amonio, pero sí nitrógeno albuminoide, pueden presentar un punto de quiebre poco pronunciado, que no muestran las aguas limpias y libres de materia orgánica.

Cuando la cloración realizada permite un residual de cloro anterior al punto de quiebre, comúnmente aparece un sabor y olor en el agua tratada debido a las aguas contaminadas que contienen amonio y otros compuestos nitrogenados. Por ello se ha convenido en que el residual de cloro se encuentre después del punto de quiebre.

15.3 Limpieza y desinfección de la red y reservorios de distribución

Generalidades. *Desinfectar* quiere decir eliminar los microorganismos que pueden causar enfermedades; es decir, los microorganismos patógenos.

Tales microorganismos pueden aparecer en el agua y sobrevivir durante varias semanas en temperaturas próximas a 21 °C o posiblemente durante varios meses en temperaturas bajas. Además de la temperatura, su supervivencia depende de varios factores ecológicos, fisiológicos y morfológicos, incluidos el pH, la turbidez, el oxígeno, los nutrientes, la competencia con otros organismos, la resistencia a sustancias tóxicas, la habilidad en la formación de esporas, etcétera.

Las aguas consideradas potables desde el punto de vista microbiológico se pueden contaminar en los sistemas de distribución, en la red de agua, la conducción por vehículos, el almacenamiento en depósitos, etcétera.

Agentes desinfectantes:

- tratamiento físico: aplicación de calor y otros agentes físicos;
- irradiación: luz ultravioleta;
- iones metálicos;

- compuestos alcalinos;
- tensoactivos, como los compuestos de amonio cuaternario (detergentes);
- oxidantes: halógenos, ozono y otros compuestos orgánicos e inorgánicos.

Los desinfectantes que se van a utilizar en el tratamiento del agua deben tener las siguientes propiedades:

- Pueden destruir, en un tiempo razonable, los organismos patógenos que se deben eliminar en la cantidad y condiciones en que se presentan en el agua.
- No son tóxicos para el hombre ni para los animales domésticos y, en dosis usuales, no producen olor ni sabor que perjudiquen el consumo del agua.
- Están disponibles a un costo razonable y tienen condiciones de facilidad, seguridad de transporte, almacenamiento y aplicación.
- Su concentración en el agua tratada se puede determinar fácil y rápidamente, de preferencia de manera automática.
- Producen residuales persistentes en el agua para formar una barrera sanitaria contra otra posible contaminación antes del uso.

La desinfección con cloro es el método más empleado en el agua de consumo público. Este es un poderoso agente oxidante.

Su acción bactericida se debe, posiblemente, a su propiedad de penetración en las células, lo cual provoca la oxidación de los sistemas proteína-enzima y, en consecuencia, la muerte del organismo.

Se recomienda el cloro como desinfectante del agua porque cumple las siguientes condiciones básicas:

- destruye los organismos patógenos;
- trabaja a temperatura ambiente y en corto tiempo;
- es de bajo costo, de fácil aplicación y uso;
- su concentración en el agua se puede determinar fácilmente;
- es inofensivo para el hombre, en las dosis utilizadas para desinfectar el agua, y
- permite un residual constante.

Fuentes de cloro

El cloro se puede encontrar de las siguientes formas:

- cloro gaseoso: envasado en cilindros de acero, con 7,5 kg/cm^2 de presión (99% de cloro disponible);
- hipocloritos:
  - de calcio (granulado o en polvo): 70% de cloro disponible;
  - de sodio: líquido (en solución): 10% de cloro disponible;
  - cloruro de cal (cal clorada): 25% de cloro disponible;
  - agua de lavandería o lejía (líquido): 2% de cloro disponible.

Desinfección de pequeños reservorios

De capacidad inferior a cinco metros cúbicos (reservorios domiciliarios o de pequeñas comunidades).

Técnica

- Calcular la capacidad del reservorio;
- lavar cuidadosamente el interior del reservorio para eliminar todos los cuerpos extraños;
- lavar con abundante agua toda la tubería conectada a este;

- disolver en agua, cloro o compuesto de cloro en cantidad necesaria para obtener una solución en el volumen del reservorio que contenga 100 mg/L (100 ppm) de cloro disponible.

Por ejemplo: dado un reservorio de 1 m^3:

cloro gaseoso ……	100 g
hipoclorito:	
de calcio ……	143 g
de sodio ……	1.000 g
cloruro de cal……	400 g
agua de lavado ……	5 litros

- Verter la solución en el reservorio, llenar de agua, agitar y mantenerlo así por cuatro horas. (Abrir todas las piletas varias veces para renovar el agua clorada en la tubería subsidiaria.)
- Transcurrido ese tiempo, determinar el residual de cloro en el agua. Si es menor que 25 miligramos por litro, se debe realizar una nueva desinfección.
- Si es mayor, dejar que el agua del reservorio se escurra por todas las piletas abiertas simultáneamente.
- Llenar y escurrir el reservorio por todas las piletas hasta que el residual de cloro sea el permitido antes de utilizar el agua.

Observaciones:

- Este sistema se puede utilizar para desinfectar pozos;
- para desinfectar en menos tiempo, se debe utilizar más cloro;
- para desinfectar en 2 horas, usar 200 mg/L;
- para desinfectar en 12 horas, 50 mg/L.

Desinfección de reservorios más grandes

Reservorios con capacidad superior a 5 $m^{3:}$

La desinfección del reservorio se realiza:

- después de terminar la construcción del reservorio que se va a utilizar (los operarios y materiales empleados siempre contaminan los reservorios recién construidos);
- después de cualquier reparación interna;
- cuando hay una contaminación eventual.

Los reservorios se deben inspeccionar periódicamente, reparar cuando sea necesario y limpiar cuando sea conveniente.

Técnica

- Limpiar minuciosamente el fondo, las paredes y el techo del reservorio.

Una manera eficaz de ejecutar esta limpieza es mediante el uso de chorros de agua bajo presión, con el caudal necesario para arrastrar el lodo y las impurezas. Los operarios encargados de este trabajo deben tener una ficha médica (no deben ser portadores de males transmisibles). Deben utilizar botas de jebe desinfectadas previamente.

- Lavar y friccionar las paredes y el fondo con una solución de cloro que contenga 50 mg/L (50 ppm) de cloro disponible.

Se debe cuidar de que los operarios encargados de este trabajo no permanezcan todo el tiempo expuestos a la emanación del cloro.

Deben salir periódicamente para respirar. Deben utilizar máscaras o protegerse con algodón mojado sobre la nariz y la boca.

- Se enjuaga el fondo con un "trapeador" con borde de jebe y, cuando las paredes están secas, el reservorio se llena.

El examen bacteriológico del agua almacenada será el factor determinante con respecto a la desinfección. En caso de ser positivo, se debe realizar una nueva desinfección. La frecuencia de estos exámenes en las aguas almacenadas constituye una excelente medida de control.

Tubería nueva

Después de realizar la prueba de carga:

- Se realiza el lavado de la tubería para remover el material que quedó en el interior.
- Para realizar este lavado se recomienda una velocidad mínima de 0,75 m/seg.
- Después de lavar la tubería, se realiza la desinfección.

Técnica

- Con el registro de descarga del final del tubo parcialmente abierto, se añade, mediante una válvula, una solución de cloro preparada con cloro gaseoso o cualquiera de los compuestos de cloro.
- A medida que se añade el cloro, se abre el registro que une la red de abastecimiento al tramo que se va a desinfectar.
- En diferentes tramos de la red se determina la concentración de cloro para tener un mínimo residual de 50 mg/L.

- Cuando el agua impregnada de cloro llena la tubería totalmente, se cierran los registros de entrada y salida y la válvula de cloración. Se mantiene así por un plazo mínimo de 12 horas. Una vez transcurrido ese tiempo, debe existir en el agua un residual mínimo de 25 mg/L.

En caso de necesitar una desinfección en menos tiempo, se utilizan dosis mayores: 100 mg/L de cloro para desinfectar en cuatro horas ó 200 mg/L de cloro para desinfectar en dos horas.

Para la desinfección se puede utilizar tabletas de hipoclorito de calcio (70%). Tales tabletas, de aproximadamente 200 gramos, se colocan dentro de los tubos próximos al registro de la red:

- después de la desinfección, se lava la tubería con el agua del abastecimiento y solo funcionará cuando el cloro residual sea equivalente al que normalmente se encuentra en el suministro;
- si tal residual es menor que un miligramo por litro, por medidas de precaución, durante las primeras 24 horas después de terminada la desinfección, se debe mantener un residual de aproximadamente 1,5 a 2 mg/L, después de lo cual se regresa a la práctica adoptada en la localidad.

Las normas de la American Water Works Association (AWWA) recomiendan que después de la desinfección, la red solo funcionará si los resultados de los exámenes bacteriológicos de muestras escogidas de la red fueran satisfactorios. En caso de registrarse presencia de coliformes, se debe repetir la desinfección.

Canalización en uso:

  - después de la "limpieza", el método descrito anteriormente;

- en caso de ruptura de tubos:
  - se debe tener cuidado de que no entre agua sucia y lodo en la tubería después de la ruptura;
  - el tubo que va a ser colocado debe desinfectarse con una solución de cloro que contenga 500 mg/L como mínimo (desinfectar las uniones o la estopa);
  - cerrar con los registros de sección la parte de la red que se va a desinfectar;
  - Solicitar a los usuarios conectados a la red que no utilicen el agua durante la desinfección;
  - transcurrido el tiempo de contacto de la red con el cloro, descargarla, inclusive por las piletas de pedestal de los consumidores.

PRODUCTOS QUÍMICOS COMÚNMENTE UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA

NOMBRE DEL COMPUESTO	FÓRMULA	NOMBRE COMERCIAL	TÍTULO (PUREZA)
Sulfato de aluminio	$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	Alumbre de filtro	15-22% . Al_2O_3
Hidróxido de calcio	$Ca(OH)_2$	Cal hidratada o extinta	63-73% . CaO
Óxido de calcio	CaO	Cal virgen	75-99.
Carbonato de sodio	Na_2CO_3	Barrilla	99,4% Na_2CO_3
Cloro	Cl_2	Cloro gaseoso	99,8% Cl_2
Hipoclorito de sodio	NaOCl	Hipoclorito	12-15% Cl_2
Cal clorada	$CaO.2CaOCl_2.3H^2O$	Cloruro de cal	25-37% Cl_2
Fluoruro de sodio	NaF	Fluoruro	90-95% NaF
Sílice fluoruro de sodio	Na_2SiF_5	Fluosilicato	99% Na_2SiF_6
Carbono	C	Carbón activo	
Hidróxido de sodio	NaOH	Soda cáustica	98% NaOH
Sulfato de cobre	$CuSO_4 5H_2O$	Sulfato de cobre	
Sulfato de amonio	$(NH_4)_2SO_4$	Sulfato de amonio	
Sulfato de hierro II	$FeSO_4.7H_2O$	Sulfato ferroso verde	100%
Ácido sulfúrico	H_2SO_4	Ácido sulfúrico	77,67% H_2SO_4
Ácido clorhídrico	HCl	Ácido muriático	27,92% ACl
Sulfato de hierro III	$Fe_2(SO_4)_3$	Ferricloc	60%
Cloruro de hierro III	$FeCl_3 6H_2O$	Cloruro férrico	60% $FeCl_3$

CAPÍTULO 9

EQUIPOS

1. INTRODUCCIÓN

La finalidad de este capítulo es presentar de manera sucinta las características de las obras y equipos más utilizados en un sistema de abastecimiento de agua urbano o rural.

En los sistemas de abastecimiento, los equipos están condicionados a una serie de consideraciones propias del proyecto, que se relacionan con el tipo de sistema adoptado, la capacidad de la planta de tratamiento, las características del agua y de la fuente de abastecimiento, así como las condiciones del terreno en el que se va a instalar el sistema.

2. CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL AGUA

La captación de agua para abastecimiento se realiza desde una fuente superficial (un río, un lago, una represa, etcétera) o desde una fuente subterránea (un pozo excavado, un pozo profundo, una galería, etcétera). La conducción dependerá de la necesidad o no de bombeo, según la ubicación de la fuente con respecto a la población.

Captación de río

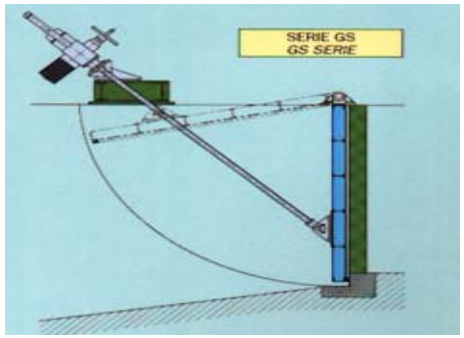
Entre los equipos usados para la captación y conducción del agua, tenemos los siguientes:

2.1 Compuertas

Las compuertas se utilizan para abrir o cerrar el paso del agua. Se manejan de manera manual e hidraúlica.

El agua represada ingresa a los canales o tuberías de conducción a través de una o varias compuertas.

Figura 1



Compuerta

2.2 Rejillas

La rejilla sirve para impedir el paso de los materiales flotantes o sumergidos en las captaciones.

Los tipos de rejillas más usados son los siguientes: rejillas de barras, de mallas y láminas con orificios. Son confiables y pueden ser de limpieza manual u operarse mediante equipos mecánicos auxiliares que retiran los residuos sólidos retenidos.

Las rejillas de barras están fabricadas con acero, están soldadas en ambos lados y se dividen en finas, medias y anchas.

Las de mallas se fabrican con alambre tejido de acero inoxidable, resistente a la corrosión.

2.3 Válvulas

Todo fluido, al ser transportado por medio de tuberías, requiere un control de flujo, un método que impida su retorno y que libere el exceso de presión cuando esta sobrepase ciertos límites de seguridad.

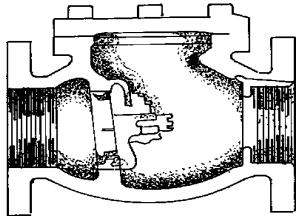
Para cumplir estas funciones se utilizan las válvulas.

La elección de las válvulas es simple. Se debe tener en cuenta su capacidad, la clase de fluido, la temperatura del fluido, la clase y el tipo de tubería en la cual se debe instalar, la forma de realizar las conexiones, la manera como se va a operar y, finalmente, las facilidades para su buen manejo.

Entre las distintas variedades de válvulas están las siguientes:

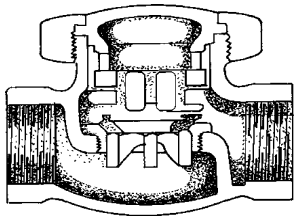
Válvulas de retención o válvula *check*. La función principal de esta válvula es evitar el cambio de dirección del fluido que se conduce a través de la tubería. Hay de dos tipos distintos, conocidos como *válvulas de retención a bisagra* y *de retención horizontal*.

Figura 2



Válvula de retención a bisagra

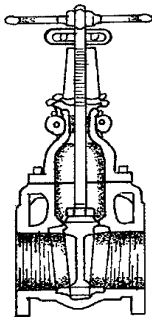
Figura 3



Válvula de retención horizontal

Válvula de compuerta. Permite el paso del flujo en posición completamente abierta y lo restringe en la posición completamente cerrada, con la mínima pérdida de carga posible. Cuando la válvula está en posición abierta, no solo facilita el paso del fluido en línea recta sino que, además, la sección mantiene la misma área de la tubería a la cual está unida.

Figura 4



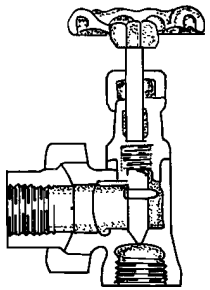
Válvula de compuerta

Válvula de globo. Las válvulas de globo sirven para regular o limitar el paso de un fluido. Están construidas de tal modo que cuando el fluido pasa, producen un cambio en la dirección e incrementan su resistencia al paso en forma gradual, según la posición de cierre.

Para diámetros mayores de 12 pulgadas, estas válvulas son poco usadas, debido al gran esfuerzo que requieren para ser operadas bajo alta presión.

En diámetros menores a una pulgada, para regular el flujo con mayor precisión, se usa otra versión de la válvula de globo, que tiene un vástago de forma cónica. Este es muy alargado y se conoce con el nombre de *válvula de aguja*.

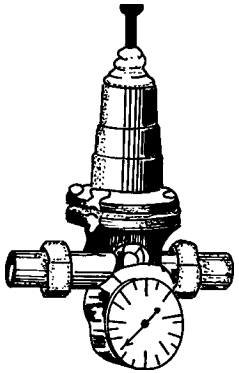
Figura 5



Válvula de aguja

Válvulas reguladoras de presión. Se utilizan cuando es necesario reducir la presión, manteniéndola en valores prefijados, al margen de la cantidad de fluido que pasa a través de ellas.

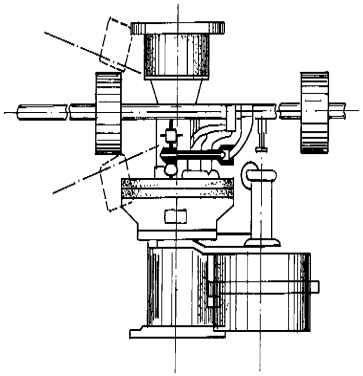
Figura 6



Válvula reguladora de presión

Válvulas reguladoras de caudal. Las válvulas reguladoras de caudal funcionan de manera similar a las reguladoras de presión, reduciendo y manteniendo el caudal de salida. En las plantas de tratamiento, estas válvulas son muy utilizadas en diámetros mayores de seis pulgadas para mantener constante el caudal de operación de los filtros rápidos de este tipo.

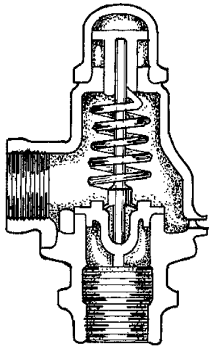
Figura 7



Válvula reguladora de caudal

Válvulas de alivio de presión. Se utilizan en tanques de presión, calderos, etcétera, donde es necesario evitar que un exceso de presión pueda causar daño en las instalaciones. Están reguladas para una determinada presión de apertura. Permanecen cerradas en funcionamiento normal y solo se abren si el fluido sobrepasa la presión requerida, liberando el exceso.

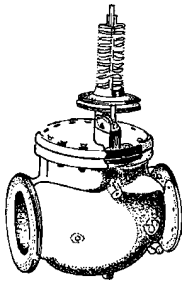
Figura 8



Válvula de alivio

Válvula reguladora de altitud. Se utiliza principalmente para mantener el nivel del agua en los reservorios, de modo que el ingreso se interrumpa apenas el nivel llegue a la altura deseada.

Figura 9



Válvula reguladora de altitud

Válvula de purga de aire. El aire acumulado en los puntos altos provoca la reducción del flujo de agua, produciendo un aumento de pérdida de carga y una disminución del caudal. Para evitar esta acumulación es necesario instalar válvulas de aire. Estas pueden ser de accionamiento automático o manual.

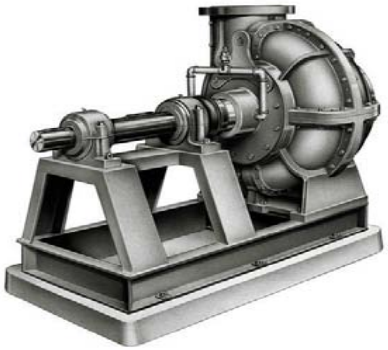
2.4 Bomba

Es una máquina que tiene como función impulsar el agua a través de tuberías, a distancias o niveles diferentes.

Su mecanismo es sencillo: dentro de ella, se produce un vacío que permite succionar el agua de una fuente o suministro para luego impulsarla.

Debido a sus múltiples aplicaciones, las bombas se han construido en gran variedad de diseños y tamaños. Las más conocidas son las siguientes: las bombas centrífugas (cinéticas) y las de desplazamiento positivo del tipo reciprocante (de pistón).

Figura 10



Bomba centrífuga

Bomba centrífuga. Consiste en una carcasa de fundición en cuyo interior, que forma una cámara, se monta un impulsor o rodete.

La bomba centrífuga es apropiada para impulsar grandes volúmenes de agua. Es de bajo costo y muy segura. Es una bomba de alta velocidad de rotación, lo cual permite su conexión directa a un motor eléctrico.

2.4.2 Bombas de desplazamiento positivo del tipo reciprocante (de pistón). Consisten en un cilindro de fundición dentro del cual se adapta perfectamente un pistón, que impulsa el agua mediante movimientos de ida y vuelta.

Las bombas de desplazamiento positivo tienen la ventaja de suministrar volúmenes constantes para alturas diferentes.

2.5 Motores

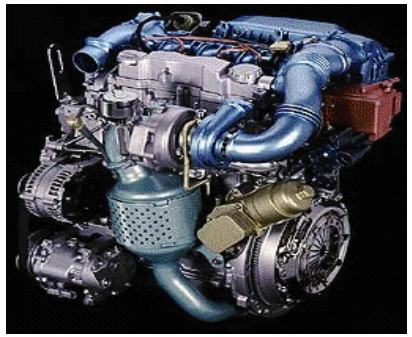
Los motores son máquinas que entregan energía mecánica. Los más utilizados son el motor diesel, el motor a gasolina y el motor eléctrico.

Motor diesel. Es una máquina térmica que entrega energía mecánica mediante la combustión de aire y combustible (petróleo).

El petróleo se introduce a la cámara de combustión mediante una bomba de inyección que eleva la presión para después pulverizarlo mediante inyectores.

Es costoso. Su instalación requiere mucho espacio y su funcionamiento produce mucho ruido.

Figura 11



Motor diesel

Motor a gasolina. Es una máquina térmica donde la mezcla aire-combustible ingresa a los cilindros y, mediante una chispa proveniente de una bujía, se produce el encendido de la mezcla. La alimentación de esta se realiza por medio del carburador y, últimamente, mediante la inyección electrónica de gasolina.

Este motor trabaja con mucha velocidad, la cual se puede regular con el carburador.

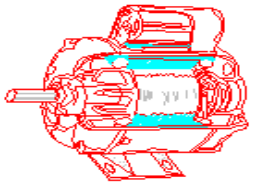
Motor eléctrico. Es una máquina motriz que entrega energía de manera simple y eficiente.

Su principal ventaja reside en el reducido peso y tamaño. No contamina el ambiente, produce menos ruido que los anteriores y puede ser puesto en funcionamiento en cualquier dirección.

Entre los motores eléctricos, se tienen los siguientes tipos: los sincronos, los asincronos y los de corriente directa.

Los motores asincronos son los más utilizados y se dividen en motor con rotor de jaula de ardilla y motor con rotor de anillo deslizante.

Figura 12



Motor eléctrico

3. TRATAMIENTO

3.1 Aeración

La finalidad de la aeración en el tratamiento del agua es remover el exceso de gases disueltos en el agua y las sustancias volátiles (altos valores de dióxido de carbono, hidrógeno sulfurado, sustancias aromáticas volátiles y cloro), así como incorporar oxígeno al agua para oxidar los compuestos ferrosos y manganosos e incrementar el oxígeno y nitrógeno disuelto.

En la práctica, se encuentra una gran variedad de unidades de aeración. Las más comunes son las siguientes:

- aeradores por gravedad:
  - tipo escalera;
  - tipo cascadas múltiples;
  - tipo bandejas con orificios;
- aeradores de boquilla;
- aeradores de aire comprimido;
- aeradores por aspersión.

Aeradores de tipo escalera. Se utilizan para caudales pequeños o medianos. Comprenden una serie de escalones y semejan una escalera por donde baja el agua.

Aerador de tipo escalera

Aeradores por gravedad de tipo cascadas múltiples. Se utilizan para pequeños caudales. Comprenden de tres a cuatro plataformas superpuestas, separadas entre sí por una distancia que oscila entre los 0,25 y los 0,5 metros.

Aeradores de caída de gravedad de tipo cascadas múltiples

Aeradores de chorros

Aeradores de bandejas

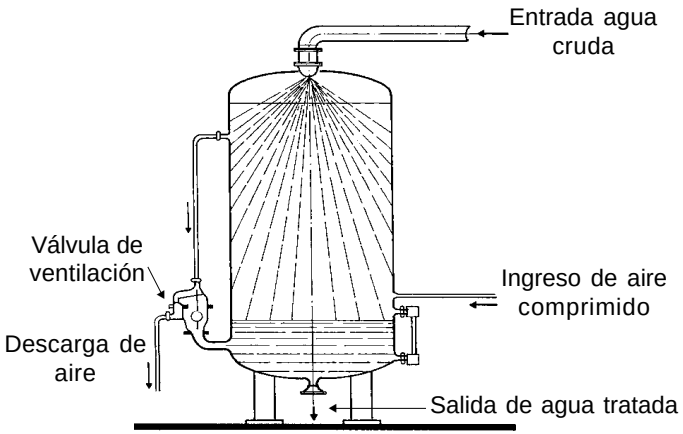
Aeradores de bandejas. Constan de una serie de bandejas perforadas o con telas en el fondo. El agua cae de una bandeja a otra a través de los espacios vacíos o de las mallas. Según la calidad del agua, en el lecho de las bandejas se coloca carbón, piedras comunes, minerales, bolas de cerámica, etcétera, con una granulometría que varía de 5 a 15 centímetros.

Aeradores de aire comprimido. Por lo general, las unidades de aire comprimido poseen tanques rectangulares de concreto, en cuyo

fondo se colocan placas porosas, difusores, tubos perforados, etcétera, conectados a una tubería en la que se inyecta aire por compresión.

Aeradores por aspersión. Están formados por boquillas que rocían el agua a presión. Estas boquillas van colocadas en un tubo de distribución por donde se expulsa el agua.

Figura 13



Aerador por aspersión

3.2 Medidores

En un sistema de tratamiento de agua, los medidores funcionan para determinar caudales, velocidades, pérdidas de carga, expansión de arena, etcétera.

Medidores de caudal. Las aguas superficiales que arrastran gran cantidad de sólidos en su corriente generalmente no pueden medirse

con instrumentos convencionales, debido a la fuerte erosión y al rápido atascamiento que sufren sus partes vitales, lo que motiva que estos instrumentos pronto queden inutilizados o fuera de servicio.

Para medir con exactitud el caudal se utilizan la canaleta Parshall y la boquilla Kennison.

Canaleta Parshall. Utiliza el principio de Venturi, adaptado para medir con exactitud los caudales que fluyen en canales abiertos.

Una sección del canal se construye de igual forma que el tubo de Venturi; es decir, con una reducción gradual de la sección del canal; a continuación de la garganta, hay un ensanchamiento.

Para la indicación y registro de datos de caudal, se emplean instrumentos conectados mecánicamente con un flotador a través de un cable o cinta flexible de acero inoxidable.

Canaleta Parshall

Boquillas Kennison. Estos dispositivos se basan en la descarga de líquidos a través de orificios con chorro libre.

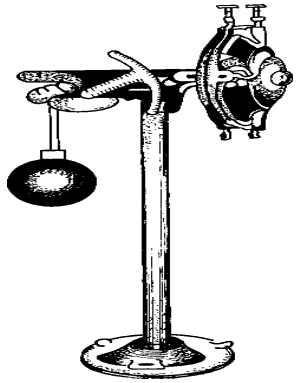
La boquilla Kennison está diseñada en forma tal que conduce la vena líquida hacia el punto de descarga, de manera que no perturbe el flujo del agua en la tubería principal.

Estas boquillas se aplican para la medición de gastos de aguas industriales y desagües debido a su propiedad de "autolimpieza", que impide la acumulación de los sólidos arrastrados por esas aguas.

Asociado a estas boquillas, se instala un sensor de nivel, que consigue accionar los instrumentos necesarios para la indicación, registro, integración, etcétera, tanto local como a distancia.

Medidores de pérdida de carga. Son instrumentos de control usuales en las plantas de tratamiento mecanizadas o de tecnología importada. Se utilizan para conocer el estado de funcionamiento de los filtros rápidos. Están diseñados y construidos para detectar con bastante precisión el grado de atascamiento del lecho filtrante y proceder oportunamente a su retrolavado, ya sea en forma automática o simplemente manual. El equipo más usual es el de caja de diafragma y péndulo (sistema BIF).

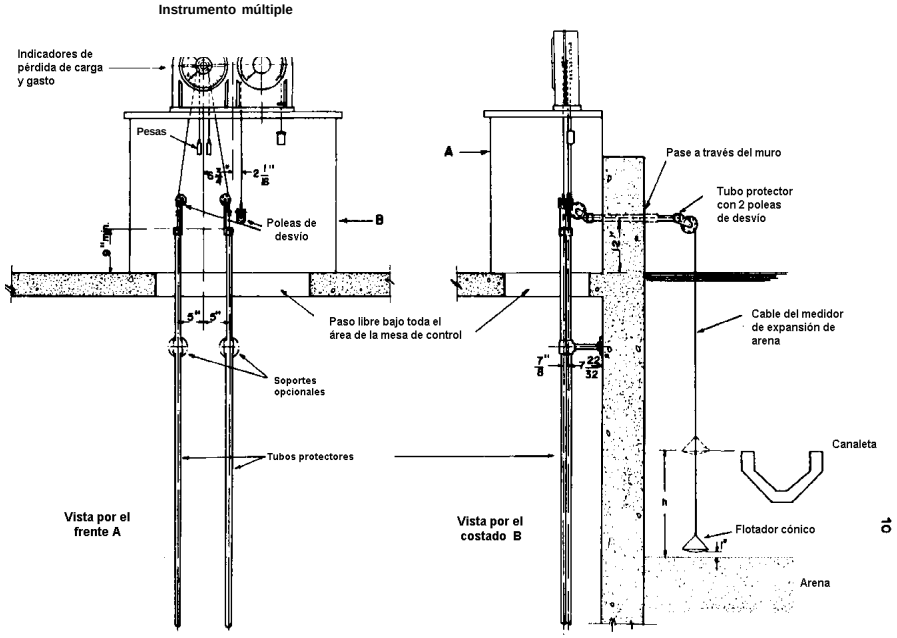
Figura 14



Caja de diafragma y péndulo

Medidor de expansión de arena. Es un sistema que posee una boya que trabaja bajo el principio de empuje hidrostático. Está unido a una polea en cuyo extremo hay un mostrador con un puntero que señala, como un porcentaje, la expansión de arena del filtro durante el lavado.

Figura 15



Medidor de expansión de arena

Los tanques de preparación de la solución son equipos cuya finalidad es diluir los productos químicos utilizados en el tratamiento. Estos mezcladores producen una mezcla violenta del agua cruda con la solución del coagulante aplicada, de tal forma que se distribuyan de manera uniforme en toda la masa de agua para dar inicio al proceso de floculación.

Tanque de dilución

3.3 Dosificadores

Los dosificadores son dispositivos capaces de descargar del agua cantidades prefijadas de sustancias químicas en una determinada unidad de tiempo.

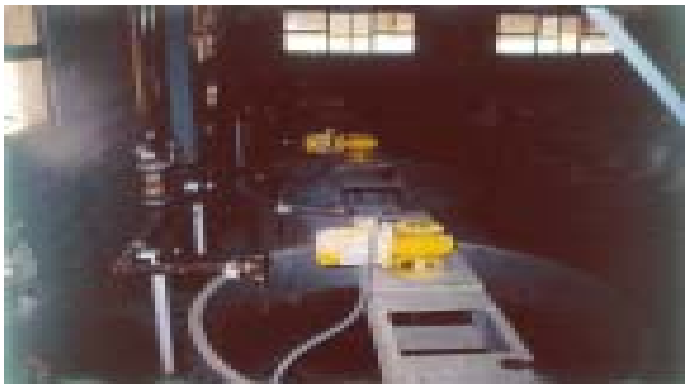
De acuerdo con la forma en que se aplica el coagulante, los dosificadores se clasifican en dosificadores en solución, dosificadores en seco y dosificadores de gas (cloradores).

Dosificadores en solución. Se utilizan para dosificar el coagulante en forma líquida. Los más conocidos son los de orificio de carga constante y las bombas dosificadoras.

Dosificadores en solución de tipo orificio con carga constante. Están compuestos básicamente de un orificio sumergido en el agua, que se mantiene a una altura constante, mediante un flotador colocado en el extremo del tubo o en la manguera que tiene el orificio.

Dosificador de orificio con carga constante

Bombas dosificadoras. Son del tipo aspirantes impelentes de diafragma o de pistón. Son accionadas por un conjunto motor reductor, donde el desplazamiento del diafragma o pistón puede ser regulado con una frecuencia de movimientos alternados de los desplazamientos, lo que permite ajustar el volumen y, en consecuencia, la dosificación.



Bomba dosificadora

Dosificadores en seco. Usados para la dosificación de productos químicos en seco como sulfato de aluminio granular, cal, sales de flúor, etcétera.

Se clasifican según la forma en que miden las cantidades de productos químicos:

Gravimétricos:

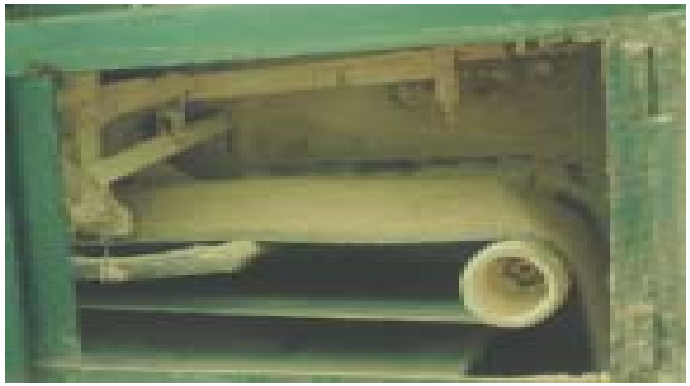
- tipo faja transportadora;
- tipo pérdida de peso, y
- tipo tolva oscilante.

Volumétricos:

- tornillo giratorio, y
- disco giratorio.

En los dosificadores gravimétricos la medida de la cantidad de producto químico dosificado se determina pesando el material o sobre la base de una pérdida de peso constante del material depositado en la tolva.

Dosificador en seco gravimétrico de tipo faja transportadora. El material depositado en la tolva cae en la faja transportadora que se desplaza sobre la plataforma de una balanza. Esta se regula automáticamente para recibir el peso que corresponde a la dosis deseada. Cuando el peso del material sobre la faja no es igual al peso prefijado, una válvula situada en la salida de la tolva modifica su abertura para regular la dosis.



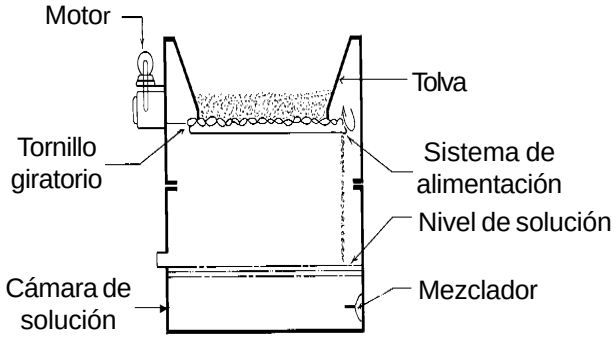
Dosificador de tipo faja transportadora

Dosificador en seco gravimétrico de tipo pérdida de peso. Estos dosificadores miden la cantidad de material para dosificar según la diferencia de peso de una tolva que contiene el material y que se apoya en una balanza equilibrada por un contrapeso móvil. El contrapeso se desplaza de manera proporcional a la dosificación deseada.

Dosificador en seco gravimétrico de tipo pérdida de peso

Dosificador en seco volumétrico de tipo tornillo giratorio. Funciona por medio de un tornillo sumergido en la masa del producto químico que será dosificado, el cual es arrastrado por el movimiento del dosificador, en el sentido del eje de rotación.

Figura 16



Dosificador volumétrico de tipo tornillo giratorio

Dosificadores de gas. La dosificación de gas se efectúa mediante el uso de aparatos que se regulan independientemente de las condiciones variables, la presión del gas que se va a usar o la presión necesaria para introducir el gas en el agua. Se clasifican en dos tipos:

- directo;
- de solución al vacío.

Dosificadores de gas de tipo directo. Generalmente, son dosificadores compactos en los cuales la presión del cloro proveniente del cilindro se reduce en el aparato, que regula la cantidad por dosificar mediante un rotámetro. Luego el cloro se envía al punto de aplicación por presión. La aplicación se efectúa por medio de un difusor colocado dentro de la masa líquida que va a ser desinfectada.

Dosificadores de gas de tipo directo

Cloradores de solución al vacío

Dosificadores de gas cloro de tipo solución al vacío. Están provistos de dispositivos que controlan e indican la dosificación de un flujo de cloro. Poseen un método simple para ajustar la dosificación en cualquier valor incluido dentro del rango del equipo.

Son de uso más generalizado debido a su confiabilidad y seguridad de operación.

Hipocloradores. Son equipos utilizados para la aplicación de compuestos de cloro en solución. Los compuestos de cloro más usados son el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio.

Hipocloradores

El hipoclorito de calcio, que se expende comercialmente como HTH, es el más usado por su alto grado de pureza (65 a 70%). El hipoclorito de sodio, en cambio, posee un grado de pureza de apenas 12 a 16%. Los hipocloradores más usados son los del tipo de orificio de carga constante que, dado su diseño sencillo, se pueden fabricar localmente.

3.4 Coagulación

La sustancia química coagulante debe ser agregada a la masa de agua en turbulencia para que se produzca una mezcla instantánea y uniforme. Esta mezcla anulará la carga eléctrica de las partículas. Este proceso se realiza en las denominadas *cámaras de mezcla rápida*. Para la formación del flóculo, es necesario que el agua pase luego a las cámaras de mezcla lenta (floculación).

Cámaras de mezcla rápida. Es el proceso de mezcla violenta del agua cruda con la solución de coagulante, aplicada de tal forma que

estos se distribuyan de manera uniforme para formar el microflóculo y dar inicio al proceso de floculación, mediante una agitación lenta gradualmente decreciente.

Estos instrumentos se clasifican, según el mecanismo usado, en los siguientes tipos:

- retromezcladores o mezcladores mecánicos;
- hidráulicos.

Retromezcladores o mezcladores mecánicos. Son equipos mecánicos de agitación. Constan de un motor, cámara de mezcla, estructuras de entrada, salida y drenaje del agua y un punto de aplicación del coagulante.

Retromezcladores o mezcladores mecánicos

Mezcladores hidráulicos. La mezcla rápida se produce cuando el flujo de un líquido pasa de un régimen rápido a un régimen lento, acompañado de agitación y grandes pérdidas de energía. La estructura más usada en las plantas de tratamiento de agua para este fin es la de resalto hidráulico, que puede obtenerse mediante una canaleta Parshall, rampa y vertederos.

Mezclador hidráulico

Cámaras de mezcla lenta: floculadores. Tienen como finalidad dar al agua una agitación lenta y decreciente para completar la formación de un flóculo suficientemente grande y pesado como para que pueda ser removido fácilmente en los procesos de sedimentación y filtración.

Dependiendo del tipo de energía utilizado para agitar el agua, los floculadores se clasifican en los siguientes tipos:

a) floculadores hidráulicos:

- floculadores de pantallas;
  - de flujo horizontal;
  - de flujo vertical;
- floculadores de tipo Cox y Alabama;
- floculadores de medios porosos.

b) floculadores mecánicos:

- de eje vertical;
- de eje horizontal;
- floculadores de manto de lodos.

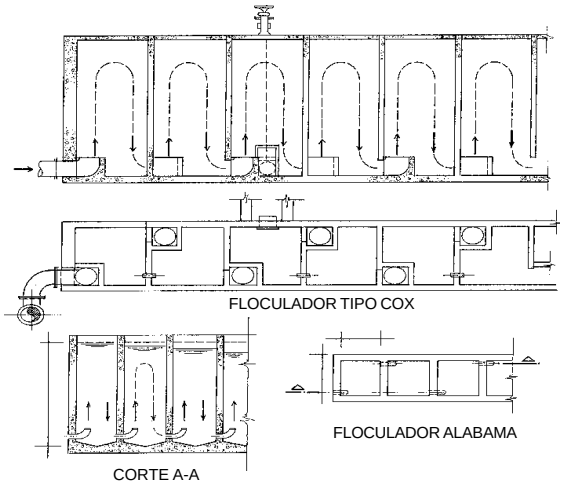
Floculador de pantallas de flujo horizontal

Floculadores hidráulicos. Pueden ser de flujo horizontal o vertical. La agitación lenta se imparte mediante un conveniente diseño hidráulico, después de haber seleccionado en el laboratorio los parámetros que el agua requiere para formar un buen flóculo. La unidad está compuesta por una gran cantidad de canales o compartimentos, con interconexiones convenientemente ubicadas, a través de las cuales el agua se confina el tiempo necesario, con una intensidad de agitación gradualmente decreciente, para optimizar la formación del flóculo.

Floculador de pantallas de tipo vertical

La diferencia entre la unidad horizontal y la vertical está en la dirección del flujo. En ambas es muy importante conservar la especial distribución dada a las pantallas en su construcción para que los parámetros de diseño se cumplan y la eficiencia se mantenga.

Figura 17



Floculadores de tipo Cox y Alabama

Floculadores mecánicos. Están compuestos, básicamente, de un sistema de paletas fijo a un eje horizontal o vertical. Cada eje puede estar accionado por un motor con reductores de velocidad para variar las velocidades en cada cámara.

En este tipo de unidades la agitación lenta del agua se consigue mediante energía mecánica. La unidad está constituida, idealmente, por tres a seis cámaras, cada una con agitadores, para impartir movimiento al agua. Los agitadores pueden ser de paletas o de turbina.

Floculadores mecánicos

3.5 Decantación

Es el proceso mediante el cual las partículas o flóculos se depositan debido a la acción de la gravedad, para permitir la clarificación del agua.

Este proceso se realiza en los decantadores o en los sedimentadores, que se clasifican según el tipo de flujo:

a) decantadores estáticos:

- de flujo horizontal;
- de flujo vertical;
- de flujo helicoidal.

b) decantadores dinámicos:

- de suspensión hidráulica;
- de suspensión mecánica.

c) decantadores laminares.

Decantador estático de flujo horizontal

Decantadores estáticos. En este tipo de unidades se produce la sedimentación o decantación, normalmente en caída libre de las partículas.

Entre los decantadores estáticos están los desarenadores y sedimentadores de flujo horizontal (rectangulares, circulares y cuadrados) y los de flujo vertical.

Decantadores dinámicos. Se aplican al tratamiento de agua que requiere alta concentración de partículas para incrementar las posibilidades de contacto.

Se clasifican de acuerdo con las características de la zona de formación de lodos, en unidades de tipo hidráulico o mecánico.

Decantador dinámico de suspensión mecánica

Decantadores laminares. Son poco profundos y están formados por una serie de placas paralelas (planas u onduladas) o tubos (circulares, cuadrados u octogonales), entre las cuales circula el agua con flujo laminar, lo cual produce la separación del material particulado.

Decantador laminar de placas paralelas

3.6 Filtración

La filtración, de manera general, consiste en hacer que el agua pase a través de un medio poroso, para retener el material suspendido que no quedó en el decantador. Su labor es especialmente importante en la remoción de microorganismos.

Según su funcionamiento, los filtros pueden ser de los siguientes tipos:

- filtro rápido (son los más usados);
- filtro lento.

Filtros rápidos:

A su vez, pueden ser:

- por gravedad;
- a presión.

Filtros rápidos por gravedad operados a distancia mediante consolas o pupitres

Filtros rápidos por gravedad. Están constituidos por estructuras abiertas en las que el agua fluye a través de la arena impulsada por la fuerza de la gravedad.

Las consolas o mesas de comando de filtros poseen botones y palancas que sirven para operar mediante energía eléctrica o presión hidráulica los dispositivos de comando de los filtros.

Consolas o mesas de comando de los filtros

Filtros rápidos por gravedad de operación totalmente manual. En este tipo de filtro de operación totalmente manual, todos los controles son hidráulicos. No requieren tanque elevado ni bombeo para el lavado de las unidades. Un filtro se lava con el flujo que produce el resto de la batería.

Filtros rápidos

Filtro rápido a presión. Consta de un cilindro metálico cerrado, con un dispositivo para el ingreso del agua en la parte superior y otro en la parte inferior para la salida del agua filtrada. También posee tuberías para la salida del aire y drenes para la descarga del agua de lavado.

El filtro de presión puede ser vertical u horizontal.

Batería de filtros a presión de flujo horizontal

Batería de filtros a presión de flujo vertical

4. EQUIPOS DE LABORATORIO

En el laboratorio se efectúa el control de la eficiencia de los procesos.

Presentamos una lista que contiene el equipo mínimo recomendado para efectuar labores de control en una planta de tratamiento de agua.

4.1 Aparatos

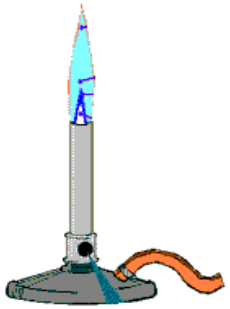
- Equipo de medición de color por comparación;
- turbidímetro nefelométrico;
- caja de agitadores magnéticos y barra de recuperación;
- cocinilla eléctrica de porcelana con agitador;
- solución amortiguadora de pH = 7 y pH = 4;
- medidor de pH con sus respectivos electrodos;
- agitador magnético con base de porcelana;
- soporte con base de porcelana y prensa de buretas para titulación;

- una centrífuga;
- un recipiente de polipropileno de 10 litros con tapa y llave para almacenar agua destilada;
- un destilador de agua pequeño;
- tres recolectores de muestra de polietileno con brazos de 3,7 m;
- una balanza de hasta 2.000 g con una precisión de 0,05%;
- un comparador de cloro con dos discos;
- un agitador múltiple (seis paletas) para pruebas de jarras con velocidad máxima de 100 revoluciones por minuto en los tipos analógicos y 300 revoluciones por minuto en los modelos digitales; se debe incluir base iluminada y juegos de jarras de dos litros;
- dos descartadores de pipetas;
- dos frascos lavadores de 500 mL;
- dos buretas de 50 mL;
- una docena de erlenmeyers de vidrio de 125 y 250 mL;
- una docena de vasos de precipitación de vidrio de 50, 125 y 250 mL;
- dos frascos volumétricos de 100, 500 y 1.000 mL;
- dos conos Imhoff con sus soportes;
- termómetros;
- mecheros;
- dos vasos de precipitación de plástico de cuatro litros;
- dos pipetas volumétricas de 5, 10, 25, 50 y 100 mL;
- cuatro pipetas de Mohr de 2,5 y 10 mL.

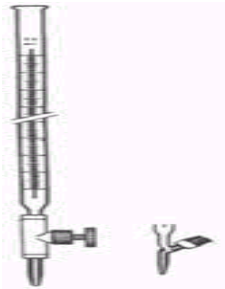
Turbidímetro nefelométrico

Medidor de PH

Comparador de cloro



Mechero



Bureta

Tubo de ensayo con rosca

Erlenmeyers

Equipo de análisis de agua

Balanzas digitales electrónicas

Balanza

Agitador múltiple

CAPÍTULO 10

MANTENIMIENTO

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe los procedimientos para implementar el mantenimiento preventivo en los sistemas de abastecimiento de agua. Pero antes debemos responder a las siguientes preguntas:

1.1 ¿Qué es el mantenimiento?

Existe una serie de conceptos para definir el mantenimiento. En el caso específico de los sistemas de abastecimiento de agua, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- La calidad del agua es variable.
- Se emplean diversos procesos de tratamiento de agua.
- No existen dos estaciones de tratamiento similares; es decir, que tengan igual tamaño, el mismo tipo de construcción y tiempo de servicio y similar calidad del agua tratada.
- No existen dos estaciones idénticas en organización, personal y control.
- En las plantas de tratamiento de agua existe una gran variedad de equipos y diversos proveedores.

De todo esto se concluye que no existe un sistema único de mantenimiento, pero sí un conjunto de actividades con fines comunes.

Entonces, se puede definir genéricamente al mantenimiento como la conservación o protección de componentes o equipos para una condición determinada, especialmente en lo que se refiere a su eficiencia y bajo costo de operación.

1.2 ¿Por qué se debe realizar el mantenimiento?

Existen varias razones por las cuales un sistema de tratamiento y distribución de agua debe tener un servicio organizado de mantenimiento de sus instalaciones y equipos.

Una de ellas es el hecho de que el abastecimiento de agua constituye, sin lugar a dudas, el servicio público más importante y no puede tener interrupciones imprevistas. Otra razón consiste en que, una vez implantado el mantenimiento, los costos se reducen.

1.3 ¿Qué ventajas tiene el mantenimiento?

Entre las principales ventajas del mantenimiento, podemos mencionar las siguientes:

- mejor conservación de los equipos;
- aumento de la calidad y de la productividad;
- disminución de paralizaciones imprevistas;
- disminución de reparaciones;
- reducción de horas extra de trabajo, y
- reducción de costos.

2. DEFINICIONES

Inspección. Actividad sistemática de verificación periódica de las estructuras, equipos, etcétera, que sirve para detectar condiciones que puedan causar su interrupción o deterioro excesivo.

Servicio. Realización de acciones rutinarias orientadas a mantener los equipos en óptimas condiciones de funcionamiento y a prevenir desperfectos de mayor envergadura y costo. Entre estas actividades están las siguientes: lubricación, ajustes, limpieza, reemplazo de pequeñas partes, pintura, arreglo de jardines, etcétera.

Reparaciones. Restauración o reemplazo de las partes defectuosas o gastadas, identificadas ya sea por inspecciones o por interrupciones de la operación, para ponerlas en buenas condiciones de funcionamiento.

Modificación. Alteración de la configuración o diseño original de partes de un equipo o estructura o cambio material con miras a reducir el costo y aumentar la eficiencia.

Sustitución. Instalación de unidades nuevas en lugar de las existentes, que se han vuelto obsoletas y que muchas veces se tornan antieconómicas o ineficaces debido al uso excesivo, o generan costos elevados de mantenimiento por su mal funcionamiento.

3. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento constituye una sistematización de todas las actividades y estrategias destinadas a prevenir los daños. Su objetivo básico es garantizar la disponibilidad de la instalación para atender el programa de producción con calidad y productividad y asegurar costos adecuados.

Para elaborar el programa de mantenimiento, se deben tener en cuenta los siguientes ítems:

1. Registro de equipos, agrupados por secciones;
2. descripción de las actividades para el mantenimiento, y
3. plan estratégico.

Fichas de trabajo

Para ejecutar el programa de mantenimiento se requiere elaborar unas fichas que servirán para controlar, solicitar, reportar, etcétera, las actividades que se van a ejecutar. Entre estas fichas, tenemos las siguientes:

1. orden de trabajo;
2. solicitud de repuestos y materiales;
3. reporte semanal de mantenimiento, e
4. historial de los equipos.

Manuales de mantenimiento

Los manuales son procedimientos de trabajo que se preparan para ayudar al personal de mantenimiento. Se elaboran teniendo en cuenta los catálogos de los equipos suministrados por el fabricante y la experiencia de los técnicos. Para esto se elaboran los siguientes manuales:

1. manual de mantenimiento del equipo;
2. manual para eliminar averías del equipo.

