

# Generación de Energía Térmica con Biomasa

EQUIPOS E INSTALACIONES



**E**l consumo de energía renovable en Andalucía en el año 2000 era de 876.300 tep/año. Esta energía suponía el 5,7% del total de la energía primaria consumida. En el conjunto de las energías renovables la biomasa aportaba el 90%. El Plan Energético de Andalucía prevé un incremento del consumo de biomasa de 717.600 tep para el año 2010, al objeto de alcanzar el objetivo global de un aporte del 15% de energías renovables respecto a la energía primaria consumida.

La Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico, a través de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, viene llevando a cabo desde hace varios años un conjunto de acciones encaminadas a fomentar la utilización de las energías renovables, con objeto de mejorar nuestro grado de autoabastecimiento energético, generar un nuevo tejido industrial, promover la creación de riqueza y empleo, desarrollar tecnologías y contribuir al desarrollo sostenible de esta Comunidad.

Dentro de estas políticas de fomento se ha analizado la viabilidad de la puesta en marcha de un programa de fomento de la biomasa para usos finales térmicos, trabajo encargado a la Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía (Sodean). Fruto del mismo ha sido la incorporación de este tipo de instalaciones en el 2003 a las ayudas que se conceden a través del Programa Andaluz de Promoción de Instalaciones de Energías Renovables (PROSOL)(Orden 24 enero de 2003).

El Programa Prosol desde su nacimiento en 1993 no ha tenido como único objetivo la promoción de un gran número de instalaciones, sino que ha velado por la calidad de las mismas. En este sentido los usuarios del Programa Prosol han contado con la seguridad del diseño, montaje, funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones.

Esta concepción del programa se incorpora también a las instalaciones de biomasa, al objeto de ofrecer las garantías suficientes a los futuros consumidores. Así, se pretende que a estas instalaciones se les reconozcan las mismas bondades que tradicionalmente se asocian con las que vienen consumiendo gas, gasóleo ó fuel oil.

El presente manual pretende ofrecer, tanto al futuro promotor de instalaciones como al usuario de las mismas, información sobre todos aquellos elementos a considerar para la “buena” realización de instalaciones de energía térmica con biomasa.



# ÍNDICE

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| La biomasa como combustible .....                                                  | 7   |
| La biomasa en Andalucía .....                                                      | 13  |
| Instalaciones de producción de energía térmica con biomasa .....                   | 15  |
| Demanda térmica en instalaciones de calefacción .....                              | 17  |
| Instalaciones de estufas, hogares y compactos .....                                | 19  |
| Sistemas de almacenamiento, transporte y alimentación de biomasa .....             | 37  |
| Tecnologías de combustión .....                                                    | 43  |
| Sistemas de depuración de gases .....                                              | 53  |
| Sistemas de regulación y control .....                                             | 57  |
| Instalaciones de climatización y agua caliente sanitaria en distritos .....        | 61  |
| Normativa y legislación .....                                                      | 65  |
| Ejemplos de instalaciones .....                                                    | 69  |
| ANEXO I. Tablas: Demanda térmica en Instalaciones .....                            | 91  |
| ANEXO II. Actuaciones para la mejora en la logística de obtención de biomasa ..... | 101 |



# LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE

---

Las características de un combustible quedan definidas mediante diversos tipos de análisis, principalmente análisis elemental e inmediato.

En el caso de la biomasa, su análisis elemental indica que su contenido en Carbono está en torno al 50%, Hidrógeno 5,5%, Nitrógeno menor a 1% y Oxígeno 40%, siendo despreciable la concentración en Azufre. Respecto al análisis inmediato (porcentajes en peso) se puede decir:

- **Cenizas:** comprende los residuos sólidos no quemados resultantes de la combustión completa del combustible. Producen escorias y depósitos en los refractarios y disminuyen el poder calorífico del combustible, pues además de no aportar calor absorben calor sensible en el hogar. En la biomasa estos contenidos son superiores a los de otros combustibles, pudiendo alcanzar porcentajes superiores al 5%, aunque los valores más comunes varían entre 2 y 5%.
- **Humedad:** es el agua contenida en el combustible, que puede ser de dos clases: humedad libre superficial, de fácil eliminación mediante secado al aire hasta 110 °C de temperatura, y humedad retenida en los poros de la biomasa, (ya sea de constitución, combinada o higroscópica), que precisa temperaturas más elevadas para ser eliminada, y que puede conllevar degradación de la materia orgánica. La humedad superficial en la

biomasa es elevada, existiendo combustibles en torno al 8% de humedad y otros en los que se supera el 50%, dependiendo mucho de la procedencia, tiempo de recogida y tratamientos posteriores.

- **Materias Volátiles:** Son combinaciones de C, H, y otros gases, que determinan la forma y longitud de la llama. La biomasa, en general, tiene un contenido en volátiles muy alto (>65%) que favorece su combustión.
- **Carbono Fijo:** Es la fracción residual del carbono combinado químicamente, y que se calcula como sigue:

$$C_{\text{fijo}} \% = 100 - \text{Humedad} - \text{Volátiles} - \text{Cenizas}$$

En la actualidad no existe una normativa establecida para la medición de los diversos parámetros para combustibles biomásicos. No obstante, un grupo europeo se encuentra trabajando en la estandarización de biocombustibles que concluirá sus trabajos, entre otros aspectos, con la definición de estos procedimientos de medidas. Por esta razón se utilizan diferentes normativas, según los laboratorios, habiendo desarrollado muchos de ellos procedimientos de análisis propios. En la siguiente tabla se muestran normas analíticas aplicables:

| Parámetro                 | Norma        |
|---------------------------|--------------|
| Poder Calorífico Superior | UNE 32 - 006 |
| Poder Calorífico Inferior | UNE 32 - 006 |
| Carbono                   | ASTM D5373   |
| Hidrógeno                 | ASTM D5373   |
| Nitrógeno                 | ASTM D5373   |
| Azufre                    | ASTM D4239   |
| Oxígeno                   | (1)          |
| Humedad                   | UNE 32 - 001 |
| Cenizas                   | ASTM D3174   |
| Volátiles                 | UNE 32 - 019 |
| Carbono fijo              | (2)          |

(1)  $O\% = 100 - C - H - N - S - \text{Cenizas}$

(2)  $C_{\text{fijo}}\% = 100 - \text{Humedad} - \text{Volátiles} - \text{Cenizas}$

### Análisis de cenizas

| Parámetro                         | Norma      |
|-----------------------------------|------------|
| Preparación muestra               | ASTM D3682 |
| Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti y M | ASTM D3682 |
| Sulfato                           | UNE 83432  |
| P205                              | ASTM D3682 |

El Poder Calorífico de un combustible se define como la cantidad de calor liberado durante su combustión por unidad de masa, a presión constante y a 25 °C, obteniéndose los productos en su estado final de oxidación. Se distinguen dos tipos, según el estado de los productos:

**Poder Calorífico Superior (P.C.S.):** Cuando el agua formada en la combustión está condensada; por tanto incluye el calor latente.

**Poder Calorífico Inferior (P.C.I.):** Cuando el agua formada en la combustión está en forma de vapor condensado; por tanto no incluye el calor latente.

El PCI de un combustible sólido o líquido se determina a partir del PCS, trayéndole el calor latente del agua formada, mediante fórmulas empíricas. Por ejemplo, para el carbón se tiene:

$$PCI \text{ (kcal/kg)} = PCS - 5,85 (9 * \%H + \%W)$$

donde

% H es el porcentaje en peso de Hidrógeno en el combustible

% W es el porcentaje en peso de Humedad superficial

La mejor forma de calcular el poder calorífico es mediante ensayo en bombas calorimétricas, aunque existen fórmulas empíricas que permiten obtener resultados aproximados:

Fórmula de Dulong y Petit citada por Kollmann:

$$PCI_0 = 8.100 * C + 34.000 * (H - O/8) + 2.500 * S$$

Fórmula de Elvira y Marcos para biocombustibles sólidos de origen ligno-celulósico en kcal/kg:

$$PCI_h = PCS_0 * (1 / (1 + h)) - 665 * ((0.54 + h) / (1 + h))$$

h = % humedad en base seca

Puede observarse según las tablas adjuntas, cómo la biomasa contiene un poder calorífico un 50% menor que el resto de los combustibles, salvo el carbón. Por otro lado, el contenido en carbono también es más reducido, pero sin embargo el contenido en volátiles es muy importante.

Además de las características energéticas de los combustibles, en la biomasa hay otros aspectos de especial interés:

- Pureza del combustible
- Densidad
- Contenido en humedad
- Contenido y composición de las cenizas
- Granulometría y presentación de la biomasa

#### a) Pureza del combustible

Otra cuestión importante a tener en cuenta en los biocombustibles es la pureza de éstos, posible grado de contaminación (presencia de tierras, lixiviados, etc), además del estado de putrefacción ó la presencia de agentes patógenos.

#### b) Densidad

La biomasa se caracteriza, en general, por tener una densidad reducida, salvo para los biocombustibles densificados. Este aspecto repercute desfavorablemente en el transporte y almacenamiento del combustible, además del diseño de los equipos de conversión energética.



**Características de biocombustibles**

|                                | Bagazo    | Orujillo b.seca | Astilla olivo b.seca | Algodón base seca | Corteza pino base seca | Corteza roble base seca | Corteza picea base seca | Corteza secoya base seca |
|--------------------------------|-----------|-----------------|----------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>ANÁLISIS ELEMENTAL</b>      |           |                 |                      |                   |                        |                         |                         |                          |
| Carbono                        | 23,40     | 50,54           | 49,52                | 47,03             | 53,40                  | 49,70                   | 51,80                   | 51,90                    |
| Hidrógeno                      | 2,80      | 5,86            | 5,90                 | 5,42              | 5,60                   | 5,40                    | 5,70                    | 5,10                     |
| Nitrógeno                      | 0,10      | 0,97            | 0,39                 | 1,04              | 0,10                   | 0,10                    | 0,10                    | 0,10                     |
| Azufre                         | traza 0,6 | 0,07            | < 0,05               | 0,13              | 0,10                   | 0,20                    | 0,20                    | 0,10                     |
| Cenizas                        | 1,70      | 4,58            | 1,74                 | 5,37              | 2,90                   | 5,30                    | 3,80                    | 0,40                     |
| Oxígeno                        | 20,00     | 37,98           | 42,45                | 41,01             | 37,90                  | 39,30                   | 38,40                   | 42,40                    |
| <b>ANÁLISIS INMEDIATO</b>      |           |                 |                      |                   |                        |                         |                         |                          |
| Humedad                        | 52,00     | -               | -                    | -                 | -                      | -                       | -                       | -                        |
| Volátiles                      | 40,20     | 72,29           | 81,79                | 73,78             | 72,9                   | 76,00                   | 69,60                   | 72,60                    |
| Carbón fijo                    | 6,10      | 22,13           | 16,47                | 20,85             | 24,2                   | 18,70                   | 26,60                   | 27,00                    |
| Cenizas                        | 1,70      | 4,58            | 1,74                 | 5,37              | 2,90                   | 5,30                    | 3,80                    | 0,40                     |
| PCS (kcal/kg)                  | 2.224     | 4.819           | 4.610                | 4.297             | 5021                   | 4.654                   | 4.860                   | 4.643                    |
| <b>ANÁLISIS DE CENIZAS</b>     |           |                 |                      |                   |                        |                         |                         |                          |
| SiO <sub>2</sub>               |           | 23,09           |                      | 25,21             | 39,0                   | 11,10                   | 32,00                   | 14,30                    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |           | 4,22            |                      | 6,59              | 14,0                   | 0,10                    | 11,00                   | 4,00                     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |           | 1,84            |                      | 2,98              | 3,0                    | 3,30                    | 6,40                    | 3,50                     |
| TiO <sub>2</sub>               |           | -               |                      | < 0,50            | 0,2                    | 0,10                    | 0,80                    | 0,30                     |
| CaO                            |           | 19,01           |                      | 27,45             | 25,5                   | 64,50                   | 25,30                   | 6,00                     |
| MgO                            |           | 5,38            |                      | 8,44              | 6,5                    | 1,20                    | 4,10                    | 6,60                     |
| Na <sub>2</sub> O              |           | 0,46            |                      | 3,09              | 1,3                    | 8,90                    | 8,00                    | 18,00                    |
| K <sub>2</sub> O               |           | 35,95           |                      | 18,42             | 6,0                    | 0,20                    | 2,40                    | 10,60                    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  |           | 4,33            |                      | 2,61              | -                      | -                       | -                       | -                        |
| SO <sub>3</sub>                |           | <0,15           |                      | 2,36              | 0,30                   | 2,00                    | 2,10                    | 7,40                     |
| Cl                             |           | -               |                      | -                 | traza                  | traza                   | traza                   | 18,40                    |
| Temperatura fusión (*)         |           | 1.050           |                      | -                 | 1249                   | 1.499                   | -                       | -                        |

(\*) Temperatura de fusión hemisférica en atmósfera oxidante

**Poder calorífico de algunos biocombustibles**

| Producto                | PCS        |           | PCI   |           |       |
|-------------------------|------------|-----------|-------|-----------|-------|
|                         | Humedad 0% | Humedad % | PCI   | Humedad % | PCI   |
| Leñas y ramas coníferas | 0,495      | 20        | 0,395 | 40        | 0,255 |
| Leñas y ramas frondosas | 0,460      | 20        | 0,331 | 40        | 0,234 |
| Serrines coníferas      | 0,488      | 15        | 0,379 | 35        | 0,276 |
| Serrines frondosas      | 0,463      | 15        | 0,358 | 35        | 0,260 |
| Cortezas coníferas      | 0,503      | 20        | 0,365 | 40        | 0,265 |
| Cortezas frondosas      | 0,467      | 20        | 0,337 | 40        | 0,238 |
| Orujo de uva            | 0,482      | 25        | 0,324 | 50        | 0,196 |
| Hueso de aceituna       | 0,496      | 15        | 0,386 | 35        | 0,281 |
| Orujillo de aceituna    | 0,487      | 15        | 0,378 | 35        | 0,276 |
| Cáscara de almendra     | 0,476      | 10        | 0,394 | 15        | 0,396 |
| Cáscara de avellana     | 0,450      | 10        | 0,371 | 15        | 0,347 |
| Cáscara de piñón        | 0,493      | 10        | 0,409 | 15        | 0,383 |
| Paja de cereales        | 0,442      | 10        | 0,363 | 20        | 0,316 |

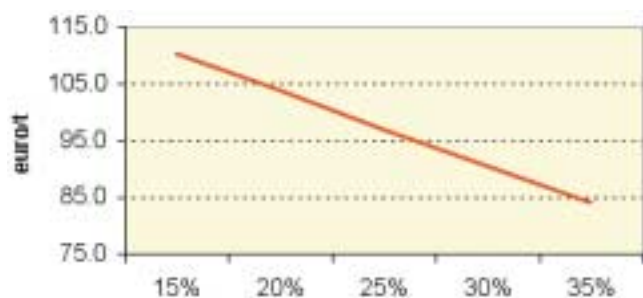
Fuente: IER, PCI y PCS en tep/t

**Comparación de características de combustibles**

|                           | Gasóleo     | Fuel oil    | Gas Natural | Carbón | Biomasa     |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|--------|-------------|
| <b>ANÁLISIS ELEMENTAL</b> |             |             |             |        |             |
| Carbono                   | 86.0        | 84.6        | 72.8        | 75.8   | 50.0        |
| Hidrógeno                 | 11.1        | 9.7         | 22.6        | 5.1    | 5.5         |
| Nitrógeno                 | 1.0         | 1.0         | 4.6         | 1.5    | 1.0         |
| Azufre                    | 0.8         | 1.5         | 0.0         | 1.6    | < 0.2       |
| Cenizas                   | 0.1         | 0.5         | 0.0         | 5.0    | 2.0- 5.0    |
| Oxígeno                   | 1.0         | 2.7         | 0.0         | 8.2    | 40.0        |
| <b>ANÁLISIS INMEDIATO</b> |             |             |             |        |             |
| Humedad                   | 1.0         | 1.5         | 0.0         | 5.0    | variable    |
| Volátiles                 |             |             |             | 35.0   | 65.0        |
| Carbón fijo               |             |             |             | 50.0   | 20.0        |
| Cenizas                   |             |             |             | 10.0   | 2.0-5.0     |
| PCS (kcal/kg)             | 10.300      | 10.100      | 12.450      | 7.500  | 4.500       |
| PCI (kcal/kg)             | 9.700       | 9.600       | 9.300       | 7.000  | 4.200       |
| Precio (€/te)             | 0.04 - 0.05 | 0.02 - 0.03 | 0.02 - 0.05 | 0.01   | 0.01 - 0.03 |

**c) Contenido en humedad**

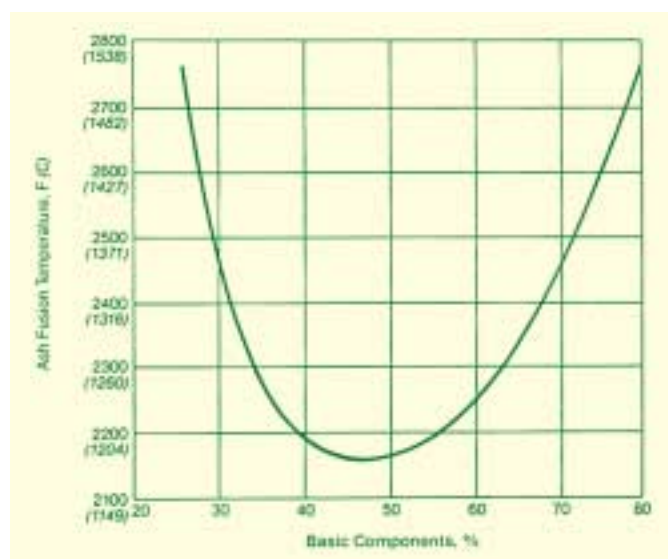
Este parámetro afecta al contenido energético del combustible de una forma proporcional. Además hay que considerar que a medida que el combustible esté más seco, hasta ciertos límites, será mejor su comportamiento de combustión. Por tanto, la humedad es un factor muy importante a tener en cuenta a la hora de valorar el precio de una biomasa. En la siguiente gráfica se muestra cómo evoluciona el precio de una misma biomasa con la humedad superficial que contiene.



Se ha tomado como base de biomasa leña a un precio de 84,14 /t (14 pta/kg) con una humedad del 35% y un poder calorífico inferior seco de 4.300 kcal/kg. Hay que considerar que el precio en unidades energéticas sería constante en todos los casos (0,03 euros/te), aunque la eficacia del combustible, como ya se ha dicho, no sería la misma.

**d) Contenido y composición de las cenizas**

El contenido de cenizas de la mayor parte de las biomásas existentes en Andalucía es superior al 15% en peso (seco). Esto repercute desfavorablemente en su

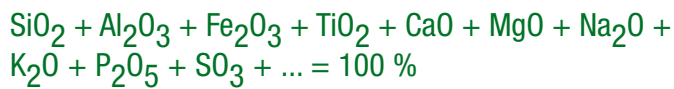


Relación temperatura de fusión y composición en álcalis

comportamiento energético, ya que no es factible el aprovechamiento en energía útil de una importante parte del combustible. En este aspecto resulta especialmente favorable el orujillo, ya que su contenido en cenizas no supera el 8%.

Por otro lado, hay que considerar la composición de las cenizas, ya que en general presentan un elevado contenido en álcalis, por lo que se pueden dar problemas de sinterización de las mismas debida a su baja temperatura de fusión.

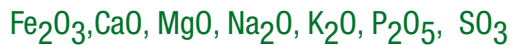
El análisis de las cenizas se suele realizar mediante espectroscopia de Absorción Atómica. Los resultados se expresan como los óxidos de los elementos analizados.



- Cenizas ácidas:

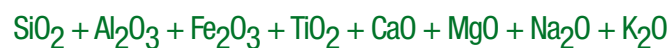


- Cenizas Básicas



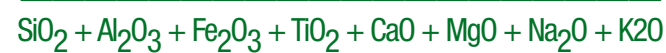
- % de cenizas básicas

$$\frac{(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \times 100}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}$$



- % de cenizas ácidas

$$\frac{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) \times 100}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}$$



- Relación básico/ácido

$$\frac{(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2} \times 100$$

Respecto a la temperatura de fusión de las cenizas, resulta determinante para evaluar la capacidad de aglomeración de las mismas, originándose diferentes fenómenos:

**Clinkering:** Si se produce en la parrilla. Si tiene forma de “torta” se le denomina matting.

**Slagging:** Acumulación de cenizas en las partes sometidas a radiación.

**Fouling:** Acumulación de cenizas en las partes sometidas a convección.

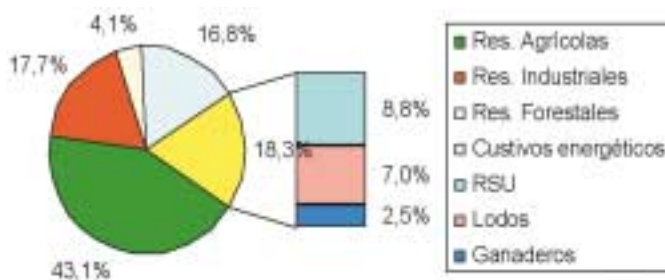
### e) Granulometría y presentación de la biomasa

La granulometría del combustible ha de ser tal que permita el aprovechamiento energético del mismo. Esta debe estar adaptada al tipo de equipo y sistema de combustión. La granulometría es muy diversa, existiendo biomásas con un grano muy “fino”, ejemplo del orujillo y otros de tamaño muy irregular y grande, ejemplo de la leña.

# LA BIOMASA EN ANDALUCÍA

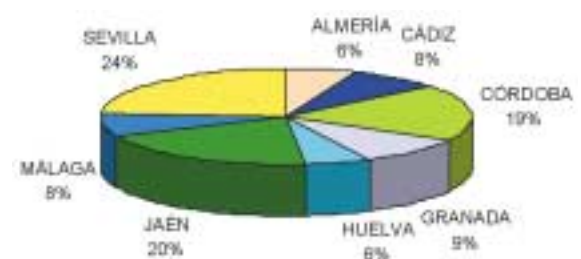
La Comunidad Andaluza posee una gran riqueza en cuanto a la producción de biomasa debido a su gran superficie forestal y al uso del terreno, eminentemente agrícola. Además se cuenta con industrias agroalimentarias que generan subproductos biomásicos, principalmente industrias derivadas del olivar.

Andalucía dispone de una superficie de 87.599 km<sup>2</sup> de las cuales un 40% es forestal y un 57% agrícola. Desde el punto de vista del aprovechamiento de la biomasa, el olivar y el algodón son los que cuentan con unas posibilidades más favorables actualmente, con una superficie de 14.865 km<sup>2</sup>, generan una biomasa aproximada de 2,0 millones de toneladas anualmente.



En el conjunto del potencial existente en Andalucía, cabe destacar la biomasa proveniente de las podas del olivar, que aproximadamente aportan el 25 % del potencial total. Además existe una biomasa procedente de la industria del aceite de oliva, por lo que el sector oleícola aporta el 38% del potencial de biomasa existente en Andalucía.

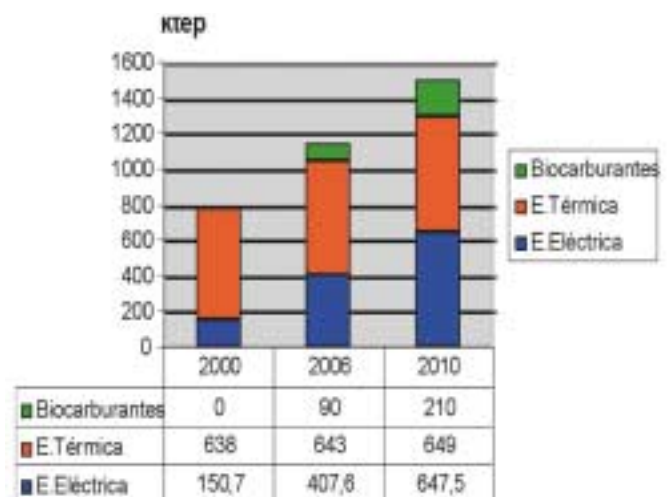
El potencial total de biomasa en Andalucía se puede cifrar en **3.327 ktep/año**, distribuidos según se



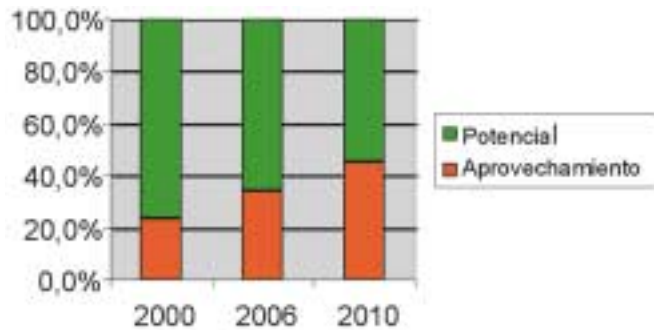
muestra en la figura para cada uno de los tipos de biomasa.

**El Plan Energético de Andalucía** tiene como objetivo para el año 2006 un aporte de la biomasa de 1.140.600 tep. Para el año 2010 la previsión es de 1.506.500 tep. En la siguiente gráfica se muestra la participación de la biomasa, considerando energía térmica final, electricidad y biocarburantes.

## Objetivos Biomasa



## Previsión de aprovechamiento del potencial de biomasa



El consumo actual de biomasa para generación de **energía térmica** se centra en el aprovechamiento de los subproductos generados en la obtención de aceite de oliva y de orujo, correspondiendo al 60% de la energía térmica total consumida. A partir del año 2003 la Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico ha puesto en marcha de un Programa de Promoción de la Energía Térmica con Biomasa, incluido en el Programa Prosol, al objeto de mantener los actuales consumos e incluso aumentarlos hasta 649 ktep en el año 2010.

En la actualidad la **potencia eléctrica en generación con biomasa** es de 81,3 MW, que representa un consumo de energía primaria de 210.000 tep. Existen en ejecución 73 MW más correspondientes a una energía primaria de 187.000 tep, con lo que la potencia total instalada será de 154,3 MW (397.000 tep) que corresponde prácticamente con las previsiones del Plan Energético de Andalucía para el año 2006. En proyecto existe un total de 133 MW (343.000 tep). Con la ejecución de todas estas plantas, la energía primaria correspondiente sería de 740.000 tep, superior a las previsiones para el año 2010.

La Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico tiene establecidas ayudas para la inversión de este tipo de aprovechamiento a través de la Orden de 22 de junio de 2001, por la que se regula la concesión de subvenciones a las inversiones en mejora de eficiencia energé-

tica y aprovechamiento centralizado de energías renovables, durante el periodo 2001-2006; también se incluye la subvención a instalaciones de biocarburantes y energía térmica.

La seguridad del suministro es uno de los pilares básicos cara a la realización de cualquier proyecto de biomasa. El aprovechamiento, por ejemplo, de los restos de labores agrícolas (poda y cosecha de frutos), y de tratamientos selvícolas (podas, claras y cortas finales) son prácticas que, con distinto fin, se han venido desarrollando tradicionalmente. Actividades como el carboneo y la recolección de leñas, son las que aprovechaban estos subproductos generados en las mencionadas labores agrícolas y forestales. Así mismo, existen industrias que reutilizan parte de sus residuos para generar calor para su proceso industrial, como es el caso de las extractoras de aceite de orujo o los aserraderos.

Durante algunos años, el incremento del coste de la mano de obra en el sector agrícola-forestal y su bajo nivel tecnológico, han imposibilitado el aprovechamiento de estos subproductos. Sin embargo, el despegue tecnológico de estos sectores en nuestra región, y el apoyo que desde la Comunidad Europea se da al desarrollo de las energías renovables, hacen que su aprovechamiento para la generación de energía sea una realidad en casi todos los países comunitarios.

Se han identificado nuevas fuentes de biomasa (mata de algodón, ramón de olivo) como incremento de las actualmente utilizadas. Se han seleccionado estas nuevas fuentes, ya que hoy en día existe tecnología disponible para su recolección. En este sentido, se están realizando diversas experiencias en Andalucía.

La Junta de Andalucía, a través de la Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía (SODEAN, S.A.) junto con otros organismos y entidades privadas viene realizando actuaciones anuales para la mejora de los aprovechamientos de la biomasa. En el Anexo II se indican ejemplos de las mismas.

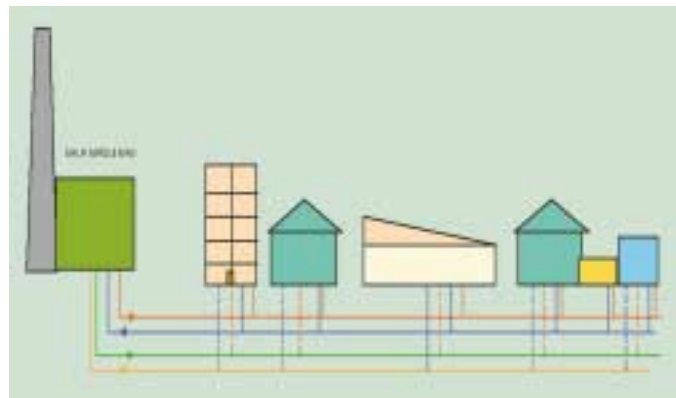
# INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA EN DISTRITOS

Las instalaciones de distribución de la climatización y/o el ACS tienen un especial interés debido a la mayor eficiencia energética de las mismas frente a un sistema individual de generación térmica, y por lo tanto una repercusión favorable en el medio ambiente.

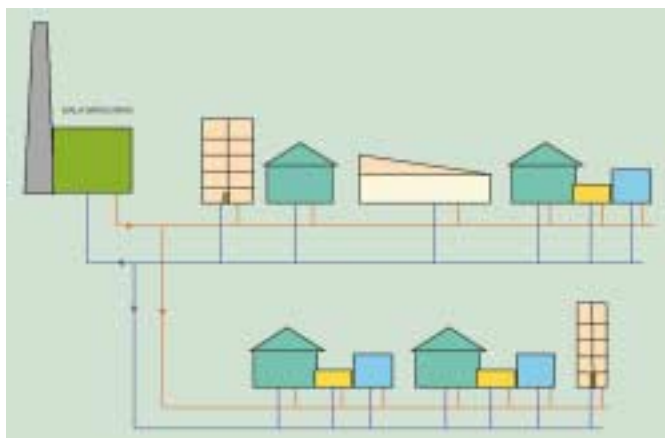
El empleo de estas instalaciones es posible en un gran número de usos finales: viviendas, parques industriales, núcleos turísticos, zonas de servicios (deportivas, hoteles, hospitales), etc.

## Posibles configuraciones de instalaciones

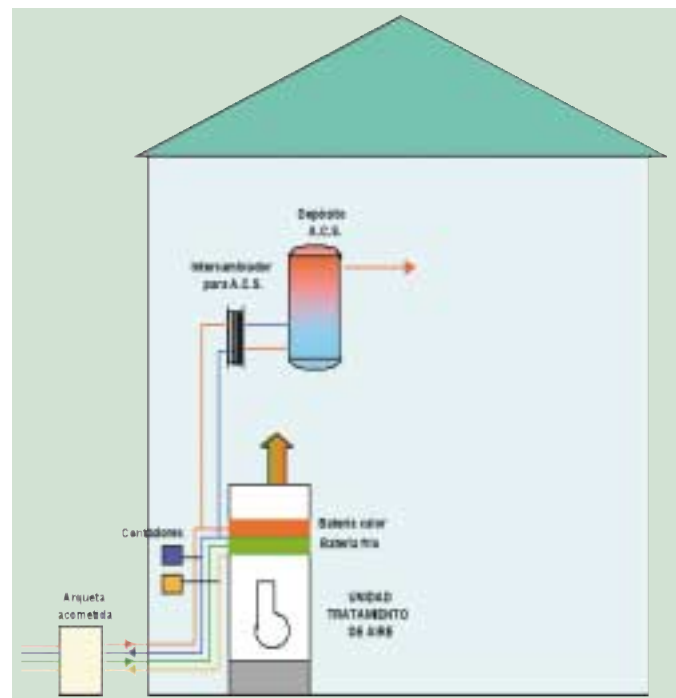
|                                   | CONFIGURACIÓN |         |
|-----------------------------------|---------------|---------|
|                                   | 2 TUBOS       | 4 TUBOS |
| Calefacción                       | X             |         |
| Calefacción + ACS                 | X             |         |
| Calefacción + Refrigeración       | X             | X       |
| Calefacción + Refrigeración + ACS |               | X       |



Distribución a 4 tubos



Distribución a 2 tubos



Detalle conexión a usuarios

Esta configuración a cuatro tubos en la distribución de calor y frío en el sector residencial no es usual, se ha incluido como sistema más completo de los posibles. La distribución del calor también sería posible por un sistema agua-agua.

Las instalaciones básicamente cuentan con dos elementos principales: sala de máquinas y sistema de distribución del calor (red de tuberías). Además si el combustible usado es biomasa se deberá disponer de un parque de almacenamiento del mismo.

### Sala de máquinas

En función del tipo de servicio que sea necesario suministrar, la sala de máquinas contará con diferentes equipos. El elemento central será la caldera de producción de agua caliente alimentada con biomasa. Configuración básica de una sala de máquinas:

- Caldera de biomasa
- Máquinas de absorción (en el caso de producción de refrigeración)
- Equipo tratamiento de agua
- Chimeneas
- Bombas
- Torre de refrigeración para las máquinas de absorción
- Vaso expansión frío / calor
- Depósito inercia agua enfriada
- Depósitos de agua caliente sanitaria
- Separador de lodos circuito frío / calor
- Tuberías, valvulería y accesorios

Sería posible la producción de frío en cada uno de los edificios mediante máquinas de absorción de reducido tamaño, similares a las empleadas en los sistemas de energía solar, aunque encarecería notablemente la instalación.

### Red de tuberías

- Circuito de calor
- Circuito de frío

Las tuberías preaisladas en fábrica están compuestas por la tubería de acero, el aislamiento de espuma de poliuretano inyectado en continuo con cableado de alarma de cobre integrado y una cubierta exterior de polietileno de alta densidad.

Debe existir una resistencia a esfuerzos cortantes entre la tubería de acero y la cubierta exterior de 0,12 N/mm como mínimo en dirección axial y de 0,2 N/mm en dirección tangencial.

Todos los componentes del sistema de tuberías deben cumplir los requisitos técnicos de las siguientes normas:

- **EN 253.** Sistemas de tuberías preaisladas para redes de agua caliente enterradas.
- **EN 448.** Accesorios preaislados para redes de agua caliente enterradas.
- **EN 488.** Válvulas de acero preaisladas para redes de agua caliente enterradas.
- **EN 489.** Ensamblaje de juntas para tuberías de calefacción urbana preaisladas.

Las tuberías deberán ser de acero calidad St. 37.0BW según DIN 1626 o equivalente y sus dimensiones serán conformes a ISO/DIN 2458.

El aislamiento de espuma deberá cumplir con los requisitos de la EN 253 (última versión) y deberán fabricarse con ciclopentano como agente esponjante (No está permitido el freón).

La cubierta exterior debe cumplir los requisitos técnicos de la EN 253 más reciente y estar fabricada en polietileno de alta densidad.

A la entrada de cada centro de consumo (edificio) existe una arqueta de acometida. Cada una de ellas está dotada de los elementos necesarios para aislamiento de circuitos, control de temperatura y presión y regulación automática del caudal de agua aportado.

Estos conjuntos de regulación dinámica son esenciales para que cada unidad de la instalación trabaje de acuerdo con los parámetros para los que ha sido diseñada; garantizando el confort térmico a la vez que se limita el consumo de energía.

En definitiva, con el equilibrado automático se trata de conseguir un caudal constante en los circuitos hidráulicos, que compense en todo momento las distintas presiones diferenciales y las variaciones de esas presiones, durante el funcionamiento de la instalación, evitándose así circuitos con exceso o deficiencia de caudal que repercutiría negativamente en el confort de los edificios y en la presión de bombeo en el centro de producción.

El equipamiento mínimo requerido por arqueta será:

- Válvulas de seccionamiento y vaciado de la red de frío y calor.
- Válvula de equilibrado dinámico o KFLOW de frío y calor.
- Medidor de presión y temperatura en impulsión y retorno.
- Desaireadores y purgadores con válvula de servicio.

- Tubería desde desagüe en arqueta hasta red de alcantarillado más próxima.

A partir de estas arquetas de servicio, el agua entra a los puntos de consumo, bien por la acción de la bomba principal, situada en la planta de generación o impulsada por las bombas auxiliares propias del inmueble.

### **Otras instalaciones**

- Sistema de telegestión y control
- Detección y extinción de incendios
- Contadores de energía



# SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL

---

El desarrollo de los microprocesadores ha permitido obtener sistemas de regulación y control de los procesos de gran eficacia y a unos costes muy competitivos.

En un principio los sistemas eran centralizados, es decir, una sola unidad recibe todas las señales y actúa sobre los diferentes elementos. Actualmente existen los sistemas distribuidos, donde los controladores que están repartidos por toda la instalación interactúan sobre la misma.

A la vez, se han desarrollado las telecomunicaciones, por lo que es posible la telegestión de las instalaciones. Esta técnica permite desde un único puesto acceder al control de una ó más instalaciones, por lo que ya no es necesario acceder directamente a las instalaciones para poder incidir sobre ellas.

Los controladores (DDC - "Direct Digital Control") básicamente captan señales de diversos tipos, las elaboran mediante un programa software y, en función del resultado de estos cálculos, activa una serie de salidas. Los principales componentes del controlador son: la fuente de alimentación, la Unidad Central de Proceso (CPU), la batería para alimentación de emergencia y las entradas y salidas del campo.

Los controladores pueden ser diseñados para aplicaciones generales ó específicas. Estos últimos tienen unos costes más ajustados manteniendo su capacidad de control.

Estos controladores se adaptan perfectamente a las necesidades de regulación de una planta de generación

de energía térmica con biomasa, posibilitando mejorar su funcionamiento y rendimiento.

