

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE CAPTACIONES POR GRAVEDAD DE AGUAS SUPERFICIALES



**Organización
Panamericana
de la Salud**



*Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud*

**ÁREA DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y
SALUD AMBIENTAL**



**Centro Panamericano de
Ingeniería Sanitaria y
Ciencias del Ambiente
CEPIS/OPS**



Lima, 2004

El presente documento fue elaborado por el consultor ingeniero Juan Moreno, para la Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Tabla de contenido

| | Página |
|--|---------------|
| 1. Objeto | 4 |
| 2. Definiciones | 4 |
| 3. Aplicación | 4 |
| 4. Requisitos previos | |
| 4.1 Calidad del agua | 4 |
| 4.2 Cantidad de agua | 5 |
| 4.3 Reconocimiento geológico superficial | 6 |
| 4.4 Estudios Geotécnicos..... | 6 |
| 4.5 Levantamiento topográfico..... | 6 |
| 4.6 Estudios complementarios..... | 6 |
| 5. Tipos de captación | |
| 5.1 Canal de captación | 7 |
| 5.2 Captación de toma lateral | 7 |
| 5.3 Captación de toma en dique | 7 |
| 6. Parámetros de diseño | |
| 6.1 Caudal de diseño | 11 |
| 6.2 Determinación del nivel del río | 11 |
| 7. Estudio de las condiciones del lecho del río y dimensionamiento de las obras de estabilización | 11 |
| 8. Diseño de los elementos constitutivos de la obra de captación | |
| 8.1 Dispositivos para el mantenimiento del nivel..... | 11 |
| 8.2 Bocatoma..... | 12 |
| 8.3 Rejas | 13 |
| 8.4 Caja de captación..... | 16 |
| 8.5 Canal de derivación | 15 |
| 8.6 Dique-toma | 16 |
| 8.7 Dispositivos de regulación y control | 18 |
| 8.8 Dispositivo de medición | 19 |
| Bibliografía | 20 |

Especificaciones técnicas para el diseño de captaciones de agua superficial

1. Objeto

Normalizar el diseño de sistemas de captación por gravedad de aguas superficiales.

2. Definiciones

- **Obra de captación:** Consiste en una estructura colocada directamente en la fuente, a fin de captar el gasto deseado y conducirlo a la línea de aducción.
- **Represa de nivel:** Obra ejecutada en un curso de agua para elevar el nivel del curso superficial a una cota determinada
- **Enrocamiento:** Represamiento de nivel constituido de bloques de roca, colocados en el curso de agua.
- **Bocatoma:** Conjunto de dispositivos destinados a conducir el agua de la fuente superficial para las demás partes constituyentes de la captación.

3. Aplicación

El empleo de estas captaciones será aplicado en aguas superficiales de desplazamiento continuo tales como ríos, quebradas, tributarios y canales de irrigación.

4. Requisitos previos

4.1 *Calidad del agua*

- Deberá determinarse la calidad física, química y bacteriológica de la fuente y los parámetros básicos de análisis de agua que se recomienda determinar (tabla 1).
- La duración y extensión de estos estudios está en función de los siguientes factores locales: formación geológica de la fuente; usos del suelo y cuerpo de agua; existencias de industrias, agroindustrias, minería; costumbres locales, etc.
- Para definir los criterios de calidad para la selección de la fuente, se recomienda seguir la clasificación de aguas crudas realizada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 1992).
- Debe identificarse los puntos de contaminación de la fuente aguas arriba, del posible emplazamiento de la captación y evaluarse el impacto que originan en la calidad del agua que se abastecerá a la población.
- Se deben desechar las fuentes superficiales cuyas características pongan en riesgo la calidad del agua abastecida a la población e incrementen los costos de tratamiento.
- De acuerdo a la calidad de agua de la fuente, se debe seleccionar la tecnología de tratamiento del agua para consumo humano.

Tabla 1. Análisis Básicos Recomendables

| Parámetro | Unidad |
|------------------------------------|--|
| A. Análisis Físicos | |
| Turbidez | U.N.T. |
| Color | Escala Pt-Co |
| Olor | - |
| Sabor | - |
| Temperatura | °C |
| Sólidos totales disueltos | mg/L |
| B. Análisis Químicos | |
| Arsénico | mg As ⁺ /L |
| Cromo (hexavalente) | mg Cr ⁺⁶ /L |
| Cianuro | mg CN ⁻ /L |
| Plomo | mg Pb/L |
| Mercurio | mg Hg/L |
| Cadmio | mg Cd/L |
| Dureza total | mg CaCO ₃ /L |
| Calcio | mg Ca ²⁺ /L |
| Manganeso | mg Mn ²⁺ /L |
| Hierro | mg Fe ²⁺ /L |
| Sulfatos | mg (SO ₄) ²⁻ /L |
| Cloruros | mg Cl ⁻ /L |
| Magnesio | mg Mg ²⁺ /L |
| Nitratos | mg (NO ₃) ⁻ /L |
| Nitritos | mg (NO ₂) ⁻ /L |
| pH | unidad |
| C. Análisis Bacteriológicos | |
| Coliformes totales | NMP/100 ml |
| Coliformes termorresistentes | NMP/100 ml |