Almacén

Un factor importante para la política de reducción de costos es el control adecuado de los repuestos, materiales y accesorios de

mantenimiento. Un manejo carente de planificación genera sobrecostos por el gran número de repuestos que se requieren, o bien deriva en largas paralizaciones en la producción debido a la falta de ellos.

Entre los factores que determinan la cantidad de repuestos, están los siguientes:

- la cantidad utilizada;
- la frecuencia de reemplazo;
- los efectos en la operación o depreciación, lo cual es importante para no invertir dinero en partes o piezas que, por lo general, se reemplazan con baja frecuencia.

Evaluación

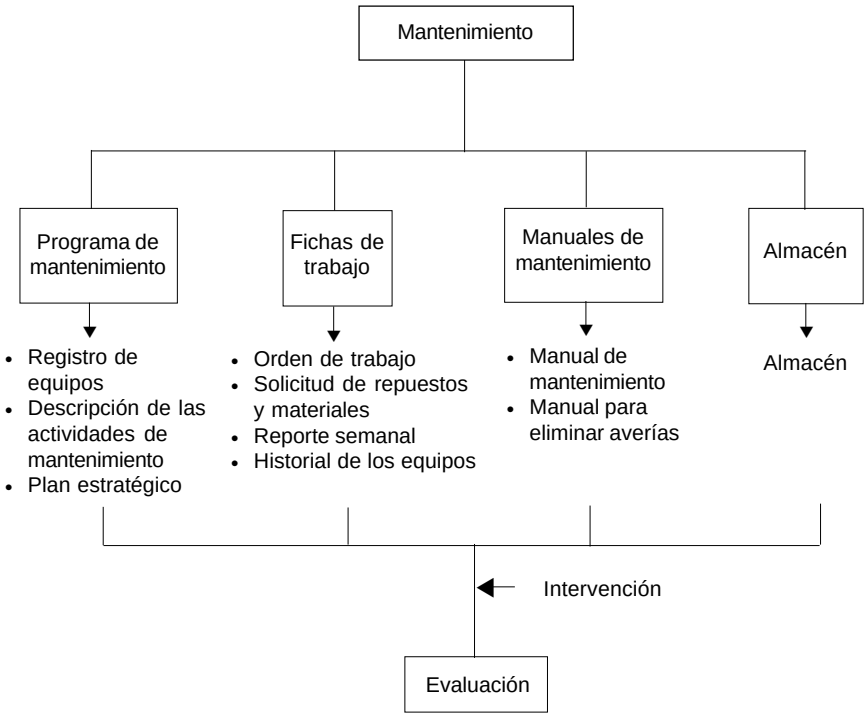
En esta actividad se emplean datos históricos para predecir el futuro, teniendo en cuenta que sin una evaluación, cualquier sistema de mantenimiento tiende a fracasar. Para la evaluación, se analizan los datos o la información contenida en las fichas de trabajo.

Esta evaluación hace posible lo siguiente:

- ajustar el programa y mantener actualizados los manuales de mantenimiento;
- analizar los trabajos realizados y los materiales empleados a fin de determinar los costos de mantenimiento, para efectos de programación y control del presupuesto;
- determinar los costos que demanda la gestión administrativa del almacenamiento, adquisición y uso de los repuestos, e
- informar a los demás sobre lo que se ha realizado y lo que se pretende realizar.

En el cuadro siguiente se tiene el esquema de la organización del mantenimiento preventivo:

Organización del mantenimiento preventivo



4. ELABORACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El programa de mantenimiento se elabora teniendo en cuenta lo siguiente:

Registro de equipos

El primer paso para la elaboración del programa de mantenimiento será inventariar y recopilar información de todos los equipos e identificar su ubicación física, según una ruta que coincida con el recorrido del agua por las diferentes instalaciones y unidades del proceso.

Una vez inventariados los equipos, se procede a agruparlos por secciones, codificarlos y clasificarlos. Por ejemplo: sección de entrada, sección de tratamiento y sección de salida del agua tratada.

Cada equipo es codificado mediante un código alfanumérico. Si existieran dos máquinas iguales que operen en una determinada sección —por ejemplo, dos unidades de dosificación—, entonces las unidades quedarán codificadas como D1 y D2, respectivamente.

Para la clasificación se debe tener en cuenta la criticidad del equipo:

Criticidad 1. Equipo absolutamente necesario para garantizar la continuidad de operación de la planta. Su falta ocasiona graves perjuicios al servicio.
Criticidad 2. Necesario para la operación de la planta, pero puede ser parcial o totalmente reemplazado.
Criticidad 3. No esencial para los procesos de la planta, fácilmente reemplazable.

Con la información recopilada sobre cada equipo, se elabora la ficha llamada “Registro del equipo”, un formato que identifica al equipo y contiene las características y datos más importantes, tales como los siguientes: código del equipo, sección, fecha de adquisición e instalación, capacidad, fabricante, modelo, número de serie, características técnicas, partes principales, criticidad, etcétera. La cantidad de estas

fichas dependerá de la cantidad de equipos que existan en la planta de tratamiento.

Los datos para llenar tales fichas se obtienen de las placas de los equipos suministrados por las firmas proveedoras o fabricantes.

En el Anexo 1, se muestra un ejemplo de una ficha "Registro del equipo" para una bomba centrífuga.

Descripción de las actividades de mantenimiento

Contiene las actividades de mantenimiento que se deben realizar con cada equipo, con la finalidad de eliminar o disminuir los problemas más frecuentes que provocan la paralización intempestiva de una o varias máquinas.

Estas actividades se obtienen de los manuales de los fabricantes, de la experiencia de los trabajadores, etcétera, y tienen una duración anual o bienal, según se vaya comprobando su grado de eficiencia y aplicabilidad.

En el Anexo 2 se muestra un ejemplo de descripción de las actividades para el mantenimiento, que corresponde a la sección de entrada de agua. Un procedimiento similar se sigue con el tratamiento, la salida de agua tratada, etcétera.

Este anexo contiene:
Nombre de la empresa
Sección: entrada de agua, que, a modo de ejemplo, se identifica con el código E-100, y comprende, entre otros:

- captación y conducción de agua;
- compuertas y rejas: se identifica con el código C-1;

- tuberías: se identifica con el código T-1;
- válvulas: se identifica con el código V-1;
- bombas: se identifica con el código B-1.

En la primera columna se colocan números en forma correlativa a cada actividad. En la siguiente columna se listan las actividades de mantenimiento, seguidas de la frecuencia de trabajo y de los materiales o repuestos indispensables para ejecutar dicha actividad.

La frecuencia de trabajo describe la periodicidad con que se deben realizar dichas actividades. Para esto se adopta la simbología con la que se suelen representar los periodos de intervención:

H = actividad que se desarrolla cada hora;
D = actividad que se desarrolla diariamente;
S = actividad que se desarrolla semanalmente;
Q = actividad que se desarrolla quincenalmente;
M = actividad que se desarrolla mensualmente;
2M = actividad que se desarrolla cada dos meses;
3M = actividad que se desarrolla cada tres meses;
6M = actividad que se desarrolla cada seis meses;
A = actividad que se desarrolla anualmente, y
3A = actividad que se desarrolla cada tres años.

Con la descripción de las actividades para el mantenimiento se elabora el plan estratégico.

Plan estratégico

Elaborado específicamente para atender las actividades que se deben realizar para el mantenimiento en forma diaria durante un mes.

En el Anexo 3 se muestra un ejemplo que contiene lo siguiente:

Sección: entrada de agua (E-100)
En la primera columna se ubica el número de actividad que se va a realizar (igual que en la descripción de las actividades de mantenimiento) y, en las siguientes columnas, los días del mes.
Para esta ficha se ha tomado en cuenta la siguiente simbología:
El símbolo "o" representa la actividad programada y "x" se introduce una vez cumplida la ejecución de la actividad.
Como ejemplo se ha tomado la actividad número 8 de la descripción de actividades para el mantenimiento (Anexo 1), donde se indica que la frecuencia de trabajo es semanal (s). De esta manera, la actividad debe estar programada en el plan estratégico cada siete días, para efectuar el mantenimiento.
Si el plan estratégico contempla que se debe realizar actividades diferentes de la inspección de los equipos, como desmontaje, cambio de piezas, etcétera, se deberá elaborar fichas de trabajo:

Fichas de trabajo

Para que el programa de mantenimiento cumpla las actividades, se debe elaborar fichas de trabajo que contemplen las órdenes, los materiales y repuestos, para finalmente reportar y hacer un historial de los equipos. Esto servirá para retroalimentar el programa de mantenimiento. Entre los principales tipos de fichas, están los siguientes:

Orden de trabajo

Depende del plan estratégico en el que se especifican los cambios, reparaciones, emergencias, etcétera, que serán atendidos por el equipo. Esta orden será solicitada por el jefe de turno y aprobada por el encargado de mantenimiento. Debe tenerse en cuenta que ningún trabajo podrá iniciarse sin la respectiva orden y sin que las condiciones

requeridas para dicha labor hayan sido verificadas personalmente por el encargado. Para esto se debe tener en cuenta la siguiente jerarquía:

Emergencia. Son aquellos trabajos que atañen a la seguridad de la planta, averías que significan grandes pérdidas de dinero o que pueden ocasionar grandes daños a otras unidades. Estos trabajos deben iniciarse de forma inmediata y ser ejecutados de forma continua hasta su completa finalización. Pueden tomar horas extra.

Urgente. Son trabajos en los que debe intervenirse lo antes posible, en el plazo de 24 a 48 horas después de solicitada la orden. Este tipo de trabajos sigue el procedimiento normal de programación. No requiere sobretiempos, salvo que ello sea solicitado explícitamente por la dependencia correspondiente.

Normal. Son trabajos rutinarios cuya iniciación es tres días después de solicitada la orden de trabajo, pero pueden iniciarse antes, siempre que exista la disponibilidad de recursos. Sigue un procedimiento normal de programación.

Permanente. Son trabajos que pueden esperar un buen tiempo, sin dar lugar a convertirse en críticos. Su límite de iniciación es dos semanas después de haberse solicitado la orden de trabajo. Sigue la programación normal y puede ser atendido en forma cronológica de acuerdo con lo programado.

En el anexo 4, se muestra un ejemplo de una ficha "Orden de trabajo", donde se debe anotar el código del equipo, la sección de trabajo, el número de actividad que se debe realizar, la prioridad (emergencia, urgente, etcétera), la fecha, la mano de obra, los materiales, etcétera.

Solicitud de repuestos y materiales

Para proveer de materiales y repuestos al personal de mantenimiento, se elabora una ficha denominada "Solicitud de repuestos y materiales", donde se solicita a almacén estos insumos.

Esta ficha servirá para llevar un control adecuado de repuestos y materiales. Va acompañada de la orden de trabajo.

En el Anexo 5 se muestra un ejemplo de ficha de "Solicitud de repuestos y materiales", donde se debe anotar el número de solicitud, la fecha, el turno, el código del equipo, la sección y la descripción de los repuestos o materiales que se pide.

Reporte semanal de mantenimiento

Sirve para registrar los servicios efectuados durante la semana y llevar un mejor control de los trabajos de prevención y de los costos de los materiales empleados.

En el Anexo 6 se muestra un ejemplo de la ficha "Reporte semanal de mantenimiento", donde se debe anotar la fecha, el código del equipo, el número de orden, el trabajo que se realizó, los materiales y los costos.

Historial del equipo

Después de intervenir cada equipo, se registra en la ficha "Historial del equipo" la fecha, los servicios y reposiciones realizadas, los materiales usados, etcétera. Esta ficha también servirá para controlar la operación y calidad y modificar el programa de mantenimiento.

La cantidad de estas fichas dependerá del número de equipos con que cuente la planta de tratamiento de agua.

En el Anexo 7 se muestra un ejemplo de la ficha "Historial del equipo".

Manuales de mantenimiento

Manual de mantenimiento

Son instrucciones organizadas, redactadas a partir de los manuales, información técnica, etcétera, de los proveedores y fabricantes, donde se indica el procedimiento correcto y los pasos que se deben seguir para realizar un adecuado mantenimiento de los equipos.

Cuando los proveedores no pueden proporcionarnos estos elementos, se debe buscar a técnicos expertos para elaborar este manual.

En el Anexo 8 se muestra un ejemplo de manual de mantenimiento, elaborado para el ajuste y reemplazo del asiento del disco para válvulas mayores de 30 pulgadas de diámetro.

Manual para eliminar averías

Estos manuales tienen como finalidad dar orientación al personal de mantenimiento para localizar las averías, así como la manera de corregirlas.

En el Anexo 9 se da un ejemplo del manual para eliminar averías en el caso de una bomba centrífuga.

Almacén de repuestos

Es importante tener un registro de control de materiales para conocer lo siguiente:

- qué se debe tener en *stock*;
- cuándo hacer un pedido de repuestos, y
- cómo codificarlos para uso.

Para ello se debe elaborar una ficha que sirve para tener un registro de artículos que se encuentran en almacén. Asimismo, servirá para tener un almacén seguro y eficaz de materiales, repuestos, etcétera.

En el Anexo 10 se muestra un ejemplo de la ficha "Almacén", donde se debe anotar el código del repuesto o material, la unidad de medida y la cantidad disponible en el almacén.

Anexo 1

REGISTRO DEL EQUIPO

Nombre de la empresa:	**BOMBA CENTRÍFUGA**		Sección:
			Inventario n.°
Código del equipo:			Modelo:
Proceso de adquisición	Indicaciones:	Serie:	Tipo:
Fecha: Adquisición:	Capacidad:	Altura manométrica:	Criticidad:
Instalación:	Fabricante:	Distribuidor:	

Observaciones

Características técnicas

	Tensión (voltios)		
	110	220	360
Amperaje (Amp)			

Caudal (L/seg)	Velocidad (r.p.m.)	Diámetro del impulsor (mm)

Diámetro de succión (mm)	Diámetro de descarga (mm)

Otros

	Eje	Rodamiento
Diámetro		
Longitud		

Anexo 2 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PARA EL MANTENIMIENTO

Nombre de la empresa:			
Sección: entrada de agua (E-100)		**Mantenimiento preventivo**	
Número de actividad	**Actividad que se debe realizar**	**Frecuencia de trabajo**	**Materiales y repuestos**
	Entrada de agua (E-100)		
	Captación y conducción del agua		
	• **Compuertas y rejas (CR-1)**		
1	• Inspección de la bocatoma, especialmente en el lecho del río y las obras de protección, después de cada avenida.	D	
2	• Inspección general del barraje y de la estructura de la bocatoma.	3M	
3	• Inspección de filtraciones en la bocatoma.	D	• Canastilla
4	• Limpieza de maleza en la bocatoma.	M	• Pala pico, etcétera.
5	• Limpieza de maleza en el camino de servicio del canal de aducción.	M	…
6	• Mantenimiento de los caminos.	M	
7	• Inspección del canal de aducción después de cada avenida fuerte.	M	
8	• Drenado, inspección total y limpieza de la estructura del canal.	S	
9	• Limpieza de la cámara de carga.	M	
10	• Inspección de filtraciones en la cámara de carga.	M	
	• **Tuberías (T-1)**		
	…		
	• **Válvulas (V-1)**		
	…		
	• **Bombas (B-1)**		
	…etcétera.		

Anexo 3 PLAN ESTRATÉGICO

Sección:	**Entrada de agua (E-100)**																																
Número	**o : Programado**																																
	Días del mes																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2																															
3	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
4																															o
5																															o
6																															o
7																															o
8							o							o							o							o			
9																															o
10																															o
...																															
...																															

Anexo 4

ORDEN DE TRABAJO

Nombre de la empresa:			Orden de trabajo n.°					Fecha:	
Número de actividad:	Solicitada por (Jefe de turno):		Aprobada por (Jefe de mantenimiento):					Turno:	
Código del equipo:			Especifique el trabajo por realizar:					Equipo:	
Sección:									
Prioridad	Emergencia	.....							
	Urgente	.....	Naturaleza de la inspección	Eléctrica	Previsión				
	Normal	.....		Mecánica	Inicio	.....			
	Permanente	.....		Auxiliar	Término	.....			
Especificación del trabajo por realizar	Mano de obra				Materiales utilizados				
	Trabajo realizado por:	Tiempo	Salario	Costo	Descripción y código	Cantidad	Unidad	Costo	
								unitario	totales
Costo de la mano de obra:					Costo de materiales:		Costo total:		
Relatorio					Observaciones				
..... Jefe de Mantenimiento					..... Jefe de Turno				

Anexo 5

SOLICITUD DE REPUESTOS Y MATERIALES

Nombre de la empresa:.....

Solicitud n.º..... Código del equipo:.....

Fecha:..... Sección:.....

Turno: .....

Repuestos y materiales que se solicitan:

Ítem	Descripción de los repuestos y materiales	Unidad	Cantidad	Firma (quién recibe)

OBSERVACIONES:.....
.....

.....
Firma (solicitante)

Anexo 6

REPORTE SEMANAL DE MANTENIMIENTO

Nombre de la empresa: ……					
Fecha	Código del equipo	Orden de trabajo n.°	Trabajo que realizó	Materiales	Costos

Anexo 7

HISTORIAL DEL EQUIPO

Nombre de la empresa:……

Equipo:…… Código del equipo:……

Fecha	Orden de trabajo n.°	Descripción de los servicios y reposiciones realizados	Materiales utilizados	Responsable de turno

Anexo 8 MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Equipo: válvula con un diámetro de 30 pulgadas

Procedimiento para ajustar el asiento del disco (para válvulas mayores de 30 pulgadas)

a) Cerrar totalmente la válvula. Asegurarse de que no sea operada mientras dure el trabajo.
b) Vaciar la tubería del lado plano del disco, ya que en este sentido se encuentra el asiento de hule y retén.
c) Identificar los puntos de fuga de agua.
d) Determinar si existe daño en el asiento del disco, en el anillo retén o en el asiento del cuerpo. En caso afirmativo, cambiar el asiento del disco y, si el daño es en el asiento del cuerpo, es preferible que sea reparado por el fabricante.
e) Ajustar los tornillos en la zona afectada.

Procedimiento para reemplazar el asiento del disco

a) Aislar el tramo de tubería donde se encuentra la válvula (si es posible, retirarla de la línea).
b) Marcar la posición del anillo retén (en dos puntos como mínimo).
c) Aflojar los tornillos, quitar el anillo retén y el asiento. Tenga cuidado de no deformar el anillo retén.
d) Limpiar la superficie correspondiente al asiento, de preferencia con ayuda de lija.
e) Ensayar la posición del nuevo asiento y el anillo retén, indicada gracias a las marcas que se hicieron previamente (inciso b). Dibujar con un lápiz sobre el asiento del disco las marcas de los agujeros del retén, usando el anillo retén como plantilla para el trazo.
f) Señalar con un marcador la posición del asiento respecto al disco. Desmontar el asiento del disco y perforar los agujeros trazados (del mismo diámetro que los tornillos).
g) Hechas las perforaciones, colocar el asiento.

Anexo 9 MANUAL PARA ELIMINAR AVERÍAS DEL EQUIPO

Equipo: bombas centrífugas **Código del equipo:.....**

Fallas en la succión

Anomalía	Diagnóstico
▪ Bomba con caudal nulo.	1, 2, 3, 4, 6, 11, 14, 16, 17, 22, 23.
▪ Bomba con caudal insuficiente.	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11.
▪ Presión insuficiente de la bomba.	5, 14, 16, 17, 20, 22, 29, 30, 31.
▪ La bomba pierde eficiencia después del arranque.	2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13.
▪ La bomba sobrecarga el motor.	15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 26, 27, 29, 33, 34, 37.

Averías en el sistema

▪ Fuga excesiva por la caja de empaquetadura (sellos).	13, 24, 26, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40.
▪ Desgaste descontrolado de la empaquetadura (sellos).	12, 13, 24, 26, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40.

Averías de origen mecánico

▪ Vibración o ruido excesivo.	13, 24, 26, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40.
▪ Desgaste excesivo de los soportes.	24, 26, 27, 28, 35, 36, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47.
▪ Bomba recalentada.	1, 4, 21, 22, 24, 27, 28, 35, 36, 41.

Diagnóstico (D), corrección (C)

1. (D) La bomba no está cebada o llena de líquido.
   (C) Llene la línea de succión. Verifique la válvula de pie.

2. (D) Altura de succión muy elevada.
   (C) Si no hay obstrucción en la tubería de succión, verifique la pérdida de carga. La altura estática también puede ser demasiado grande. Realice la medición de la presión con la bomba en funcionamiento, usando un manómetro. Si la altura es alta, haga pasar más agua por la bomba abriendo la válvula o disminuya la altura estática.

3. (D) Altura positiva de succión insuficiente cuando se bombea agua caliente.
   (C) Verifique si el agua caliente se está vaporizando. Utilice un manómetro; si el agua fluye desproporcionadamente, quiere decir que se está formando demasiado vapor. Cuando la presión en el ojo de impulsor es baja, el agua se puede vaporizar a una temperatura considerablemente más baja que la normal, con la consiguiente disminución de la altura de succión, que puede volverse nula. La presión requerida depende de la temperatura del agua, de la capacidad de la bomba y del tipo de impulsor. Por ello la bomba debe ser de las características necesarias para el servicio de agua caliente.

4. (D) Agua o gas en el agua (gas de los pantanos o metanos).
   (C) Realice un ensayo de laboratorio mediante la reducción de la presión sobre el líquido de succión y observe si se forman burbujas. Para corregir la presencia de gases, se puede instalar una cámara separadora de gas junto a la bomba, en la tubería de succión y descargar periódicamente el gas acumulado.

5. (D) Bolsa de aire en la tubería de succión.
   (C) Verifique si la tubería de succión está nivelada y con declive en el sentido de la bomba, si el acoplamiento reductor de la boca de aspiración es de tipo excéntrico y con la parte horizontal en el plano superior.

6. (D) Ingreso de aire en la tubería de succión.
   (C) Verifique el alineamiento de la tubería (punto 5) y si existen fugas en las conexiones.

7. (D) Ingreso de aire en la bomba por la caja de empaquetaduras.
   (C) Verifique si hay goteo por la caja del prensaestopas. Si no es así, ajuste el prensaestopas, y si aun así no fluye el agua, probablemente sea necesario sustituir las empaquetaduras. La causa también podría ser la obstrucción del tubo de agua de lubricación (si lo hubiera) o el descentramiento del anillo de lubricación de las empaquetaduras.

8. (D) Válvula de pie demasiado pequeña.
   (C) Verifique el estado de la válvula en lo que se refiere a obstrucciones.

   El área útil (total de los orificios) debe ser igual al área del tubo. Si se usa un filtro, el área útil de paso debe ser de tres a cuatro veces el área del tubo de aspiración.

9. (D) Válvula de pie parcialmente bloqueada.
   (C) Haga una limpieza completa de la válvula y retire las incrustaciones.

10. (D) Sumergimiento insuficiente de la tubería de succión.
(C) Si el tubo de aspiración no se puede bajar o si hay un remolino en la zona de aspiración que causa la entrada del aire, haga una protección con un anillo de pequeños troncos de madera alrededor del tubo para que sea atraído por el remolino y elimine la turbulencia.

11. (D) Conexión del sello de agua obstruido.
(C) Verifique y limpie el tubo de agua de lubricación de las empaquetaduras o, en caso de existir, la válvula de espiga.

12. (D) Anillo de empaquetadura colocado en un lugar equivocado en la caja de empaquetaduras.
(C) Abra la caja de empaquetaduras y coloque el anillo correctamente.

13. (D) Velocidad muy baja.
(C) Verifique si el motor está unido correctamente a la línea de suministro eléctrico y si recibe el voltaje correcto. El motor puede estar con un polo abierto o la frecuencia del sistema puede ser demasiado baja.

14. (D) Velocidad muy alta.
(C) Verifique si el ciclo del motor coincide con el del sistema de suministro eléctrico (la fuerza que requiere una bomba centrífuga varía con el cubo de velocidad).

15. (D) Dirección de rotación errada.
(C) Compare la dirección de rotación del motor con la dirección de la estructura de la bomba. Si es incorrecta, cambie las conexiones de los terminales del motor con la línea de suministro eléctrico.

16. (D) Altura de descarga excesiva.
(C) Reduzca el diámetro del impulsor (rotor) a una cantidad debidamente calculada o recomendada por el fabricante.

17. (D) Altura manométrica total del sistema mayor que la capacidad de la bomba suministrada.
(C) Verifique si las válvulas están totalmente cerradas. Calcule las pérdidas de carga en la tubería y las válvulas. Si se pierde demasiada carga, la instalación de un tubo de mayor diámetro corregirá la deficiencia.

18. (D) Peso específico del líquido distinto del peso para el cual fue suministrada la bomba.
(C) Reemplace el motor según la nueva carga hidráulica.

19. (D) Viscosidad del líquido diferente de la del líquido para el que se suministró la bomba.
(C) Reemplace el motor según la nueva carga eléctrica.

20. (D) Caudal demasiado pequeño para la operación de la bomba.
(C) Si el caudal es muy pequeño para la bomba, el único recurso es sustituir la bomba por otra más adecuada.

21. (D) Bombas que trabajan en paralelo cuyas características no son recomendables para tal operación.
(C) Realice un estudio comparativo de las curvas características de ambas bombas para verificar si podrán trabajar paralelamente. En caso contrario, reemplace una de las bombas por otra que tenga las características de la primera.

22. (D) Cuerpos extraños en el rotor.
(C) Desmonte la bomba y limpie el rotor completamente.

23. (D) Desalineamiento.
(C) Verifique y corrija el alineamiento de la bomba y del motor.

24. (D) Cimentación inadecuada.
(C) Construya un lecho adecuado, según el peso y potencia del conjunto motor-bomba.

25. (D) Eje torcido.
(C) Corrija y sustituya el eje, según la deformación.

26. (D) El rotor raspa la carcasa de la bomba.
(C) La carcasa de la bomba puede haber sido deformada por el peso de la tubería apoyada indebidamente. La causa puede ser que el eje esté torcido. Corrija o sustituya la parte deteriorada.

27. (D) Soportes gastados.
(C) Sustituya los soportes y verifique el estado del eje.

28. (D) Anillos de desgaste deteriorados.
(C) Reemplace los anillos y verifique el estado del eje.

29. (D) Rotor deteriorado.
(C) Repare o reemplace el rotor; verifique y corrija la causa de la avería.

30. (D) Fallas en la unión de la carcasa, de tal modo que permite fugas de agua.
(C) Reemplace la unión por la que especifique el fabricante.

31. (D) Eje o brazo del eje gastado o adherido a la caja de las empaquetaduras.

(C) Indica el uso prolongado de empaquetaduras demasiado ajustadas.

32. (D) Instalación inadecuada del prensaestopas.
(C) Verifique el estado de las empaquetaduras y colóquelas en el lugar correcto según el anillo de lubricación.

33. (D) Tipo de empaquetaduras inadecuado para las condiciones de servicio.
(C) Sustituya las empaquetaduras según las especificaciones del fabricante.

34. (D) Eje descentrado, debido a soportes gastados o desalineamientos.
(C) Verifique las condiciones del eje y el estado de los soportes. Reemplácelos si es necesario.

35. (D) Desequilibrio del rotor, lo que produce vibraciones.
(C) Verifique el estado de los anillos de desgaste y el estado del disco o de la parte fija de la caja de equilibrio que se utiliza en algunos tipos de bombas para equilibrar el rotor contra el empuje axial en el sentido de la succión y reducir la presión sobre la caja del prensaestopas.

36. (D) Prensaestopas muy ajustado, que impide la lubricación de las empaquetaduras.
(C) Desajuste el prensaestopas, lo suficiente para hacer fluir el agua de lubricación por las empaquetaduras.

37. (D) Falla en el sistema de alimentación de agua de refrigeración a la caja de empaquetaduras.
(C) Las bombas de gran capacidad y de alta presión están provistas de camisas de refrigeración para la caja de

empaquetaduras. El agua de refrigeración pasa por un mecanismo de reducción de presión, cuyo mal funcionamiento, la mayoría de las veces, causa irregularidades.

38. (D) Excesiva holgura entre el eje y la carcasa, en el fondo de la caja.
(C) Brazo del eje demasiado delgado, efecto de desgaste o rectificaciones. Sustituya el brazo del eje.

39. (D) Suciedad o sustancias abrasivas en suspensión en el líquido de refrigeración de las empaquetaduras, lo cual provoca la adhesión en el brazo del eje.
(C) Cuando el líquido que utiliza la bomba contiene, permanentemente, lodo, tierra o polvo de granito, la solución consiste en proveer una fuente independiente de agua limpia, lubricar las empaquetaduras o instalar un filtro de malla fina en la tubería externa de conducción de agua de lubricación.

40. (D) Excesiva presión causada por fallas mecánicas dentro de la bomba.
(C) Verifique el estado de los cebados de la bomba. Observe el punto 35.

41. (D) Excesiva cantidad de grasa o aceite en los depósitos de los soportes.
(C) Mantenga el depósito de aceite lleno hasta el límite indicado. Cuando no se indique este nivel, llene el depósito de aceite solo hasta un tercio de su altura; si el lubricante es aceite, llene el depósito hasta que el nivel de aceite quede en el centro (eje) del soporte más bajo.

42. (D) Falta de lubricación.
(C) Conserve el lubricante en el nivel indicado y use el recomendado por el fabricante.

43. (D) Soportes mal colocados (averiados durante el ensamblaje o uso de soportes que no están unidos).
(C) Verifique el estado de los soportes y determine si están bien colocados. Algunos tipos, como el soporte de esfera con contacto angular y el soporte de escora, tienen una posición definida, en el sentido de la presión axial, que debe cumplirse.

44. (D) Suciedad en los soportes.
(C) Es la principal causa de fallas en el funcionamiento de los soportes. El primer signo de suciedad o agua en el lubricante debe ser removido y limpiado con querosene o tetracloruro de carbono. Luego se debe llenar el depósito con el lubricante indicado por el fabricante.

45. (D) Soportes oxidados.
(C) Sustituya los rodamientos de las partes dañadas del soporte.

46. (D) Refrigeración excesiva de los soportes y consecuente condensación dentro de ellos.
(C) Por lo general, se produce en soportes con camisa de refrigeración. Cuando hay condensación en la caja de empaquetaduras, se debe disminuir el flujo de agua de refrigeración y cerrar progresivamente el registro, hasta que la bomba se detenga.

ALMACÉN

Nombre de la empresa:……

Ítem	Código	Descripción	Unidad	Cantidad
01	251	Bocina	Pieza	2
02	252	Impulsor	Pieza	6
03	253	Eje de diámetro de una pulgada y media	Pieza	1
04	254	Empaquetadura de 1/16 pulgadas	Pieza	12
05	255	Aceite Heavy Medium	Galón	0,225
...	...	...	...	...

Observaciones:……
……
……

CAPÍTULO 11

SEGURIDAD

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es proporcionar información importante sobre seguridad.

A continuación hay una prueba que debe desarrollar a fin de comprobar si sabe seguir instrucciones. Hágalo lo más rápido posible y siguiendo al pie de la letra todas las indicaciones.

a) ……
b) ……

¿SABE SEGUIR INSTRUCCIONES?

1. Para llevar a cabo cualquier tarea, primero debe leer las instrucciones.
2. Escriba su nombre en la línea a que aparece arriba.
3. Escriba la fecha actual en la línea b.
4. Haga un círculo alrededor de la palabra "nombre" de la instrucción 2.
5. Dibuje cinco cuadrados pequeños en el ángulo superior izquierdo de esta hoja.
6. Ponga una "x" dentro de cada cuadro.
7. Seguidamente, escriba como título "SÍ, SÍ, SÍ".

8. Haga una “x” en el ángulo superior derecho de esta hoja.
9. Dibuje un triángulo alrededor de la “x” que acaba de hacer.
10. Dibuje un rectángulo alrededor de la palabra “hoja” de la instrucción 5.
11. Subraye todos los números pares que anteceden a las instrucciones.
12. Ahora que terminó de leer todo con atención, siga solo la instrucción 2.

¿Desarrolló la prueba? ¿Acertó? Pues la respuesta era solamente escribir su nombre en la línea a. ¿Se dio cuenta de que el ser humano puede cometer muchos errores y, como consecuencia, ocasionar accidentes en su trabajo?

Ahora que ha mejorado su capacidad de seguir instrucciones, preste atención a las siguientes pautas referentes a seguridad.

Imagine que, por alguna negligencia, un trabajador de su planta de tratamiento, carente del equipo apropiado, muere ahogado en el reservorio de agua adonde fue a recolectar una muestra. ¿Cuáles son las medidas que se deben tomar? Vamos a describir algunas medidas posibles y algunas consecuencias para motivar su imaginación:

- Notar la ausencia del empleado por un largo lapso, hasta decidir que es necesario buscarlo.
- Avisar a la policía; suspender el servicio de distribución de agua; realizar exámenes, pruebas, etcétera, y todo ello como consecuencia de lo imprevisto.
- Además de la lamentable muerte de un miembro de su equipo, imagine los perjuicios que la falta de agua puede ocasionar: industrias paralizadas, redes de distribución de agua secas y expuestas a la contaminación por retrosifonaje, etcétera.

- Como el agua es indispensable para el ser humano, probablemente la población vaya a buscarla no en los surtidores sino en los pozos, en las cercanías de un río o lago, donde el agua posiblemente está contaminada por la ausencia de requisitos de seguridad indispensables.

Esto puede acarrear una epidemia. ¿Y quién es el responsable? Quizás el olvido de una norma de seguridad aparentemente sin importancia.

Imagine todas las consecuencias que puede ocasionar un accidente como el que hemos mencionado y con seguridad se habrá dado cuenta de la necesidad de evitarlo.

2. ORGANIZACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD

Para organizar un sistema de seguridad se debe elaborar un plan operativo.

2.1 Plan operativo de seguridad

Los accidentes de trabajo que el operador está expuesto a sufrir en el desarrollo de sus labores ocasionan, además de lamentables perjuicios personales, pérdidas para la empresa, así como daños a la propiedad, equipos, herramientas, etcétera. También causan la interrupción de las operaciones de suministro de agua. Para evitar todo esto resulta importante elaborar un plan operativo de seguridad, que debe permitir que la empresa mantenga un estándar de seguridad óptimo.

Este plan operativo debe ser anual y consta, entre otras, de las siguientes actividades:

Planificación y gestión

Las actividades de planificación y gestión deben tener en cuenta lo siguiente:

- política gerencial sobre aspectos de seguridad;
- asignación de funciones y responsabilidades, y
- organización, constitución y oficialización de un comité central, subcomités, brigadas de seguridad, comités de defensa civil y brigadas operativas de emergencia.

Capacitación y desarrollo de personal

Para la capacitación del personal, la empresa debe desarrollar cursos y charlas, disponer de asesoramiento y elaborar módulos.

Entre los temas que estos cursos pueden desarrollar están los siguientes:

- gases contaminantes;
- riesgos eléctricos;
- primeros auxilios;
- prevención y control de incendios;
- trabajo en equipo;
- planeamiento estratégico, y
- técnicas de comunicación.

Inspecciones y observaciones de seguridad

La empresa debe programar la ejecución de inspecciones y exámenes para identificar los puntos críticos del proceso de abastecimiento de agua.

Investigación de accidentes

Para la investigación de accidentes, es necesario tener información y elaborar estadísticas para luego hacer un análisis y una evaluación.

Programas para afrontar emergencias

Los principales programas con que debe contar la empresa son los siguientes:

- programa de contingencia para desastres e inundaciones;
- programa de seguridad de protección y evaluación, y
- programa de sismos y extinción de incendios.

Reglas de organización y normatividad

La empresa debe contar con normas, reglamentos, señalizaciones, codificaciones, etcétera, de cumplimiento obligatorio dentro de la institución, tales como:

- reglamentos internos;
- manuales de seguridad en los trabajos de mantenimiento y operación;
- procedimientos de inspección y exámenes de medidas de seguridad;
- señalización de las vías de escape e identificación de zonas internas y externas de seguridad, y
- codificación y ubicación de extintores.

Equipos de protección personal

Se debe realizar una exhaustiva evaluación técnica y de control de calidad de los equipos personales de seguridad y tener en cuenta que estos deben cumplir con las normas internacionales de seguridad.

Reconocimiento por cumplimiento de normas

- Establecer pautas para evaluar el cumplimiento de las normas, y
- premios por cumplimiento de normas.

Evaluación del plan operativo

- Establecimiento de estándares de evaluación del plan, y
- evaluación trimestral de la ejecución de los programas.

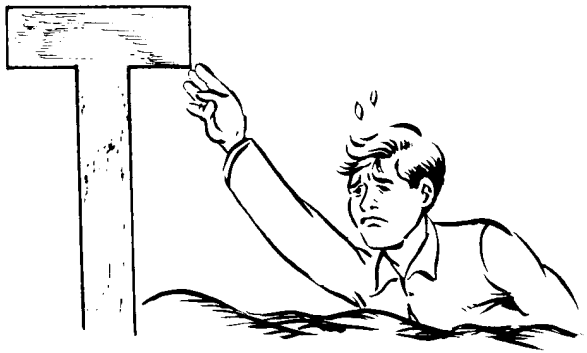
3. INSTRUCCIONES SOBRE SEGURIDAD

A continuación se mencionan algunas de las instrucciones sobre seguridad agrupadas según campos de acción.

Generales

1. Cada trabajador es responsable por su propia seguridad; por lo tanto, debe conocer y cumplir las normas y evitar los riesgos.
2. Observe por dónde camina y asegúrese de estar en un lugar firme y seguro. No pise los extremos laterales de las tablas sueltas.
3. Cuando esté dentro de la planta de tratamiento de agua, no corra. Baje y suba las escaleras lentamente y apóyese en la baranda.
4. No permita que el personal transite por los bordes de los decantadores, floculadores y canales (aunque sepa nadar), excepto cuando los bordes de dichas instalaciones o estructuras estén protegidos con barandas.
   Imagínese que alguna persona caiga en el decantador: ¿tendrá la suficiente calma para lograr que alguien le preste ayuda? ¿Podrá salir sola del decantador, considerando las características de este? (véase la Figura 1)

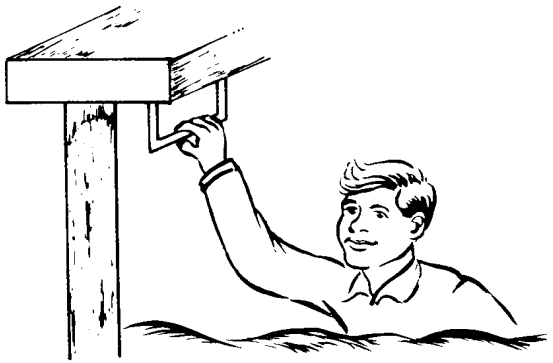
Figura 1



Inseguro

5. Para superar estos imprevistos, es recomendable colocar estribos en los bordes de los pasadizos (véase la Figura 2).

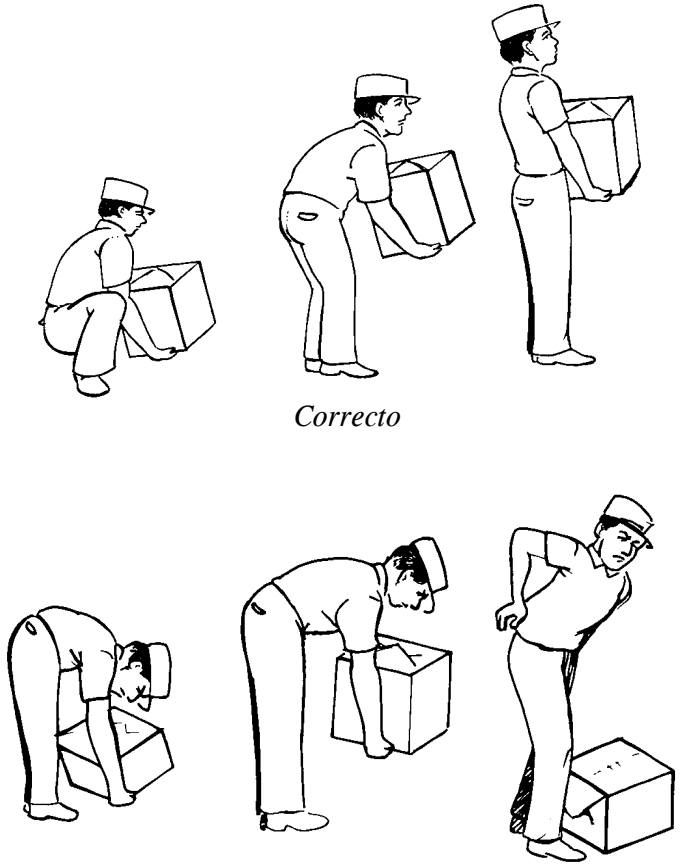
Figura 2



Seguro

6. Mantenga la planta de tratamiento de agua siempre limpia y ordenada. No arroje papeles, cáscaras de frutas, residuos, colillas de cigarro, fósforos, etcétera, en el suelo.
7. Los pasillos, corredores y escaleras deben estar libres de estos obstáculos.
8. Para alcanzar lugares altos, debe utilizar una escalera, y no cajas, sillas, taburetes, ladrillos, etcétera.
9. Debe conocer dónde están ubicados los extintores, las máscaras y los salvavidas.
10. Debe saber utilizar los equipos de seguridad.
11. Los equipos de seguridad deben guardarse en un lugar adecuado, de donde se puedan retirar fácilmente cuando se los necesite.
12. Mantenga los equipos de seguridad en orden y haga una revisión permanente; sustituya y repare las piezas malogradas.
13. Cualquier accidente, por mínimo que sea, debe ser comunicado inmediatamente. Un rasguño insignificante puede ocasionar una fuerte infección.
14. No ingiera bebidas alcohólicas ni antes ni durante el servicio.
15. Ayude e instruya al colega nuevo, y recuerde que usted también fue novato.
16. Toda práctica peligrosa, así como cualquier anormalidad o cualquier defecto en los equipos, máquinas, etcétera, debe ser comunicada.
17. No se distraiga durante el servicio,.
18. Preste atención a las instrucciones y órdenes. La interpretación incorrecta de una orden perjudica el servicio y ocasiona accidentes.
19. No transite o se detenga debajo de cargas suspendidas por una máquina o por sogas.
20. No use objetos como medallas, correas y brazaletes en el trabajo.
21. Si levanta objetos pesados, doble las piernas correctamente y no la espalda (véase la Figura 3).

Figura 3

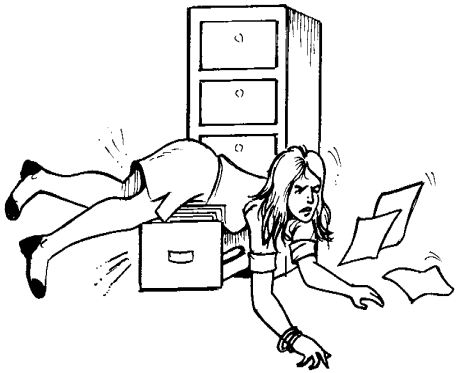


En la oficina

1. Utilice la silla correctamente (es peligroso balancearse en ella o inclinarse).
2. Para sacarle punta al lápiz, use el tajador y no hojas de afeitar, navajas, etcétera, que pueden ocasionar heridas.

3. Utilice el instrumento indicado para cortar el papel.
4. Es preferible utilizar el engrapador o engrapadora y no alfileres.
5. No deje abiertos los cajones de las mesas, archivos, etcétera. Esto puede ocasionar tropiezos (véase la Figura 4).

Figura 4

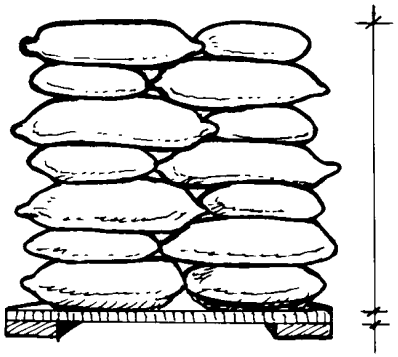


6. Nunca conecte los equipos eléctricos de la oficina con las manos mojadas o húmedas.
7. Abra las puertas lentamente.
8. No deje sillas, cestos de papel, etcétera, en el pasillo, donde puedan ocasionar tropiezos.
9. No cargue objetos cuyo volumen pueda obstruir la visión.
10. Tenga cuidado con su calzado: los pasadores desabrochados, los tacones gastados y las suelas sueltas pueden ocasionar tropiezos.

Almacén

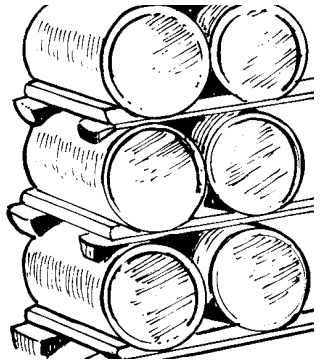
1. Apile los materiales de manera que queden entrelazados entre sí y no en columnas aisladas, para evitar que se caigan (véase las Figuras 5 y 6).

Figura 5



Costales de cal y sulfato, carbón activo, sulfato de cobre

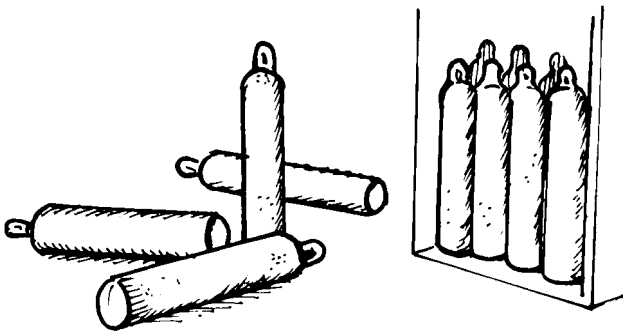
Figura 6



Barriles de hipoclorito o cloruro de cal

2. Los cilindros de cloro deben estar siempre de pie, incluso cuando están vacíos. No deben dejarse caer, ni deben recibir golpes fuertes de otros objetos (véase la Figura 7).

Figura 7



Incorrecto *Correcto*

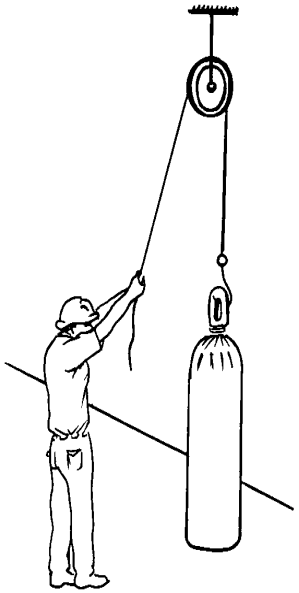
3. Los cilindros de cloro deben estar almacenados en lugares adecuados (en la sombra). No los deje en lugares donde pueden malograrse ni cerca de aceite, grasa, carbón activado (combustión espontánea) o combustibles, ni cerca de fuentes de calor, frío o aparatos eléctricos.
4. Separe los cilindros de cloro llenos de los vacíos. Estos deben estar marcados con una tiza con la palabra "Vacíos", para que sean remitidos inmediatamente al proveedor.
5. Guarde los cilindros defectuosos (con anillos malogrados, por ejemplo) en un lugar aparte y lejos de los que se encuentran en buen estado. Márquelos con una tiza como "Fallados".
6. Para trasladar los cilindros deben usarse carritos de mano o carretillas apropiadas, dotadas de una barra de seguridad o cadena colocada aproximadamente a dos tercios de la altura del cilindro (véase la Figura 8).

Figura 8

Correcto

7. Nunca utilice los casquetes de protección para levantar los cilindros verticalmente (véase la Figura 9).

Figura 9



Incorrecto

9. Utilice los cilindros según orden de llegada.
10. No debe intentar abrir o reparar una válvula de cilindro cuando tenga alguna falla.
11. Al abrir o cerrar la válvula, no lo haga con mucha fuerza ni use una herramienta grande (puede hacer el efecto palanca), ya que con el esfuerzo puede malograr la válvula del cilindro.
12. Cuando el cilindro se vacíe totalmente, debe cerrar la válvula.
13. Verifique que la válvula del cilindro esté en buen estado.
14. Nunca regule la salida de cloro con la válvula que está en la tubería. Esto se regula con la válvula que está en el cilindro.
15. No abra demasiado la válvula del cilindro; un cuarto de vuelta es suficiente.

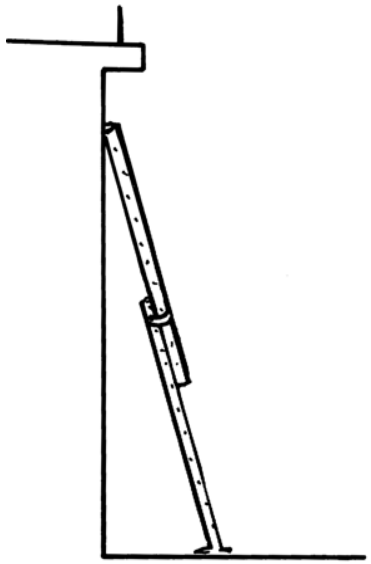
Sustancias químicas

1. Toda fuga de cloro en la tubería de conducción de gas debe repararse inmediatamente porque se puede agravar.
2. A la primera señal de fuga debe cerrar inmediatamente las válvulas de trabajo y luego ubicar el punto de fuga con amoniaco.
3. Utilice máscaras adecuadas para evitar la inhalación de esta sustancia.
4. Al reparar una fuga, la persona debe colocarse en un nivel más alto que el del accidente y siempre de espaldas a la corriente de aire.
5. No aplique agua sobre la fuga.
6. Cuando no sea posible detener la fuga, coloque el cilindro en un área abierta y bajo sombra.
7. Cuando se exponga al cloro, utilice el respirador.
8. Si considera que el respirador y los lentes no son suficientes, utilice una máscara. Las máscaras de filtro (también respiradores) no suministran oxígeno, solo absorben el cloro y dejan pasar el aire. Estas son eficaces cuando la concentración de cloro es hasta de 1%.
9. Use una máscara con tanque de oxígeno o con dispositivos de alimentación a distancia cuando la concentración de cloro es superior a 1%.
10. Cuando use carbonato de sodio (carbonato sódico) o cal (viva o hidratada), el polvo de ambas sustancias, al entrar en contacto con la piel húmeda con sudor, puede causar quemaduras. Para reducir este efecto, el personal debe usar ropa de algodón con mangas largas y abotonada hasta el cuello y los puños.
11. Cuando utilice sales de flúor (principalmente, fluoruro de sodio), evite respirar el polvo.
12. Use equipo de protección conformado por guantes, máscaras, cascos, etcétera, siempre que manipule sustancias químicas.

Escaleras

1. Antes de iniciar cualquier servicio para el que necesite una escalera, estudie atentamente cuál es la mejor manera de apoyarla contra un poste, pared u otra estructura.
2. Coloque la escalera siempre en ángulo con el poste, pared u otra estructura de apoyo, para evitar que se caiga o resbale. El ángulo máximo recomendado es de 75º con respecto a la base.
3. Nunca debe unir dos escaleras para formar una más larga, ni colocarla sobre una caja, silla, etcétera, para lograr mayor altura. Verifique que la escalera esté en perfectas condiciones; si no está seguro, no la use.