Es aconsejable el empleo de técnicas de telegestión en aquellas instalaciones de más de 70 kW.

Se indica, a continuación, los distintos parámetros que deberán ser controlados en una instalación de producción de calor y agua caliente con biomasa:

- **Parámetros de caldera**

- Marcha - paro de la caldera
- Estado del tornillo de alimentación de la caldera
- Estado de ventiladores de aire de combustión.
- Estado de motor de la válvula de dos vías.
- Térmico del motor del tornillo de alimentación.
- Térmico del motor de válvula de dos vías
- Térmico de motor ventiladores de aire de combustión.
- Marcha paro de bomba anticondensados.
- Temperatura ida de caldera
- Temperatura retorno de caldera.
- Detección de incendios.
- Contador de energía térmica.

- **Parámetros de circuitos de calefacción.**

- Válvulas de cada zona de calefacción
- Marcha paro de bombas de cada circuito
- Estado de bombas de cada circuito
- Temperatura de impulsión de cada circuito
- Temperatura exterior.

• **Parámetros de circuito de agua caliente sanitaria.**

- Válvula de tres vías del circuito de ACS.
- Temperatura del depósito de ACS.
- Marcha paro de bombas circuito primario
- Estado de bombas del circuito primario
- Marcha paro bombas circuito secundario
- Estado de bombas del circuito secundario
- Marcha paro bombas retorno ACS
- Estado de bombas retorno ACS

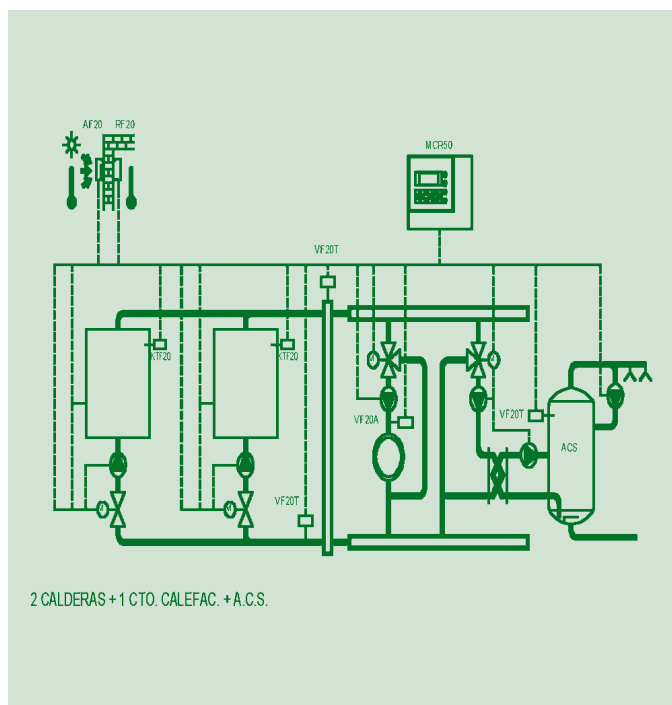
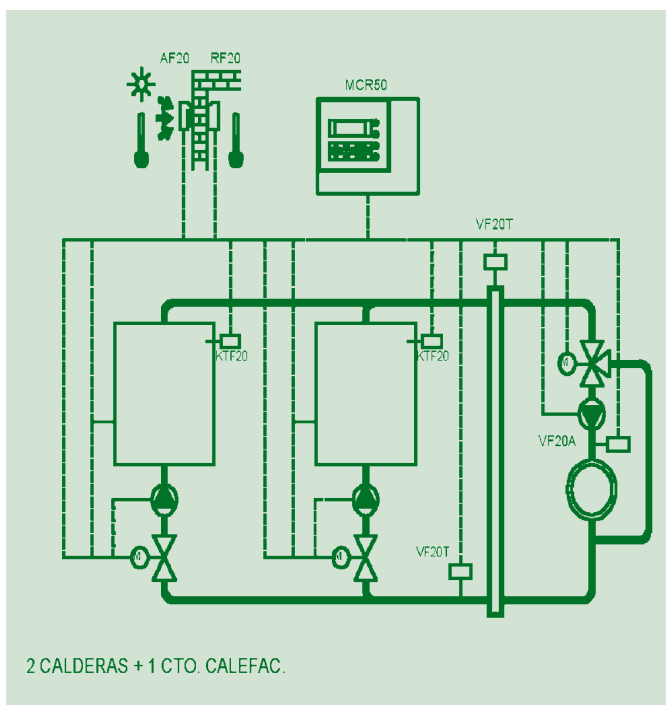
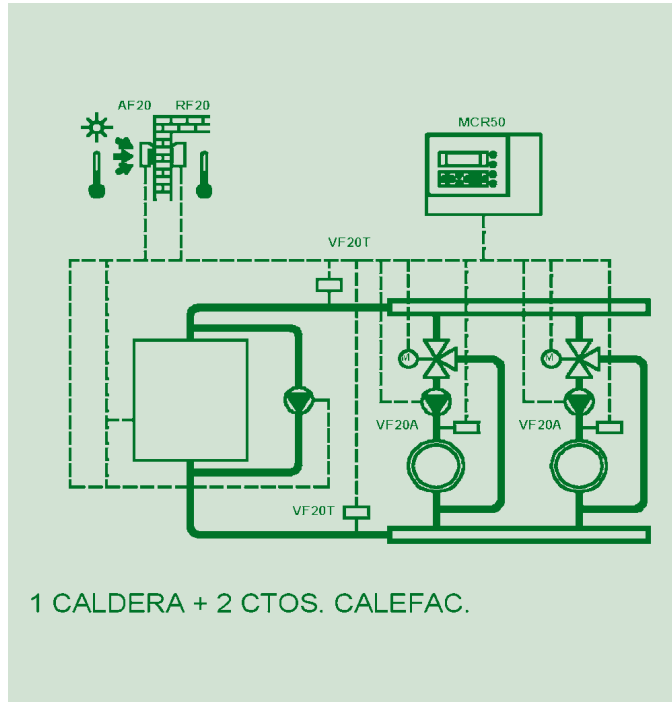
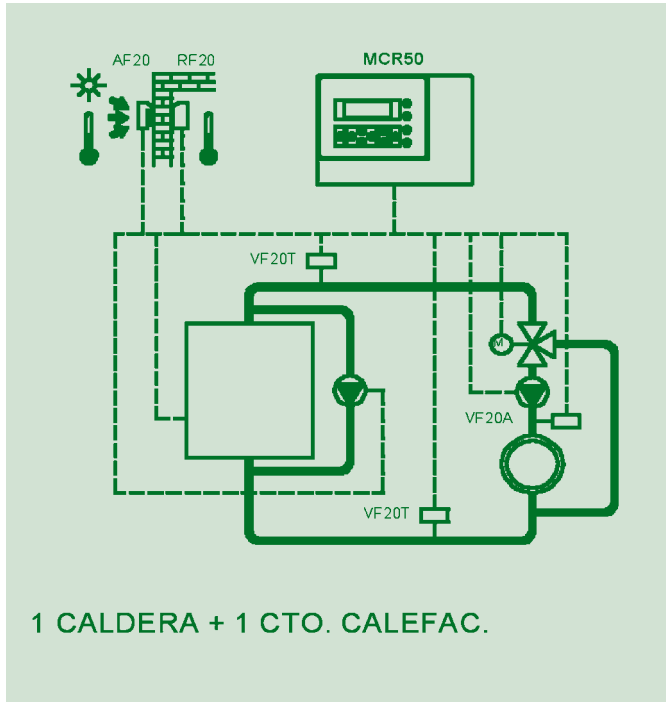
• **Elementos de campo y valvulería.**

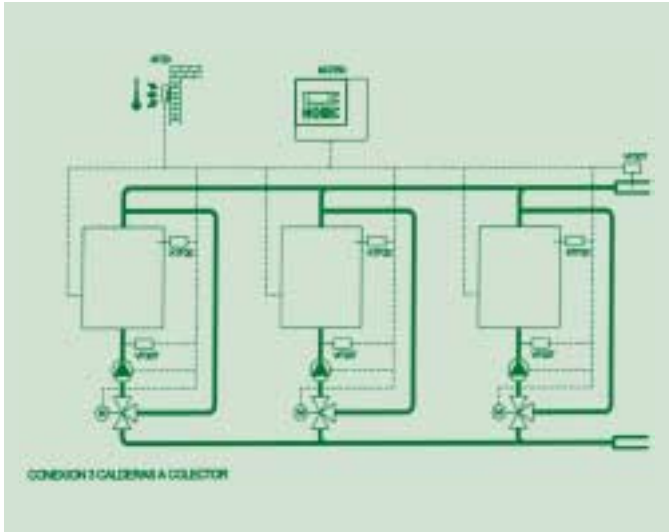
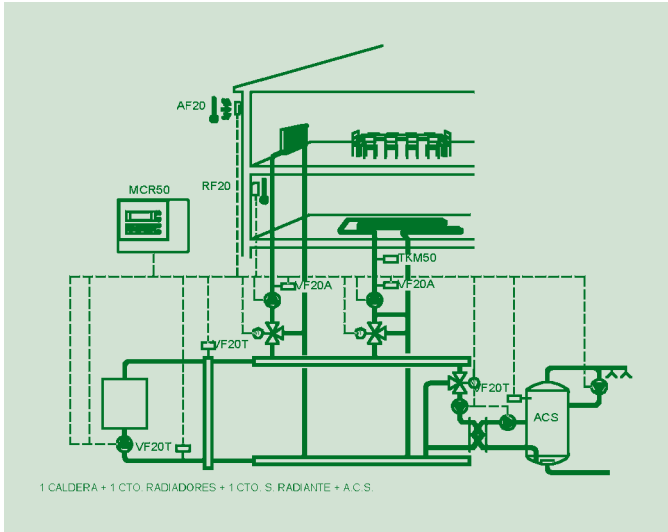
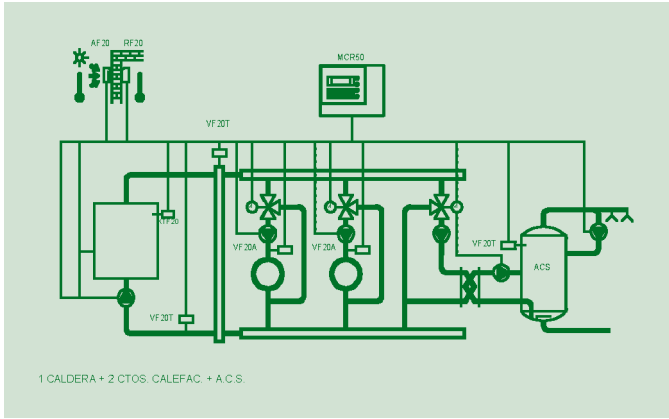
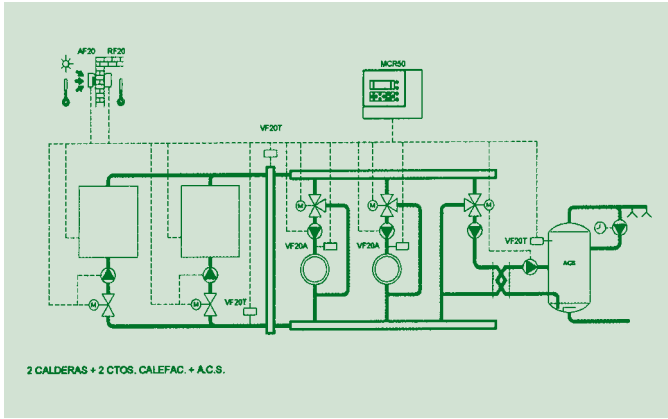
Para poder controlar la instalación serán necesarios,

como mínimo, los siguientes elementos de campo:

- Sonda exterior
- Sondas de inmersión
- Válvulas de tres vías con servomotor
- Válvula de dos vías con servomotor.
- Grupos motobomba doble para anticondensados y para cada uno de los circuitos de calefacción, primario de ACS, secundario de ACS y retorno ACS.

En los siguientes esquemas de principio se representan algunos ejemplos de instalaciones habituales.





# SISTEMAS DE DEPURACIÓN DE GASES

---

En las plantas de combustión se producen efluentes gaseosos, sólidos y líquidos. Las partículas son una de las emisiones más importantes que se encuentran en la combustión de la biomasa.

Según la definición de contaminación atmosférica, se considera como contaminantes del aire las sustancias y formas de energía que potencialmente pueden producir riesgos, daño o molestia grave a las personas, ecosistemas o bienes en determinadas circunstancias.

Los contaminantes se clasifican en:

**Contaminantes primarios:** aquellas sustancias que son vertidas directamente a la atmósfera desde los focos contaminantes.

**Contaminantes secundarios:** se producen debido a las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la misma. Las principales alteraciones son la contaminación fotoquímica ("smog fotoquímico"), acidificación del medio y la alteración de la capa de ozono.

## a) Sistemas ciclónicos

Se basa en la aplicación de fuerzas centrífugas a las partículas en suspensión existentes en el caudal de humos de la combustión, de manera que las más pesadas son lanzadas hacia unas superficies colocadas al efecto, de forma que al perder su velocidad por el choque decantan hacia un colector inferior. Son efectivos para partículas mayores de 10 micras. Para partículas más pequeñas su eficacia disminuye por debajo del 90 %.

### Ciclón de separación simple:

Un cono invertido por el que entran los gases de la combustión por su parte superior dando lugar al movimiento giratorio descrito. Al chocar contra las paredes exteriores las partículas decantan hacia un colector inferior.

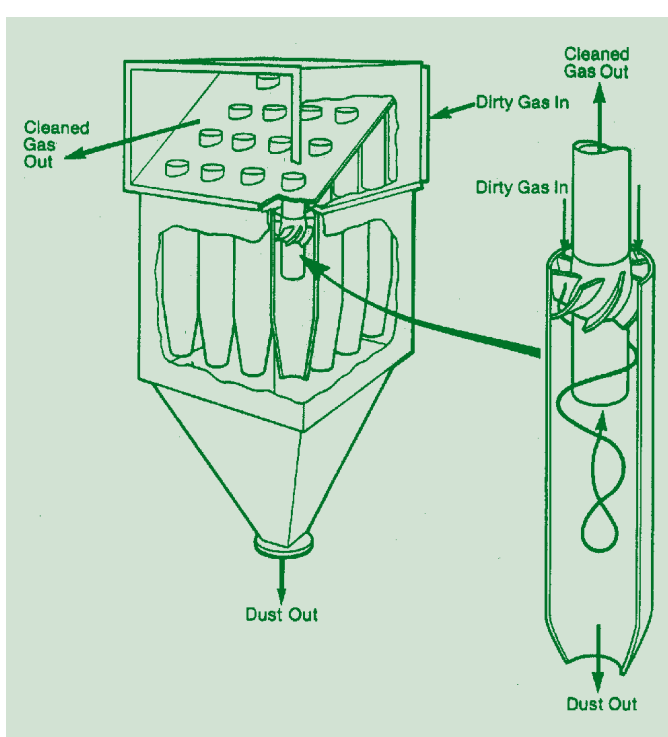
### Multiciclones

Se fabrican colocando en paralelo varios ciclones de separación simple. Con orujillo de aceituna los niveles de emisión pueden bajar de los  $150 \text{ mg/Nm}^3$ , y con hueso de aceituna se pueden conseguir emisiones de hasta  $20 \text{ mg/Nm}^3$ .

### Multiciclón Prat-Daniel

Se disponen varios conos con entradas tangenciales que proporcionan el movimiento rotatorio. Todos los conos tienen la misma longitud y la salida de gases depurados se realiza por la parte superior. En la práctica suelen obturarse para partículas procedentes de la combustión de orujillo de aceituna.





## b) Filtros de mangas

El flujo de los gases de combustión se hacen pasar por una serie de mangas filtrantes fabricadas en diversos tipos de tejidos. Cada cierto tiempo las mangas se limpian aplicando sobre ellas un movimiento de vibración, o mediante pulsos de aire.

La composición de las mangas suele variar de un fabricante a otro, pero suelen utilizarse tejidos sintéticos como Nomex, Gortex, Ryton, Hyglass y tejidos en fibra de vidrio con membrana de PTFE. Las ventajas de los materiales sintéticos es su mejor resistencia a la abrasión y resistencia a los ataques ácidos (punto de rocío ácido), mientras que su principal desventaja es su alto precio.



La temperatura de trabajo suele alcanzar los 200°C con puntas de 250°C, y no debe bajar de los 140°C para evitar condensaciones ácidas.

Las dimensiones de las mangas varía entre los 130-150 mm de diámetro y longitudes de 3-6 metros.

Suelen fabricarse modularmente de manera que dependiendo del caudal de gases de combustión y de concentración de partículas se dimensiona de un tamaño u otro.

Para descargar de trabajo al filtro y aumentar su vida útil, se suele colocar un multiciclón a la entrada de éste. De esta manera se eliminan las partículas más pesadas y se disminuye la posibilidad de que partículas incandescentes puedan dañar el tejido de las mangas.

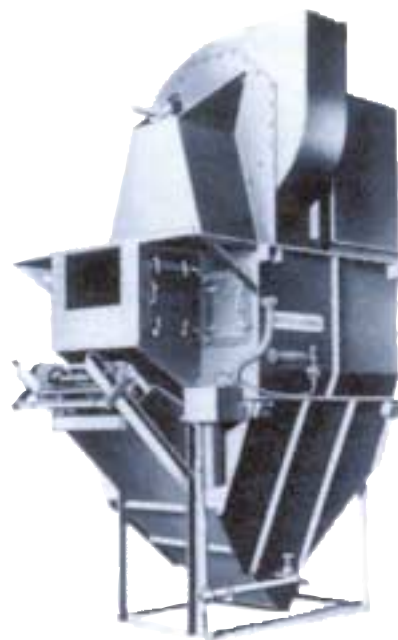
Se puede llegar hasta límites máximos de emisión de 20-30 mg/Nm<sup>3</sup>. El peso medio de una manga llena de partículas suele ser de 3 kg.

Actualmente la limpieza de las mangas se realiza mediante:

- \* On-line con aire comprimido (tecnología pulse jet).
- \* Off-line con tobera desplazable.
- \* Off-line con aire comprimido y tobera desplazable.
- \* Off-line con aire comprimido y cámaras aisladas.

## c) Separación por vía húmeda (wet scrubbers)

Consiste en la aplicación de una fina lluvia de agua sobre los gases de la combustión. Su porcentaje de separación es de prácticamente el 100 %. El principal problema es la eliminación de los lodos formados. Suele emplearse también para el tratamiento de gases ácidos.



## d) Electrofiltros

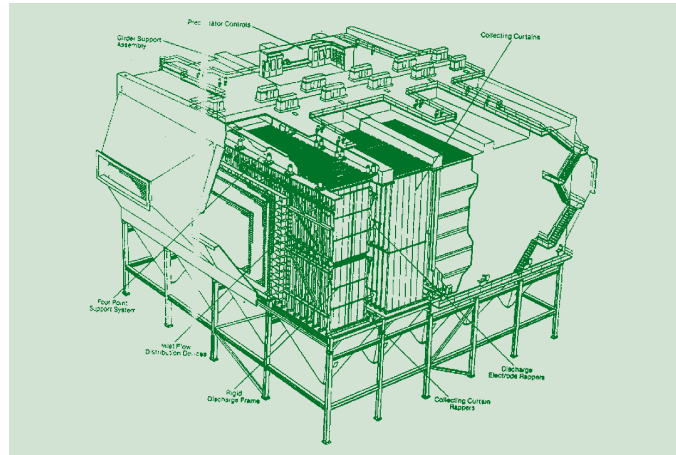
Se hacen pasar los gases de la combustión entre dos electrodos aislados eléctricamente entre sí y entre los

cuales se mantiene un campo electrostático con una muy alta diferencia de potencial, de 15.000 a 100.000 voltios. El polo negativo está conectado a los electrodos llamados emisivos, y el polo positivo a los electrodos llamados colectores que están conectados a tierra. En este campo se produce una descarga negativa tal que las partículas en suspensión quedan cargadas negativamente, siendo atraídas por el polo positivo de los electrodos. Al quedarse adheridas las partículas a los electrodos colectores quedan eléctricamente neutras y son evacuadas de los electrodos mediante vibradores o por una corriente de agua.

Para aumentar la conductividad de las partículas en las grandes centrales térmicas se suele adicionar  $\text{CO}_3\text{Ca}$  a los humos.

Se aplican eficientemente a partículas de hasta 2 micras, alcanzando su máxima eficiencia para tama-

ños superiores a 5 micras. Pueden trabajar sin límite de temperaturas. Suelen llegar a concentraciones de emisión de hasta  $50 \text{ mg/Nm}^3$ . Generalmente se usan sólo en grandes centrales térmicas debido a su alto precio.



### Comparación de tecnologías

| Sistema           | Tamaño partícula | Temperatura límite | Eficiencia | Límite emisiones ( $\text{mg/Nm}^3$ ) |
|-------------------|------------------|--------------------|------------|---------------------------------------|
| Ciclónico         | > 10 mm          | Sin límite         | 90%        | 150 – 20 (*)                          |
| Filtro mangas     | 0,01 mm          | 230 °C             | 99,9 %     | 20 – 30                               |
| Electrofiltros    | > 5 mm           | Sin límite         | 99,9 %     | 50                                    |
| Lavadores húmedos |                  |                    | 99 %       |                                       |

(\*) En biomasa depende, entre otras cosas, del tipo de combustible

# TECNOLOGÍAS DE COMBUSTIÓN

Se han hecho grandes avances respecto al aumento del rendimiento y en la reducción de las emisiones de partículas y monóxido de carbono CO. Los avances se han alcanzado particularmente en el diseño de la cámara de combustión, en el suministro del aire de combustión y en los sistemas de control automático del proceso de la combustión. El estado actual de la tecnología de las calderas automáticas ha aumentado su rendimiento de un 60 % a un 85 - 90 % durante la década pasada y se ha logrado una disminución de las emisiones del CO desde valores del rango de 5.000 mg/Nm<sup>3</sup> hasta, en algunos sistemas, valores de 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

Es muy importante seleccionar, para uso térmico, las calderas cuya tecnología sea más avanzada y que se adapten a los requisitos del alto rendimiento.

Un sistema de combustión de biomasa, está compuesto básicamente por:

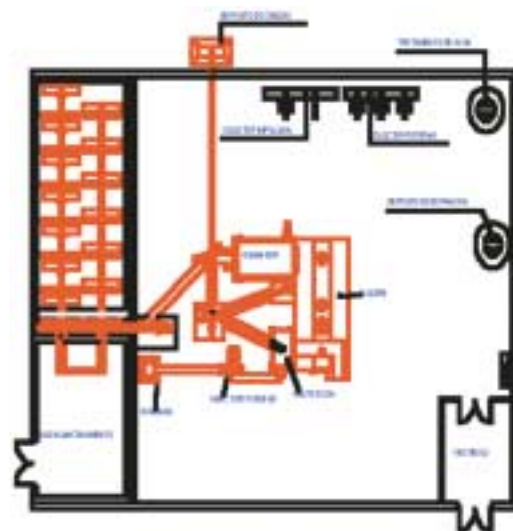
- Una caldera o conjunto caldera - quemador.
- Un cuadro de control.
- Un silo o tolva para almacenamiento de combustible.
- Tornillos de transporte y alimentación del combustible.
- Un sistema de evacuación de humos (a veces con ventilador de tiro forzado)
- Un sistema de limpieza de gases de la combustión (en caso necesario)
- Un depósito o sistema de extracción automática de cenizas.

Además de los específicos para la combustión de la biomasa, la instalación deberá de disponer de los elementos necesarios para su correcto funcionamiento,

tales como:

- Sistema de expansión.
- Sistema de regulación y control.
- Chimeneas y conductos de evacuación de humos.
- Grupos motobombas.
- Sistema de llenado y vaciado de la instalación.
- Sistema de detección y extinción de incendios.
- Sistema de tratamiento de agua.
- Tubería, valvulería y accesorios.
- Manómetros y termómetros.
- Sondas de inmersión y de temperatura exterior.
- Cuadro eléctrico de control.

En el siguiente esquema de principio se expone un ejemplo de elementos de una instalación con generadores de biomasa:



EJEMPLO IMPLANTACION DE EQUIPOS

En cuanto a los sistemas de combustión de biomasa existen diferentes tecnologías, cuya aplicación dependerá del uso de la instalación, dimensión de la misma y tipo de combustible a emplear, además de tener en cuenta otras consideraciones como inversiones y costes de mantenimiento. Además se pueden encontrar combinaciones de las diversas tecnologías. Con estas consideraciones se realiza la siguiente clasificación:

- Alimentación bajo parrilla (underfeed stoker)
- Parrilla vibrante refrigerada con alimentación superior
- Parrilla viajera
- Parrillas inclinadas
- Alimentador esparcidor (spreader stoker)
- Pulverización de la biomasa
- Lecho fluido

Indicar que los sistemas de lecho fluido y pulverizado no son frecuentemente usados en instalaciones de generación de energía térmica y sí son más apropiados para las grandes instalaciones de generación de electricidad.

#### **Alimentación bajo parrilla (underfeed stoker).**

El quemador de tipo underfeed está formado por un tornillo sinfín o un empujador que introduce el combustible en un crisol, o retorta, de fundición. En la parte superior del crisol suelen existir toberas, también de fundición, para la inyección del aire de combustión.

Se utiliza para calderas de potencia en general hasta 1.200.000 kcal/hora por metro cuadrado de parrilla, aproximadamente 15 t/h de vapor. Para calderas mayores prácticamente se usan parrillas mecánicas.

Las cenizas, en general, se extraen manualmente. La facilidad de extracción de las cenizas y la frecuencia de extracción depende de la cantidad de cenizas del combustible y su tendencia a la aglomeración.

#### El proceso de combustión:

El combustible fresco empujado por el sinfín, sube al crisol y no se quema hasta llegar al nivel de las toberas de la parte superior. Sin embargo, el combustible que llena el crisol empieza a calentarse, a secarse y a destilar antes de llegar a la zona de fuego. Las materias volátiles liberadas progresivamente se filtran por la capa de coke (carbono fijo) producido, quemándose en la zona de fuego.

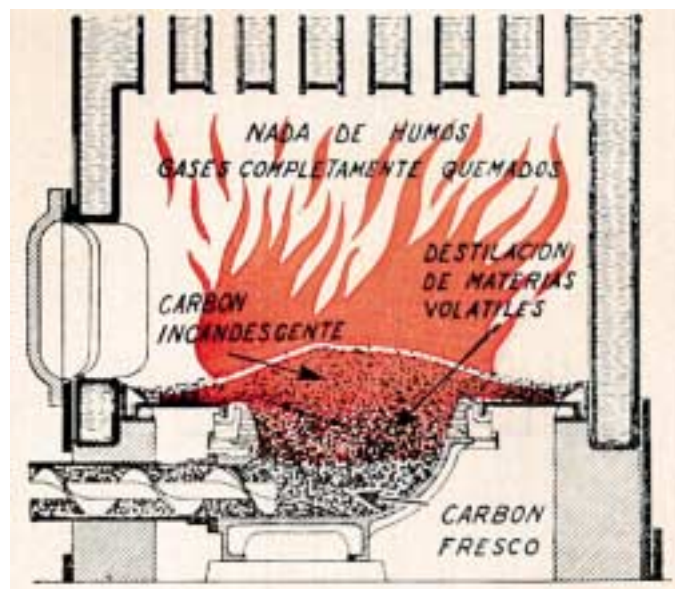
El combustible debe ser tal que se pueda transportar por el sinfín, y estar lo suficientemente seco al objeto de evitar la formación de bóvedas en las tolvas de alimentación.

Las parrillas de fundición suelen estar refrigeradas por el aire de combustión. Éste se introduce por debajo de una parrilla taladrada y en la parte superior del crisol mediante toberas que lo rodean completamente. Admite aire precalentado hasta incluso los 200°C con lo que se consigue mayor grado de secado del combustible y de combustión de los volátiles.

El combustible no se reparte uniformemente por la parrilla. Las zonas cercanas al crisol es donde mayor cantidad de masa (combustible y cenizas) se encuentra y disminuye muy rápidamente a medida que nos alejamos del crisol. Por esta razón el fogonero debe extender el combustible por la parrilla uniformemente para que la combustión se lleve a cabo de forma eficiente.

Para mejorar la distribución del combustible existe un sistema que combina el sistema descrito con una parrilla inclinada y placas de escorias basculantes.

La mayor desventaja que presenta este sistema de combustión es que al quemar en masa incrementa la posibilidad de aglomeración de las cenizas (clinkering) o de producir éstas en capas (matting).





Para evitar estas aglomeraciones se utilizan parrillas que muevan el combustible.

### Parrillas inclinadas

- Fijas

El descenso del combustible por gravedad, en general no es uniforme y la combustión es defectuosa por las grandes variaciones de espesor del mismo, atascamientos, o caídas bruscas que se puedan producir. Por esta razón, el control de la alimentación de combustible es muy difícil. No está recomendado para combustibles de cenizas aglomerantes.

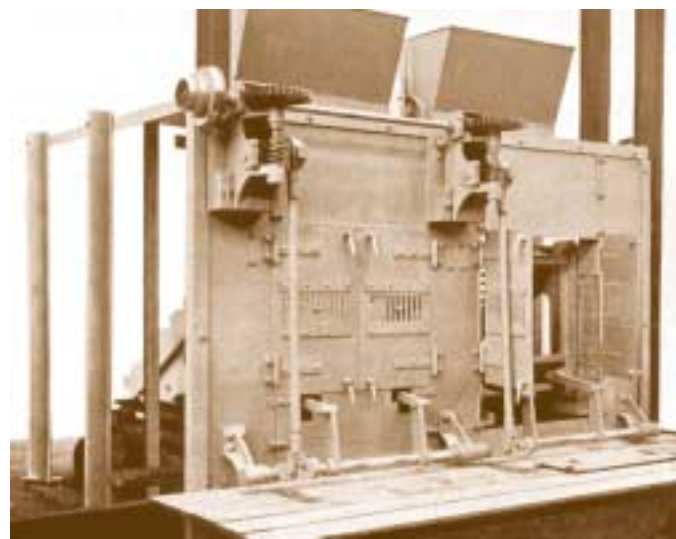
Generalmente al final tienen una parte plana donde cae el combustible no quemado, donde termina de quemarse, y las cenizas, de donde se recogen manualmente o mediante un oscilador. La inclinación de estas parrillas varía entre 40° y 50°.

- Parrilla de gradas escalonadas

Como la anterior pero las barras de la parrilla son horizontales formando una escalera. Su principal ventaja es que el combustible menudo (finos) no puede caer a través de la parrilla; pero tampoco las cenizas. Esto da lugar a que el combustible y las cenizas permanezcan mezclados originando una combustión lenta.

Los escalones de la parrilla pueden ser completamente horizontales, o tener cierta inclinación para favorecer el descenso del combustible, o incluso presentar dos zonas con inclinaciones diferentes. La inclinación de la parrilla escalonada suele ser menor que en el caso de la anterior, de 30° a 35°. Admite aire precalentado.

Está indicado su uso para hullas de poca potencia calorífica, lignitos, carbones en polvo y granulados. También para virutas y serrines.



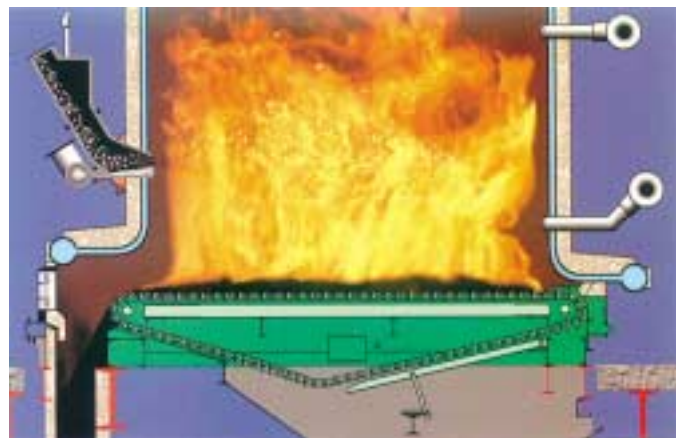
- Parrilla viajera (traveling grate stoker)

La parrilla viajera, o de cadena, es una superficie plana por la que se traslada lentamente el combustible, con lo cual se obtiene una alimentación y limpieza automática.

Los barrotes de la parrilla están articulados entre sí, formando una superficie plegable que se mueve como una cadena ancha de transmisión entre dos series de ruedas dentadas paralelas.

Se puede controlar el espesor de la capa de combustible mediante un sencillo dispositivo. El grosor de la capa de combustible varía entre los 100 a 150 mm, que disminuye a medida que se progresa en la combustión.

Para que las escorias no se queden pegadas a la parrilla, al final de ésta existe un rastrillo o rascador que elimina las escorias.



### Proceso de combustión

El combustible al principio empieza a calentarse y a destilar. Hacia la parte central de la parrilla tiene lugar la combustión del coke producido. Finalmente las cenizas y escorias caen al cenicero colocado en la parte final.

Al principio suele colocarse una bóveda refractaria para que el calor que irradia seque y destile con faci-

dad al combustible. Esta zona puede llegar incluso a ocupar la mitad del hogar de la caldera.

Un problema del sistema de combustión es que al principio existe defecto de aire y al final existe exceso, por lo que se suele dividir la cámara inferior en zonas mediante mamparas en las cuales existe diferentes caudales de aire: más en las iniciales y menos en las finales.

Se suele utilizar aire precalentado en la primera zona para facilitar el encendido y frío en la última para evitar el excesivo calentamiento del emparrillado que podría dar lugar a la fusión de las cenizas.

Un inconveniente de tipo mecánico es que existen muchas piezas móviles, en contraposición con otros tipos.

El movimiento de la cadena es tan sólo de 100 mm/min.

También es necesario utilizar aire secundario.

### Parrilla vibratoria

Fue introducida por Steinmüller en la década de 1950. La parrilla, generalmente refrigerada por agua, mediante un mecanismo de vibración excéntrico hace que el combustible poco a poco se mueva hacia delante de manera que cuando llega al final las cenizas se depositan sobre un foso.

El combustible se puede introducir en masa introduciéndolo directamente sobre la parrilla, o mediante un lanzador (spreader) que puede ser mecánico o simplemente una corriente de aire generado por un ventilador.

La parrilla suele estar inclinada o incluso completamente horizontal dependiendo del combustible y del espacio disponible en caldera.

La duración de la vibración en la parrilla suele variar entre 4 y 10 segundos según la carga de la misma y el tipo de combustible.

La entrada del aire de combustión puede realizarse por zonas para adecuarse a la humedad y tipo de combustible.



### Alimentador esparcidor

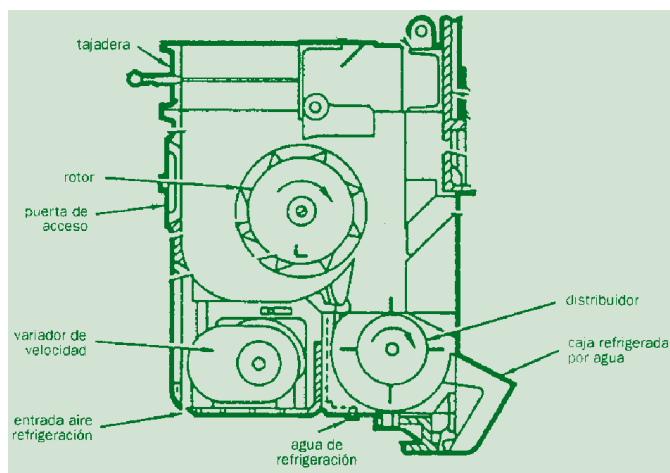
Es un sistema ideado para quemar la mayor parte del combustible en suspensión sobre la parrilla. Debe tener una tamaño homogéneo para que su distribución al ser lanzado sea lo más uniforme posible.

El lanzador puede ser mecánico o simplemente una corriente de aire proporcionada por un motoventilador, actualmente se utiliza esta segunda opción.

El combustible de menor tamaño se quema en suspensión, mientras que el de mayor peso se quema sobre el lecho de la parrilla.

Necesita aire secundario por encima de las parrillas para poder quemar los volátiles desprendidos durante la combustión del combustible que cubre la parrilla. Estos volátiles no encuentran suficiente aire para quemarse, pues los pasos de aire están obstruidos por el combustible que anteriormente se ha depositado sobre la parrilla.

Es el sistema más flexible en la actualidad, puede combinarse con todos los tipos de parrillas, y prácticamente con todos los combustibles que presenten una granulometría homogénea, e incluso con características aglomerantes. Debe proporcionarse seco pues las partículas al estar húmedas podrían pegarse al alimentador.



Puede combinarse con las siguientes parrillas:

- Fijas.  
La retirada de cenizas es manual. Potencias de hasta 1.220.000 kcal/hora por metro cuadrado de parrilla.
- Basculantes.  
La retirada de las cenizas se realiza mediante un emparrillado formado por placas de fundición que cada cierto tiempo giran descargando las cenizas acumuladas encima. Presenta muchos problemas con combustibles aglomerantes.

- **Viajeras.**

El combustible cae sobre una parrilla viajera convencional. Se puede utilizar con combustibles aglomerantes ya que presentan un rascador en la parte final de la parrilla. Hasta 2.000.000 kcal/m<sup>2</sup> hora.

- **Vibrantes.**

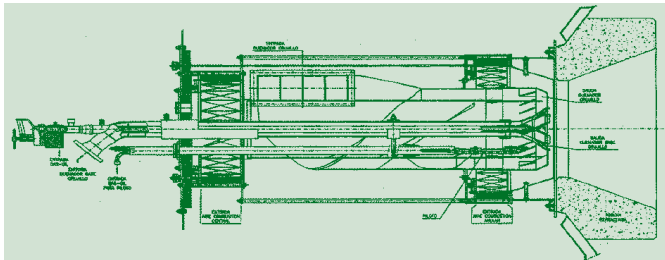
La parrilla suele estar ligeramente inclinada para facilitar el movimiento del combustible hacia delante. Se usa también plana en equipos que debido al poco espacio disponible no se pueden utilizar inclinadas.