4.2 Cantidad de agua

- Deberá obtenerse registros de escorrentía de la cuenca en estudio; y a falta de ellos, datos referentes a cuencas próximas y semejantes para estudios de correlación entre ellas. Del examen de estos registros se deberán determinar los valores de caudal máximo, mínimo y medio de la fuente.
- Se deberá complementar esta información con mediciones de caudal o aforos de la fuente, al menos dos veces en diferentes épocas del año. Un aforo imprescindible en época de estiaje y otros complementarios, dependiendo del tipo de fuente y el tipo de obra de toma seleccionada.

- Deben ser cuidadosamente investigadas las fluctuaciones de nivel de las masas de agua para evitar problemas relacionados con los niveles mínimos que aseguren la captación y de los máximos para que no peligre la estabilidad de las obras.
- En el caso que no existan datos suficientes sobre la escorrentía del curso, la información de los ribereños respecto a los ciclos de sequías extremas, puede ser de gran utilidad.
- Al evaluar la fuente, se debe tener la seguridad que el caudal mínimo a través de ella sea mayor al caudal máximo diario del sistema de abastecimiento, caso contrario se debe pensar en construir un sistema de regulación.

4.3 Reconocimiento geológico superficial

Deberá realizarse un reconocimiento geológico del lugar donde será emplazada la captación para determinar las posibles fallas geológicas, zonas de deslizamiento y de hundimiento.

4.4 Estudios geotécnicos

Los estudios geotécnicos deberán determinar las condiciones de estabilidad y resistencia admisible de los suelos, para considerar las precauciones necesarias en el diseño de obras civiles.

Además, los datos referentes a los tipos de suelo serán necesarios para estimar los costos de excavación, los cuales serán diferentes para los suelos arenosos, gravosos, rocosos y otros.

4.5 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico constituye la determinación de la morfología del terreno y del cauce del agua, en el lugar del proyecto. Para el efecto se determinará, empleando cualquiera de los métodos conocidos.

4.6 Estudios complementarios

Es también importante el conocimiento de otras características del río, que incidirán en el diseño de la obra de captación, tales como contenido normal de arena, arrastre de sedimentos durante las crecidas, magnitud del material de arrastre, etc.

Esta información será útil para la selección del dispositivo de captación más aconsejable, en función del grado y tipo de material arrastrado, la magnitud de las fuerzas de empuje e impacto sobre las estructuras y las previsiones en cuanto al material a utilizar en su construcción, para evitar daños mayores a las mismas.

5. Tipos de captación

5.1 Canal de derivación

Consiste en simples bocatomas acopladas a un canal de derivación. Se utilizarán en ríos de gran caudal en los cuales los mínimos de estiaje aportan el tirante de agua necesario para derivar el caudal requerido. Deberán preverse rejas, tamices y compuertas para evitar el ingreso de sólidos flotantes. Son recomendables en zonas de muy baja pendiente (véase figura 1).

El canal de derivación se construirá sobre tramo rectilíneo o en tramo de transición entre curvas del curso superficial para el nivel mínimo de aguas.

5.2 Captación de toma lateral

Es la obra civil que se construye en uno de los flancos del curso de agua, de forma tal, que el agua ingresa directamente a una caja de captación para su posterior conducción a través de tuberías o canal (véase figura 2).

Este tipo de obra debe ser empleada en ríos de caudal limitado y que no produzcan socavación profunda. La obra de toma se ubicará en el tramo del río con mayor estabilidad geológica, debiendo prever además muros de protección para evitar el desgaste del terreno natural.

La obra de toma lateral, también es empleada en presas derivadoras. La toma se localiza lateralmente a la presa o en cualquier punto del perímetro del vaso de agua.

5.3 Captación de toma en dique

Es la obra civil que consiste en un dique de represamiento construido transversalmente al cauce del río, donde el área de captación se ubica sobre la cresta del vertedero central y está protegida mediante rejas que permiten el paso del agua (véase figura 3).