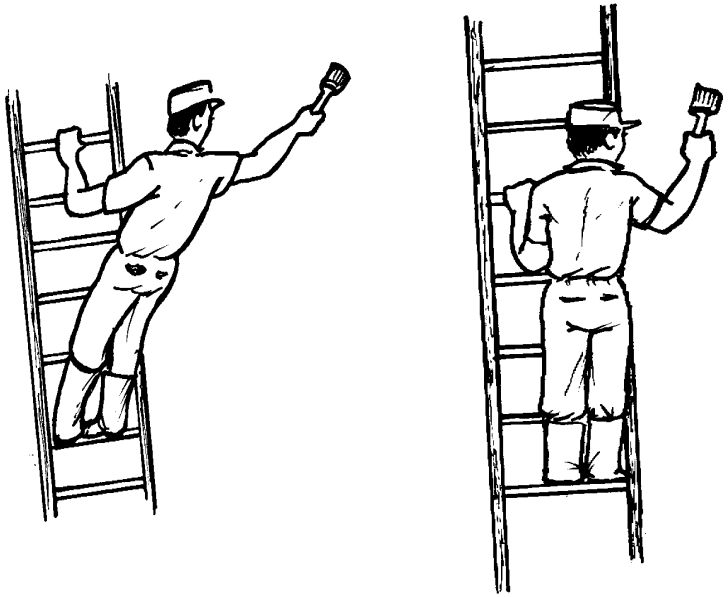
Figura 10



Incorrecto

4. No use la escalera si está húmeda, manchada con aceite, grasa, lodo o con escalones rotos, sueltos, reparados, quebrados, agrietados, o si le faltan escalones.
5. Trabaje siempre en la posición correcta (véase la Figura 11).

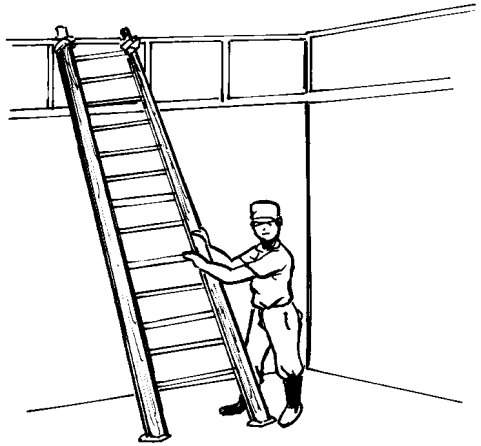
Figura 11



Incorrecto *Correcto*

6. Verifique que las bases de la escalera estén firmemente apoyadas en el mismo nivel del suelo.
7. Amarre la escalera o pida a alguien que la sostenga cuando trabaja en lugares donde se pueda caer fácilmente (véase la Figura 12).

Figura 12



Amarrada en la baranda del decantador

8. Las escaleras se deben guardar en lugares secos y no muy calientes, sujetas con ganchos colocados en la pared, donde no se dañen ni reciban golpes.
9. No remiende ligeramente las partes laterales de la escalera; mándelas a reparar.
10. Examine si la bisagra de la escalera doble se encuentra en buenas condiciones.
11. Examine las cuerdas que están en la base de la escalera doble. Esta cuerda impide que la bisagra se dañe.
12. Abra la escalera doble en toda su extensión, para que no se resbale.
13. No se pare en la plataforma (la parte superior de la escalera doble) y no pase del penúltimo escalón de la parte alta, para no perder el equilibrio.

Sala de máquinas

1. No haga funcionar máquinas, aparatos o vehículos sin autorización.
2. No use corbatas, mangas largas y anchas u otras prendas sueltas u holgadas cuando esté cerca de las máquinas en funcionamiento.
3. Al conectar la energía eléctrica, avise al personal.
4. No debe tocar las válvulas, los botones de comando, las llaves eléctricas, etcétera, de los equipos que estén conectados con tarjetas de seguridad.
5. No debe mover las tarjetas de seguridad. Solo podrá cambiarlas de lugar quien las colocó.
6. Use mangueras de longitud adecuada. Las mangueras muy largas pueden causar tropiezos y caídas.
7. El aceite derramado en el suelo es peligroso. Limpiar caños y tuberías con aceite provoca accidentes.
8. No deje clavos con las puntas hacia arriba, pues usted y sus colegas podrían herirse; dóblelos o retírelos.

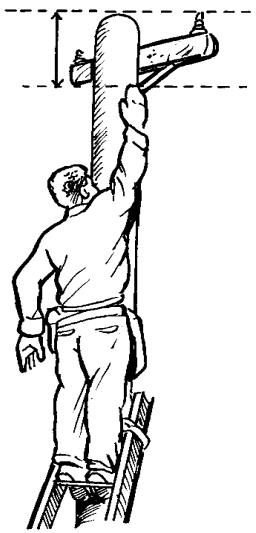
Electricidad

1. No use anillos, aros, relojes o pulseras cuando trabaje con electricidad o con máquinas en funcionamiento.
2. No trate de adivinar si un circuito eléctrico está o no con tensión. Utilice un tensiómetro.
3. No toque con las manos mojadas una máquina, un circuito o un equipo eléctrico.
4. Las herramientas que utilice deben ser las indicadas, estar en buen estado y con aislamiento adecuado para cada nivel de tensión.
5. Utilice equipo de protección según las normas de seguridad (cascos, guantes, botas, etcétera).
6. No debe estar muy cerca de un conductor con tensión. La distancia mínima que debe guardar la persona respecto a un conductor de este tipo es el siguiente:

- Hasta 7.500 voltios . ..... 30 cm
- de 7.500 a 15.000 voltios ..... 50 cm
- de 15.000 a 50.000 voltios ..... 100 cm
- de 50.000 a 88.000 voltios ..... 150 cm

(véase la Figura 13)

Figura 13



Si se siguen las normas de seguridad (tanto las indicadas en el presente documento como las dictadas por el buen criterio de cada trabajador), es posible reducir el número de accidentes.

Pero incluso con todas las precauciones, suceden accidentes que ocasionan grandes perjuicios y sobre todo víctimas. En estos casos es necesario que alguien tome el liderazgo (muchas órdenes equivalen a mucha confusión) para ayudar a las víctimas con la aplicación de los primeros auxilios.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Se llama *primeros auxilios* al tratamiento que se da en forma inmediata y provisional en el mismo lugar donde ocurren los acontecimientos a la víctima de un accidente o enfermedad repentina.

La finalidad de los primeros auxilios es salvar la vida de la víctima e impedir que se agraven sus lesiones. Esto reducirá su sufrimiento y estará en mejores condiciones para recibir el tratamiento definitivo, que siempre deberá estar a cargo de un médico.

Cómo actuar ante una emergencia:

1. Actúe con rapidez pero sin precipitación; así evitará convertirse en una nueva víctima.
   Observe al accidentado y sus alrededores para hacerse una idea de lo ocurrido: un arma, una botella sospechosa de veneno, un cordón eléctrico, etcétera. En todo caso, no toque al paciente ni se acerque a él hasta comprobar que usted está libre de peligro.
2. La ayuda que usted ofrece es solo provisional. Asegúrese de que el paciente reciba apropiada atención profesional, para lo cual debe enviar a alguien por ayuda médica mientras usted atiende a la víctima.
   Al brindar primeros auxilios es igualmente importante saber qué hacer y qué no hacer por la víctima.

Qué hacer por la víctima:

1. No lo mueva y aflójele cualquier prenda de vestir ajustada, para aplicar de inmediato el ABC de emergencia de los primeros auxilios.
   A (aire): compruebe si respira.

   B (buena circulación): compruebe el pulso arterial, si le late el corazón y verifique si presenta alguna hemorragia profusa.
   C (conciencia y columna vertebral): si sospecha que presenta alguna fractura de la columna (cuello y espalda), no mueva al paciente y proceda como se indica en la subsección "Fracturas de la columna vertebral".
2. Determine si existen otras fracturas; en tal caso, no se debe mover al accidentado sin antes haber inmovilizado el hueso roto.
3. Observe el color de la cara del paciente:
   Si su rostro está muy pálido, levántele los pies para mejorar la circulación hacia el cerebro (véase la Figura 14).
   Si el rostro está muy enrojecido, levántele la cabeza con alguna almohada (véase la Figura 15). También puede ser útil aplicarle bolsas de hielo sobre la cabeza.

Figura 14

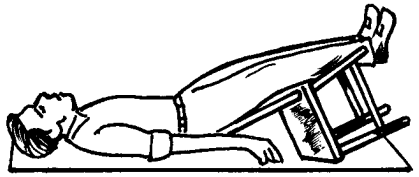
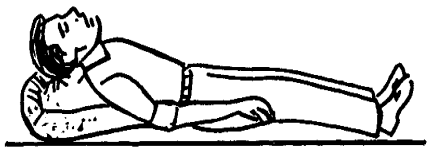


Figura 15



4. Mantenga al accidentado confortablemente abrigado.
5. Si comienza a vomitar, voltéele la cabeza hacia un lado para facilitar la evacuación.
6. No le dé nada por la boca.
7. Revise si el paciente lleva alguna identificación médica (brazalete, collar, tarjeta, etcétera) donde se consigna qué enfermedad sufre y cómo prestarle atención de emergencia.

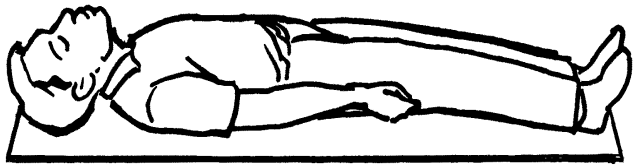
8. Vigile continuamente la respiración y la circulación hasta que llegue la asistencia médica.
9. Si el paciente se recupera, manténgalo acostado hasta que se restablezca totalmente.

A (aire): compuebe si el paciente respira

Acueste al paciente. Si no hay razones para sospechar de alguna fractura en la columna (cuello o espalda), acueste al herido boca arriba, con la cabeza en el mismo nivel que el resto del cuerpo (véase la Figura 16), aflojándole cualquier prenda que dificulte la respiración o circulación; por ejemplo, el cuello de la camisa, alguna faja, corbata, cinturón, etcétera.

En caso de sospecha de fractura de la columna, *no* mueva al paciente ni aun para colocarlo en una posición más cómoda y proceda tal como se indica en la subsección "Fracturas de la columna vertebral".

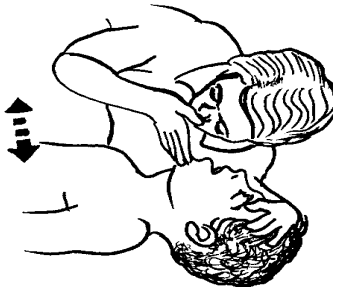
Figura 16



Limpie las vías respiratorias (nariz, boca, garganta). Voltee la cabeza del paciente hacia un lado y, manteniendo la boca abierta con el pulgar, use la otra mano para extraer cualquier objeto que pueda bloquear el paso del aire; por ejemplo, un chicle, dentadura postiza, arena, sangre, etcétera (véase la Figura 17).

Figura 17

Figura 18



Compruebe si respira. Observe el pecho del paciente para ver si se levanta y baja o acerque el oído a su boca y nariz para percibir la respiración (véase la Figura 18).

Si el paciente no respira, inicie de inmediato la respiración artificial (véase la subsección "Respiración artificial").

B (buena circulación)

Compruebe el pulso arterial. Al mismo tiempo que comprueba si respira, verifique si el corazón del herido late con normalidad.

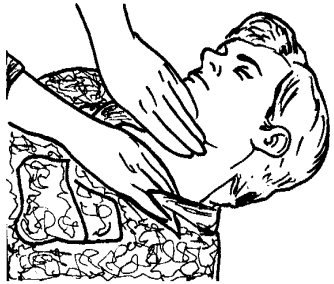
Compruebe si hay pulso (arteria carótida). Coloque la yema de los dedos entre la línea media del cuello y el ángulo de la mandíbula, ejerciendo una leve presión para intentar palpar el latido de la arteria (véase la Figura 19).

Si usted no percibe el pulso, es porque existe paro cardiaco, y debe iniciar de inmediato el masaje cardiaco externo (véase el acápite "Masaje cardiaco externo").

No pierda tiempo buscando el pulso en otros sitios ni tratando de oír los latidos del corazón, pues estos son difíciles de percibir en las personas accidentadas.

Identifique posibles hemorragias. Si existe cualquier sangrado profuso, proceda a contenerlo de inmediato (véase el acápite "Hemorragias").

Figura 19



C (conciencia y columna vertebral)

Busque evidencias de fracturas en la columna (cuello y espalda). Si el paciente está despierto, podrá sentir gran dolor a nivel de las vértebras fracturadas y puede haber debilidad, parálisis o insensibilidad en alguna parte del cuerpo.

Si está inconsciente, sospeche de lesión de columna cuando note alguna deformación o saliente anormal en ella.

Si sospecha, aunque no esté seguro, de que existe fractura de columna, se procederá como se describe en el acápite "Fracturas de la columna vertebral".

Si ha comprobado que el paciente respira, que su corazón late y que no hay sangrados profusos o lesión de la columna, es el momento oportuno para buscar otras lesiones menos graves; por ejemplo, heridas u otras fracturas.

Si el paciente está despierto, manténgalo acostado e impida que se levante hasta asegurarse de que no sufre alguna lesión. Probablemente estará preocupado y con miedo; tranquilícelo y procure no dejarlo solo.

Si está inconsciente, actúe según se indica en el acápite "Pérdida del conocimiento".

Qué no hacer por la víctima:

- No intente suministrar ningún tipo de bebida por la boca al paciente inconsciente o semiconsciente, pues este no podrá deglutir con normalidad y el líquido podría pasar a los pulmones.
- No le dé bebidas alcohólicas, pues quienes examinen después al paciente podrían creer que el efecto del alcohol es una de las causas de su estado.
- No ofrezca bebidas al paciente si sospecha de alguna lesión interna.

4.1 Fracturas de la columna vertebral

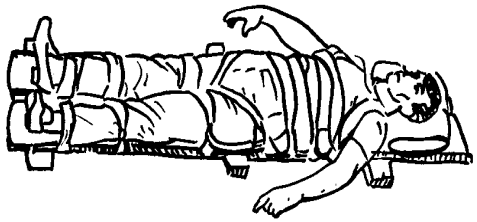
Se caracterizan por un intenso dolor local en la columna y a veces por debilidad, pérdida de la sensibilidad o parálisis de alguna parte del cuerpo. Toda fractura de la columna es grave y cualquier movimiento inapropiado del herido puede causarle parálisis irreversible o la muerte.

Qué hacer:

1. No mueva al paciente ni le levante la cabeza, ni siquiera para colocarlo en posición más cómoda.
2. Manténgalo confortablemente abrigado y absolutamente quieto hasta que reciba ayuda médica.

3. Si es imprescindible transportar al herido, primero se debe inmovilizarlo completamente.
   Consiga la ayuda de por lo menos tres personas
   Se necesita una camilla (véase la Figura 20); también puede servir una puerta o un tablón.
   Ate juntos los pies del herido a nivel de los muslos, rodillas y tobillos.
   Si el herido está boca abajo, colóquelo boca arriba sobre la camilla, moviendo todo el cuerpo en masa (como si estuviera girando el tronco de un árbol): una persona sujeta la cabeza, otra los pies y las restantes el pecho y las caderas.
   Ate al accidentado a la camilla y trasládelo a un hospital.

Figura 20



4.2 Respiración artificial

Muchas circunstancias pueden ocasionar el cese de la respiración (paro respiratorio); por ejemplo: descarga eléctrica, traumatismo, atragantamiento, intoxicaciones, etcétera.

La víctima de paro respiratorio se halla inconsciente, no se evidencian sus movimientos respiratorios y sus labios, lengua y uñas adquieren un color azulado (cianosis).

Las personas solo pueden sobrevivir sin respirar de 3 a 5 minutos; por lo tanto, en estos casos es de vital importancia iniciar la respiración artificial lo antes posible.

En caso de adultos y niños mayores

En adultos y niños mayores puede practicarse la respiración artificial boca a boca o boca a nariz. Elegir entre una de las dos formas no es de gran importancia; usualmente se prefiere la técnica de boca a boca; la técnica de boca a nariz es útil cuando el paciente está convulsionando o cuando no es posible abrirle la boca. En cualquier caso:

1. Acueste boca arriba al paciente sobre una superficie plana y aflójele toda prenda que pueda dificultarle la respiración o la circulación (el cuello de la camisa, la corbata, el cinturón, etcétera).

2. Limpie las vías respiratorias (nariz, boca y garganta). Examine la boca. Si observa cualquier material extraño (mucosidad, sangre, arena, un chicle, dentadura postiza, etcétera) voltéele la cabeza hacia un lado y, mientras le mantiene abierta la boca con el dedo pulgar, limpie la cavidad oral con sus dedos, preferiblemente envueltos con un pañuelo o con un pedazo de tela limpia (véase la Figura 21).

Figura 21

3. Extiéndale la cabeza; con una mano en la frente inclínele la cabeza hacia atrás, y con la otra mano levante el cuello hasta hacer que la piel de la garganta se ponga tensa (véase la Figura 22).

Figura 22

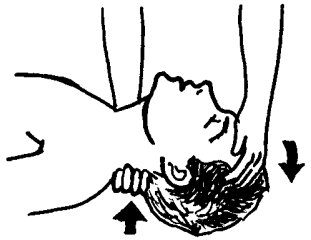


Figura 23

4. Elévele la mandíbula; retire la mano del cuello y, con los dedos índice y medio, levante el mentón, manteniéndole los labios ligeramente separados con el pulgar (véase la Figura 23).

5. *Respiración boca a boca.* Use los dedos índice y pulgar de la mano que descansa sobre la frente para cerrarle al paciente los orificios nasales (véase la Figura 24). Entonces, haga una inspiración profunda y, abriendo la boca ampliamente, selle sus labios alrededor de los del paciente (véase la Figura 25).

Figura 24

Figura 25

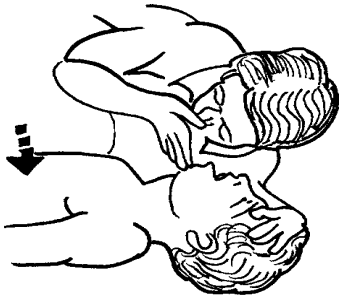
Respiración boca a nariz. Use la mano que levanta el mentón para cerrar bien la boca del paciente. Entonces, haga una inspiración profunda y, abriendo la boca ampliamente, selle sus labios alrededor de la nariz del paciente (véase la Figura 26).

Importante: nunca practique la respiración artificial en personas sanas.

Figura 26

6. Insufle el aire con firmeza, hasta ver que el pecho del paciente se levanta. Luego retire su boca y observe cómo se desinfla el pecho del paciente, o acerque el oído a su boca y nariz para percibir la salida del aire (véase la figura 27). Si esto no sucede, asegúrese de que la vía respiratoria no está obstruida (véase el acápite "Atragantamiento").

Figura 27



7. Tan pronto perciba la espiración del paciente, tome otra profunda bocanada de aire e insúflele aire nuevamente.
8. Repita la insuflación entre 10 y 15 veces por minuto; esto es, cada cinco o seis segundos.
9. Cada cuatro minutos haga una pausa (no más de siete segundos) para verificar si el paciente ya está respirando por sí mismo.
10. Mantenga la respiración artificial hasta que la persona respire por sí misma o hasta que llegue un médico.

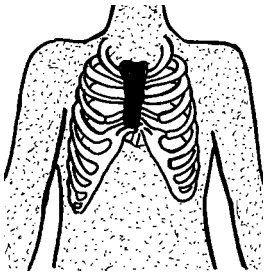
4.3 Masaje cardiaco externo

Para comprobar si el corazón late con normalidad, palpe el pulso arterial. El término *paro cardiaco* significa que el corazón ha dejado de funcionar (es decir, que ya no late) y, por ende, ya no suministra sangre al organismo privándolo de oxígeno y nutrientes.

Las personas solo pueden sobrevivir sin oxígeno entre tres y cinco minutos. Por lo tanto, en los casos de paro cardiaco, es vital iniciar el masaje cardiaco externo lo antes posible.

El corazón se encuentra detrás del hueso esternón y hacia la izquierda del pecho de las personas. Este hueso constituye una parte muy importante para el masaje cardiaco (véase la Figura 28).

Figura 28



En caso de adultos y niños mayores

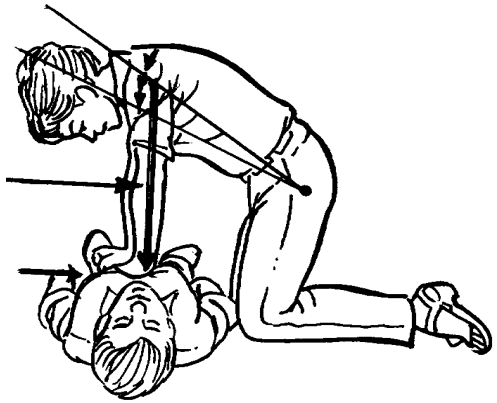
1. Acueste boca arriba al paciente sobre una superficie plana y dura (como el suelo) y afloje toda prenda que pueda dificultarle la respiración o circulación (el cuello de la camisa, la corbata, el cinturón, una faja, etcétera).
2. Aplique tres golpes vigorosos sobre la mitad inferior del esternón (véase la Figura 29). Inmediatamente palpe el pulso, pues a veces esto es suficiente para que el corazón empiece a latir de nuevo.

Figura 29

3. Si persiste la ausencia del pulso, arrodíllese junto al hombro izquierdo del paciente, coloque la palma de una mano sobre la mitad inferior del esternón y luego, apoye la otra mano sobre la primera (véase la Figura 29).
4. Presione en forma fuerte y rápida, usando el peso de su cuerpo (sin doblar los codos), hasta deprimir el pecho de cuatro a cinco centímetros (véase la Figura 30). Luego retire la presión sin separar las manos del tórax del paciente (esto permitirá que la sangre entre al corazón).

Nota: nunca practique el masaje cardiaco externo en personas sanas.

Figura 30



Importante: durante la compresión se mantendrá los brazos estirados; los codos no deben doblarse; los brazos y antebrazos formarán una línea recta con los hombros y manos (véase la Figura 30).

5. Repita las compresiones regularmente, con una frecuencia de 60 por minuto; esto es, a un ritmo de una compresión por segundo.
6. Cada cuatro minutos haga una pausa (no mayor de siete segundos) para palpar el pulso arterial y verificar si el corazón del paciente ha comenzado a latir por sí mismo.
   Continúe el masaje cardiaco hasta que el corazón comience a latir de nuevo o hasta que llegue un médico.
7. Si el paciente se ha recuperado, manténgalo acostado y abrigado hasta que llegue el médico. Vigílelo atentamente por si vuelve a presentar paro cardiaco.

4.4 Hemorragias

La sangre normalmente circula por el cuerpo dentro de vasos sanguíneos denominados arterias y venas. Las hemorragias ocurren

cuando se rompen los vasos sanguíneos y la sangre se derrama fuera de ellos.

Según dónde se derrame la sangre, las hemorragias se clasifican en los siguientes tipos:

1. *Hemorragias externas (visibles):* cuando la sangre se derrama al exterior del cuerpo a través de una herida.
2. *Hemorragias internas (no visibles):* cuando la sangre se derrama dentro del cuerpo.

La hemorragia interna no puede verse, pero puede sospecharse. Si después de un accidente la persona está pálida y débil, con la piel fría y tiene pulsaciones muy altas, es probable que tenga hemorragia interna.

En caso de hemorragia externa

El principal peligro cuando la hemorragia es abundante es que la víctima entre en *shock* (véase la subsección "*Shock* [conmoción]"). Por lo tanto, será vital contener de inmediato el sangrado.

1. Si el sangrado es abundante:
   - Haga que el paciente se acueste.
   - Afloje cualquier prenda ajustada (corbata, cinturón, etcétera).
   - Envíe a alguien por ayuda médica mientras usted contiene la hemorragia.
2. Retire la ropa de tal manera que pueda ver las heridas con claridad.
3. Si la herida se halla en una extremidad y no hay huesos fracturados, eleve ese miembro a un nivel superior al corazón para disminuir la fuerza con que la sangre llega a la herida.
4. Aplique compresión local (presión directa) sobre la herida.

- Si la herida es pequeña, presione fuertemente sus bordes para contener el sangrado (véase la Figura 31).
- Si la herida es grande, forme una almohadilla con un paño limpio o gasa, colóquelo sobre la herida y presione fuertemente (véase la Figura 32) hasta que se detenga el sangrado (esto puede demorar de 15 a 20 minutos).

Figura 31

Figura 32

La almohadilla se utiliza para que pueda hacerse presión sobre un área grande, no para que absorba la sangre. Si el paño con que comprime se empapa de sangre, no lo quite, póngale otro paño encima y continúe presionando.

De ser posible, utilice materiales estériles para contener un sangrado muy abundante, pero, si no dispone de ello, no dude en utilizar cualquier trapo limpio o incluso su mano desnuda para detener la hemorragia.

Una vez detenida la hemorragia asegure bien la almohadilla con una venda y traslade al paciente a un hospital. No intente quitar el vendaje para revisar la herida pues el sangrado podría reiniciarse.

5. Si el sangrado de una extremidad continúa siendo abundante a pesar de la compresión local y la elevación, puede ser indicado aplicar un torniquete como último recurso.

   El torniquete sirve para comprimir el flujo sanguíneo y detener el paso de la sangre. Puede improvisarse utilizando una tela de cinco centímetros de ancho (por ejemplo, una corbata, una chalina, una media, un pedazo de sábana, etcétera). Nunca utilice cuerdas delgadas ni alambres porque pueden lacerar la piel.

6. ¿Dónde colocar el torniquete? Esto depende del tipo de hemorragia. En caso de hemorragia arterial (sangre de color rojo vivo, que brota con fuerza a chorros intermitentes), el torniquete se coloca por encima de la herida (entre la herida y el corazón).
   - En el parte superior, entre el codo y la axila.
   - En el parte inferior, en el centro del pliegue inguinal.

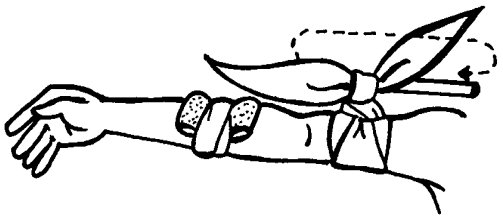
   Importante: en caso de hemorragia arterial, nunca coloque el torniquete donde el miembro tenga dos huesos (por ejemplo, en el antebrazo o en la pierna), pues en estos sitios la arteria queda protegida entre ambos huesos. Tampoco coloque el torniquete en el tercio inferior del brazo, donde podrían lesionarse nervios importantes.

   En caso de hemorragia venosa (sangre oscura que brota sin fuerza en forma continua), el torniquete se coloca cerca de la herida.

7. ¿Cómo colocar el torniquete?

   Si el torniquete es lo suficientemente largo, envuélvalo dos veces alrededor del sitio escogido y hágale medio nudo. Luego, ate los extremos del torniquete a una barra rígida (un bastón o un pedazo de madera, por ejemplo) y hágalo girar hasta detener la hemorragia (véase la Figura 33).

Figura 33



Precauciones. El torniquete es un recurso temporal para detener la hemorragia y nunca debe permanecer ajustado por más de 20

minutos seguidos. Si el médico aún no llega, aflójelo unos instantes cada 15 ó 20 minutos y vuélvalo a ajustar apenas se reinicie la hemorragia.

En caso de hemorragia interna

La única ayuda que puede brindarse al paciente en estos casos es acostarlo y mantenerlo confortablemente abrigado hasta la llegada del médico. También puede ser útil elevarle las extremidades para que los órganos vitales reciban mayor cantidad de sangre.

4.5 Pérdida del conocimiento

Consideremos dos formas de pérdida del conocimiento:

El desmayo. Es una súbita pero breve pérdida de conocimiento debido a una brusca interrupción de la circulación sanguínea al cerebro. Usualmente no dura más de 5 ó 10 minutos y el paciente se recupera una vez restablecida la circulación cerebral.

La inconsciencia. Dura más de 5 ó 10 minutos. Puede ser causada por alguna alteración o daño en el cerebro; por ejemplo, un golpe en la cabeza, un envenenamiento, una asfixia, un ataque cardiaco, una intoxicación, un coma diabético, etcétera.

En ambos casos, la persona que ha perdido el conocimiento no se entera de lo que ocurre a su alrededor; no puede hablar con uno ni oye lo que se le dice.

¿Qué hacer en estos casos?

- Mantenga al accidentado acostado boca arriba y confortablemente abrigado.
- Si comienza a vomitar, voltéele la cabeza hacia un lado para facilitar la evacuación.

- No le dé nada por la boca.
- Vigile continuamente la respiración y circulación hasta que llegue la asistencia médica.
- Si el paciente se recupera, manténgalo acostado hasta que se restablezca totalmente.

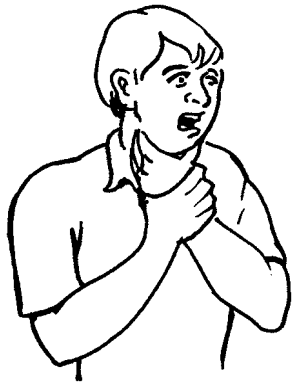
4.6 Atragantamiento

El atragantamiento ocurre cuando algún objeto extraño (moneda, alimento, hueso, etcétera) obstruye las vías respiratorias, impidiendo el paso de aire a los pulmones.

La obstrucción de las vías respiratorias se reconoce por la incapacidad para hablar, respirar y toser. La víctima, desesperada, se coge el cuello (véase la Figura 34) y sus labios, lengua y uñas adquieren un color azulado (cianosis). Luego, el paciente cae al piso y puede presentar paro cardiorrespiratorio.

El cerebro puede sobrevivir sin oxígeno de tres a cinco minutos. Por lo tanto, el atragantamiento constituye una emergencia ante la cual no hay tiempo para llamar al médico.

Figura 34



En caso de adultos y niños mayores

1. Revise la cavidad oral e intente extraer el cuerpo extraño con los dedos. Si no lo consigue, proceda así: aplique la maniobra de Heimlich, que consiste en comprimir los pulmones del paciente, provocando una tos artificial que moviliza y facilita la expulsión del cuerpo extraño. La técnica depende del estado del paciente.
2. Si el paciente está de pie (despierto), párese detrás de él y coloque ambos brazos alrededor de su cintura. Luego, empuñe una mano y póngasela sobre la parte media del abdomen, de modo que el dedo pulgar de esta mano quede algo por encima del ombligo (véase la Figura 35).
   Coloque la mano abierta sobre la mano empuñada y comprima fuertemente el abdomen hacia arriba, a modo de un abrazo de oso (véase la Figura 36).
   Puede ser necesario realizar de 6 a 10 compresiones.

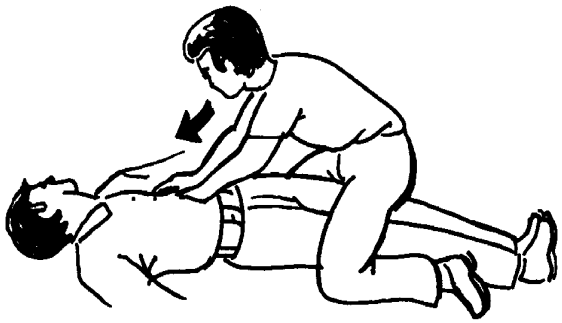
Figura 35

Figura 36

3. Si el paciente está acostado (inconsciente), acuéstelo boca arriba, vuélvale la cara hacia un lado y arrrodíllese sobre él (véase la Figura 37).

   Apoye la palma de una mano sobre la parte media del abdomen, algo por encima del ombligo. Luego apoye la otra mano sobre la primera y comprima fuertemente hacia adelante.
   Puede ser necesario realizar de 6 a 10 compresiones.

Figura 37



4. Una vez expulsado el cuerpo extraño, limpie la garganta del paciente y proceda a comprobar la respiración y el pulso. Esté listo para iniciar la respiración artificial en caso de que sea necesario.

4.7 *Shock* (conmoción)

El *shock* o conmoción es una de las complicaciones más frecuentes y peligrosas que acompañan a las grandes hemorragias, heridas graves, infecciones severas, dolor extremo, quemaduras extensas, intoxicaciones, ataques al corazón y traumatismos.

En el *shock* se produce una caída notable de la presión arterial que conduce a una falla de la circulación, lo cual ocasiona gran deterioro en el funcionamiento celular por la carencia de oxígeno y otros nutrientes que la sangre aporta.

¿Cómo reconocerlo?

- La cara de la víctima usualmente está pálida y la piel se halla fría y húmeda (hay un sudor frío).
- La víctima a veces se queja de frío y de sed, puede tener náuseas y presentar vómitos.
- La respiración es débil y acelerada.
- El pulso, si se nota, es débil y acelerado.
- La presión arterial está muy disminuida (hipotensión).
- La víctima puede estar intranquila, ansiosa, semiconsciente o inconsciente.

Qué hacer:

1. Acueste al paciente boca arriba. Abríguelo para que no se enfríe y afloje cualquier prenda que le dificulte la respiración o la circulación (la corbata, el cinturón, etcétera).
2. Vigile la respiración y el pulso. Esté atento para iniciar la respiración artificial o el masaje cardiaco, en caso de que sea necesario.
3. Si la hemorragia es la causa del *shock,* conténgala de inmediato.
4. Levántele las piernas, manteniendo la cabeza en un nivel más bajo que el cuerpo para favorecer la irrigación sanguínea hacia el cerebro (véase la Figura 38).
5. Si el paciente está herido en la cabeza, el pecho o la espalda, colóquelo con los hombros elevados (véase la Figura 39).

Figura 38

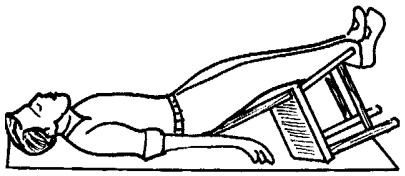
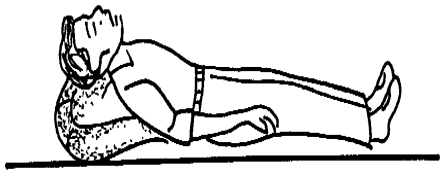
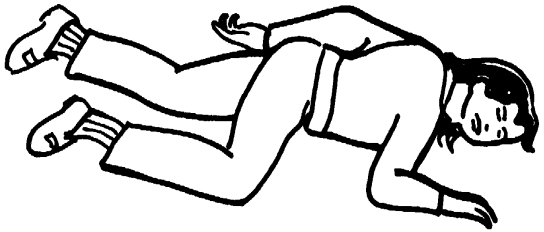


Figura 39



6. Si el paciente vomita, voltéele la cabeza hacia una lado para facilitar la evacuación o colóquelo de costado (véase la Figura 40).

Figura 40



7. La administración de líquidos puede ayudar a tratar el *shock* o a prevenirlo pero, en algunos casos, su uso puede ser peligroso.
8. Únicamente se ofrecerá de beber al paciente en los siguientes casos:
   - Si está totalmente consciente.
   - Si es capaz de tragar, no tiene náuseas ni está vomitando.
   - Si no presenta lesiones internas.

   De preferencia, suminístrele algún suero de rehidratación oral o, en su defecto, alguna otra bebida (té o caldo). Comience ofreciéndole solo algunos sorbos, para asegurarse de que no vomite. Aumente gradualmente la cantidad hasta medio vaso de líquido cada 15 minutos mientras llega el médico.
9. No le dé ninguna bebida alcohólica ni caliente, puesto que esto dilata los vasos de la sangre periférica y resta sangre a los órganos vitales.
10. No le suministre nada por la boca si sospecha de alguna lesión interna.

Aparte de los anteriores, existen otros procedimientos de primeros auxilios entre los que se cuentan los siguientes:

4.8 Reanimación cardiorrespiratoria

El paro respiratorio puede acompañarse de paro cardiaco y, en este caso, recibe el nombre de *paro cardiorrespiratorio*.

Ambos pueden presentarse solos pero, al final, uno siempre conduce al otro.

En caso de paro cardiorrespiratorio, debe iniciarse de inmediato la reanimación cardiopulmonar, combinando el masaje con la respiración artificial.

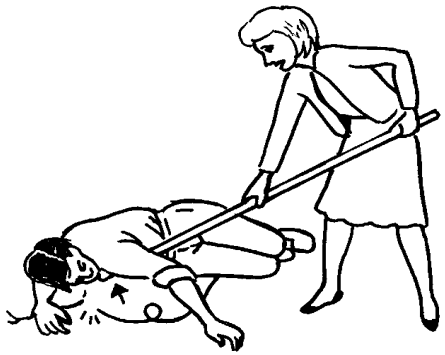
En caso de adultos y niños mayores:

1. Si dispone de ayuda (una pareja de reanimadores), haga lo siguiente:
   Una persona se arrodilla junto al hombro izquierdo de la víctima para efectuar el masaje cardiaco a una frecuencia de 60 por minuto (una compresión por segundo).
   La otra persona se arrodilla al costado derecho del paciente para practicar la respiración artificial a una frecuencia de 12 por minuto (una buena insuflación por cada cinco compresiones).
2. Si no se dispone de ayuda:
   El reanimador se arrodillará junto al hombro izquierdo del paciente e intercalará 15 compresiones del tórax con dos buenas insuflaciones. La frecuencia de las compresiones será de 80 a 100 por minuto.

4.9 Descarga eléctrica

1. No toque al electrocutado mientras este no se encuentre totalmente aislado de la corriente eléctrica.
   De ser posible, corte la corriente eléctrica o desenchufe el aparato eléctrico que haya provocado el accidente.
   Si esto no es posible, separe a la víctima del artefacto o del alambre eléctrico mediante algún material seco y que no sea conductor de la electricidad (por ejemplo, un palo de madera) (véase la Figura 41).
2. Para su propia protección, asegúrese de que el palo de madera y la superficie bajo sus pies estén secos. Obre con total prudencia para evitar convertirse en una nueva víctima.
3. Si el paciente está inconsciente, vigile la respiración y el pulso y esté presto para iniciar las maniobras de respiración artificial y masaje cardiaco.
4. Si el paciente está consciente, tome las medidas apropiadas para prevenir el *shock*.
5. Lleve al paciente a un hospital para el tratamiento de las quemaduras eléctricas, que pueden ser invisibles en la superficie de la piel, pero extensas en profundidad.

Figura 41



4.10 Hemorragia nasal

1. Tranquilice al paciente y haga que se siente con la cabeza hacia atrás (véase la Figura 42). Pídale que respire por la boca y que se apriete los orificios de la nariz por unos minutos.
   La aplicación de un paño humedecido en agua fría también puede ayudar a detener el sangrado.
2. Cuando el sangrado se haya detenido, pídale al paciente que descanse por media hora y que evite levantarse con brusquedad o sonarse la nariz con fuerza durante 48 horas.
3. Si el sangrado se repite continuamente o si persiste después de 30 minutos, llame a un médico.

Figura 42

4.11 Quemaduras

Las quemaduras se clasifican según el daño que causen y no por su extensión.

De primer grado: son las que llegan solo a la superficie de la piel y la enrojecen.

De segundo grado: son las que destruyen la piel y forman ampollas.

De tercer grado: son las que destruyen la piel y el tejido muscular, con mayor o menor profundidad.

El peligro de las quemaduras depende de su extensión y no del daño.

Una quemadura de primer y segundo grado en una superficie extensa es más peligrosa que una de tercer grado, de tamaño reducido. Las quemaduras extensas por lo general están acompañadas por un *shock*. Todas las quemaduras son dolorosas; por lo tanto, lo primero que se debe hacer es aliviar el dolor y, dado el caso, tratar el *shock*.

1 Inmediatamente después de sufrir una pequeña quemadura superficial, ponga el área quemada bajo un chorro de agua fría (limpia) o introdúzcala dentro de un recipiente que contenga agua fría por un lapso que oscile entre 5 y 10 minutos (hasta que pase el dolor).
2. Si la quemadura es de primer grado (es decir, si solo hay enrojecimiento y ardor en la piel):
   Aplíquele a la zona afectada vaselina esterilizada o alguna pomada especial para quemaduras.
   Cubra la zona con una almohadilla gruesa de gasa estéril fijada con esparadrapo.
3. Si la quemadura es de segundo grado:
   No aplique grasa ni aceite.
   Cubra el área quemada con una almohadilla gruesa de gasa estéril fijada con esparadrapo.
   No reviente las ampollas, pues la piel que las cubre constituye la mejor protección contra la infección.

Precauciones:

No aplique mantequilla, margarina ni cualquier otra grasa o aceite de cocina, pues irritan la piel y son difíciles de quitar.

No cubra la quemadura con algodón absorbente pues este se adhiere y es difícil de retirar.

En caso de quemaduras graves de tercer grado o muy extensas, la prioridad consiste en evitar que la quemadura se extienda, calmar el dolor y prevenir el riesgo de infección y *shock*.

Si la ropa de la víctima está ardiendo:

Aléjela del fuego, pero evite que corra, pues esto aviva las llamas.

Apague el fuego envolviendo a la víctima con una manta o abrigo, pero evite usar algún material sintético; protéjale sobre todo la cara, el cuello y las manos. Si no hay una manta cerca, haga que la víctima ruede lentamente sobre el suelo, tratando de cubrirle la cabeza.

Si hay destrucción total de una parte de la piel, no lave ni moje la región quemada.

Si la ropa quemada está adherida a la piel, no intente arrancarla. Solo recórtela con cuidado alrededor de la zona quemada.

Cubra la zona con una almohadilla gruesa de gasa estéril.

Llame a un médico o traslade de inmediato al paciente adonde pueda ser atendido por un especialista.

4.12 Envenenamiento

Algunos venenos producen la irritación inmediata de la boca y del estómago cuando se ingieren.

Otros solo producen síntomas evidentes cuando la sangre los comienza a absorber. Entre los venenos más comunes se encuentran los siguientes:

Venenos que queman o manchan la boca: amoniaco, ácido fénico, fenoles, potasa cáustica, soda cáustica, ácido muriático, ácido nítrico, ácido sulfúrico y yodo.

Venenos que no manchan la boca: alcohol, arsénico, belladona, ácido prúsico, digitalina, mercurio, ácido oxálico, insecticidas, etcétera.

Como primera precaución, llame a un médico inmediatamente y dele toda la información posible sobre la naturaleza del veneno.

El olor que la víctima exhala de la boca muchas veces es un buen indicio.

Con esta información, el médico podrá emplear el antídoto indicado.

Cualquiera sea el caso, antes de que el médico ayude a la víctima, debe tomar las siguientes precauciones:

1. Haga que la víctima vomite. El vómito (excepto en algunos casos que se indican posteriormente) siempre elimina parte del veneno contenido en el estómago.
   Algunas veces deberá utilizar la fuerza para conseguir su objetivo. Cualquiera de las siguientes soluciones sirve como vomitivo: agua con bicarbonato de sodio, agua con mostaza, agua con jabón, agua con aceite, agua salada.
2. Caliente el cuerpo de la víctima. Si fuera necesario, aplíquele respiración artificial.
   Si la víctima no ha perdido la conciencia o cuando recupere los sentidos, dele té o café caliente bien cargado.

Existen medidas de seguridad para algunos venenos que, si se adoptan de inmediato, serán de gran ayuda para el médico.

Venenos:

Acidos sulfúrico, clorhídrico (muriático) y nítrico. Después de haber provocado el vómito, suminístrele a la víctima cucharadas de magnesio fluido o leche de magnesia, agua de cal o agua con bicarbonato. Repita la operación varias veces. Luego dele agua helada para aliviar la sed y el dolor.

Amoniaco. Si el envenenamiento es por aspiración de vapores o gases de amoniaco, no es necesario provocar vómitos. Dele a la víctima líquidos ácidos en abundancia (agua con vinagre o zumo de limón) y luego algunas cucharadas de aceite o crema de leche. Si el amoniaco (gas o líquido) estuvo en contacto con los ojos de la víctima, lávelos con una solución de ácido bórico.

Arsénicos y sus compuestos. Después de haber provocado vómitos, haga que la víctima beba bastante leche (la leche es el antídoto natural del arsénico).

Cianuros, cianurato de potasio, ácido prúsico, insecticidas. La intoxicación es muy grave. Debe utilizar vomitivos en abundancia y luego darle a la víctima una cucharada de agua oxigenada, disuelta en un vaso de agua.

Plomo, carbonato de plomo, tintes a base de plomo. Utilice grandes dosis de sulfato de sodio o de magnesio después de haber provocado el vómito.

Fenoles, ácido fénico, creosota, creolina. Dele a la víctima leche, agua de cal o huevos crudos después del vomitivo. Luego, un purgante

(una cucharada de sulfato de sodio o de magnesio disuelta en un vaso de agua o leche). En caso de quemaduras externas, en la boca o en el rostro, lávelos con alcohol o con una solución de sulfato de magnesio.

Fósforo: no le dé a la víctima leche ni grasas o aceite. Dele un vomitivo. Luego, magnesio, clara de huevo y sulfato de magnesio.

Yodo, mercurio o sales derivadas, sales de zinc o de cobre, ácido oxálico (sal de acederas) u oxalatos. Dele a la víctima agua con harina de maíz o de trigo; agua de cal, leche de magnesia o clara de huevo. Después, provoque el vómito.

Potasa cáustica, soda cáustica. No provoque el vómito. Dele a la víctima abundante agua, pura o con zumo de limón. Después, haga que ingiera manteca o mantequilla derretida, aceite de mesa, huevos crudos, agua con harina de maíz o de trigo. Si la potasa cáustica o la soda cáustica llega a los ojos, lávelos con una solución de ácido bórico.

Sales de plata (nitrato de plata). Dele a la víctima abundante agua salada y luego un vomitivo. Si es necesario, repita la dosis.

CAPÍTULO 12

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

1. INTRODUCCIÓN

El análisis bacteriológico o químico de una determinada porción de agua permite obtener conclusiones sobre el total de donde se tomó la muestra.

El conjunto parcial sobre el cual se basan las observaciones se denomina *muestra* y el conjunto global acerca del cual se quiere extraer una conclusión se llama *población* o *universo*.

La población puede ser finita o infinita, concreta o abstracta. Así, por ejemplo, la cantidad de agua existente en un reservorio es una población finita y concreta, y la calidad del agua de un determinado punto de la red es infinita y abstracta.

A finales del siglo pasado, gracias a las obras de Karl Pearson y Francis Galton, se verificó que con una muestra elegida adecuadamente y mediante el cálculo de probabilidades se podía llegar a conocer todo el conjunto.

Posteriormente, fue posible extender la estadística al estudio de poblaciones infinitas y abstractas, en las que no se pueden observar todos los elementos. El estudio por muestreo fue aprovechado incluso en el caso de poblaciones finitas, debido a lo económico y rápido que era.

En un inicio, los métodos empleados solo permitían obtener conclusiones sobre el universo a partir de muestras de un gran número de ejemplares (teoría de las grandes muestras). Actualmente, con los trabajos de W. S. Cosset y R. A. Fisher se puede estudiar el universo a partir de muestras de cualquier dimensión (teoría de las muestras pequeñas), lo cual amplía considerablemente el campo de aplicación de la estadística.

2. IMPORTANCIA DE LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

La siguiente frase del ingeniero A. F. Pera resume el tema que vamos a abordar: "El resultado de un análisis no puede ser más idóneo que la recolección de muestras que lo precede".

Esto quiere decir que la recolección de muestras constituye la base del proceso de análisis del agua, tanto físico-químico como bacteriológico e hidrobiológico. Solo podemos confiar en el resultado de un análisis si confiamos en la manera como la muestra ha sido recolectada.

3. MECANISMO DE ANÁLISIS

El primer paso de este mecanismo es la recolección de muestras. Luego, el agua recolectada se somete a análisis fisicoquímicos, bacteriológicos e hidrobiológicos, según su origen y finalidad.

Sobre la base de estos análisis, se podrá decir si la muestra cumple con las normas de potabilidad y se podrá detallar cuáles son sus características. Asimismo, se podrá confiar plenamente en la muestra como una representación del total. A partir de tales análisis, se podrá

tomar las debidas precauciones e informar sobre las condiciones del agua analizada.

4. MECANISMO DE LA RECOLECCIÓN

Se elaborará un plano para determinar los puntos de recolección que van a ser tomados como significativos. Según las condiciones de tales puntos, se podrá decir, con cierto porcentaje de seguridad, si el agua investigada tiene o no condiciones de potabilidad y se determinarán sus características.

En general, se pueden agrupar los puntos de recolección de la siguiente manera:

1) *Plantas de tratamiento de agua:* fuente, ingreso de la planta, salida de los decantadores, salida de los filtros y tratamiento final.

2) *Puestos de cloración:* después de cierto tiempo de contacto, cuando se ha extraído una muestra para el análisis bacteriológico.

3) *Plantas de bombeo:* entrada y salida.

4) *Reservorios:* entrada, subsuelo y suelo.

5) *Red:* puntos elevados, final de la red y lugares de calidad dudosa.

Durante la recolección pueden ocurrir los siguientes problemas:

a) El recolector respetó los puntos determinados previamente pero no empleó la técnica apropiada al extraer la muestra.

b) El recolector empleó la técnica apropiada pero extrajo la muestra en el lugar equivocado.

En esos casos, de nada sirve un laboratorio bien equipado con los más modernos equipos y mano de obra especializada, porque no se puede confiar en la muestra.

Se debe resaltar que cuando el tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis es muy largo, influye en la muestra y altera su condición. En las muestras para el análisis bacteriológico pueden surgir problemas debido al crecimiento o a la muerte de microorganismos; y en el análisis fisicoquímico, debido a reacciones como la siguiente:

$$Cr^{+6} \_\_\_\_\_ Cr^{+3} \text{ o Fe soluble } \_\_\_ \text{ Fe insoluble}$$

5. EL RECOLECTOR DE MUESTRAS

El recolector de muestras es el responsable del buen funcionamiento del trabajo. No es suficiente contar con una organización adecuada y con buenos planos de recolección sin la cooperación del recolector de muestras.

Además, el recolector trabaja como una suerte de relacionista público, y por ello debe reunir ciertos requisitos técnicos y personales.

En la parte técnica, deberá conocer todas las técnicas de recolección, tanto químicas como bacteriológicas, así como el proceso de tratamiento y distribución. En el terreno personal, deberá tener iniciativa (pues se va a encontrar ante las situaciones más diversas), sentido del humor para ganarse la simpatía del público, ser breve y tener mucho criterio para no asustar a la población con una falsa alarma.

Para ayudar al recolector a realizar su labor de manera eficiente, deberá contarse con un chofer, que lo llevará hasta los puntos de recolección. El chofer deberá tener nociones básicas de recolección para poder ayudarlo o incluso, en algunos casos, reemplazarlo.

6. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN

La técnica de recolección se aplica según la finalidad de la muestra.

6.1 Para análisis fisicoquímicos del agua

Técnica de recolección

a) *Cantidad:* 3 litros.

b) *Frascos:* se pueden usar frascos de vidrio o de plástico. Los de plástico se usan más debido a su inercia química y por ser más resistentes. Si por cualquier motivo fuera necesario utilizar botellas de vidrio, se deben emplear las que sirven para transportar sustancias solubles en agua (vino, vinagre, etcétera) y nunca las que se emplean para sustancias insolubles (aceites, gasolina, etcétera).

c) *Limpieza de los frascos:* en el caso del vidrio, se usa una mezcla sulfocrómica o $KMnO_4$ alcalino, agua limpia y agua destilada. Para material plástico se usa detergente, agua limpia y agua destilada.

d) *Durante la recolección:* lavar el frasco con el agua que se va a recolectar. Se debe llenar el frasco directamente, sin embudos ni recipientes intermediarios. Cuando sea imposible introducir el líquido sin recipientes intermediarios o embudos, estos se deben lavar adecuadamente con la misma agua.

e) *Tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis:*

La duodécima edición de los Métodos Estándares sugiere como límites máximos los siguientes:

aguas no contaminadas	72 horas
aguas ligeramente contaminadas	48 horas
aguas contaminadas	12 horas

Se debe recordar que los resultados serán más reales cuanto menor sea el tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis.

f) Algunos constituyentes químicos se pueden examinar a la hora de la recolección, tales como O_2, CO_2, CH_4, H_2S, Cl_2, con riesgo de subregistro, y CO_2, O_2 y pH con riesgo de sobrerregistro.

g) *Recolección de oxígeno disuelto (OD):* se sabe que la medida del OD puede dar una idea de las condiciones sanitarias de las aguas superficiales y del efecto de residuos oxidables en los cursos de agua. Además, puede brindar una apreciación de las condiciones del agua para la vida de los peces y otros microorganismos, así como una evaluación del proceso de autopurificación de la masa líquida. De ello se deduce la importancia del cuidado que se debe tener en la recolección.

Para evitar el contacto entre el agua introducida en el frasco y el aire que sale de él de manera turbulenta, se utilizan los aparatos de las figuras 1 y 2.

Figura 1

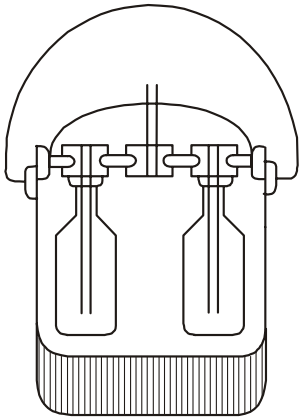
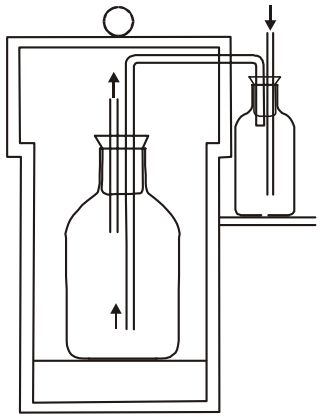


Figura 2



Esta muestra se puede guardar hasta ocho horas después de la recolección a una temperatura entre 10 y 20 °C.

h) *Temperatura para conservar la muestra*. Para mantener el balance nitrato-nitrito-amonio, sulfato-sulfito, se debe reducir la actividad microbiológica con temperaturas bajas y ausencia de luz.

Puntos de recolección

a) *Ríos y cursos de agua:* se elige el lugar de acuerdo con la proximidad de las fuentes de contaminación y de los efluentes. Se debe considerar que el mecanismo de homogeneización no se realiza instantáneamente y si hay alguna duda en torno al proceso, se debe realizar una prueba en laboratorio para verificarlo. Para cursos de agua pequeños y medianos se puede obtener una sola muestra. Esta se debe recolectar del centro de la corriente y a una profundidad media, inferior a cinco centímetros. De este modo se evitará recolectar material que esté en la superficie.

b) *Lagos, lagunas y reservorios:* cuando estos reservorios tienen grandes dimensiones, se debe controlar la circulación interna. Por lo general, se toman muestras representativas alejadas de las orillas y cercanas al punto de captación.

c) Si dispone de una bomba, úsela y deje fluir el agua durante quince minutos; si no la tiene, emplee un balde limpio o el mismo recipiente de recolección.

d) *Red:* antes de usar la red, deje correr el agua durante cierto tiempo considerando el diámetro de la tubería y el flujo de agua.

e) *En las plantas de tratamiento de agua:* la recolección se realiza en la entrada y durante el tratamiento final. Actualmente, debido a que existe mayor preocupación en torno a la turbidez, también se está haciendo una recolección del agua decantada y del agua filtrada.

Identificación de la muestra

Siempre se debe identificar la muestra mediante los siguientes datos:

- localización o procedencia (ciudad, región, etcétera);
- fuente (río, lago, manantial, pozo);
- lugar de recolección (identificación del punto donde se recolectó la muestra);
- fecha y hora;
- temperatura del aire y del agua;
- condiciones meteorológicas;
- caudal del río;
- nivel del reservorio;
- profundidad del pozo, y
- nombre del recolector.

Dentro de lo posible, anote las condiciones higiénicas y de protección de los lugares de recolección e informe sobre cualquier irregularidad que se presente.

6.2 Para análisis bacteriológicos e hidrobiológicos

Un técnico del propio laboratorio encargado del análisis debe responsabilizarse de la recolección destinada a los análisis bacteriológicos.

Técnica de recolección

a) *Cantidad:* 100 mililitros.

b) Frascos de vidrio de 125 mililitros con tapa esmerilada y boca ancha.

c) *Limpieza de los frascos:* los frascos se esterilizan en un horno Pasteur a 170 °C durante dos horas.

d) En el caso de muestras cloradas, se debe agregar 100 miligramos de tiosulfato de sodio, que no tiene acción nociva para el desarrollo de las bacterias; su función es neutralizar la acción del cloro.

e) *Tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis:* este lapso no debe exceder las 24 horas; dentro de lo posible, se mantienen las muestras a la temperatura de recolección o a bajas temperaturas (0 a 10 °C) y lejos de la luz. Lo ideal sería realizar el análisis una hora después de la recolección. Las normas actuales establecen 30 horas como lapso máximo entre la recolección y el inicio del análisis. Transcurrido dicho lapso, las muestras deben abandonarse.

f) Es recomendable seguir una técnica aséptica. En el caso de aguas cloradas, no lave el frasco y nunca lo llene por completo. En caso de

utilizar un grifo, deje correr el agua, desinféctela y déjela correr otra vez para recolectar la muestra inmediatamente. Evite las goteras o fugas por la parte superior.

g) *Indicaciones generales*: los frascos deben abrirse en el momento de la recolección y debe evitarse que la tapa toque cualquier superficie.

h) Procure verificar la proporción de cloro siempre que sea posible.

Puntos de recolección

a) *En los ríos y cursos de agua:* se debe recolectar no tan cerca de la orilla. El frasco se debe sostener con la mano para llenarlo en dirección contraria a la corriente. En caso de usar un cordel delgado, el vidrio se debe colocar con la boca hacia abajo. La recolección deberá durar tres minutos como máximo.

b) *Red:* se recolecta la muestra de los grifos directos de la red. Para realizar esto, se debe cerrar el registro del grifo de captación del agua; si el agua no sale por el grifo, saldrá directamente por la red. Los puntos de recolección se eligen entre hospitales, estaciones de gasolina, panificadoras, etcétera, por ser lugares fácilmente accesibles a cualquier hora.

c) *Reservorios:* se recolecta la muestra en la entrada del reservorio, en el suelo y el subsuelo.

d) *En las plantas de tratamiento de agua:* el muestreo se realiza en las entradas, en los decantadores, en las salidas de los filtros y en el agua tratada final.

Identificación de la muestra

Aparte de los datos mencionados en el caso de la recolección para el análisis físico-químico, se debe tener datos acerca del lugar de donde proviene la muestra. El recolector debe estar preparado para proporcionar la información sobre las fuentes de contaminación reales y potenciales del área, y conocer el funcionamiento de las plantas de tratamiento.

Los siguientes datos complementarios son importantes para conocer la muestra:

a) Si la muestra proviene de un pozo, se debe indicar lo siguiente:

- profundidad del pozo;
- edad del pozo;
- condiciones higiénicas de los bordes del pozo, y
- existencia de letrinas en lugares próximos.

b) Si la muestra proviene de aguas superficiales, se debe dar las siguientes informaciones:

- origen (río, arroyo, vertiente, lago);
- caudal, y
- existencia de aguas residuales en las cercanías y distancia a la que están ubicadas.

c) Si la muestra proviene de fuentes de abastecimiento público, se debe especificar estos datos:

- fuente de abastecimiento;
- sistema de tratamiento;
- sustancias usadas en el tratamiento;
- sistema de filtración;
- cloro libre en el agua de consumo;
- limpieza del depósito de distribución;
- quejas sobre la calidad del agua;
- existencia de enfermedades de origen hídrico, y
- otras observaciones de importancia.

CAPÍTULO 13

ANÁLISIS DE LABORATORIO

1. ORIENTACIÓN DEL TRABAJO EN EL LABORATORIO

El cuidado, la limpieza, la paciencia y la perseverancia son las principales virtudes de un buen químico y de un buen analista.

Advertencias y recomendaciones

1) Cuando use fósforos o el mechero Bunsen en un laboratorio, verifique si hay cerca algún frasco que contenga líquido inflamable. Si es así, aleje el frasco.

2) Cuando incorpore o mezcle sustancias que actúan rápidamente, hágalo con cuidado, verifique si necesitan refrigeración y, principalmente, en qué orden se deben agregar o mezclar las sustancias.

3) Cuando caliente un material de vidrio, mantenga el rostro alejado para evitar un accidente grave en caso de que se rompa, principalmente en los ojos.

4) Cuando use sustancias tóxicas, hágalo bajo la campana extractora y, si se trata de sustancias volátiles, use una máscara apropiada.

5) Cuando use sustancias corrosivas, hágalo con máscara y guantes de goma puestos. Toque tales sustancias solo con varillas de vidrio o pinzas.

6) Nunca deje un mechero de gas abierto sin encenderlo, porque cuando el gas se mezcla con el oxígeno del aire, además de tóxico, es explosivo en contacto directo con la llama o con la descarga de una chispa eléctrica.

7) Nunca trabaje con sustancias cuyas propiedades desconoce.

8) Antes de iniciar la preparación de un producto, es necesario que estudie las propiedades de las sustancias que va a utilizar para la reacción, así como las del producto que desea obtener.

9) Nunca huela directamente el contenido de un frasco porque puede tratarse de una sustancia tóxica.

10) Nunca pruebe un producto para comprobar su sabor porque puede tratarse de veneno.

11) Cuando realice un trabajo, controle con mucho cuidado la temperatura y la presión.

12) Anote cada procedimiento inmediatamente después de su realización para mencionarlo luego en el informe.

13) No cierre totalmente los recipientes usados en el calentamiento.

14) Las sustancias inflamables no se deben calentar directamente en el fuego.

15) Con aparatos que funcionan al vacío, no use recipientes de paredes finas ni superficies de paredes planas.

Limpieza del material de vidrio

Para que los análisis no sufran interferencias por impurezas, suciedad o incluso por reactivos de distinto tipo, es importante que el material de laboratorio esté perfectamente limpio.

Aunque se las vea limpias, las paredes de los vidrios pueden estar grasosas (por la grasa proveniente de los jabones, por ejemplo). Si es así, el líquido que se va a medir no fluirá debidamente por las buretas y las pipetas, lo que ocasionará resultados poco claros.

La limpieza con arena raya el vidrio, lo que dificulta la lectura y da mal aspecto al material de laboratorio. Para esta limpieza, por lo general se utilizan jabones, detergentes, abrasivos, etcétera. Sin embargo, estos materiales también pueden dejar residuos en el vidrio e interferir en el análisis.

Para realizar una limpieza adecuada se puede usar una solución sulfocrómica, que es altamente oxidante y quema o solubiliza las impurezas.

Es importante tomar las siguientes precauciones:

1) Las soluciones ácidas dañan la piel. Evite el contacto directo con ellas. En caso de salpicadura, lave inmediatamente la parte afectada con abundante agua.

2) Las soluciones dañan las telas. Tenga cuidado de no rociarlas con la ropa.

3) Para que el material esté limpio, lávelo previamente.

4) Cuando emplee jabones, detergentes o productos sacagrasa para dicho lavado, enjuague bien el material para remover al máximo las grasas y los residuos.

5) Como oxidante en un medio ácido, el bicromato actúa mejor cuando está caliente.

6) Después de aplicar la solución sulfocrómica, enjuague el material de vidrio con abundante agua y luego con agua destilada.

Solución sulfocrómica

Preparación:

- Pese aproximadamente 10 gramos de bicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en un vaso de 250 a 300 mL.
- Agregue 100 mL de agua (o menos) para disolver, al calor, el bicromato.
- Enfríe, pase la solución a un vaso de 1.500 mL y agregue lentamente, con agitación continua, un litro de ácido sulfúrico (H_2SO_4) comercial.

Observaciones sobre el material de vidrio

Por lo general, cuando las buretas en las que se ha utilizado una solución de NaOH se guardan impregnadas de soda, se quedan con el grifo soldado; y las pipetas en las que se ha usado Ca $(OH)_2$, $CaCO_3$, etcétera, se suelen obstruir. Conviene por ello lavar dichos materiales inmediatamente después de usarlos.

2. CONCEPTOS BÁSICOS

2.1 Temperatura del aire

a) De algún modo, la temperatura influye en el consumo del agua. Cuanto más calor haya, mayor es el consumo y la ingestión de agua. En realidad, el incremento del consumo de agua no está relacionado únicamente con la temperatura. Sería posible verificar la relación del consumo de agua con la humedad del aire y la temperatura con el transcurrir del tiempo, si existieran registros de localidades distintas que vinculen esos datos.

b) El tratamiento del agua orientado a lograr efectos fisiológicos benéficos (la fluoración, por ejemplo) debe estar relacionado con el consumo de agua (obviamente, con la temperatura). La dosificación de flúor se relaciona con la temperatura mínima y máxima del ambiente. Este dato se puede obtener con mayor exactitud si se registra para periodos largos.

2.2 Temperatura del agua

a) La ionización de los compuestos —así como la solubilidad— se relaciona con la temperatura. De este modo, el pH cambia con la ionización y, por lo tanto, también con la temperatura.

b) La solubilidad de los gases disminuye a medida que aumenta la temperatura (O_2 disuelto, por ejemplo).

c) La relación entre pH, CO_2 y alcalinidad se altera en función de la temperatura.

d) Los residuos de cloro también sufren alteración.

e) Una propiedad de los coagulantes es proporcionar iones positivos polivalentes. La temperatura, junto con la ionización, también actúa en el comportamiento de tales coagulantes.

f) La mejor coagulación con sulfato de aluminio se produce a una temperatura relativamente alta (25 °C). Obviamente, si la temperatura baja, se deberá usar mayor cantidad de coagulante. Así, la temperatura del aire y la del agua sirven, entre otras cosas, para informar con seguridad sobre el tratamiento, la fluoración, la cloración y la interrelación entre el tratamiento de agua y la temperatura.

2.3 Color

Las sustancias coloreadas en solución, por lo general de naturaleza orgánica o debida a emulsiones, son responsables del color. La unidad de color es la que produce un miligramo de platino en un litro de agua, en forma de cloroplatinato de cobalto (una ppm de Pt) Hazen.

El verdadero color del agua se debe a materiales en solución. Sin embargo, hay un color visible producido por partículas dispersas en el agua (emulsiones) y por material en suspensión. El color es la característica más frecuente de las aguas de lagos y represas, y es producido por material turbio (orgánico) y por la mezcla de dicha materia orgánica con hierro y manganeso.

El agua tratada deberá tener un color recomendable hasta 10 ppm y tolerable hasta 20 ppm como máximo. El color constituye una característica de orden estético; un color acentuado puede causar cierta repugnancia en el consumidor.

2.4 Turbidez

La turbidez se debe a sólidos en suspensión finamente divididos o en estado coloidal, así como a los organismos microscópicos. La turbidez es más frecuente en aguas corrientes, debido a que estas contienen arena y arcilla.

La unidad de turbidez es producida por un miligramo de sílice (SiO_2) en suspensión en un litro de agua (una ppm). La turbidez recomendable para el agua de abastecimiento es de hasta dos ppm y tolerable hasta cinco ppm. Esta también es una característica de orden estético.

2.5 pH

La determinación del pH es importante y debe realizarse con frecuencia durante el proceso de tratamiento de agua cuando hay un pH óptimo de floculación, con el cual se obtiene el mejor tipo de floc y, por lo tanto, una mejor decantación.

En segundo lugar, se determina el pH del agua tratada para poder determinar el gas carbónico libre, mediante un gráfico. El indicador que generalmente se usa en el control de la planta es el azul de bromotimol (pH 6,0 a 7,6). Para pH que estén bajo o sobre esta cifra, se utilizan otros indicadores.

Ejemplos: pH de 4,4 a 6,0 (rojo de metilo), pH de 6,8 a 8,4 (rojo de fenol), etcétera.

2.6 Alcalinidad

La alcalinidad del agua se relaciona con su capacidad de disolver el gas carbónico, CO_2. Este, bajo la forma de ácido carbónico, se puede mezclar de varias formas con metales alcalinos (Na, K) y alcalinos terrosos (Ca, Mg) en forma de carbonatos. Estas sales, teniendo bases fuertes y ácidos débiles, le dan al agua un carácter básico.

La determinación de la alcalinidad consiste en agregar un ácido (H_2SO_4) de concentración conocida y determinar los volúmenes utilizados (titulación). Esta determinación permite comprobar la existencia de hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^-) y bicarbonatos (HCO_3) en el agua.

En general, se puede decir que las aguas con

pH 12,0 tienen hidróxido (son cáusticas);
pH 8,0 tienen carbonatos y bicarbonatos;
pH 4,5 a 8,0 solo tienen bicarbonatos (son más comunes), y
pH 4,5 son ácidas; es decir, tienen ácido libre además del ácido carbónico.

La necesidad de determinar la alcalinidad, en el caso del control de tratamiento, reside en lo siguiente:

1) En la necesidad de controlar el agua tratada, que de ninguna manera puede ser cáustica (existencia de hidróxidos OH^-), pH 12,0.

2) En la necesidad de controlar el agua en estado natural, puesto que la alcalinidad natural influye en la coagulación combinándose con el sulfato de aluminio.

3) Con el resultado del pH y de la alcalinidad se determina el gas carbónico libre (CO_2). Este debe ser nulo en el agua tratada para que no se vuelva corrosiva.

2.7 Gas carbónico libre

La cantidad de gas carbónico libre se relaciona con el pH y la alcalinidad del agua. Su valor se determina mediante un gráfico.

La presencia de gas carbónico libre en aguas tratadas produce corrosión de la red. El gas carbónico es un factor de corrosión, principalmente de los materiales que contienen cemento (tuberías de fibracemento) y también es perjudicial para las tuberías de hierro.

El oxígeno disuelto en el agua es agresivo en vinculación con el hierro porque cuando reacciona produce $Fe\ (OH)_2$ y $Fe\ (OH)_3$, hidróxido de hierro II e hidróxido de hierro III. Sin embargo, se forma una capa, en cierto modo protectora, que permanece en el mismo lugar; el carbonato de calcio existente en el agua se precipita en esta capa, llena los vacíos y forma un verdadero cemento.

Si el agua contiene CO_2 libre no solo va a disolver el cemento, sino que, además, actuará con el $Fe\ (OH)_2$, hidróxido de hierro II, y formará $Fe\ (HCO_3)_2$, bicarbonato de hierro II, que es soluble.

2.8 Cloro residual

Para obtener una desinfección adecuada del agua se debe agregar suficiente cloro para satisfacer la demanda y asegurar la destrucción de la vida bacteriana. La permanencia de un residuo final indica si tales reacciones químicas y biológicas se completaron. La determi-

nación del cloro residual sirve para medir la cantidad de cloro en exceso en el agua.

La determinación del cloro es importante y se debe realizar con frecuencia (cada hora, como mínimo) porque constituye el recurso inmediato para garantizar, en parte, las condiciones bacteriológicas del agua.

Un análisis bacteriológico requiere tiempo. Un tratamiento controlado con una cloración eficaz garantiza un análisis bacteriológico negativo. Para ello se emplea la prueba colorimétrica y, como reactivo, una solución de ortotolidina. Los agentes oxidantes que incluyen otros halógenos diferentes del cloro aparecen cuantitativamente como cloro residual. Los derivados de la amina y del amoniaco presentes en el agua se mezclan con el cloro y producen cloraminas que también tienen acción bactericida, pero su actividad es mucho más reducida. Las cloraminas también dan resultados positivos en la prueba de la ortotolidina.

Las fuentes que no están altamente contaminadas por lo general no presentan estas sustancias; entonces, el proceso de determinación es muy sencillo con el método OT (véase la subsección 3.8). Para saber si hay interferencias y cuál es el método que se va a utilizar, se agrega ortotolidina en una muestra de agua filtrada sin cloro y en una muestra clorada. La formación de color se debe observar en un lapso de cinco segundos a cinco minutos.

Si el color se produce en la primera muestra, quiere decir que hay interferencia; si la intensidad del color aumenta en un lapso de cinco segundos a cinco minutos en la segunda muestra, quiere decir que existen cloraminas; se opta, entonces, por el método OTA (véase la subsección 3.8).

En las aguas sin cloraminas, con pH entre 6,0 y 8,0, se debe mantener un residuo de cloro mínimo de 0,20 ppm. Con un pH entre 8,0 y 9,0 se debe mantener un residuo de cloro mínimo de 0,40 ppm. La recolección de la muestra de agua se debe realizar en un punto donde haya habido, por lo menos, 10 minutos de contacto entre el cloro y el agua.

En el caso de la cloración por el sistema de la cloramina, el cloro residual combinado con pH 6,0 a 7,0 debe ser de 1,00 ppm; el pH entre 7,0 y 8,0 debe ser de 1,5 ppm y el pH entre 8,0 y 9,0, de 1,8 ppm.

En estos casos, la recolección de la muestra de agua se debe realizar una hora después del punto de aplicación del cloro (60 minutos de contacto entre el cloro y el agua).

2.9 Consumo de oxígeno

La determinación del consumo de oxígeno permite conocer la cantidad de material reductor existente en el agua. En general, se puede admitir que este consumo informa sobre la cantidad de materia orgánica que se encuentra en el agua. La cantidad máxima permitida en las aguas tratadas es de 2,5 ppm de oxígeno consumido.

Esta determinación es valiosa para el operador, porque no solo los microorganismos están representados por materia orgánica sino que las aguas con un alto consumo de oxígeno, en general, están asociadas al hierro reductor soluble, en estado de hierro II (Fe^{++}). Las aguas con este tipo de hierro están limpias y la filtración no retiene este material, por lo cual, a medida que recorren la red en contacto con el oxígeno (aeración) se produce una oxidación del hierro al estado de hierro III (Fe^{++}), lo que las vuelve coloridas y turbias.

Cuando estas aguas se utilizan para lavar ropa, pueden manchar y arruinar las prendas. Las aguas con consumo de oxígeno superior a cinco ppm pueden provocar este fenómeno con gran intensidad.

El consumo de oxígeno también puede indicar proliferación de algas en represas, reservorios, etcétera. Además, cuando el operador realiza esta determinación en las diversas etapas del tratamiento podrá verificar, por ejemplo, en qué parte del proceso se está produciendo una anormalidad. Por ejemplo, si hay un aumento de consumo de oxígeno, ello puede deberse al hecho de que el reservorio está sucio, a que el filtro está colmatado, a que se han desarrollado algas en el decantador, etcétera.

Muchas veces, es necesaria una precloración para oxidar la materia orgánica, puesto que el cloro es un poderoso oxidante. Se debe observar que, en este caso, el cloro entra como oxidante y no como desinfectante, aunque también puede intervenir en la desinfección el agua.

2.10 Hierro total

El hierro puede estar en el agua como hierro II (Fe^{++}) y hierro III (Fe^{+++}). Es difícil encontrar el hierro III en aguas naturales, a no ser que se trate de aguas muy ácidas, porque se forma el $Fe\ (OH)_3$ (hidróxido de hierro III) insoluble. En esa forma permanece en suspensión coloidal.

Las sales de hierro II son más solubles y por ello se pueden encontrar en aguas naturales. Cuando la alcalinidad del agua es muy alta, el Fe^{++} pasa a $Fe(OH)_2$ (hidróxido de hierro II) y cuando es oxidado por el oxígeno pasa a $Fe\ (OH)_3$ insoluble. Pueden provocar color, sabor, manchar ropas y aparatos sanitarios, así como propiciar la vida de las bacterias del hierro, que destruyen las tuberías de distribución.

El hierro III (Fe^{+++}) se determina colorimétricamente (en cantidad de color rojizo) como tiocianato de hierro III, producido por la adición de tiocianato de potasio (KCNS) después de la oxidación de todo el hierro II a hierro III con el permanganato de potasio ($KMnO_4$).

$$FeCl_3 + 3\ KCNS \rightarrow \underset{rojo}{Fe\ (CNS)_3} + KCl$$

El color que el tiocianato produce en el agua se debe comparar con los tubos patrón de hierro previamente preparados.

2.11 Alúmina residual

El hidróxido de aluminio [$Al(OH)_3$] es anfótero.

Su ionización se produce de la siguiente manera:

$$Al\ (OH)_3\ \underline{[\ H^+\ ]}\ \ Al^{+++} + 3\ H_2O \qquad \ldots\ldots\ pH\ bajo$$

ó

$$Al\ (OH)_3\ \underline{[\ OH^-\ ]}\ \ AlO_3^{--} + 3\ H_2O \qquad \ldots\ldots\ pH\ alto$$

Estas dos formas salinas se pueden solubilizar y atravesar los decantadores y filtros. Cuando los filtros tienen grietas, acumulación en las paredes y cuando no han sido lavados adecuadamente, etcétera, el $Al\ (OH)_3$ (flocs) puede penetrar en el agua tratada. Tales flocs se solubilizan con la corrección del pH.

Cuando el pH óptimo de floculación no es correcto, la cantidad de alúmina residual del agua tratada aumenta. La determinación de la alúmina residual constituye una forma de controlar las condiciones anteriores.

2.12 pHs-pH de saturación (ensayo de mármol)

El CO_2 disuelto en el agua tratada la hace corrosiva

$$H_2O + CO_2 \rightleftarrows H_2CO_3$$

y agresiva para las tuberías de distribución. El CO_2 puede provenir de la atmósfera, de la respiración de los organismos acuáticos o incluso de la coagulación del agua, cuando, por ejemplo, el sulfato de aluminio actúa con su alcalinidad natural.

$$Al_2(SO_4)_3.18\,H_2O + 3\,Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow \underline{2\,Al(OH)_3} + 3\,CaSO_4 + 18\,H_2O + 6\,CO_2$$

Tal corrosividad debe ser neutralizada.

El CO_2 (como ácido carbónico) que reacciona con el $CaCO_3$ (carbonato de calcio) neutralizará su agresividad cuando la reacción $CaCO_3 + H_2CO_3 \longrightarrow Ca\,(HCO_3)_2$ esté completa. Esto sucede en un pH que se puede determinar después de la reacción (pHs) y se podrá realizar fácilmente en el laboratorio. Esta misma neutralización se puede hacer durante el tratamiento del agua con $Ca(OH)_2$ o al final de él.

La agresividad del CO_2 está relacionada con sustancias disueltas en el agua que pueden disminuir su efecto. Por esta razón, el pH final después de la neutralización no es igual para todas las aguas. Este se denomina *pH de saturación* porque es el punto en el cual el agua ya no puede disolver el $CaCO_3$ (que es prácticamente insoluble cuando no hay CO_2) ni reaccionar con el $Ca\,(OH)_2$.

Por otro lado, para que la tubería de distribución (principalmente la de hierro) no sea solubilizada o atacada por el agua (incluso sin CO_2) tendrá que estar protegida por una película o pintura. Dicha película está formada por [$Fe\,(OH)_3$] hidróxido de hierro III

$$2\,Fe^o + ½\,O_2 + 3\,H_2O \rightarrow 2\,Fe\,(OH)_3$$

que se precipita en la tubería $Ca\,CO_3$ debido a la aplicación de cal de corrección $Ca(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 - Ca(OH)_2 \rightarrow 2\,CaCO_3 + H_2O$. Este $CaCO_3$ precipitado forma con el $Fe\,(OH)_3$ una verdadera capa protectora en la superficie interna de la tubería (pintura).

Dicha base protectora debe controlarse, pues su espesor (un milímetro) no debe reducir el diámetro de la tubería. Si la base protectora no se ha creado y se pretende que se forme, se debe mantener el pH de corrección del agua tratada en un nivel un poco más alto que el pHs. Si se quiere que la capa protectora tenga un espesor menor a un milímetro, se debe mantener el pH de corrección del agua distribuida en un nivel un poco más bajo que el pHs. Si se mantiene el pH de corrección final, en el pHs no se producirá ni ensanchamiento ni desgaste de la película formada.

2.13 Flúor

Método Megregian-Meier (control)

Este método es colorimétrico y consiste en comparar los colores producidos por la reacción de la mezcla de oxicloruro de circonio-

alizarina con la muestra y soluciones madre de flúor. Las lecturas se deberán realizar después de un determinado tiempo (una hora), puesto que el proceso está basado en una decoloración progresiva de los reactivos, cuya intensidad depende del tiempo y de la cantidad de flúor.

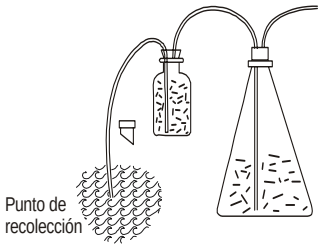
2.14 Oxígeno disuelto

Método de Winkler

La recolección de muestras de lagos, tanques o ríos para esta determinación exige ciertos utensilios. Los más simples son un frasco de vidrio de 250 mililitros de capacidad para la recolección, con tapa de vidrio achaflanada y otro de mayor volumen (entre tres y cuatro veces más grande que el primero).

Uno de los dos orificios del primer frasco se cierra con una tapa de goma y por el otro se introduce una vara de vidrio hasta el fondo. Esta vara está unida por la parte externa a un tubo de goma de tamaño adecuado por el que se producirá la entrada del agua. Luego se introduce un segundo tubo al primer frasco y se une mediante un tubo de goma a un tubo de vidrio que llega hasta el fondo del frasco grande. Se introduce otro tubo de tamaño adecuado al frasco grande y desde ahí se realiza la succión.

Figura 1



Se aspira por el tubo y se succiona agua dos o tres veces del primer frasco. Cuando el frasco está lleno, se tapa con cuidado y se procede inmediatamente con la determinación. (No dejar aire en el frasco.)

El siguiente cuadro indica la solubilidad del gas oxígeno en el agua, con distintas temperaturas.

Tabla 1

SOLUBILIDAD DEL O_2 EN EL AGUA (SATURACIÓN SEGÚN LA TEMPERATURA)	
Temperatura °C	O_2 disuelto ppm
0	14,62
5	12,80
10	11,33
15	10,15
17	9,74
20	9,17
22	8,83
25	8,38
27	8,07
30	7,63

2.15 Dureza

La dureza del agua se debe principalmente a las sales de calcio y magnesio; algunas veces, al hierro y al aluminio. La mayor parte del calcio y el magnesio presentes en el agua natural se encuentra bajo la forma de bicarbonatos, sulfatos y, ocasionalmente, cloruros y nitratos.

Las sustancias que ocasionan dureza reaccionan con los jabones comunes y producen compuestos insolubles antes de producir espuma. Así, la dureza se puede medir a través del poder que ejerce el agua en el consumo del jabón.

Las sustancias productoras de dureza se depositan como escamas en las tuberías de aguas (principalmente, en las tuberías calentadas). Existen dos tipos de dureza:

- temporal: producida por carbonatos (bicarbonatos y carbonatos);
- permanente: producida por no carbonatos (sulfatos, nitratos y cloruros).

La dureza se presenta siempre en términos de carbonato de calcio ($CaCO_3$) como alcalinidad. La dureza del carbonato se determina por los resultados de la alcalinidad. Si la alcalinidad producida por bicarbonatos y carbonatos normales, expresada en términos de $CaCO_3$, es mayor que la dureza total, quiere decir que hay sales de sodio. Tales compuestos no producen dureza y, en ese caso, la dureza de carbonato será igual a la dureza total. Si la suma de la alcalinidad producida por bicarbonatos y carbonatos normales es igual a la dureza total, la dureza de los carbonatos también será igual a la dureza total.

Si la suma de la alcalinidad, producida por bicarbonatos y carbonatos normales, es menor que la dureza total, esta suma es igual a la dureza de carbonatos (temporal), y la diferencia entre la dureza total y dicha suma es la dureza de no carbonatos (permanente).

2.16 Ensayo de coagulación (determinación de la dosis mínima y del pH óptimo)

La coagulación tiene como finalidad transformar las impurezas (que se encuentran en suspensión fina, en estado coloidal y algunas di-

sueltas) en partículas que se puedan remover con la decantación (sedimentación) y la filtración.

Factores que influyen en la coagulación:

1) tipo de coagulante;
2) cantidad de coagulante;
3) cantidad y tipo de color, y turbidez;
4) otras características químicas;
5) concentración de iones;
6) tiempo de mezcla rápida y lenta;
7) temperatura;
8) violencia de la agitación, y
9) presencia de núcleos.

El proceso de coagulación implica la dispersión del coagulante y su reacción con la alcalinidad (natural o agregada) para la formación de coágulos e incluso la aglomeración de tales coágulos en el floc.

La dosificación requerida para el tratamiento del agua se realiza experimentalmente en el laboratorio. La experiencia concluirá más rápido si antes de ser iniciada, el operador conoce los siguientes indicadores:

- temperatura del agua que se va a probar;
- pH;
- color;
- turbidez;
- alcalinidad, y
- O_2 consumido.

La descripción del ensayo de coagulación se referirá solo al sulfato de aluminio. La técnica será la misma para los demás coagulantes.

En dicho ensayo se pretende descubrir:

a) La menor dosis de coagulante para obtener el mejor resultado en la calidad del agua tratada (es decir, el más económico). El siguiente cuadro relaciona la dosis de sulfato de aluminio con la turbidez del agua cruda y da una idea básica para la investigación.

Tabla 2

Turbidez	Dosis de sulfato de aluminio		
	Mín.	Máx.	Med.
10	5	17	10
15	8	20	14
20	11	22	17
40	13	25	19
60	14	28	21
80	15	30	22
100	16	32	24
150	18	37	27
200	19	42	30
300	21	51	36
400	22	62	39
500	23	70	42

b) El pH óptimo de floculación (el punto isoeléctrico del coágulo) para una mejor formación del floc. Cada ppm de $Al_2 (SO_4)_3$ agregado necesita, teóricamente, 0,45 ppm de alcalinidad natural para reaccionar. Conociendo la alcalinidad y la dosis máxima se puede saber si se necesita o no aplicar cal en las muestras estudiadas.

- una ppm de $FeSO_4.7H_2O$ necesita, teóricamente, 0,36 ppm de alcalinidad;
- una ppm de $FeSO_4.7H_2O$ (½ Cl_2) necesita, teóricamente, 0,54 ppm de alcalinidad;
- una ppm de H_2SO_4 98% neutraliza una ppm de alcalinidad, y
- una ppm de H_2SO_4 77,7% neutraliza 0,79 ppm de alcalinidad.

Por ejemplo:

Turbidez del agua que se va a ensayar = 25 ppm.

La dosis máxima de sulfato de aluminio para dicha turbidez es igual a 22 ppm, según la tabla 2.

22 x 0,45 = 9,9 ppm

Si la alcalinidad del agua fuera menor que 9,9 ppm, es necesario añadir cal.

Tabla 3

Sulfato agregado (ppm)	Materia flotante del agua saturada de cal (mL)					
	Recipientes					
	1	2	3	4	5	6
20	1	2	3	4	5	6
25	2	3	4	5	6	7
30	3	4	5	6	7	8
35	4	5	6	7	8	9
40	5	6	7	8	9	10
50	7	8	9	10	11	12

Nota: en ensayos fuera del área de la planta de tratamiento de agua se debe disponer de un mínimo de 20 litros de muestra de agua.

2.17 Cloración al punto de quiebre

Se entiende por *cloración al punto de quiebre* la demanda de cloro en un intervalo de contacto (cloro-agua), cuando el cloro usado es suficiente para combinar, oxidar y coagular sin dejar residuo. En consecuencia, se trata de un punto teórico que se puede determinar de manera experimental.

En la práctica, las condiciones para determinar dicho punto en el laboratorio difieren. Sin embargo, las siguientes indicaciones pueden servir de orientación. El control se realiza con ortotolidina de baja acidez por la variación del color:

- azul, antes del punto de quiebre;
- incoloro, en el punto de quiebre, y
- amarillo, por encima del punto de quiebre.

Como toda cloración debe dejar un residuo, este se deberá mantener por encima del punto de quiebre con un residuo que permanezca (en la línea amarilla del indicador) hasta la distribución del agua, sin por ello sobrepasar la dosis conveniente; es decir, sin sobrepasar el límite de residuo recomendable en la red de distribución.

El residuo de cloro, después del punto de quiebre, siempre es libre ($HClO$ y ClO^-), por lo cual se debe mantener en los siguientes rangos:

pH entre 6,0 y 8,0, residual de cloro libre 0,20 ppm;
pH entre 8,0 y 9,0, residual de cloro libre 0,40 ppm.

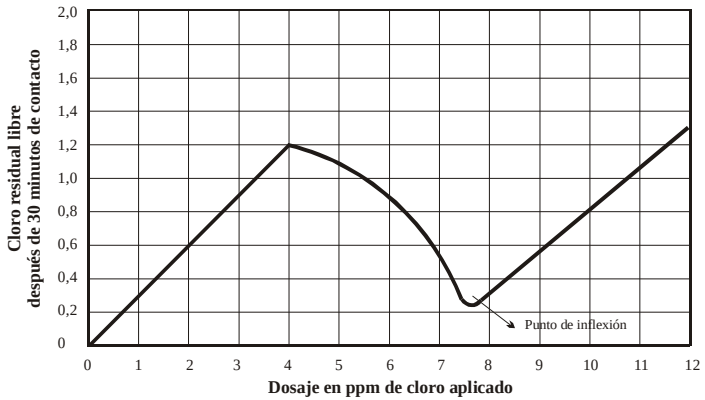
La cloración por debajo del punto de quiebre puede generar sabor y olor. Cuando se encuentra por encima del punto de quiebre podrá oxidar fenoles. Este tipo de cloración debe estar bien controlado.

Cuando se añade cloro en cantidades crecientes a determinadas aguas se observa lo siguiente:

1) El residual de cloro (total) aumenta poco a poco conforme se añade el cloro, hasta llegar a un determinado valor.
2) A partir de dicho valor, a cada aumento de dosis le corresponde una reducción del valor del residuo (total) de cloro hasta llegar finalmente al punto de quiebre que corresponde a un residuo de cloro menor, con la mayor dosis de cloro aplicada.
3) Después de ese punto, el residuo de cloro (ahora solo cloro residual libre) crece cuantitativamente según la dosis de cloro aplicada.

El punto de quiebre se determina en el laboratorio, en baterías de frascos ámbar tapados para evitar la interferencia de la luz y polvo de la atmósfera. En estos frascos se coloca igual cantidad de la muestra de agua para el ensayo y dosis crecientes de cloro. El tiempo de contacto cloro-agua es de 30 minutos. Una vez transcurrido este lapso, se determina el residuo de cloro de cada frasco. Tal residuo, puesto en un gráfico, permite conocer el punto de quiebre. El siguiente gráfico presenta una curva típica de los residuos de cloro:

Gráfico 1



El cloro aplicado en el punto de quiebre elimina el olor y el sabor, oxida el hierro y el manganeso, remueve el color, desinfecta el agua y conserva los filtros y las tuberías libres de crecimiento orgánico. Una vez realizada la cloración, en dosis por debajo del punto de quiebre, puede intensificar el gusto y el olor, y por encima del punto de quiebre puede producir un excesivo e innecesario consumo de cloro.

2.18 Análisis de cal

En algunas plantas de tratamiento de agua es difícil adquirir cal. Por esta razón y a fin de orientar a los operadores para que tengan un criterio acerca de la calidad del producto, haremos referencia al análisis de cal.

Muestreo

La muestra de cal debe ser representativa. Cuando la cal se adquiere a granel, se debe retirar porciones pequeñas de distintos lugares en el punto de carga. Cuando la cal está en bolsas, hay que retirar muestras de varias bolsas (el mayor número posible); el total de dichas muestras debe pesar aproximadamente entre cuatro y cinco kilogramos, dependiendo la cantidad total.

Fraccionamiento

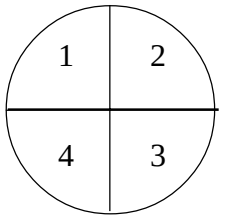
Se mezcla bien la muestra de cuatro a cinco kilos en una sola masa.

a) Forme un montículo con la muestra y divídalo en forma de cruz.

b) Retire dos porciones opuestas (por ejemplo, 2 y 4). Mézclelas para formar un nuevo montículo.

c) Divida nuevamente y repita la operación (b) hasta obtener una fracción de 500 gramos. En el laboratorio divida todavía varias veces esa porción de muestra y pese un gramo de la última fracción para la determinación final.

Figura 2



2.19 Gas sulfhídrico (H_2S)

La fermentación del lodo depositado en lagos, lagunas, represas, etcétera, produce gases de mal olor que pueden permanecer disueltos en el agua, en especial el H_2S. Las aguas profundas que recorren terrenos ricos en azufre pueden contener gas sulfhídrico disuelto. Un tratamiento para eliminar este problema consiste en la aeración.

La aeración (véase el capítulo 8) debe controlarse para evitar el exceso de oxígeno disuelto, la tasa de gas carbónico mínima y la eliminación del H_2S. La determinación del H_2S se basa en el color que adquiere el papel de filtro humedecido en acetato de plomo (marrón y luego negro) cuando se expone a la acción de dicho gas. Se trata de una determinación sencilla, colorimétrica y cualitativa.

3. DETERMINACIONES

Las siguientes determinaciones no constituyen un análisis del agua sino un conjunto de pruebas y determinaciones de rutina que pueden ser de utilidad para el operador de la planta de tratamiento de agua:

- información sobre el estado del agua cruda y del agua tratada;
- orientación para las etapas de clarificación química;
- medios para economizar el consumo de productos químicos;
- datos sobre posibles desperfectos en los equipos;
- orientación relativa a la desinfección del agua, y
- orientación para el tratamiento preventivo de la red de distribución.

En realidad, estas pruebas y determinaciones de rutina permiten pronosticar las condiciones de potabilidad del agua.

Frecuencia de los análisis de rutina

Se recomienda realizar estos análisis de rutina y registrar los resultados en boletines diarios con la siguiente frecuencia:

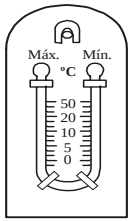
- temperatura: es conveniente el registro gráfico y sin interrupciones. Si no hay registro de temperatura en el registrador automático, se debe realizar un registro cada dos horas;
- pH, cada hora;
- color, cada hora;
- turbidez, cada hora;
- cloro residual, cada hora;
- alcalinidad y CO_2 (cada cuatro horas) durante el día (solo con luz artificial mediante el método electrométrico);
- O_2 consumido, cada cuatro horas;
- fluoruros, cada cuatro horas cuando se aplican o cuando se confirma su existencia en el agua cruda en dosis próximas a 1,0 mg/L (ppm);
- O_2 disuelto, cada cuatro horas cuando hay un proceso de aeración o, en caso contrario, una vez por semana;
- pHs, una vez por día;
- hierro total, una vez por semana;
- alúmina residual, dos veces por semana;

- dureza, cada dos horas si hay proceso de ablandamiento del agua;
- ensayo de coagulación, cuando sea necesario alterar la dosis del coagulante;
- cloración a punto de quiebre, cada seis horas en caso de precloración y en aguas altamente contaminadas;
- análisis de cal, cuando se recibe un nuevo envío;
- gas sulfhídrico (H_2S), cada cuatro horas, cuando hay proceso de aeración, para su remoción.

La frecuencia recomendada se basa en la práctica del tratamiento de agua. Esta frecuencia puede y debe ser modificada y mejorada, según la necesidad del servicio. Por ejemplo, si el residuo de cloro sufre una alteración durante el proceso de tratamiento y se tiene que cambiar la dosis, los análisis se deben realizar con mayor frecuencia hasta corregir la alteración. En el reporte diario de la planta, el operador normalmente deberá registrar el resultado encontrado en el momento.

3.1 Temperatura del aire

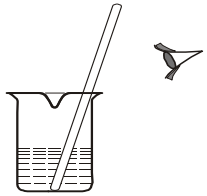
Figura 3



Se debe usar un termómetro de buena calidad y graduado para registrar la temperatura ambiente. Consérvelo a la sombra, en un lugar aireado y alejado de las paredes (principalmente de las expuestas al Sol).

3.2 Temperatura del agua

Figura 4



La temperatura del agua se puede tomar directamente en el agua de entrada o en muestras recién recolectadas. Se sumerge el termómetro en el agua y se realiza la lectura:

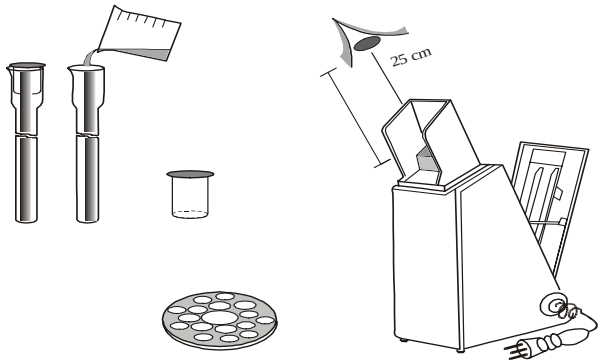
- cuando deja de oscilar en el material dilatante;
- con el termómetro todavía dentro del agua.

Cuando se utiliza un termómetro de mercurio es conveniente protegerlo con plástico o madera para que no se quiebre y para evitar que esta sustancia venenosa se derrame en el agua tratada.

3.3 Color

Discusión: véase la subsección 2.3.

Figura 5



Etapas de la determinación

1) Llene un tubo con agua destilada y coloque la tapa de vidrio sin permitir que se formen espacios vacíos; adáptelo al aparato (al lado izquierdo).

2) Coloque la muestra de agua (sin agitar ni derramar en el otro tubo); coloque el tapón y adáptelo al aparato (al lado derecho).

3) Conecte la bombilla y mire en el visor (a una distancia de 25 centímetros aproximadamente).

4) Gire el disco hasta que la intensidad del color coincida.

Lectura

Casos posibles:

a) coincidencia del color: el color se lee directamente en mg/L (ppm de platino en cloroplatinato de cobalto);

b) el color está comprendido entre los colores de dos filtros: el color se lee por la media aritmética en mg/L (ppm);

c) el color es igual al de mayor lectura del disco o más intenso que él: se realiza una dilución y se procede con la nueva determinación.

Dilución

En partes iguales con agua destilada, se multiplica la lectura por dos. Se toman 20 mililitros hasta completar 100 mililitros, y se multiplica por cinco. Se toman 20 mililitros de esta dilución y se completa nuevamente hasta 100 mililitros; se tiene que multiplicar el resultado de la lectura por $5 \times 5 = 25$ y así sucesivamente, hasta completar todas las diluciones que fueran necesarias.

3.4 Turbidez

Discusión: véase 2.4

Etapas de la determinación

1) Agite bien la muestra, llene el tubo de 50 milímetros y colóquelo en el aparato con el tapón de vidrio.
2) Use el filtro oscuro.
3) Conecte la bombilla; mire en el visor y gire el ajustador hasta que el disco central desaparezca.
4) Desconecte la bombilla (evite el empañamiento y la pérdida).
5) Haga la lectura correspondiente.

Nota: no utilice el espejo de la puerta del aparato.

Lectura

a) Vea el gráfico correspondiente (tubo de 50 milímetros), use filtro oscuro y coloque el resultado de la lectura en la abcisa de un sistema cartesiano. Si la ordenada cruza la curva o corresponde a una lectura superior a una ppm, la turbidez se obtiene por la ordenada en ppm de sílice (SiO_2).

b) Si la ordenada no cruza la curva, repita la lectura cambiando al filtro claro; lea la turbidez en el gráfico correspondiente.

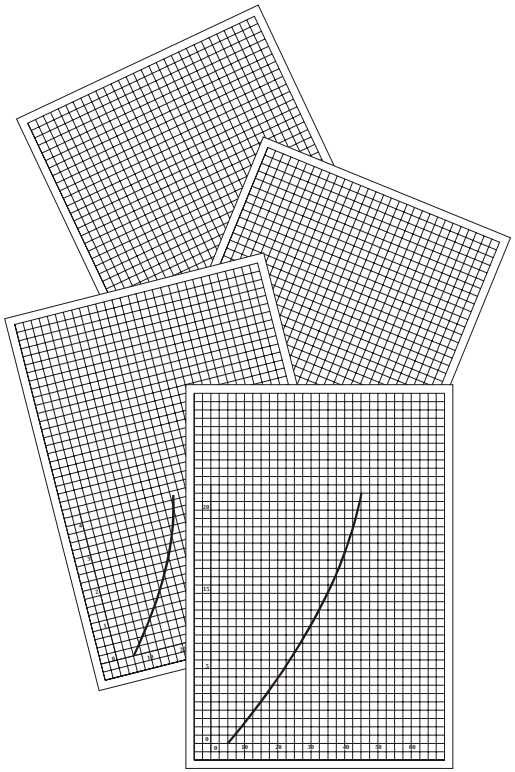
c) Si la ordenada no cruza la curva, repita una vez más la lectura cambiando a la opción sin filtro; lea la turbidez en el gráfico correspondiente.

d) Si la ordenada no cruza la curva, repita la determinación usando un tubo de ensayo de 20 milímetros y sin filtro.

e) Si aun así la ordenada no cruza la curva, repita el paso anterior (tubo de ensayo de 20 milímetros) con diluciones previas.

f) Si la turbidez es inferior a una ppm, haga una nueva determinación con un tubo de ensayo de 50 milímetros y filtro oscuro, utilizando el espejo de la puerta (abierto); lea el resultado en el gráfico correspondiente.

Figura 6



Observaciones: desconecte la bombilla después de cada lectura (para evitar el empañamiento y ahorrar).
Agite bien la muestra para cada determinación.
Limpie con un paño suave los tubos de ensayo y el tapón.
Si se forman burbujas de aire en la superficie del tapón, levántelo ligeramente y húndalo nuevamente.
Siga las órdenes de lectura (a), (b), (c), (d), y utilice los gráficos correspondientes.