La parrilla suele estar formada por un emparillado de tubos con pletinas soldadas entre éstos formando un continuo. Las pletinas pueden estar taladradas para proporcionar aire primario de hasta 250 °C. Consecuentemente la parrilla está refrigerada por agua consiguiéndose una mayor durabilidad de ésta.

El combustible, gracias al movimiento de vibración se desplaza hacia delante junto con las cenizas, las cuales se eliminan al llegar al final. Potencias de hasta 1.000.000 kcal/m<sup>2</sup> hora.

### **Pulverización de la biomasa.**

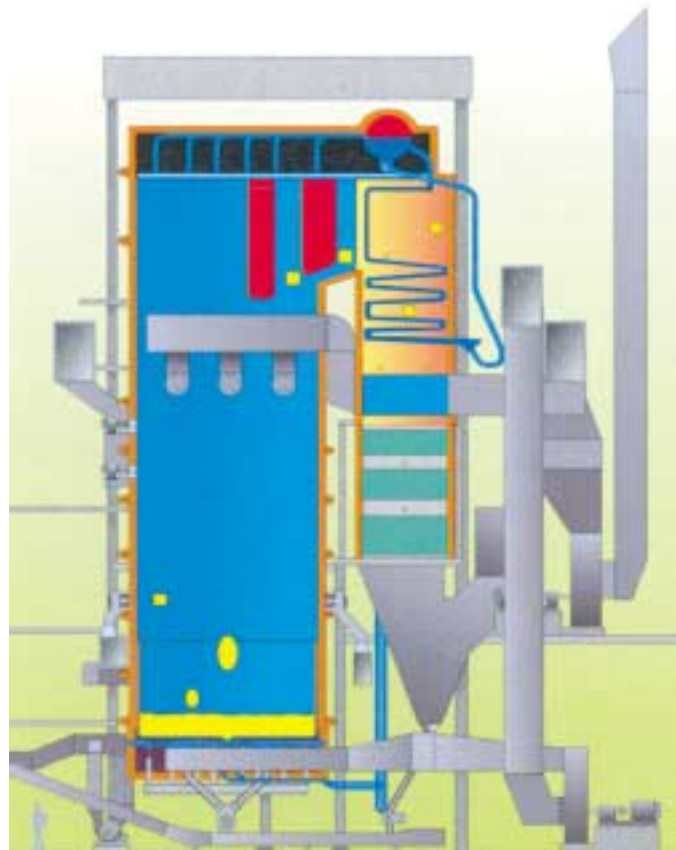
Se trata de pulverizar la biomasa mediante molinos, en general de martillos, para conseguir un tamaño de partícula inferior a 1,0 mm. Este tamaño simplemente es el que corresponde a las especificaciones técnicas de los fabricantes. En los carbones la pulverización, micronización, es inferior a 0,5 mm. Se consigue este tamaño de partícula gracias a que los carbones en general presentan mayor dureza que la biomasa y porque no existe la "flexibilidad" de ésta. Los combustibles vegetales pueden presentar direcciones "privilegiadas" de forma que pasen por el tamiz de 1 mm, pero no en todas sus dimensiones.



### **Caldera de lecho fluido**

En una caldera de lecho fluido típica, el combustible o combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, junto con el material inerte del lecho, por ejemplo, arena, sílice, alúmina o cenizas, y/o un sorbente, como caliza, son mantenidos suspendidos por medio de la

acción del aire primario distribuido por debajo de la caldera.



La importancia de este concepto es que es posible tener un buen control de los parámetros que influyen en la combustión: turbulencia, tiempo y temperatura.

La turbulencia es producida por la fluidificación, haciendo que la masa de sólido se comporte más como un líquido. La mejora en la mezcla da lugar a una reducción sustancial y a una mejor distribución de la temperatura (normalmente 815 °C-900 °C).

De esta manera, una cámara de combustión convenientemente dimensionada, recuperará calor a un nivel equivalente al de una caldera convencional, pero teóricamente, a una temperatura más baja sin pérdida de eficiencia.

El mecanismo de fluidificación, o el de turbulencia añadido, ofrece varias ventajas:

- Menor volatilización de los compuestos alcalinos.
- Menor sensibilidad a la cantidad y naturaleza de las cenizas del combustible.
- Volúmenes de hogares más pequeños.

No se requiere volumen extra en el hogar para permitir a las cenizas enfriarse antes de fluir hacia los pasos convectivos. Estas ventajas son los ingredientes esenciales que en la mejora en la flexibilidad de utilizar

diversos combustibles, se le atribuyen a los lechos fluidificados.

Las ventajas que se derivan de la baja temperatura se refieren al control de emisiones. En primer lugar, las temperaturas de operación están por debajo del nivel de formación de los óxidos de nitrógeno. La combustión escalonada puede ser utilizada también para minimizar la formación de los NOx. En segundo lugar, utilizando un sorbente adecuado como parte del material del lecho, pueden ser eliminados los SO2 y otros gases ácidos, eliminando, o al menos minimizando, la necesidad de control de los gases a la salida.

Otra gran ventaja de operar a bajas temperaturas de combustión es evitar los efectos de sinterización y escoriación, además de otros problemas asociados con las calderas convencionales.

Como en cualquier tipo de caldera, se dispone de un adecuado sumidero de calor en la zona de combustión para el control de la temperatura. En estas calderas se dispone de las tradicionales paredes de agua, pero también, en algunos diseños, los tubos de la caldera se localizan dentro del propio lecho. El control se realiza manipulando los parámetros del lecho primario: altura, temperatura, inventario de sólidos y velocidad superficial del gas. En la práctica, los cambios de velocidad asumen la mayor parte del control. Por ejemplo: reduciendo la velocidad de fluidificación disminuye la superficie de transferencia de calor expuesta al lecho. Cuando el aire es completamente cortado, la transferencia de calor se hace cero, ofreciendo una respuesta rápida a la reducción de carga. La reducción de carga y el control de flujo de vapor pueden también conseguirlos reduciendo la cantidad de material del lecho o regulando la alimentación de combustible.

Una vez que los gases calientes abandonan la zona de combustión, pasan a través de las superficies de transferencia de calor, calentadores de aire y dispositivos de limpieza de partículas que son componentes similares o idénticos a los que se vienen utilizando habitualmente en las calderas durante muchos años.

Los tipos de calderas de lecho fluidificado son: burbujeante, circulante y burbujeante de dos etapas. Algunos suministradores han modificado sus diseños de lecho fluido burbujeante para competir con la popularidad de los lechos fluidos circulantes. Esto se consigue aumentando la proporción de recirculación.

La característica fundamental que distingue a las calderas de lecho fluido es la velocidad del aire a través de la unidad. Las de lecho fluido burbujeante tienen velocidades de fluidificación muy bajas, del orden de 1,5 a 3,6 m/s; la idea es prevenir que los sólidos se escapen desde el lecho

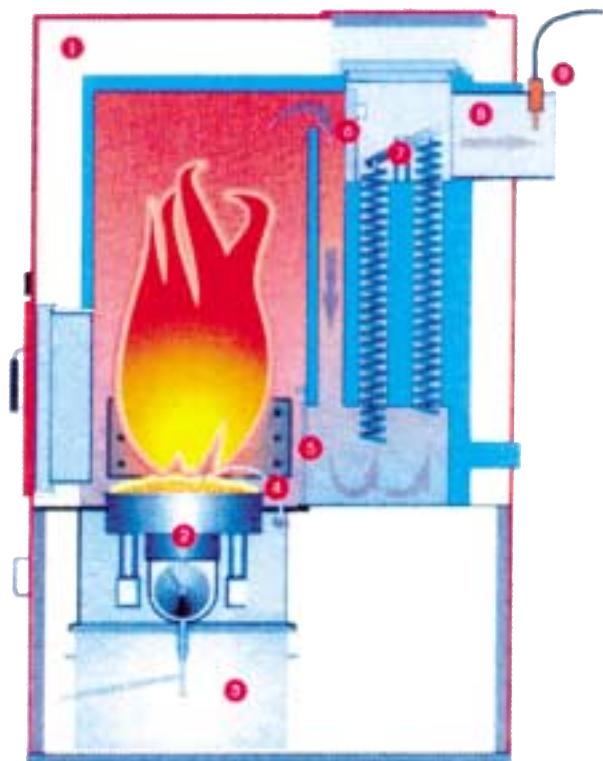
hacia los pasos convectivos. En los lechos fluidos circulantes se utilizan velocidades del orden de los 9 m/s. Sin embargo, la mayor parte de las unidades de lecho burbujeante requieren al menos una recirculación parcial o reinyección de hasta el 90% de los sólidos para obtener un rendimiento satisfactorio sin aumento sustancial del tamaño de la caldera. Por esta causa, los lechos fluidos circulantes mantienen una continua recirculación de un gran volumen de sólidos, separando los sólidos en un separador mecánico y permitiendo que el gas caliente pase a través de la sección convectiva.

Existen otras ventajas relacionadas con los lechos fluidos circulantes: mayor tiempo de residencia para aumentar la eficiencia de la combustión y mejorar la absorción del SO2 y otros gases ácidos, empleo de combustibles y sorbentes menos preparados y eliminación de muchos de los problemas asociados con la potencia del ventilador necesario para mantener la velocidad a través del lecho en periodos de mayor y menor altura del lecho.

A continuación se indican algunos tipos de equipos de combustión existentes, variantes de los descritos anteriormente:

### Equipos compactos.

Estas calderas son versiones agrandadas de las calderas domésticas de pellets. Son comparativamente baratos y bien aceptados, pues se han diseñado para



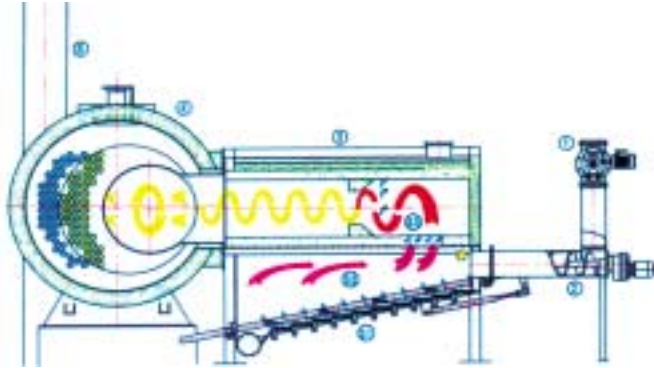
1. Cenicero; 2. Protector contra desbordamiento; 3. Limpieza de partículas; 4. Intercambiador de calor; 5. Rascadores; 6. Chimenea; 7. Sonda

calefacción doméstica y no para uso industrial. Eso significa que incluyen sistemas para la comodidad del usuario como la limpieza automática, el encendido eléctrico y una alta fiabilidad. Potencias de hasta 40 kW.

### Conjunto caldera quemador y dos etapas de combustión

Son equipos que requieren un mayor espacio, pero pueden quemar cualquier tipo de biomasa, incluso con altos contenidos en humedad y cenizas.

Se pueden utilizar calderas de baja temperatura con lo que el rendimiento de la instalación es sensiblemente más alto que en otros sistemas.

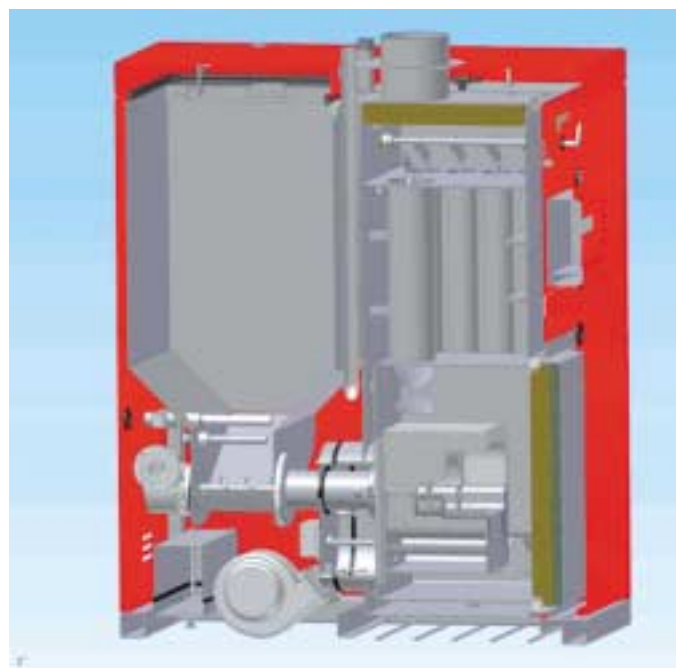


1. Válvula rotativa; 2. Alimentador; 3. Quemador; 4. Caldera; 5. Chimenea

### Calderas Modulantes

Se trata de equipos compactos, con capacidad de modulación de potencia (de 10 a 60 kW) en función de la temperatura de impulsión.

Disponen de un sistema de regulación automática de la combustión, que se adapta al combustible a utilizar.



Admite combustibles hasta 50 mm de diámetro.

Respecto a la circulación del fluido transmisor de calor las calderas se pueden clasificar en:

- **Acuotubular:** gases de combustión por fuera de los tubos y por dentro de ellos se conduce el agua; a la salida de éstos tiene lugar la vaporización, en los calderines donde coexisten las fases vapor y líquida. Los gases de la combustión se generan en una cámara separada del haz de tubos.

- **Pirotubulares:** humos por dentro de los tubos. En tal caso la cámara de combustión está también separada del haz de tubos.

|                                                          | <b>Pirotubulares</b>                                                                                                                             | <b>Acuotubulares</b>                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rango de potencias</b>                                | Desde 50.000 hasta 10.000.000 kcal/h                                                                                                             | Desde 500.000 hasta 10.000.000 kcal/h                                                                                               |
| <b>Funcionamiento en continuo (1)</b>                    | 1 semana 12 horas/día                                                                                                                            | 5 Meses 24 horas/día                                                                                                                |
| <b>Revisiones, mantenimiento y limpieza</b>              | Limpieza del interior de los tubos (hay que parar la caldera).<br>Utilizar aire comprimido para limpieza automática.<br>Limpieza de la parrilla. | Limpieza del exterior de los tubos<br>Limpieza de la parrilla.                                                                      |
| <b>Coste de mantenimiento</b>                            | Considerar parar la caldera 1 vez a la semana (en función de régimen de utilización)                                                             | Parar la caldera en meses                                                                                                           |
| <b>Potencia eléctrica instalada</b>                      |                                                                                                                                                  | Aproximadamente mitad que una pirotubular, menor necesidad de aspiración                                                            |
| <b>Rendimiento energético medio en continuo</b>          | Desde 85 a 50 % en 1 semana                                                                                                                      | 83 % promedio en 5 meses, 24 horas/día                                                                                              |
| <b>Vida útil de la instalación</b>                       | 20 años                                                                                                                                          | 30 años                                                                                                                             |
| <b>Diferencias de operación</b>                          | Paradas de limpieza                                                                                                                              | Sin apenas paradas                                                                                                                  |
| <b>Seguridades de funcionamiento</b>                     | Según R.A.P.                                                                                                                                     | Según R.A.P.                                                                                                                        |
| <b>Temperatura de gases</b>                              | Desde 200 hasta 400 °C                                                                                                                           | Fluctúa entre 200 y 250 °C                                                                                                          |
| <b>Características agua de alimentación</b>              | Según norma UNE-9-075-92                                                                                                                         | Según norma UNE-9-075-92                                                                                                            |
| <b>Inversiones</b>                                       | 50% menor que acuotubular con hogar interno. Similar a acuotubular con antehogar.                                                                | En general, son más caras que las pirotubulares. A medida que aumenta la potencia de la caldera los costes de inversión se igualan. |
| <b>Materiales de construcción</b>                        | Acero al carbono según código de construcción                                                                                                    | Acero al carbono según código de construcción                                                                                       |
| <b>Volumen de hogar</b>                                  | Muy reducido y horizontal. No adecuado para llamas verticales como las de combustible sólido                                                     | Muy adecuado para la llama de los combustibles sólidos, gran volumen y predomina la altura de la cámara de combustión.              |
| <b>Predominio de mecanismo de transferencia de calor</b> | Convección                                                                                                                                       | Radiación                                                                                                                           |

(1) Con hueso de aceituna

|                                           | RECOMENDACIONES                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>COMBUSTIBLE</b>                        | Adaptación a la biomasa existente<br>Posibilidad de polcombustibles                                                                                                                                                             |
| <b>RENDIMIENTO</b>                        | Alto rendimiento probado por mediciones certificadas                                                                                                                                                                            |
| <b>POTENCIA EQUIPO GENERACIÓN ENERGÍA</b> | Adaptación a la curva de demanda de la instalación                                                                                                                                                                              |
| <b>EMISIONES</b>                          | Cumplimiento legislación y mejora de misma                                                                                                                                                                                      |
| <b>MANTENIMIENTO</b>                      | Alto grado de automatización<br>Calderas piro-tubulares limpieza por aire comprimido<br>Telecontrol                                                                                                                             |
| <b>ALIMENTACIÓN COMBUSTIBLE</b>           | Continua<br>Evitar arranques y paradas que favorecen la pérdida de rendimiento y aumento de las emisiones                                                                                                                       |
| <b>ESTUDIO ECONÓMICO</b>                  | No considerar sólo la inversión inicial del equipo de biomasa, tener en cuenta la inversión de un equipo de combustible convencional.<br>Analizar los flujos de caja en el periodo de vida de la instalación, al menos 15 años. |

#### ESTUDIO ECONÓMICO INSTALACIÓN DE BIOMASA

**SOBRE-INVERSIÓN** = Inversión Biomasa - Inversión Combustible Fósil

**CFB** = Coste funcionamiento anual instalación biomasa = Cantidad biomasa \* Precio + Mantenimiento

**CFC** = Coste funcionamiento anual instalación combustible fósil (CF) = CF \* Precio + Mantenimiento

**AHORRO** = CFC - CFB

**PERIODO RETORNO SOBRE-INVERSIÓN** = **SOBRE-INVERSIÓN** / **AHORRO**

# SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y ALIMENTACIÓN DE BIOMASA

El manejo de la biomasa en los centros de consumo es una cuestión muy importante para el buen funcionamiento de las instalaciones.

En este capítulo se englobarán las operaciones de almacenamiento, transporte de la biomasa y alimentación de los diferentes equipos de conversión energéti-

ca. Como ya se ha dicho son muy diversos los tipos de instalaciones y usos, por lo que no existe una única solución en cuanto al manejo de la biomasa para todas ellas.

En primer lugar cabría apuntar que estas operaciones hay que realizarlas de una forma segura, limpia,

| Combustible                           | Autocombustion                                                         | Almacenamiento cerrado                     | Sistema seguridad                          |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Drujillo de aceituna tres y dos fases | Si. Alta probabilidad                                                  | No, salvo consumo inmediato                | Almacén abierto                            |
| Hueso de aceituna                     | No. Baja probabilidad                                                  | Si, pero con humedad puede formar bóvedas  | Indistinto.                                |
| Polvo de corcho                       | Si. Autoignición con cualquier tipo de chispa, incluso mediante choque | No, salvo consumo inmediato                | Estudio antiexplosión según normativa ATEX |
| Cáscara de almendra                   | No. Baja probabilidad.                                                 | Si, pero con humedad puede formar bóvedas. | Indistinto.                                |
| Cáscara de piñón                      | No. Baja probabilidad.                                                 | Si, pero con humedad puede formar bóvedas. | Indistinto.                                |
| Astilla y leña de madera              | No, salvo con procesos de fermentación.                                | Con humedad puede formar bóvedas.          | Indistinto.                                |
| Briquetas y pellets                   | No.                                                                    | Si. Suelen proporcionarse secos.           | Indistinto.                                |
| Serrín y virutas                      | Madera en polvo alta probabilidad                                      | Si. Suelen proporcionarse secos.           | Estudio antiexplosión según normativa ATEX |
| Orujillo, granilla y raspón de uva    | Si. Alta probabilidad                                                  | No. Suele llevar humedad.                  | En almacén abierto.                        |



cómoda, eficiente y económica. El objetivo es almacenar o transportar biomasa evitando en lo posible problemas debido a la posibilidad de aparición de incendios, plagas, molestias para las poblaciones cercanas y sobre todo posibilitando que la biomasa no sea un combustible incómodo en su manejo.

Se analizan los sistemas de almacenamiento, transporte y alimentación más apropiados para las instalaciones de generación de energía térmica, pudiendo existir otros sistemas que son usados, bien en otros tipo de biomasa o bien para otras conversiones energéticas de la biomasa.

## ALMACENAMIENTO

Uno de los grandes problemas con que se encuentra el almacenamiento de biomasa, es que debido a su relativamente bajo poder calorífico y densidad, se necesitan grandes superficies.

La humedad superficial de la biomasa suele ser elevada, lo que da lugar a diversos problemas:

- Bajo poder calorífico útil.
- Problemas de transporte.
- Posible autoignición del combustible debido a las temperaturas (60-70°C) que se puedan alcanzar dentro de la pila de combustible. Debido a la temperatura los volátiles se desprenden lentamente, destilando y disminuyendo el poder calorífico del producto. La presencia de cortezas y hojas favorece notablemente este tipo de fermentación.

Según el tipo de almacenamiento y producto almacenado se deberá establecer un sistema de control de incendios.

Para el tipo de materia que se utiliza en las instalaciones de generación de energía térmica se emplean en la práctica totalidad de los casos varios tipos de almacenamiento.

- Al aire libre
  - Cubiertos, cerramientos tipo nave
  - En fosos, cubiertos ó aire libre
  - En silos
  - Tolvas de obra civil
  - En silos metálicos.
- El almacenamiento al aire libre tiene como desventaja la dificultad de pérdida de humedad del material en caso de estaciones húmedas. Por otro lado, como ventaja suelen ser sistemas baratos,

aunque se necesita una importante cantidad de espacio.

- En el caso de optar por sistemas cubiertos, se asegura las características de la biomasa, pero se encarece el precio de la misma. Este sistema es apropiado para ciertas acumulaciones de combustible densificado, caso de las pacas, también para productos como el hueso de aceituna ú orujillo. También es apropiado para biomasa destinadas al uso doméstico (leñas, briquetas, pellets)
- Las tolvas subterráneas de obra civil son en general de sección triangular de una profundidad no mayor de 3 m para facilitar su mantenimiento. En el fondo se suele colocar uno o dos sin fines para facilitar el transporte del material hacia el medio de elevación que suele ser otro sin fin, si existe una distancia suficiente hacia el lugar donde se quiere transportar, o un elevador de cangilones si la distancia fuese mínima.
- Silos
  - Silos cilíndricos de chapa lisa.
  - Silos cilíndricos de chapa ondulada.
  - Silos de ángulos rectos: cuadrado u octogonal.
  - Hormigón armado: sólo para grandes capacidades.

En los silos suele aparecer un problema importante, que es la aparición de bóvedas debido al almacenamiento de partículas alargadas que se entrelazan entre sí, o con una humedad elevada, evitando que el producto, llegue al fondo del silo donde se encuentran los elementos de extracción. Este problema se puede solventar instalando un sistema rotativo que mueva el material acumulado. En silos de pequeño tamaño cuadrados o rectangulares se solventa con la utilización de fondos móviles mediante cilindros hidráulicos con empujadores, siendo el material recogido por cintas de bandas o simplemente sin fines.

Se suelen utilizar los silos cilíndricos, pues tienen menor tendencia a la formación de bóvedas que aquellos que tienen ángulos. Estos últimos se suelen utilizar más bien como receptores temporales intermedios de algún sistema de transporte, en los cuales el tiempo de residencia del producto no sea mayor de 8 horas, es decir, un turno de trabajo.

El fondo del cilindro suele tener forma cónica con ángulos de entre 55-60°, aunque existen también silos de fondo plano, en los cuales existen mecanismos mecánicos de vaciado de tipo pistón, rastrillo, o incluso sin fin.

## Recomendaciones generales

| Humedad de la Biomasa (H) | Sistema de almacenamiento                                                                   |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $H > 30\%$                | Aire libre (estaciones no húmedas).<br>Recintos cubiertos (naves, leñeras, etc).<br>Tolvas. |
| $15\% > H \geq 30\%$      | Aire libre<br>Recintos cubiertos<br>Silos<br>Tolvas                                         |
| $H \leq 15\%$             | Silos<br>Tolvas<br>Recintos cubiertos<br>Envasados (ejemplo pellet, briquetas)              |

### Dimensionamiento sistema de almacenamiento

Características biomasa: Humedad  
Densidad (D)  
Poder Calorífico Inferior

Consumo: C (kg/día) (kg/h)

Autonomía almacenamiento: A (días) (horas)

Coefficiente de seguridad suministro: CS

**CANTIDAD ALMACENADA:**  $C * A * CS$  (kg)

**VOLUMEN ALMACENADO:**  $C * A * CS / D$  (m<sup>3</sup>)

## SISTEMAS DE TRANSPORTE

### a) Transportadores de tornillo sin fin

Un tornillo sin fin está formado por una hélice de acero, fundición o acero inoxidable, montada sobre un eje y suspendida en un canal en forma de U, o embebido en un tubo. El material también podría ser plástico, aunque en el caso de la biomasa se desestimaría este material debido a problemas de incendios en las instalaciones.

#### Ventajas

- Sencillez y bajo coste
- Posibilitan el transporte cerrado, evitando la formación de nubes
- Se pueden producir cargas y descargas en diversos puntos
- Producen la homogeneización del material que transportan

#### Inconvenientes

- Tienen un consumo de potencia elevado
- Permiten un ángulo de inclinación pequeño
- La capacidad de transporte se penaliza mucho con la inclinación
- No admiten largas distancias.
- Sufren desgastes por abrasión

La hélice puede ser un tornillo de rosca a derecha o a izquierda. Los diámetros de hélice pueden variar entre 10 cm (4") hasta 61 cm (24"). La capacidad de transporte de un sin fin varía con la densidad del producto, o si el material es abrasivo o corrosivo, o la inclinación del mismo. La capacidad de transporte varía fuertemente con la pendiente. Si el sin fin está inclinado 25°, se pierde el 45% de la capacidad de transporte con respecto a su posición horizontal.

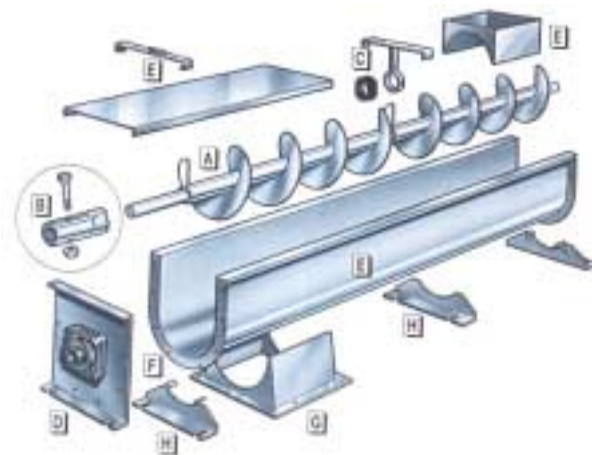
- Tamaño del material

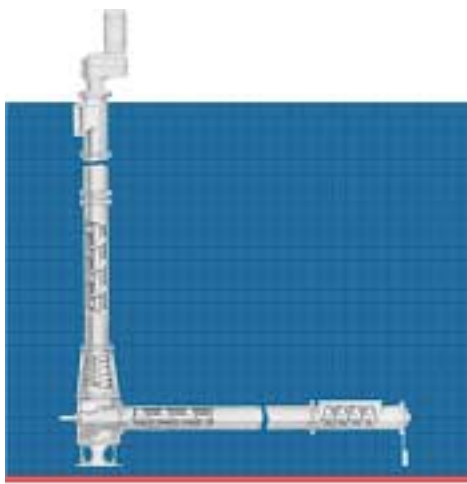
El diámetro de la hélice fija el tamaño del material que se puede transportar sin peligro para el sin fin.

El siguiente cuadro fija los tamaños:

| Diámetro hélice (cm) | Tamaño máx. partícula (mm) |
|----------------------|----------------------------|
| 10                   | 6                          |
| 15                   | 13                         |
| 25,5                 | 19                         |
| 35,5                 | 32                         |
| 45,7                 | 51                         |
| 61                   | 63                         |

Si el tamaño del material a transportar está dentro de los límites normales, la distancia no es demasiado grande y la inclinación tampoco, un sin fin es un método barato y sencillo de transportar un material.





### b) Elevador de cangilones

Los elevadores de cangilones, tanto de banda como de cadena, son el medio más idóneo de transporte vertical a granel cuando no se dispone del espacio que un transportador convencional requeriría.

Consiste esencialmente en una serie de cangilones que se encuentran atornillados a una banda o a una cadena transportadora, que accionada por una cabeza motriz situada en la parte superior, se encarga de elevar el producto a través del chasis central.

La carga se realiza vaciando el producto en una boca situada en la parte inferior del elevador (cola) produciéndose la descarga por efecto de la fuerza centrífuga situada en la parte superior (cabeza), retornando el cangilón vacío para cargar de nuevo.

Tanto la cabeza y la cola, como los tramos centrales del chasis, constituyen un sistema modular atornillable que permiten dar al elevador la altura necesaria en cada caso. La cola o parte inferior contiene el rulo tensor, así como la boca de carga con tajadera manual, que permite regular la alimentación del material.

La cabeza motriz incluye el nilo de tracción que es accionado por un motor reductor a través de una transmisión por correas o por piñones y cadena, según los casos, así como un sistema antirretorno que impide que al producirse el paro, estando el elevador en carga, la columna de subida haga girar a la inversa al tambor motriz, produciendo una inundación de material



en la cola.

Los cangilones y bandas están específicamente diseñados según las características del material a transportar, abrasividad, temperatura, granulometría, etc., pudiendo ser de distintos tipos de plásticos o metal, con diferentes espesores y reforzados.

Este tipo de elevadores pueden manipular materiales que no sean muy pegajosos para su descarga ni tengan terrones o trozos demasiado grandes para los cangilones.

#### Ventajas

- Presentan un bajo consumo de potencia
- Son de construcción simple
- El coste de inversión es bajo
- Seguros de funcionamiento

#### Inconvenientes

- Necesidad de un sistema interno de carga (tornillos sin fin, cintas transportadoras, etc)

### c) Transportador de cadenas o Redler



Es un tipo de transportador de circulación continua en el cual dos cadenas gemelas están unidas por paletas completas, igualmente distanciadas, y una canal, de forma que el material llena por completo todo el conducto.

Funciona bien manipulando granos de cereal, astillas de madera, grafito en escamas y otros materiales no abrasivos de peso específico medio. Es un buen medio de transporte para el orujillo de aceituna de dos fases.

#### Ventajas

- Tienen total estanqueidad, son limpios y no producen vertidos
- El viento, la lluvia y otros fenómenos atmosféricos no afectan al producto transportado
- Admiten todo tipo de recorridos: rectos, quebra

dos, curvos, con quiebras ascendentes y descendentes y superan grandes pendientes

#### Inconvenientes

- Altos consumo de potencia
- Son susceptibles de averías mecánicas
- Mantenimiento caro
- Costes de inversión elevados

#### d) Transportadores de banda

Consiste en una banda sin fin con poleas de cabeza y pie, sirviendo una u otra como polea motriz, rodillos locos que hacen de soportes, y a veces un rascador o descargador volteador para vaciar la carga.



El transportador debe tener una alimentación regulada y, en lo posible, que el choque del material de transporte con la banda sea lo mínima posible.

Se puede emplear para casi todos los elementos granulados o con terrones siempre y cuando la temperatura del material no afecte a la propia banda. El límite de temperatura en general no debe superar los 120°C.



#### Ventajas

- Sistema de transporte muy versátil, adaptándose fácilmente a productos diversos y longitudes variables
- Pueden ser fijas o portátiles
- Tienen un bajo consumo de energía
- Presentan gran capacidad de transporte
- Tienen bajo mantenimiento
- Nivel de ruidos mínimos

#### Inconvenientes

- No permite materiales muy pulverulentos
- Inclinaciones pequeñas, por lo que no es un sistema adecuado cuando se trata de espacios reducidos

#### e) Transportadores neumáticos

Consiste en un conducto o una tubería en la que se mantiene una corriente de aire gracias a la acción propulsora de un compresor o de un ventilador. Puede ser por presión, o por succión o aspiración.

- Por presión: un compresor impulsa el aire por el conducto y el material es alimentado a éste a través de una compuerta rotativa que forma un cierre hermético.
- Por succión: un aspirador succiona el aire del conducto a través de un separador y un colector de polvo. El material sale del separador por una compuerta de cierre hermético.

Para que los materiales no resbalen por la banda se suele emplear bandas nervadas en forma de V para que los materiales no se deslicen debido al movimiento de la banda, o tienda a rodar hacia atrás si el transportador se emplea con cierta inclinación.

El ancho de las bandas varía entre 40 y 152 cm. Las bandas más estrechas trabajan a velocidades no superiores a 76 m/min, bandas más anchas no exceden de 140 m/min, y las de 152 cm pueden llegar hasta los 180 m/min.

La inclinación de la banda no suele ser mayor de 25°. Inclinaciones recomendadas para diferentes productos:

- Productos químicos a granel .....18°
- Menudos de carbón.....20°
- Granos de cereal.....18°
- Grava de cantera.....18°
- Grava lavada .....12°

- Arena húmeda .....20°
- Arena seca .....16°
- Mineral triturado .....20°
- Astillas de madera .....28°

Este tipo de transporte es apropiado para manipular materiales granulados y pulverizados que fluyen fácilmente y no se compactan. Las capacidades oscilan entre las 36 t/h hasta incluso las 180 t/h.

## SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El sistema de alimentación más comúnmente utiliza-

do en los sistema de generación de energía térmica con biomasa es el de tornillo sin fin.

Proporciona una corriente uniforme de material, pero sólo se utiliza con materiales que fluyan libremente por gravedad hasta el tornillo. La capacidad de alimentación a una máquina varía en función de la velocidad de giro del sin fin, impulsado por un motorreductor con variador de velocidad o con un variador de frecuencia.

Existen otros tipos de alimentadores: de rodillos, compuerta rotatoria de paletas, de puertas giratorias, de plataforma giratoria, transportador de mandil, de émbolo, alimentador vibrante, etc.

# INSTALACIONES DE ESTUFAS, HOGARES Y COMPACTOS

---

Las instalaciones de biomasa de baja potencia (estufas, hogares y compactos) están ampliamente extendidas para su uso en calefacción doméstica. En Andalucía todavía predominan equipos de bajos rendimientos, lo cual, unido a las ventajas que ofrecen las instalaciones de calefacción que emplean combustibles convencionales (facilidad de manejo, suministro de combustible garantizado, precios estables, etc.), determina que en muchos casos la biomasa sea empleada como sistema de calefacción individual, esto es, calefactando únicamente el local donde se encuentre la instalación, e incluso no funcionando durante el periodo completo que la demanda térmica lo requiera, sino que se alterna con otros sistemas individuales tradicionales (braseros, estufas de gas y eléctricas).

Las nuevas tecnologías y materiales existentes en los equipos de biomasa garantizan altos rendimientos y elevado grado de confort, lo cual, unido a la introducción de combustibles que permiten la automatización del equipo, están favoreciendo el empleo de estas instalaciones en sistemas de calefacción central (por aire, agua, suelo radiante), cocina e incluso para producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS).

## INSTALACIONES DOMÉSTICAS DE BIOMASA

La configuración básica de toda instalación de calefacción, incluidas las de biomasa, está constituida por las siguientes partes:

- Sistema de almacenamiento.
- Equipo de generación de calor.
- Circuito de evacuación de humos

- Sistema de distribución de calor
- Elementos auxiliares

El sistema de almacenamiento será tratado en un apartado posterior de carácter general, por lo cual, y salvo alguna referencia específica al manejo y almacenamiento de los pellets, en este punto se desarrollará todo lo referente a los equipos de generación de calor, el circuito de evacuación de humos, los sistemas de distribución de calor y los elementos auxiliares utilizados para la biomasa.

## EQUIPOS DE GENERACIÓN DE CALOR

La mayoría de los equipos de generación de calor con biomasa para usos domésticos consisten en hogares, cassettes o inserts, recuperadores de calor y estufas de aire forzado, con emisión del calor por convección o convección-radiación. Se describirán a continuación las características más importantes que distinguen un equipo de otro, pudiendo clasificarlos en función de:

- Modo de combustión
- Cámara de combustión
- Transmisión de calor
- Materiales de fabricación
- Sistema de combustión
- Autonomía de combustión
- Potencia
- Eficiencia y rendimiento
- Dispositivos de seguridad
- Combustible utilizado

## Modo de combustión

La combustión en equipos domésticos de biomasa suele realizarse sobre el suelo del equipo o sobre parrilla. El primero de los casos se da si el hogar está formado por ladrillo refractario y no tiene parrilla inferior por la que entre el aire necesario para la combustión. Así, en un hogar cerrado el aire de combustión primario y secundario se encuentran en la parte superior.

En el caso segundo, se trataría de una parrilla fija horizontal, donde se deposita la biomasa mediante sucesivas cargas manuales. La entrada de aire primario se efectúa de forma controlada a través de la puerta del cenicero para conseguir los niveles de actividad de la combustión requeridos en cada momento

## Cámara de combustión

Los equipos pueden clasificarse según el tipo de cámara de combustión en:

- **Cerrados** (insertables, recuperadores de calor, estufa hogar): La principal diferencia entre los inserts/cassettes y los hogares, radica en que los primeros disponen de una doble cámara donde se produce el calentamiento del aire, mientras que en los hogares, esa doble cámara debe ser hecha con la instalación.
- **Abiertos** (hogares refractarios, chimeneas abiertas).