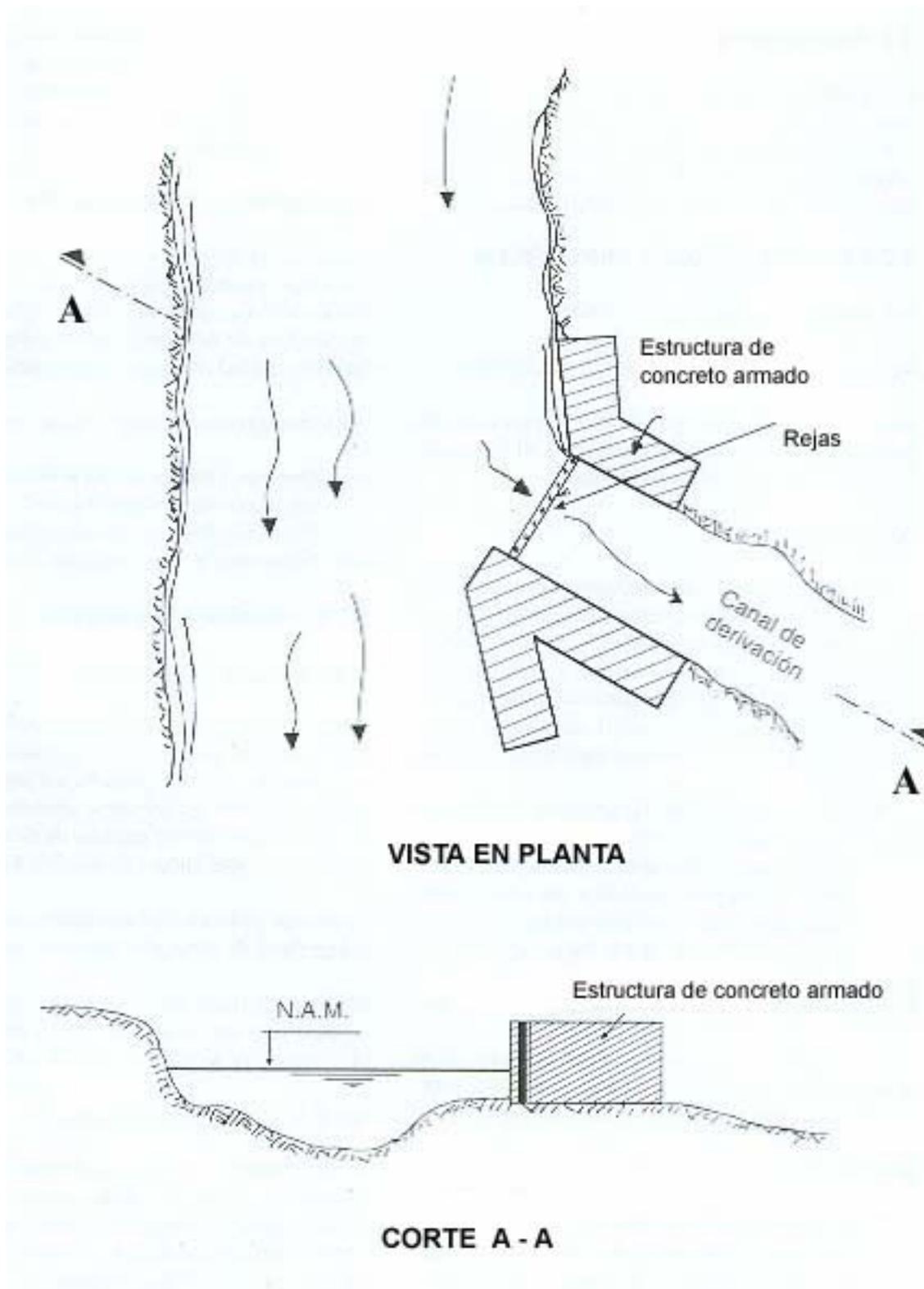


Figura 1: Canal de derivación

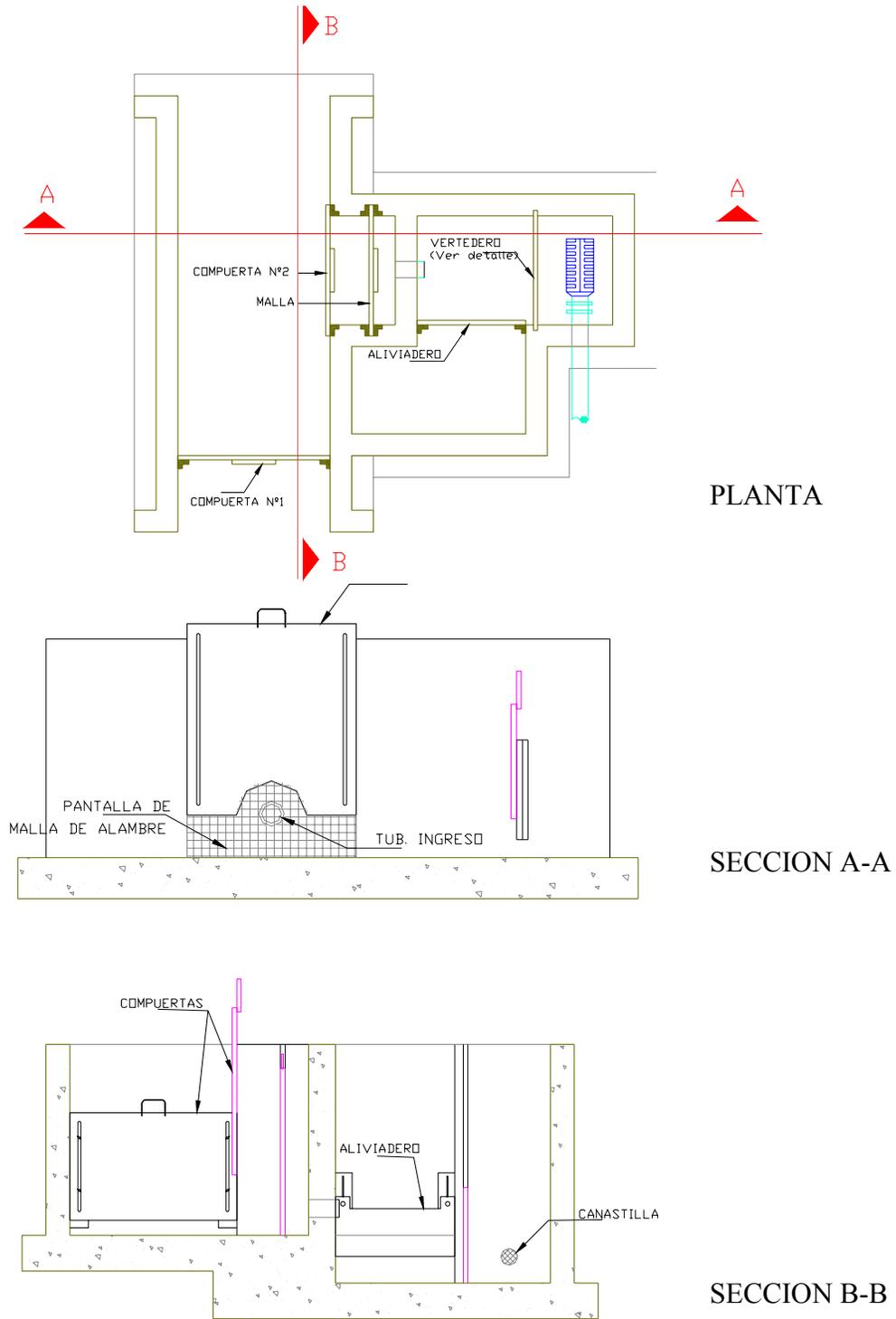