Importante: El espejo de la puerta del aparato se debe utilizar para una turbidez inferior a una ppm (caso f).

Nota: Dependiendo de las condiciones del agua y de la práctica del operador, algunas veces es difícil la determinación del disco central cuando se observa el visor. Entonces, se realiza una serie de determinaciones de la siguiente manera: se extraen cuatro valores de lectura con tendencia al oscurecimiento del disco central y tres valores con tendencia a la clarificación del disco central. Se suman los valores y el resultado se divide entre siete (media aritmética).

3.5 pH

Discusión: 2.5.
Aparato: comparador colorimétrico, disco y dos tubos de ensayo de 13 milímetros.
Indicadores: rojo de metilo (pH de 4,4 a 6,0): véase la subsección 5.5;
azul de bromotimol (pH de 6,0 a 7,6): véase la subsección 5.6;

rojo de fenol (pH de 6,8 a 8,4): véase la subsección 5.7, y
fenolftaleína (pH de 8,6 a 10,2): véase la subsección 5.8.

Etapas de la determinación

1) Verifique si en el aparato está el disco correcto; use el indicador correspondiente, así como cantidades exactas del indicador y de muestras de agua.
2) Lave los tubos de ensayo con agua de la muestra.
3) Coloque el indicador en un tubo de ensayo.
4) Coloque 10 mililitros de agua de la muestra en otro tubo de ensayo y viértalo en el primero sobre el indicador; coloque este tubo de ensayo con la muestra y el indicador a la derecha del aparato.
5) Llene el segundo tubo de ensayo con agua de la muestra nuevamente y colóquela a la izquierda del aparato.
6) Mantenga el aparato contra la luz y mire en el visor en dirección horizontal. Mantenga la vista aproximadamente a 25 centímetros lejos de la luz.
7) Gire el disco hasta que los colores coincidan.

Lectura

Casos posibles:

a) el color es menos intenso que el de menor lectura: determine el pH con el indicador y el disco de escala inferior;
b) hay coincidencia de color: lea el pH directamente;

c) el color se ubica entre los colores de dos filtros: obtenga el pH con la media aritmética;

d) color igual o más intenso que el de mayor lectura del disco: determine el pH con otro indicador y un disco de escala superior con la misma técnica.

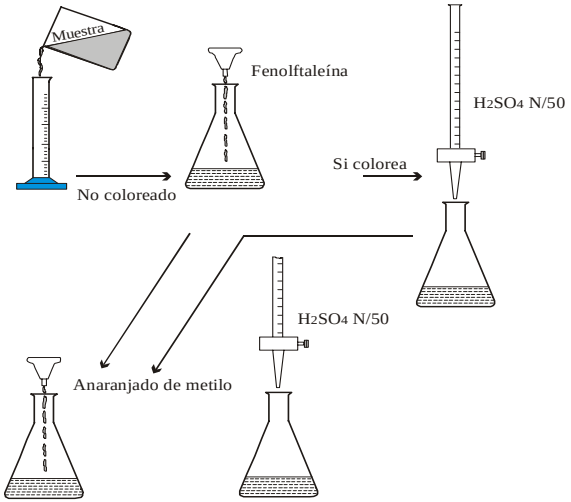
3.6 Alcalinidad

Discusión: véase la subsección 2.6.

Material necesario:
anaranjado de metilo (cuatro gotas): véase la subsección 5.1;
solución H_2SO_4 N / 50: véase la subsección 5.2;
fenolftaleína (10 gotas): véase la subsección 5.8.

Material de vidrio:
bureta graduada de 25 mililitros;
probeta de 100 mililitros, y
dos frascos Erlenmeyer de 250 mililitros.

Figura 8



Etapas de la determinación

1) Coloque cien mililitros de la muestra (sin agitar) en un frasco Erlenmeyer de 250 mililitros.

2) Añada diez gotas de fenolftaleína.

3) Si se produce una coloración rosa, titule con H_2SO_4 N / 50 en la bureta hasta que el color desaparezca. Anote la cantidad utilizada en mililitros. Esta, multiplicada por 10, dará la alcalinidad a la fenolftaleína en ppm (mg/L). Si no se produce una decoloración con fenolftaleína, es porque no hay alcalinidad en la fenolftaleína.

4) Añada cuatro gotas de anaranjado de metilo a la misma muestra.

5) Si se produce un color amarillo, continúe la titulación hasta formar una coloración ligeramente rojiza. Tome nota del volumen total de H_2SO_4 N / 50 utilizado (T = P+M).

Casos posibles:

1) *P = T (sólo hidróxidos)* OH^-*:*
Resultado: *P (mL) x 10 = ppm de alcalinidad en* $CaCO_3$ *debida solo al* OH^-.

Por ejemplo: *P = 10 mL x 10 = 100 ppm*
M.O. = 0,0 ppm
Alcalinidad cáustica = 100 ppm de alcalinidad en carbonato de calcio debida a hidróxidos.

2) *P (mayor que) ½ T (*OH^- *y* CO_3^-*).*
Resultado: $CO_3^- = 2\ (T\text{-}P)$ alcalinidad debida a los carbonatos en $CaCO_3$.

Por ejemplo: *P = 15 mL x 10 = 150 ppm*
M.O. = 19,6 mL x 10 = 196 ppm
2 (196 – 150) = 92 ppm de CO_3^- *en* $CaCO_3$
196 – 92 = 104 ppm de OH^- *en* $CaCO_3$

3) *P = ½ T (solo* CO_3^-*).*
Resultado: CO_3^- *= T mL x 10 = ppm de alcalinidad debida a los carbonatos en* $CaCO_3$.

Por ejemplo: *P = 7,2 x 10 = 72 ppm = ½* CO_3^-
M.O. = 14,4 x 10 = 144 ppm
2 x P = 144 ppm = total CO_3^- *en* $CaCO_3$
OH^- *y* HCO_3^- *= 0,0 ppm*

4) *P (menor que) ½ T (carbonatos y bicarbonatos) –* CO_3^- *y* HCO_3^-
Resultado*:* CO_3^- *= 2 P alcalinidad debida a los* CO_3^- *en* $CaCO_3$.
HCO_3^- *= T – 2P alcalinidad debida a los bicarbonatos en* $CaCO_3$.

Por ejemplo: *P = 2,8 x 10 = 28 ppm = ½* CO_3^-
M.O. = 8,6 x 10 = 86 ppm total
2 P = 56 ppm de alcalinidad debida a los CO_3^- *en* $CaCO_3$
86 – 56 = 30 ppm de alcalinidad debida a los HCO_3^- *en* $CaCO_3$

5) P = O
Alcalinidad debida a bicarbonatos en $CaCO_3$

Por ejemplo: *P = O*
M.O. = 3 x 10 = 30 ppm de alcalinidad debida a bicarbonatos en $CaCO_3$.

3.7 Gas carbónico CO_2 libre

Observe en el siguiente gráfico el proceso de la reacción.

Se determina la cantidad de gas carbónico libre con el resultado del pH y de la alcalinidad total (anaranjado de metilo).

Gráfico 2

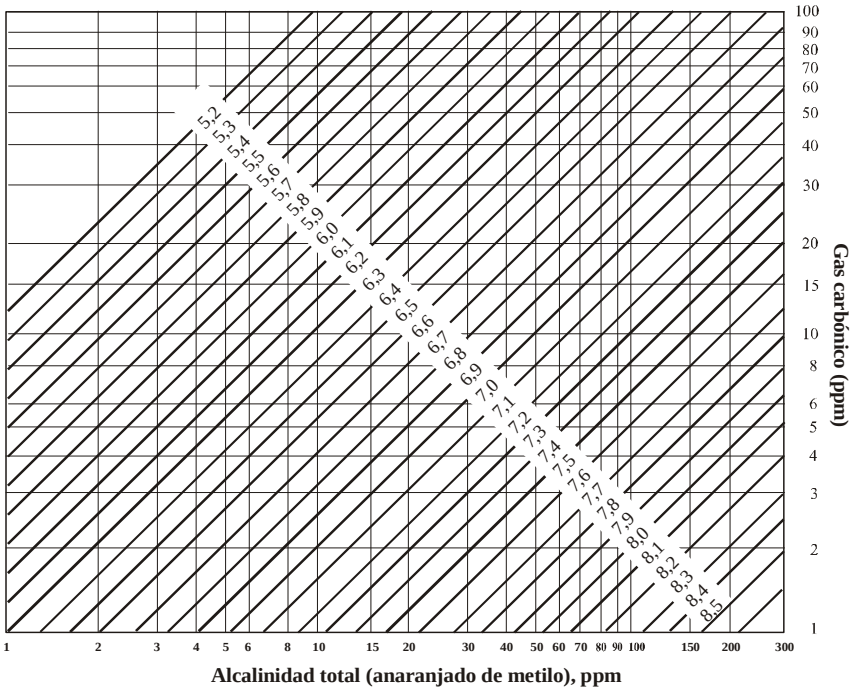


Gráfico de reacción alcalinidad pH – CO_2

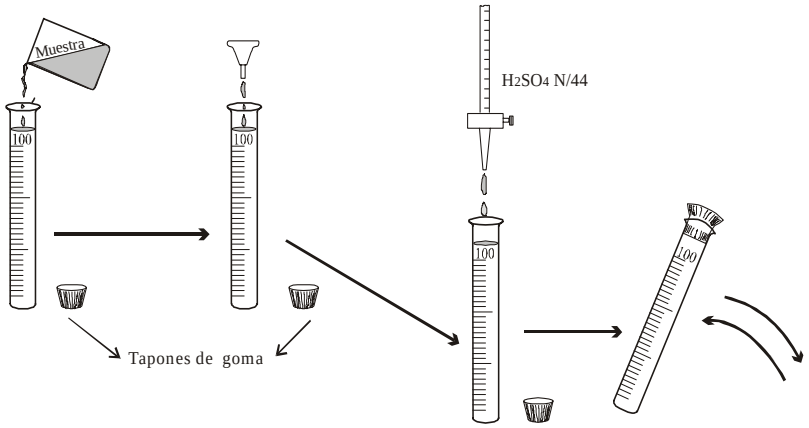
El pH se coloca en la diagonal correspondiente hasta llegar a la intersección con la vertical relativa a la alcalinidad; la horizontal que pasa por ese punto de intersección indica la cantidad de gas carbónico (CO_2).

Gas carbónico libre por determinación

Material necesario:
Reactivo: NaOH N/44: véase la subsección 5.3;
indicador: fenolftaleína (10 gotas): véase la subsección 5.8.

Material de vidrio: una bureta de 25 mililitros, división 1/10;
un tubo Nessler de cien mililitros.

Figura 7



Etapas de la determinación

1) Tome 100 mililitros de la muestra (sin agitar) en un tubo Nessler.
2) Añada 10 gotas de fenolftaleína: si da coloración, no contiene CO_2; si no se produce una coloración rosa, continúe.
3) Incorpore a la bureta, gota a gota, la soda cáustica hasta que se consiga una coloración ligeramente rosada.
4) mL de solución de NaOH N/44 x 10 = ppm de CO_2 libre.

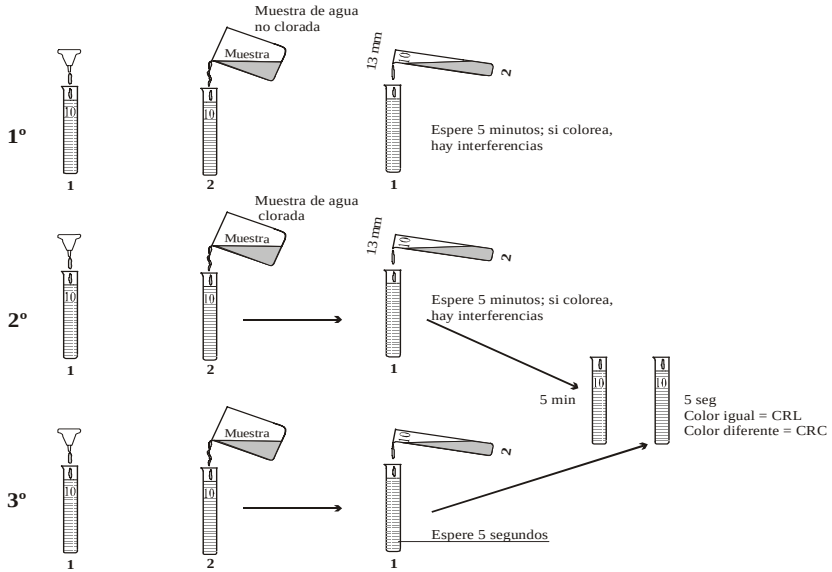
3.8 Cloro residual. Métodos OT y OTA

Para saber si hay interferencias y cuál es el método que se debe usar en la determinación del cloro residual (OT y OTA), se procede de la siguiente manera:

1) Agregue 0,5 mililitros de la solución de ortotolidina en un primer tubo de ensayo de 13 milímetros previamente lavado con agua destilada y luego 10 mililitros de la muestra de agua no clorada (filtrada sin cloro). Espere cinco minutos. Si se produce color, quiere decir que hay interferencia. Utilice el método OTA en la determinación del residuo de cloro.

2) Agregue 0,5 mililitros de la solución de ortotolidina en un segundo tubo de ensayo de 13 milímetros previamente lavado con agua destilada y luego 10 mililitros de muestra de agua clorada. Espere cinco minutos.

Figura 8



3) Transcurrido ese tiempo, coloque 0,5 mililitros de la solución de ortotolidina en un tercer tubo de ensayo y luego 10 mililitros medidos de la misma muestra de agua clorada. Compare inmediatamente el tercer tubo de ensayo con el segundo. Puede ocurrir lo siguiente:

   a) Los colores formados en los dos tubos de ensayo (segundo y tercero) son iguales, mientras que en el primero no se produjo color (no hay interferencia). El residuo de cloro se puede determinar mediante el método OT.

   b) Los colores formados en los dos tubos de ensayo (segundo y tercero) son diferentes (incluso si en el primer tubo de ensayo no se produjo color). El residuo de cloro se debe determinar a través del método OTA.

Método colorimétrico OT

Discusión: véase la subsección 2.8.

Material necesario: comparador colorimétrico para el cloro residual, disco y tubos de ensayo de 13 milímetros: véase la subsección 5.6.

Indicador de ortotolidina (use 0,5 milímetros, 10 gotas, para 10 mililitros de la muestra: véase la subsección 5.9).

Etapas de la determinación

1) Verifique si el aparato tiene el disco correcto.
2) Lave los tubos de ensayo con agua destilada.
3) Coloque 10 mililitros de la muestra en un tubo de ensayo y 0,5 mililitros de ortotolidina en otra.

4) Vierta el agua de la muestra del primer tubo de ensayo en el segundo, sobre el reactivo, y coloque este tubo de ensayo al lado derecho del aparato.
5) Llene el primer tubo de ensayo nuevamente con agua de la muestra y colóquela al lado izquierdo del aparato.
6) Gire el disco hasta que los colores coincidan.

Lectura

Haga las siguientes lecturas.

Casos posibles:

a) coincidencia de colores: lea el cloro residual directamente.
b) color ubicado entre los colores de ambos filtros: obtenga el cloro residual por la media aritmética.
c) el color es igual o más intenso que el de mayor lectura del disco: haga una dilución con agua destilada y repita la determinación.

Cálculo para la dilución

Con la mitad del agua destilada, multiplique la lectura por 2. Para ello, utilice 20 mililitros de la muestra y complete con agua destilada hasta 100 mililitros. Multiplique por 5 el resultado de la lectura.

Método OTA

Material necesario:
comparador, disco para cloro (0,1 a 2,0 ppm);
tubos de ensayo de 13 milímetros.

Reactivos:
solución de metaarsenito de sodio 0,5 mililitros (10 gotas para 10 mililitros de la muestra);
solución de ortotolidina 0,5 mililitros (10 gotas para 10 mililitros de la muestra).

Etapas de la determinación

1) Tubo de ensayo A

   a) Consiga tres tubos de ensayo de 13 milímetros limpios y lavados con agua destilada: en el primero, coloque 10 mililitros de la muestra de agua; en el segundo, 0,5 mililitros de ortotolidina; y en el tercero, 0,5 mililitros de arsenito.

   b) Vierta la muestra de agua del primer tubo de ensayo al segundo, sobre la ortotolidina, y después de cinco segundos, el segundo tubo de ensayo sobre el que contiene arsenito.

   c) Espere cinco segundos para que la muestra de agua haga contacto con la ortotolidina; esta espera se debe observar rigurosamente. Coloque este tubo de ensayo al lado derecho del aparato.

   d) Lave el otro tubo de ensayo y llénelo con agua de la muestra. Luego, colóquelo al lado izquierdo del aparato.

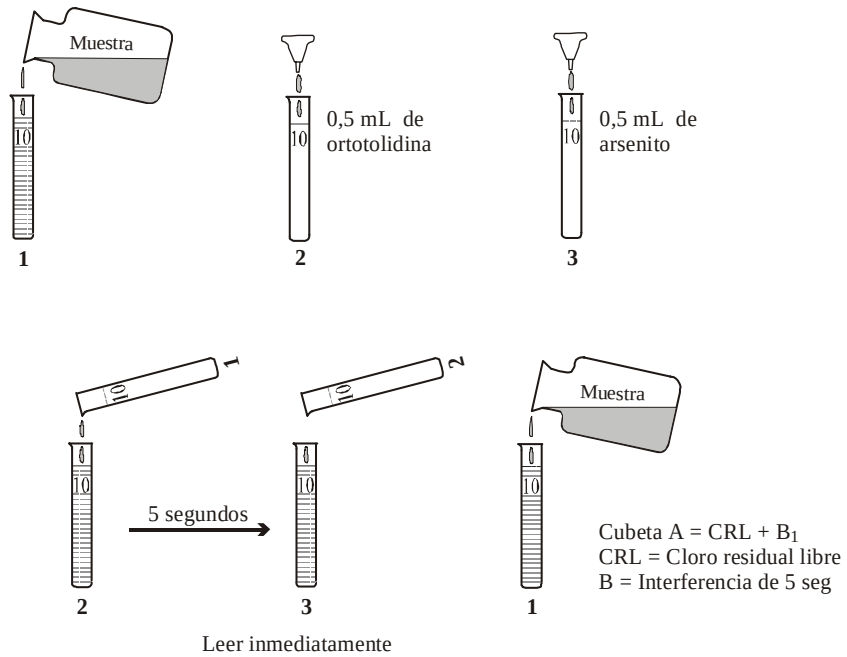
Lectura: inmediatamente.

Cloro residual libre, más interferencia B_1 (a los cinco segundos).

2) Tubo de ensayo B

   a) Tome tres tubos de ensayo de 13 milímetros limpios y lavados con agua destilada; coloque 10 mililitros de la muestra de

Figura 9



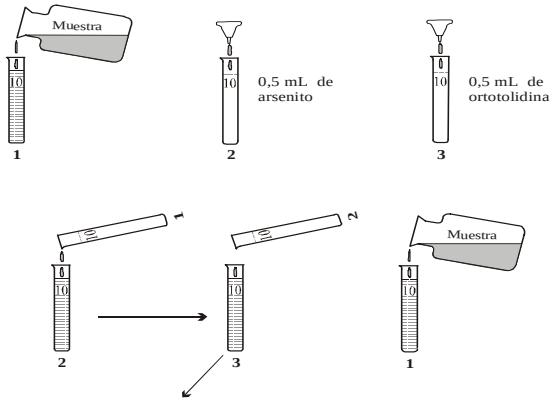
agua en el primero; 0,5 mililitros de arsenito en el segundo; y 0,5 mililitros del reactivo ortotolidina en el tercero.

   b) Vierta la muestra del primer al segundo tubo de ensayo, sobre el arsenito, y este último sobre el tercer tubo de ensayo, con 0,5 mililitros del reactivo ortotolidina. Luego colóquela al lado derecho del aparato.

   c) Lave y llene un tubo de ensayo con agua de la muestra y colóquelo al lado izquierdo del aparato. Haga dos lecturas.

   d) Transcurridos cinco segundos, haga la primera lectura: interferencia B_1. Transcurridos otros cinco minutos, haga la segunda lectura: interferencia B_2.

Figura 10



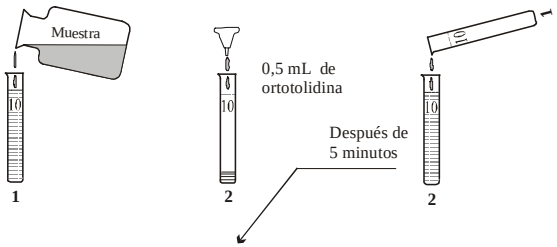
3) Tubo de ensayo C

a) Tome dos tubos de ensayo de 13 milímetros; coloque 10 mililitros de la muestra de agua en el primero y 0,5 mililitros de ortotolidina en el segundo.
b) Vierta el contenido del primer tubo de ensayo en el segundo, sobre la ortotolidina.
c) Haga la lectura después de cinco minutos.

Lectura

El cloro residual libre, junto con el cloro residual combinado, y la interferencia B_2 (transcurridos cinco minutos).

Figura 11

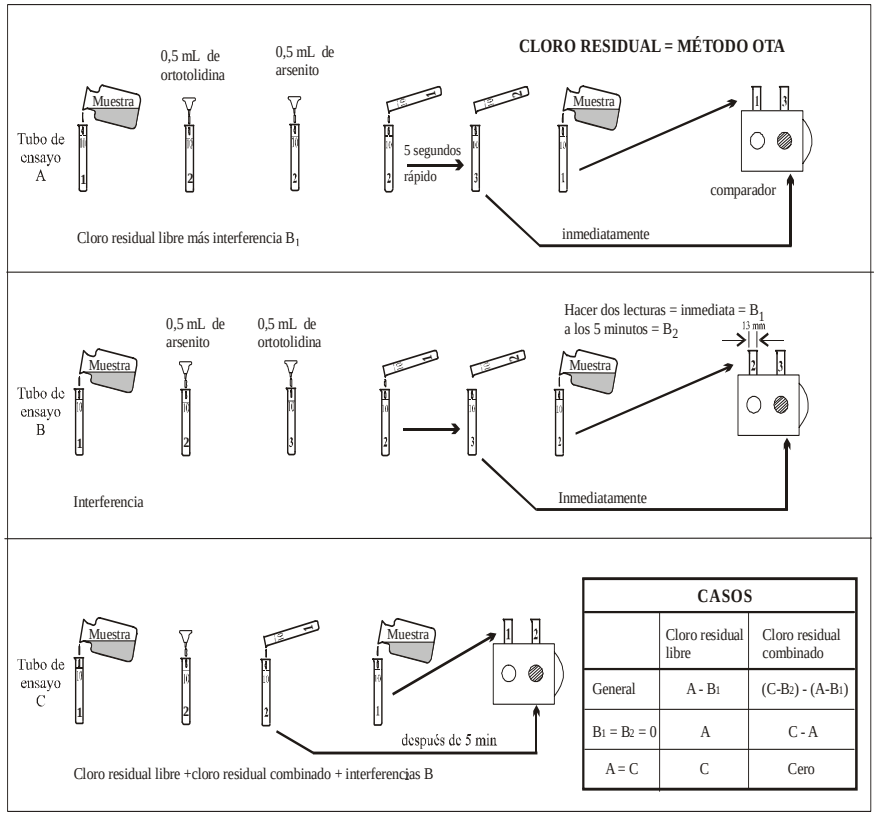


Cubeta C = CRL + CRC = B_2

Resultados

Tubo de ensayo A – B_1 = cloro residual libre;
= interferencia después de cinco segundos.
Tubo de ensayo B – B_1 = interferencia después de cinco minutos;
B_2 = interferencia después de cinco minutos.
Tubo de ensayo C – (C – B_2) – (A – B_1) = cloro residual combinado.

Figura 12



CASOS		
	Cloro residual libre	Cloro residual combinado
General	A - B_1	(C-B_2) - (A-B_1)
B_1 = B_2 = 0	A	C - A
A = C	C	Cero

3.9 Oxígeno consumido

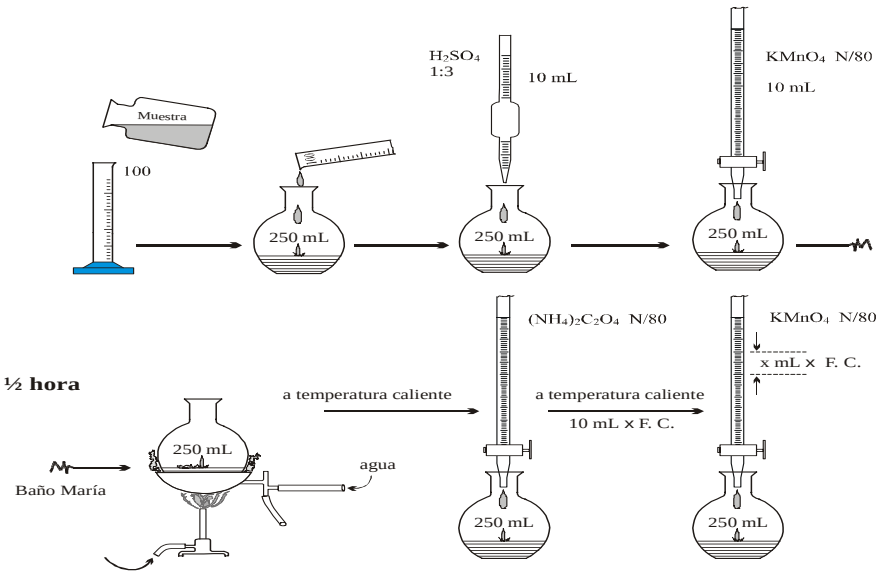
Discusión: 2.9

Material necesario:
Reactivos:
solución de H_2SO_4: véase la subsección 5.14;
solución de $(NH_4)_2C_2O_4$ N / 80 (0,125 N): véase la subsección 5.12, y
solución de $KMnO_4$ N / 80 (0,0125 N): véase la subsección 5.13.

Material de vidrio:
dos buretas de 50 mililitros;
una probeta de 100 mililitros;
un matraz de fondo chato de 250 mL para cada muestra.

Aparatos:
instrumental de baño María para tres pruebas o mechero Bunsen con trípode y rejilla de asbesto.

Figura 13



Etapas de la determinación

1) Agite la muestra.
2) Coloque 100 mililitros de la muestra en un matraz de fondo chato de 250 mililitros.
3) Agregue 10 mililitros de ácido sulfúrico.
4) Con la bureta, incorpore exactamente 10 mililitros de solución de permanganato N / 80 en el matraz.
5) Caliente en baño María por media hora o hierva durante 10 minutos en un mechero Bunsen (señale el tiempo transcurrido después del inicio de la ebullición).
6) Agregue mediante la bureta oxalato de amonio N / 80 en una cantidad igual al número de mililitros de $KMnO_4$ N / 80 x F. C. (factor de corrección) del permanganato.
7) Titule con permanganato hasta que obtenga una coloración ligeramente rosada.

Resultado

Mililitros de $KMnO_4$ N / 80 empleados x F. C. es igual a ppm del oxígeno consumido. Si este último es superior a 10 ppm, el permanganato va a decolorar (quinta etapa) por calentamiento; si eso ocurre, agregue 10 mililitros más de permanganato y deje media hora en baño María según las etapas normales. Se puede producir una nueva decoloración; en ese caso, diluya la muestra con agua destilada y haga una nueva determinación.

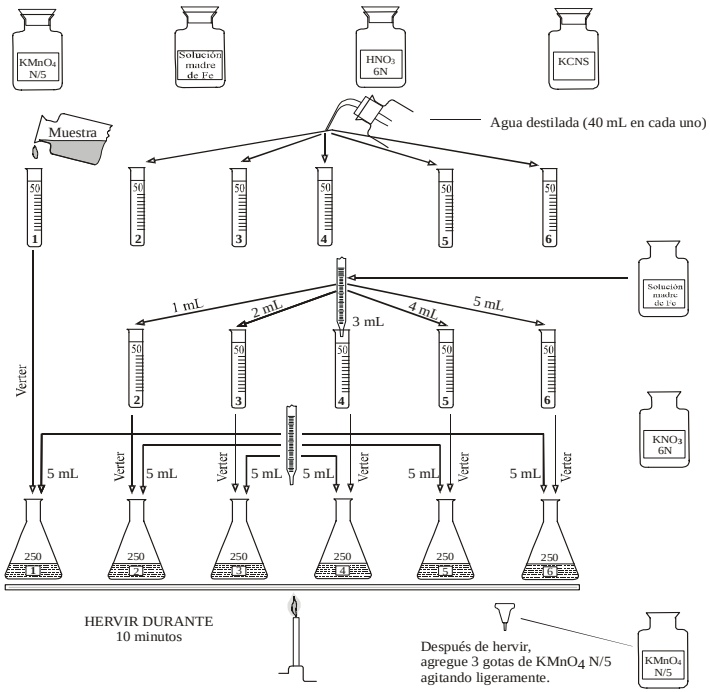
3.10 Hierro total

Discusión: véase la subsección 2.10.

Material necesario:
Reactivos:
permanganato de potasio N/5: véase la subsección 4.5;
solución madre de hierro: véase la subsección 5.16;
ácido nítrico 6N: véase la subsección 5.17, y
tiocianato de potasio: véase la subsección 2.18.

Material de vidrio:
dos pipetas graduadas de 10 mililitros;
una pipeta graduada de un mililitro;
seis frascos Erlenmeyer de 250 mililitros, y
seis tubos Nessler de 50 mililitros.

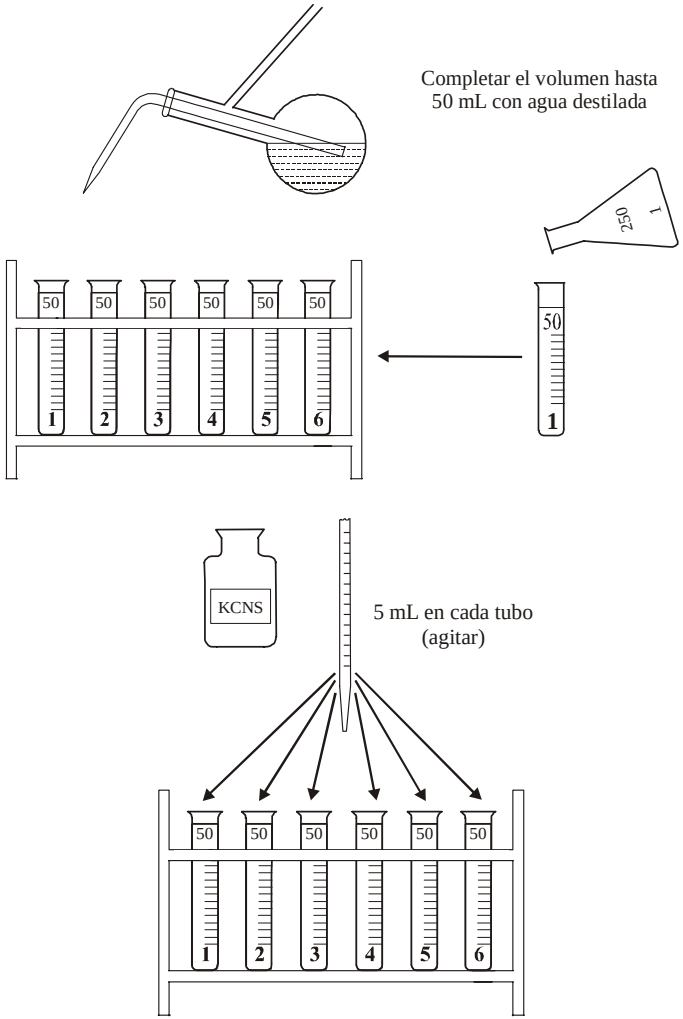
Figura 14



Hierro total

Cuando está completamente frío, transfiera el contenido a los tubos Nessler:

Figura 15



Compare el tubo 1 con los tubos patrón

Etapas de la determinación

1) Coloque seis tubos Nessler de 50 mililitros en el soporte.

2) En el primer tubo incorpore 50 mililitros de agua de la muestra y en los demás, 40 mililitros de agua destilada.

3) En los tubos con agua destilada haga cinco tubos patrón de hierro; para ello añada uno, dos, tres, cuatro y cinco mililitros de la solución madre (o solución patrón) de hierro.

   Por lo tanto, los tubos estarán con 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1,0 ppm de hierro, respectivamente.

4) Vierta el contenido de los seis tubos en frascos Erlenmeyer de 250 mililitros, numerados.

5) Agregue cinco mililitros de ácido nítrico 6 N en cada Erlenmeyer y hierva durante 10 minutos. Retire del fuego e incorpore tres gotas de permanganato de potasio N/5 y agite ligeramente (mientras esté caliente).

6) Cuando esté completamente frío, coloque el contenido de los frascos en los tubos Nessler y complete los volúmenes con agua destilada hasta 50 mililitros (pérdida por evaporación).

7) Agregue cinco mililitros de tiocianato de potasio en cada tubo y agite, por inversión.

8) Compare el color de la muestra con el de los tubos patrón.

9) Si el color coincide, el resultado obtenido en ppm de Fe corresponde al valor del tubo patrón. Si el color está comprendido entre dos tubos, obtenga el valor medio (media aritmética).

10) Si el color es superior a una ppm, haga una dilución de la muestra y de los tubos patrón, hasta dos ppm.

3.11 Alúmina residual

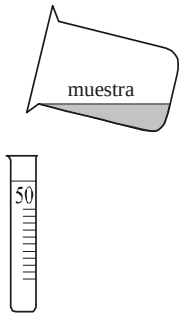
Discusión: véase la sección 2.11.
Material necesario:
cuatro pipetas graduadas de un mililitro;
seis tubos Nessler de 50 mililitros, y
un soporte para seis tubos Nessler.

Reactivos:
soluciones madre de alúmina: véase la sección 5.21;
hematoxilina: véase la sección 5.22;
ácido acético a 30%: véase la sección 5.23, y
carbonato de amonio saturado: véase la sección 5.24.

Etapas de la determinación

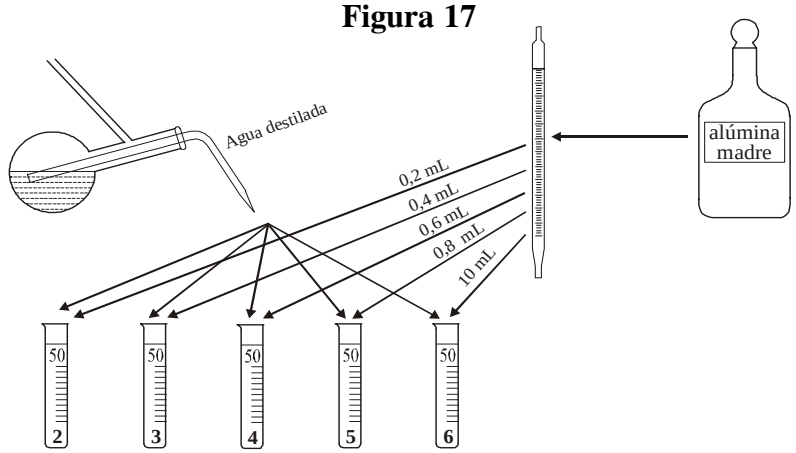
1) Coloque 50 mililitros de agua de la muestra en un tubo Nessler.

Figura 16



2) Prepare los tubos patrón con 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1,0 mililitros de la solución madre o patrón en cada uno de los cinco tubos restantes y complete el volumen con agua destilada hasta 50 mililitros.

Figura 17



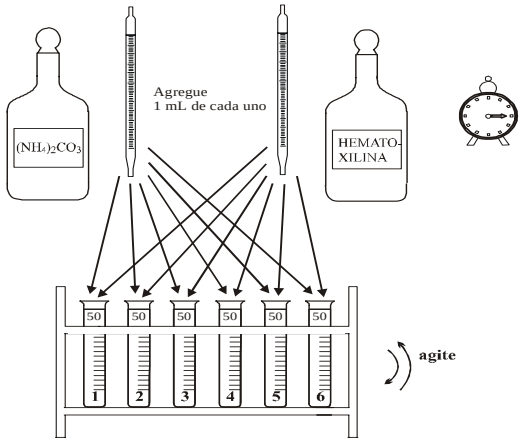
Alúmina residual

3) Agregue un mililitro de la solución de carbonato de amonio en el tubo de la muestra y los tubos patrón.

4) Incorpore un mililitro de la solución de hematoxilina en cada tubo.

5) Agite por inversión y deje reposar durante 15 minutos.

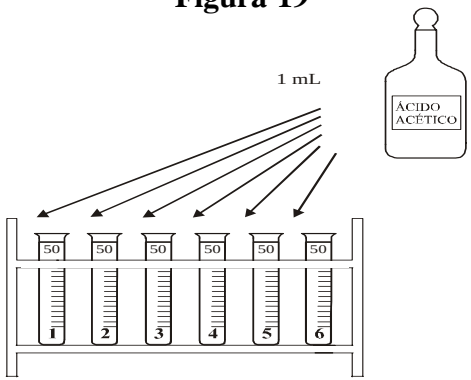
Figura 18



6) Agregue un mililitro de la solución de ácido acético al 30% y agite nuevamente.

7) Compare el color formado con los tubos patrón. Los colores producidos por pequeñas concentraciones se pueden comparar con más facilidad mirando por la boca del tubo.

Figura 19



Compare el tubo 1 con los tubos patrón

3.12 pHs (ensayo de mármol)

Discusión: véase la sección 2.16.

Material necesario: un matraz volumétrico de 1.000 mililitros.
Material de vidrio: $CaCO_3$ppt (carbonato de calcio puro precipitado).

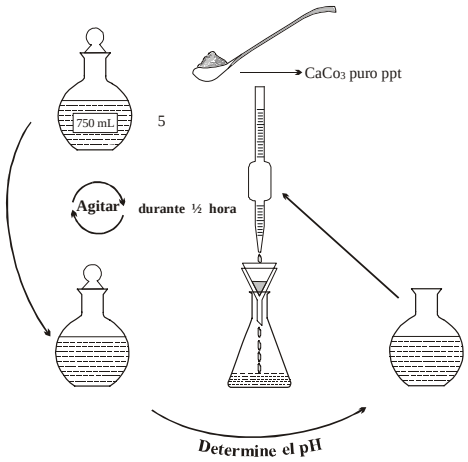
Etapas de la determinación

1) Coloque 750 mililitros de agua filtrada, sin corrección, en un matraz de 1.000 mililitros.

2) Determine el pH y la alcalinidad (I) de dicha agua y luego agregue carbonato de calcio puro precipitado ($CaCO_3$) en una proporción de dos gramos (una cucharadita) para cada 150 mililitros de agua.

3) Agite durante media hora; deje decantar y filtrar.

Figura 20



4) Determine el pH nuevamente.

5) Agite nuevamente durante media hora; deje decantar y filtrar. Determine el pH. Repita la operación hasta que el pH sea constante.

El pHs será el pH constante encontrado. Determine la alcalinidad (II) de la última muestra filtrada.

Alcalinidad II > alcalinidad I = agua corrosiva;
alcalinidad II = alcalinidad I = agua no corrosiva, y
alcalinidad II < alcalinidad I = agua incrustante.

pHs (véase el Gráfico 3)

Discusión: véase la sección 2.12.

Material necesario:
una varilla de vidrio;
un vaso de 2.000 mililitros;
cinco frascos de 250 mililitros, con tapa de vidrio achaflanada;

carbonato de calcio ppt puro (producto químico), y
solución saturada de hidróxido de calcio: véase la sección 5.20.

Etapas de la determinación

1) En un vaso de 2.000 mililitros coloque aproximadamente 1.800 mililitros de agua filtrada sin corrección.

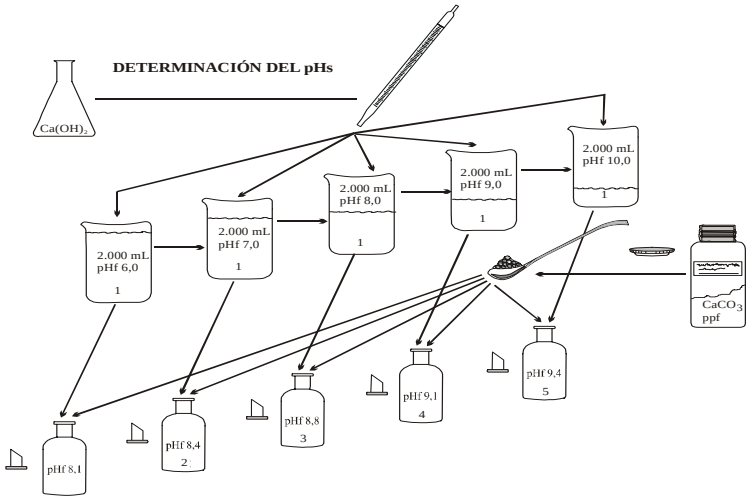
2) Determine el pH de dicha agua (I) y regístrelo.

3) Tome cinco frascos de 250 mililitros con tapa de vidrio achaflanada (numerados del 1 al 5) y coloque en su interior aproximadamente tres gramos de $CaCO_3$ ppt puro.

4) Llene el frasco 1 con el agua del vaso. Tápelo y agítelo durante cinco minutos.

5) Agregue una porción de la solución saturada de hidróxido de calcio al agua del vaso (para aumentar el pH). Determine el pH y regístrelo.

Figura 21



6) Llene el frasco 2 con el agua del vaso (pH aumentado). Tápelo sin dejar aire en su interior y agítelo durante cinco minutos.

7) Agregue una nueva porción de la solución saturada de hidróxido de calcio, repita los pasos 5 y 6, y así sucesivamente hasta el frasco 5.

8) Deje decantar.

9) Retire una muestra de cada uno de los frascos, filtre separadamente con papel de filtro y determine el pH de cada muestra. Elabore con estos datos una tabla como la siguiente.

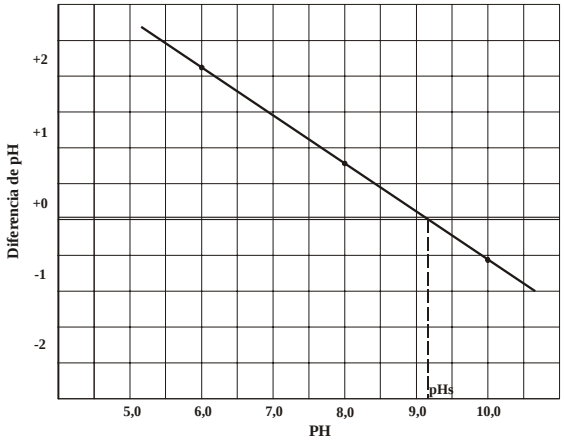
Tabla 4

FRASCO	pH INICIAL	pH FINAL	pHF - pHI
1	6,0	8,1	+ 2,1
2	7,0	8,4	+ 1,4
3	8,0	8,8	+ 0,8
4	9,0	9,1	+ 0,1
5	10,0	9,4	- 0,6

Nota: pHf = pH final; pHi = pH inicial.
La cuarta columna indica la diferencia de ambos.

10) Los datos de la cuarta columna se colocan en el gráfico y se traza una recta uniendo los puntos; la recta cortará la línea cero (0) en el pHs (pH de saturación), que en el ejemplo sería el pH = 9,1.

Gráfico 3



3.13 Flúor

Material necesario:
Soluciones:
patrón de fluoruro de sodio 0,005 mg de F/mL: véase la sección 5.25;
circonil: véase la sección 5.26, y
rojo de alizarina: véase la sección 5.27.

Material de vidrio:
tres pipetas graduadas de 10 mililitros;
tres tubos Nessler de 50 mililitros, y
soporte para tubos Nessler.

Etapas de la determinación

1) Coloque los tres tubos Nessler en un soporte. En el tubo 1 coloque 50 mililitros de agua de muestra y aproximadamente 40 mililitros de agua destilada en los tubos 2 y 3.

2) Agregue siete mililitros de la solución madre de flúor en el tubo 2 y nueve mililitros en el tubo 3. Obtendrá dos patrones: uno de 0,7 y otro de 0,9 ppm de flúor.

3) Complete el volumen de los tubos 2 y 3 con agua destilada.

4) Espere una hora para que la temperatura se normalice.

5) Coloque 2,5 mililitros de solución ácida de oxicloruro de circonio y 2,5 mililitros de rojo de alizarina en cada tubo; agite y deje en reposo por una hora.

6) Compare los tres tubos contra un fondo blanco.

Nota: se eligieron los patrones 0,7 y 0,9 ppm porque la dosis de flúor agregado al agua debería estar cerca de 0,8 ppm; si esto no sucede y el resultado no coincide (es decir, si es mayor o menor que el esperado), haga una nueva determinación con otros patrones.

Interferencias

El residuo de cloro incrementa el valor.

Coloque 50 mililitros de la muestra, una gota de arsenito por cada 0,2 ppm de cloro residual y una gota más en exceso.

Turbidez alta: filtre.

3.14 Oxígeno disuelto (método de Winkler)

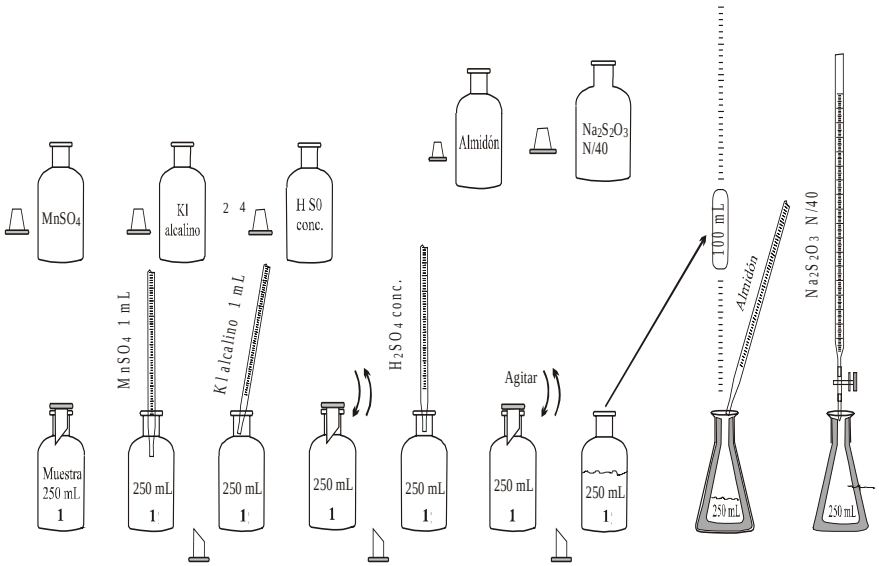
Discusión: véase la sección 2.14.

Método específico de recolección.
Material necesario:
Reactivos:
solución N / 40 de tiosulfato de sodio: véase la sección 5.28;

solución de sulfato de manganeso: véase la sección 5.20;
solución de yoduro de potasio alcalino: véase la sección 5.30;
solución de almidón: véase la sección 5.31, y
ácido sulfúrico concentrado p. a.

Material de vidrio:
tres pipetas de cinco mililitros graduadas;
una pipeta volumétrica de 100 mililitros;
un frasco Erlenmeyer de 250 mililitros, y
un frasco de vidrio de 250 mililitros, con tapa achaflanada y esmerilada.

Figura 22



Determinación del oxígeno disuelto

Etapas de la determinación

1) Recolectar la muestra según la técnica descrita, cuidando de no dejar burbujas de aire al tapar el frasco.
2) Destape y agregue un mililitro de sulfato de manganeso; luego agregue un mililitro de yoduro de potasio alcalino con la punta de la pipeta siempre sumergida en el agua.
3) Tape el frasco y agite por inversión. Si se forma una suspensión lechosa, no contiene oxígeno disuelto.
4) Cuando se forme un precipitado marrón, agite nuevamente y deje decantar durante cinco minutos.
5) Coloque un mililitro de ácido sulfúrico concentrado y agite otra vez hasta que el precipitado se diluya por completo.
6) Pipetee exactamente 100 mililitros del contenido y colóquelo en un frasco Erlenmeyer de 250 mililitros (con una pipeta volumétrica).
7) Agregue tiosulfato de sodio N / 40 por la bureta con una solución de almidón como indicador.

Cálculo

Mililitros de tiosulfato utilizado x 2 = ppm de O_2 disuelto.

3.15 Dureza

Dureza (método del jabón)
Discusión: véase la sección 2.15.
Material necesario:
Material de vidrio:
una bureta de 20 mililitros;

una pipeta volumétrica de 50 mililitros;
un frasco de vidrio neutro de boca ancha y tapa esmerilada, de 125 mililitros.

Soluciones:

solución de jabón : véase la sección 5.32.

Etapas de la determinación

1) Llene la bureta con la solución de jabón.
2) Pipetee 50 mililitros de la muestra de agua y transfiérala al frasco de 125 mililitros de boca ancha.
3) Por la bureta agregue la solución de jabón en pequeñas porciones (0,5 mililitros), tape y agite el frasco vigorosamente con cada adición (observe que haya espuma).
4) Cuando se aproxima el punto final, reduzca la adición a 0,1 mililitros.
5) Cuando obtenga una espuma persistente en el frasco, durante cinco minutos, anote la cantidad de solución utilizada.
6) Continúe agregando la solución de jabón en pequeñas cantidades y agite como se hizo anteriormente. Si con este procedimiento la espuma desaparece, quiere decir que el punto final anterior era falso y que hay dureza debido al magnesio.

Continúe agregando la solución de jabón hasta que se forme una nueva espuma persistente, durante cinco minutos. Anote la cantidad de solución utilizada. Si la espuma se mantiene constante, el consumo de jabón es el de la primera lectura (paso 5).

Cálculo

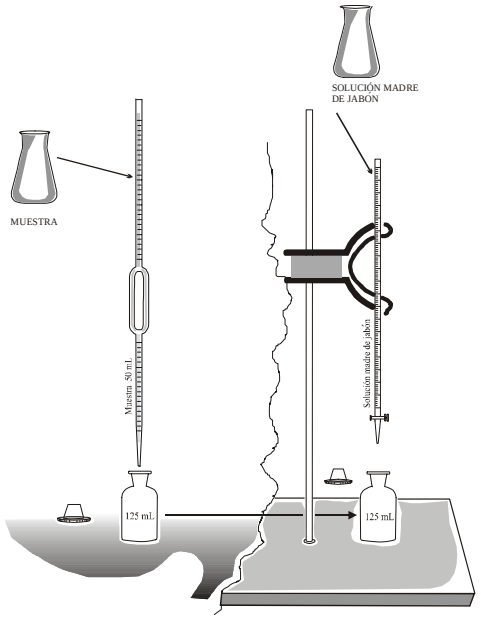
La dureza total se puede obtener con la siguiente fórmula:

$$\frac{[\text{mL de solución de jabón (paso 5 ó 6)} - \text{FE} \times 1.000]}{\text{mL de la muestra}} = \begin{array}{l}\text{ppm de dureza}\\ \text{total en } CaCO_3\end{array}$$

Observaciones: si la cantidad de solución utilizada fuera cercana a 14 mililitros, repita el proceso con menos cantidad de muestra de agua, y añada agua destilada recién hervida y fría hasta obtener 50 mililitros.