## Transmisión del calor

Los mecanismos de transmisión de calor en equipos domésticos son principalmente la radiación y la convección. Esta última puede ser natural (mediante una doble cámara de las paredes laterales, trasera y techo) y convección forzada a través de turbinas que permiten regular la cesión de aire caliente a través de las rejillas superiores según las necesidades de calor.

El mecanismo de conducción se daría en el caso que la caldera estuviera equipada con un depósito para calentar agua conectado a un sistema de calefacción central.

## Materiales de fabricación

La calidad del material, así como sus dimensiones y formas, debe ser tal que asegure su funcionamiento resistiendo las acciones mecánicas, químicas y térmicas que soporte el aparato durante su ciclo de vida.

Los materiales utilizados para la fabricación de estufas y hogares metálicos son hierro fundido o acero. La decisión de optar entre uno u otro está condicionada por la relación de estos materiales con su función, ya que las estufas de hierro fundido funcionan en la mayoría de los casos como estufas de radiación de calor, y las de acero emplean casi siempre el sistema de convección.

Entre las ventajas del hierro fundido se encuentra su alta resistencia a las dilataciones producidas por la acción del calor. El hierro fundido debe calentarse lenta y progresivamente, ya que los choques térmicos pueden rajar la placa de fundición más robusta. Suele emplearse en los revestimientos.

El acero por el contrario es un material más bien elástico que absorbe fácilmente las tensiones creadas. Si en algún caso se agrieta puede ser soldado con facilidad. Se suele utilizar para la fabricación de la cámara de combustión.

En el caso de hogares realizados en ladrillos refractarios se utiliza un ladrillo especial que, por su composición, tiene mayor contenido en sílice que los ladrillos convencionales y les permiten soportar altas temperaturas sin agrietarse.

Se comercializa un modelo de estufa que se encuentra revestida por piedra esteatita, de modo que el 90% del calor contenido en la madera se aprovecha. Los humos de la combustión se hacen pasar a través de una serie de canales hasta que transmiten casi todo el calor a la piedra. De esta forma el hogar está encendido 2 o 3 horas mientras que el calor permanece durante 12-24 horas después. El sistema de calefacción es exclusivamente por radiación. El inconveniente de estas estufas es el elevado peso, ya que oscila entre los 700 y 1.900 kg, por lo que habría que reforzar el suelo.

## Sistema de combustión

En la combustión de la madera las emisiones consisten principalmente en gases y vapores de alquitrán. Los gases se liberan a una temperatura entre 100-900 °C. Para comenzar la combustión se requiere mucho aire (primario); después esta combustión debe mantenerse exactamente con la cantidad óptima de aire.

Después de la combustión primaria, los humos tienen aún un potencial energético importante, por lo que algunos equipos introducen un sistema de aporte de aire (secundario) ya precalentado a través del deflector en la parte alta del hogar que permite inflamar los gases inquemados. La aportación de aire secundario debe hacerse exactamente donde están las puntas de las llamas para que los gases liberados a 600-800 °C puedan quemarse y conseguir así el mayor aprovechamiento del combustible y en consecuencia un alto rendimiento y la emisión de menos partículas inquemadas al exterior. Es necesario una temperatura muy alta para que todos los gases se liberen; para ello, la cámara debe estar muy bien aislada.



1 - Para el inicio de la combustión se requiere aire primario

2 - Al subir la temperatura en la cámara se abre el aire secundario, así se queman completamente los gases

3 y 4 - Transformación de la madera en carbón de leña que requiere mucho aire para quemarse. Disminución de la temperatura. Nueva alimentación de aire primario.

### Autonomía de combustión:

Los hogares cerrados se pueden clasificar en función de la autonomía de combustión.

- **Hogares de fuego continuo.** Las estufas hogar no son estufas de combustión continua, en el sentido estricto del término, ya que no disponen de tolva de carga para este fin y le faltan algunas otras características. En cualquier caso para que un equipo pueda ser considerado de combustión continua deberá tener una autonomía de combustión al menos de 10 horas. Son los que presentan un mejor rendimiento energético. El consumo de leña diario se sitúa, según la potencia del aparato, entre 25-40 kg alimentado en 2 o 3 cargas.
- **Hogares intermitentes.** Tienen una autonomía de combustión de 5 a 7 horas. Precisan 4-5 cargas diarias de leña con un consumo de 30-40 kg.
- **Hogares complementarios.** Presentan una autonomía de combustión inferior a 5 horas, y para un consumo de 40 kg/día de leña se precisan al menos 6 cargas.

### Potencia

La magnitud de comparación para la capacidad de calentamiento de recintos para una estufa hogar es la potencia calorífica, que se indica en kW (kilovatios) o en kcal/h (kilocaloría por hora). En realidad sólo son comparables entre sí las potencias caloríficas de equipos que hayan sido controlados por alguna norma o por un ensayo especial efectuado por una entidad competente.

En equipos no sujetos a normativa no existe regla absoluta que permita calcular la potencia correcta necesaria para calentar un recinto. Esta potencia depende del espacio que se calefacta y también en gran medida del aislamiento.

En promedio, la potencia calorífica necesaria para una habitación aislada adecuadamente será de 40 kcal/h·m<sup>3</sup> (para una temperatura exterior de 0 °C), adoptándose un valor de 50 W/m<sup>3</sup>. En la siguiente tabla se expondrá la potencia indicativa de calefacción para una habitación en diferentes condiciones:

|                          | W/m <sup>3</sup> |             | W/m <sup>2</sup><br>(Techos de 2.5 m) |             |
|--------------------------|------------------|-------------|---------------------------------------|-------------|
|                          | ZONA FRIA        | ZONA CALIDA | ZONA FRIA                             | ZONA CALIDA |
| <b>SIN AISLAMIENTO</b>   | 80               | 48          | 200                                   | 120         |
| <b>AISLAMIENTO MEDIO</b> | 68               | 45          | 170                                   | 115         |
| <b>AISLAMIENTO BUENO</b> | 53               | 40          | 132                                   | 100         |

### Eficiencia y Rendimiento

La teoría supone que un equipo de una determinada potencia irradia al recinto donde se encuentre toda la energía contenida en el combustible. En la realidad esto no ocurre así, ya que en el proceso de combustión se produce pérdida de energía.

La relación entre la energía útil producida y la energía consumida se define como rendimiento. Si el equipo no está cerrado (chimenea abierta) los rendimientos a conseguir sólo serán de un 10% al 35%, mientras que en casos de equipos cerrados el rendimiento puede oscilar entre el 60% y 90%.

Las estufas de mayor rendimiento son las de pellets, en las que debido a su diseño y modo de operación alcanzan rendimientos energéticos que oscilan entre el 85% y 90%. Para mejorar la eficiencia de los equipos se dispone de un deflector de hierro fundido con aletas que aumentan la superficie de contacto por la que circulan los humos antes de su salida definitiva por la chimenea, aprovechando al máximo la temperatura de los mismos, y aumentando el rendimiento del aparato.

### Dispositivos de seguridad

Como dispositivo de seguridad y para mejorar la potencia calorífica por convección acelerando el movimiento de aire en el recinto se puede dotar a algunos

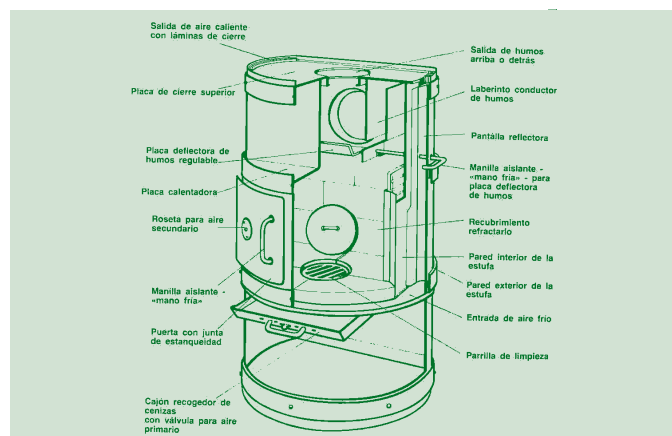


equipos con turbinas de circulación de aire, y un termostato que pone en funcionamiento el ventilador cuando la temperatura del aire alcanza un determinado valor, generalmente 50-60 °C, para evitar que el aparato se caliente demasiado. Es posible instalar un sistema de seguridad en caso eventual de parada de los ventiladores de aspiración y de distribución.

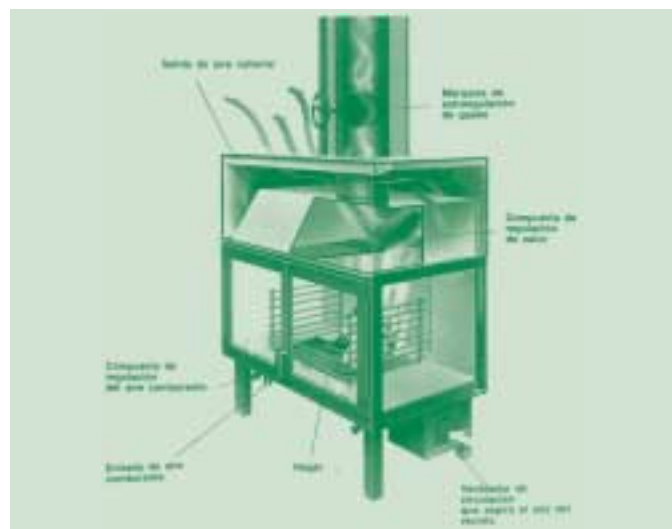
Las estufas de pellets también pueden tener un dispositivo de bloqueo de carga de los pellets en el caso de que no se encienda la estufa.

### Combustible utilizado

El combustible comúnmente usado en calefacción doméstica con biomasa es la leña. No obstante, y debido a la disponibilidad de residuos biomásicos de bajo coste procedentes de aprovechamientos forestales (podas, claras, etc.) y de industrias de primera y segunda transformación de la madera, que se eliminaban quemándolos al aire libre o depositándolos en vertedero sin aprovechar su energía, se pensó en fabricar con ellos biocombustibles, obteniéndose las **briquetas y pellets**.



Esquema general de estufas hogar



Esquema general de insertable en chimenea

Las estufas hogar y chimeneas cerradas o abiertas, están diseñadas para funcionar con cualquiera de estos combustibles. Las estufas de pellets, al estar automatizado el sistema de alimentación del combustible y de combustión, limitan su uso exclusivamente a los pellets.

### TECNOLOGÍAS EFICIENTES DE EQUIPOS DE COMBUSTIÓN DE BIOMASA PARA EL SECTOR DOMÉSTICO

Las tecnologías que a continuación se describirán están encaminadas a conseguir mayores eficiencias energéticas y la disminución de emisiones.

#### Over fire boilers (OFB) (Cámara de combustión arriba)

En estas calderas, la combustión tiene lugar en una sola carga de combustible al mismo tiempo. Normalmente está equipado con una entrada de aire primario debajo de la parrilla, y entrada de aire secundario sobre la carga del combustible, directamente a la zona de combustión de gases. Las cargas son manuales y el tiro/aspiración es natural.

La combustión es similar a la producida en chimeneas hogar. Medioambientalmente lo ideal sería realizar pequeñas cargas de combustible, pero en la práctica se realiza una gran carga de una sola vez. A causa de la volatilidad de la madera se pueden producir altas emisiones. El combustible utilizado es leña y briquetas.

#### Under fire boiler (UFB) (Cámara de combustión abajo)

En estos equipos la gasificación y combustión parcial tiene lugar sólo en una parte del combustible, y la combustión final se realiza en una cámara de combustión aparte. Las cenizas caen a través de una parrilla a la caja de cenizas.

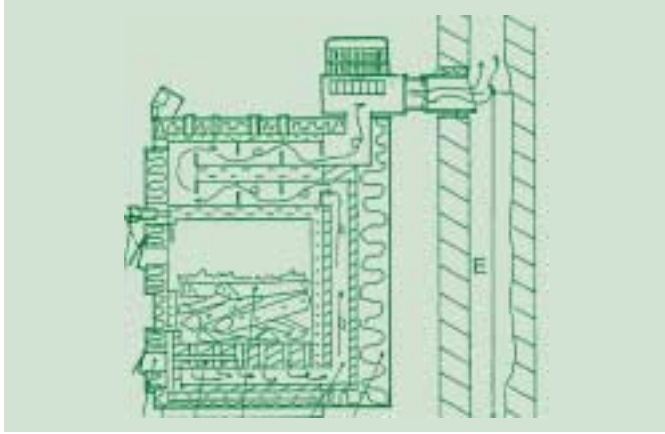
Los combustibles más comunes son leños, astillas y carbón vegetal. Generalmente se utiliza el tiro natural, pero algunos equipos incorporan un ventilador para potenciarlo.

Comparados con otros equipos, la inversión es al menos un 50% más alta, ya que la mayoría vienen equipados con un depósito de agua para calefacción, aunque no es necesario.

#### Down-draught boilers (Caldera de tiro descendente)

Los gases de combustión son forzados a bajar a través de una parrilla cerámica. El aire secundario se introduce en esta fase. Después de esto los gases de combustión fluyen a través de los túneles cerámicos donde la combustión final tendrá lugar a alta temperatura.

A causa de que la resistencia de los gases de combustión al flujo descendente es alta, es necesario incorporar un ventilador, lo que permite además regular la entrada de aire de combustión.



*Sistema Down Draught*

## TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA Y CONTROL DE EMISIONES

El uso de biocombustibles en pequeñas instalaciones, sobre todo para calefacción doméstica, supone algunas veces un escaso control sobre el proceso de combustión con la producción frecuente de inquemados, hollín y CO.

La formación de hollín y alquitrán es normal en las aplicaciones domésticas, ya que las temperaturas alcanzadas no son suficientes para conseguir la adecuada descomposición térmica del alquitrán. Altos niveles de hidrocarburos se corresponden a altos niveles de CO, esto es un síntoma de ineficiencia en el proceso de combustión, ya que para conseguir la liberación de CO sólo hace falta el 30% del calor necesario para la formación de CO<sub>2</sub> en la combustión completa.

Para paliar este efecto, se suele utilizar un sistema de combustión respetuosa con el medio ambiente. Este sistema radica en que el aire entra en la cámara de combustión precalentado (aire secundario), debido a un recorrido a través de diversas paredes cercanas a la cámara, con lo cual la temperatura alcanzada es de 900 °C. De esta manera, los productos residuales peligrosos son neutralizados, por lo tanto la madera desprende el mismo volumen de CO<sub>2</sub> que si se descompusiera naturalmente en el bosque. En otras palabras, el proceso de combustión es 100% neutro en CO<sub>2</sub>.

La reducción de emisiones asociada a la combustión incompleta es crítica y hay dos rutas dirigidas a conseguir la combustión completa que deben ser considera-

das: la primera es mejorar el diseño de la cámara de combustión, mientras que la segunda consiste en un sistema de limpieza catalítica de los gases de combustión que reduce la presencia de inquemados.

A continuación se describirá un sistema diseñado siguiendo las anteriores premisas.

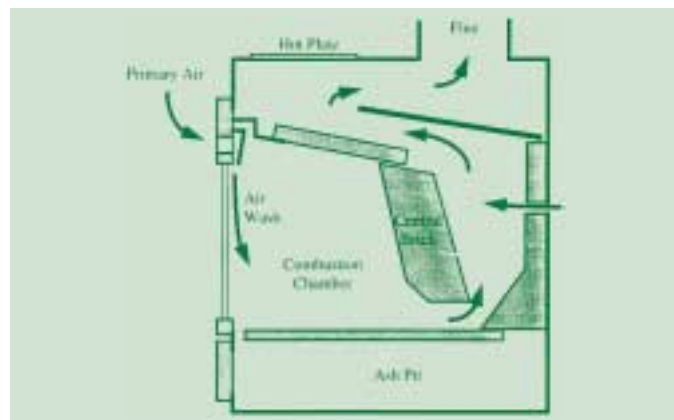
### **Sistema down-burning**

El desarrollo de una nueva cámara de combustión esta basado en el sistema conocido como down-burning. En este sistema, las partículas cargadas en los gases de combustión, que normalmente irían directamente a la atmósfera, son arrastradas al corazón del lecho de llamas dentro de la cámara de combustión, habiéndose recalentado en esta fase los gases; pasan entonces a una segunda cámara donde se introduce el aire de combustión secundaria y los inquemados contenidos en los gases arden a alta temperatura.

Los gases calientes de salida de esta cámara pasan a un intercambiador de calor adicional al objeto de extraer el calor para calefactar la estancia antes de salir a la atmósfera.

Una cámara de combustión bien diseñada puede trabajar a amplios rangos de potencia sin perder el funcionamiento de la combustión secundaria (algunas estufas catalíticas comerciales cesan la actividad a bajos índices de combustión)

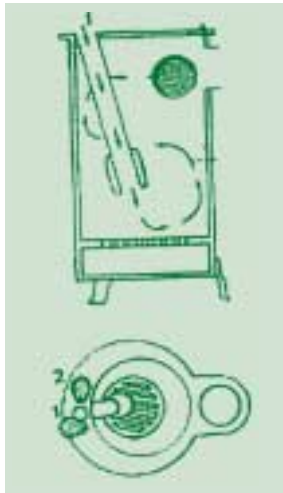
Una desventaja de la combustión secundaria es que incrementa las emisiones de NO<sub>x</sub>. Por eso es conveniente considerar el diseño de sistemas catalíticos mejorados que pueden operar a bajas temperaturas y con bajas emisiones de NO<sub>x</sub>. La metodología adoptada para el desarrollo del catalizador implica la identificación del catalizador candidato y los soportes (monolitos y redes).



*Sistema Down Burning*

### **Sistema turbo**

El mecanismo de funcionamiento de estas estufas se ha denominado "Turbo", aunque de hecho no es real-



mente un turbo como usualmente se llama en las estufas de madera (tipo chubesky). El sistema está compuesto por una estufa tradicional con una tubería especial por la cual penetra el aire en la cámara de combustión. Esto crea algunas turbulencias y protege la estufa de la condensación de alquitranes.

Consumen todo tipo de leña, residuos de madera, briquetas etc.

El principio de funcionamiento es el siguiente: por un tubo interior de la estufa se inyecta al centro del fuego una cantidad regulable de aire para atizar el combustible, y provoca una combustión intensa y completa. Este principio evita la condensación de gases y el depósito de hollín en la estufa y en la chimenea.

La parte superior de la estufa dispone de dos entradas de aire (1 y 2) que regulan el caudal y la combustión, siendo el primero (1) el regulador del tiro (turbo) rápido o lento, y el segundo (2) facilita su encendido.

### Calderas domésticas de pellets

Este tipo de calderas-estufa se alimenta exclusivamente de pellets. Van equipadas con una tolva en la parte superior (30-50 kg) donde se carga el combustible. El sistema de funcionamiento es el siguiente: mediante un tornillo sin fin los pellets son transportados hasta la caldera de manera totalmente automatizada por un control electrónico, que también regula la entrada de aire para la combustión en función del combustible introducido en la cámara dependiendo de la potencia que se requiera en cada momento.

Dispone de ventiladores y turbinas para distribuir rápidamente el aire caliente a toda la estancia. El encendido es automático mediante una resistencia y puede ser accionado a distancia y ser programado para encenderse a la hora deseada. La estufa dispone de un termostato para accionar automáticamente la calefacción o pararla según el caso.

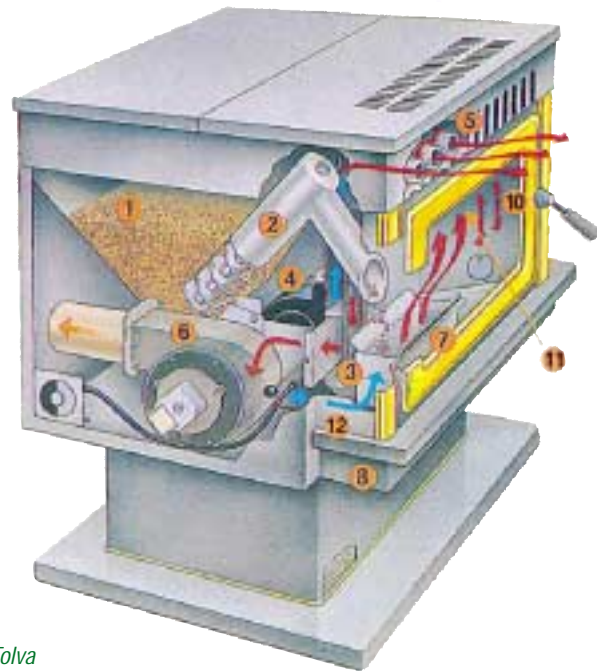
No tiene necesidad de instalar tiro o chimenea, debido a que la combustión de los pellets se realiza de forma casi perfecta y no hay formación de humos, sólo gases. La formación de cenizas también es mínima, por lo que el rendimiento energético de este equipo es muy elevado (90%).

Para la salida de gases basta con una pequeña abertura de 6-8 cm que sale directamente a la pared, por lo

que esta estufa puede ser colocada en cualquier vivienda. El consumo de un equipo de potencia calorífica de 10.000 kcal/h es normalmente de 1,5-2 kg/hora.

Dispone de sistemas de seguridad que activan el apagado automático de la estufa en el caso eventual de parada de los ventiladores de aspiración y de distribución, además de bloquear la entrada de los gránulos en el caso de que no se encienda la estufa, y por último, la detención de esta en caso de bloqueo del dispositivo de carga de los pellets

Están diseñadas para permitir la instalación de cualquier sistema de calefacción: suelo radiante, radiadores, acumuladores de agua sanitaria.



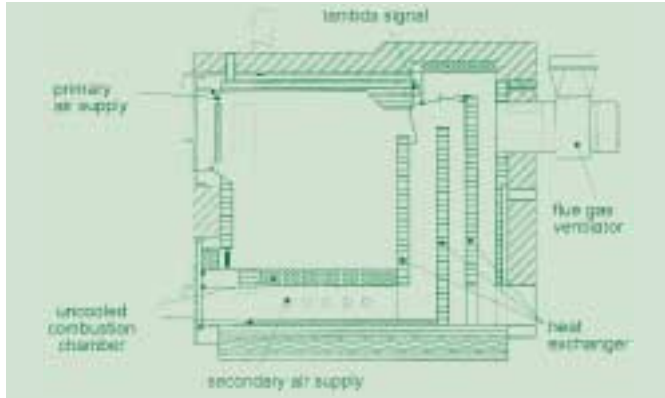
1. Tolva
2. Alimentador sin fin
3. Aire de combustión
4. Ventilador convector
5. Intercambiadores de calor
6. Extractor de gases
7. Hogar de combustión
8. Recoge-cenizas
10. Recuperador de agua
11. Cortafuegos
12. Resistencia encendido automático

### Estufas Saug-zug-kessel

Este diseño consiste en incorporar un ventilador que tomando el aire del lecho de brasas atraviesa la cámara de combustión, donde posteriormente el aire sería conducido a un intercambiador de calor. El ventilador situado entre el intercambiador de calor y la salida de gases conduce el aire hacia el tubo de evacuación.

Estas estufas están además equipadas con una sonda "lambda signal", que indica la cantidad óptima de oxígeno para la combustión. Se trata de un regulador

electrónico que ajusta el suministro de aire secundario. También puede funcionar con pellets.



## CIRCUITO DE EVACUACIÓN DE HUMOS

El circuito de evacuación de humos es uno de los principales elementos de una instalación. Su buen diseño asegura un correcto funcionamiento del equipo, evitándose, por tanto, ruidos, condensaciones, y pérdida de rendimiento.

Los conductos de humos se utilizarán exclusivamente para la evacuación de los productos de la combustión generada por los equipos de producción de calor, y su diseño se efectuará a partir del caudal previsible. Como regla general se cumplirá lo estipulado en la norma UNE 123-001-94 relativo al cálculo y diseño de chimeneas para equipos de potencias superiores a 10 kW

### *Instalación de un conducto de humos*

#### a) Caso de un conducto nuevo:

Empleo de materiales incombustibles, resistentes a la temperatura y a los agentes agresivos presentes en los humos, de acuerdo a lo especificado en la Norma UNE 123001. El uso de materiales aislados de origen permite evitar tener que colocar un aislamiento en la obra.

#### b) Caso de un conducto existente

El instalador asume la responsabilidad de las partes existentes, debiendo verificar el estado del conducto y efectuar los cambios necesarios para su correcto funcionamiento y el cumplimiento de la reglamentación vigente. Una de las operaciones a efectuar para instalar un equipo con un conducto de humos ya existente es deshollar el conducto y proceder luego a un examen serio para verificar:

- La compatibilidad del conducto con su uso
- La estabilidad
- La vacuidad y hermeticidad

### *Algunas normas básicas para la instalación del conducto de humos y chimeneas*

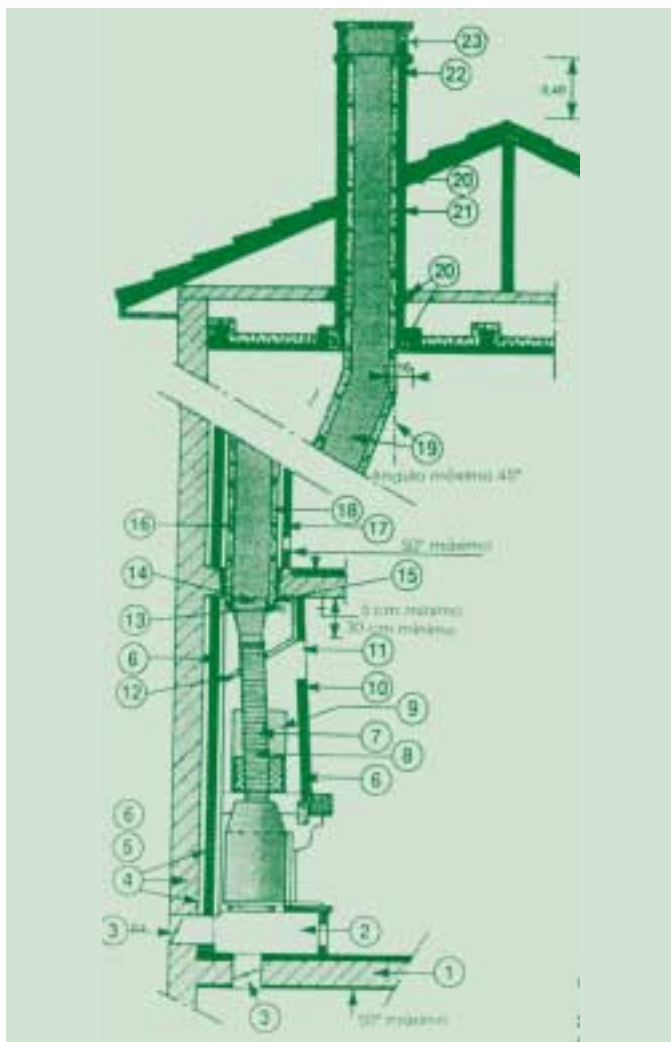
A continuación se indican algunas normas que deben respetarse en la construcción de la chimenea:

- Emplear materiales resistentes e incombustibles. No montar tubos de fibrocemento.
- Escoger un trazado lo más vertical posible. No conectar varios aparatos a la misma chimenea.
- Evitar que el conducto desemboque en zonas cercanas a construcciones, debiendo sobrepasar en altura la cumbre más próxima, si existe edificio colindante.
- Elegir para el conducto un lugar lo menos expuesto a enfriamientos. De ser posible, que la chimenea esté en el interior de la casa.
- Las paredes internas deben ser perfectamente lisas y libres de obstáculos.
- En las uniones de tubos con chimeneas de obra, evitar los estrangulamientos.
- Es muy importante que las uniones de los tubos estén muy bien selladas para tapar las posibles fisuras que permitan la entrada de aire. Para comprobar la estanqueidad de la chimenea se procederá de la siguiente forma:
  - Tapar la salida en el tejado.
  - Introducir papeles y paja húmeda por la parte inferior de la chimenea o algún elemento oloroso no inflamable (por ejemplo incienso) y encenderlos.
  - Observar las posibles fisuras por donde sale humo y sellarlas.
- Es muy importante que la chimenea sobrepase un metro la parte más alta de la casa. Si se necesita aumentar el tiro, se deberá elevar la altura de la chimenea. También es importante que la chimenea alcance una altura mínima para que se produzca un buen tiro.
- Que los sombreretes no dificulten el tiro.
- Limpiar la chimenea por lo menos una vez al año.
- La unión de los tubos que forman la chimenea, en el caso de tubos metálicos sencillos, deben ser sellados con masilla refractaria.
- Las chimeneas exteriores metálicas deberán construirse con tubos dobles calorifugados, especiales para combustibles sólidos.
- El interior de los conductos de las chimeneas de material debe estar revestido para reducir la posibilidad de que el material absorba creosota. Si el revestimiento interno de la chimenea tiene rajaduras o está dañado, produciría acumulación de creosota o pérdida de calor. Esto aumentaría las posibilidades de incendio en la chimenea.

Una observación de precaución especial sobre el uso de chimeneas: sólo se debe ventilar una estufa o calefactor a leña por conducto. Si conecta una estufa a leña a un conducto que ya utiliza otro calefactor, pueden surgir problemas graves. Entre ellos figuran:

- Mayor acumulación de creosota. La abertura del conducto puede quedar reducida significativamente si hay gran acumulación de creosota. Esta reducción de la abertura podría impedir la correcta ventilación de los gases del conducto generando así un incendio y/o un riesgo para la salud.
- El posible deterioro del conducto.
- La obstrucción por acumulación de creosota del respiradero de un calefactor de poca altura.
- El conducto puede no tener el tamaño suficiente como para soportar un calentador adicional y esto permitiría el reflujo de monóxido de carbono (un gas peligroso) a su hogar.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo práctico de instalación de conducto de humos donde se reflejan las distancias mínimas a observar:



**1. Suelo estable e incombustible** (en caso de suelo flotante con aislamiento, sustituir el aislamiento por hormigón)

**2. Entrada de aire ambiente.**

**3 o 3 bis.- Admisión de aire fresco** (50 cm<sup>3</sup> como mínimo).

- de obligatorio cumplimiento en el caso de ventilación mecánica controlada, extractor de campana, etc
- necesaria en caso de correcta estanqueidad de la habitación (resolución del 24 de marzo de 1982).

**4. Pared de apoyo** en toda la extensión de la chimenea: eliminación de cualquier material combustible o degradable al calor.

**5. Lugar ventilado**, paso del aire de convección.

**6. Aislamiento MO** (lana de roca para altas temperaturas o fibra de cerámica) chapado con lámina de aluminio.

**7. Conducto de empalme incluyendo**

- Tubería policomcombustible (con conformidad técnica)
- Chapa negra de 2 mm de grosor como mínimo.
- Chapa esmaltada de 0,6 mm de grosor como mínimo.
- Acero inoxidable de 0,4 mm de grosor como mínimo.
- Inclinación máxima 90° según condiciones.

**8. Moderador de tiro** (en el caso de tiro excesivo) de fácil visibilidad y acceso en la dependencia donde esté instalada la chimenea.

**9. Tapa de registro de la campana** (ésta puede facilitar acceso al racor de empalme).

**10. Campana** de material incombustible o protegida mediante aislamiento MO.

**11. Rejilla de aireación de la campana**, situada como mínimo a 30 cm del techo.

**12. Deflector de la campana** (falso techo de material MO).

**13. Orificios de ventilación** de la cámara superior del deflector.

**14. Componentes de empalme** con encajes de 40 mm como mínimo.

**15. Los conductos** construidos después de febrero de 1991 deben desembocar a una altura mínima bajo techo de 50 mm.

**16. Colocación de las cañerías de terracota.** Parte del macho hacia abajo. Juntas pulidas en el interior y en el exterior reforzadas con hierro.

**17. Revestimiento del conducto de los humos** en el interior de la vivienda mediante aislamiento térmico:

- 50°C en las paredes exteriores.
- Protección antigolpe en caso de conductos metálicos.

**18. Vacío de ventilación** (arriba y abajo en cada planta) con una anchura mínima de 30 mm. Particularmente en caso de conducto metálico.

### 19. Inclinación admisible:

- un máximo de 2 inclinaciones (o sea, una parte que no sea vertical).
- ángulo de inclinación:  
45° con un conducto inferior a los 5 m de altura  
20° con un conducto superior a los 5 m de altura.

**20. Distancias al fuego** = 16 cm como mínimo entre la pared interna del conducto a todo elemento combustible cercano.

**21.** En lugares no habitables o bien inaccesibles, la temperatura de la pared exterior del conducto de los humos no pasará de los 80°C. Revestimiento posible con tabique de 50 mm y vacío de ventilación de 30 mm.

**22. Remate:** llevará aislamiento ( $R.U > 0.42 \text{ m}^2 / \text{kW}$ ) y protección mediante enlucido o revestimiento impermeable a la lluvia (Se aconseja revestir las paredes del conducto con un tabique revestido por enlucido impermeable)

Altura sin incluir la coronación:

- como mínimo 0,40 por encima de la cima del tejado (en caso de pendiente superior a los 15°)
- como mínimo 1,20 por encima de la cima del tejado (en caso de pendiente inferior a los 15°).
- como mínimo 1,00 por encima del muro de acrotera (azoteas)

**23. Coronación** conducto protegido contra las lluvias.

## RECOMENDACIONES SOBRE ELECCIÓN Y EMPLEO DE ESTUFAS HOGARES Y COMPACTOS

- Elección del equipo de acuerdo a las necesidades de producción de energía térmica.
- Uso de equipos de alta eficiencia energética certificada.
- Uso de hogares de alimentación automática o en su defecto de fuego continuo.
- Uso de equipos que incorporen sistemas para la reducción y control de las emisiones.
- Instalación de conductos de humos según UNE/123001.
- Vigilancia de los materiales y elementos constructivos en toda la instalación.
- Comprobación de la estanqueidad.
- Limpieza y mantenimiento de los conductos de humos y equipo.
- No conectar dos o más equipos a un único conducto de humos.

## SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR

### • DISTRIBUCIÓN POR AIRE CALIENTE

La calefacción por aire caliente es poco apropiada para el calentamiento de edificios con gran número de viviendas, ya que requiere una red de canalizaciones larga, voluminosa y compleja; por el contrario, este tipo de calefacción tiene una gran aplicación en locales grandes y diáfanos, obteniendo un rápido calentamiento del local y un costo inicial relativamente bajo.

Hay que destacar que este tipo de calefacción es difícil de implementar para edificios ya construidos, siendo preferible un proyecto original.

#### VENTAJAS

- Corto periodo de encendido y puesta en régimen
- Apta en servicios discontinuos
- Fácil regulación del local
- Ausencia de superficies de calefacción
- Bajo costo inicial
- Escasas consecuencias de las fugas del fluido calefactor

#### INCONVENIENTES

- Necesidad de gran reserva de espacios para conductos
- Falta de uniformidad en el reparto de temperaturas
- Incidencia directa del aire
- Resecado excesivo del ambiente

Los sistemas de distribución por aire suelen tomar aire del exterior y aire recirculado de la estancia con el fin de evitar a la vez el envenenamiento del aire debido a la recirculación y la pérdida de rendimiento en el caso de tomar todo el aire renovado.

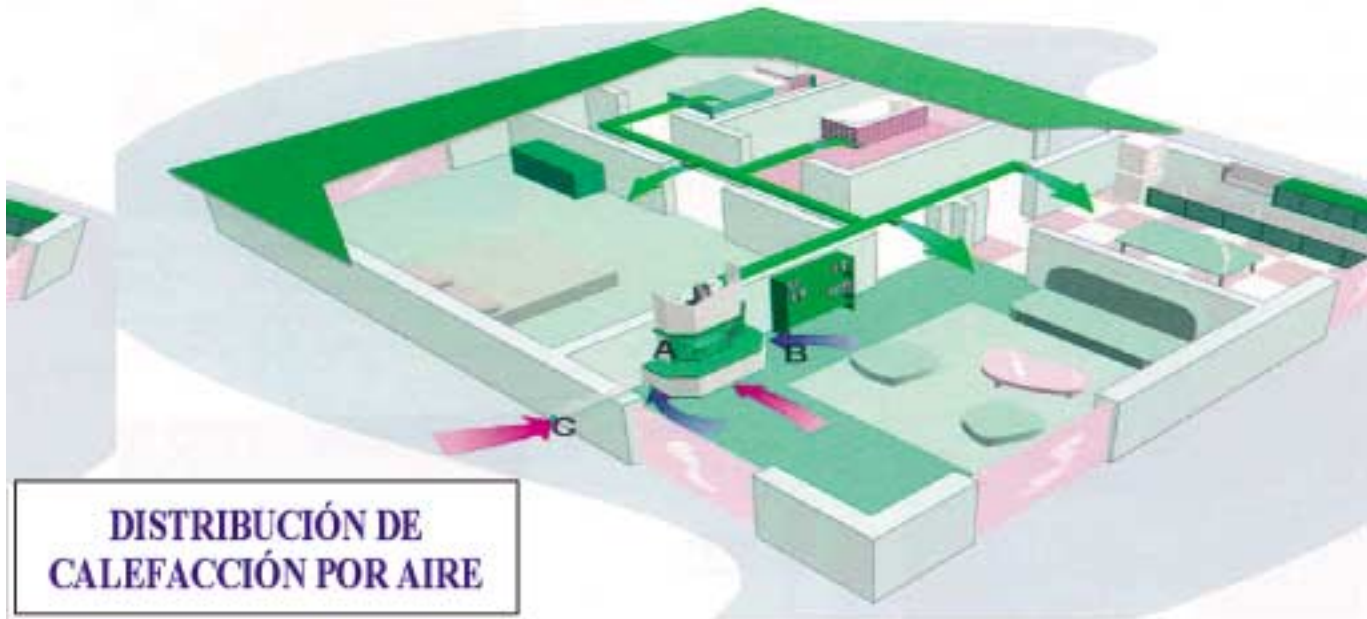
El sistema de funcionamiento consiste en que al equipo de combustión llega un determinado volumen de aire del exterior, y otro volumen de aire recirculado. Estos volúmenes regulables, en la cámara de calentamiento alcanzan una temperatura de 65-75°C, e impulsados por la acción del ventilador se distribuyen por la totalidad de las dependencias, calefactándolas a través de los conductos de salida; cuando este aire se va enfriando, desciende a la parte baja de la habitación y mediante rejillas en las puertas, retorna a la estancia donde está la entrada de aire primario del equipo de combustión.