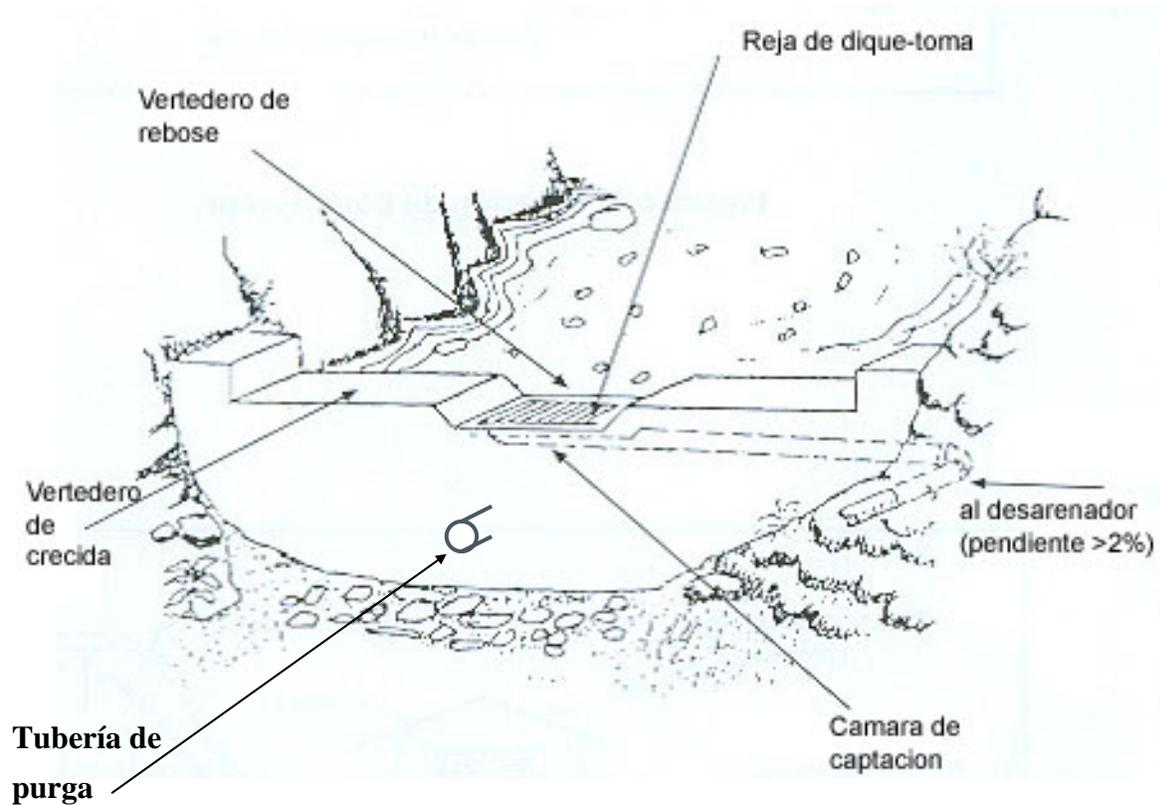
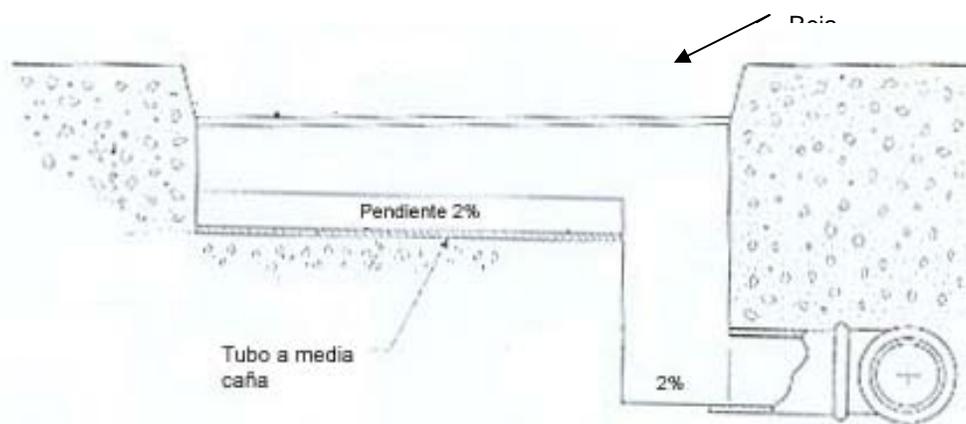