FE = factor espuma = cantidad de jabón (en mililitros) necesaria para producir espuma persistente, por cinco minutos, en 50 mililitros de agua destilada.

Figura 23



Dureza (método de la soda reactiva)

Discusión: véase la sección 2.15.

Material necesario:
indicador: anaranjado de metilo: véase la sección 5.1;
reactivos: ácido sulfúrico N / 50: véase la sección 5.2;
reactivo de soda: véase la sección 5.33.

Aparatos:
dos mecheros Bunsen.

Material de vidrio:
dos matraces volumétricos de 200 mililitros;
dos frascos Erlenmeyer de 250 mililitros;
dos frascos Erlenmeyer de 500 mililitros;
dos buretas de 50 mililitros;
dos pipetas volumétricas de 100 mililitros, y
dos pipetas volumétricas de 50 mililitros.

Materiales diversos:
dos trípodes de hierro;
dos rejillas de asbesto.

Etapas de la determinación

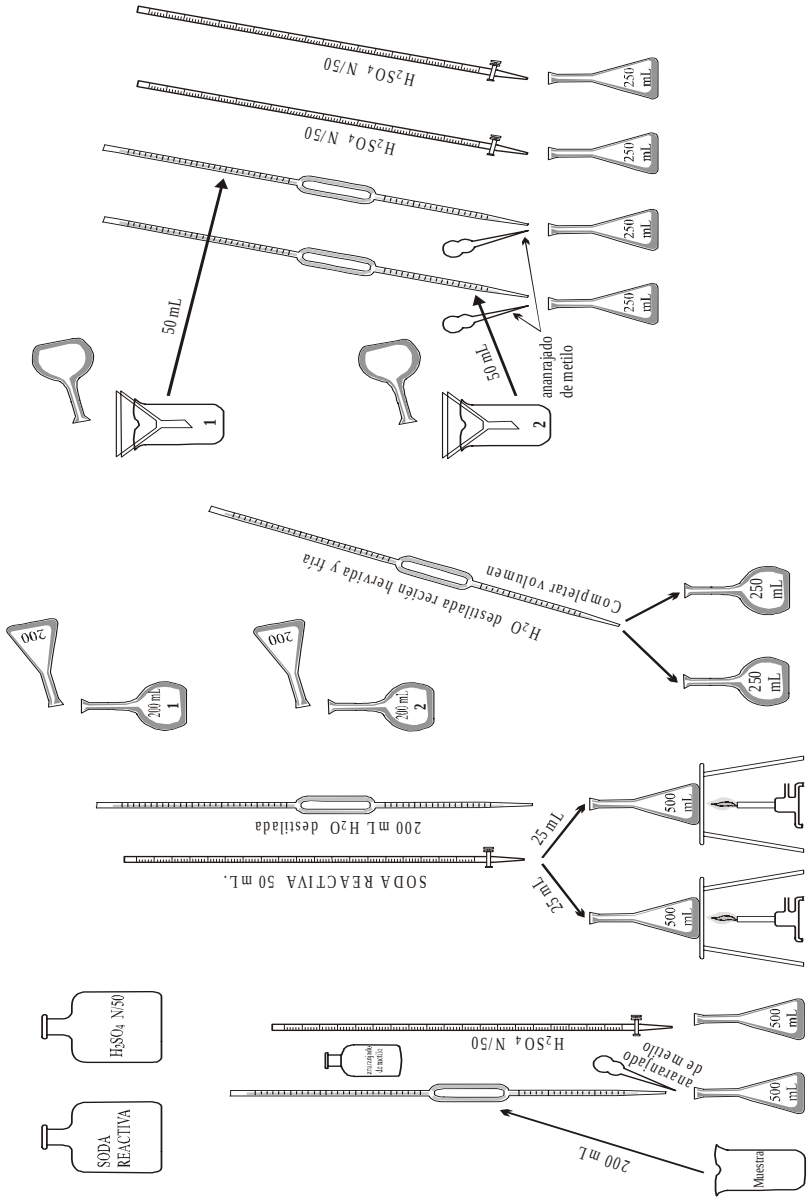
1) Pipetee 200 mililitros de la muestra de agua y transfiérala a un frasco Erlenmeyer de 500 mililitros.

2) Agregue tres gotas del indicador anaranjado de metilo.

3) Agregue H_2SO_4 N / 50 (0,02 N) hasta que el indicador vire (toda la dureza temporal se transformará en dureza permanente).

4) Pipetee 200 mililitros de agua destilada y colóquela en otro Erlenmeyer de 500 mililitros.

Figura 24



Determinación de la dureza. Método de la soda reactiva

5) Hierva el agua de los dos Erlenmeyer durante cinco minutos (remoción de CO_2).

6) Con una bureta, agregue 25 mililitros de soda reactiva en cada frasco Erlenmeyer y hierva durante 10 minutos o hasta que el volumen se reduzca a aproximadamente 150 mililitros. Cuando se agrega la soda reactiva, el calcio y el magnesio se precipitan; el primero en forma de $CaCO_3$ y el segundo, como $Mg\ (OH)_2$.

7) Enfríe y traslade el contenido de los dos frascos Erlenmeyer a los frascos volumétricos de 200 mililitros.

8) Lave los Erlenmeyer con pequeñas cantidades de agua destilada caliente y traslade el agua de lavado a los respectivos frascos volumétricos de 200 mililitros.

9) Agite. Complete el volumen de los dos matraces con agua destilada recién hervida y fría. Agite una vez más.

10) Filtre cada solución sin considerar los primeros 50 mililitros.

11) Traslade 50 mililitros de cada solución filtrada a un frasco Erlenmeyer de 250 mililitros. Agregue tres gotas de anaranjado de metilo en cada muestra y titule con H_2SO_4 N / 50.

12) Anote la cantidad de mililitros de H_2SO_4 utilizados en cada titulación.

Calcular:

Mililitros de H_2SO_4 N / 50 (0,02 N) utilizados con la muestra de agua destilada, menos los mililitros de ácido empleados con la muestra del agua que se va a analizar; multiplique por 20, y dará ….. ppm (mg/L) de dureza total en $CaCO_3$.

Ejemplo:	Mililitros utilizados con el agua destilada	28,7
	Mililitros utilizados con el agua de muestra	19,6
	Diferencia	9,1

9,1 x 20 = 182,0 ppm de dureza en $CaCO_3$

Dureza (EDTA)

Discusión: véase la sección 2.15.
Material necesario:
cristales de NaCN (cianuro de sodio): véase la sección 5.35.

Soluciones:
solución amortiguadora: véase la sección 5.36;
titulador EDTA: véase la sección 5.38;
indicador sólido: negro de eriocromo: véase la sección 5.37.

Material de vidrio:
una bureta de 25 mililitros;
dos frascos Erlenmeyer de 250 mililitros;
una pipeta graduada de cinco mililitros;
dos pipetas volumétricas de 50 mililitros, y
dos espátulas.

Etapas de la determinación

1) Llene la bureta con el titulador EDTA.
2) Pipetee el volumen apropiado de la muestra de agua que se va a analizar, según la variación de la dureza.

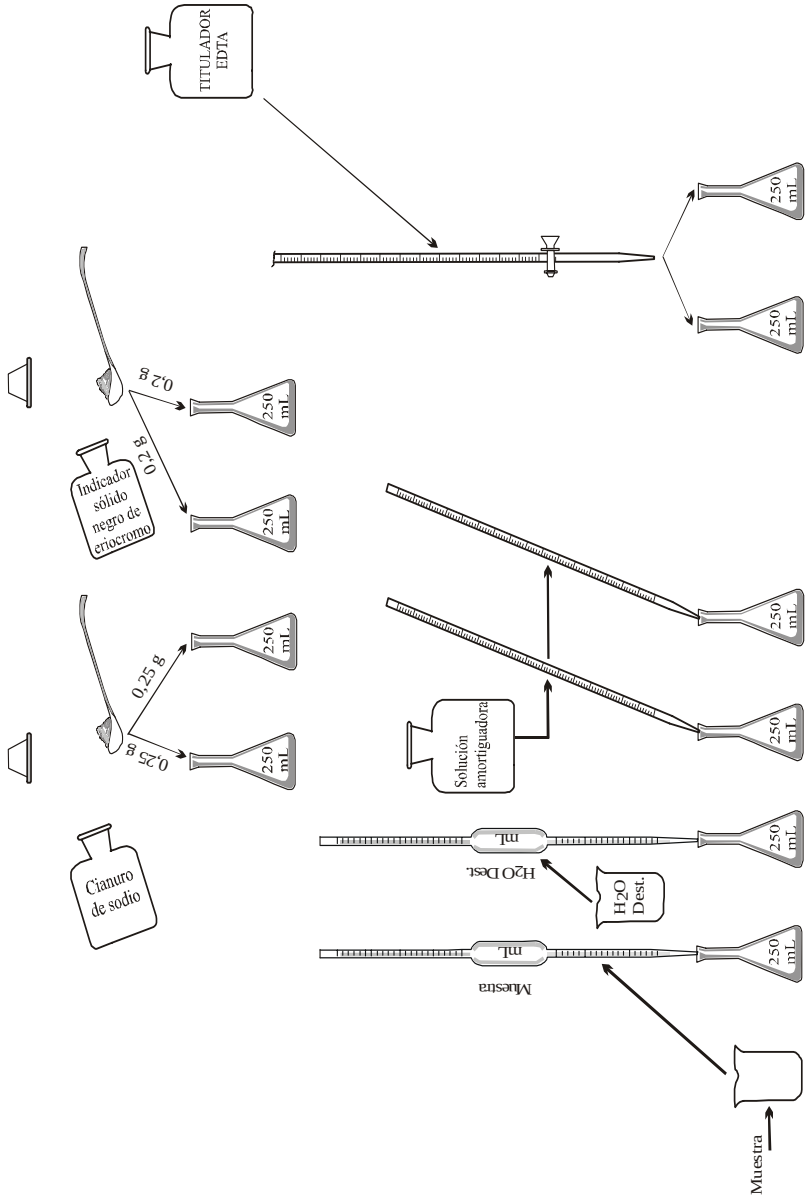
Tabla 5

VOLUMEN DE LA MUESTRA (mL)	VARIACIÓN DE LA DUREZA (mg/L DE $CaCO_3$)
50	0 – 300
25	301 – 600
10	601 – 1.500

Si solo necesita una muestra de 25 mililitros, agregue 25 mililitros de agua destilada para aumentar el volumen a 50 mililitros. Si la muestra requerida es de 10 mililitros, complete el volumen de 50 mililitros con 40 mililitros de agua destilada.

3) Prepare la prueba blanco de comparación con 50 mililitros de agua destilada en otro Erlenmeyer de 250 mililitros (frasco II).
4) Mida 0,25 gramos de cristales de cianuro de sodio con la espátula y agréguelos a la prueba blanco de comparación (frasco II) y 0,25 gramos a la muestra (frasco I). Agite para disolver los cristales.
5) Agregue de uno a dos mililitros de solución amortiguadora a la prueba blanco de comparación de color (frasco II) y a la muestra (frasco I). Agite.
6) Con la otra espátula, agregue una parte (aproximadamente 0,2 gramos) del indicador sólido a la prueba blanco (frasco II) y a la muestra (frasco I). Agite para disolver.
7) Agregue con cuidado, partiendo desde cero en la bureta y una por una, gotas de EDTA a la prueba blanco hasta que el color rojizo se vuelva azul brillante.

Figura 25



Dureza: determinación por el método EDTA

La reacción es lenta. Agite bien al agregar cada gota. Algunas veces una gota es suficiente; otras veces, se necesitan hasta tres o cuatro gotas. Registre los mililitros usados en la operación.

8) Si la muestra (frasco I) se vuelve roja o anaranjada en el punto 6, agregue, gradualmente, el titulador EDTA (con la bureta desde cero). Agite el frasco constantemente. La reacción es lenta; eche las gotas pausadamente. Incorpore el titulador hasta que el color rojo adquiera un tono anaranjado. En ese punto, deje de agregar el titulador por 10 segundos, pero sin dejar de agitar el frasco.

9) Siga agregando el titulador, sin dejar de agitar, gota a gota (pausadamente), hasta que se produzca el cambio de color; es decir, hasta que el color anaranjado tome el mismo color azul brillante de la prueba en blanco. Esto lo producirán entre una y cuatro gotas.

10) Registre la lectura de la bureta.

Cálculo

Mililitros de titulador EDTA utilizado en los pasos 2 y 8 menos los mililitros del titulador EDTA utilizados en los pasos 1 y 7 = D.

$$D \times factor = ppm\ (mg/L)\ de\ dureza\ en\ CaCO_3$$

Use el siguiente factor según el volumen de agua de muestra utilizado:

Tabla 6

VOLUMEN DE LA MUESTRA (mL)	FACTOR
50	20
25	40
10	100

Advertencia: la muestra de agua que se va a analizar debe estar libre de color y turbidez, pues estas características podrían afectar la coloración y el viraje de color. La titulación se debe completar dentro del lapso de cinco minutos, contados desde el instante en que se agregó la solución amortiguadora. La solución amortiguadora y la mezcla del indicador sólido, por estar sujetas a alteraciones, se deben conservar en frascos bien cerrados. La presencia de color verde claro al final de la titulación significa que se necesita una nueva cantidad de indicador.

3.16 Ensayo de coagulación

Discusión: véase la sección 2.16.
Material necesario:
Aparatos:
aparato para ensayo de coagulación;
comparador pH, y
disco para pH.

Indicadores:
azul de bromotimol;
rojo de metilo.

Soluciones:
sulfato de aluminio 1%: véase la sección 5.5;
solución saturada de $Ca(OH)_2$: véase la sección 5.20.

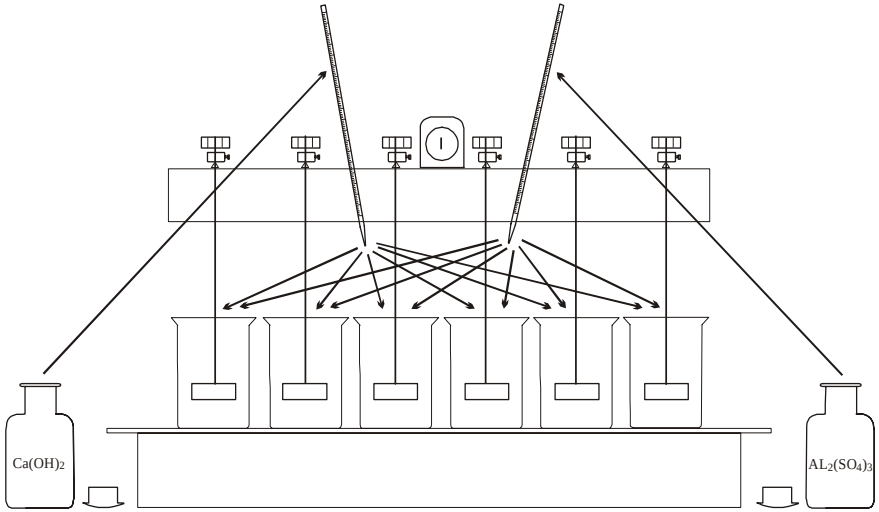
Material de vidrio:
una probeta de mil mililitros;
dos pipetas graduadas de cinco mililitros, y
tres pipetas graduadas de diez mililitros.

Etapas de la determinación

a) cuando la alcalinidad natural del agua es suficiente (véase la discusión en 2.16).

1) Después de haber determinado el pH, la turbidez, la alcalinidad y el color, y mientras el agitador funciona con las primeras dosis, determine el oxígeno consumido del agua cruda.
2) Enumere los recipientes del agitador del 1 al 6; coloque en cada recipiente un litro del agua que se va a tratar y agite.
3) Con una pipeta graduada, incorpore sulfato de aluminio en cada vaso, en una cantidad relacionada con la turbidez del agua cruda y en orden creciente a partir del 1.
4) Agite durante 15 minutos. Observe el tiempo de formación de floc y anote en el cuadro los resultados.
5) Deje de agitar.
6) Deje reposar y anote el tiempo de decantación en cada vaso. Observe la calidad del floc (tamaño de la cabeza de un alfiler).
7) Transcurridos 30 minutos, observe el decantado y el aspecto del agua (transparencia).

Figura 26



Ensayo de coagulación

8) Los resultados de la decantación se pueden clasificar de la siguiente manera: 1= mala; 2 = regular; 3 = buena; 4 = óptima.

9) Retire cuidadosamente, mediante succión, el contenido del recipiente de mejor calidad que se haya obtenido, y efectúe las determinaciones de pH, turbidez y color.

10) Si el mejor resultado corresponde al recipiente 1 al 6, repita el ensayo, tomando ese resultado como término medio; es decir, haga nuevas dosis, mayores y menores a las utilizadas en ese recipiente.

11) Se considerará como mínima la dosis del recipiente que presente el menor número de agua con turbidez y color.

Tabla 7
Cuadro de resultados

Recipiente	Sultato	Agua de cal	Inicio de floculación	Tiempo de decantación	pH	Aspecto, limpieza
1						
2						
3						
4						
5						
6						

pH óptimo de floculación

1) Repita el ensayo. Coloque en todos los recipientes la dosis de sulfato de aluminio considerado como mínimo en el primer ensayo y varíe el pH de floculación agregando cantidades crecientes de cal (sobrenadante de la solución saturada de hidróxido de calcio) a los frascos 4, 5 y 6 (para variar el pH de 0,2 en 0,2) y una cantidad decreciente de la H_2SO_4 en los frascos 1 y 2 con la misma finalidad.

2) Agite durante 15 minutos; espere que decante por 30 minutos.

3) Haga las mismas observaciones anteriores y registre en el cuadro para dar los resultados.

4) El frasco que presente menor color y menor turbidez será el que indique el pH óptimo.

Observación: la determinación de la alúmina residual del agua del vaso y del lecho, filtrada en papel de filtro, confirmará el resultado. El papel de filtro se deberá lavar previamente con agua destilada. La alúmina residual deberá ser menor a 0,3 ppm (mg/L).

Si se encuentra alúmina residual mayor de 0,3 ppm quiere decir que el pH elegido no es óptimo. La determinación del oxígeno consumido de dicha agua filtrada y el cálculo del porcentaje de reducción, en comparación con el agua cruda, permitirán conocer la dosis mínima de sulfato de aluminio. El oxígeno consumido deberá ser menor de 1,8 ppm (mg/L) y con 50% de reducción.

Cuando no se consigue dicha cantidad con esa dosis, se experimenta inmediatamente con la muestra del recipiente que tenga la dosis inmediatamente mayor de sulfato de aluminio.

Cálculo del porcentaje de reducción de oxígeno consumido

(O_2 consumido del agua cruda - O_2 consumido del agua filtrada) x 100 = O_2 consumido del agua cruda = % de reducción del O_2 consumido)

Cuando la alcalinidad natural del agua no es suficiente (véase la subsección 2.16):

1) Se determina el oxígeno consumido del agua cruda una vez determinado el pH, la turbidez, la alcalinidad y el color, y mientras el agitador funciona con las primeras dosis.
2) Enumere los recipientes del agitador del 1 al 6; coloque un litro del agua que se va a tratar en cada vaso y agite.
3) Con una pipeta graduada, coloque en todos los recipientes una solución de sulfato de aluminio necesaria para la dosis máxima, según el cuadro que compara la turbidez y la dosis de sulfato de aluminio (véase la sección 2.16).
4) Agregue en los recipientes, en forma creciente, los mililitros del material sobrenadante de la solución saturada de hidróxido de calcio, según lo sugiere el cuadro de dosis de cal (véase la sección 2.16).
5) Agite durante 15 minutos. Observe el tiempo de formación de flocs y tome nota en el cuadro de resultados.
6) Deje de agitar. Deje en reposo y anote el tiempo de decantación en cada recipiente. Observe la calidad de floc (del tamaño de la cabeza de un alfiler).
7) Transcurridos 30 minutos, observe el decantado y el aspecto del agua (transparencia).
8) El resultado de la decantación se puede clasificar de la siguiente manera: 1 = malo; 2 = regular; 3 = bueno; 4 = óptimo.
9) Retire cuidadosamente por un tubo el contenido del recipiente de mejor resultado obtenido y efectúe las determinaciones de pH, turbidez y color.
10) Si el mejor resultado coincide con el recipiente 1 ó 6, repita el ensayo y tome ese resultado como término medio; es decir, haga dosis nuevas, mayores y menores que las utilizadas en ese recipiente.
11) El pH del recipiente que presente la menor turbidez y color será considerado como el pH óptimo.
12) Repita el ensayo con dosis crecientes de sulfato de aluminio (como en el ensayo con alcalinidad natural) y procure mantener el pH óptimo de floculación en todos los recipientes.

Las dosis de cal para mantener el pH óptimo se pueden calcular con una regla de tres simple, tal como en el siguiente ejemplo:

agua:	temperatura	=	25 °C
	pH	=	6,5

color = 45,0 mg/L
turbidez = 15,0 mg/L
aluminio total = 4,0 mg/L
O_2 consumido = 3,0 mg/L

Verifique el cuadro que compara la turbidez con la dosis de sulfato de aluminio: dosis máxima de sulfato de aluminio = 20 mg/L.

En el paso 3 del ensayo anterior, coloque 20 mg/L (ppm) de sulfato de aluminio en cada recipiente.

Verifique la tabla de dosis de solución saturada de hidróxido de calcio: para 20 ppm de sulfato de aluminio, se debe agregar:

Tabla 8

RECIPIENTES	1	2	3	4	5	6
mL de la solución de hidróxido de calcio	1	2	3	4	5	6

En caso de haberse elegido el recipiente 4 en el ensayo, donde se aplicó 20 ppm (mg/L) de sulfato de aluminio y 4 mL de la solución saturada de hidróxido de calcio con pH = 6,2, el pH óptimo de floculación es 6,2.

En el ensayo para determinar la dosis mínima de sulfato de aluminio se colocó:

Tabla 9

RECIPIENTES	1	2	3	4	5	6
Dosis de sulfato de aluminio ppm	5,0	8,0	12,0	15,0	18,0	20,0

Cálculo

La dosis en mililitros de solución de hidróxido de calcio (sobrenadante) para 20 ppm de sulfato de aluminio fue de:

4 mL de solución de cal;
para 12 ppm (recipiente 3) se añadirán x

$$x = \frac{4 \times 12}{20} = 2,4\ mL$$

De esta manera, se podrá calcular la dosis en mililitros de la solución de cal para todos los recipientes y se obtendrá lo siguiente:

Tabla 10

RECIPIENTES	1	2	3	4	5	6
Solución saturada de cal	1	1,6	2,4	3,0	3,6	4,0

Nota: las dosis de solución saturada de hidróxido de calcio se podrán determinar fácilmente mediante el pH.

Todos los recipientes deberán contener agua con pH óptimo; en este caso, 6,2.

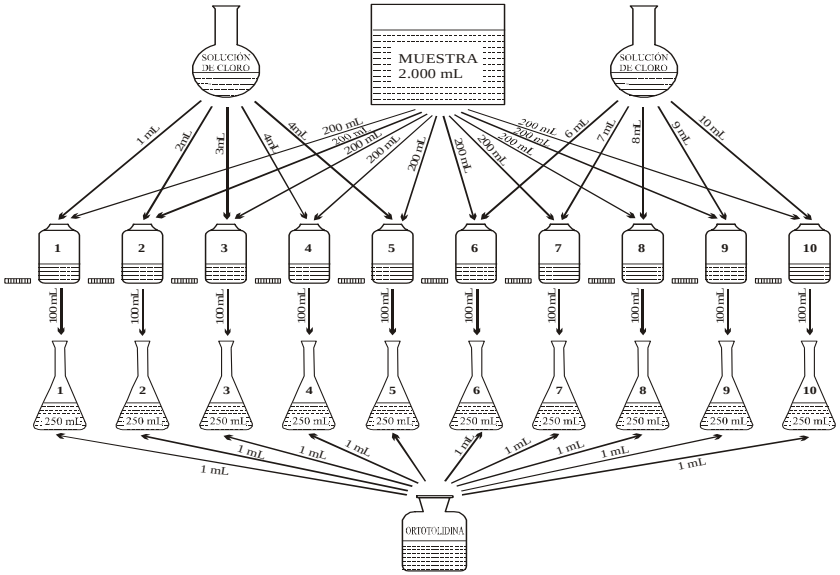
La dosis mínima se podrá elegir mediante el proceso utilizado en el ensayo con agua de alcalinidad natural suficiente.

3.17 Cloración al punto de quiebre

Discusión: véase la sección 2.17.

Materiales necesarios:
Aparatos:
comparador de cloro;
disco de cloro y tubos de ensayo.
Material de vidrio:
una batería de 10 frascos ámbar de 500 mililitros con tapa;
dos pipetas graduadas de un mililitro;
una pipeta graduada de cinco mililitros;
una pipeta volumétrica de 25 mililitros, y
diez frascos Erlenmeyer de 250 mililitros.

Figura 27



Punto de quiebre del cloro

Solución y reactivos:
solución estándar de cloro: véase la subsección 5.38;

ortotolidina reactiva: véase la subsección 5.9, y
ortotolidina de baja acidez: véase la subsección 5.10.

Etapas de la determinación

a) Enumere los frascos ámbar del 1 al 10, con la misma cantidad del agua de ensayo (200, 250 ó 300 mililitros) en cada uno.

b) Pipetee un mililitro de la solución de cloro en el frasco número 1; dos mililitros en el frasco 2; tres mililitros en el número 3, etcétera (o el volumen correspondiente a una ppm, dos ppm, tres ppm, etcétera, respectivamente).

c) Agite ligeramente cada frasco con movimiento circular, cierre y espere 30 minutos.

   Nota: observe cuánto tiempo necesita el operador para determinar el residuo total de cloro. Por ejemplo, si fueran seis minutos, la dosis de cloro de un frasco debe aplicarse en este mismo lapso, para que todos los residuales se determinen 30 minutos después de la aplicación del cloro.

d) Transcurridos 30 minutos, inicie la determinación del residuo de cloro en cada frasco:
   - pipetee el agua del frasco;
   - lave el tubo de ensayo I del comparador con esa agua;
   - coloque 10 mililitros de agua en el tubo de ensayo I, previamente lavado;
   - en el tubo de ensayo II, lavado con agua destilada, coloque 0,5 mililitros del reactivo ortotolidina;
   - vierta el contenido del tubo de ensayo I sobre el del tubo II;
   - espere 5 minutos, y
   - haga la lectura (si fuera necesario, diluya el agua pipeteada en el primer paso).

e) Coloque, en el gráfico, el punto correspondiente a cada determinación del residuo.

f) Trace la curva y una los puntos encontrados para determinar el punto de quiebre.

g) En caso de ser necesario, repita el ensayo, dosifique los frascos en intervalos menores a partir de la dosis del frasco inmediatamente anterior al que sobrepasó el punto de quiebre (para tener más precisión).

Observación: para simplificar el método, a partir de (d), se puede hacer lo siguiente:

1) En un frasco Erlenmeyer numerado del 1 al 10, coloque en el frasco Erlenmeyer 1, 100 mililitros de agua del frasco ámbar 1; en el 2, 100 mililitros del agua del frasco 2, etcétera.

2) Coloque en cada frasco Erlenmeyer un mililitro del reactivo ortotolidina de baja acidez y agite en movimiento circular:

   - color azul: bajo el punto de quiebre;
   - color verde: cerca del punto de quiebre;
   - incoloro: punto de quiebre;
   - amarillo: sobre el punto de quiebre.

   Excepcionalmente se obtendrá el punto de quiebre incoloro.

3) Repita el ensayo con dosis crecientes más cercanas al intervalo de dosis entre el último frasco que presentó color verde y el primero que presentó color amarillo.

4) Si en ningún caso presenta color amarillo, repita el ensayo con dosis en cantidades superiores a las del frasco 10.

Nota: se puede usar menos o más frascos ámbar, según la precisión que se desee y la práctica del operador.

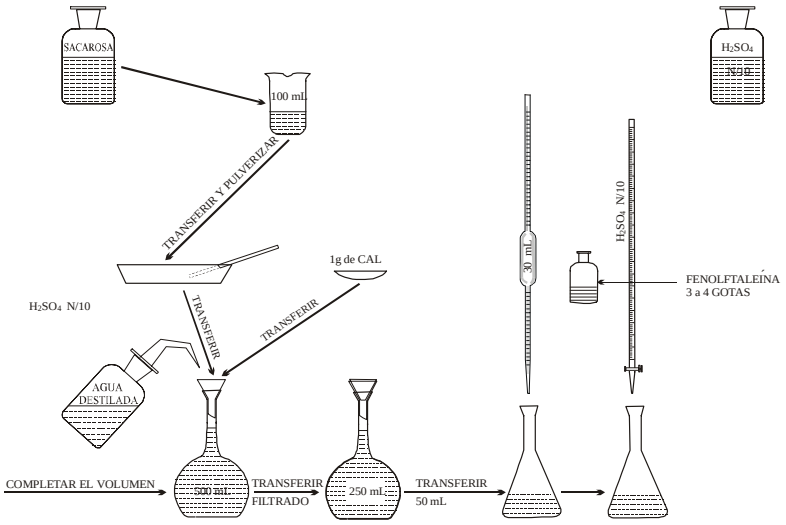
3.18 Determinación del CaO de una muestra de cal

Material necesario:
Aparatos:
una balanza analítica.
Diversos:
una espátula;
un frasco para lavado;
un mortero con mango, y
papel de filtro.

Productos químicos: sacarosa (o azúcar de caña).

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 500 mililitros;
un vidrio de reloj de 8 cm ∅.

Figura 28



Determinación de CaO libre de una muestra de cal

un vaso de 100 mililitros;
una varilla de vidrio;
una pipeta volumétrica de 50 mililitros;
un embudo de vidrio de 15 centímetros ∅;
un frasco Erlenmeyer de 500 mililitros;
un frasco Erlenmeyer de 250 mililitros, y
una bureta de 50 mililitros.
Soluciones e indicadores:
ácido sulfúrico N / 10;
fenolftaleína.

Etapas de la determinación

a) Pese 30 gramos de sacarosa (o azúcar de caña) en el vaso de precipitado.
b) Pulverícela bien y transfiérala al matraz volumétrico de 500 mililitros con ayuda de agua destilada.
c) Pese un gramo de muestra de cal (muestra representativa) e introdúzcalo en el matraz con mucho cuidado. Luego complete el volumen con agua destilada.
d) Agite y filtre.
e) Pipetee 50 mililitros con una pipeta volumétrica y transfiéralos a un frasco Erlenmeyer de 250 mililitros.
f) Agregue de tres a cuatro gotas de fenolftaleína.
g) Titule con H_2SO_4 N / 10 (ácido sulfúrico N / 10).

Cálculo

Mililitros de H_2SO_4 utilizados x 2,8 = porcentaje de CaO.

Ejemplo:

Si gasta 24,5 mililitros de H_2SO_4 0,1 N se obtendrá 24,5 x 2,8 = 68,60 de CaO.
Para $Ca(OH)_2$ use el factor de análisis (1,321).
68,60 x 1,321 = 90,6% de Ca $(OH)_2$

3.19 Gas sulfhídrico

Discusión: véase la sección 2.19.

Material necesario:
papel de filtro.

Aparatos:
instrumental de baño María;
mechero Bunsen.

Materiales diversos:
trípode de hierro;
rejilla de asbesto.

Soluciones y reactivos:
solución de acetato de plomo al 1%.

Material de vidrio:
un vaso de 100 mililitros;
una probeta de 100 mililitros.

Etapas de la determinación

a) Utilice la probeta para trasladar 50 mililitros del agua de la muestra al vaso.

b) Humedezca el papel de filtro con la solución de acetato de plomo.

c) Cubra el vaso con papel de filtro humedecido.

d) Caliente (en baño María o con el mechero Bunsen).

e) Si el papel de filtro se vuelve marrón o negro, hay H_2S.

f) Si permanece incoloro, no hay H_2S.

4. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

4.1 Carbonato de sodio (Na_2CO_3) N / 10 (0,1 N)

Material necesario:
Na_2CO_3 p. a. (producto químico);
una balanza;
una espátula, y
un frasco para lavado.

Material de vidrio:
un vidrio de reloj de 8 cm ∅;
un matraz volumétrico de 100 mililitros, y
un embudo de vidrio.

Equivalente gramo del carbonato de sodio

Fórmula: Na_2CO_3

Peso molecular:	2 Na	2 x 23	=	46
	1 C	1 x 12	=	12
	3 O	3 x 16	=	48
	Peso molecular			106

Molécula gramo o mol = 106 g

El anión CO_3 es bivalente: el mol se divide entre 2 para obtener el equivalente gramo = 53 g.

Cantidad de Na_2CO_3 para un litro de solución N / 10 (0,1 N)

Un equivalente gramo de Na_2CO_3 (53 g) es la sustancia disuelta necesaria para preparar un litro de solución N.

Para preparar un litro de solución N / 10 (0,1 N), se necesita una cantidad 10 veces menor de solución disuelta; es decir, 5,3 g.

Nota: esta solución se debe preparar con exactitud porque de ella se obtendrá el patrón primario para las medidas de concentración de las soluciones de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y con este la medida de concentración de las soluciones de NaOH.

Etapas de la preparación

a) Pese exactamente 5,3 g de Na_2CO_3 libre de humedad.

b) Trasládelo, cuidadosamente, a un matraz volumétrico de 1.000 mililitros con aproximadamente 250 mililitros de agua destilada.

c) Agite hasta lograr una disolución total y complete el volumen con agua destilada. Agite.

4.2 Ácido sulfúrico (H_2SO_4) N / 10 (0,1 N)

Material necesario:
ácido sulfúrico (H_2SO_4) N / 10 (0,1 N).

Material de vidrio:
matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
una pipeta graduada de cinco mililitros.

Equivalente gramo de ácido sulfúrico

Fórmula: H_2SO_4

Peso molecular:	2 H	=	2 x 1	=	2
	1 S	=	1 x 32	=	32
	4 O	=	4 x 16	=	64
	Peso molecular				98

Molécula gramo o mol = 98 g

El ácido sulfúrico posee 2 H^+ sustituibles; luego, se divide el mol entre 2 para obtener el equivalente gramo = 49 g.

Peso de H_2SO_4 necesario para un litro de solución N / 10 (0,1 N)

Un equivalente gramo (49 g) es la solución disuelta necesaria para preparar un litro de solución N.

Para preparar un litro de solución N / 10 (0,1 N) se necesita una solución disuelta 10 veces menor; es decir, 4,9 g.

El H_2SO_4 concentrado, D = 1,84, tiene 95,6% en peso de H_2SO_4 puro. Por lo tanto:

1.000 mililitros de tal producto pesan 1,840 gramos, de los cuales solo 95,6% ó 1,759 gramos son de H_2SO_4 puro.

Si en 1.000 mililitros del H_2SO_4 concentrado existen 1.759 gramos de H_2SO_4 puro, habrá 4,9 gramos de H_2SO_4 puro en 4,9 x 1.000 / 1.759 = 2.785 mililitros de H_2SO_4 concentrado, de D = 1,84.

Etapas de la preparación

a) Coloque una porción de agua destilada en el matraz volumétrico de 1.000 mililitros (± 500 mililitros).

b) Utilice la pipeta para verter 2.785 mililitros de H_2SO_4 concentrado, D = 1,84, lentamente y sin dejar de agitar en el agua del matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

c) Complete el volumen con agua destilada y agite.

Titulación de la solución de H_2SO_4 N / 10 (0,1 N)

Material necesario:
solución de H_2SO_4 N / 10 (0,1 N): véase la sección 4.2;
solución de Na_2CO_3 N / 10 (0,1 N): véase la sección 4.1, e
indicador anaranjado de metilo.

Etapas de la titulación

a) Llene las buretas: la primera con la solución de H_2SO_4 y la segunda con la solución de Na_2CO_3.

b) Utilice la probeta para colocar 100 mililitros de agua destilada en cada uno de los frascos Erlenmeyer.

c) Agregue tres o cuatro gotas de anaranjado de metilo en cada frasco Erlenmeyer y agite, con una ligera rotación, para que el indicador se disperse en el agua.

d) Con la bureta, agregue 10 mililitros de la solución de Na_2CO_3 N / 10 (0,1 N) en uno de los frascos Erlenmeyer.

e) Coloque este frasco Erlenmeyer debajo de otra bureta (que contenga el H_2SO_4) y agregue gota a gota, con agitación constante, el ácido sulfúrico hasta que se produzca el viraje de color del indicador.

Nota: el indicador anaranjado de metilo en un medio alcalino tiene un color amarillo-claro y rojizo en un medio ácido. El punto de viraje es el anaranjado. Este viraje se visualiza difícilmente. Para

lograr una mejor visión, se compara el color de este frasco Erlenmeyer con el del frasco Erlenmeyer testigo (el otro frasco Erlenmeyer preparado con agua destilada y el indicador solamente).

f) Anote la cantidad utilizada de mililitros de H_2SO_4.

Factor de corrección

Si los mililitros utilizados (f) fueran 10, la solución de H_2SO_4 sería N / 10 (0,1 N) con factor de corrección 1.000.

Si los mililitros utilizados (f) fueran diferentes de 10, se calcula el siguiente factor de corrección:

$$\frac{10}{mL\ utilizados} = F.\ C.\ (factor\ de\ corrección)\ del\ H_2SO_4$$

Observación: anote el F. C. en el rótulo del vidrio que contiene la solución de H_2SO_4 N / 10.

Observaciones

Como es difícil ver el viraje del indicador, se acostumbra usar dos o más frascos Erlenmeyer de titulación (d), además del frasco Erlenmeyer testigo para garantizar una mayor precisión en la titulación.

Los cálculos del F. C. para cada frasco Erlenmeyer se realizan con los mililitros empleados (f).

En la fórmula se sustituye el numerador 10 por el número de mililitros de Na_2CO_3 colocados (d) en los respectivos frascos Erlenmeyer.

Los F. C. deben ser iguales o muy parecidos para cada frasco Erlenmeyer. En caso de que existan diferencias mayores, se debe realizar nuevas titulaciones.

4.3 Solución de hidróxido de sodio NaOH N / 10 (0,1 N)

Materiales:
NaOH puro, p. a. (en lentejas);
una balanza.

Material de vidrio:
un vaso de precipitado de 100 mililitros;
un embudo de vidrio, y
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

Equivalente gramo del hidróxido de sodio

Fórmula: NaOH.

Peso molecular:	1 Na	=	1 x 23	=	23
	1 O	=	1 x 16	=	16
	1 H	=	1 x 1	=	1
	Peso molecular			=	40

Molécula gramo o mol = 40 g.

La base posee un ion OH^-. Luego el mol se divide entre 1 para obtener el equivalente gramo = 40 g.

Peso de NaOH necesario para un litro de solución N / 10 (0,1 N)

Un equivalente gramo (40 gramos) es el soluto que se necesita para preparar un litro de solución N.

Para preparar un litro de solución N / 10 (0,1 N), se necesita una cantidad 10 veces menor; es decir, 4,0 g.

Comentario

El NaOH es una base muy higroscópica; es decir, absorbe mucho la humedad del aire. Por lo tanto, es imposible pesarlo, ya que la humedad que se incorpora a él aumenta su peso.

Por otro lado, se combina fácilmente con el CO_2 del aire y produce el Na_2CO_3 que forma una película blanca alrededor de las lentejas de NaOH. Dicho Na_2CO_3 debe ser eliminado, para lo cual se lava el producto.

Para proceder con el lavado, se necesita pesar una cantidad mayor del hidróxido (4,5 gramos, por ejemplo).

Etapas de la preparación

a) Pese en el vaso aproximadamente 4,5 gramos de hidróxido de sodio.

b) Agregue aproximadamente 50 mililitros de agua destilada y déjela en reposo hasta que toda la superficie blanca (de las lentejas) esté disuelta (lavado del NaOH). Luego vacíe dicha agua (elimine la parte carbonatada del NaOH). ¿Cuánto quedó del hidróxido de sodio?

c) Disuelva totalmente el NaOH lavado en el vaso con aproximadamente 50 mililitros de agua destilada recién hervida y fría.

d) Traslade la solución a un matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

e) Complete el volumen con agua destilada recién hervida y fría. Agite.

Observación: probablemente, esta solución será mucho más fuerte que una solución N / 10 (0,1 N).

Titulación de la solución de NaOH N / 10 con una solución de H_2SO_4 N / 10 (0,1 N)

Material necesario:
solución de NaOH N / 10: véase la sección 4.3;
solución de H_2SO_4 N / 10: véase la sección 4.2;
indicador anaranjado de metilo: véase la sección 5.1, e
indicador fenolftaleína: véase la sección 5.8.

Material de vidrio:
dos buretas de 50 mililitros;
dos frascos Erlenmeyer de 250 mililitros, y
una probeta de 100 mililitros.

Etapas de la titulación

a) Llene las buretas: la primera con la solución de H_2SO_4 N / 10; la segunda con la solución de NaOH.

b) Utilice la probeta para colocar 100 mililitros de agua destilada en cada frasco Erlenmeyer.

c) Agregue de tres a cuatro gotas de anaranjado de metilo en cada Erlenmeyer y agite —con una rotación ligera— para que el indicador se disperse en el agua.

d) Agregue 10 mililitros de la solución de NaOH por la bureta a uno de los frascos Erlenmeyer.

e) Disponga ese frasco Erlenmeyer sobre la otra bureta (con H_2SO_4 N / 10) y agregue gota a gota, con agitación constante, el ácido sulfúrico, hasta que el indicador vire de color.

Nota: en un medio alcalino, el indicador anaranjado de metilo es amarillo-claro y rojizo en un medio ácido.

El punto de viraje es el anaranjado. Tal viraje es difícil de visualizar. Para lograr una mejor visión se compara el color del Erlenmeyer con el del Erlenmeyer testigo (un frasco Erlenmeyer preparado solo con agua destilada y el indicador).

f) Anote los mililitros de H_2SO_4 utilizados.

Observación: los mililitros de H_2SO_4 N / 10 (f) deben ser 10 ó cercanos a 10.

Si son 10, la solución de NaOH es N / 10 y tiene el mismo F. C. del ácido.

Si son más o menos (pero cercanos a 10), calcule el F. C. de la solución de NaOH N / 10.

Si son mucho más (por ejemplo, 12 mililitros), realice la corrección de la solución; es decir, coloque 10 mililitros de la solución de NaOH que consumió 12 mililitros de la solución de H_2SO_4 N / 10; si colocase 10 mililitros de la solución de NaOH y dos mililitros más de agua destilada, el consumo de la solución de H_2SO_4 sería el mismo.

Mediante este raciocinio se puede verificar que si se colocaran dos mililitros de agua destilada en la solución de NaOH, para cada 10 mililitros de solución se conseguiría la equivalencia de las soluciones.

Se mide la solución restante de NaOH. Si hay 950 mililitros, por ejemplo:

Solución de NaOH	Agua destilada
Para cada 10 mililitros ……	dos mililitros
para 950 mililitros ……	x

x = 190 mililitros de agua destilada.

A la solución del ejemplo se agregan 190 mililitros de agua destilada recién hervida y fría, y se procede nuevamente con la titulación, tal como anteriormente, hasta la letra (f).

Cálculo del F. C. (factor de corrección) (en caso de consumo cercano a 10 mililitros)

El factor de corrección se calcula con la siguiente fórmula:

$$\frac{mL\ H_2SO_4 \times F.\ C.}{mL\ NaOH} = F.\ C.\ \textit{(factor de corrección) de la NaOH}$$

Anote el F. C. en el rótulo del frasco del NaOH N / 10.

4.4 Oxalato de amonio. Solución madre N / 5 (0,2 N)

Material:
una espátula
un frasco para lavado
una balanza analítica
$(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$ (oxalato de amonio) p. a.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros
un embudo de vidrio
un vidrio de reloj

Peso molecular del $(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$ (oxalato de amonio)

$(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$	=	142,080
2 N = 14.00 x 2	=	28,000
10 H = 1.008 x 10	=	10,080
2 C = 12.000 x 2	=	24,000
5 O = 16.000 x 5	=	80,000
Peso molecular	=	142,080

Por lo tanto, su mol = 142,080 g; siendo el anión oxalato bivalente, se divide entre dos: 142,08 / 2 = 71,04 gramos, para obtener el equivalente gramo.

Para una solución N / 5, se divide el equivalente gramo entre 5; es decir:

$$\frac{71,04}{5} = 14,210 \text{ gramos}$$

Etapas de la preparación

a) Pese exactamente 14,210 gramos de oxalato de amonio.

b) Viértalo con ayuda de un embudo en el matraz volumétrico de 1.000 mililitros con agua destilada.

c) Agite para disolver.

d) Complete el volumen con agua destilada.

Nota: el oxalato de amonio es un patrón primario.

4.5 Permanganato de potasio. Solución madre N / 5

Material necesario:
una balanza;
$KMnO_4$ (permanganato de potasio).

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
un embudo de vidrio, y
un vidrio de reloj de ocho centímetros ∅.

Peso molecular del $KMnO_4$ (permanganato de potasio)

$KMnO_4$	=	158,03				
1 K	=	39,10	x	1	=	39,10
1 Mn	=	54,93	x	1	=	54,93
4 O	=	16,00	x	4	=	64,00
						158,03
mol	=	158,03 g				

El proceso general para calcular el equivalente gramo de las sustancias oxidantes y reductoras es dividir el mol de dicha sustancia entre la diferencia de la valencia del elemento oxidado o reducido en la reacción.

También se puede calcular el $KMnO_4$, oxidante en medio ácido (H_2SO_4), si se lo relaciona con el oxígeno que puede ceder cada mol de $KMnO_4$.

La ecuación química que representa la reacción es la siguiente:

$$2\ KMnO_4 + 3\ H_2SO_4 \rightarrow 2\ MnSO_4 + K_2SO_4 + 3\ H_2O + 5\ (O)$$

Dos moléculas gramo de permanganato proporcionan cinco átomos gramo de oxígeno (bivalente); es decir, 10 equivalentes a un hidrógeno sustituible.

El equivalente del permanganato, en relación con el hidrógeno sustituible, es 1/5 de la molécula gramo 158 / 5 = 31,6 g, peso necesario

para preparar una solución N, ya que se desea una solución N / 5, 31,6 / 5 = 6,32 g.

Como la solución de permanganato se titula con la de oxalato de amonio (patrón primario) y no se quiere una solución débil, se usan 6,4 gramos.

Etapas de la preparación

a) Pese 6,4 gramos de $KMnO_4$.
b) Trasládelo al matraz volumétrico con la ayuda de agua destilada.
c) Agite hasta lograr la disolución total y complete el volumen con agua destilada.
d) Conserve la solución en un lugar oscuro durante algunos días.
e) Titule y trasládelo al frasco ámbar.

Estandarización de la solución de $KMnO_4$ N / 5 (0,2 N)

Material necesario:

instrumental de baño María;
solución de oxalato de amonio N / 5;
ácido sulfúrico 1:3, y
solución de $KMnO_4$.

Material de vidrio:
dos buretas de 50 mililitros;
una matraz de fondo ancho de 250 mililitros, y
una probeta de 100 mililitros.

Etapas de la titulación

a) Coloque en el matraz 100 mililitros de agua destilada, 10 mililitros de ácido sulfúrico 1:3 y un mililitro de $KMnO_4$ N / 5; lleve el matraz al baño María durante media hora.
b) Retire y decolore el permanganato con oxalato de amonio.
c) Agregue al permanganato una o dos gotas para obtener una ligera coloración rosada.
d) Luego, coloque 10 mililitros de oxalato de amonio N / 5 y titule a temperatura caliente con el permanganato N / 5 hasta obtener una ligera coloración rosada.
e) Anote el total de mililitros de $KMnO_4$ usados.

Puede suceder lo siguiente:

1) que los mililitros utilizados en el paso (e) sean iguales a 10. En ese caso, la solución es exactamente N / 5;
2) que los mililitros utilizados en (e) sean cercanos a 10. Se calcula el F. C. (factor de corrección);
3) que los mililitros utilizados en (e) sean menores que 10. En ese caso, se diluye la solución.

Cálculo del F. C. (factor de corrección)

Considerando que en la subsección "Peso molecular de $KMnO_4$ (permanganato de potasio)", el consumo es igual a 9,8.

$$F.\ C. = \frac{10}{9,8} = 1,0204$$

Nota: escriba el F. C. en el rótulo del frasco de la solución de $KMnO_4$ N / 5 (0,2 N).

Dilución

El consumo en la subsección "Peso molecular de $KMnO_4$ (permanganato de potasio)" es igual a ocho mililitros.

Si el consumo fuera 10 mililitros, la solución sería N / 5 (0,2 N).

Si se consumieron solo ocho mililitros, se aumentan (10 – 8 = 2) mililitros de agua destilada para cada ocho mililitros de la solución $KMnO_4$ y se obtiene una solución de N / 5.

1) Traslade 800 mililitros de la solución $KMnO_4$ a un matraz volumétrico de 1.000 mililitros.
2) Complete el volumen con agua destilada.
3) Titule nuevamente como se hizo en la subsección "Peso molecular de $KMnO_4$ (permanganato de potasio)" y continúe.

Nota: si el consumo es 11 mililitros en (e) —es decir, mayor que 10—, la solución es débil.

1) Agregue más cristales de $KMnO_4$ a la solución de 13.3.5.
2) Agite hasta completar la disolución.
3) Estandarice como se explicó previamente en "Estandarización de la solución de $KMnO_4$ N / 5 (0,2 N)".

4.6 Solución de bicromato de potasio

Materiales requeridos:
$K_2Cr_2O_7$ (bicromato de potasio) p. a.;
un frasco para lavado, y
una balanza analítica.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
un embudo, y
un vidrio de reloj.

Etapas de la preparación

a) Pese exactamente 4,904 gramos de bicromato de potasio p. a.
b) Introdúzcalos en un matraz de 1.000 mililitros con ayuda de agua destilada.
c) Agite hasta disolver totalmente y complete el volumen con agua destilada. Agite.
d) Conserve la solución en un frasco ámbar (patrón primario).

4.7 Solución de tiosulfato de sodio N / 10 ($Na_2S_2O_3$)

Materiales requeridos:
$Na_2S_2O_3.H_2O$ (tiosulfato de sodio);
$(NH_4)_2CO_3$ (carbonato de amonio), y
cloroformo.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;

dos vidrios de reloj, y
una pipeta graduada de cinco mililitros.

Etapas de la preparación

a) Pese 24,820 gramos de $Na_2S_2O_3.H_2O$ (si es anhidro, 15,812 gramos).

b) Trasládelo a un matraz volumétrico de 1.000 mililitros con ayuda de agua destilada hirviendo.

c) Disuelva y agregue 1,5 gramos de carbonato de amonio y cinco mililitros de cloroformo.

d) Complete el volumen con agua destilada.

Titulación de la solución de tiosulfato de sodio

Material necesario:
solución de $Na_2S_2O_3.H_2O$: véase la sección 4.7;
yoduro de potasio (KI) p. a.;
solución de $K_2Cr_2O_7$: véase la sección 4.6;
solución de almidón: véase la sección 5.31;
ácido clorhídrico (HCl) concentrado, y
una espátula.