Los sistemas de distribución por aire se pueden clasificar en función de su circulación:

- a) **Por gravedad:** es aquél en el que el movimiento del aire se obtiene por termosifón (diferencia de densidades entre el aire frío y caliente). Es muy lenta y precisa grandes secciones de conductos que hacen el sistema más dificultoso.
- b) **Circulación forzada:** (mediante un ventilador), precisa conductos más pequeños, aumenta el volumen de aire circulado, permite mayores pér-

didadas de carga (uso de filtros, rejillas) y mantiene una mayor uniformidad y equilibrio de las temperaturas del aire en las habitaciones. Es el sistema más adoptado.

El sistema de distribución está formado por las conducciones y las bocas de entrada y salida de aire, además de elementos auxiliares.



### Conducciones

Los conductos de distribución del aire son similares a los empleados para aire acondicionado. Deben ser lisos interiormente, sin cambios bruscos de dirección, y con el consiguiente aislamiento térmico para reducir las pérdidas caloríficas al mínimo. Deben llevar registros y mariposas reguladoras del caudal de aire.

El material de fabricación suele ser chapa de acero galvanizada y fibra de vidrio con resinas de poliéster, de sección rectangular o cilíndrica, siendo la sección rectangular la de mayor aceptación.

**El mejor material es la chapa de acero, ya que es más compacta para un mismo volumen**

Los tramos verticales pueden ser sustituidos por canales de fábrica de albañilería. Los tramos horizontales deben tener pendiente ascendente y los cambios de dirección ser curvas lo más abiertas posibles.

Los montantes de aire caliente deben estar situados en paredes o tabiques interiores, mientras que por los muros exteriores se colocan los retornos de aire frío.

### Bocas de distribución

Las bocas de salida de aire caliente se colocan en las partes altas o bajas del local (generalmente altas), debiendo llevar una rejilla con láminas deflectoras orientables, para dispersar el aire y para reducir la velocidad del mismo.

Es conveniente situar la rejilla a 25 cm del techo como mínimo, ya que el calor emitido puede tostar partículas de polvo del ambiente y ensuciar el techo si éste estuviera más cerca.

Las bocas de retorno se instalan en las partes bajas de la habitación, si bien éstas pueden ser sustituidas por rejillas en la parte inferior de la puerta, siendo éste el método más sencillo.

La característica que define a una rejilla de impulsión es su alcance, que es la longitud que adquiere el dardo de aire impulsado desde la boca de la rejilla, hasta una distancia cuya velocidad es inferior a 0,25 m/s, que es la velocidad crítica para la cual el aire resulta molesto a las personas.

Las rejillas de impulsión horizontal situadas cerca del techo no se utilizarán cuando la diferencia entre el aire impulsado y el aire ambiente sea superior a 14°C, ya que se produciría la estratificación del aire caliente en la

parte alta de la habitación. Por ello se compensará con la dirección del dardo orientado por las lamas hacia el suelo o colocando las rejillas en la parte inferior del paramento.

Otro tipo de boca de distribución es el difusor de techo, que descarga el aire caliente de forma horizontal, permitiendo impulsar grandes cantidades de aire sin producir molestias.

### **Elementos auxiliares**

Los elementos auxiliares de la instalación aseguran el correcto funcionamiento de la misma, estos son: termostatos de accionamiento de ventiladores y quemador, interruptores de temperatura máxima, humectostatos, dispositivos de seguridad, etc.

### **• DISTRIBUCIÓN POR AGUA**

Es el sistema más utilizado y preferido en viviendas reducidas, presentando como ventajas fundamentales su sencillez de funcionamiento, su gran seguridad y su fácil regulación térmica mediante la variación de la temperatura de la caldera.

El funcionamiento de este sistema de distribución es el siguiente: el agua de la caldera se calienta hasta una temperatura aproximada de 95°C. Con la instalación llena de agua y alcanzando esa temperatura, el fluido calefactor transporta una cantidad de calor determinada hasta las superficies de calefacción (radiadores) donde ceden su calor al medio, produciéndose un descenso de la temperatura, que suele ser de un salto térmico de unos 20°C.

El movimiento del agua se puede conseguir por termosifón o por bomba, aunque hoy en día todas las instalaciones disponen de circulación forzada. Su misión es vencer las resistencias pasivas a la circulación del agua, imprimiéndole una mayor velocidad de circulación y adaptando su presión a la pérdida de carga de la instalación, admitiendo la utilización de tuberías de menor sección, con el consiguiente ahorro económico. Además, permite una circulación del agua totalmente homogénea.

La instalación de las bombas se puede hacer indistintamente en el circuito de ida o en el de retorno. Los incrementos de volumen debidos a la elevación de la temperatura del agua son absorbidos por el depósito de expansión, y la eliminación del aire de la instalación se hace por medio de purgadores manuales o automáticos.

Las instalaciones de calefacción por agua se pueden clasificar en función de la temperatura del agua tal y como se muestra en la siguiente tabla.

|                                  | Temp. del agua (°C) | Observaciones                                                      |
|----------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Calefacción de baja temperatura  | <50 °C              | Uso en calefacción por radiación                                   |
| Calefacción de media temperatura | 50°C-95°C           | Más extendidos con combustibles sólidos                            |
| Calefacción de alta temperatura  | >95 °C              | Permite reducir el caudal de trabajo, pero encarece la instalación |

Asimismo la disposición de la instalación establece dos sistemas diferenciales:

- Instalación abierta
- Instalación cerrada

La calefacción abierta es aquella en que la instalación está comunicada con la atmósfera por su parte superior (vaso de expansión abierto), alcanzando una temperatura máxima de 90-95°C.

La instalación cerrada es aquella en la que el agua no está en comunicación con la atmósfera. Puede alcanzar temperaturas por encima de los 100°C, y mantiene una determinada presión interior, teniendo un rendimiento térmico superior, denominándose calefacción por agua sobrecalentada. Para su funcionamiento precisa calderas presurizadas, razón por la cual tienen escasa relevancia en la calefacción de viviendas individuales.

Al definir una instalación de calefacción por agua caliente, es preciso indicar los siguientes sistemas:

- **Tubería** bitubular o monotubular
- **Distribución** superior o inferior
- **Retornos** directos o invertidos
- **Circulación** natural o forzada

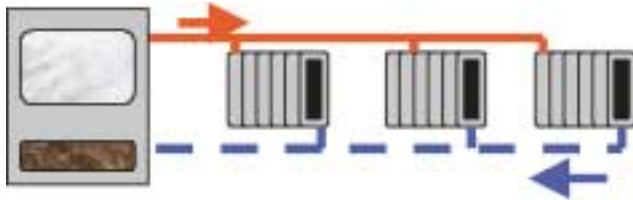
### ***Sistema de tuberías (bitubular y monotubular)***

– **Bitubular:** es el sistema normalmente utilizado. Consiste en que el agua sale de la caldera a través de un tubo que constituye la ida repartiéndose el agua a través de los distribuidores, para que llegue a todos los radiadores de la instalación, representando todo este conjunto de tuberías el circuito de ida. De las salidas de los radiadores parte otro conjunto de tuberías que forman el circuito de retorno, que devuelven el agua a la caldera después de haber cedido parte de su calor en las superficies de calefacción. El sistema funciona con total independencia y se forma un circuito cerrado entre cada radiador y caldera, sin producir interferencia alguna en su funcionamiento.

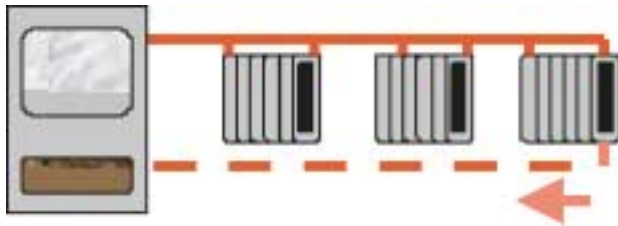
– **Monotubular:** los radiadores se colocan en serie utilizando un solo tubo, y la salida o retorno del agua de un



radiador alimenta al siguiente y así sucesivamente. El sistema precisa de válvulas especiales, que regulan el caudal de paso hacia el radiador, ya que parte del agua se deriva a éste y otra parte pasa directamente a los radiadores siguientes, de forma que el calor que transporta llegue a todos los radiadores.



Sistema bitubular



Sistema monotubular

### Sistema de distribución (superior o inferior)

– Distribución superior: el distribuidor principal está situado en la parte más alta de la instalación, teniendo un montante principal ascendente, que eleva el agua desde la caldera hasta el distribuidor. Este último reparte el agua hasta las columnas, que alimentan a los radiadores, los cuales son todos descendentes.

– Distribución inferior: el distribuidor principal se dispone en la parte baja de la instalación, desde donde parten los montantes ascendentes hasta los radiadores. Los extremos superiores de los montantes se suelen colocar al depósito de expansión, sirviendo como tuberías de purga para la eliminación del aire de la instalación.

|                | VENTAJAS                                                                                         | INCONVENIENTES                                                         |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| DIST. SUPERIOR | - Permite una circulación del agua muy activa y rápida<br>- Adecuado en circulación por gravedad | - Puede originar problemas en la instalación<br>- Pérdidas caloríficas |
| DIST. INFERIOR | - Menos costosa<br>- Menores pérdidas caloríficas                                                |                                                                        |

### Sistema de retorno (directos, invertidos)

– Retorno directo: son aquellos en que la longitud de la tubería de ida y la de los retornos de cada radiador es sensiblemente igual, proporcionando un recorrido al agua que los alimenta desigual para todos los radiado-

res, siendo mayor cuanto más alejados estén de la caldera. Por consiguiente, para un mismo diámetro de tubo, la pérdida de carga será menor y el primer radiador recibirá el agua a una temperatura más elevada y en mayor cantidad que los restantes, y como resultado, emitirá más calor y calentará más rápidamente, habiendo en el circuito radiadores privilegiados frente a otros.

– Retorno invertido: se consigue que el recorrido del agua en la alimentación y en el retorno a la caldera, sea aproximadamente el mismo para todos los radiadores, compensando la corta longitud en las idas con las más largas en los retornos. De esta forma, las pérdidas de carga en las tuberías para las mismas secciones se igualan, recibiendo todos los radiadores la misma cantidad de agua, y por tanto de calor, en tiempos sensiblemente iguales.

El sistema de distribución elegido siempre debe ser compatible con el mayor aprovechamiento energético de la instalación y con la prestación de un servicio confortable, seguro y duradero.

## ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE LA INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE: TUBERÍAS Y EMISORES

### Tuberías

La red de tuberías que enlazan las superficies de calefacción con la caldera forma parte de los principales componentes de la instalación de calefacción, utilizándose la tubería de acero clase negra, o bien de cobre, y en determinados casos de polipropileno o polietileno reticulado.

**El dimensionamiento de estas tuberías**, hay que realizarlo atendiendo a la cantidad de calor que es necesario transportar por medio de un caudal determinado de agua caliente, sin olvidar que hay unos límites para la velocidad de circulación del agua.

Para averiguar el caudal necesario de agua caliente que tiene que abastecer una demanda calorífica determinada, se aplica la siguiente fórmula:

$$q = \frac{Q}{C_p \times P_e \times \Delta T \times 3600}$$

siendo:

q = Caudal necesario de agua caliente (l/s)

Q = Demanda calorífica (kcal/h)

C<sub>p</sub> = Calor específico del agua (kcal/kg °C)

P<sub>e</sub> = Peso específico del agua caliente (kg/dm<sup>3</sup>)

ΔT = Salto térmico del agua entre la ida y el retorno

Una vez determinado el caudal, se fija la velocidad (la cual se puede estimar entre 0,3 m/s y 1,5 m/s), y conocida la velocidad se aplica la ecuación de continuidad, para determinar la sección de tubería.

$$S = \frac{q}{V}$$

Por este procedimiento, se puede ir dimensionando cada tramo de tubería, variando únicamente el caudal que depende de la demanda calorífica de los radiadores a que se alimenta cada tramo. Estos valores, y en función de la velocidad del agua, se encuentran tabulados, pudiendo ser consultados en diferentes bibliografías y catálogos comerciales, donde da directamente la cantidad de calor que transporta el caudal de cada tubería, y además la pérdida de carga lineal, para el dimensionado de la bomba de circulación del agua, y el cálculo de las pérdidas de carga de la instalación.

Un factor muy importante a tener en cuenta en el dimensionado de las tuberías de calefacción y ACS son las dilataciones, lo cual supone movimientos en las tuberías de contracción y extensión que se deben absorber de alguna forma. Las formas de absorberlas pueden ser mediante elementos conformados con las tuberías o mediante dilatadores.

El cálculo de las dilataciones se realiza por la fórmula:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

siendo:

$\Delta L$  = dilatación lineal en mm

$\alpha$  = coeficiente de dilatación lineal

L = longitud del tubo en m

$\Delta T$  = diferencia de temperatura entre el agua caliente y el ambiente.

Los valores de  $\alpha$  son:

| Naturaleza de la tubería | Coficiente $\alpha$ (mm/m° C) |
|--------------------------|-------------------------------|
| Acero                    | 0,012                         |
| Cobre                    | 0,016                         |
| Polipropileno            | 0,183 (20 y 90° C)            |
| Poliétileno reticulado   | 0,021 (20 y 100° C)           |

En las instalaciones de calefacción por agua es conveniente que todas las tuberías que transporten agua a temperatura superior a 40°C y se sitúen en locales no calefactados estén calorifugadas con un aislamiento térmico de material aislante, cuyo espesor mínimo variará según la temperatura del fluido.

Por último, en lo referente al trazado de las tuberías de calefacción, hay que tener presente que deben ser

instaladas de una manera ordenada, disponiéndolas siempre que sea posible paralelamente a tres ejes perpendiculares entre sí y paralelos a los elementos estructurales del edificio, a una distancia prefijada de los mismos y con las pendientes pertinentes en los tramos horizontales. Las derivaciones deben formar ángulo de 45° entre el eje del ramal y el eje de la tubería principal.

El uso de codos o derivaciones de 90° sólo debe utilizarse cuando el espacio disponible no deje otra alternativa, o cuando se use para equilibrar un circuito con su pérdida de carga localizada

### Superficies de calefacción. Emisores de calor

El calor producido en la caldera debe ser transmitido al ambiente básicamente por radiación y convección, y en menor grado por conducción, a través de los emisores de calor. Estas superficies de calefacción deben cumplir una serie de requisitos, siendo las más destacables:

- Que la emisión del calor al medio se realice con facilidad y de manera uniforme mientras esté en marcha el equipo.
- Que las temperaturas sean relativamente bajas (inferiores a 60°C) en las superficies, para evitar el tostado del polvo del aire que ennegrece las paredes.
- Que tengan posibilidad de regulación del calor a nivel local.
- Que tengan un mantenimiento fácil y económico, y una alta durabilidad.

Según estos condicionantes las superficies de calefacción existentes son:

- Radiadores: son los más utilizados, y están formados por elementos superpuestos de bastante altura con relación a su ancho y emiten el calor por radiación. Pueden ser de fundición, acero, aluminio y murales o de zócalo.
- Convectores: funcionan haciendo pasar una corriente de aire a través de una batería de tubos de cobre con aletas, por cuyo interior circula el agua caliente robándole el calor a su paso.
- Tubos de aletas: son tuberías dotadas de aletas, en sentido perpendicular al tubo, formando una hélice, consiguiendo una elevada superficie de emisión calorífica en una forma muy compacta, terminando en los extremos con dos bridas de sujeción.
- Paneles radiantes: son una variante del radiador, contruidos en fina chapa de acero estampada, resultando una superficie de calefacción muy estrecha y grande.

- Unitermos o Aeroterms: consisten en una batería de tubos de cobre con aletas y un ventilador helicoidal colocado detrás de la batería, emitiendo una corriente de aire que se calienta al pasar por la batería, produciendo el movimiento del aire del local.

te generalmente de chapa de acero galvanizado, con una serie de tuberías conexas a él, y que son: las tuberías de expansión, la tubería del rebosadero (conectada con la red de evacuación), la tubería de vaciado y la comunicación con la atmósfera; en la siguiente figura puede apreciarse los elementos de que está compuesto.

## ELEMENTOS AUXILIARES DE LA INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE

Constituyen una serie de elementos imprescindibles para la coordinación y el funcionamiento correcto de la instalación. Entre ellos destacaremos:

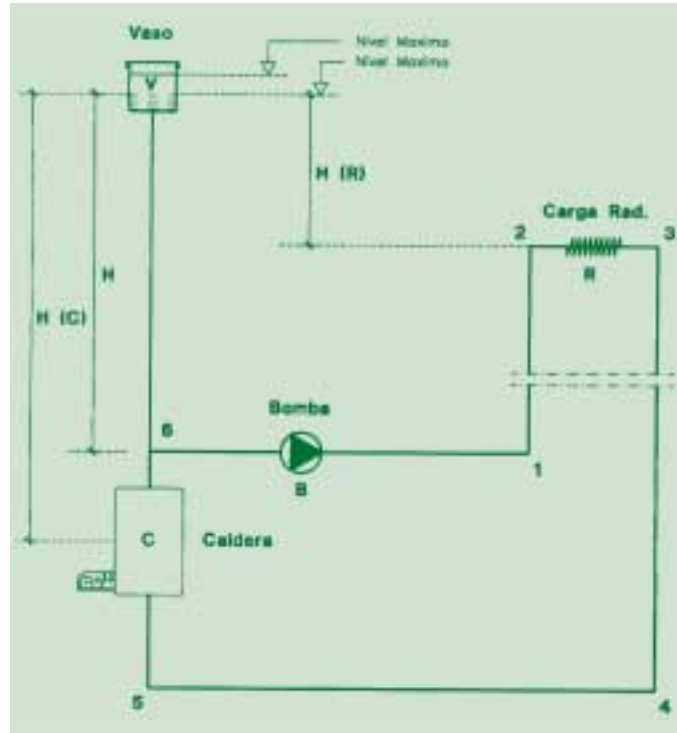
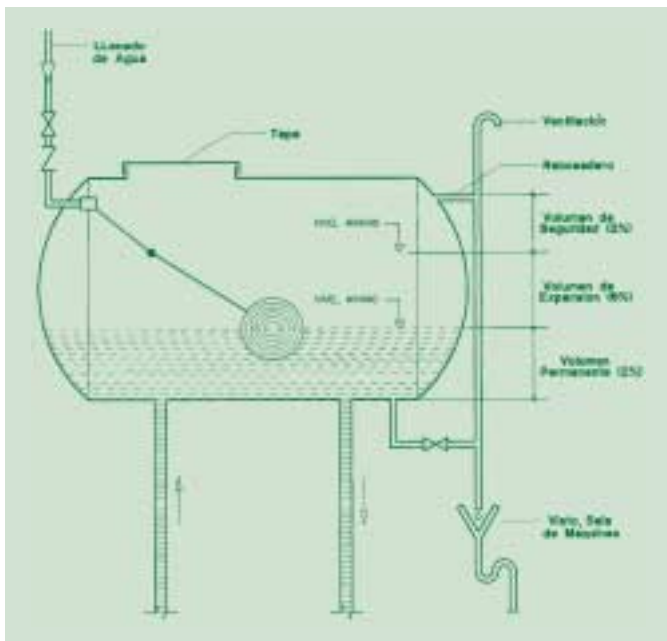
- Circuito de expansión
- Circuito de purga de aire
- Circuito de llenado y vaciado
- Circuladores o bombas
- Regulación y control

### Circuito de expansión:

Se trata de un mecanismo de seguridad. El sistema requiere un circuito de expansión capaz de absorber el aumento de volumen producido en la instalación debido al aumento de temperatura del agua y las dilataciones de las paredes. Este circuito está constituido por el denominado vaso de expansión y las tuberías que enlazan éste con la caldera.

Los depósitos de expansión pueden ser abiertos y cerrados

Abiertos: Se utilizan en instalaciones abiertas, hasta una potencia límite de 70 kW. Consiste en un recipien-

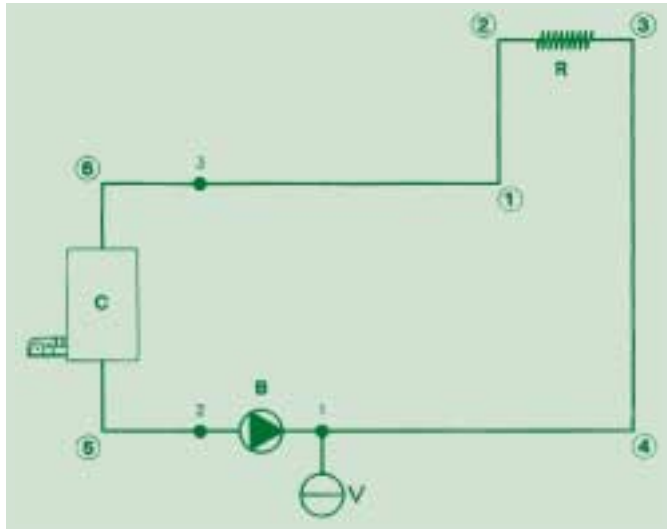
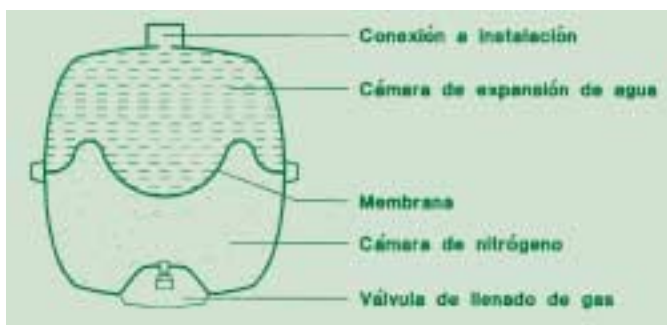


**El vaso de expansión abierto estará situado, siempre que sea posible, verticalmente.**

Cuando el vaso de expansión se coloca en la impulsión de la bomba se pueden dar casos de presiones negativas, lo que hay que evitar, siendo preciso en estos casos aumentar las presiones hidrostáticas elevando más el depósito respecto a la caldera.

**Cuando la exposición del vaso pueda producir descensos de temperatura importantes, deberá ir calorifugado y se dispondrá de un bypass de seguridad entre las tuberías de subida y bajada.**

Cerrados: consisten en un recipiente estanco que en su interior lleva una membrana que separa el circuito de agua de una cámara de nitrógeno y que al deformarse absorbe las dilataciones del agua, alterando la presión de la cámara de nitrógeno al variar su volumen.



El depósito de expansión cerrado se debe instalar siempre que la potencia de la caldera sobrepase los 70 kW, aunque también se instala con potencias inferiores. La situación de este depósito se puede efectuar en cualquier punto del circuito, siendo normal su colocación en la sala de calderas.

### **Circuitos de llenado y vaciado**

La instalación de calefacción precisa un circuito derivado de la red de agua, para el llenado de la instalación, pudiéndose realizar a través del vaso de expansión cuando éste es abierto o al circuito de retorno cuando es cerrado. Su misión es reponer manual o automáticamente las pérdidas de agua de la instalación.

El vaciado total se realiza por gravedad, obligando a que el dispositivo se encuentre en la parte más baja de la instalación.

### **Circuito de purga de aire**

Con objeto de eliminar el aire del circuito de agua, así como los gases en disolución que pueda llevar, se debe disponer de un sistema de purga de aire para conducirlo al exterior y expulsarlo. Para ello se pueden emplear las siguientes soluciones:

- Por el vaso de expansión abierto, si se diera el caso.
- Disponiendo en la parte superior de las columnas de un purgador automático de boya.

- Mediante purgadores manuales dispuestos en los propios radiadores.

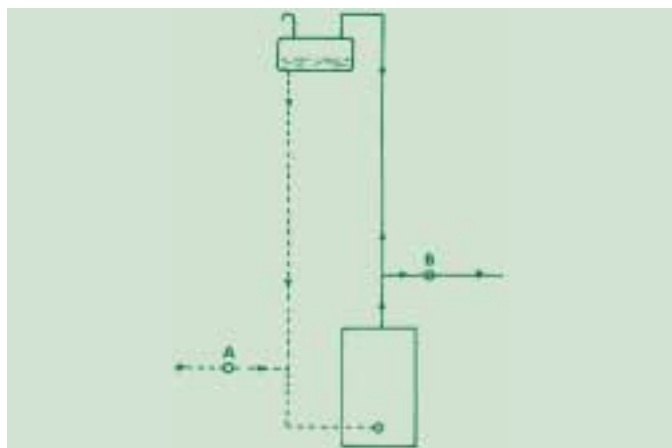
### **Circuladores o bombas**

La circulación forzada mediante bomba implica grandes ventajas frente a la circulación por gravedad aunque también conlleva un mayor costo inicial, mantenimiento y consumo energético. No obstante las ventajas son tan grandes que en la actualidad es el sistema más empleado.

El tipo de bombas empleadas son del tipo centrífugas que permiten un funcionamiento prácticamente silencioso. La bomba está constituida por una turbina o rodete en el interior de una carcasa con una entrada y salida que se incorpora al circuito hidráulico de la instalación, llevando unido al eje del rodete un motor eléctrico.

La bomba debe instalarse dejando libre el circuito de seguridad (caldera-depósito de expansión), colocándose en los puntos A o B (ver figura), siendo indistinto que vaya en la ida o en el retorno, a efectos de circulación del agua. Hay que tener en cuenta que la bomba no puede crear depresiones, siendo aconsejable desde este punto de vista colocarla en la ida aunque trabaje a mayor temperatura, problema solucionado por la calidad de los materiales de las modernas motobombas.

Si va colocada en el retorno, es preciso que el depósito de expansión esté situado más alto que el último radiador una altura equivalente a la presión de la bomba.



### **Elementos de regulación y control**

Los elementos que componen el equipo de regulación térmica de una instalación de calefacción los podemos resumir en:

- Válvula motorizada que regula la temperatura o caudal de agua en los elementos radiantes.
- Un regulador de temperatura que se encarga de mantener y corregir cualquier variación de la temperatura con respecto al valor prefijado, actuando sobre la válvula motorizada.

- Reloj programador (opcional) que puede cambiar la temperatura elegida en determinados periodos de la jornada

## PUESTA EN MARCHA, OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL EQUIPO Y MANTENIMIENTO

### *Puesta en marcha*

La puesta en marcha de un equipo doméstico con biomasa debe seguir unas pautas básicas:

Al prender por primera vez el equipo es conveniente que se realice con astillas o leña muy seca troceada, además de introducir aire en exceso, para facilitar el encendido. El fuego debe ser suave durante 4 o 5 horas, con objeto de estabilizar las piezas y evitar un choque térmico brusco a las mismas.

Al encender por primera vez, es necesario abrir las ventanas para ventilar la habitación, ya que es posible que se produzcan algunos humos y olores al quemarse los disolventes de la pintura.

Al recargar la estufa es conveniente abrir completamente la válvula reguladora de tiro para evitar que salga humo a la habitación. Después, mantener el tiro abierto por espacio de media hora, esto ayudará a retardar la formación de creosota. El momento indicado para reducir el tiro de la estufa es después que el fuego haya alcanzado el periodo de carbonización.

### *Optimización de uso del equipo*

El tiempo de respuesta para conseguir la temperatura de confort en un cassette o insert de combustión a leña es de 2 horas de media. En consecuencia, si la casa esta fría y hay que sacar las cenizas, encender el fuego, traer leña, etc. y esperar a que nos caliente, posiblemente con el tiempo se abandone el uso de la chimenea. Para optimizar el equipo, y ahorrar así en combustible y aumentar la comodidad, pueden llevarse a la práctica las siguientes recomendaciones:

No es necesario apagar las instalaciones durante la noche, sino disminuir la entrada de aire primario y por consiguiente la combustión se reduce al mínimo, de manera que teniendo el equipo encendido el tiempo de respuesta para poner la casa a temperatura de confort es inmediato.

Es importante tener equipos de los denominados de FUEGO CONTINUO (normas NF). Esto significa que los aparatos con una carga de combustible podrían estar encendidos hasta 10 horas sin más aportación de combustible.

De esta manera, con una carga de combustible el aparato está funcionando toda la noche. Por la mañana procederemos de la misma forma: cargar de combustible y cerrar el aire para dejarlo en la mínima potencia. Antes de meter leña sacaremos la ceniza (seguramente es el momento del día en que el aparato estará mas frío), pondremos leña sobre las brasas existentes, abriremos el aire primario al máximo, y si es necesario dejaremos la puerta entreabierta y esperaremos unos 20 minutos o media hora para que el aparato haya encendido bien, entonces lo cerraremos y situaremos la entrada del aire primario en el mínimo. Así cuando se regrese a casa la vivienda está calefactada y sólo será preciso añadir un poco de combustible.

### *Mantenimiento*

El mantenimiento de los equipos domésticos de biomasa exige unos cuidados básicos pero necesarios para asegurar el perfecto funcionamiento y su durabilidad en el tiempo.

**Conductos de humos:** Todas las chimeneas (de metal o material) exigen cuidados especiales para que el humo y los gases de los conductos estén correctamente ventilados. Es preciso revisar y limpiar la chimenea antes de cada época invernal.

Además de hacer revisar la chimenea, también se debe limpiar periódicamente para reducir la creosota. Ésta se acumula en los tubos de las chimeneas y puede arder si no se remueve periódicamente.

**La creosota** se forma cuando los gases de combustión de la leña se mezclan con los gases que han escapado sin quemarse y se depositan en las zonas frías de la chimenea. Esta sustancia es inevitable en la combustión de la leña, siendo altamente inflamable; **si no se elimina regularmente de la chimenea, ésta puede incendiarse.**

Paradójicamente, las estufas herméticas preferibles en cuanto a rendimiento, tienden a formar más creosota que las estufas abiertas y no herméticas. Las estufas que tienen un buen sistema de aportación de aire secundario tendrán menos problemas con esta sustancia. La creosota se forma principalmente por:

- Fuegos lentos (humeantes) y sin llamas
- Superficies frías (como chimeneas externas)
- Quemar madera mal estacionada.

La creosota se acumula en las zonas más frías de la chimenea; en la mayoría de las instalaciones estará cerca del extremo de la chimenea. Los problemas de

formación de creosota se reducirán aumentando la depresión de la chimenea (aislando el conducto de chimenea y elevando su altura).

La creosota acumulada varía según el tipo de fuego que se enciende, el diseño del calefactor, la corriente de aire y el tipo de chimenea. Un cálculo práctico consiste en limpiar una chimenea siempre que haya más de 1/8 a 1/4 de pulgada de creosota acumulada. Como mínimo, se debe limpiar la chimenea anualmente. Los limpiadores químicos para chimeneas no suelen ser efectivos para reducir la acumulación de creosota.

**Mantenimiento del equipo:** Los equipos de biomasa requieren mayor mantenimiento que los demás sistemas de calefacción. El realizarlo de manera periódica es fundamental para su eficiencia y funcionamiento seguro.

Algunas áreas que se deben revisar de forma periódica incluyen:

El conducto de estufa se puede deteriorar y se debe reemplazar ante la sospecha de desgaste. Es necesario asegurarse que las juntas estén bien ligadas con tornillos. Para tener un buen funcionamiento de nuestros aparatos se deberán realizar las siguientes prácticas, al menos, una vez al año:

- Limpieza a fondo de todos los residuos en especial en las zonas de paso de aire o humos.
- Revisión de estanqueidad: para que no entre aire en la cámara de combustión sin control ni se produzcan escapes de humos, debemos revisar las juntas y sistemas de cierre y ajuste.

## COMBUSTIBLES

Los combustibles más empleados en calefacción doméstica son: leña de diferentes especies, briquetas y pellets. El mercado de estos productos está poco o nada regularizado, siendo un gran problema para el usuario la inestabilidad en el suministro y los precios, no existiendo parámetros de normalización, al menos en el caso de las leñas.

Andalucía no cuenta con una infraestructura adecuada de distribución de leña, el sector está poco o nada regularizado, y salvo empresas que se dedican al suministro a gran escala, la inmensa mayoría están formadas por empresas familiares que obtienen un ingreso extra de la venta de la leña de sus propios campos. No existe una regularidad en el servicio, ya que no todas las empresas consultadas se dedican a la venta de leña todos los años, sino que lo realizan esporádicamente.

Un factor a tener en cuenta es la importancia que poco a poco van tomando aquellas empresas que se dedican a la comercialización de leña a gran escala, e incluso a la fabricación de briquetas y pellets, (éstas tienen un espíritu empresarial propiamente dicho) frente a aquellas de poca regularidad en el suministro y con escaso nivel de ventas.

Existen varios factores que afectan negativamente al uso de la biomasa en el sector doméstico, aunque los dos principales son: el desarrollo de la red de gas natural y las distorsiones competitivas existentes para diferentes combustibles.

- La **introducción del gas natural** está siendo apoyada con medidas públicas; estos apoyos y una cierta garantía de mercado permite a las compañías de gas invertir en estos proyectos. La estrategia comercial seguida por estas compañías y el apoyo público son factores con una negativa influencia en el desarrollo de la biomasa en general.

- Las **distorsiones competitivas** se refieren a ayudas dadas a otros combustibles, tales como disminución del IVA, ayudas directas o indirectas a combustibles fósiles, etc.

- La **ausencia de suministro** es también una importante barrera. Los comercializadores no suelen tener un comportamiento comercial y no saben a veces cómo vender sus productos, e incluso no son capaces de mantener un servicio asegurado; los contratos de suministro podrían ser la solución, pero hasta el presente son desconocidos y desafortunadamente no siempre cumplidos.

- La gran **desinformación** sobre las posibilidades de uso de la biomasa y de las tecnologías para su aplicación son también factores negativos para la implantación de este combustible, además de las dificultades relativas al almacenamiento y manejo de la biomasa.

- Las **políticas ambientales** son un factor muy complejo y ofrece resultados ambiguos y opuestos en lo concerniente al uso de la madera; oficialmente las políticas energéticas de los países de la Unión Europea son favorables al desarrollo del uso de la madera. Sin embargo, esta posición no es seguida por líneas de apoyo, o instrumento de incentivación a la biomasa, o bien los diferentes organismos encargados de tal fin se encuentran descoordinados y no permiten un efecto positivo. En Andalucía se ha pretendido corregir esta situación con la puesta en marcha de un programa de apoyo a la generación de energía térmica con biomasa, por parte de la Junta de Andalucía, dentro del Programa Prosol.

- Respecto a los **factores medioambientales**, también ofrecen resultados contradictorios, ya que el uso de madera es considerado por un sector como perjudicial, puede emitir gases peligrosos y cenizas, desprende mal olor, deforestación de bosques etc. Sin embargo, otro sector lo considera un instrumento eficaz para la prevención de incendios forestales y la minimización de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

### Aspectos prácticos para utilización de leña

Se recomienda utilizar leña seca de al menos un año, o como mínimo de 6 meses. La leña recién cortada puede tener hasta el 50% de contenido en agua y tendremos los siguientes problemas:

- Dificultad de encendido
- Mala combustión (baja temperatura de la llama, pues estamos evaporando agua y la temperatura ebullición es 100°C) abundante formación de hollín y suciedad.
- Bajo rendimiento calórico, pues de 10 kg sólo tendremos 5 kg de combustible y una parte es dedicada a evaporar agua y otra parte tendrá dificultad en arder debido a la baja temperatura de llama.

- No utilizar maderas que tengan resina, pues producirán demasiado hollín.
- Emplear madera con humedades inferiores al 25%.
- Almacenar la madera en primavera en sitio seco, si compramos leña verde y la dejamos secar tendremos un ahorro considerable.

Una recomendación para la adquisición de leña, en el caso que no se especifique la humedad y el contenido calórico, consiste en comprarla basándose en el volumen que ocupe, y no en el peso de la partida. Esto podría realizarse en big-bags o palets perfectamente cubicados, de modo que el usuario se asegura que paga el mismo precio por la biomasa independientemente de la humedad que ésta contenga.

**Cambiar el sistema de compra de leña al peso, por compra de leña por volumen.**

### EJEMPLO DEL AUMENTO DEL COSTE ENERGÉTICO DEBIDO A LA HUMEDAD DE LA LEÑA

Biomasa adquirida: 1.000 kg leña; (50% humedad; PCI= 4,5 te/kg)

Precio biomasa: 84 €/tonelada

Energía biomasa: 1.000 kg \* 4,5 te/kg \* 50% = 2.250 termias

Energía de vaporización agua contenida en la biomasa:  
 1.000 kg \* 50% \* 540 kcal/kg = 270 termias

Energía útil disponible : 2.250 te - 270 te = 1.980 termias

Coste de la biomasa comprada  
 84 € / 2.250 te = 0,037 €/te

Coste energía útil disponible 84 € / 1.980 te = 0,042 €/te

**AUMENTO COSTE ENERGÉTICO = 13,5%**

# DEMANDA TÉRMICA EN INSTALACIONES DE CALEFACCIÓN

Se entiende por carga térmica toda perturbación que altera el contenido en energía de los espacios a climatizar. Las perturbaciones tienen su origen en las condiciones climatológicas del espacio externo que rodea a los recintos o en las fuentes de energía, localizadas en el interior de los espacios.

Si tales perturbaciones alteran la temperatura de los locales se denominan cargas sensibles, si hacen variar el contenido en vapor de agua se denominan cargas latentes.

Las fracciones de que se compone la carga térmica (fracción convectiva y radiante), se manifiestan de forma diferente en el local.

La fracción convectiva se transmite de forma directa al aire del local mediante transferencia convectiva.