Figura 2. Obra de toma lateral



SECCIÓN TRANSVERSAL



DETALLE DE CÁMARA DE CAPTACIÓN

Figura 3: Captación en toma-dique

Se aconseja su empleo en ríos de poco caudal y gran pendiente. Deberán ser construidos en el lecho del río de forma que no alteren su perfil longitudinal. Estas obras también son construidas en el fondo de los ríos.

6. Parámetros de diseño

6.1 Caudal de diseño

Para un sistema por gravedad se debe considerar el caudal máximo diario para la población de diseño.

6.2 Determinación del nivel del río

Deberá obtenerse los niveles máximos y mínimos anuales en estaciones hidrológicas cercanas; en el caso de falta de datos hidrológicos se debe investigar niveles en periodos de avenidas y estiaje, apoyándose en información de personas conocedoras de la región.

7. Estudio de las condiciones del lecho del río y dimensionamiento de las obras de estabilización

Deben ser verificadas las condiciones de la sección del curso de agua en cuanto a la necesidad de su estabilización, en especial en los casos en que se presentan con bajas pendientes o se encuentren sujetas a un régimen muy variable de flujos.

Las obras de protección de la sección del curso de agua deben ser proyectadas teniendo en cuenta los flujos máximos, y dimensionadas, teniendo en cuenta las condiciones hidráulicas aguas arriba y aguas abajo del trecho a ser estabilizado.

8. Diseño de los elementos constitutivos de la captación

8.1 Dispositivos de mantenimiento de nivel

Son obras ejecutadas en un río o en curso superficial estrecho, ocupando toda su anchura, con la finalidad de elevar el nivel de agua en la zona de captación y asegurar el sumergimiento permanente de la toma de agua.

Se pueden emplear presas, vertederos o colocar piedras en el lecho del río, constituyendo lo que se denomina enrocamiento. No se deben construir en ríos profundos con gran superficie de agua.

La memoria del proyecto debe contener la demostración del comportamiento hidráulico de la represa de nivel para el caudal máximo del curso de agua, con la indicación de las condiciones desfavorables de su funcionamiento.

8.2 Bocatoma

Cuando se capta el agua derivando un curso superficial, la bocatoma consiste en una estructura acoplada al canal de derivación, donde se encuentran empotradas las rejas que permiten el paso del agua y retienen los sólidos flotantes (véase figura 1).

Para la toma de agua en obras de captación lateral, puede emplearse una tubería o ventana sumergida que deberá ubicarse a la máxima altura posible para evitar ser alcanzada por los sedimentos, a la vez, deberá situarse a una suficiente profundidad para recoger el agua más fría y evitar que el dispositivo se inutilice por el hielo en los climas rigurosos. Además, deberá protegerse con una rejilla que sirva para evitar el paso de sólidos flotantes (véase figura 2).