Material de vidrio:
dos buretas de 25 mililitros;
un frasco Erlenmeyer de 500 mililitros, y
una pipeta de cinco mililitros.

Etapas de la titulación

a) Coloque 150 mililitros de agua destilada en un Erlenmeyer de 500 mililitros y agregue aproximadamente cinco gramos de yoduro de potasio.

b) Agregue por la bureta exactamente 20 mililitros de la solución de bicromato de potasio y acidifique con cinco mililitros de ácido clorhídrico concentrado.

c) Titule el yodo libre con el tiosulfato de la bureta hasta que se logre el viraje de color de la solución.

d) Agregue un mililitro de la solución de almidón (para obtener una mejor visualización del viraje de color. El yodo le da una coloración azulada al líquido del frasco Erlenmeyer).

e) Prosiga con la titulación hasta llegar a la decoloración total (incoloro).

f) Anote los mililitros que usó de la solución de tiosulfato.

Cálculo del F. C. (factor de corrección)

1) Calcule con la siguiente fórmula:

$$F.\ C.\ (del\ tiosulfato) = \frac{20}{mL\ de\ tiosulfato\ en\ (f)}$$

2) Anote el F. C. en el rótulo del frasco de la solución.

4.8 Solución agua-alcohol al 80%

Material necesario:
Alcohol etílico 95%.

Material de vidrio:
una probeta de 1.000 mililitros;
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros, y
un embudo.

Etapas de la preparación

a) Mida, con la probeta de 1.000 mililitros, 842 mililitros de alcohol puro rectificado de 95%.

b) Trasládelo al matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

c) Complete el volumen con agua destilada.

4.9 Solución de jabón (para la dureza)

Material requerido:
una balanza;
solución de alcohol etílico 80%, y
jabón de Marsella.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
un vaso de 1.000 mililitros;
un vaso de 100 mililitros;
un embudo de vidrio, y
una varilla de vidrio.

Etapas de la preparación

a) Pese en el vaso de 100 mililitros de 90 a 100 gramos de jabón puro pulverizado (o en escamas).

b) Trasládelo al vaso de 1.000 mililitros.

c) Agregue una parte de la solución de agua y alcohol a 80% previamente preparada.

d) Agite con la varilla hasta disolver el jabón.

e) Traslade la solución a un matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

f) Lave el vaso con dos o tres partes de la solución de agua y alcohol, y traslade el agua de lavado al matraz volumétrico.

g) Agite y complete el volumen con la solución agua y alcohol al 80%.

h) Deje en reposo durante una noche para decantar.

Nota: el jabón de Marsella es un jabón neutro producido con aceite de oliva.

4.10 Solución de sulfato de fierro II amoniacal

$FeSO_4.(NH_4)_2SO_4.6H_2O$

Material necesario:
balanza analítica;
solución de $KMnO_4$: véase la sección 4.5;
H_2SO_4 concentrado (D. = 1,84), y
$FeSO_4.(NH_4)_2SO_4.6H_2O$ p. a..

Material de vidrio:
un vidrio de reloj;

un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
una pipeta graduada de 10 mililitros;
una pipeta graduada de un mililitro, y
un embudo de vidrio.

Cálculo

El cálculo del mol del sulfato de fierro II amoniacal, hexahidratado para la preparación de la solución madre de fierro, es el siguiente:

$FeSO_4.(NH_4)_2SO_4.6H_2O$					=	392,120 g	
1 Fe	=	55,840	x	1	=	55,840 g	
2 S	=	32,060	x	2	=	64,120 g	
14 O	=	16,00	x	14	=	224,000 g	
2 N	=	14,00	x	2	=	28,000 g	
20 H	=	1,008	x	20	=	20,160 g	
Total						392,120 g	= mol de la sal doble hexahidratada

Si se tiene 55,840 gramos de Fe en 392,120 gramos de la sal en x gramos de sal se obtendrán 0,100 g de Fe.

$$x = \frac{392,120 \times 0,100}{55,840} = 0,7022 \text{ g de sal}$$

Etapas de la preparación

a) Pese exactamente 0,7022 gramos de sulfato de fierro II amoniacal, $FeSO_4.(NH_4)_2SO_4.6H_2O$ hexahidratado.

b) Trasládelo a un matraz volumétrico de 1.000 mililitros con la ayuda de 50 mililitros de agua destilada.

c) Agregue lentamente 20 mililitros de H_2SO_4 concentrado, sin dejar de agitar.

d) Agregue, gota a gota, la solución de $KMnO_4$ N / 5 hasta que adquiera una ligera coloración rosada.

e) Enfríe y complete el volumen con agua destilada.

1 mL de la solución = 0,1 mg Fe

4.11 Solución madre de flúor

Material necesario:
una balanza analítica;
una espátula;
fluoruro de sodio (NaF) p. a., y
un frasco para lavado.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
un embudo de vidrio, y
un vidrio de reloj.

Etapas de la preparación

a) Pese rigurosamente 0,2210 gramos de fluoruro de sodio.

b) Trasládelo al matraz volumétrico de 1.000 mililitros con la ayuda de un embudo y agua destilada (aproximadamente 200 mililitros).

c) Agítelo hasta disolverlo.

d) Complete el volumen con agua destilada y agite (un mililitro de la solución equivale a 0,1 miligramos de F^-).

Advertencia: evite aspirar el polvo de la sal durante la manipulación.

5. SOLUCIONES, REACTIVOS E INDICADORES

5.1 Anaranjado de metilo

Use cuatro gotas para 100 mililitros de la muestra.

Material necesario:
balanza;
anaranjado de metilo en polvo (p. a.), y
un frasco para lavado.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 250 mililitros, y
un vidrio de reloj de cinco centímetros ∅.

Etapas de la preparación

a) Pese 0,125 gramos de anaranjado de metilo.

b) Trasládelos al matraz volumétrico de 250 mililitros mediante el embudo y con la ayuda de pequeñas cantidades de agua destilada.

c) Agite hasta que se diluya completamente.

d) Complete el volumen con agua destilada.

5.2 Solución de H_2SO_4 N / 50 (a partir de la solución madre de H_2SO_4 N / 10)

Material necesario:
solución madre de H_2SO_4 N / 10 (0,1 N): véase la subsección 4.2.

Material de vidrio:
una pipeta volumétrica de 100 mililitros;

una bureta de 50 mililitros, y
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

Cálculo

Para preparar una solución N / 50 (0,02 N), use la siguiente fórmula y haga la dilución siguiente:

$$\frac{\textit{Normalidad deseada} \times 1.000}{\textit{Normalidad de la solución madre} \times F.\ C.} = \textit{mL de la solución madre necesarios para preparar 1.000 mililitros de la solución deseada}$$

Ejemplo:

Normalidad deseada N / 50 (0,02 N).

A partir de la solución madre, 0,1 N c/F. C. (factor de corrección).

$$\frac{0{,}02 \times 1.000}{0{,}1 \times F.\ C.} = \textit{mL de la solución madre necesarios para preparar 1.000 mililitros de la solución N / 50 (0,02 N).}$$

Etapas de la dilución

a) Traslade, con ayuda de la pipeta y la bureta, los mililitros de la solución madre al matraz volumétrico de 1.000 mililitros, según la fórmula anterior (aproximadamente 200 mililitros conforme al factor de corrección).

b) Complete el volumen con agua destilada.

Nota: para preparar la solución, a partir del H_2SO_4 concentrado (D. = 1,84), diluya 0,6 mililitros de H_2SO_4 concentrado en

agua destilada y complete el volumen (con agua destilada) hasta 1.000 mililitros. Se deberá estandarizar con la titulación tal como se indicó en la solución madre de H_2SO_4 N / 10.

5.3 Solución de NaOH N / 44 (0,02273) (a partir de la solución madre de NaOH N / 10 de la subsección 4.3)

Material necesario:
solución madre de NaOH N / 10 (0,1 N).

Material de vidrio:
una pipeta volumétrica de 100 mililitros;
una bureta de 50 mililitros, y
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

Cálculo

Use la siguiente fórmula para el cálculo:

$$\frac{22,73}{\textit{Normalidad de la solución madre} \times F.\ C.} = \textit{mL de la solución madre necesarios para preparar 1.000 mililitros de solución N / 44 – (0,02273 N) de NaOH}$$

Etapas de la dilución

a) Traslade, con ayuda de la pipeta y la bureta, los mililitros de la solución madre de la sección 4.3 al matraz volumétrico de 1.000 mililitros, según la fórmula anterior.

b) Complete el volumen con agua destilada recién hervida y fría.

Nota: con esta solución se determina el gas carbónico libre por titulación.

Titulación de NaOH N / 44 (0,02273) con H_2SO_4 N / 50

La segunda estandarización de las soluciones diluidas se debe realizar si se desea mayor precisión. Mediante el siguiente procedimiento, con una solución de Na_2CO_3 (véase la subsección 4.1), se valorará la solución de H_2SO_4 N / 50 (véase la subsección 5.2) y con esta, la solución de NaOH N / 44.

Material necesario:
solución de H_2SO_4 N / 50 (0,02 N);
solución de NaOH N / 44 (0,02273 N), e
indicador anaranjado de metilo.

Material de vidrio:
dos buretas de 25 mililitros;
tres frascos Erlenmeyer de 250 mililitros, y
una probeta de 100 mililitros.

Etapas de la titulación

a) Coloque la solución de H_2SO_4 N / 50 (0,02 N) en una bureta y la solución de NaHO N / 44 (0,02273 N) en otra.

b) En un primer frasco Erlenmeyer coloque 100 mililitros de agua destilada y cuatro gotas de anaranjado de metilo (testigo).

c) En el segundo frasco Erlenmeyer coloque 10 mililitros de la solución NaOH N / 44 y por la bureta 90 mililitros de agua destilada; agregue cuatro gotas del indicador anaranjado de metilo.

d) En el tercer frasco Erlenmeyer coloque 15 mililitros de la solución de NaOH N / 44, por la bureta; 85 mililitros de agua destilada; cuatro gotas del indicador anaranjado de metilo.

Nota: los volúmenes de NaOH N / 44 colocados en los Erlenmeyer son arbitrarios. El agua destilada que se añadió solo es para completar el volumen de 100 mililitros y para comparar mejor el color durante el viraje que sufra el indicador.

e) Titule, gota a gota, cada Erlenmeyer (segundo y tercero) con una solución de H_2SO_4 N / 50 de la bureta, hasta que se produzca el viraje del indicador (anaranjado).

   El viraje no se puede ver fácilmente. Para lograr una mejor visión se debe comparar con el color producido en el primer frasco Erlenmeyer (muestra testigo).

f) Anote los mililitros de H_2SO_4 N / 50 usados en cada Erlenmeyer (segundo y tercero).

Cálculo

Segundo frasco Erlenmeyer:

$$\frac{mL\ de\ H_2SO_4 \times 0{,}02 \times F.\ C.\ del\ H_2SO_4}{mL\ de\ NaOH\ N\ /\ 44\ (c) \times 0{,}02273} = \begin{matrix} F.\ C.\ de\ NaOH \\ N\ /\ 44 \end{matrix}$$

Haga el mismo cálculo para el tercer frasco Erlenmeyer mediante la sustitución de la fórmula (c) por (d).

Los F. C. calculados en los dos casos deben coincidir o ser próximos. Una diferencia mayor exigirá una nueva titulación.

5.4 Solución de NaOH N / 20 (0,05 N) (a partir de la solución madre de NaOH N / 10)

Cálculo

Use la siguiente fórmula:

$$\frac{50}{Normalidad\ de\ la\ solución\ madre \times F.\ C.} = \begin{matrix} mL\ de\ la\ solución \\ madre\ necesarios \\ para\ preparar\ 1.000 \\ mililitros\ de\ la \\ solución\ N\ /\ 20 \\ (0{,}05)\ de\ NaOH \end{matrix}$$

5.5 Indicador rojo de metilo (use 0,2 mililitros para 10 mililitros de la muestra) (para pH de 4,4 a 6,0)

Material necesario:
balanza;
alcohol etílico rectificado 95%;
rojo de metilo;
solución de NaOH N / 20;
mortero de ágata con mango;
una espátula, y
un frasco para lavado.

Material de vidrio:
un vidrio de reloj;
una probeta de 100 mililitros;
una bureta de 20 mililitros;

dos matraces volumétricos de 500 mililitros, y
un embudo de vidrio.

Etapas de la preparación

a) Coloque la solución de NaOH N / 20 (véase la sección 5.4) en la bureta.

b) Mida 300 mililitros de alcohol etílico rectificado y trasládelo a uno de los matraces volumétricos.

c) Complete el volumen del matraz con agua destilada.

d) Pese 0,100 gramos de rojo de metilo.

e) Trasládelo al mortero de ágata; triture.

f) Agregue, por la bureta, partiendo de cero, algunas gotas de NaOH N / 20 hasta formar una pasta fina y homogénea.

g) Con la ayuda del embudo y de la solución alcohólica (b), traslade la pasta a otro matraz volumétrico de 500 mililitros y lave bien (con pequeñas cantidades de la misma solución) el mortero de ágata y el vidrio de reloj.

h) Agregue NaOH N / 20 de la bureta, en proporción suficiente para completar el volumen de soda de 7,4 mililitros.

i) Agite hasta lograr la disolución total y luego complete el volumen con la solución alcohólica (b).

5.6 Indicador azul de bromotimol (use 0,5 mililitros para 10 mililitros de la muestra) (para pH de 6,0 a 7,6)

Material necesario:
balanza;

azul de bromotimol (producto químico);
solución de NaOH N / 20;
mortero de ágata con mango, y
una espátula.

Material de vidrio:
un vidrio de reloj;
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
un embudo de vidrio, y
una bureta de 20 mililitros.

Etapas de la preparación

a) Coloque la solución de NaOH N / 20 (véase la sección 5.4) en la bureta.

b) Pese 0,400 gramos de azul de bromotimol.

c) Traslade el azul de bromotimol al mortero de ágata y triture.

d) Agregue, por la bureta, partiendo de cero, gotas de NaOH N / 20 (véase la sección 5.4) hasta formar una pasta fina y homogénea.

e) Con ayuda del embudo y de agua destilada, traslade la pasta al matraz volumétrico de 1.000 mililitros y lave bien (con pequeñas cantidades de agua) el mortero de ágata y el vidrio de reloj.

f) Agregue NaOH N / 20 (véase la sección 5.4) de la bureta, en proporción suficiente para completar 14 mililitros.

g) Agite hasta lograr la disolución total y luego complete el volumen con agua destilada.

5.7 Indicador rojo de fenol (use 0,25 mililitros para cada 10 mililitros de la muestra) (para pH de 6,8 a 8,4)

Use la técnica descrita en 5.6.

Pese 0,1 gramos de rojo de fenol; trasládelo al mortero de ágata; agregue por la bureta algunas gotas de NaOH N / 20 hasta formar una pasta fina y homogénea; trasládelo a un matraz volumétrico de 500 mililitros con la ayuda de agua destilada; complete el volumen de la soda hasta 6,3 mililitros; agite hasta lograr una disolución total y complete el volumen con agua destilada.

5.8 Indicador fenolftaleína para alcalinidad

(Use 10 gotas para 100 mililitros de la muestra.)

Emplee la técnica descrita en 5.5.

Pese un gramo de fenolftaleína; trasládelo al matraz volumétrico de 200 mililitros por el embudo con la ayuda de una pequeña cantidad de solución de agua y alcohol a 50% (100 mililitros de agua, 100 mililitros de alcohol); agite hasta lograr la disolución total y complete el volumen con la misma solución alcohólica.

Neutralice con NaOH N / 44.

Indicador fenolftaleína (use 0,5 mililitros para cada 10 mililitros de la muestra) (para pH de 8,6 a 10,2)

Use la técnica descrita en 5.5.

Pese 0,1 gramos de fenolftaleína; trasládelos al matraz volumétrico de 500 mililitros por el embudo, con la ayuda de una pequeña cantidad de solución de agua y alcohol al 60% (200 mililitros de agua, 300 mililitros de alcohol). Agite hasta lograr la disolución total y complete el volumen con la solución alcohólica.

Neutralice con NaOH N / 44.

5.9 Reactivo ortotolidina (use 0,5 mililitros para cada 10 mililitros de la muestra)

Material necesario:
ortotolidina en polvo;
HCl concentrado (D. = 1,17) p. a.;
un mortero de ágata con mango, y
una espátula.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 500 mililitros;
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
un embudo de vidrio;
un vidrio de reloj de ocho centímetros ∅, y
una probeta de 100 mililitros.

Etapas de la preparación

a) Con ayuda de la probeta mida 100 mililitros de ácido clorhídrico (HCl) y trasládelos lentamente al matraz de 500 mililitros con un aproximado de 300 mililitros de agua destilada y agítelo constantemente. Complete el volumen con agua destilada.

b) Pese 1.000 gramos de ortotolidina en un vidrio de reloj y trasládelo al mortero de ágata.

c) Agregue algunas gotas de la solución de HCl (a) y haga una pasta fina y homogénea.

d) Traslade la ortotolidina al matraz de 1.000 mililitros con la ayuda de pequeñas cantidades de agua destilada hasta completar aproximadamente 400 mililitros.

e) Agite hasta lograr la disolución total.

f) Agregue el resto de la solución de HCl (a). Agite. Complete el volumen con agua destilada.

g) Consérvelo en un frasco ámbar al abrigo de la luz.

Observación: esta solución tiene una duración de seis meses.

En invierno, el frío puede producir la precipitación del soluto. Si esto ocurre, no lo use. Para volver a disolverlo, caliéntelo en baño María y agite.

5.10 Reactivo ortotolidina de baja acidez (use un mililitro para cada 100 mililitros de la muestra)

Material necesario:
ortotolidina en polvo;
HCl (D. = 1,17) concentrado, p. a.;
un mortero de ágata con mango, y
una espátula.

Material de vidrio:
un frasco Erlenmeyer de 250 mililitros;
una pipeta graduada de 5 mililitros;
una pipeta graduada de 10 mililitros;
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;

un embudo de vidrio, y
un vidrio de reloj.

Etapas de la preparación

a) Con ayuda de la pipeta incorpore nueve mililitros de agua destilada en el frasco Erlenmeyer.

b) Agregue lentamente y agitando constantemente un mililitro de HCl concentrado.

c) Pese exactamente 1.000 gramos de ortotolidina.

d) Traslade la ortotolidina al mortero de ágata.

e) Agregue cinco mililitros de la solución de HCl (b) del frasco Erlenmeyer para formar una pasta; triture.

f) Traslade la pasta al matraz volumétrico de 1.000 mililitros con la ayuda del embudo y un poco de agua destilada.

g) Lave el vidrio de reloj con agua destilada sobre el embudo.

h) Agregue aproximadamente 500 mililitros de agua destilada.

i) Agite hasta lograr la disolución total.

j) Complete el volumen con agua destilada.

k) Agite y conserve en un frasco ámbar.

5.11 Solución de arsenito (cuidado: veneno)

Use 0,5 mililitros para cada 10 mililitros de la muestra.

Material necesario:
metaarsenito de sodio ($NaAsO_2$).

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
un embudo de vidrio, y
un vidrio de reloj.

Etapas de la preparación

a) Pese 5.000 gramos de $NaAsO_2$; tenga cuidado, porque es tóxico.
b) Traslade $NaAsO_2$ al matraz volumétrico de 1.000 mililitros con la ayuda del embudo y un poco de agua destilada.
c) Aumente el volumen con agua destilada hasta llegar a 400 mililitros, aproximadamente, y agite hasta lograr la disolución total.
d) Complete el volumen con agua destilada. Tenga cuidado de no aspirar el polvo y si este entra en contacto con la piel, lávese con abundante agua.

Nota: en el frasco de la solución de arsenito coloque el siguiente aviso: "Cuidado: tóxico. En caso de contacto con la piel, lávese con abundante agua".

5.12 Oxalato de amonio $(NH_4)_2C_2O_4$

Solución de uso N / 80 (0,0125 N)
A partir de la solución madre N / 5: véase la sección 5.3.

Material necesario:
solución de oxalato de amonio N / 5: véase la sección 5.3;
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
una pipeta volumétrica de 50 mililitros, y
una bureta de 25 mililitros.

Etapas de la preparación

a) Traslade 62,5 mililitros de la solución madre al matraz volumétrico de 1.000 mililitros con la ayuda de la pipeta y la bureta.
b) Complete el volumen con agua destilada y agite.

Nota: el volumen (62,5 mililitros) de solución madre se determinó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\frac{\textit{Normalidad deseada} \times 1.000}{\textit{normalidad de la solución madre} \times \textit{F. C.}} = \textit{mL de la solución madre necesarios para preparar 1.000 mililitros de la solución de uso.}$$

El F. C. —siendo $(NH_4)_2C_2O_4$ la solución madre— es 1.000.

5.13 Permanganato de potasio $KMnO_4$

Solución de uso N / 80 (0,0125 N)
A partir de la solución madre N / 5 – 0,2 N.

Si se aplica la fórmula usada para preparar la solución de $(NH_4)_2C_2O_4$ N / 80 en el cálculo del volumen que se va a diluir, las etapas de la preparación son idénticas a las mencionadas en 5.12.

Titulación de la solución $KMnO_4$ N / 80, de uso (0,0125 N)

Material necesario:
solución de $(NH_4)_2C_2O_4$ N / 80 (0,0125 N): véase la sección 5.12;
solución de H_2SO_4 1:3: véase la sección 5.14;

instrumental para baño María o mechero Bunsen con trípode y rejilla de asbesto.

Material de vidrio:
dos matraces de fondo ancho y cuello corto para 125 mililitros;
una probeta de 100 mililitros.

Etapas de la titulación

En cada uno de los dos matraces de 250 mililitros agregue lo siguiente:

a) 100 mililitros de agua destilada;

b) 10 mililitros de ácido sulfúrico 1:3;

c) tres mililitros de permanganato de potasio N / 80;

d) lleve la solución al baño María por media hora;

e) agregue oxalato de amonio N / 80, gota a gota, hasta obtener una ligera coloración rosada;

f) agregue 10 mililitros de $(NH_4)_2C_2O_4$ N / 80;

g) titule con $KMnO_4$ N / 80 hasta obtener una ligera coloración rosada.

5.14 Preparación de la solución de H_2SO_4 1:3

Material necesario:
H_2SO_4 (ácido sulfúrico) p. a. concentrado D. = 1,84.
Material de vidrio:
un frasco de vidrio de 1.000 mililitros;
una probeta de 100 mililitros.

Como la reacción del ácido sulfúrico con el agua es exotérmica, no agregue agua al ácido sino ácido al agua. Esta indicación es válida para todos los ácidos.

Etapas de la preparación

a) Incorpore, con la probeta, tres volúmenes estándar de agua destilada al frasco.

b) Agregue un volumen estándar de ácido sulfúrico, lentamente, agitando constantemente, y refrigérelo si fuera necesario.

Los volúmenes se pueden medir con la probeta, con mucho cuidado para evitar accidentes.

5.15 Tiosulfato de sodio $Na_2S_2O_3$

Solución N / 40 (0,025 N)
a partir de la solución madre de $Na_2S_2O_3$: véase la sección 4.7.

Material necesario:
solución de $Na_2S_2O_3$ N / 10 (titulada): véase la sección 4.7.

Material de vidrio:
una pipeta volumétrica de 100 mililitros;
una bureta de 50 mililitros, y
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

Cálculo

Esta solución se prepara por dilución, a partir de la solución de tiosulfato de sodio N / 10 con factor de corrección conocido (véase la subsección 4.7).

Para calcular la cantidad de la solución de la subsección 4.7 que se va a diluir, use la siguiente fórmula:

$$\frac{25}{0{,}1 \times F.\ C.} = \textit{mililitros de la solución madre para 1.000 mililitros de la solución N / 40}$$

Etapas de la dilución

a) El volumen calculado de la solución 4.7 se traslada, con la ayuda de una pipeta y una bureta —para tener mayor exactitud—, al matraz volumétrico de 1.000 mililitros que contiene en el fondo una cantidad de agua destilada.

b) Complete el volumen con agua destilada.

Titulación de la solución N / 40 $Na_2S_2O_3$

Se realiza de idéntica manera a la titulación de la solución madre N / 10 de la subsección "Titulación de la solución de tiosulfato de sodio" en 4.7, pero use cinco mililitros en el paso (b) en vez de 20 mililitros.

5.16 Sulfato de fierro II amoniacal $FeSO_4.(NH_4)_2SO_4.6H_2O$

Solución de uso.
Material necesario:
solución madre: véase la subsección 4.10.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
una pipeta volumétrica de 100 mililitros.

Etapas de la dilución

a) Con ayuda de la pipeta, traslade al matraz volumétrico de 1.000 mililitros 100 mililitros de la solución madre de $FeSO_4.(NH_4)_2SO_4.6H_2O$ (véase la sección 4.10).

b) Complete el volumen con agua destilada
Un mililitro de esta solución = 0,01 mg de Fe.
Un mililitro de esta solución en 50 mililitros de agua destilada = 0,2 ppm.

5.17 Ácido nítrico 6 N

Material necesario:
Ácido nítrico p. a.

Material de vidrio:
una pipeta volumétrica de 100 mililitros;
una pipeta volumétrica de 50 mililitros;
una pipeta volumétrica de 25 mililitros;
una pipeta graduada de 10 mililitros, y
un matraz volumétrico de 500 mililitros.

Etapas de la preparación

a) Traslade con las pipetas, lentamente y sin dejar de agitar, 191 mililitros de ácido nítrico concentrado p. a. al matraz volumétrico de 500 mililitros, donde ya se ha incorporado aproximadamente 200 mililitros de agua destilada.

b) Complete el volumen con agua destilada. Agite.

Nota: para pipetear ácidos concentrados (nítrico, sulfúrico, clorhídrico) se recomienda el uso de peras de succión o de vacío.

5.18 Solución de tiocianato de potasio: KCNS (cuidado: veneno)

Material necesario:
KCNS p. a. (producto químico);
una balanza;
una espátula, y
un frasco para lavado.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 500 mililitros;
un embudo de vidrio, y
un vidrio de reloj de 10 centímetros ∅.

Etapas de la preparación

a) Pese 10 gramos de KCNS.

b) Trasládelo al matraz volumétrico de 500 mililitros.

c) Complete el volumen con agua destilada.

Nota: anote VENENO en el frasco de la solución.

5.19 Solución de sulfato de aluminio al 1%

$Al_2(SO_4)_3.18\,H_2O$

Cuando en la planta de tratamiento de agua el sulfato de aluminio se ha dosificado por vía húmeda, la solución al 1% debe realizarse a partir de dicha solución.

Solución de sulfato de aluminio a partir de la solución utilizada en la planta de tratamiento de agua

Material necesario:
solución utilizada en la planta.

Material de vidrio:
una probeta de 100 mililitros.

Cálculo

Use la siguiente fórmula:

$$\frac{100}{\text{concentración de la solución usada en la planta de tratamiento de agua}} = \text{mililitros de la solución usada en la planta que, elevados a 100 mililitros con agua del grifo, darán 100 mL de solución al 1\%}$$

Etapas de la preparación

a) Mida el volumen de solución de sulfato de aluminio usada en la planta de tratamiento de agua con la probeta, calculado con la fórmula anterior.

b) Complete el volumen hasta 100 mililitros con agua destilada.

Nota: use siempre la solución decantada.

Sulfato de aluminio. Solución al 1%

Cuando en la planta de tratamiento de agua se aplica sulfato por vía seca.

Material necesario:
balanza;
un mortero con mango, y
una espátula.

Material de vidrio:
un vidrio de reloj de cinco centímetros ∅;
un matraz volumétrico de 1.000 litros, y
un embudo.

Etapas de la preparación

a) Tome una muestra representativa de sulfato de aluminio (del dosificador).
b) Fraccione varias veces.
c) Triture la última parte (50 gramos) en el mortero.
d) Pese 10 gramos del triturado.
e) Colóquelo en el matraz volumétrico de 1.000 mililitros con la ayuda del embudo y agua del grifo.
f) Agite hasta diluir.
g) Complete el volumen con agua destilada y agite.

Nota: agite la solución para usarla en el ensayo de coagulación.

5.20 Solución saturada de $Ca(OH)_2$ (hidróxido de calcio)

Material necesario:
cal hidratada o cal virgen.

Material de vidrio:
un frasco de un litro con tapa;
un embudo.

Etapas de la preparación

a) Introduzca en el frasco, con ayuda del embudo, de 30 a 50 gramos de cal hidratada de buena calidad o virgen extraída de la parte central de un costal de cal (lo que permite evitar la cal carbonatada).
b) Agregue agua destilada, agite bien, complete el volumen hasta el cuello, cierre para que no entre aire al interior (evite la carbonatación por el CO_2 del aire). Deje decantar.

Nota: cuando use la solución no agite el frasco; extraiga con la pipeta el líquido excedente, cuya concentración es de 1,3 gramos por litro (cada mililitro equivale a 1,3 ppm de CaO, en un litro de agua de muestra para ensayo).

Después de usarlo, complete el volumen del frasco hasta el cuello. Ciérrelo bien.

Solución saturada de $Ca(OH)_2$ (hidróxido de calcio)

Cuando en la planta de tratamiento de agua la dosificación se realiza por vía húmeda.

Cuando se prepara la dosis de cal generalmente hay cierto tiempo de reposo en el cual se decanta. El agua de cal es una solución saturada de $Ca(OH)_2$. Esa agua se puede recolectar y utilizar en el ensayo de coagulación.

(Un mililitro = 1,3 ppm en un litro.)

5.21 Alúmina. Solución madre

Material necesario:
$Al_2(SO_4)_3 . (NH_4)_2SO_4 . 24\ H_2O$ (sulfato doble de aluminio y amonio) p. a.;
una balanza analítica.

Material de vidrio:
un vidrio de reloj de cinco centímetros ∅;
un vaso de 250 mililitros;
un embudo;
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

Etapas de la preparación

a) Pese exactamente 0,8398 gramos de sulfato doble de aluminio y amonio.

b) Trasládelo a un vaso de 250 mililitros.

c) Agregue agua destilada para disolver.

d) Traslade la solución al matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

e) Lave el vaso con abundante agua destilada (agregue el agua de lavado al matraz en el que se prepara la solución).

f) Complete el volumen con agua destilada y agite.

Un mililitro = 0,05 mg de Al

Un mililitro de la solución, habiendo completado el volumen hasta alcanzar 50 mililitros con agua destilada, equivale a una solución con una ppm de aluminio (iones Al^{+++}) o a 3,77 ppm de Al_2O_3, conocido como alúmina.

5.22 Hematoxilina. Solución

Material necesario:
hematoxilina pura;
una balanza analítica.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 100 mililitros;
un embudo, y
un vidrio de reloj de cinco centímetros ∅.

Etapas de la preparación

a) Pese 0,100 gramos de hematoxilina.

b) Introduzca en el matraz volumétrico 100 mililitros con agua destilada hirviendo.

c) Complete el volumen con agua destilada; agite.

Nota: esta solución se deteriora, por lo que debe prepararse cada lapso de 15 a 20 días.

5.23 Ácido acético al 30%

Material necesario:
ácido acético glacial p. a.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
una probeta de 250 mililitros.

Etapas de la preparación

a) En un matraz volumétrico de 1.000 mililitros con más o menos 300 mililitros de agua destilada, agregue gradualmente mientras agita 300 mililitros de ácido acético glacial, medidos con la probeta.

b) Complete el volumen con agua destilada.

5.24 Carbonato de amonio. Solución saturada

Material necesario:
carbonato de amonio p. a.

Material de vidrio:
un frasco de 250 mililitros con tapa esmerilada.

Etapas de la preparación

a) Agregue carbonato de amonio en el frasco que contiene 200 mililitros de agua, hasta lograr la saturación.

b) Para garantizar la saturación debe sobrar carbonato de amonio en el fondo del frasco.

5.25 Flúor. Solución de uso

Material necesario:
solución madre de flúor: véase la sección 4.11.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
una pipeta volumétrica de 50 mililitros.

Etapas de la preparación

a) Con la pipeta, traslade 50 mililitros de la solución patrón de flúor (véase la sección 4.11) al matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

b) Complete el volumen con agua destilada y agite. Un mililitro de esta solución equivale a 0,005 miligramos de flúor.

5.26 Circonil. Solución

Material necesario:
una balanza analítica;
$ZrOCl_2.8H_2O$ (oxicloruro de circonio);
H_2SO_4 concentrado (D. = 1,17), y
una espátula.

Material de vidrio:
un vidrio de reloj de cinco centímetros ∅;
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
una pipeta volumétrica de 25 mililitros;
una pipeta graduada de 10 mililitros;
una pipeta volumétrica de 100 mililitros;
dos pipetas graduadas de 5 mililitros;
un embudo.

Etapas de la preparación

a) Pese 0,354 gramos de $ZrOCl_2.8H_2O$.

b) Trasládelo al matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

c) Agregue aproximadamente 600 mililitros de agua destilada y agite para disolverla.

d) Agregue gradualmente, con agitación constante y con ayuda de las pipetas (con la pera de succión), 33,3 mililitros de H_2SO_4 concentrado.

e) Agregue gradualmente, con agitación constante, 101 mililitros de HCl concentrado (p. a.).

f) Complete el volumen con agua destilada y espere una hora para usarlo.

Nota: en caso de que se caliente, espere que la temperatura se normalice hasta completar el volumen final.

5.27 Rojo de alizarina. Solución

Material necesario:
una balanza analítica;
rojo de alizarina;
una espátula;
un frasco para lavado.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
un vidrio de reloj de cinco centímetros ∅;
un embudo.

Etapas de la preparación

a) Pese exactamente 0,750 gramos de monosulfato de alizarina sódica (rojo de alizarina).

b) Trasládelo al matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

c) Complete el volumen con agua destilada.

Nota: conserve la solución en un frasco ámbar, en un lugar fresco y oscuro.

5.28 Tiosulfato de sodio. Solución de uso N / 40 (0,025 N)

A partir de la solución madre de $Na_2S_2O_3$ N / 10 (0,1 N)

Material necesario:
solución de $Na_2S_2O_3$ N/10 (0,1 N).

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
una pipeta volumétrica de 100 mililitros;
una pipeta volumétrica de 25 mililitros;
una bureta de 25 mililitros.

Cálculo

Use la siguiente fórmula:

$$\frac{25}{0{,}1 \times F.\ C.\ \text{de la}\ Na_2S_2O_3\ N / 10} = \text{mililitros de la solución madre de } Na_2S_2O_3\ N / 10 \text{ que, elevados a 1.000 mililitros, proporcionarán una solución } N / 40\ (0{,}025\ N)$$

Etapas de la dilución

a) Traslade la cantidad en mililitros de la solución 4.7 dada por la fórmula anterior al matraz volumétrico.

b) Complete el volumen con agua destilada.

5.29 Sulfato de manganeso. Solución

Material necesario:
$MnSO_4.4H_2O$ o $MnSO_4.2H_2O$ o $MnSO_4.H_2O$ (sulfato de manganeso II tetra, bi o monohidratado);
una balanza;
una espátula.

Material de vidrio:
un vaso de 100 mililitros;
un matraz volumétrico de 200 mililitros, y
un embudo.

Etapas de la preparación

a) Pese:
96 g de $MnSO_4.4H_2O$ ó
74 g de $MnSO_4.H_2O$ u
80 g de $MnSO_4.2H_2O$.

b) Trasládelo con agua destilada al matraz volumétrico de 200 mililitros.

c) Agite para disolverlo.

d) Complete el volumen con agua destilada.

5.30 Yoduro de potasio alcalino. Solución. Kl

Material necesario:
NaOH (hidróxido de sodio) p. a.;
Kl (yoduro de potasio);
una balanza, y
una espátula.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 200 mililitros;
un vaso de 100 mililitros;
un vidrio de reloj de ocho centímetros ∅, y
un embudo.

Etapas de la preparación

a) Pese 100 gramos de NaOH en el vaso.

b) Trasládelo al matraz volumétrico de 200 mililitros con aproximadamente 100 mililitros de agua destilada.

c) Agite para disolverlo.

d) Pese 30 gramos de Kl en el vidrio de reloj.

e) Trasládelo al matraz que contiene la solución de NaOH.

f) Agite para disolverlo.

g) Complete el volumen con agua destilada.

5.31 Almidón. Solución

Material necesario:
balanza;
espátula, y
almidón soluble.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 100 mililitros;
un embudo de vidrio, y
un vidrio de reloj de ocho centímetros ∅.

Etapas de la preparación

a) Pese un gramo de almidón soluble en el vidrio de reloj.

b) Agregue una pequeña cantidad de agua destilada (la suficiente para formar una pasta).

c) Traslade la pasta al frasco volumétrico de 100 mililitros con ayuda de agua destilada hirviendo.

d) Agite bien para disolverlo.

e) Complete el volumen con agua destilada hirviendo.

f) Agite.

g) Cuando esté fría, agregue algunas gotas de cloroformo en la solución para que se conserve.

5.32 Jabón. Solución para uso

A partir de la solución de jabón madre.

Material necesario:
solución de jabón madre;
solución madre de $CaCO_3$, y
solución agua-alcohol al 80%.

Material de vidrio:
dos frascos neutros, de boca ancha y tapa esmerilada de 125 mililitros;
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
dos buretas de 20 mililitros;
una pipeta volumétrica de 50 mililitros, y
una pipeta volumétrica de 25 mililitros.

Determinación del F. E. (factor espuma) de la solución madre

a) Llene una bureta de 20 mililitros con la solución de jabón.

b) Pipetee 50 mililitros de agua destilada, recién hervida y fría, a uno de los frascos neutros de boca ancha con tapa esmerilada de 125 mililitros.

c) Agregue al frasco (b) la solución de jabón, gota a gota, por la bureta. Tápelo y agite bien después de cada adición.

d) Repita (c) hasta que en toda la superficie del agua se produzca espuma sin que se deshaga durante cinco minutos.

e) Los mililitros utilizados en esta operación se denominan F. E. (factor espuma).

Nota: F. E. = mililitros de solución madre de jabón necesarios y suficientes para producir y mantener la espuma resistente durante cinco minutos.

Cálculo para la dilución de la solución madre

a) Llene la otra bureta con la solución patrón de $CaCO_3$.

b) Agregue al otro frasco de boca ancha 25 mililitros de esta solución (véase la subsección 5.33).

c) Agregue 25 mililitros más de agua destilada recién hervida y fría.

d) Agregue, gota a gota y mediante la bureta (recargada), la solución madre de jabón (véase la sección 4.9), tape y agite el frasco después de cada adición.

e) Repita (d) hasta que se produzca una espuma que dure cinco minutos en toda la superficie del agua.

f) La solución en mililitros de la solución madre de jabón utilizada en (d) y (e) = K.

g) Calcule lo siguiente: (K–F. E.) x 40 = mililitros de la solución madre necesarios para producir 1.000 mililitros de la solución de jabón para uso.

Preparación de la solución para uso

a) Traslade la cantidad de mililitros de la solución madre (véase la subsección 4.9) calculada en la subsección "Cálculo para la dilución de la solución madre" a un matraz volumétrico de 1.000 mililitros.

b) Complete el volumen con la solución agua-alcohol 80% preparada en la subsección 4.8.

Nota: un mililitro de esta solución corresponde a un mililitro de $CaCO_3$.

El F. E. (factor espuma) de esta solución se determina como en la subsección "Determinación del F. E. (factor espuma) de la solución madre".

5.33 $CaCO_3$. Solución madre

Material necesario:
una balanza analítica;
$CaCO_3$ ppt puro (producto químico);
NH_4OH (hidróxido de amonio);
una espátula;
un mechero Bunsen con trípode de fierro y rejilla de asbesto;
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;

un frasco Erlenmeyer de 500 mililitros, y
un vidrio de reloj de cinco centímetros ∅.

Etapas de la preparación

a) Pese 1.000 gramos de $CaCO_3$ ppt anhidro puro.

b) Trasládelo a un Erlenmeyer de 500 mililitros.

c) Lave el vidrio de reloj y el embudo con una pequeña cantidad de la solución de HCl (ácido clorhídrico) 1:1 (un volumen de agua destilada más un volumen de HCl).

d) Agregue pequeñas porciones de HCl (1:1) en el frasco Erlenmeyer hasta que todo el $CaCO_3$ se haya disuelto.

e) Agregue aproximadamente 200 mililitros de agua destilada.

f) Hierva durante algunos minutos para eliminar el CO_2.

g) Deje enfriar y agregue algunas gotas de rojo de metilo (véase la subsección 5.5).

h) Agregue NH_4OH para obtener una coloración anaranjada, o bien más HCl (1:1) si fuera necesario.

i) Trasládelo cuidadosamente a un matraz volumétrico de 1.000 mililitros y lave el frasco Erlenmeyer repetidas veces con pequeñas cantidades de agua destilada.

j) Complete el volumen con agua destilada.

Un mililitro de esta solución = 1,00 miligramos de $CaCO_3$, suficiente para producir una dureza correspondiente a una ppm en un litro de agua.

5.34 Solución de soda reactiva

Material necesario:
una balanza;
una espátula;
$CaCO_3$, anhidro puro ppt, p. a. (carbonato de sodio), y
NaOH (hidróxido de sodio) p. a.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
un vaso de 100 mililitros;
un embudo de ocho centímetros ∅, y
un vidrio de reloj de ocho centímetros ∅.

Etapas de la preparación

a) Pese aproximadamente dos gramos de NaOH con ayuda del vaso de 100 mililitros.

b) Trasládelo al matraz volumétrico de 1.000 mililitros que contiene una cantidad de agua destilada.

c) Pese aproximadamente 2,65 gramos de puro $CaCO_3$ ppt en el vidrio de reloj.

d) Trasládelo al matraz volumétrico de 1.000 mililitros con ayuda de agua destilada.

e) Agite hasta lograr la disolución total de ambos solutos.

f) Complete el volumen con agua destilada.

5.35 Cristales de NaCN (cianuro de sodio)

Debe usarse con cuidado (con una espátula pequeña).

Es tóxico: evite la ingestión de gases de cianuro pues son mortales.

5.36 Solución amortiguadora

Material necesario:
una balanza analítica;
sal de EDTA o Na_2EDTA (producto químico);
NH_4OH (hidróxido de amonio);
NH_4Cl (cloruro de amonio);
$MgSO_4.7\ H_2O$ (sulfato de magnesio), o
$MgSO_2.6\ H_2O$ (cloruro de magnesio), y
espátulas de porcelana.

Material de vidrio:
un vaso de 400 mililitros;
dos vasos de 100 mililitros;
una probeta de 250 mililitros;
una probeta de 100 mililitros;
dos varillas de vidrio, y
tres vidrios de reloj de ocho centímetros ∅.

Etapas de la preparación

a) Pese exactamente 1,170 gramos de sal del EDTA o Na_2 EDTA p. a. en un vidrio de reloj.

b) Pese 0,780 gramos de $MgSO_4.7\ H_2O$ en otro vidrio de reloj o 0,644 gramos de $MgCl_2.6\ H_2O$.

c) Traslade cuidadosamente los dos reactivos pesados a un vaso de 100 mililitros.

d) Pese 16,9 gramos de NH_4Cl (cloruro de amonio) en un vaso de 100 mililitros.

e) Trasládelo a un vaso de 400 mililitros.

f) Agregue 143 mililitros de NH_4OH (hidróxido de amonio) concentrado para disolver el NH_4Cl.

g) Vierta la primera solución sobre la segunda sin dejar de agitar.

h) Traslade la última solución a una probeta de 250 mililitros y complete el volumen con agua destilada hasta 250 mililitros.

i) Haga que la solución se vuelva homogénea y consérvela en un frasco bien cerrado.

5.37 Mezcla indicadora sólida: negro de eriocromo

Material necesario:
una balanza;
una espátula de porcelana;
un mortero de 10 centímetros ∅, y
negro de eriocromo.

Material de vidrio:
un vaso de 100 mililitros;
un vidrio de reloj de ocho centímetros ∅.

Etapas de la preparación

a) Pese 0,500 gramos de tintura de negro de eriocromo en el vidrio de reloj.

b) Pese 100 gramos de NaCl (cloruro de sodio) p. a.

c) Traslade las dos sustancias a un mortero.

d) Triture hasta que el color negro de la tintura esté distribuido uniformemente con la sal.

e) Consérvelo en un frasco de boca ancha bien cerrado.

5.38 Titulador EDTA

Material necesario:
sal de EDTA o Na_2EDTA p. a.;
balanza analítica, y
una espátula de loza.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 1.000 mililitros;
un vaso de 250 mililitros;
un vidrio de reloj de ocho centímetros ∅, y
un embudo de ocho centímetros ∅.

Etapas de la preparación

a) Pese cuidadosamente 3,7230 gramos de sal de EDTA o Na_2EDTA p. a.

b) Trasládelos cuidadosamente a un vaso de 250 mililitros.

c) Dilúyalos en 150 mililitros de agua destilada.

d) Traslade la solución cuidadosamente a un matraz volumétrico de 1.000 mililitros; lave el vaso con tres porciones de 100 mililitros de agua destilada.

e) Complete el volumen con agua destilada.

f) Agite bien.

5.39 Solución de cloro (agua de cloro)

Material necesario:
una manguera;

difusor (tela de filtro);
una espátula de porcelana;
yoduro de potasio Kl;
ácido acético glacial;
solución de $Na_2S_2O_3$ N / 40 (0,025 N), y
solución de almidón.

Material de vidrio:
un frasco de boca ancha de dos litros;
un frasco Erlenmeyer de 250 mililitros;
dos pipetas graduadas de cinco mililitros, y
una bureta de 25 mililitros.

Etapas de la preparación

a) En un frasco de boca ancha con aproximadamente 1.500 mililitros de agua destilada, haga burbujear el cloro con el difusor.

b) Agite para homogeneizar.

Titulación de la solución

a) En un frasco Erlenmeyer de 250 mililitros disuelva aproximadamente dos gramos de Kl en 50 mililitros de agua destilada.

b) Agregue dos mililitros de ácido acético glacial.

c) Pipetee cinco mililitros del agua de cloro a este frasco Erlenmeyer.

d) Con la solución de $Na_2S_2O_3$ N / 40 (véase la sección 5.15) y con la bureta, titule el yodo con la solución de almidón como auxiliar del viraje.

Cálculo

Mililitros de la solución de $Na_2S_2O_3$ N / 40 (véase la sección 5.15) utilizados, multiplicados por 0,1773 = gramos de cloro por litro de solución.

Preparación de la solución de cloro con un gramo por litro

Cálculo

$$\frac{1.000}{g \text{ de cloro por } L} = \textit{mililitros del agua de cloro que, elevados a 1.000 mililitros con agua destilada, proporcionarán la solución deseada}$$

a) Pipetee a un frasco volumétrico la cantidad de agua de cloro calculada anteriormente.

b) Complete el volumen con agua destilada.

5.40 Acetato de plomo. Solución al 1%

Material necesario:
una balanza;
acetato de plomo.

Material de vidrio:
un matraz volumétrico de 100 mililitros;
un embudo de ocho centímetros ∅;
un vidrio de reloj de ocho centímetros ∅;
una espátula de porcelana.

Etapas de la preparación

a) Pese un gramo de acetato de plomo $Pb(H_3CCOO)_2$.

b) Trasládelo a un matraz volumétrico de 100 mililitros.

c) Agregue aproximadamente 50 mililitros de agua destilada.

d) Agite para disolver.

e) Complete el volumen con agua destilada.

f) Agite para homogeneizar.

Tabla 11

ALGUNOS INDICADORES PARA pH							
Volumen en mL		NaOH	Para cada 0,100 g	Zona de pH	mL de solución	Conc. en %	Transición de colores
H_2O dest.	Alcohol	N / 20 mL					
500	-	5,9	Rojo de cresol	0,2 a 1,8	0,5	0,02	Rojo-amarillo
500	-	9,4	Azul de timol ácido	1,2 a 2,8	0,5	0,02	Rojo-amarillo
250	-	5,9	Púrpura de metacresol	1,2 a 2,8	0,5	0,04	Rojo-amarillo
250	-	4,1	Azul de bromofenol	3,0 a 4,6	0,5	0,04	Amarillo-azul
200	300	7,4	Rojo de metilo	4,4 a 6,0	0,2	0,02	Rojo-amarillo
250	-	3,4	Verde de bromocresol	4,0 a 5,6	0,5	0,04	Amarillo-azul
250	-	4,1	Púrpura de bromocresol	5,2 a 6,6	0,5	0,04	Amarillo-púrpura
250	-	5,2	Rojo de clorofenol	5,2 a 6,8	0,25	0,04	Amarillo-rojo
250	-	3,5	Azul de bromotimol	6,0 a 7,6	0,5	0,04	Amarillo-azul
500	-	6,3	Rojo de fenol	6,8 a 8,4	0,25	0,02	Amarillo-rojo
500	-	5,9	Rojo de cresol	7,2 a 8,8	0,5	0,02	Amarillo-rojo
250	-	4,7	Azul de timol	8,0 a 9,6	0,5	0,04	Amarillo-azul
200	300	Neut.	Fenolftaleína	8,6 a 10,2	0,5	0,02	Rosa pálido-carmín

Nota: muestra de 10 mililitros; tubo de ensayo de 13 milímetros; variación de pH = 0,2.

Equipo

A = material mínimo para el laboratorio de una planta convencional de tratamiento de agua.

B = material mínimo para los análisis de este manual.

Tabla 12

Orden	Equipo	A	B
5.1	Termómetro para aire máximo y mínimo.		2
5.2	Termómetro para agua.	2	2
5.3	Equipo para ensayo de coagulación, tipo agitador, para seis pruebas en línea, de 110 a 220 voltios, con seis vasos de 1.000 mililitros.		
5.4	Turbidímetro de Hellige completo con seis tubos de ensayo, bombillas de 110 voltios y gráficos.	1	1
5.5	Aqua-Tester de Hellige completo, con tubos de ensayo, bombillas de 110 voltios y disco para color de 0,0 a 70 ppm o Nesslerizador de Lovibond con tubos de ensayo y disco para color de agua de 0,0 a 70 ppm.	1	1
5.6	Comparador colorimétrico para pH y cloro residual, tubos de ensayo de 13 milímetros y discos: rojo de metilo pH 4,4 a 6,0 azul de bromotimol pH 6,0 a 7,6 rojo de fenol pH 6,8 a 8,4 fenolftaleína pH 6,8 a 8,4 cloro residual 0,0 a 1,0 ppm cloro residual 0,1 a 2,0 ppm	1	1
5.7	Destilador continuo para agua con calentamiento eléctrico de 220 voltios, tipo pared, capacidad de dos litros por hora.	1	1
5.8 ó 5.8 A	Balanza técnica, caja de vidrio, capacidad de 200 gramos con sus respectivos pesos. Balanza analítica con carga máxima para 161 gramos, exactitud de aproximadamente 0,1 miligramos; división de la escala ≅ 0,1 miligramos; lectura digital continua; pesaje automático de un gramo.	1	1
5.9	Instrumental para baño María para tres pruebas, calentamiento eléctrico de 220 voltios, tipo Fabbe 111 ó similar.		
5.10	Mecheros de Bunsen.		