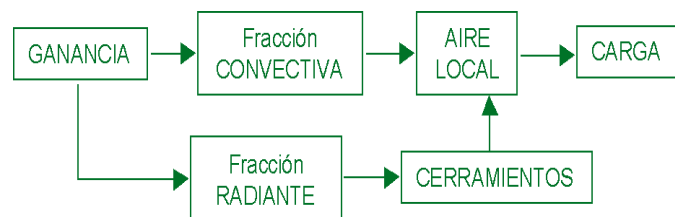
La fracción radiante no afecta de modo instantáneo al aire del local. En primer lugar, la radiación incide sobre los cerramientos, y al ser absorbida, se produce el aumento de temperatura de los mismos, y posteriormente se transfiere al aire del local mediante convección libre.

El mecanismo de transferencia de la fracción radiante, tal y como se ha expuesto, implica que el flujo de calor alcanza al aire del local con un cierto retraso y amortiguación. Para evaluar de la forma más certera posible las cargas térmicas es necesario tener en cuenta este factor.

A modo de conclusión, podemos decir que es necesario hacer una distinción entre la energía que afecta al espacio a climatizar (ganancia) y la energía que se manifiesta en el aire del local (carga térmica).

ca). La diferencia entre ambas se debe principalmente a la inercia de los cerramientos y a la diferente naturaleza de las fracciones convectiva y radiante.

Gráficamente se puede exponer de la siguiente forma:



Para establecer la demanda térmica del edificio a climatizar, en primer lugar es preciso fijar las condiciones de temperatura interior ( $T_i$ ) del local para lograr el bienestar térmico y las temperaturas exteriores ( $T_e$ ). En este sentido se han definido las condiciones de diseño de las temperaturas exteriores en base a los grados-día.

La demanda total del edificio vendrá dada por la suma de las pérdidas de calor por transmisión ( $Q_T$ ), ventilación o infiltración ( $Q_V$ ) y calor por suplementos ( $Q_S$ ) menos las ganancias de calor ( $Q_a$ )

$$Q = Q_T + Q_V + Q_S - Q_a$$

## PÉRDIDAS DE CALOR POR TRANSMISIÓN

$Q_T = (K * S * (T_i - T_e))$  en kcal/h

K: coeficiente de transmisión global (kcal/h m<sup>2</sup> °C)

S: superficie de cerramiento (m<sup>2</sup>)



### **PÉRDIDAS POR VENTILACIÓN**

$$Q_V = V_a (T_i - T_e) C_V \text{ en kcal/h}$$

V<sub>a</sub>: Volumen de aire infiltrado (m<sup>3</sup>/h)

C<sub>V</sub>: Calor específico volumétrico del aire (0,3 kcal/m<sup>3</sup> °C)

### **PÉRDIDAS POR SUPLEMENTOS**

$$Q_S = F_S * Q_T = (S_1 + S_2 + S_3) Q_T \text{ en kcal/h}$$

F<sub>S</sub>: Factor suplementos

S<sub>1</sub>: Suplemento por orientación

S<sub>2</sub>: Suplemento por interrupción

S<sub>3</sub>: Suplemento por "pared fría" radiación del local

### **GANANCIAS DE CALOR**

Q<sub>a</sub> = Aportación de los ocupantes + Iluminación + Maquinarias

En el anexo final se incluye un repertorio de tablas útiles para la realización de los cálculos de la demanda térmica de calefacción.

# INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA CON BIOMASA

Las instalaciones de producción de energía térmica con biomasa tienen diferentes usos, en función del tipo de instalación y del propio destino de la misma. Se indican a continuación los tipos de instalación y algunas de sus posibles aplicaciones.

| Tipo instalación             | Fluido térmico                                                                   | Ejemplo de aplicaciones                                                                                                                                  |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estufas, hogares y compactos | Aire caliente                                                                    | Calefacción                                                                                                                                              |
|                              | Agua caliente                                                                    | Calefacción, ACS                                                                                                                                         |
| Caldera                      | Agua caliente                                                                    | Calefacción, ACS<br>Producción frío (absorción)<br>Industrias cármicas<br>Industrias del corcho<br>Industria del aceite                                  |
|                              | Agua sobrecalentada                                                              | Industrias de bebidas<br>Refino de aceite<br>Procesos con baños térmicos<br>Esterilización / Pasteurización                                              |
|                              | Vapor                                                                            | Industrias del aceite<br>Industrias cármicas<br>Industrias bebidas y alimentos<br>Industrias del corcho<br>Industrias cerámicas<br>Industrias de aderezo |
|                              | Aceite térmico                                                                   | Industrias de la madera<br>Industrias del curtido                                                                                                        |
| Secaderos / hornos           | Aire caliente                                                                    | Industrias del aceite<br>Industrias cerámicas<br>Industrias de la madera<br>Sector azucarero: secado pulpa<br>Secado de: alfalfa, maíz, girasol, algodón |
| Gasificador                  | Agua caliente<br>Agua sobrecalentada<br>Vapor<br>Aceite térmico<br>Aire caliente | Los indicados anteriormente                                                                                                                              |

Básicamente, una instalación de generación de energía térmica con biomasa está formada por los siguientes elementos:

- Sistema de almacenamiento, transporte y alimentación de biomasa
- Sistema de conversión energética
- Sistema de limpieza y evacuación de gases
- Sistemas para distribución del calor

- Sistema de tratamiento de agua
- Sistema de regulación y control
- Sistema de detección y extinción de incendios

Debido a la especial configuración y uso de las instalaciones cuyo elemento generador de calor es una estufa, hogar o compacto se ha dedicado un capítulo específico al estudio de las mismas.

Dentro del marco normativo español se encuentran diferentes referencias a normas que inciden directamente en el uso de la biomasa para uso finales térmicos. Esta normativa se refiere a:

- Reglamento de Aparatos a Presión
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios
- Especificaciones técnicas y ensayos para estufas de uso doméstico
- Calderas para calefacción de potencia útil nominal hasta 300 kW
- Cálculo y diseño de chimeneas
- Legislación medioambiental

Se observa cómo no existe normativa específica sobre características de biocombustibles. Sólo la norma UNE 9017-92 define las características de cualquier materia combustible sólida de origen no fósil, pero no se establecen los métodos de análisis y los valores de los parámetros a medir.

La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) ha constituido un grupo de trabajo (CTN 164) sobre la normalización de biocombustibles sólidos. Existen cuatro subgrupos:

- Denominación: definición de los diferentes biocombustibles
- Combustibles para chimeneas
- Carbón vegetal para barbacoas
- Caracterización de biocombustibles

Las conclusiones de este grupo permitirán tener una normativa en España que defina adecuadamente los diferentes tipos de biocombustibles existentes.

## Equipos e instalaciones

### - Reglamento de Aparatos a Presión (RAP)

El Reglamento de Aparatos a Presión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) tiene como objeto establecer las prescripciones, inspecciones técnicas y ensayos de los aparatos destinados a la producción, almacenamiento, transporte y utilización de fluidos a presión. Son de especial interés para la realización de proyectos de biomasa las siguientes ITC:

- ITC-MIE-AP1: Calderas, Economizadores, Precalentadores, Sobrecalentadores y Recalentadores.
- ITC-MIE-AP2: Tuberías para Fluidos Relativos a Calderas
- ITC-MIE-AP11: Aparatos Destinados a Calentar o Acumular Agua Caliente Fabricados en Serie
- ITC-MIE-AP12: Calderas de Agua Caliente
- ITC-MIE-AP13: Intercambiadores de Calor

### - Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)

Este reglamento tiene como objeto establecer las condiciones que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, con objeto de conseguir un uso racional de la energía que consumen.

Se describe a continuación las Instrucciones Técnicas complementarias, ITE, que tienen una mayor incidencia en los proyectos:

## **ITE 02 Diseño.**

ITE 02.02. Condiciones interiores.

ITE 02.03. Condiciones exteriores (UNE 100014).

ITE 02.05. Producción centralizada de agua caliente sanitaria.

- Temperaturas de preparación.
- Sistemas de preparación.
- Redes de distribución.

ITE 02.06. Fraccionamiento de potencia.

- Potencia superior a 400 kW, dos o más generadores.
- Si la instalación suministra ACS dispondrá de un mínimo de dos generadores.

ITE 02.07. Salas de máquinas (UNE 100020).

- Nivel de iluminación.
- Seguridad eléctrica.
- Dimensiones mínimas de la sala.
- Vestíbulo previo y distancias a salida.
- Señalización de la sala.
- Separaciones mínimas entre máquinas para su mantenimiento.
- Desagüe.
- Protección eléctrica IP 44.

ITE 02.08. Tuberías y accesorios.

ITE 02.10. Aislamiento térmico.

ITE 02.11. Control.

ITE 02.12. Medición.

ITE 02.13. Contabilización de consumos.

ITE 02.14. Chimeneas y conductos de humos.

ITE 02.15. Requisitos de seguridad.

ITE 02.16. Prevención de la corrosión.

## **ITE 03 Cálculo.**

ITE 03.02. Condiciones Interiores.

ITE 03.03. Condiciones exteriores.

ITE 03.05. Cargas térmicas.

ITE 03.06. Potencias de las centrales de producción.

ITE 03.07. Redes de tuberías.

ITE 03.11. Chimeneas y conductos de humos.

ITE 03.12. Aislamiento térmico de las instalaciones.

ITE 03.13. Instalaciones de agua caliente sanitaria.

## **ITE 04 Equipos y materiales.**

ITE 04.02. Tuberías y accesorios.

ITE 04.03. Válvulas.

ITE 04.05. Chimeneas y conductos de humos.

ITE 04.06. Materiales aislantes térmicos.

ITE 04.09. Calderas.

El reglamento en su artículo ITE 04.9.1 excluye a las calderas alimentadas por combustibles

sólidos, líquidos o gaseosos cuyas características o especificaciones difieran de los combustibles comúnmente comercializados (por ejemplo gases residuales, biogás, biomasa, etc.) de cumplir con los requisitos del Real Decreto 275/1995, de 24 de febrero relativa a los requisitos mínimos de rendimiento para las calderas de una potencia nominal comprendida entre 4 y 400 kW.

ITE 04.12. Elementos de regulación y control.

## **ITE 05 Montaje.**

## **ITE 06 Pruebas, puesta en marcha y recepción.**

## **ITE 07 Documentación.**

07.01. Instalaciones de nueva planta.

- Instalaciones comprendidas entre 5 y 70 kW: no necesitan proyecto, pero la Empresa Instaladora deberá de presentar la siguiente documentación:
  - Breve memoria descriptiva.
  - Planos o esquemas de la instalación.
  - Certificado de la Instalación.
- Instalaciones de potencia térmica mayor a 70 kW: necesitan proyecto realizado por un técnico competente, incluyendo:
  - Memoria
  - Planos y esquemas
  - Pliego de condiciones técnicas
  - Presupuesto
  - Visado en el Colegio Profesional
  - Presentación en el organismo territorial competente

## **ITE 09 Instalaciones individuales.**

Se consideran instalaciones individuales a las de potencia inferior a 70 kW.

**- UNE-EN 303-5 Calderas de calefacción: calderas especiales para combustibles sólidos, de carga manual y automática y potencia útil nominal hasta 300 kW.**

Esta norma se aplica a las calderas de calefacción que tienen una potencia útil nominal inferior o igual a 300 kW, diseñadas para quemar sólo combustibles sólidos, y definidas por el fabricante como calderas con presión positiva o con presión negativa (depresión) en la cámara de combustión.

Los objetivos de la norma son establecer la terminología, los requisitos técnicos relativos a la calefacción

(teniendo en cuenta los requisitos medioambientales), los ensayos, así como el marcado de los mismos.

Los combustibles contemplados en la norma son:

- a) Biomasa: madera en estado natural en forma de:
  - Leños, humedad < 25 %
  - Virutas, humedad 15 a 35 %
  - Virutas, humedad > 35 %
  - Madera comprimida (briquetas y pastillas sin agentes ligantes)
  - Serrín, humedad 20 a 50 %
  
- b) Combustibles fósiles
  - Hulla
  - Lignito
  - Coque
  - Antracita

En cuanto a los métodos de ensayos a aplicar, éstos quedan definidos por la norma UNE 304.

**- UNE-EN 304 Calderas de calefacción. Reglas de ensayo para calderas con quemadores de combustibles líquidos por pulverización.**

En esta norma se establecen los ensayos y condiciones de los mismos. Estas reglas incluyen prescripciones y recomendaciones relativas a la realización y a la evacuación de ensayos para la verificación de las calderas, así como los datos relativos a las condiciones técnicas en las que deben desarrollarse dichos ensayos.

**- UNE 124-002 Especificaciones técnicas y ensayos de estufas para uso doméstico que consumen combustibles sólidos.**

El objeto de esta norma es definir el procedimiento operatorio a seguir en los ensayos de estufas que quemen combustibles sólidos, en marcha a fuego normal. Esos ensayos permitirán asegurar que las características constructivas y de utilización con fuego son satisfactorias y que, por tanto, la potencia calorífica, a marcha normal de utilización, corresponde a lo especificado por el fabricante.

La potencia máxima de las estufas será de 23,25 kW (20.000 kcal/h), utilizando combustibles sólidos minerales, naturales o preparados.

Se establece la relación matemática para el cálculo del rendimiento energético, imponiéndose unos rendimientos: 0,5 mínimo / 0,85 máximo.

**- UNE 123-001 Cálculo y diseño de chimeneas**

Esta norma tiene por objeto establecer un procedimiento de cálculo de las chimeneas para la evacuación al exterior de los productos de la combustión de los generadores de calor, así como los criterios de diseño del sistema.

La norma es aplicable a generadores de calor empleados en los sistemas de climatización en centrales térmicas de potencia superior a 10 kW.

**- UNE 9-006-92 Calderas: hogares para calderas**

Esta norma tiene por objeto definir y clasificar los tipos más generales de hogares aplicables para cualquier tipo de caldera.

Define los hogares para combustibles sólidos como aquellos destinados a los siguientes combustibles, con independencia de su granulometría: carbón, productos vegetales sólidos o residuos sólidos de un proceso industrial. Éstos pueden ser de tipo: manual, automático, sólidos pulverizados y no pulverizados (parrilla plana, inclinada, fija y móvil).

**Legislación medio ambiente**

El Decreto 833/75 desarrolla la Ley 38/1972, de protección del ambiente atmosférico, establece en su Anexo IV los valores límites de las emisiones de humos, polvos, hollines, gases y vapores contaminantes procedentes de las principales actividades industriales potencialmente contaminadoras, cualquiera que sea su localización. En este decreto sólo se hace mención a las emisiones relativas al carbón o al fuel-oil.

Al objeto de cubrir el vacío existente, en cuanto a las emisiones con biomasa, y dado el especial interés que para la región de Andalucía tiene el empleo de este combustible, principalmente orujillo, la Junta de Andalucía estableció en la ORDEN de 12 de febrero de 1998 los límites de emisiones procedentes de las instalaciones de combustión de biomasa sólida.

| Potencia térmica (MW) | Partículas (mg/Nm <sup>3</sup> ) | CO (ppm <sub>v</sub> ) |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------|
| 0 < Pt ≤ 10           | 400                              | 1.445                  |
| 10 < Pt ≤ 30          | 300                              | 1.445                  |
| 30 < Pt < 50          | 200                              | 1.445                  |

## **RELACIÓN DE NORMATIVA Y LEGISLACIÓN**

### **Equipos e instalaciones**

Reglamento de Aparatos a Presión (RAP) e Instrucciones Técnicas Complementarias.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, ITE.

UNE-EN 303-05: Calderas de calefacción: Calderas especiales para combustibles sólidos, de carga manual y automática y potencia útil nominal hasta 300 kW.

UNE-EN 304: Calderas de calefacción: reglas de ensayo para las calderas con quemadores de combustibles líquidos por pulverización.

UNE 9-006-92: Calderas: Hogares para calderas.

UNE 9-017-92: Calderas: Diseño de calderas. Características de los combustibles sólidos de origen no fósil.

UNE 9-075-92: Calderas de vapor. Características del agua

UNE 9-112: Calderas de vapor. Funcionamiento y mantenimiento. Instrucciones generales.

UNE 123-001-94: Chimeneas: Cálculo y diseño.

UNE 123-001: Fe de errata.

UNE 124-002-93: Estufas para uso doméstico que consumen combustibles sólidos.

NF D 35-376: Aparatos de calor continuo ó intermitente, aparatos de decoración, funcionando con madera, mixtos o transformables.

EN 253 Sistemas de tuberías preaisladas para redes de agua caliente enterradas

EN 448 Accesorios preaislados para redes de agua caliente enterradas.

EN 488 Válvulas de acero preaisladas para redes de agua caliente enterradas.

EN 489 Ensamblaje de juntas para tuberías de calefacción urbana preaisladas.

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT)

### **Combustibles**

UNE 9-007-85: Características de combustibles sólidos de origen fósil necesarias para los proyectos de calderas.

### **Medio Ambiente**

Decreto 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.

Junta de Andalucía: Orden de 12 de febrero (BOJA 2/4/98), por el que se establecen límites de emisión a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de las instalaciones de combustión de biomasa sólida.

# EJEMPLOS DE INSTALACIONES

---

A continuación se incluye una relación de ejemplos prácticos de instalaciones que sustituirían combustibles fósiles por otros de origen biomásico. Las instalaciones analizadas corresponden a diferentes sectores (residencial, agropecuario, industrial y servicios) y tipos de energía generada (agua caliente o aire):

1. Calefacción en vivienda unifamiliar con distribución de calor por aire
2. Calefacción y ACS en vivienda unifamiliar con distribución de calor por agua
3. Calefacción y ACS en bloque de viviendas
4. Producción de energía térmica en una residencia de ancianos
5. Producción de energía térmica en un sistema de calefacción-refrigeración en distrito
6. Producción de energía térmica para climatización de una piscina
7. Producción de energía térmica para proceso en un matadero de porcinos
8. Producción de energía térmica para calefacción de una granja avícola

9. Instalación de calefacción en invernaderos

10. Producción de energía térmica para secadero de ladrillos

En cada una de las instalaciones se ha analizado la demanda energética existente y se ha descrito la instalación con biomasa que se propone incluyéndose un estudio económico de las mismas (inversiones, costes energéticos, costes de mantenimiento, ahorros obtenidos y periodo de retorno simple de las inversiones). Para cada una de las instalaciones se ha propuesto la biomasa a utilizar más adecuada, en función de la zona, consumo, ubicación y rentabilidad global del proyecto.

Los datos energéticos utilizados en la elaboración de los ejemplos se han tomado de Auditorías Energéticas realizadas por la Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía (Sodean) en los sectores de Edificios e Industrias.



# INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN CON BIOMASA EN VIVIENDA UNIFAMILIAR CON DISTRIBUCIÓN DE CALOR POR AIRE



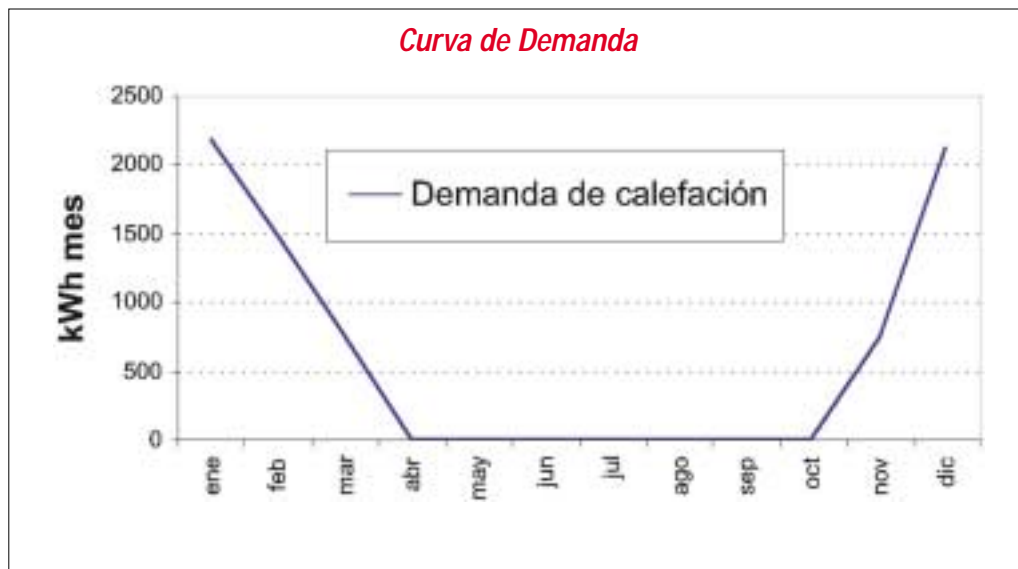
## DESCRIPCIÓN

Instalación de calefacción doméstica con biomasa con sistema de distribución de calor por aire, mediante una caldera diseñada para la calefacción directa del local donde está instalada. La vivienda tiene una superficie de 125 m<sup>2</sup> distribuidos en dos plantas. La superficie a calefactar es de 90 m<sup>2</sup> correspondientes a 1 salón y 4 dormitorios. El número de habitantes de la vivienda es de 4 personas.

Localización: Provincia de Sevilla

## DATOS ENERGÉTICOS

| Consumo energía | Biomasa (kWh/año) | Gasoil (kWh/año) | Diferencia (kWh/año) |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Calefacción     | 10.893            | 8.971            | 1.922                |



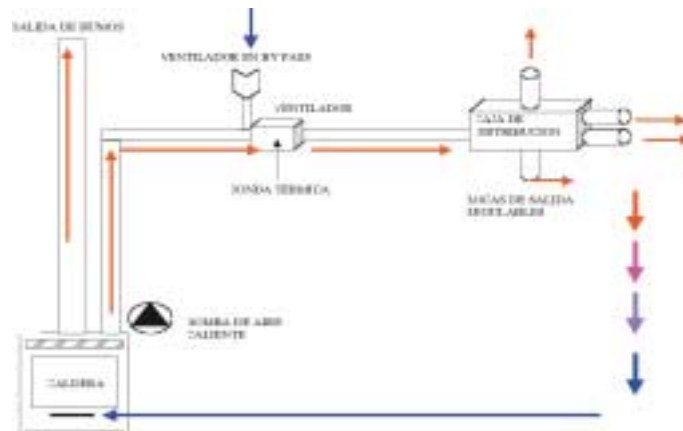
## TIPOS DE BIOMASA UTILIZABLES

| TIPO     | PCI (kcal/kg seco) | Kg/año | Humedad (% b.h.) | Potencial en Andalucía (tep/año) | Consumo previsto (tep/año) | Precio de referencia (€/tep / €/t) |
|----------|--------------------|--------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Leña     | 4.300              | 3.113  | 30               | 353.307                          | 0,937                      | 300 / 90                           |
| Briqueta | 4.400              | 2.366  | 10               | 35.000 (*)                       | 0,937                      | 349 / 138                          |

(\*) Mercado nacional

Biomasa elegida: LEÑA

## ESQUEMA INSTALACIÓN



## DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN

La instalación consiste en un hogar calefactor de alimentación manual de 15 kW de potencia que mediante una bomba situada en la campana es capaz de desplazar 500 m<sup>3</sup>/hora de aire caliente.

**Instalación a sustituir:** Instalación de gasóleo de alimentación automática similar a la descrita para biomasa, con la inclusión de un depósito enterrado para el gasóleo.

## PRESUPUESTO INSTALACIÓN

| Euro           | Total instalación Biomasa | Total instalación Gasóleo | Diferencia |
|----------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| Generación     | 1.250                     | 1.200                     | -50        |
| Distribución   | 1.100                     | 1.100                     | 0          |
| Almacenamiento | -                         | 600                       | 600        |
| <b>TOTAL</b>   | <b>2.650</b>              | <b>2.900</b>              | <b>550</b> |

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

| €/Año                                            | Biomasa    | Energía a sustituir | Diferencia |
|--------------------------------------------------|------------|---------------------|------------|
| Coste energético                                 | 281        | 382                 | 101        |
| Coste mantenimiento                              | 60         | 90                  | 30         |
| <b>Total</b>                                     | <b>341</b> | <b>472</b>          | <b>131</b> |
| <b>Período de retorno sobre-inversión (años)</b> |            |                     | <b>4,2</b> |

## VALORACIÓN MEDIO AMBIENTAL

| (Unidad: Kg contaminante/año) | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO           | CH <sub>4</sub> | Partículas   |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| Gasoil                        | 4,02            | 1,79            | 0,43         | 0,01            | 0,18         |
| Biomasa                       | 0,02            | 0,41            | 3,69         | 0,03            | 8,08         |
| <b>Balance</b>                | <b>4,00</b>     | <b>1,39</b>     | <b>-3,26</b> | <b>-0,02</b>    | <b>-7,90</b> |

Se evitaría la producción de 1.996 kg de CO<sub>2</sub>, fijados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.

## APLICACIONES EN ANDALUCÍA

- Este caso es replicable en alojamientos rurales y cabañas de recreo.

# INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN Y ACS CON BIOMASA EN VIVIENDA UNIFAMILIAR CON DISTRIBUCIÓN DE CALOR POR AGUA



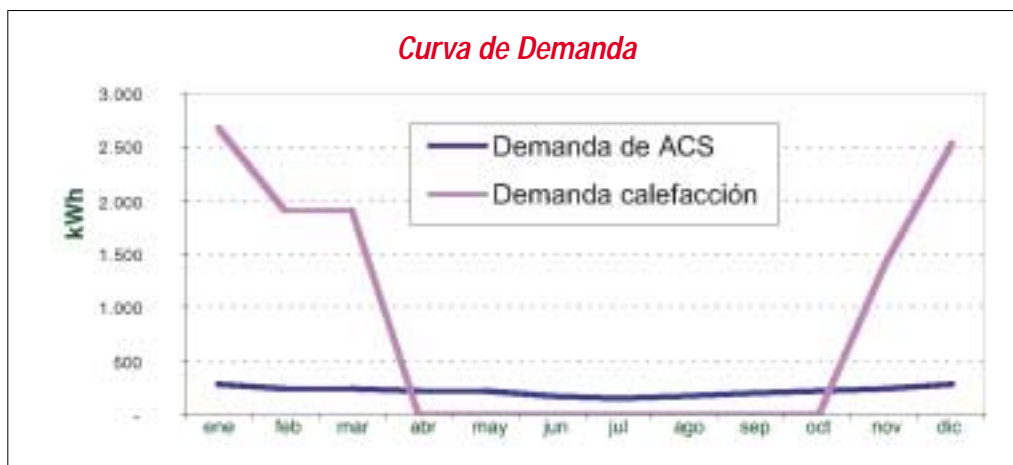
## DESCRIPCIÓN

Instalación de calefacción doméstica y producción de ACS con biomasa con sistema de distribución de calor por agua, mediante una caldera diseñada para la calefacción directa del local donde está instalada. La vivienda tiene una superficie de 130 m<sup>2</sup> distribuidos en una planta. La superficie a calefatar es de 100 m<sup>2</sup> correspondientes a 1 salón y 4 dormitorios. El número de habitantes de la vivienda es de 4 personas.

Localización: Provincia de Granada

## DATOS ENERGÉTICOS

| Consumo energía | Biomasa (kWh/año) | Gasoil (kWh/año) | Diferencia (kWh/año) |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Calefacción     | 15.689            | 12.920           | 2.769                |
| ACS             | 3.831             | 3.155            | 676                  |
| <b>TOTAL</b>    | <b>19.520</b>     | <b>16.075</b>    | <b>3.445</b>         |



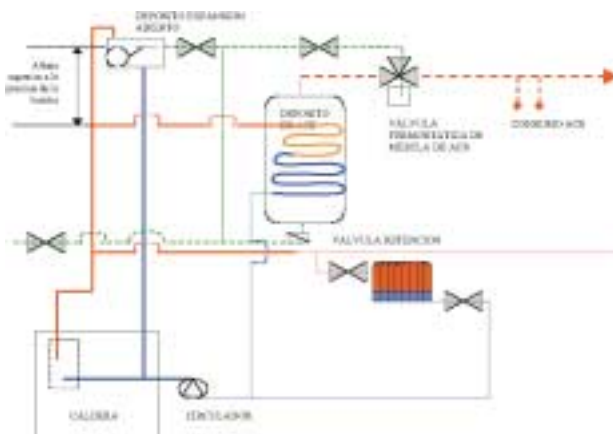
## TIPOS DE BIOMASA UTILIZABLES

| TIPO     | PCI (kcal/kg seco) | Kg/año | Humedad (% b.h.) | Potencial en Andalucía (tep/año) | Consumo previsto (tep/año) | Precio de referencia (€/tep / €/t) |
|----------|--------------------|--------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Leña     | 4.300              | 5.466  | 30               | 353.307                          | 1,678                      | 300 / 90                           |
| Briqueta | 4.400              | 4.237  | 10               | 35.000 (*)                       | 1,678                      | 349 / 138                          |

(\*) Mercado nacional

Biomasa elegida: LEÑA

## ESQUEMA INSTALACIÓN



## DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN

La instalación consiste en una caldera de leña de 20 kW para calefacción por radiadores y producción de ACS.

**Instalación a sustituir:** Instalación de gasóleo de 23 kW similar a la descrita para biomasa, con la inclusión de un depósito enterrado para el gasóleo.

## PRESUPUESTO INSTALACIÓN

| Euro                                        | Total instalación Biomasa | Total instalación Gasóleo | Diferencia |
|---------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| Generación                                  | 1.607                     | 1.200                     | -407       |
| Distribución (Incl. eltos. Terminales y MO) | 2.500                     | 2.500                     | 0          |
| Almacenamiento                              | -                         | 600                       | 600        |
| <b>TOTAL</b>                                | <b>4.107</b>              | <b>4.300</b>              | <b>193</b> |

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

| €/Año                                            | Biomasa    | Energía a sustituir | Diferencia |
|--------------------------------------------------|------------|---------------------|------------|
| Coste energético                                 | 503        | 678                 | 175        |
| Coste mantenimiento                              | 60         | 90                  | 30         |
| <b>Total</b>                                     | <b>563</b> | <b>768</b>          | <b>205</b> |
| <b>Período de retorno sobre-inversión (años)</b> |            |                     | <b>1,1</b> |

## VALORACIÓN MEDIO AMBIENTAL

| (Unidad: Kg contaminante/año) | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO           | CH <sub>4</sub> | Partículas   |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| Gasoil                        | 7,21            | 3,21            | 0,78         | 0,01            | 0,32         |
| Biomasa                       | 0,04            | 0,73            | 6,61         | 0,05            | 10,13        |
| <b>Balance</b>                | <b>7,18</b>     | <b>2,48</b>     | <b>-5,84</b> | <b>-0,04</b>    | <b>-9,80</b> |

Se evitaría la producción de 3.577 kg de CO<sub>2</sub>, fijados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.

## APLICACIONES EN ANDALUCÍA

- Este caso es replicable en alojamientos rurales y cabañas de recreo.

# INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN Y ACS CON BIOMASA EN BLOQUE DE VIVIENDAS



## DESCRIPCIÓN

Instalación de calefacción doméstica y producción de ACS con sistema de distribución de calor por agua, mediante una caldera de biomasa. El bloque de viviendas tiene una superficie total de 3.200 m<sup>2</sup> distribuidos en 8 plantas, y 4 viviendas por planta. La superficie a calefactar es de 2.560 m<sup>2</sup> correspondientes al salón y a los dormitorios de las viviendas. Para el consumo de ACS se considera un número de habitantes del bloque de 128 personas.

Localización: Provincia de Jaén.

## DATOS ENERGÉTICOS

| Consumo energía | Biomasa (tep/año) | Gasoil (tep/año) | Diferencia (tep/año) |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Calefacción     | 27,59             | 22,72            | 4,87                 |
| ACS             | 10,16             | 8,37             | 1,79                 |
| <b>TOTAL</b>    | <b>37,75</b>      | <b>31,09</b>     | <b>6,66</b>          |

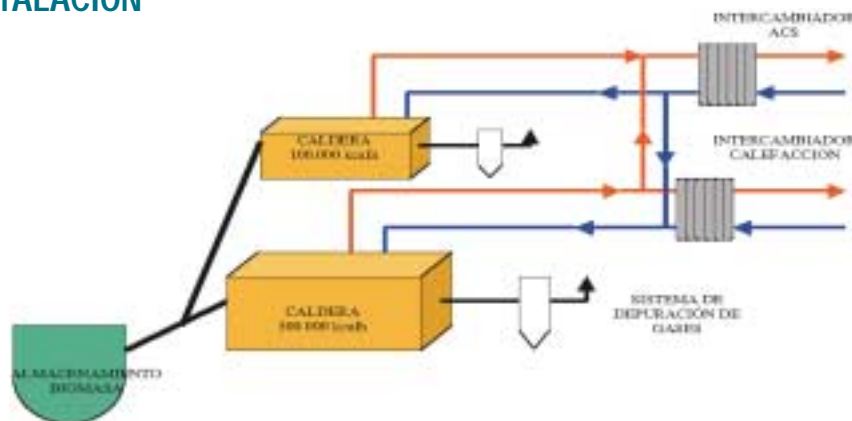


## TIPOS DE BIOMASA UTILIZABLES

| TIPO           | PCI (kcal/kg seco) | Kg/año  | Humedad (% b.h.) | Potencial en Andalucía (tep/año) | Consumo previsto (tep/año) | Precio de referencia (€/tep / €/t) |
|----------------|--------------------|---------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Hueso aceituna | 4.300              | 97.545  | 10               | 34.934                           | 37,75                      | 124,24 / 48,08                     |
| Cáscara        | 4.000              | 102.582 | 8                | 17.256                           | 37,75                      | 163,30 / 60,10                     |

Biomasa elegida: HUESO DE ACEITUNA

## ESQUEMA INSTALACIÓN



## DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN

La calefacción del edificio se lleva a cabo mediante dos calderas de biomasa de agua caliente, una para suministro de calefacción de 300.000 kcal/h, y otra para suministro de ACS de 100.000 kcal/h.

**Instalación a sustituir:** Instalación de gasóleo de 160.000 kcal/h para la calefacción y 70.000 kcal/h para ACS similar a la descrita para biomasa.

## PRESUPUESTO INSTALACIÓN

| Euro                          | Total instalación Biomasa | Total instalación Gasóleo | Diferencia    |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|
| Generación                    | 30.000                    | 6.000                     | 24.000        |
| Almacenamiento y alimentación | 10.000                    | 5.000                     | 6.000         |
| Otros                         | 12.000                    | 10.000                    | 2.000         |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>52.000</b>             | <b>21.000</b>             | <b>32.000</b> |

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

| €/Año                                      | Biomasa      | Energía a sustituir | Diferencia    |
|--------------------------------------------|--------------|---------------------|---------------|
| Coste energético                           | 4.690        | 15.239              | -10.549       |
| Coste mantenimiento                        | 1.040        | 420                 | 620           |
| <b>Total</b>                               | <b>5.730</b> | <b>15.659</b>       | <b>-9.929</b> |
| <b>Período de retorno inversión (años)</b> |              |                     | <b>5,2</b>    |

## VALORACIÓN MEDIO AMBIENTAL

| (Unidad: Kg contaminante/año) | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO             | CH <sub>4</sub> | Partículas     |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Gasoil                        | 162,29          | 72,30           | 17,50          | 0,23            | 7,22           |
| Biomasa                       | 0,80            | 16,41           | 184,82         | 1,21            | 265,45         |
| <b>Balance</b>                | <b>161,48</b>   | <b>55,89</b>    | <b>-131,32</b> | <b>-0,97</b>    | <b>-258,23</b> |

Se evitaría la producción de 80,5 t de CO<sub>2</sub>, fijados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.

## APLICACIONES EN ANDALUCÍA

Este caso es de aplicación en:

- Colegios
- Albergues juveniles
- Hoteles

# INSTALACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA EN UNA RESIDENCIA DE ANCIANOS



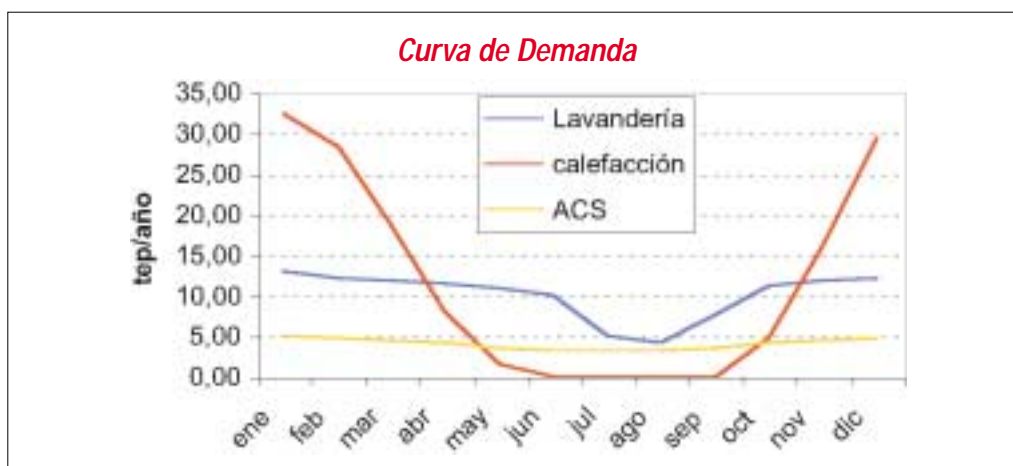
## DESCRIPCIÓN

Se trata de un edificio dedicado a albergar una residencia de ancianos. El centro funciona de forma ininterrumpida todo el año. Su capacidad es de 533 plazas, siendo la ocupación real de aproximadamente 490.

Localización: Provincia de Jaén.