En diques-toma, la entrada de agua debe ubicarse en la cresta del vertedero protegido por un barraje. El agua captada ingresa a una cámara de captación que conduce el agua al pretratamiento (véase figura 3).

La velocidad en los conductos libres o forzados de la toma de agua no debe ser inferior a 0,60 m/s.

8.3 Rejas

El área efectiva de paso a través de las rejas será dos veces el área necesaria para el ingreso del caudal de diseño.

El área total de la reja se calculará considerando el área de las barras metálicas y el área efectiva del flujo de agua.

Entonces:

$$A_t = A_s + A_f$$

Siendo:

$$A_s = n s l$$

$$A_f = \frac{cQ}{kVa}$$

Donde:

| | | |
|----|---|--|
| At | = | Área total de la rejas (m ²) |
| As | = | Área total de las barras metálicas (m ²) |
| Af | = | Área necesaria de flujo (m ²) |
| N | = | Número de barras |
| s | = | Ancho de cada barra (m) |
| l | = | longitud de cada barra (m) |
| c | = | Coefficiente de mayoración por efectos de colmatación: c=1.5-2. |
| k | = | Coefficiente de contracción de la vena de agua k= 0,82 (barras rectangulares). k= 0,9 (barras circulares) k= 0,98 (barras con curvas parabólicas) |
| Q | = | Caudal de diseño (m ³ /s) |
| Va | = | Velocidad de aproximación Va = 0,6 a 1,0 para flujo laminar |
| Va | = | Variable para flujo turbulento, deberá determinarse en el río. |

Para cursos de agua sujetos a régimen torrencial y cuando los cuerpos flotantes de gran tamaño puedan dañar a las rejas finas, debe ser prevista la instalación de rejas gruesas.

Las rejas gruesas deben ser colocadas en el punto de ingreso de agua en la captación, seguidas por rejas finas y mallas.

El espaciamiento entre barras paralelas debe ser de 7,5 cm a 15 cm para las rejas gruesas, y de 2 cm a 4 cm para las rejas finas. Las mallas deben tener de 8 a 16 filos por decímetro.

Las gradas o mallas sujetas a limpieza manual exigen la inclinación de 70° a 80° en relación a la horizontal, y pasadizo para fácil ejecución.

En la sección de paso, correspondiente al nivel mínimo de agua, el área de abertura de rejas debe ser igual o superior a 1,7 cm² por litro por minuto, de modo que la velocidad resultante sea igual o inferior a 10 cm/s, siendo las pérdidas de carga estimadas, admitida a la obstrucción del 50% de la sección de paso.

La pérdida de carga en las rejas y malla es determinada por:

$$h = k \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- h = pérdida de carga (m)
V = velocidad media de aproximación (m/s)
g = aceleración de la gravedad (m/s²).
k = coeficiente de pérdida de carga, función de la geometría de las rejás.

En rejás el coeficiente de pérdida de carga es determinado por:

$$k = \beta \left(\frac{s}{b} \right)^{1.33} \operatorname{sen} \alpha$$

Donde:

- β = coeficiente, función de forma de la barra (véase figura 4)
b = distancia libre entre barras
 α = ángulo de la reja en relación con la horizontal

En mallas el coeficiente de pérdida de carga es determinado por la expresión:

$$k = 0.55 \frac{1 - \xi^2}{\xi^2}$$

Donde:

- ε = porosidad, relación entre el área libre y el área total de la malla, siendo

a) para malla cuadrada

$$\varepsilon = (1 - nd)^2$$

b) para malla rectangular

$$\varepsilon = (1 - n_1 d_1)(1 - n_2 d_2)$$

Donde:

- n, n1, n2 = número de filos por unidad de longitud.
d, d1, d2 = diámetro de los filos.

8.4 Caja de captación

Elemento estructural de las obras de toma lateral, mediante el cual se reparte el caudal deseado a los demás componentes de la captación y el caudal remanente es retornado al río a través de un aliviadero. El diseño del aliviadero es para el flujo máximo.

8.5 Canal de derivación

El canal de derivación se construirá para conducir al agua desde la bocatoma hasta una cámara colectora, desarenador o planta de tratamiento.

Los canales deberán ser construidos cuidando que la velocidad no ocasione erosión ni sedimentación de material.

En los canales revestidos la velocidad deberá ser menor a 0,6 m/s para evitar la sedimentación de sólidos suspendidos.