Material de vidrio

A = Material mínimo para el laboratorio de una planta de tratamiento de agua convencional.
B = Material mínimo para los análisis presentados en este manual.

Tabla 13

Orden	Material de vidrio	A	B
6.1	Matraces volumétricos de 1.000 mL	3	6
6.2	” ” ” 500 mL	3	6
6.3	” ” ” 250 mL	3	6
6.4	” ” ” 200 mL	3	6
6.5	” ” ” 100 mL	2	4
6.6	Matraz de fondo chato y cuello corto, 250 mL	6	10
6.7	Buretas con división a 1/10 50 mL	4	6
6.8	” ” ” ” 25 mL		4
6.9	” ” ” ” 20 mL		2
6.10	Vasos de precipitado de 2.000 mL		2
6.11	” ” ” ” 1.000 mL	6	6
6.12	” ” ” ” 400 mL		2
6.13	” ” ” ” 250 mL		3
6.14	” ” ” ” 100 mL	2	4
6.15	Erlenmeyer de 500 mL		4
6.16	” ” 250 mL	4	8
6.17	Frascos ámbar de boca ancha de 500 mL con tapa.		12
6.18	Frascos de vidrio neutro y boca ancha de 125 mL de tapa esmerilada		4
6.19	Frasco de vidrio claro de 250 mL y tapa esmerilada y achaflanada		6
6.20	Cuentagotas con pipetas	12	12
6.21	Recipiente de vidrio ámbar con tapas esmeriladas de 1.000 mL	6	8
6.22	” ” ” ” ” 500 mL	6	8
6.23	” ” ” ” ” 250 mL	4	6

Orden	Material de vidrio	A	B
6.24	Vidrio claro con tapas esmeriladas de 1.000 mL	6	12
6.25	” ” ” ” 500 mL	6	8
6.26	” ” ” ” 250 mL	3	6
6.27	” ” ” ” 100 mL	2	6
6.28	Embudo de vidrio de 15 cm ∅	2	4
6.29	” ” ” ” 8 cm ∅	2	3
6.30	Pipeta graduada de 10 mL	2	6
6.31	” ” ” 5 mL	2	6
6.32	” ” ” 1 mL	2	5
6.33	Pipeta volumétrica de 100 mL	2	4
6.34	” ” ” 50 mL	2	4
6.35	” ” ” 25 mL	2	4
6.36	Probeta graduada de 1.000 mL	1	2
6.37	” ” ” 250 mL	1	2
6.38	” ” ” 100 mL	3	6
6.39	Varillas de vidrio	½ k	½ k
6.40	Grifos de vidrio de 6 mm ∅	2	2
6.41	Tubos Nessler de 100 mL		6
6.42	” ” ” 50 mL		6
6.43	Vidrios de reloj de 10 cm ∅	3	5
6.44	” ” ” ” 8 cm ∅	3	5
6.45	” ” ” ” 5 cm ∅	3	5
6.46	Frascos de cinco litros, con grifo lateral para el agua destilada	1	1
6.47	Succionador de vidrio para vacío		2
6.48	Frascos de boca ancha de dos litros		2

Materiales diversos

A = Material mínimo para el laboratorio de una planta de tratamiento de agua convencional.
B = Material mínimo requerido para los análisis presentados en este manual.

Tabla 14

Orden	Materiales diversos	A	B
7.1	Espátula de 20 cm	1	2
7.2	Espátula de porcelana de 15 cm	1	3
7.3	Espátula pequeña para indicadores	1	2
7.4	Mortero de porcelana de 10 cm ∅	1	1
7.5	Mortero de ágata de 6 cm ∅ con mango	1	1
7.6	Trípodes para mecheros Bunsen		3
7.7	Rejillas de asbesto		3
7.8	Soportes para buretas	2	3
7.9	Soportes para seis tubos Nessler		1
7.10	Caja con papel de filtro		1
7.11	Cuchara pequeña		1
7.12	Tapas de jebe de diversos tamaños		10
7.13	Tapas de corcho de diversos tamaños		25
7.14	Perforador de tapas		1
7.15	Frasco para lavado		1

Productos químicos

A = Material mínimo para el laboratorio convencional de una planta de tratamiento de agua.
B = Material mínimo requerido para los análisis presentados en este manual.

Tabla 15

Orden	Gramos	Productos químicos	A	B
8.1	500	Ácido acético p. a. CH_3 OOH		1
8.2	1000	Ácido clorhídrico p. a. HCl		1
8.3	600	Ácido nítrico p. a. HNO_3		1
8.4	1500	Ácido sulfúrico p. a. H_2SO_4	1	1
8.5	1000	Alcohol etílico rectificado 95%		1
8.6	100	Almidón soluble	1	1
8.7	5	Azul de bromotimol		1
8.8		Cal CaO	1	1
8.9		Cal clorada	1	1
8.10	250	Carbonato de amonio $(NH_4)_2CO_3$		1
8.11	500	Carbonato de calcio ppt $CaCO_3$		1
8.12	100	Carbonato de sodio p. a. Na_2CO_3	1	1
8.13		Carbón activado	1	1
8.14		Cloro		1
8.15	100	Cloroformo técnico	1	1
8.16	100	Cloruro de amonio p. a. $(NH_4)Cl$		1
8.17	100	Cloruro de sodio p. a. NaCl		1
8.18	100	Cianuro de sodio p. a. NaON		1
8.19	100	Bicromato de potasio p. a. $K_2Cr_2O_7$		1
8.20		Etilen-diamintetracetato bihidratado		1
		bisódico anhidro p. a. EDTA o Na_2EDTA		1
8.21	10	Negro de eriocromo		1
8.22	10	Fenolftaleína $(C_6H_4OH)_2COC_6H_4CO$		1
8.23		Fluoruro de sodio p. a. NaF		1
8.24	10	Hematoxilina	1	1
8.25		Hidróxido de amonio p. a. NH_4OH		1
8.26	250	Hidróxido de calcio p. a. $Ca(OH)_2$		1

Orden	Gramos	Productos químicos	A	B
8.27	250	Hidróxido de sodio p. a. NaOH	1	1
8.28		Hipoclorito de sodio p. a. NaOCl		1
8.29	100	Hiposulfato de sodio p. a. $Na_2S_2O_3.5\ H_2O$		1
8.30	100	Yoduro de potasio p. a. KI		1
8.31	5	Metaarsenito de sodio $NaAsO_2$	1	1
8.32	25	Anaranjado de metilo	1	1
8.33	25	Ortotolidina $C_{14}H_{16}N_2$	1	1
8.34	100	Oxalato de amonio p. a. $(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$		1
8.35	10	Oxicloruro de circonio $ZrOCl_2.8\ H_2O$	1	1
8.36	250	Permanganato de potasio $KMnO_4$	1	1
8.37	300	Jabón de Marsella		1
8.38	500	Sacarosa		1
8.39		Sílice fluoruro de sodio Na_2SiF_6		1
8.40		Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3.18\ H_2O$		
8.41	500	Sulfato de aluminio y amonio p. a. $Al_2(SO_4)_3.(NH_4)_2SO_4.24\ H_2O$		1
8.42	500	Sulfato de amonio $(NH_4)_2SO_4$		1
8.43		Sulfato de cobre $CuSO_4.5\ H_2O$		1
8.44		Sulfato de magnesio $MnSO_4.7\ H_2O$		1
8.45		Sulfato de fierro $FeSO_4$		1
8.46	100	Sulfato de fierro II amoniacal p. a. $Fe(SO_4).(NH_4)\ 2\ SO_4.6\ H_2$		1
8.47	100	Sulfato de manganeso II p. a. $MnSO_4$ o $MnSO_4.2H_2$ o $MnSO_4.4H_2O$		1
8.48	100	Tiocianuro de potasio p. a. KCNS	1	1
8.49	5	Rojo de metilo	1	1
8.50	5	Rojo de fenol		1
8.51	10	Rojo de alizarina		
8.52		Acetato de plomo		

6. BALANZAS

Las balanzas son instrumentos destinados a medir el peso relativo o masa de los cuerpos. En una planta de tratamiento de agua estos instrumentos se utilizan para lo siguiente:

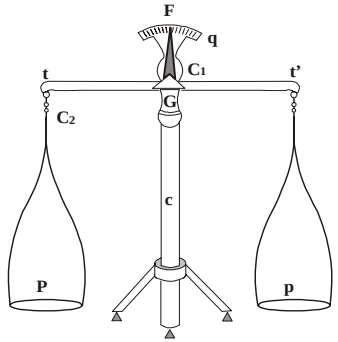
a) mediciones gruesas del peso de coagulantes, alcalinizantes, desinfectantes, etcétera;

b) mediciones finas en el laboratorio para preparar reactivos e indicadores usados en el control de la eficiencia del tratamiento, calibración de pipetas y otros instrumentos volumétricos, etcétera.

6.1 Balanza común

La balanza ordinaria se compone de una palanca horizontal (t-t') llamada *astil,* que tiene en el centro un prisma triangular de acero; y un cuchillo (C_1), con una de las aristas volteada hacia abajo (véase la Figura 29).

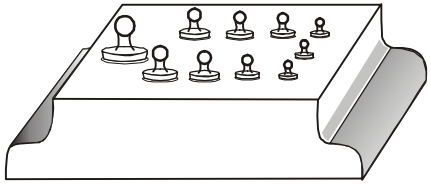
Figura 29



tt' = astil; c = columna; C_1, C_2 = cuchillos; F = fiel; G = punto de gravedad; p = platillo; q = cuadrante.

El cuchillo (C_1) sale por ambos lados del astil y se apoya sobre los planos horizontales que se encuentran en la columna metálica (c) que sostiene el aparato. La arista del cuchillo (C_1) sirve de eje alrededor del cual el astil puede oscilar libremente. En los extremos del astil hay dos cuchillos más (C_2) con una de las aristas volteada hacia arriba. Sobre estos se encuentran los platillos (p) colgados que reciben los cuerpos que se quiere pesar y las pesas patrón (véase la Figura 30).

Figura 30



Pesas patrón

Las aristas de los tres cuchillos deben ser paralelas y estar situadas en el mismo plano, es decir, la línea del astil que pasa por estas debe ser una recta.

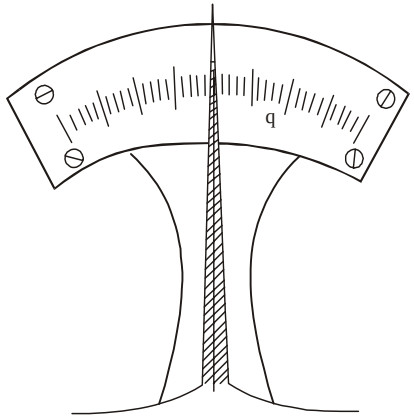
1) Las distancias entre el centro y los cuchillos C_1 y C_2 deben ser idénticas. Ellas forman los brazos de la balanza.

   Perpendicularmente a la línea del astil y al centro de este, se encuentra una aguja (F) denominada fiel que puede recorrer un pequeño cuadrante graduado (q) fijado en el soporte de la balanza. El punto cero de esta graduación corresponde al punto frente al cual debe quedar el fiel cuando la balanza está en equilibrio; las demás divisiones son simétricas, a ambos lados del cero (véase la Figura 31).

2) Cualquiera que sea la posición del astil, las fuerzas que actúan sobre los platillos son paralelas y tienen un resultante que se puede considerar aplicado en un punto G variable en relación con el astil. Tal punto (G) es el centro de gravedad del sistema móvil de la balanza.

   Para que el sistema quede en equilibrio en la posición horizontal del astil, es necesario que el punto G esté colocado en la vertical que pasa por el eje de suspensión de la balanza, es decir, por la arista del cuchillo C_1.

Figura 31



Cuadrante

3) La balanza mide la masa de los cuerpos directamente:

- los brazos de la balanza (C_1, C_2) son iguales;
- los platillos de la balanza (p) tienen pesos iguales;
- en un platillo se coloca el cuerpo y en el otro el peso patrón; así, el astil puede permanecer en posición horizontal;
- la fuerza aplicada en los platillos debe ser igual.

Sea P el peso del cuerpo y P_1 el peso patrón.

$$P = P_1$$

Sea M la masa del cuerpo y M_1 la del peso patrón.

g es la aceleración de la gravedad —idéntica en el cuerpo y el peso patrón— por estar en la misma posición geográfica.

$$P = M.g \text{ y } P_1 = M_1.g$$

Donde

$$M.g = M_1.g \text{ ó } M = M_1$$

4) Se llama *carga máxima de la balanza* a la mayor carga que se puede colocar en sus platillos sin producir la flexión del astil.

5) Toda balanza buena debe ser estable, exacta, fiel y sensible.

Estabilidad de la balanza

La balanza debe ser estable para que el instrumento retome la posición de equilibrio cuando la pierda. Para ello es preciso que el centro de la gravedad (G) del sistema móvil quede debajo del eje de suspensión. Si el centro de gravedad está sobre el eje de suspensión, el equilibrio será precario; es decir, la menor carga del platillo modificará la posición natural de equilibrio, la que no será retomada. Se dice entonces que la balanza está descompensada. Cuando el centro de gravedad coincide con el eje, el equilibrio será indiferente; el astil permanecerá en la posición en que se lo coloque.

Exactitud de la balanza

Se dice que una balanza es exacta cuando indica con exactitud las masas que pesa. En la balanza exacta, el astil no solo toma la posición horizontal cuando los platillos están vacíos sino también cuando sostienen masas iguales. Para verificar la exactitud de la balanza, se coloca cualquier objeto en uno de los platillos y se equilibra colocando en el otro platillo las pesas patrón. Si la balanza es exacta, el astil permanecerá en posición horizontal.

Para que una balanza sea justa:

- los brazos del astil deben ser exactamente iguales en tamaño y peso;
- los platillos también deben tener el mismo peso.

Si no se cumplen estas condiciones, el astil permanecerá en equilibrio aun cuando los pesos colocados en los platillos estén en razón inversa al tamaño (de los pesos) de los brazos.

Fidelidad de la balanza

La balanza es fiel cuando la posición de equilibrio del astil, bajo la acción de los mismos pesos, siempre es la misma y no depende de la posición de los platillos. Esto se puede verificar cuando las aristas de los cuchillos son paralelas, lo cual evita que el tamaño de los brazos varíe de un peso a otro.

Sensibilidad de las balanzas

La balanza es sensible cuando el astil se inclina considerablemente por la acción de un pequeño peso colocado en uno de sus platillos. El movimiento del fiel frente al cuadrante permite apreciar la sensibilidad de la balanza. Si la menor carga que determina un movimiento sensible del fiel fuera un miligramo, se dice que la balanza es sensible al miligramo.

Para que la balanza sea sensible se deben cumplir las siguientes condiciones:

1) Los brazos deben ser largos. Cuanto más largos sean los brazos, menor será la fuerza necesaria para su movimiento.

2) El peso del astil y el de los platillos debe ser el menor posible.

3) El centro de gravedad del sistema móvil debe permanecer lo más cerca posible del eje de suspensión.

6.2 Métodos de pesaje

Existen diversos métodos de pesaje, según las características de las balanzas o de la precisión que se quiera dar al peso.

Método de pesaje simple

Se coloca el cuerpo que se desea pesar en uno de los platillos de la balanza y en el otro, pesas patrón de un determinado peso hasta que el astil quede en posición horizontal. Se suman los valores de las pesas patrón y el total será el peso buscado. Este método se usa generalmente en el comercio y solo se debe aplicar cuando la balanza sea muy exacta y cuando no se desea mucha precisión.

Método de pesaje por sustitución (de margen)

Consiste en colocar el cuerpo que se desea pesar en uno de los platillos y la tara en el otro platillo de la balanza hasta obtener la posición horizontal del astil. Luego, se retira el cuerpo y se lo sustituye por pesas patrón hasta lograr nuevamente el equilibrio. La suma de los valores de las pesas patrón será el peso buscado. Este método se puede emplear incluso cuando la balanza no es exacta.

Método de doble pesaje (de Gauss)

Este método consiste en tomar el peso del cuerpo en uno de los platillos de la balanza y luego en el otro. Se multiplican los pesos

obtenidos y se extrae la raíz cuadrada del producto. El resultado de la operación es el peso buscado.

Por lo general, como la diferencia de pesos es mínima, se adopta como peso del cuerpo la media aritmética de los pesos (esto es, la suma de los dos pesos dividido entre dos).

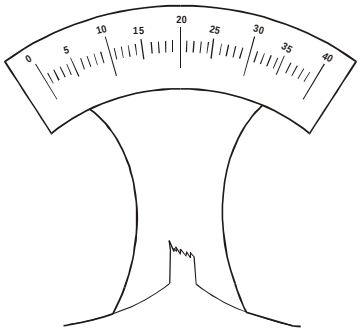
Método de pesaje por oscilaciones

Para aplicar este método se requiere un artificio.

Mentalmente, se hace el cuadrante numerado como en una escala a partir de la derecha o de la izquierda, en una secuencia.

Por ejemplo: Figura 32.

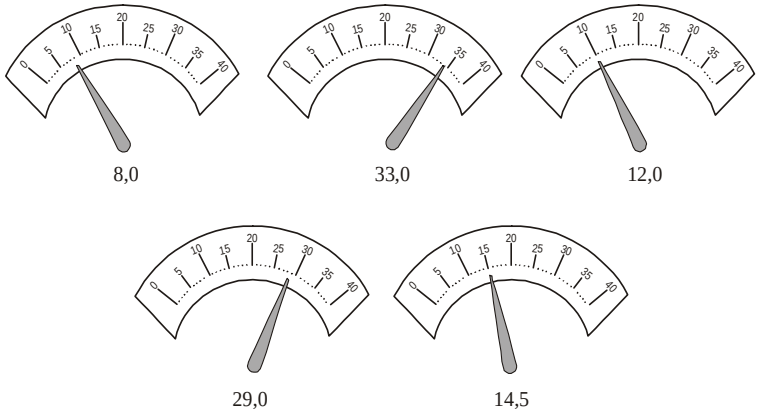
Figura 32



Valores en el cuadrante

1) Se deja libre la balanza vacía y se toman las primeras oscilaciones; se hacen cinco lecturas consecutivas de los puntos máximos alcanzados por el fiel, en el cuadrante, dos a la derecha y tres a la izquierda (o viceversa). Por ejemplo:

Figura 33



Los valores obtenidos a partir de la figura 33 fueron los siguientes: 8,0; 33,0; 12,0; 29,0; 14,5.

Los valores obtenidos a la izquierda de la balanza (en relación con el 20 del cuadrante) fueron los siguientes: 8,0; 12,0; 14,5.

Los valores obtenidos a la derecha de la balanza fueron los siguientes: 33,0; 29,0.

Se suman los valores obtenidos a la izquierda y se calcula la media aritmética.

8,0 + 12,0 + 14,5 = 34,5 34,5 : 3 = 11,5

Se suman los valores obtenidos a la derecha y se calcula la media aritmética.

33,0 + 29,0 = 62,0 62,0 : 2 = 31,0

Se calcula la media aritmética de las dos medias obtenidas.

11,5 + 31,0 = 42,5 42,5 : 2 = 21,25

21,25 es el punto teórico en el que la balanza dejaría de oscilar, sin carga; es decir, el fiel señalaría esta posición al dejar de oscilar.

Este punto se llama *punto cero*, *C*.

C = 21,25

2) Se coloca el objeto en el platillo de la izquierda de la balanza y los pesos correspondientes en el platillo de la derecha. Se coloca el dispositivo del fiel en el punto conveniente de mejor equilibrio del astil.

Si la suma de los pesos medidos es igual a 13,520 gramos, y el dispositivo del fiel, por ejemplo, está colocado en el punto 3 a la derecha del brazo,

el peso del objeto en este momento será: 13,523 g

Se deja libre la balanza, se toman las primeras oscilaciones y se hacen cinco lecturas como en (1).

Si fueran 32,0; 12,0; 31,5;14,0; 28,0.

Se repiten los cálculos realizados en (2).

Izquierda	**Derecha**
12,0 + 14,0 = 26,0	32,0 + 31,5 + 28,0 = 91,5
26,0 : 2 = 13,0	91,5 : 3 = 30,5

13,5 = 30,5 = 43,5
43,5 : 2 = 21,75

Este punto se llama *punto de equilibrio, E*.

E = 21,75

Teóricamente, es el punto en el que el fiel se detiene cuando la balanza deja de oscilar con las cargas. Obsérvese que cuando las pesas colocadas en los platillos de la derecha tienen exactamente el mismo peso que el objeto, el punto de reposo será igual a C = 21,25; E = 21,75, en consecuencia, a la derecha de C. Se concluye que falta peso en el lado derecho del brazo.

3) El dispositivo del fiel se coloca en el punto 4 de la regla del astil; de esta manera, se aumenta la masa del brazo derecho en un miligramo.

Se deja libre la balanza y se toman las primeras oscilaciones; se hacen cinco lecturas. Por ejemplo:

9,0; 32,0; 10,5; 31,0; 11,0.

Y se calcula tal como en (1) y (2).

Izquierda	**Derecha**
9,0 + 10,5 + 11,0 = 30,5	32,0 + 31,0 = 63,0
30,5 : 3 = 10,16	63,0 : 2 = 31,5

10,16 + 31,5 = 41,66

41,66 : 2 = 20,83

Con el aumento de un miligramo en el brazo derecho de la balanza, el punto teórico de reposo se movió a 20,83.

Se llama a este punto *punto de sensibilidad, S*.

En el ejercicio anterior, S = 20,83.

Se observa lo siguiente:

Si S fuera igual a C, el peso del objeto sería igual al de los pesos medidos (en este caso, 13,524 gramos).

Si E fuera igual a C, el peso del objeto sería igual al de los pesos medidos (en este caso, 13,523 gramos).

Como en el ejemplo E es mayor que C, falta peso calibrado en el brazo derecho de la balanza. Si S es menor que C, entonces, con el aumento de un miligramo de peso en el brazo derecho, el punto de reposo pasó a la izquierda de C.

En conclusión, el peso que se debería aumentar en el brazo derecho sería menor que un miligramo.

Pero cuando se aumentó un miligramo en el brazo derecho (3) el punto de reposo, que era $E = 21{,}75$, cambió a $S = 20{,}83$.

E – C = 21,75 – 21,25 = 0,5

solo se necesitará mover 0,5 rayas del cuadrante.

El peso que se va a aumentar se calcula de la siguiente forma:

1 mg mueve 0,92 rayas del cuadrante

para mover

x mg *0,5 rayas*

$$x = \frac{1 \times 0{,}5}{0{,}92} = 0{,}54 \text{ mg} = 0{,}00054 \text{ g}$$

El peso en (2) era 13,523 gramos. Si se suman 0,00054 gramos, necesarios para el reposo en C = 21,25, se concluye que el peso del objeto es de 13,52354 gramos. Según los cálculos, se verifica que la última posición decimal no es exacta (es aproximada).

El peso representado es siempre correcto hasta la penúltima posición decimal. La última es aproximada.

Cuando se indica que el peso debe ser de 2,000 gramos, ello significa que tal cantidad debe ser exacta hasta la tercera posición decimal; es decir, hasta los miligramos.

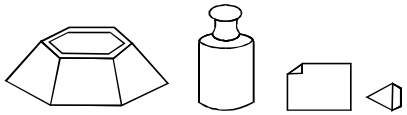
6.3 Cajas de pesas

Las pesas patrón —también conocidas como *pesas calibradas*—, que sirven para equilibrar los cuerpos que se van a pesar, se colocan en cajas que acompañan a las balanzas. Estas pesas se gradúan en gramos y forman series que permiten realizar combinaciones adecuadas para los diversos pesajes.

Cada serie tiene un peso igual a una unidad decimal, uno igual a la mitad de esta, dos iguales a la quinta parte y uno igual a la décima parte. Por ejemplo, una caja cuyo mayor peso es un kilogramo y el menor 0,1 gramos está conformada de la siguiente manera:

1 kg	–	500 g	–	200 g	–	200 g	–	100 g
100 g	–	50 g	–	20 g	–	20 g	–	10 g
10 g	–	5 g	–	2 g	–	2 g	–	1 g
1 g	–	0,5 g	–	0,2 g	–	0,2 g	–	0,1 g

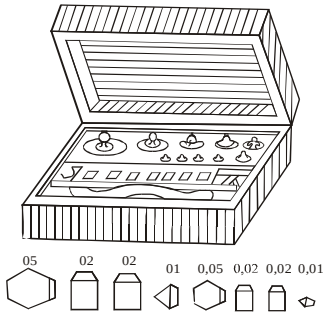
Figura 34



Distintas formas de pesas

Hasta un gramo, por lo general, las pesas tienen forma cilíndrica o de pirámide trunca. Las pesas inferiores a un gramo están conformadas por pequeñas placas metálicas (véase la Figura 34).

Figura 35



Esta manera de organizar la caja de pesas permite realizar pesajes desde el menor peso existente en la caja hasta el doble del mayor (véase la Figura 35).

6.4 Balanzas de precisión

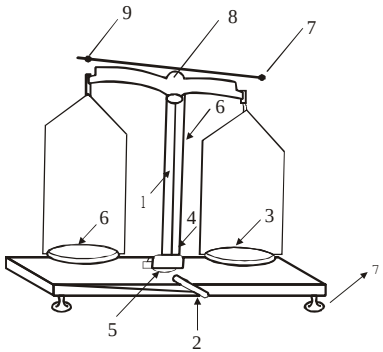
En los laboratorios se utilizan balanzas de mayor precisión:

- balanza técnica para pesos de hasta 0,01 gramos.
- balanza analítica para pesos de hasta 0,0001 gramos.

Balanza técnica (para pesos de hasta 0,01 gramos)

Por lo general, la balanza técnica está montada sobre una plataforma descubierta con tres tornillos especiales, como apoyo para nivelarla (véase la Figura 36).

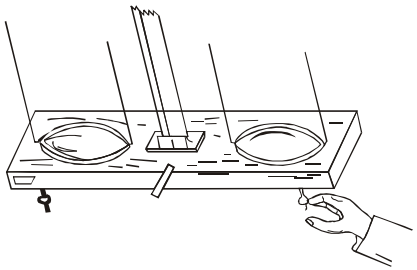
Figura 36



1 = columna metálica; 2 = viga de descanso; 3 = platillos; 4 = fiel; 5 = cuadrante; 6 = plomada; 7 = tornillos para nivelación; 8 = astil; 9 = tornillos para calibrar.

Para nivelar la plataforma mediante los tornillos de nivelación (7) (véase la Figura 36) se usa la plomada (6). La plataforma está nivelada cuando la punta de la plomada del hilo está exactamente sobre la punta de la plomada fija en la columna metálica (véase la Figura 37).

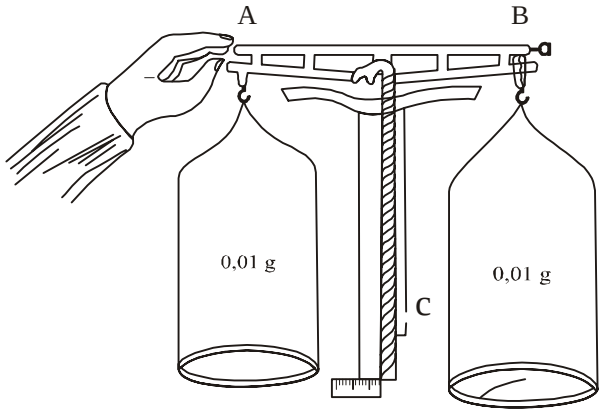
Figura 37



Una vez nivelada la plataforma de la balanza, no se debe cambiar de lugar. Será colocada en un lugar definitivo sobre una mesa libre de oscilación y protegida contra la humedad y el polvo.

Cuando la balanza está nivelada, se verifica si es exacta. Con ayuda de la viga de descanso (2) (Figura 36) se deja libre la balanza y se verifica si el fiel oscila simétricamente a ambos lados del cero del cuadrante. La oscilación se puede modificar mediante dos pequeños tornillos (A y B) colocados en los dos extremos del astil (véase la Figura 38).

Figura 38



En caso de ajuste, se debe dejar descansar el astil. Si el fiel se inclina hacia la izquierda, se debe guiar el tornillo de la derecha (B) hacia el centro del astil o el izquierdo (A), distanciado de este y viceversa.

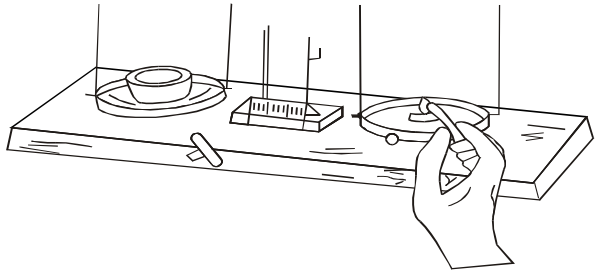
Si el fiel oscila de un lado a otro a través del cuadrante en igual número de división a partir de la mitad de la escala (o tiene una o dos divisiones más en una dirección que en otra), se puede considerar que la balanza está ajustada.

Reglas de pesaje

Los objetos que se van a pesar, así como las pesas, se deben colocar o sacar de los platillos con la balanza trabada.

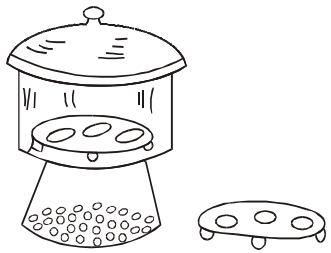
Los sólidos se pesan sobre un vidrio de reloj, un crisol o en una hoja de papel limpia, mientras que los líquidos se pesan en un pesafiltros o en un vaso (véase la Figura 39).

Figura 39



Los crisoles calientes o cápsulas se deben dejar enfriar, a temperatura ambiente, en aparatos para secar, antes de pesarlos (véase la Figura 40).

Figura 40



El aparato para secar es un envase de vidrio, de paredes gruesas, con tapa de vidrio adaptada por fricción. En el fondo se colocan sustancias que pueden absorber la humedad.

El objeto que se va a pesar se debe colocar en el platillo izquierdo de la balanza; se coloca en el platillo derecho un peso aproximadamente igual al del objeto con la ayuda de una pinza (véase la Figura 39). Si se trata de mucho peso, se sustituye por otro más bajo y así sucesivamente hasta que el objeto esté balanceado (el fiel debe oscilar igual número de divisiones hacia la izquierda y hacia la derecha desde el cero en el cuadrante).

La suma de las pesas en el platillo de la izquierda proporcionará el peso del objeto. Esta suma se puede realizar directamente con las pesas del platillo, a través de la verificación de aquellas pesas que estén ausentes en la caja de pesas, o bien de ambas maneras.

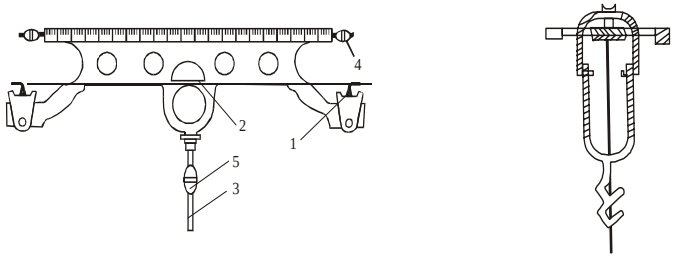
En una tarea, el pesaje se debe realizar con la misma balanza y serie de pesas.

Después de usar las pesas, se las debe volver a colocar en sus respectivos lugares con ayuda de una pinza.

Balanza analítica (para pesar hasta 0,0001 gramos)

Las balanzas analíticas están hechas para satisfacer de la mejor manera posible las condiciones de sensibilidad y exactitud. El astil de estas balanzas tiene una forma especial; en la parte superior cuenta con una regla vacía en la mayor parte de su interior para disminuir su peso. En los extremos se encuentran los cuchillos (generalmente de ágata) que sostienen los platillos (véase las Figuras 40a y b).

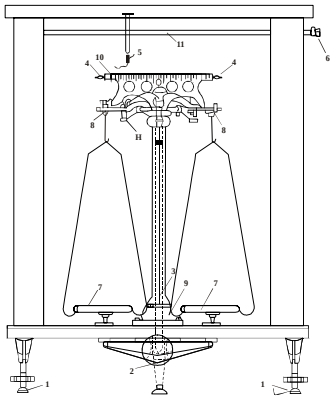
Figura 40a **Figura 40b**



a) astil; b) estribo de apoyo para los platillos; 1 = cuchillo (de ágata) para el apoyo de los platos; 2 = cuchillo (de ágata) del astil; 3 = fiel; 4 = tornillos para ajustar las oscilaciones; 5 = tornillo que permite desplazar el centro de gravedad para variar la sensibilidad.

Para evitar que las aristas de los cuchillos que sostienen el astil y los platillos se desgasten debido al roce contra el apoyo (también de ágata), conviene levantar los platillos y el astil cuando la balanza no está funcionando. Para esto hay una pieza; la horquilla (H) (véase la Figura 41) que se puede bajar o levantar por medio de un sistema de palancas movidas por la viga de descanso (2) (véase la Figura 41).

Figura 41



H = horquilla; 1 = tornillo para nivelación; 2 = viga de descanso; 3 = fiel; 4 = tornillo de calibración; 5 = pesaje del dispositivo del fiel; 6 = botón para hacer funcionar el asta que mueve el dispositivo del fiel; 7 = platillos; 8 = estribos; 9 = cuadrante; 10 = regla del astil donde se mueve el caballero; 11 = asta del sistema que hace mover el dispositivo del fiel.

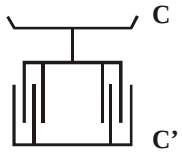
En el centro del astil hay una pequeña asta en forma de rosca en la que se puede mover una tuerca (5) (véase las Figuras 40a y b) que permite desplazar el centro de gravedad y de este modo variar la sensibilidad de la balanza.

Para evitar que la agitación del aire influya en las balanzas analíticas y que sus piezas se oxiden y desgasten, se acostumbra guardarlas en cajas de vidrio. Estas cajas, cuyas paredes son móviles, se deben conservar cerradas cuando se observe la posición de equilibrio de la balanza.

Para evitar que la humedad del aire entre en las cajas, se colocan sustancias higroscópicas: cal virgen, cloruro de calcio fundido, etcétera. Las balanzas analíticas oscilan muy fácilmente y solo después de varias oscilaciones llegan a su posición de equilibrio. Para disminuir estas oscilaciones se colocan amortiguadores (véase la Figura 42).

Por lo general, dichos amortiguadores están compuestos por campanas metálicas (C) suspendidas y móviles dentro de otras campanas (C) fijas y un poco más grandes que las primeras. El aire contenido en estas últimas opone resistencia al movimiento de las primeras y amortigua las oscilaciones de la balanza.

Figura 42



El dispositivo del fiel

Los pesos calibrados muy pequeños no son de fácil manejo debido a sus reducidas dimensiones. Para pesar masas inferiores al miligramo se procede como se describe a continuación.

Las balanzas analíticas llevan, en la parte superior del astil (véase la Figura 40a y b), una regla de tamaño exactamente igual a este y dividida a cada lado del brazo en 10 partes iguales. Cada división está marcada por una hendidura y la numeración se realiza a partir del eje de la balanza. Los pesos calibrados están conformados por hilos de platino (véase la Figura 43), que pesan respectivamente 0,01 gramos y 0,001 gramos, curvados de tal modo que pueden montarse sobre la regla. Estos hilos reciben el nombre de *dispositivos del fiel*.

Figura 43

Cuando se coloca el caballero de 0,001 gramos (un miligramo) en la división 10 de la regla —es decir, en el extremo del astil—, este hará equilibrio con una masa igual colocada en el platillo del otro brazo. Si el caballero se coloca en la división de la regla, aplicará su peso en un brazo de palanca 10 veces menor que el de la masa que se encuentra en el platillo del otro brazo. De esta manera, el caballero hará equilibrio al peso de 0,1 miligramos. En la división 2, 3, 4, etcétera, de la regla sucede lo mismo; el caballero equilibrará masas iguales a 0,2; 0,3; 0,4 miligramos, respectivamente. El caballero se puede usar sin necesidad de abrir la caja de la balanza mediante un asta móvil colocada en la parte superior de la caja de la balanza (5-11-6, véase la Figura 41).

Balanzas analíticas de un platillo

Hay balanzas analíticas eléctricas de un platillo con las siguientes características (véase la Figura 44):

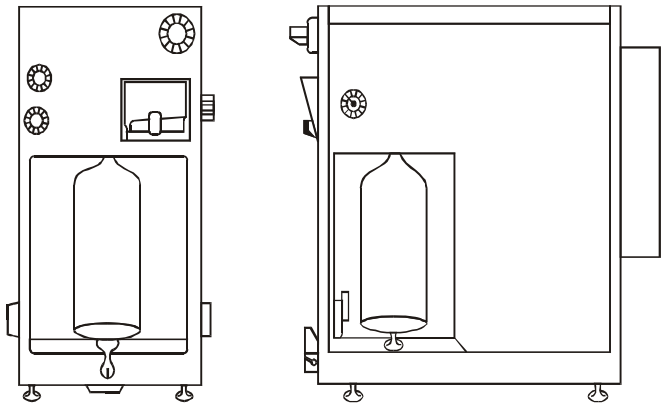
Capacidad: 0 a 160 ó 200 gramos
Precisión: aproximadamente 0,18 miligramos
Voltaje: 110, 130, 155, 220, 240 voltios 50 / 60 ciclos.

Calibración de pesas

Aunque las pesas analíticas se fabrican con un alto grado de precisión, se deben calibrar entre sí con cierta frecuencia para evitar las alteraciones producidas por el uso y el tiempo.

Todas las pesas de una caja deben ser compatibles entre sí; es decir, el peso de un gramo debe ser exactamente dos veces tan pesado como el de 0,5 gramos, cinco veces tan pesado como el de 0,2 gramos, etcétera. Esto es más importante que la precisión absoluta de las pesas tomadas aisladamente.

Figura 44



Como la caja de pesas contiene piezas del mismo peso nominal (por ejemplo, pares de 0,2 gramos o tres pesas de un gramo), ellas se deben distinguir mediante signos como puntos (véase la Figura 45).

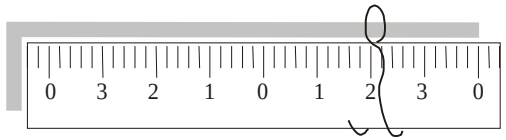
Figura 45

Para la calibración de las pesas, se debe realizar un pesaje doble a fin de eliminar el efecto de la diferencia entre las longitudes de los brazos de la balanza.

La calibración se puede realizar de las siguientes maneras:

- Tome la balanza.
- Con los platillos vacíos, calcule el punto cero *C*.
  Sea $C = 19,5$
- Se considera el peso del dispositivo del fiel (por ejemplo) como exacto; es decir, con el peso exacto de 0,01 gramos. Los demás se comparan con este.
- Se coloca el dispositivo del fiel en el punto 1 de la regla del astil (véase la Figura 46), en el lado derecho.

Figura 46



Use el proceso de oscilación para calcular el punto de equilibrio E, como hizo anteriormente.

Sea $E = 15,5$.

Para un peso correspondiente a un miligramo, el desvío del fiel en el cuadrante fue de

$$Z - E = 19,5 - 15,5 = 4,0 \text{ rayas}$$

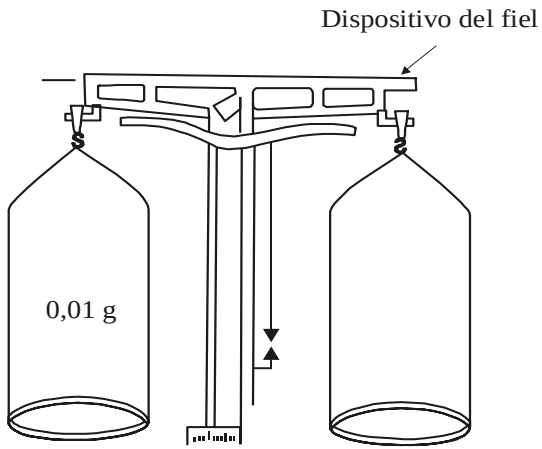
Por lo tanto, para cada raya desviada se necesita:

$$\frac{1 \text{ mg}}{4} = 0,25 \text{ mg} = \text{sensibilidad de la balanza } S$$

$$S = 0,25$$

Coloque una pesa de 10 miligramos (0,01 gramos) en el platillo de la izquierda de la balanza y el dispositivo del fiel en el brazo de la derecha, en el punto 10 (véase la Figura 47).

Figura 47



Con el método de las oscilaciones se determina el punto E para el brazo de la derecha.

$$Sea \quad E1_1 = 19,8$$

Se coloca la pesa de 0,01 gramos en el brazo derecho de la balanza y el caballero en el punto 10 de la regla del brazo izquierdo de la balanza. El $E1_2$ se determina por oscilación.

$$Sea \quad E1_2 = 20,3$$

Se demuestra que la diferencia del P_1 (peso examinado; en este caso, 0,01 gramos) y del P_2 (peso del caballero) es la siguiente:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} (E1_1 - E1_2) S$$

donde *S* es la sensibilidad de la balanza, que, como se ha visto, es igual a 0,25:

$$S = 0,25$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} (19,8 - 20,3) \; 0,25 = -0,06 \; mg$$

Se observa lo siguiente:

$E1_1$ (19,8) está en el mismo lado que la pesa de 0,01 gramos (al lado opuesto al dispositivo del fiel; lado izquierdo) y $E1_2$ (20,3) también está en el mismo lado de la pesa (lado opuesto al dispositivo del fiel; lado derecho).

Se concluye que la pesa de 10 miligramos es 0,06 más ligera que el dispositivo del fiel (de signo negativo).

En relación con el dispositivo del fiel, su peso será:

$$10,000 - 0,6 \; mg = 9,940 \; mg \;\; ó \;\; 0,00994 \; g$$

La siguiente pesa que se va a calibrar será la de 20 miligramos, señalada con un punto (como en la Figura 45). Esta se coloca en el brazo izquierdo de la balanza, y en el brazo derecho (en el punto 10 de la regla), el dispositivo del fiel; en el plato, va la pesa ya calibrada de 10 miligramos (cuyo peso proporcional al dispositivo del fiel es de 9,940 miligramos).

El punto de reposo se determina mediante oscilaciones.

Dado $E1_1 = 20,5$

Las pesas se cambian de lado y, nuevamente, se encuentra el punto de reposo por oscilaciones.

Dado $E1_2 = 19,5$

Se observa lo siguiente:

En los dos casos, el punto de reposo se encuentra en el lado contrario a la pesa de 20 miligramos (en el lado del dispositivo del fiel más la pesa de 10 miligramos). Entonces, la pesa de 20 miligramos (señalada con un punto) es más pesada que la suma de las pesas de 10 miligramos más el dispositivo del fiel.

Esto se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\,(E1_1 - E1_2)\ 0{,}25$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\,(20{,}5 - 19{,}5)\ 0{,}25 = +\ 0{,}12\ mg$$

P_1 es la pesa de 20 miligramos (señalada con un punto).

P_2 es la pesa de 10 miligramos más el peso del dispositivo del fiel.

$$P_1 = P_2 + 0{,}12\ mg$$

$$P_1 = 9{,}94 + 10{,}00 + 0{,}12 = 20{,}06\ mg$$

$$P_1 = 20{,}06\ mg$$

La pesa de 20 miligramos señalada con un punto tiene un peso proporcional al dispositivo del fiel de 20,06 mg.

Para calibrar la pesa de 20 miligramos señalada con dos puntos, se la coloca en el brazo izquierdo y la de veinte miligramos señalada con un solo punto, en el brazo derecho. Se halla el $E1_1 - E1_2$ y se calcula el peso. Todas las pesas se calibran así sucesivamente.

Se programa una tabla de correcciones que se deja en la caja de pesas o en la pared próxima a la balanza. El peso del objeto comparado con los de esa caja va a ser la sumatoria de las pesas corregidas. Así, un objeto que se equilibró con el dispositivo del fiel en el punto 3, la pesa de 10 miligramos y la de 20 miligramos (punto 1) tendrá el siguiente peso:

$$P.\ objeto = 3{,}00 + 9{,}94 + 20{,}06 = 33{,}00\ mg$$

6.5 Calibración de pipetas volumétricas

Si se desea tener mayor calibración en las medidas, se puede calibrar las pipetas volumétricas.

Material necesario:
una balanza analítica;
papel de filtro, y
solución sulfocrómica.

Material de vidrio:
pipeta que va a ser calibrada;
un vaso de 100 mililitros.

Etapas de la calibración

1) Limpie bien el vaso y la pipeta que va a ser calibrada con la solución sulfocrómica (véase la Figura 48).
   a) Coloque la solución en el vaso y con esa solución llene la pipeta (véase la Figura 49) a través de un tubo de jebe o con la ayuda de una bombilla.
   b) Doble o cierre el tubo de jebe con una pinza.
   c) Sumerja por algún tiempo la punta de la pipeta en la mezcla sulfocrómica.
   d) La pipeta debe permanecer llena durante cinco minutos como mínimo.
2) Retire la mezcla de la pipeta, así como la del vaso.
3) Lave bien la pipeta y el vaso con agua corriente y luego con agua destilada.

Figura 48

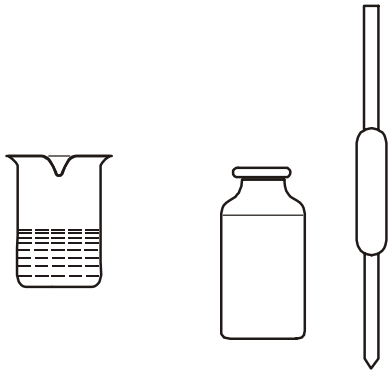
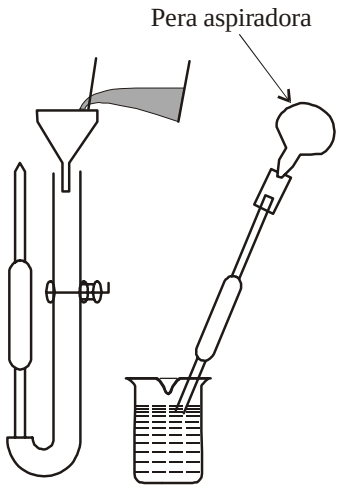


Figura 49



4) Seque bien el vaso, péselo y anote el peso del vaso vacío.

5) Llene la pipeta volumétrica con agua destilada hasta que el nivel sea ligeramente superior a la marca del volumen (véase la Figura 50).

6) Seque con papel de filtro la parte externa de la pipeta.

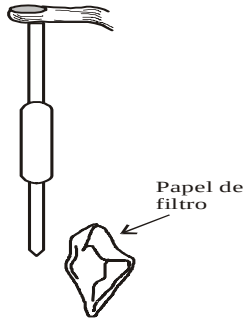
7) Deje caer el menisco hasta el trazo de referencia.

8) Deje gotear el agua lentamente de la pipeta al vaso. Al llegar a la parte dilatada se acelera la salida del agua. Deje gotear lentamente cuando se elimine lo que queda de agua en la pipeta.

9) Espere 30 segundos y toque la punta de la pipeta en la superficie del líquido del vaso.

10) Pese el vaso que contiene agua.

Figura 50



Dado que:

P_1 = *peso del vaso vacío*

P_2 = *peso del vaso con agua*

m = *masa del líquido*

$$P_2 - P_1 = m$$

El volumen de la pipeta se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{m}{d}$$

donde:

V = volumen de la pipeta;

m = masa del líquido, y

d = densidad del agua.

Nota: la pipeta calibrada con este procedimiento es de uso del calibrador. Se debe conservar con el rótulo y especificar su volumen calibrado. Se puede usar el mismo procedimiento para calibrar otros equipos de medición volumétrica.

CAPÍTULO 14

SUGERENCIAS PARA INFORMES DIARIOS DE REGISTRO SOBRE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA

Para realizar los informes diarios de registro, presentamos las siguientes sugerencias:

Registro diario de análisis

En este informe se registran las determinaciones principales en el control del tratamiento de agua.

El llenado minucioso del formato de registro diario de análisis es importante para elaborar el informe mensual y anual de los trabajos realizados en la planta de tratamiento de agua.

Casa de química

Incluye el control general del material utilizado en el tratamiento del agua: sulfato, cal, cloro, flúor, etcétera.

Sección de filtros

Incluye el control general de los filtros. Debe poseer una cantidad de columnas correspondiente al número de filtros de la planta de tratamiento de agua.

Las diferentes secciones del informe se relacionan y se apoyan mutuamente cuando se llenan adecuadamente.

Por ejemplo: un cambio de pH en el agua coagulada se presenta del siguiente modo:

a) Cambio de calidad del agua cruda.

b) Cambio de caudal de la planta de tratamiento de agua.

c) Obstaculización o falla en los dosificadores.

d) Cambio de dosificadores, etc.

Nota: se pueden agregar otros tipos de informaciones según el tipo de control que se desee realizar pero, en general, se deben abordar los siguientes puntos:

a) Las condiciones actuales del agua cruda, coagulada, floculada, decantada, filtrada, clorada y corregida.

b) El tratamiento y eficacia en la consecución de determinada calidad del agua.

c) Comportamiento general de los filtros.

d) Consumo de coagulantes.

e) Costo del tratamiento, etc.

Los informes se deben adaptar al tipo de planta de tratamiento de agua.

A título de ejemplo, presentamos los siguientes modelos:

PLANTA DE TRATAMIENTO

CONTROL DE PROCESOS Y PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

MES: …….. AÑO:……..

Día	ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS																
	Agua cruda						Agua decantada				Agua filtrada			Agua tratada			
	Turbidez	Color	Alcalinidad	Temperatura	pH	Caudal	Turbidez	Color	Alcalinidad	pH	Turbidez	Color	pH	Turbidez	Color	pH	Cloro residual
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	

PLANTA DE TRATAMIENTO

CONTROL DE TRATAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

MES:..... AÑO:.....

DÍA	DOSIFICACIÓN (MG/L)			CONSUMOS (MG/L)		
	SULFATO DE ALUMINIO	CAL	CLORO LÍQUIDO	SULFATO DE ALUMINIO	CAL	CLORO LÍQUIDO
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						

PLANTA DE TRATAMIENTO

CONTROL DE LA BATERÍA DE FILTROS DE TASA DECLINANTE

AÑO:.....

FECHA	OPERACIÓN DE LAVADO			
	HORA	FILTRO	CARRERA	OBSERVACIONES

PLANTA DE TRATAMIENTO

CONTROL DE LA OPERACIÓN DE FILTROS DE TASA CONSTANTE

AÑO:……

FECHA	OPERACIÓN DE FILTROS DE TASA CONSTANTE									
	HORA	F-1		F-2		F-3		F-4		OBSERVACIONES
		To	hf	To	hf	To	hf	To	hf	

Nota: To = turbidez, hf = pérdida de agua.