## DATOS ENERGÉTICOS

| Consumo energía | Biomasa (tep/año) | Gasoil (tep/año) | Diferencia (tep/año) |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Calefacción     | 184,42            | 184,42           | 0,00                 |
| Lavandería      | 172,80            | 161,28           | 11,52                |
| ACS             | 76,75             | 64,55            | 12,20                |
| <b>TOTAL</b>    | <b>433,97</b>     | <b>410,25</b>    | <b>23,72</b>         |

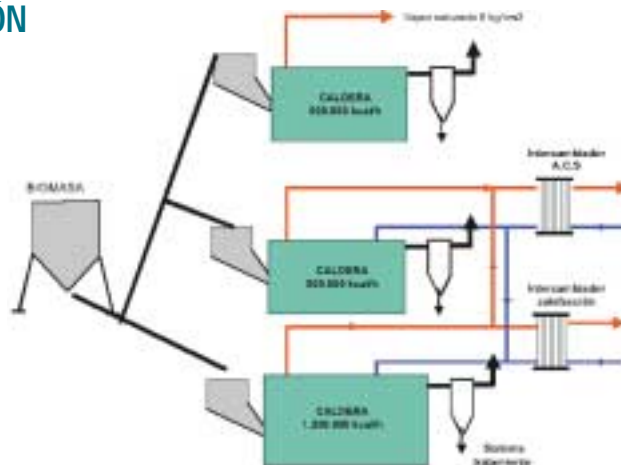


## TIPOS DE BIOMASA UTILIZABLES

| TIPO           | PCI (kcal/kg seco) | Kg/año    | Humedad (% b.h.) | Potencial en Andalucía (tep/año) | Consumo previsto (tep/año) | Precio de referencia (€/tep / €/t) |
|----------------|--------------------|-----------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Orujillo       | 4.100              | 1.176.070 | 10               | 292.100                          | 433,97                     | 73,28 / 27,04                      |
| Hueso aceituna | 4.300              | 1.121.369 | 10               | 34.934                           | 433,97                     | 124,24 / 48,08                     |
| Poda olivar    | 4.100              | 1.411.285 | 25               | 438.039                          | 433,97                     | 117,27 / 36,06                     |

Biomasa elegida: HUESO DE ACEITUNA

## ESQUEMA INSTALACIÓN



## DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN

Se trata de una central térmica formada por una caldera de 500.000 kcal/h para producción de vapor saturado (6 kg/cm<sup>2</sup> y 158° C) destinado a lavandería, una caldera de 1.200.000 kcal/h para calefacción (temperatura 90° C) y otra de agua caliente sanitaria de 500.000 kcal/h (temperatura 90° C). La tecnología empleada es acuotubular. Se instala también el sistema de almacenamiento y alimentación de biomasa automático.

**Instalación a sustituir:** Análoga a la descrita para la biomasa.

## PRESUPUESTO INSTALACIÓN

| Euro              | Lavandería | Calefacción | ACS    | TOTAL          |
|-------------------|------------|-------------|--------|----------------|
| Almacenamiento    |            | 100.000     |        | 100.000        |
| Generación        | 62.000     | 50.000      | 21.000 | 133.000        |
| Otros, obra civil | 26.000     | 22.000      | 12.000 | 60.000         |
| <b>TOTAL</b>      |            |             |        | <b>293.000</b> |

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

| €/Año                                      | Biomasa          | Energía a sustituir | Diferencia        |
|--------------------------------------------|------------------|---------------------|-------------------|
| Coste energético                           | 53.916,43        | 214.666,00          | 160.749,57        |
| Coste mantenimiento                        | 5.740,00         | 2.870,00            | -2.870,00         |
| <b>TOTAL</b>                               | <b>59.656,43</b> | <b>217.536</b>      | <b>157.879,57</b> |
| <b>Período de retorno inversión (años)</b> |                  |                     | <b>1,9</b>        |

## VALORACIÓN MEDIO AMBIENTAL

| (Unidad: Kg contaminante/año) | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO              | CH <sub>4</sub> | Partículas      |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Gasoil                        | 2.141,5         | 954,0           | 230,9           | 3,1             | 95,3            |
| Biomasa                       | 9,3             | 188,6           | 1.710,8         | 13,9            | 2.618,8         |
| <b>Balance</b>                | <b>2.132,3</b>  | <b>765,4</b>    | <b>-1.479,8</b> | <b>-10,8</b>    | <b>-2.523,5</b> |

Se evitaría la producción de 1.062 t de CO<sub>2</sub>, fijados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.

## APLICACIONES EN ANDALUCÍA

Este caso es de aplicación en:

- Hospitales
- Residencias de ancianos
- Albergues



# PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA EN UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN-REFRIGERACIÓN EN DISTRITO



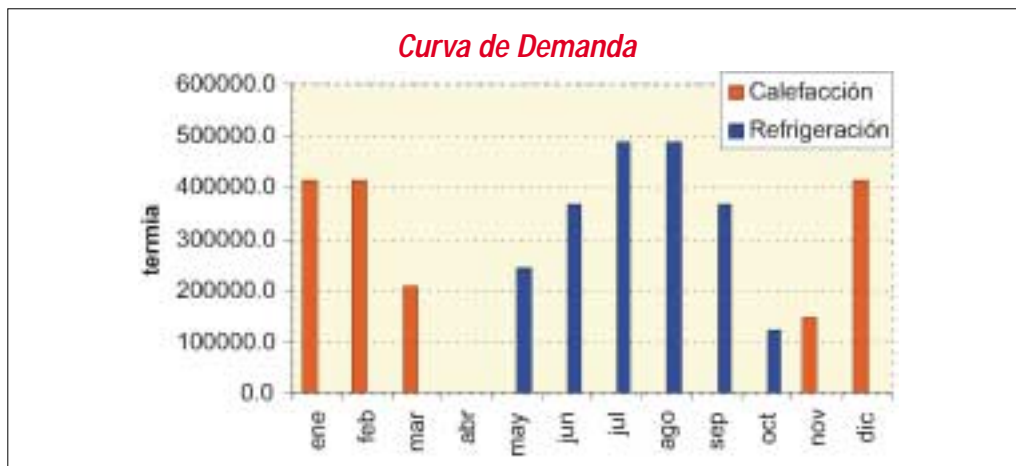
## DESCRIPCIÓN

Se trata de un grupo de viviendas unifamiliares (180 unidades) de 150 m<sup>2</sup> cada una a climatizar. Las viviendas cuentan con dos plantas.

Localización: Provincia de Sevilla.

## DATOS ENERGÉTICOS

| Consumo energía | Biomasa (tep/año) | E. Eléctrica (kWh/año) | E. Eléctrica (tep/año) | Diferencia (tep/año) |
|-----------------|-------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| Calefacción     | 227,2             | 738,737                | 211,8                  | 15,4                 |
| Refrigeración   | 295,1             | 1.200.872              | 344,2                  | -49,1                |
| <b>TOTAL</b>    | <b>522,3</b>      | <b>1.940.609</b>       | <b>556,0</b>           | <b>-33,7</b>         |

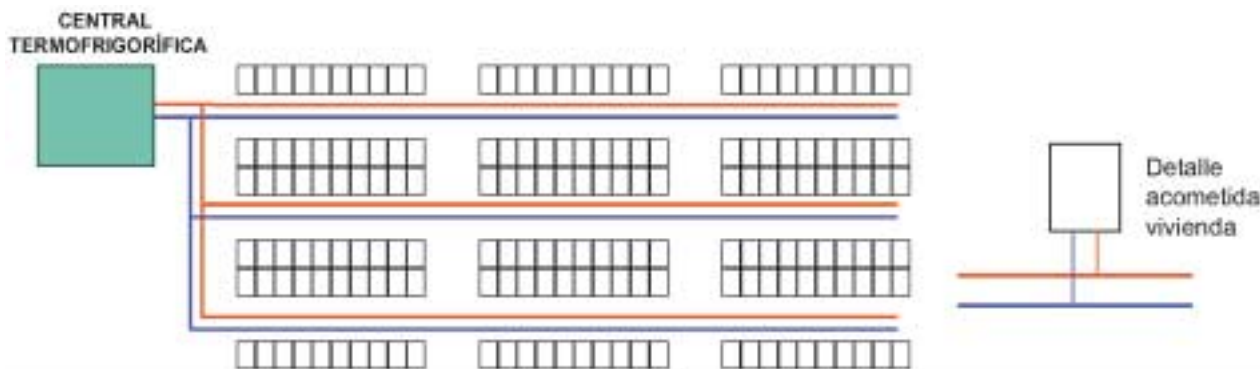


## TIPOS DE BIOMASA UTILIZABLES

| TIPO           | PCI (kcal/kg seco) | Kg/año    | Humedad (% b.h.) | Potencial en Andalucía (tep/año) | Consumo previsto (tep/año) | Precio de referencia (€/tep / €/t) |
|----------------|--------------------|-----------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Orujillo       | 4.100              | 1.415.447 | 10               | 292.100                          | 522,3                      | 73,28 / 27,04                      |
| Hueso aceituna | 4.300              | 1.349.612 | 10               | 34.934                           | 37,75                      | 124,24 / 48,08                     |
| Poda olivar    | 4.100              | 1.698.537 | 25               | 438.039                          | 522,3                      | 117,27 / 36,06                     |

Biomasa elegida: HUESO DE ACEITUNA

## ESQUEMA INSTALACIÓN



## DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN

Se trata de una central térmica formada por dos calderas de 1.500.000 kcal/h para producción de agua caliente a 90° C destinadas a calefacción y alimentación de dos máquinas de absorción de 3.000 kW cada una para producción de agua fría para refrigeración. La instalación cuenta con los sistemas auxiliares necesarios y el sistema de tuberías para la distribución de la energía a cada una de las viviendas, mediante dos tubos. Cada vivienda cuenta con contador individual de la energía consumida.

**Instalación a sustituir:** Cada vivienda contaría con un sistema de bomba de calor.

## PRESUPUESTO INSTALACIÓN

| Euro                     | District Heat-Cool | Bomba de calor | Diferencia       |
|--------------------------|--------------------|----------------|------------------|
| Caldera y maq. absorción | 1.100.000          |                |                  |
| Sistemas auxiliares      | 600.000            |                |                  |
| Sistema distribución     | 283.500            |                |                  |
| <b>TOTAL</b>             | <b>1.984.500</b>   | <b>865.500</b> | <b>1.119.000</b> |

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

| €/Año                                      | Biomasa       | Energía a sustituir | Diferencia     |
|--------------------------------------------|---------------|---------------------|----------------|
| Coste energético                           | 66.083        | 244.929             | 178.846        |
| Coste mantenimiento                        | 21.000        | 2.165               | -18.835        |
| <b>Total</b>                               | <b>87.080</b> | <b>247.100</b>      | <b>160.020</b> |
| <b>Período de retorno inversión (años)</b> |               |                     | <b>7,0</b>     |

## VALORACIÓN MEDIO AMBIENTAL

| (Unidad: Kg contaminante/año) | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO              | CH <sub>4</sub> | Partículas      |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| E. Eléctrica                  | 9.607,7         | 3.421,4         | 303,2           | 63,0            | 621,8           |
| Biomasa                       | 11,1            | 227,0           | 2059,0          | 16,7            | 3.566,4         |
| <b>Balance</b>                | <b>9.596,5</b>  | <b>3.194,4</b>  | <b>-1.755,8</b> | <b>46,3</b>     | <b>-2.944,5</b> |

Se evitaría la producción de 3.565 t de CO<sub>2</sub>, fijados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.

## APLICACIONES EN ANDALUCÍA

Este caso es replicable en sistemas distribuidos de climatización en:

- Urbanizaciones
- Parques industriales
- Zonas turísticas

# PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA PARA CLIMATIZACIÓN DE UNA PISCINA



## DESCRIPCIÓN

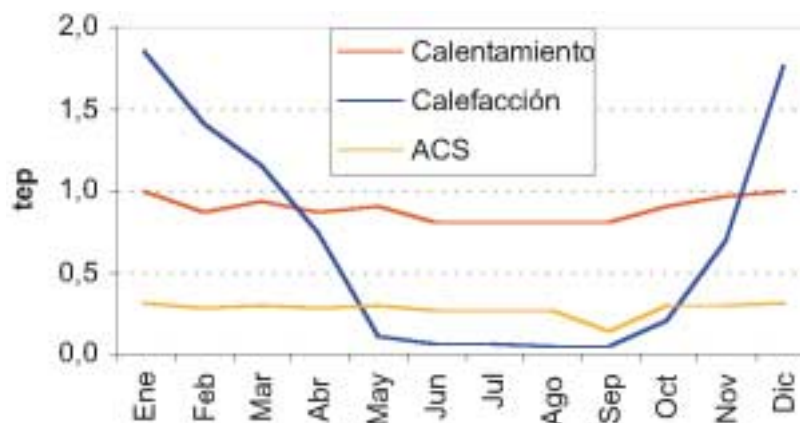
Se trata de una piscina climatizada de uso polivalente de 25 m de largo, 12,5 m de ancho y profundidad variable.

Localización: Provincia de Cádiz.

## DATOS ENERGÉTICOS

| Consumo energía | Biomasa (kWh/año) | Gasoil (kWh/año) | Diferencia (kWh/año) |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Calentamiento   | 15,0              | 14,0             | 1,0                  |
| Calefacción     | 11,4              | 10,7             | 0,7                  |
| ACS             | 4,5               | 4,2              | 0,3                  |
| <b>TOTAL</b>    | <b>30,9</b>       | <b>28,9</b>      | <b>2,0</b>           |

*Curva de Demanda*

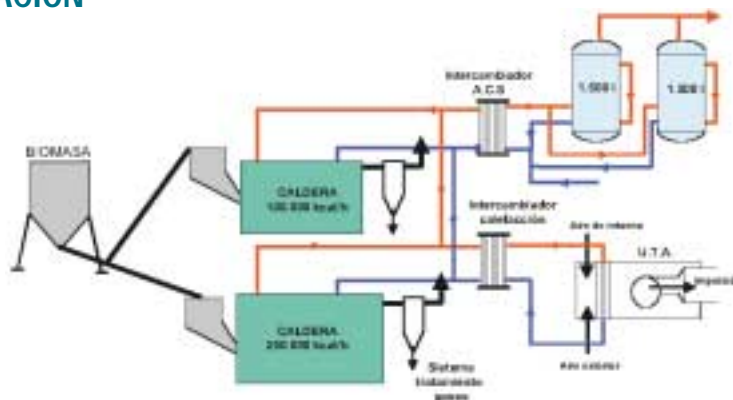


## TIPOS DE BIOMASA UTILIZABLES

| TIPO                  | PCI (kcal/kg seco) | Kg/año  | Humedad (% b.h.) | Potencial en Andalucía (tep/año) | Consumo previsto (tep/año) | Precio de referencia (€/tep / €/t) |
|-----------------------|--------------------|---------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Cáscaras frutos secos | 4.000              | 83.967  | 8                | 17.256                           | 30,9                       | 163,31 / 60,10                     |
| Poda viñedos          | 4.000              | 103.000 | 25               | 9.543                            | 30,9                       | 120,20 / 36,06                     |

Biomasa elegida: CÁSCARAS FRUTOS SECOS

## ESQUEMA INSTALACIÓN



## DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN

La instalación consta de dos calderas de agua caliente de 100.000 kcal/h y 250.000 kcal/h de potencia nominal. Existen dos intercambiadores de calor: uno para agua caliente sanitaria y otro para el agua de la piscina. Además se tienen dos depósitos de agua caliente sanitaria de 1.500 litros cada uno y el sistema de bombeo de impulsión. Para la climatización de la piscina y el recinto existe una unidad climatizadora. Se incluye el sistema de almacenamiento y alimentación de combustible a las calderas.

## PRESUPUESTO INSTALACIÓN

|                   | Total instalación (€) |
|-------------------|-----------------------|
| Almacenamiento    | 14.000                |
| Generación        | 30.000                |
| Otros, obra civil | 20.000                |
| <b>TOTAL</b>      | <b>64.000</b>         |

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

| €/Año                                      | Biomasa         | Energía a sustituir | Diferencia      |
|--------------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| Coste energético                           | 5.046,28        | 13.513,24           | 8.466,96        |
| Coste mantenimiento                        | 1.700,00        | 650,00              | -1.050          |
| <b>Total</b>                               | <b>6.746,28</b> | <b>14.163,24</b>    | <b>7.416,96</b> |
| <b>Período de retorno inversión (años)</b> |                 |                     | <b>8,6</b>      |

## VALORACIÓN MEDIO AMBIENTAL

| (Unidad: Kg contaminante/año) | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO            | CH <sub>4</sub> | Partículas    |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| Gasoil                        | 150,9           | 67,2            | 16,3          | 0,2             | 6,7           |
| Biomasa                       | 0,7             | 13,4            | 121,8         | 1,0             | 200,5         |
| <b>Balance</b>                | <b>150,2</b>    | <b>53,8</b>     | <b>-105,5</b> | <b>-0,8</b>     | <b>-193,7</b> |

Se evitaría la producción de 74.800 t de CO<sub>2</sub>, fijados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.

## APLICACIONES EN ANDALUCÍA

Este proyecto es replicable en edificios de usos similares:

- Polideportivos
- Piscinas climatizadas

# PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA PARA PROCESO EN UN MATADERO DE PORCINOS



## DESCRIPCIÓN

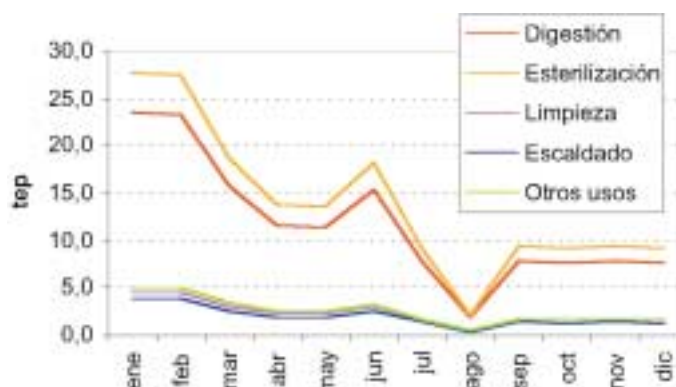
El matadero se dedica a la matanza del cerdo ibérico, obteniéndose principalmente jamones, paletas y carne y existe además fábrica de alimentos cocidos. Como subproductos se generan sangre, grasas y harinas de carne. La producción media es de 60.000 cerdos sacrificados anualmente.

Localización: Provincia de Huelva.

## DATOS ENERGÉTICOS

| Consumo energía | Biomasa (tep/año) | Gasoil (tep/año) | Diferencia (tep/año) |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Digestión       | 168,1             | 140,1            | 28,0                 |
| Esterilización  | 199,1             | 165,9            | 33,2                 |
| Limpieza        | 32,0              | 26,7             | 5,3                  |
| Escaldado       | 26,9              | 22,4             | 4,5                  |
| Otros           | 86,0              | 71,7             | 14,3                 |
| <b>TOTAL</b>    | <b>512,1</b>      | <b>426,7</b>     | <b>85,3</b>          |

*Curva de Demanda*

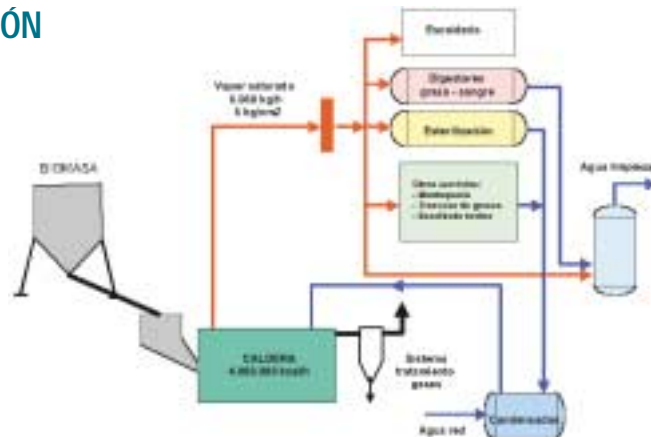


## TIPOS DE BIOMASA UTILIZABLES

| TIPO                  | PCI (kcal/kg seco) | Kg/año    | Humedad (% b.h.) | Potencial en Andalucía (tep/año) | Consumo previsto (tep/año) | Precio de referencia (€/tep / €/t) |
|-----------------------|--------------------|-----------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Cáscaras frutos secos | 4.000              | 1.391.573 | 8                | 17.256                           | 512,1                      | 163,31 / 60,10                     |
| Orujillo              | 4.100              | 1.387.805 | 10               | 292.100                          | 512,1                      | 81,44 / 30,05                      |

Biomasa elegida: ORUJILLO

## ESQUEMA INSTALACIÓN



## DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN

La instalación está formada por una caldera de vapor saturado de 4.000.000 kcal/h, con una producción de 6.000 kg/h a una presión de 6 kg/cm<sup>2</sup>.

**Instalación a sustituir:** Análoga a la descrita para la biomasa, pero además existe una caldera auxiliar de 3.000 kg/h de vapor.

## PRESUPUESTO INSTALACIÓN

|                               | Total instalación (€) |
|-------------------------------|-----------------------|
| Almacenamiento y alimentación | 125.000               |
| Generación                    | 250.000               |
| Otros, obra civil             | 75.000                |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>450.000</b>        |

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

| €/Año                                      | Biomasa          | Energía a sustituir | Diferencia       |
|--------------------------------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Coste energético                           | 41.705,42        | 112.069,46          | 70.364,04        |
| Coste mantenimiento                        | 11.250,00        | 4.500,00            | -6.750,00        |
| <b>Total</b>                               | <b>52.955,42</b> | <b>116.569,46</b>   | <b>63.614,04</b> |
| <b>Período de retorno inversión (años)</b> |                  |                     | <b>7,1</b>       |

## VALORACIÓN MEDIO AMBIENTAL

| (Unidad: Kg contaminante/año) | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO              | CH <sub>4</sub> | Partículas      |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Fuel oil                      | 7.373,4         | 2.625,7         | 232,7           | 48,3            | 477,2           |
| Biomasa                       | 10,9            | 222,6           | 2.018,8         | 16,4            | 3.241,0         |
| <b>Balance</b>                | <b>7.362,5</b>  | <b>2.403,2</b>  | <b>-1.786,1</b> | <b>32,0</b>     | <b>-2.763,8</b> |

Se evitaría la producción de 1.200 t de CO<sub>2</sub>, fijados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.

## APLICACIONES EN ANDALUCÍA

Este proyecto es replicable en el sector industrial, tanto para la generación de vapor como agua caliente, por ejemplo:

- Industrias cárnicas
- Sector obtención aceite de oliva y extractoras
- Industria de bebidas y alimentos
- Elaboración de corcho

# PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA PARA CALEFACCIÓN DE UNA GRANJA AVÍCOLA



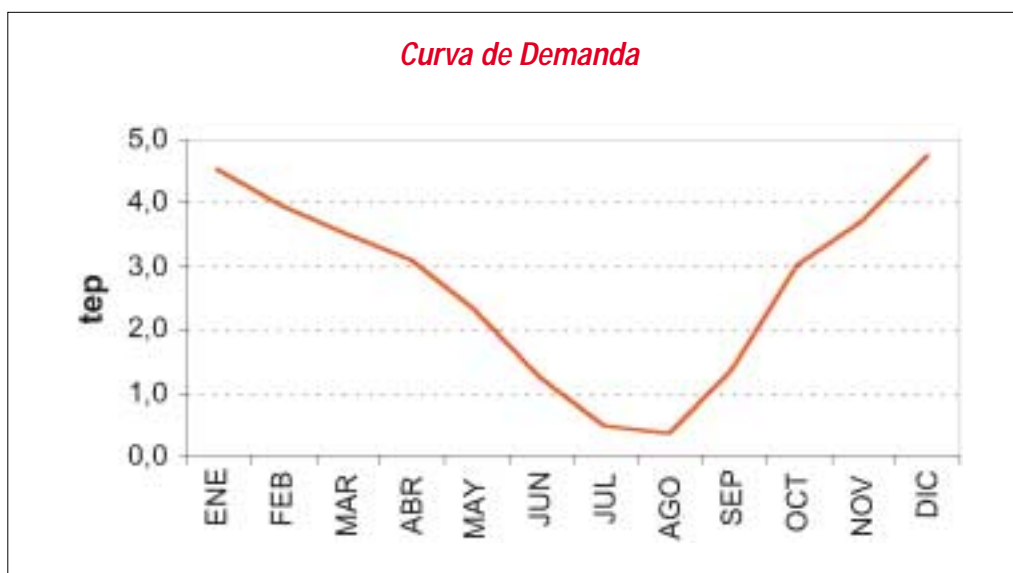
## DESCRIPCIÓN

La nave avícola se dedica a la crianza y engorde de aves. La superficie a calefactar es de 1.600 m<sup>2</sup>, existiendo un total de 16.000 aves/ciclo de engorde, anualmente esto representa aproximadamente 80.000 aves. La temperatura óptima de crecimiento es de 34° C.

Localización: Provincia de Sevilla

## DATOS ENERGÉTICOS

| Consumo energía | Biomasa (tep/año) | Gasoil (tep/año) | Diferencia (tep/año) |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Calefacción     | 40                | 37,6             | 2,4                  |

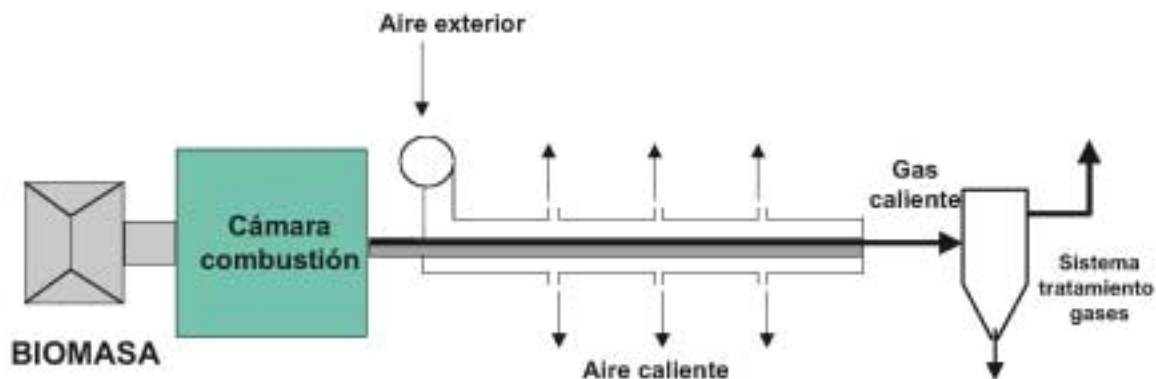


## TIPOS DE BIOMASA UTILIZABLES

| TIPO                  | PCI (kcal/kg seco) | Kg/año  | Humedad (% b.h.) | Potencial en Andalucía (tep/año) | Consumo previsto (tep/año) | Precio de referencia (€/tep / €/t) |
|-----------------------|--------------------|---------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Hueso aceituna        | 4.300              | 103.359 | 10               | 34.934                           | 40,0                       | 124,24 / 48,08                     |
| Cáscaras frutos secos | 4.000              | 108.696 | 8                | 17.256                           | 40,0                       | 163,30 / 60,10                     |

Biomasa elegida: CÁSCARA DE FRUTOS SECOS

## ESQUEMA INSTALACIÓN



## DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN

La instalación está formada por un generador de aire caliente de 350.000 kcal/h, con su equipo correspondiente de alimentación de biomasa y red de distribución de calor.

**Instalación a sustituir:** Análoga a la descrita para la biomasa.

## PRESUPUESTO INSTALACIÓN

|                               | Total instalación (€) |
|-------------------------------|-----------------------|
| Almacenamiento y alimentación | 4.000                 |
| Generación                    | 15.000                |
| Otros, obra civil             | 10.000                |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>29.000</b>         |

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

| €/Año                                      | Biomasa         | Energía a sustituir | Diferencia      |
|--------------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| Coste energético                           | 6.532,00        | 15.829,60           | 9.297,60        |
| Coste mantenimiento                        | 870,00          | 435,00              | -435,0          |
| <b>Total</b>                               | <b>7.402,00</b> | <b>16.264,60</b>    | <b>8.862,60</b> |
| <b>Período de retorno inversión (años)</b> |                 |                     | <b>3,3</b>      |

## VALORACIÓN MEDIO AMBIENTAL

| (Unidad: Kg contaminante/año) | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO            | CH <sub>4</sub> | Partículas    |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| Gasoil                        | 196,3           | 87,4            | 21,2          | 0,3             | 8,7           |
| Biomasa                       | 0,9             | 17,4            | 157,7         | 1,3             | 259,5         |
| <b>Balance</b>                | <b>195,4</b>    | <b>70,1</b>     | <b>-136,5</b> | <b>-1,0</b>     | <b>-250,7</b> |

Se evitaría la producción de 97.000 t de CO<sub>2</sub>, fijados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.

## APLICACIONES EN ANDALUCÍA

Este proyecto es replicable en el sector agropecuario:

- Granjas porcinas y vacuno
- Invernaderos



# INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN EN INVERNADEROS



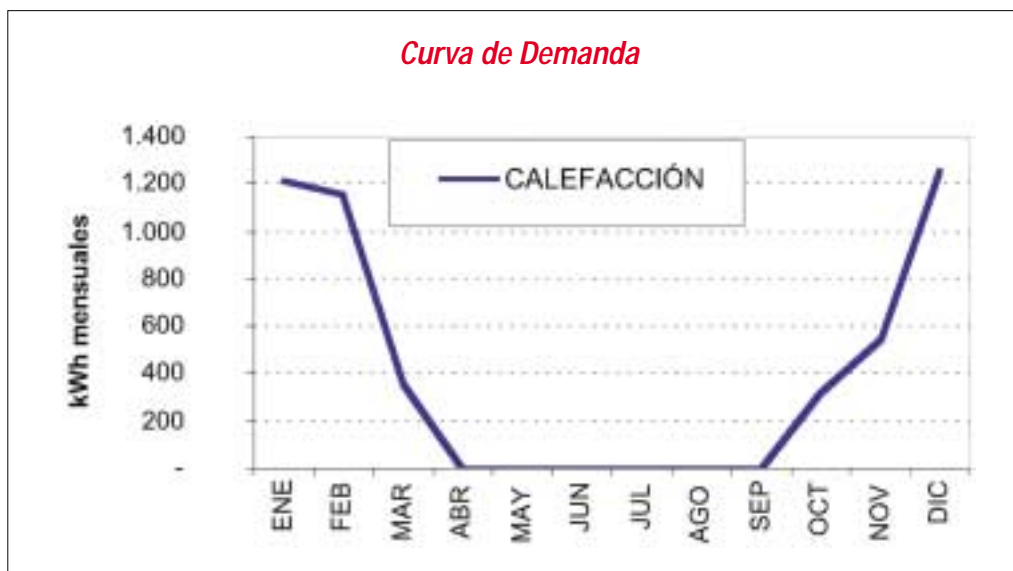
## DESCRIPCIÓN

Instalación de calefacción por aire caliente en un invernadero mediante una caldera de biomasa. El cultivo del invernadero es el clavel multiflora y la temperatura óptima nocturna se sitúa entre los 10 y 12° C, no siendo conveniente que baje de los 8° C. La superficie a calefactar es de 2.750 m<sup>2</sup>.

Localización: Costa de Cádiz.

## DATOS ENERGÉTICOS

| Consumo energía | Biomasa (tep/año) | Gasoil (tep/año) | Diferencia (tep/año) |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Calefacción     | 17,49             | 15,43            | 2,06                 |

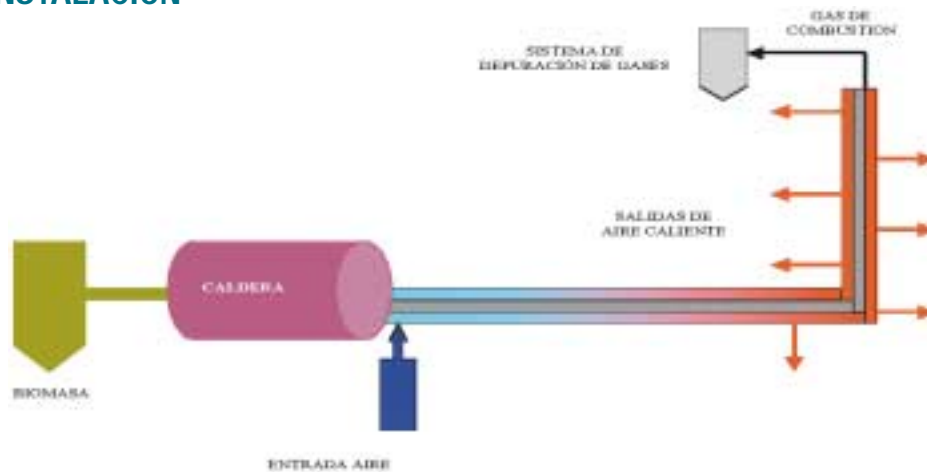


## TIPOS DE BIOMASA UTILIZABLES

| TIPO     | PCI (kcal/kg seco) | Kg/año | Humedad (% b.h.) | Potencial en Andalucía (tep/año) | Consumo previsto (tep/año) | Precio de referencia (€/tep / €/t) |
|----------|--------------------|--------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Orujillo | 4.100              | 47.425 | 10               | 292.100                          | 17,5                       | 81,44 / 30,05                      |
| Cáscara  | 4.000              | 47.554 | 8                | 17.256                           | 17,5                       | 163,3 / 60,10                      |

Biomasa elegida: HUESO DE ACEITUNA

## ESQUEMA INSTALACIÓN



## DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN

La calefacción del invernadero se lleva a cabo mediante un generador de aire caliente de 300.000 kcal/h que utiliza biomasa como combustible, con sistema de alimentación automática.

**Instalación a sustituir:** Instalación de gasóleo de 250.000 kcal/h similar a la descrita para biomasa.

## PRESUPUESTO INSTALACIÓN

| Euro                          | Total instalación Biomasa | Total instalación Gasóleo | Diferencia    |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|
| Generación                    | 24.000                    | 6.000                     | 18.000        |
| Almacenamiento y alimentación | 10.000                    | 5.000                     | 5.000         |
| Otros                         | 10.200                    | 10.200                    | -             |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>44.200</b>             | <b>21.200</b>             | <b>23.000</b> |

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

| €/Año                                      | Biomasa        | Energía a sustituir | Diferencia      |
|--------------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|
| Coste energético                           | 1.424,4        | 7.564,6             | -6.140,2        |
| Coste mantenimiento                        | 884            | 636                 | 248             |
| <b>Total</b>                               | <b>2.308,4</b> | <b>8.200,6</b>      | <b>-5.892,2</b> |
| <b>Período de retorno inversión (años)</b> |                |                     | <b>7,5</b>      |

## VALORACIÓN MEDIO AMBIENTAL

| (Unidad: Kg contaminante/año) | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO            | CH <sub>4</sub> | Partículas     |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|
| Gasoil                        | 80,56           | 35,89           | 8,69          | 0,12            | 3,58           |
| Hueso aceituna                | 0,42            | 8,60            | 78,01         | 0,63            | 123,00         |
| <b>Balance</b>                | <b>80,13</b>    | <b>27,28</b>    | <b>-69,32</b> | <b>-0,52</b>    | <b>-119,41</b> |

Se evitaría la producción de 40 t de CO<sub>2</sub>, fijados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.

## APLICACIONES EN ANDALUCÍA

Este caso es de aplicación en:

- Invernaderos
- Granjas
- Naves ganaderas

# PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA PARA SECADERO DE LADRILLOS



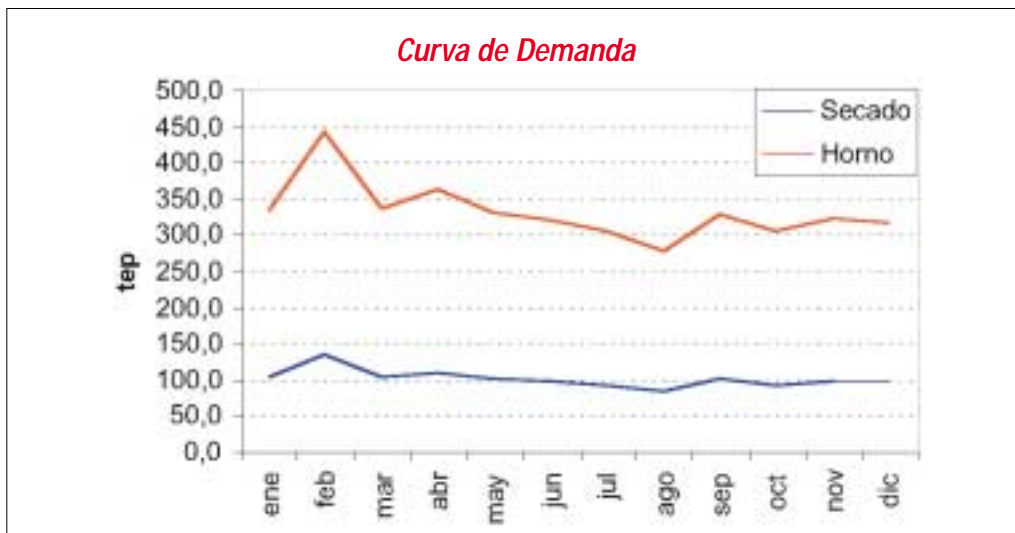
## DESCRIPCIÓN

La instalación está dedicada a la fabricación de ladrillos, siendo los procesos principales secado y horneado. La producción es de 140.000 t/año de ladrillos.

Localización: Provincia de Sevilla.