Para el cálculo hidráulico de canales se empleará la ecuación de continuidad:

$$Q = vA$$

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| Q | = | Caudal a través del canal (m ³ /s) |
| A | = | Superficie de la sección del agua (m ²) |
| V | = | Velocidad de escurrimiento del agua (m/s) |

La superficie se calculará mediante fórmulas geométricas de acuerdo a la forma del canal, y la velocidad por medio de cualquiera de las siguientes fórmulas:

a) Fórmula de Manning

$$V = \frac{R^{2/3} s^{1/2}}{n}$$

b) Fórmula de Bazin

$$V = \frac{87 R s^{1/2}}{\gamma + R^{1/2}}$$

Donde:

$$R = \frac{A}{P_H}$$

| | | |
|----|---|--|
| V | = | Velocidad de agua (m/s) |
| R | = | Radio hidráulico (m) |
| A | = | Superficie de la sección del agua de escurrimiento (m ²) |
| Ph | = | Perímetro mojado del agua (m) |
| s | = | Pendiente del canal en un tramo (m/m) |
| n | = | Coefficiente de Manning |
| γ | = | Coefficiente de bazin |

8.6 Dique - toma

El vertedero central o de rebose debe ser diseñado para permitir el gasto medio de la fuente superficial, y el vertedero de crecida para permitir el paso del gasto máximo aforado y evitar socavaciones en las laderas y fundaciones del dique.

Para calcular la altura (H) sobre el vertedero y el caudal de captación (Qc) se recomienda emplear las siguientes fórmulas:

$$Q_{\min} = 1.84 L H^{3/2}$$

v

$$Q_c = C A \sqrt{2gH}$$

Donde:

| | | |
|----|---|---|
| H | = | Carga que el gasto mínimo de aforo crea sobre la cresta del vertedero (m) |
| Qc | = | Caudal deseado (m ³ /s) |
| A | = | Área de captación (m ²) |
| L | = | Longitud del vertedero (m) |
| C | = | Coefficiente de gasto. |

✓ Dimensionamiento del Dique

El dimensionamiento de la sección transversal del dique debe asegurar la protección contra los efectos de volcamiento y deslizamiento causado por el empuje hidráulico, empuje de sedimentos e impactos sobre el dique (véase figura 5).

Las fuerzas de impacto pueden calcularse por la ecuación de cantidad de movimiento $CM = mv$, estimada la velocidad máxima del río, y el tamaño, peso y velocidad de los objetos arrastrados.

Para asegurar la estabilidad estructural del dique se debe verificar los siguientes aspectos:

a) Posición de la resultante

La línea de acción de las fuerzas actuantes sobre el dique debe pasar por el tercio central de su base; por lo tanto, se debe cumplir la siguiente relación:

$$c/3 \leq e \leq 2c/3$$

Donde “e”, es la excentricidad y se expresa por la siguiente relación:

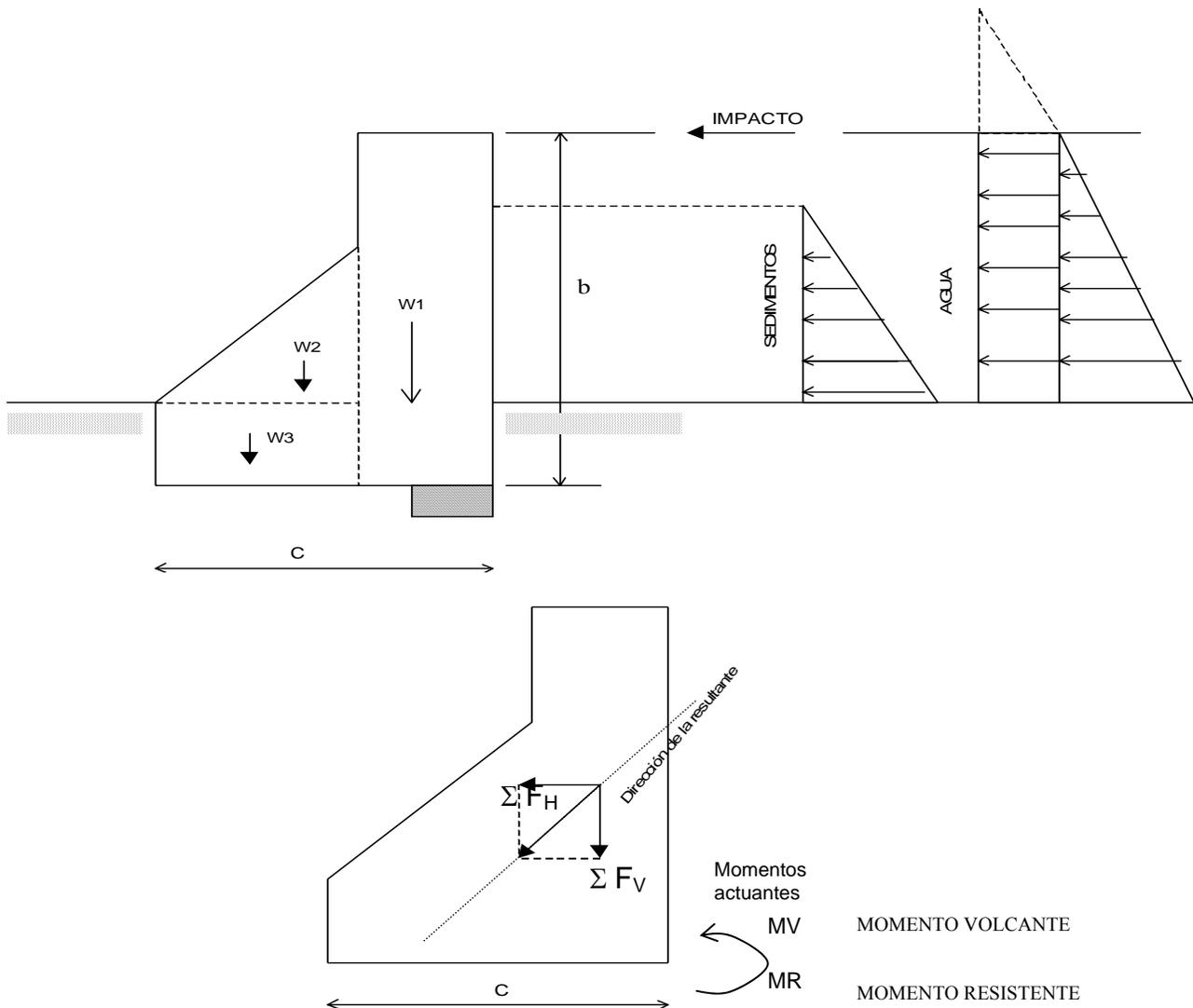


Figura 5: Fuerzas y momentos actuantes sobre la sección transversal de un dique-toma

$$e = \frac{\sum M_R - \sum M_V}{\sum F_V} = \frac{\Delta M}{\sum F_V}$$

- b) Verificación del volcamiento

Se usará un factor de volcamiento ≥ 2

$$F_{vol} = \frac{\sum M_R}{\sum M_V} \geq 2$$

- c) Verificación del deslizamiento

Se usará un factor de seguridad al deslizamiento $\geq 1,5$

$$Fd = \frac{\mu \sum F_V}{\sum F_H} \geq 1.5$$

M = coeficiente de fricción del concreto y roca = 0,7

Si $Fd \geq 1.5$, no se necesita dentellón
 $Fd < 1.5$, se usará dentellón.

8.7 Dispositivos de regulación y control

- a) Compuerta de represamiento

Se instalará transversalmente al cauce del río y se empleará para represar y elevar el nivel de agua en el área de captación.

- b) Compuerta de captación

Deberá instalarse una compuerta para regular el caudal de ingreso y aislar la captación cuando se realice el mantenimiento o limpieza de los componentes de la misma.

El material de la compuerta será resistente a la corrosión y al empuje del agua, deberá ser activado mediante un mecanismo sencillo que posibilite su operación.

El tamaño de la compuerta se define en función del tamaño del canal en el cual será localizado.

c) Aliviadero

Se debe considerar la instalación de un vertedero de rebose para permitir el control de nivel de agua en las obras de captación. El excedente de agua deberá ser retornado al curso de agua.

8.8 Dispositivo de medición

Aguas abajo de la compuerta de regulación de caudal se deberá instalar un elemento para la medición del caudal captado. Los más empleados son el vertedero triangular y el vertedero rectangular, en los cuales el caudal se determina mediante las siguientes fórmulas:

- Para el caso de un vertedero rectangular:

$$Q = 1.84 L H^{1.5}$$

- Para el caso de un vertedero triangular recto:

$$Q = 1.4 H^{2.5}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)
H = Altura de la lámina de agua (m)
L = ancho (m)

Bibliografía

- Arocha A. – Abastecimiento de Aguas- Venezuela, 1987.
- Asociación Brasileña de Normas Técnicas – Proyecto de Captación de superficie para abastecimiento Público – Brasil, 1990.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria – Serie, Filtración rápida - Manual I, Criterios de Selección – Lima, 1992
- De Azevedo J.M & Acosta G., Manual de Hidráulica, Harper & Row Latinoamericana, México, 1981.
- El Peruano - Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción – Prepublicación del Reglamento Nacional de Edificaciones, Rubro: Saneamiento V – Lima, 1998.
- Ministerio de Salud de Bolivia Reglamento - Técnico de Diseño de Proyectos de Agua Potable para Poblaciones menores a 5000 habitantes - Bolivia 1990
- Ministerio de Salud Perú – Dirección General de Salud Ambiental – Proyectos de abastecimiento de agua potable de la localidad de Yauyos – Lima, 1977.
- Rivas Mijares G – Abastecimiento de agua y alcantarillado – Ediciones Vega – Venezuela, 1983.