## DATOS ENERGÉTICOS

| Consumo energía | Biomasa (kWh/año) | Gasoil (kWh/año) | Diferencia (kWh/año) |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Secado          | 1.349,7           | 1.199,7          | 150,0                |
| Horneado        | 3.960,3           | 3.960,3          | 0,0                  |
| <b>TOTAL</b>    | <b>5.310,0</b>    | <b>5.160,0</b>   | <b>150,0</b>         |

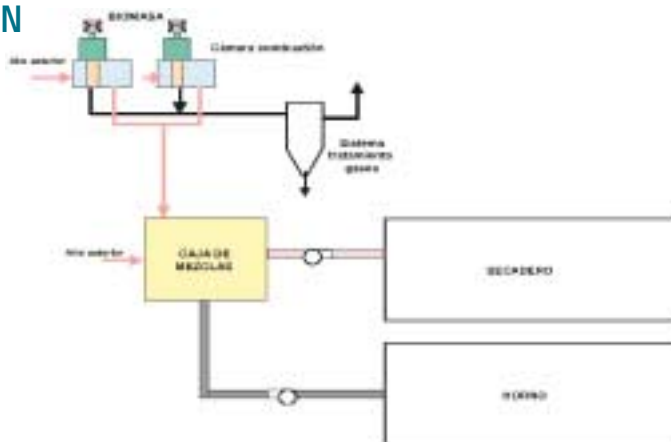


## TIPOS DE BIOMASA UTILIZABLES

| TIPO        | PCI (kcal/kg seco) | Kg/año    | Humedad (% b.h.) | Potencial en Andalucía (tep/año) | Consumo previsto (tep/año) | Precio de referencia (€/tep / €/t) |
|-------------|--------------------|-----------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Orujillo    | 4.100              | 3.657.724 | 10               | 292.100                          | 1.349,7                    | 81,44 / 30,05                      |
| Poda olivar | 4.100              | 4.389.268 | 25               | 438.039                          | 1.349,7                    | 117,27 / 36,06                     |

Biomasa elegida: ORUJILLO

## ESQUEMA INSTALACIÓN



## DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN

La instalación de secado está formada por dos quemadores de aire caliente de 1.500.000 kcal/h por unidad alimentada por biomasa. El horno es de tipo túnel con una potencia de 6.500.000 kcal/h con fueloil como combustible.

**Instalación a sustituir:** Análoga a la descrita para biomasa.

## PRESUPUESTO INSTALACIÓN

|                               | Total instalación (€) |
|-------------------------------|-----------------------|
| Almacenamiento y alimentación | 45.000                |
| Generación de aire caliente   | 150.000               |
| Otros                         | 39.000                |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>234.000</b>        |

## VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN

| €/Año                                      | Biomasa           | Energía a sustituir | Diferencia        |
|--------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Coste energético                           | 109.919,57        | 315.089,21          | 205.169,64        |
| Coste mantenimiento                        | 7.000,00          | 3.500,00            | -3.500,00         |
| <b>Total</b>                               | <b>116.919,57</b> | <b>318.589,21</b>   | <b>201.669,64</b> |
| <b>Período de retorno inversión (años)</b> |                   |                     | <b>1,2</b>        |

## VALORACIÓN MEDIO AMBIENTAL

| (Unidad: Kg contaminante/año) | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO              | CH <sub>4</sub> | Partículas      |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Gasoil                        | 20.730,8        | 7.382,5         | 654,2           | 135,9           | 1.341,7         |
| Orujillo                      | 32,6            | 664,1           | 6.020,2         | 48,7            | 8.542,1         |
| <b>Balance</b>                | <b>20.698,2</b> | <b>6.718,4</b>  | <b>-5.366,0</b> | <b>87,2</b>     | <b>-7.200,3</b> |

Se evitaría la producción de 3.300 t de CO<sub>2</sub>, fijados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.

## APLICACIONES EN ANDALUCÍA

- Industrias cárnicas
- Extracción de aceite de orujo: secado
- Secado de maderas
- Sector azucarero: secado de pulpa de remolacha
- Secado de: alfalfa, maíz, girasol, algodón

# ANEXO I

## Tablas: Demanda térmica en instalaciones

---

### CONDICIONES DE DISEÑO

Mapa de zonificación por temperaturas mínimas medias de enero

- Tabla 1. Condiciones exteriores de diseño (Invierno)
- Tabla 2. Condiciones interiores de diseño
- Tabla 3. Temperaturas interiores de cálculo
- Tabla 4. Temperaturas exteriores de diseño
- Tabla 5. Temperaturas de medios exteriores distintas a la exterior de cálculo
- Tabla 6. Caudales de aire exterior de ventilación para locales (l/s)

### COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DE CALOR (K) kcal/h m<sup>2</sup> °C

- Tabla 7. Valores máximos de K
- Tabla 8. Ventanas
- Tabla 9. Terrazas
- Tabla 10. Puertas
- Tabla 11. Cubiertas
- Tabla 12. Muros y tabiques
- Tabla 13. Muros
- Tabla 14. Forjados

### COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN TÉRMICA LINEAL EN kcal/h m °C

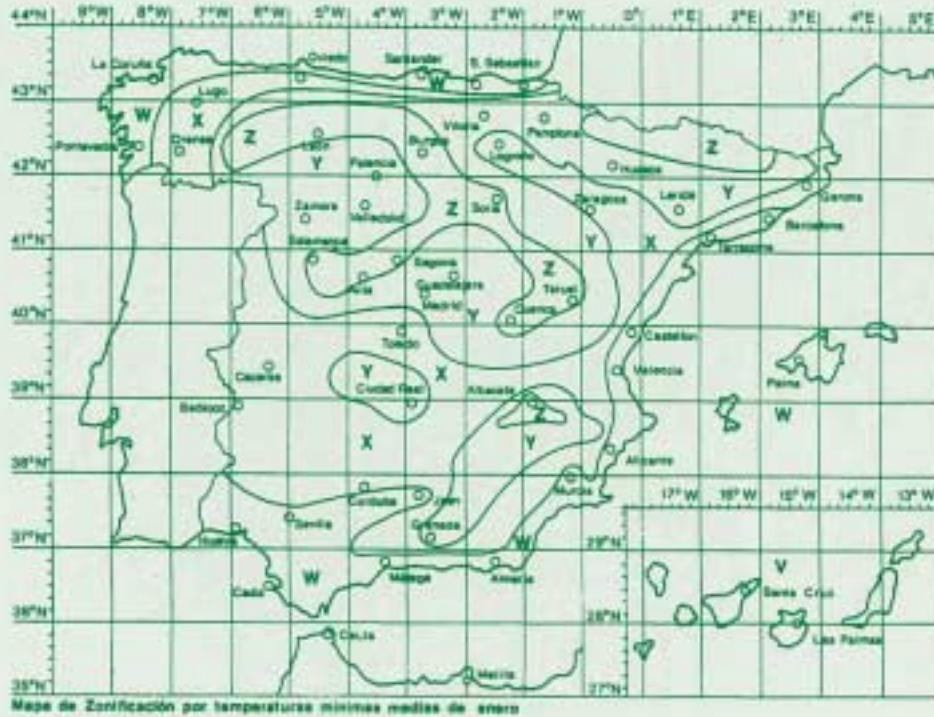
- Tabla 15. Solera
- Tabla 16. Muro enterrado
- Tabla 17. Coeficientes de conductividad térmica de algunos materiales

### SUPLEMENTOS

- Tabla 17. Coeficientes de conductividad térmica de algunos materiales
- Tabla 18. Suplementos por orientación
- Tabla 19. Suplementos interrupción de servicio y pared fría (S2 + S3) (%)
- Tabla 20. Ganancias de calor por aportación de los ocupantes

## CONDICIONES DE DISEÑO

### Mapa de zonificación por temperaturas mínimas medias de enero



**Tabla 1. Condiciones exteriores de diseño (Invierno)**

| Localidad                | Longitud<br>Latitud<br>Altura (snm) | Temperatura seca<br>°C |                    | Grados día<br>anuales | Viento dominante (m/s) |           |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|-----------|
|                          |                                     | Percentil<br>99%       | Percentil<br>97.5% |                       | Dirección              | Velocidad |
| Córdoba<br>(Aeropuerto)  | 4° 51' W<br>37° 53' N<br>8 m        | -1.2                   | -0.3               | 869                   | SW                     | 5,4       |
| Jerez<br>(Base aérea)    | 6° 8' W<br>36° 41' N<br>50 m        | 0.9                    | 2,1                | 579                   | W                      | 7,2       |
| Málaga<br>(El Rompedizo) | 4° 28' W<br>36° 39' N<br>12 m       | 3.4                    | 4,3                | 487                   | NW                     | 4,4       |
| Sevilla<br>(Aeropuerto)  | 5° 53' W<br>37° 25' N<br>20 m       | 0.4                    | 1,5                | 580                   | SW                     | 5,6       |

**Tabla 2. Condiciones interiores de diseño**

|          | Temperatura operativa<br>°C | Velocidad media del<br>aire m/s | Humedad relativa del<br>aire % |
|----------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Verano   | 23-25                       | 0,18-0,24                       | 40-60                          |
| Invierno | 20-23                       | 0,15-0,20                       | 40-60                          |

**Tabla 3. Temperaturas interiores de cálculo**

| Local                           | °C |
|---------------------------------|----|
| <b>Vivienda:</b>                |    |
| Salón                           | 20 |
| Comedor                         | 20 |
| Dormitorio                      | 18 |
| Baños y aseos                   | 20 |
| Vestíbulos y pasillos           | 18 |
| Escaleras                       | 15 |
| Oficinas                        | 20 |
| Aulas                           | 18 |
| Hospitales                      | 22 |
| Almacenes                       | 10 |
| Cafeterías                      | 18 |
| Bibliotecas                     | 20 |
| Cines                           | 18 |
| Iglesias                        | 15 |
| Museos                          | 17 |
| Gimnasios                       | 13 |
| Piscinas cubiertas              | 24 |
| Vestuarios                      | 20 |
| Fábricas                        | 17 |
| Espacios generales de edificios | 17 |
| Tiendas                         | 18 |

**Tabla 4. Temperaturas exteriores de diseño**

|         | °C |
|---------|----|
| Almería | 6  |
| Córdoba | 1  |
| Huelva  | 2  |
| Jaén    | 1  |
| Sevilla | 2  |

**Tabla 5. Temperaturas de medios exteriores distinta a la exterior de cálculo (°C)**

| Medio exterior                                                            | Temperaturas exteriores del proyecto |    |    |    |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----|----|----|
|                                                                           | + 3                                  | 0  | -4 | -8 |
| Locales no caldeados, rodeados de otros que lo están                      | 12                                   | 10 | 8  | 5  |
| Terreno debajo del piso del sótano enterrado                              | 12                                   | 10 | 8  | 7  |
| Sótanos no calentados                                                     | 13                                   | 13 | 10 | 7  |
| Terreno contiguo a paredes exteriores debajo de la superficie del terreno | 7                                    | 5  | 2  | 0  |
| Ático no calentado debajo del tejado                                      | 10                                   | 8  | 5  | 0  |

**Tabla 6. Caudales de aire exterior de ventilación para locales (l/s)**

|                               | Por persona | Por m <sup>2</sup> superficie |
|-------------------------------|-------------|-------------------------------|
| <b>LOCALES DE VIVIENDAS:</b>  |             |                               |
| Aseos y cuartos de baño       | -           | 2 - 3,5                       |
| Cocinas                       | 8 - 15      | 2 - 3,5                       |
| <b>LOCALES COMERCIALES</b>    |             |                               |
| Almacenes                     | -           | 0,75 - 3                      |
| Grandes almacenes             | 8           | 2                             |
| Paseos de centros comerciales | -           | 1                             |
| Tiendas en general            | 10          | 1,075                         |

|                                   | Por persona | Por m <sup>2</sup> superficie |
|-----------------------------------|-------------|-------------------------------|
| Tiendas de animales               | -           | 5                             |
| Tiendas especiales                | -           | 2                             |
| Estudios fotográficos             | -           | 2,5                           |
| <b>LOCALES DE OFICINAS</b>        |             |                               |
| Archivos                          | -           | 0,25                          |
| Imprentas y reproducción planos   | 3,5 – 5     | 2,5                           |
| Oficinas                          | 10          | 1                             |
| Vestibulos                        | 10          | 15                            |
| Salas de reuniones                | 10 – 18     | 5                             |
| Salas de informática              | 2,5 – 4     | -                             |
| <b>LOCALES PÚBLICOS</b>           |             |                               |
| Aparcamientos                     | -           | 5                             |
| Auditorios                        | 8           | -                             |
| Bares                             | 12 – 15     | 12                            |
| Cafeterías                        | 15          | 15                            |
| Salas de exposiciones             | 8           | 4                             |
| Salas de fiestas                  | 15          | 15                            |
| Gimnasios                         | 12          | 4                             |
| Piscinas cubiertas                | -           | 2,5                           |
| Supermercados                     | 8           | 1,5                           |
| Iglesias                          | 8           | -                             |
| Canchas deportivas                | 10 – 14     | 2,5                           |
| Graderíos de recintos deportivos  | 8 – 10      | 12                            |
| Escenarios                        | 8           | 6                             |
| <b>LOCALES INDUSTRIALES</b>       |             |                               |
| Laboratorios                      | 10          | 3                             |
| Lavanderías (industriales)        | 15          | 5                             |
| Talleres en general               | 30          | 3                             |
| Talleres en centros docentes      | 10          | 3                             |
| Talleres de reparación automática | -           | 7,5                           |
| Vestuarios                        | 15 – 22     | 2,5 – 5                       |
| <b>LOCALES INSTITUCIONALES</b>    |             |                               |
| Escuelas:                         |             |                               |
| • Aulas                           | 8           | -                             |
| • Comedores                       | 10          | 6                             |
| • Salas de juego                  | 12          | 10                            |
| • Salas de espera y recepción     | 8           | 4                             |
| • Sala de descanso                | 20          | 15                            |
| Hospitales:                       |             |                               |
| • Dormitorios                     | 8           | 1,5                           |
| • Habitaciones                    | 15          | -                             |
| • Salas de curas                  | 12          | 2                             |
| • Salas de recuperación           | 10          | 1,5                           |
| • Salas de fisioterapia           | 10          | 1,5                           |
| • Salas de quirófanos             | 15          | 3                             |
| • UVI                             | 10          | 1,5                           |



Tabla 7. Valores máximos de K

| Tipos de cerramientos                    |                                             | V y W | X    | Y    | Z    |
|------------------------------------------|---------------------------------------------|-------|------|------|------|
| Cerramientos exteriores                  | Cubiertas                                   | 1,20  | 1,03 | 0,77 | 0,60 |
|                                          | Fachadas ligeras (≤ 200 kg/m <sup>2</sup> ) | 1,03  | 1,03 | 1,03 | 1,03 |
|                                          | Fachadas pesadas (> 200 kg/m <sup>2</sup> ) | 1,55  | 1,38 | 1,20 | 1,20 |
|                                          | Forjados sobre espacio abierto              | 0,86  | 0,77 | 0,69 | 0,60 |
| Cerramientos con locales no calefactados | Paredes                                     | 1,72  | 1,55 | 1,38 | 1,38 |
|                                          | Suelos o techos                             | -     | 1,20 | 1,03 | 1,03 |

Tabla 8. Ventanas

| Carpintería | Cristal sencillo 2 mm | Cristal doble 4 mm | Climalit (4 - 6 - 4) | Climalit (4 - 9 - 4) | Climalit (4 - 12 - 4) | Climalit (6 - 9 - 6) | Doble ventana cámara >30 mm |
|-------------|-----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|
| MADERA      | 4,95                  | 4,85               | 2,45                 | 2,43                 | 2,40                  | 2,41                 | 2,20                        |
| HIERRO      | 5,60                  | 5,10               | 3,10                 | 3,00                 | 2,98                  | 2,90                 | 2,60                        |
| ALUMINIO    | 5,80                  | 5,30               | 3,30                 | 3,20                 | 3,18                  | 3,15                 | 2,80                        |
| PVC         | 4,60                  | 3,20               | 2,90                 | 2,90                 | 2,60                  | 2,58                 | 2,50                        |

Tabla 9. Terrazas

|                                   | Simple tablero + Forjado cerámico | Doble tablero + Forjado cerámico | Simple tablero + Forjado hormigón | Doble tablero + Forjado hormigón |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Catalana (sin aislar)             | 1,10                              | 0,98                             | 1,28                              | 1,08                             |
| Catalana (aislada)                | 0,56                              | 0,35                             | 0,60                              | 0,36                             |
| No visible con grava (sin aislar) | 1,05                              | 0,88                             | 1,15                              | 1,00                             |
| No visible con grava (aislada)    | 0,55                              | 0,28                             | 0,56                              | 0,29                             |

Tabla 10. Puertas

|          | Exterior opaca | Interior opaca | Balcón acristalada 30 a 60% | Exterior acristalada < 30% | Exterior acristalamiento doble |
|----------|----------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Madera   | 3,00           | 1,70           | 5,60                        | 3,50                       | 2,80                           |
| Metálica | 5,80           | 3,90           | 4,50                        | 4,70                       | 4,10                           |

Tabla 11. Cubiertas

|                           | (1)  | (2)  | (3)  | (4)  | (5)  | (6)  | (7)  |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Teja árabe                | 5,10 | 0,75 | 5,50 | 0,85 | 3,16 | 2,29 | 0,57 |
| Teja plana (cerámica)     | 5,00 | 0,65 | 5,40 | 0,79 | 3,12 | 2,27 | 0,56 |
| Teja plana (hormigón)     | 4,90 | 0,64 | 5,30 | 0,72 | 3,08 | 2,25 | 0,54 |
| Pizarra                   | 5,60 | 1,02 | 5,75 | 0,90 | 3,35 | 2,38 | 0,58 |
| Chapa galvanizada grecada | 5,26 | 0,90 | 5,45 | 1,10 | 3,22 | 2,32 | 0,55 |

|                                         | (1)  | (2)  | (3)  | (4)  | (5)  | (6)  | (7)  |
|-----------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Placas onduladas de fibrocemento</b> | 4,76 | 0,60 | 5,25 | 0,70 | 3,03 | 2,22 | 0,53 |

- (1) Sin aislante sobre listones de madera  
(2) Con aislante (40 mm) sobre listones de madera  
(3) Sin aislante sobre correas metálicas  
(4) Con aislante (40 mm) sobre correas metálicas  
(5) Sin aislante sobre tablero rasillón  
(6) Sin aislante sobre doble tablero rasilla  
(7) Con aislante (40 mm) sobre tablero rasilla

**Tabla 12. Muros y tabiques**

|                    | Espesor del muro base M.B. cm | Muro Base | M.B. enlucido ambas caras 1+1 cm | M.B. enlucido y enfoscado 1+2 cm | M.B. cámara aire+tabique+enlucido 2+5+5+1 cm | M.B. cámara aire aislada +tabique+enlucido 5+5+1 cm | M.B. cámara aire aislada +tabicón +enlucido 4+9+1 cm |
|--------------------|-------------------------------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| LADRILLO HUECO     | 5 (int)                       | 2,64      | 2,19                             | 2,30                             | 1,31                                         | 0,45                                                | 0,51                                                 |
|                    | 9 (int)                       | 2,11      | 1,82                             | 1,89                             | 1,16                                         | 0,43                                                | 0,48                                                 |
|                    | 12 (ext)                      | 2,05      | 1,77                             | 1,84                             | 1,15                                         | 0,42                                                | 0,47                                                 |
|                    | 18 (ext)                      | 1,60      | 1,42                             | 1,47                             | 0,99                                         | 0,40                                                | 0,45                                                 |
| LADRILLO MACIZO    | 12 (ext)                      | 2,77      | 2,28                             | 2,40                             | 1,34                                         | 0,45                                                | 0,51                                                 |
|                    | 25 (ext)                      | 1,88      | 1,64                             | 1,70                             | 1,09                                         | 0,42                                                | 0,47                                                 |
|                    | 38 (ext)                      | 1,44      | 1,30                             | 1,34                             | 0,99                                         | 0,39                                                | 0,44                                                 |
|                    | 50 (ext)                      | 1,15      | 1,16                             | 1,08                             | 0,80                                         | 0,37                                                | 0,41                                                 |
| LADRILLO PERFORADO | 12 (ext)                      | 2,60      | 2,17                             | 2,27                             | 1,30                                         | 0,45                                                | 0,51                                                 |
|                    | 18 (ext)                      | 2,09      | 1,80                             | 1,87                             | 1,16                                         | 0,43                                                | 0,48                                                 |
|                    | 25 (ext)                      | 1,71      | 1,51                             | 1,56                             | 1,03                                         | 0,41                                                | 0,46                                                 |
|                    | 38 (ext)                      | 1,27      | 1,16                             | 1,19                             | 0,85                                         | 0,38                                                | 0,42                                                 |

**Tabla 13. Muros**

|                 | Espesor del muro base M.B. cm | Muro Base | M.B. enlucido una cara +1 cm | M.B. enlucido ambas caras 1+1 cm | M.B. cámara aire+tabique+enlucido 5+5+1 cm | M.B. cámara aire aislada +tabique+enlucido 5+5+1 cm | M.B. cámara aire aislada +tabicón +enlucido 4+9+1 cm |
|-----------------|-------------------------------|-----------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| HORMIGÓN ARMADO | 10 (ext)                      | 3,68      | 2,87                         | 2,88                             | 1,56                                       | 0,48                                                | 0,54                                                 |
|                 | 15 (ext)                      | 3,26      | 2,61                         | 2,90                             | 1,48                                       | 0,47                                                | 0,53                                                 |
|                 | 20 (ext)                      | 2,92      | 2,38                         | 2,63                             | 1,41                                       | 0,46                                                | 0,52                                                 |
|                 | 25 (ext)                      | 2,64      | 2,20                         | 2,40                             | 1,34                                       | 0,45                                                | 0,51                                                 |
|                 | 30 (ext)                      | 2,41      | 2,03                         | 2,21                             | 1,28                                       | 0,44                                                | 0,49                                                 |
|                 | 40 (ext)                      | 2,06      | 1,78                         | 1,91                             | 1,17                                       | 0,43                                                | 0,48                                                 |
|                 | 50 (ext)                      | 1,79      | 1,57                         | 1,68                             | 1,08                                       | 0,42                                                | 0,46                                                 |
| PIEDRA GRANITO  | 40                            | 3,00      | -                            | 2,69                             | 1,43                                       | 0,46                                                | 0,52                                                 |
|                 | 50                            | 2,73      | -                            | 2,47                             | 1,36                                       | 0,45                                                | 0,51                                                 |

**Tabla 14. Forjados**

| Bovedillas            | Distancia entre ejes de viguetas (E) (cm) | Sentido del flujo | Altura de la bovedilla (cm) |      |      |      |      |
|-----------------------|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|------|------|------|------|
|                       |                                           |                   | 8                           | 12   | 16   | 20   | 20   |
| cerámicas sin nervio  | 20 ≤ E < 40                               | ↓                 | 2,04                        | 1,92 | -    | -    | -    |
|                       |                                           | ↑                 | 3,03                        | 2,78 | -    | -    | -    |
| cerámicas sin nervio  | E ≥ 40                                    | ↓                 | 1,95                        | 1,85 | -    | -    | -    |
|                       |                                           | ↑                 | 2,85                        | 2,65 | -    | -    | -    |
| cerámicas un nervio   | 20 ≤ E < 40                               | ↓                 | -                           | 1,80 | 1,70 | 1,65 | 1,55 |
|                       |                                           | ↑                 | -                           | 2,55 | 2,38 | 2,20 | 2,05 |
| cerámicas un nervio   | E ≥ 40                                    | ↓                 | -                           | 1,70 | 1,60 | 1,55 | 1,45 |
|                       |                                           | ↑                 | -                           | 2,30 | 2,18 | 2,05 | 1,88 |
| cerámicas dos nervios | 20 ≤ E < 40                               | ↓                 | -                           | -    | 1,68 | 1,55 | 1,48 |
|                       |                                           | ↑                 | -                           | -    | 2,28 | 2,08 | 1,80 |
| cerámicas dos nervios | E ≥ 40                                    | ↓                 | -                           | -    | 1,50 | 1,40 | 1,35 |
|                       |                                           | ↑                 | -                           | -    | 1,96 | 1,85 | 1,73 |
| Hormigón sin nervio   | E ≤ 50                                    | ↓                 | -                           | 1,90 | 1,85 | 1,85 | 1,70 |
|                       |                                           | ↑                 | -                           | 2,80 | 2,65 | 2,45 | 2,38 |
|                       | 50 < E < 70                               | ↓                 | -                           | 1,88 | 1,80 | 1,70 | 1,69 |
|                       |                                           | ↑                 | -                           | 2,70 | 2,56 | 2,38 | 2,32 |
|                       | E ≥ 70                                    | ↓                 | -                           | 1,85 | 1,80 | 1,70 | 1,68 |
|                       |                                           | ↑                 | -                           | 2,63 | 2,50 | 2,32 | 2,28 |
| Hormigón un nervio    | E ≤ 50                                    | ↓                 | -                           | -    | -    | 1,60 | 1,50 |
|                       |                                           | ↑                 | -                           | -    | -    | 2,15 | 2,00 |
|                       | 50 < E < 70                               | ↓                 | -                           | -    | -    | 1,55 | 1,48 |
|                       |                                           | ↑                 | -                           | -    | -    | 2,05 | 1,90 |
|                       | E ≥ 70                                    | ↓                 | -                           | -    | -    | 1,50 | 1,40 |
|                       |                                           | ↑                 | -                           | -    | -    | 1,95 | 1,85 |

| FORJADOS EN CONTACTO CON EL TERRENO |       |
|-------------------------------------|-------|
| U (W/(m <sup>2</sup> ·K))           |       |
| Forjados de hormigón                | 2,119 |
| Forjados cerámicos                  | 1,849 |

**COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN TÉRMICA LINEAL EN kcal/h m °C**

**Tabla 15. Solera**

| Resistencia térmica del aislamiento h m <sup>2</sup> °C / kcal | Ancho de la banda de aislamiento en m |      |      |       |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------|------|-------|
|                                                                | 0,3                                   | 0,6  | 1,2  | ≥ 3,0 |
| 0,2                                                            | 1,35                                  | 1,31 | 1,28 | 1,26  |
| 0,4                                                            | 1,28                                  | 1,20 | 1,15 | 1,11  |
| 0,6                                                            | 1,22                                  | 1,13 | 1,06 | 1,01  |
| 0,8                                                            | 1,18                                  | 1,07 | 0,99 | 0,93  |
| 1,0                                                            | 1,15                                  | 1,03 | 0,93 | 0,86  |
| 1,2                                                            | 1,13                                  | 0,99 | 0,88 | 0,80  |
| 1,4                                                            | 1,11                                  | 0,97 | 0,84 | 0,75  |
| 1,6                                                            | 1,09                                  | 0,95 | 0,81 | 0,71  |
| 1,8                                                            | 1,07                                  | 0,93 | 0,78 | 0,67  |
| 2,0                                                            | 1,06                                  | 0,91 | 0,76 | 0,63  |

**Tabla 16. Muro enterrado**

| Resistencia térmica del aislamiento<br>h m <sup>2</sup> °C / kcal | Profundidad de la parte enterrada del muro en m |      |      |      |      |       |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|
|                                                                   | 0,5                                             | 1,0  | 2,0  | 3,0  | 4,0  | ≥ 6,0 |
| 0,6                                                               | 0,26                                            | 0,47 | 0,79 | 1,03 | 1,22 | 1,52  |
| 0,8                                                               | 0,34                                            | 0,59 | 0,96 | 1,22 | 1,44 | 1,76  |
| 1,0                                                               | 0,41                                            | 0,70 | 1,11 | 1,39 | 1,62 | 1,96  |
| 1,2                                                               | 0,48                                            | 0,80 | 1,24 | 1,54 | 1,77 | 2,12  |
| 1,4                                                               | 0,54                                            | 0,89 | 1,35 | 1,66 | 1,99 | 2,25  |
| 1,6                                                               | 0,60                                            | 0,97 | 1,45 | 1,78 | 2,02 | 2,37  |
| 1,8                                                               | 0,64                                            | 1,04 | 1,55 | 1,88 | 2,12 | 2,47  |
| 2,0                                                               | 0,70                                            | 1,11 | 1,63 | 1,97 | 2,20 | 2,56  |
| 2,2                                                               | 0,75                                            | 1,18 | 1,70 | 2,05 | 2,29 | 2,65  |
| 2,4                                                               | 0,80                                            | 1,23 | 1,78 | 2,12 | 2,37 | 2,73  |
| 2,6                                                               | 0,84                                            | 1,29 | 1,84 | 2,19 | 2,44 | 2,80  |
| 2,8                                                               | 0,89                                            | 1,34 | 1,90 | 2,24 | 2,52 | 2,87  |
| 3,0                                                               | 0,93                                            | 1,40 | 1,96 | 2,30 | 2,60 | 2,95  |

**Tabla 18. Coeficientes de conductividad térmica de algunos materiales**

|                                                                  | Densidad aparente<br>kg/m <sup>3</sup> | Conductividad<br>kcal/h m °C |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| <b>ROCAS Y SUELOS NATURALES</b>                                  |                                        |                              |
| Rocas y terrenos                                                 |                                        |                              |
| • Rocas compactas                                                | 2.500-3.000                            | 3,00                         |
| • rocas porosas                                                  | 1.700-2.500                            | 2,00                         |
| • Arena con humedad natural                                      | 1.700                                  | 1,20                         |
| • Suelo coherente humedad natural                                | 1.800                                  | 1,80                         |
| Arcilla                                                          |                                        |                              |
|                                                                  | 2.100                                  | 0,80                         |
| Materiales suelos de relleno desecados al aire, en forjados, etc |                                        |                              |
| • Arena                                                          | 1.500                                  | 0,50                         |
| • Grava rodada o de machaqueo                                    | 1.700                                  | 0,70                         |
| • Escoria de carbón                                              | 1.200                                  | 0,16                         |
| • Cascote de ladrillo                                            | 1.300                                  | 0,35                         |
| <b>PASTAS, MORTEROS Y HORMIGONES</b>                             |                                        |                              |
| Revestimientos continuos                                         |                                        |                              |
| • Morteros de cal y bastardos                                    | 1.600                                  | 0,75                         |
| • Mortero de cemento                                             | 2.000                                  | 1,20                         |
| • Enlucido de yeso                                               | 800                                    | 0,26                         |
| • Enlucido de yeso con perlita                                   | 570                                    | 0,16                         |
| Hormigones normales y ligeros                                    |                                        |                              |
| • Hormigón armado                                                | 2.400                                  | 1,40                         |
| • Hormigón con áridos ligeros                                    | 600                                    | 0,15                         |
| • Hormigón con áridos ligeros                                    | 1.000                                  | 0,28                         |
| • Hormigón con áridos ligeros                                    | 1.400                                  | 0,47                         |
| • Hormigón celular con áridos silíceos                           | 600                                    | 0,29                         |
| • Hormigón celular con áridos silíceos                           | 1.000                                  | 0,58                         |
| • Hormigón celular con áridos silíceos                           | 1.400                                  | 0,94                         |
| • Hormigón celular sin áridos                                    | 305                                    | 0,08                         |
| • Hormigón en masa con grava normal                              |                                        |                              |
| con áridos ligeros                                               | 1.600                                  | 0,63                         |
| con áridos ordinarios, sin vibrar                                | 2.000                                  | 1,00                         |
| con áridos ordinarios, vibrado                                   | 2.400                                  | 1,40                         |
| • Hormigón en masa con arcilla expandida                         | 500                                    | 0,10                         |
| • Hormigón en masa con arcilla expandida                         | 1.500                                  | 0,47                         |
| Fábrica de bloques de hormigón incluidas juntas                  |                                        |                              |
| • Con ladrillos silicoalcaláreos macizo                          | 1.600                                  | 0,68                         |
| • Con ladrillos silicoalcaláreos perforado                       | 2.500                                  | 0,48                         |
| • Con bloques huecos de hormigón                                 | 1.000                                  | 0,38                         |
| • Con bloques huecos de hormigón                                 | 1.200                                  | 0,42                         |

|                                             | Densidad aparente<br>kg/m <sup>3</sup> | Conductividad<br>kcal/h m °C |
|---------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| Con bloques huecos de hormigón              | 1.400                                  | 0,48                         |
| • Con bloques hormigón celular curado vapor | 600                                    | 0,30                         |
| Con bloques hormigón celular curado vapor   | 800                                    | 0,35                         |
| Con bloques hormigón celular curado vapor   | 1.000                                  | 0,40                         |
| • Con bloques hormigón celular curado aire  | 800                                    | 0,38                         |
| Con bloques hormigón celular curado aire    | 1.000                                  | 0,48                         |
| Con bloques hormigón celular curado aire    | 1.200                                  | 0,60                         |
| Placas o paneles                            |                                        |                              |
| • Cartón-yeso                               | 900                                    | 0,16                         |
| • Hormigón con fibra de madera              | 450                                    | 0,07                         |
| • Plaquetas                                 | 800                                    | 0,26                         |
| <b>LADRILLOS Y PLAQUETAS</b>                |                                        |                              |
| • Fábrica de ladrillo macizo                | 1.800                                  | 0,75                         |
| Fábrica de ladrillo perforado               | 1.600                                  | 0,65                         |
| Fábrica de ladrillo hueco                   | 1.200                                  | 0,42                         |
| • Plaquetas                                 | 2.000                                  | 0,90                         |
| <b>VIDRIO</b>                               |                                        |                              |
| Vidrio plano para acristalar                |                                        |                              |
| <b>METALES</b>                              |                                        |                              |
| • Fundición y acero                         | 7.850                                  | 50                           |
| • Cobre                                     | 8.900                                  | 330                          |
| • Bronce                                    | 8.500                                  | 55                           |
| • Aluminio                                  | 2.700                                  | 175                          |
| • Latón                                     | 8.500                                  | 90                           |
| • Zinc                                      | 7.100                                  | 95                           |
| <b>MADERA</b>                               |                                        |                              |
| • Maderas frondosas                         | 800                                    | 0,18                         |
| • Madera de coníferas                       | 600                                    | 0,12                         |
| • Contrachapado                             | 600                                    | 0,12                         |
| • Tablero aglomerado de partículas          | 650                                    | 0,07                         |
| <b>PLÁSTICOS Y REVESTIMIENTOS DE SUELOS</b> |                                        |                              |
| • Linóleo                                   | 1.200                                  | 0,16                         |
| • Moquetas, alfombras                       | 1.000                                  | 0,04                         |
| <b>MATERIALES BITUMINOSOS</b>               |                                        |                              |
| • Asfalto                                   | 2.100                                  | 0,60                         |
| • Betún                                     | 1.050                                  | 0,15                         |
| • Láminas bituminosas                       | 1.100                                  | 0,16                         |
| <b>MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS</b>        |                                        |                              |
| • Arcilla expandida                         | 300                                    | 0,073                        |
| Arcilla expandida                           | 450                                    | 0,098                        |
| • Aglomerado de corcho UNE 5.690            | 110                                    | 0,034                        |
| • Espuma elastomérica                       | 60                                     | 0,029                        |
| • Fibra de vidrio                           |                                        |                              |
| Tipo I                                      | 10-8                                   | 0,038                        |
| Tipo II                                     | 19-30                                  | 0,032                        |
| Tipo III                                    | 31-45                                  | 0,029                        |
| Tipo IV                                     | 46-65                                  | 0,028                        |
| Tipo V                                      | 66-90                                  | 0,028                        |
| Tipo VI                                     | 91                                     | 0,031                        |
| • Lana mineral                              |                                        |                              |
| Tipo I                                      | 30-50                                  | 0,036                        |
| Tipo II                                     | 51-70                                  | 0,034                        |
| Tipo III                                    | 71-90                                  | 0,033                        |
| Tipo IV                                     | 91-120                                 | 0,033                        |
| Tipo V                                      | 121-150                                | 0,033                        |
| • Perlita expandida                         | 130                                    | 0,040                        |
| • Poliestireno expandido UNE 53.310         |                                        |                              |
| Tipo I                                      | 10                                     | 0,049                        |
| Tipo II                                     | 12                                     | 0,038                        |
| Tipo III                                    | 15                                     | 0,032                        |
| Tipo IV                                     | 20                                     | 0,029                        |

|                                           | Densidad aparente<br>kg/m <sup>3</sup> | Conductividad<br>kcal/h m °C |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| Tipo V                                    | 25                                     | 0,028                        |
| • Poliestireno extrusionado               | 33                                     | 0,028                        |
| • Poliestireno reticulado                 | 30                                     | 0,033                        |
| • Polisocianurato, espuma de              | 35                                     | 0,022                        |
| • Poliuretano conformado, espuma de       |                                        |                              |
| Tipo I                                    | 32                                     | 0,020                        |
| Tipo II                                   | 35                                     | 0,020                        |
| Tipo III                                  | 40                                     | 0,020                        |
| Tipo IV                                   | 80                                     | 0,034                        |
| • Poliuretano aplicado in situ, espuma de |                                        |                              |
| Tipo I                                    | 35                                     | 0,020                        |
| Tipo II                                   | 40                                     | 0,020                        |
| • Urea formol, espuma de                  | 10-12                                  | 0,029                        |
| • Urea formol, espuma de                  | 12-14                                  | 0,030                        |
| • Vermiculita expandida                   | 120                                    | 0,030                        |
| • Vidrio celular                          | 160                                    | 0,038                        |

### SUPLEMENTOS

**Tabla 19. Suplementos por orientación**

| Orientación          | S | SO | O  | NO | N  | NE | E  | SE |
|----------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| Factor suplemento °C | 0 | 7  | 15 | 18 | 20 | 15 | 10 | 3  |

**Tabla 20. Suplementos interrupción de servicio y pared fría ( $S_2 + S_3$ ) (%)**

| Régimen de utilización     | Permeabilidad térmica media |           |           |       |
|----------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-------|
|                            | 0,1 - 0,33                  | 0,3 - 0,7 | 0,7 - 1,5 | > 1,5 |
| Ininterrumpido.            |                             |           |           |       |
| Potencia reducida noche    | 7                           | 7         | 7         | 7     |
| Interrupción: 9- 12 horas  | 20                          | 15        | 15        | 15    |
| Interrupción: 12- 16 horas | 30                          | 25        | 20        | 15    |

**Tabla 21. Ganancias de calor por aportación de los ocupantes**

|                                   | Watio |
|-----------------------------------|-------|
| Individuo en reposo               | 115   |
| Individuo en actividad moderada   | 175   |
| Individuo en actividad importante | 290   |

Estos valores se pueden reducir un 15% para mujeres y un 25% para niños.  
En edificios de viviendas no se consideran estas ganancias