

2. Tipologías de calderas de biomasa para calefacción

2.1 Calderas de llama invertida para la combustión de madera en tarugos

2.1.1 Características generales

La combustión de la leña para quemar sigue siendo la forma más común de utilizar la biomasa para la calefacción doméstica. Debido a la necesidad de carga manual de los tarugos, las calderas de leña tienen potencia limitada a unas decenas de KW, y su uso más adecuado es la calefacción de casas aisladas de uno o pocos pisos.

2.1.2 Componentes

Un sistema basado en tecnologías avanzadas constaría de los siguientes componentes:

- Caldera de llama invertida.
- Acumulador inercial del calor.
- Calentador para agua caliente sanitaria.
- Centralita de control.

2.1.3 Principios de funcionamiento

Las calderas de llama invertida tienen esta denominación por la posición de la cámara de combustión, situada debajo del hueco en el que se carga la leña.

Normalmente, se trata de calderas equipadas con un rotor para la circulación forzada del aire comburente. En algunos modelos (de aire *soplado*), el rotor se encuentra en el lado anterior de la caldera y empuja el aire en el interior haciéndolo fluir a través del combustible hasta la salida de humos. En otros modelos, el rotor se encuentra en la parte posterior, en el lugar de la salida de humos, y aspira los gases de combustión creando una depresión en la caldera que permite la atracción del aire comburente desde el exterior.

Una parte del aire (primario) se introduce en la caldera justo encima la rejilla sobre la cual está apoyada la leña. El aire primario impulsa la combustión (fase de gasificación), con la formación de un estrato de brasas en contacto de la rejilla y la liberación de gases combustibles procedentes de la pirólisis de la madera (sobre todo monóxido de carbono e hidrógeno). Los gases liberados son arrastrados hacia abajo a través de la rejilla y llegan a la cámara inferior, donde la adición del aire secundario permite que se complete la combustión. Factores esenciales para obtener una combustión óptima son una

cantidad de aire adecuada, temperatura y turbulencia elevadas en la cámara de combustión, y la permanencia de los gases calientes en el hogar por un tiempo suficiente para que se completen las reacciones termoquímicas de combustión.

La inversión de la llama permite obtener una combustión gradual de la leña, que no prende completamente fuego en el hueco de carga sino se quema sólo cuando llega a las proximidades de la rejilla. De esta manera, la potencia dispensada por la caldera es más estable en el tiempo y se puede controlar mejor la combustión, aumentando considerablemente el rendimiento y reduciendo las emisiones contaminantes.

Los modelos más avanzados utilizan sistemas de regulación por microprocesador, y alcanzan rendimientos térmicos de más del 90%. Entre las novedades más significativas, presentes incluso en modelos de potencia pequeña, está la regulación del aire de combustión basado en la necesidad de oxígeno, calculado en los humos con una sonda especial (sonda lambda). La regulación lambda permite regular y optimizar constantemente la cantidad de aire durante el ciclo completo de funcionamiento de la caldera de leña, desde el encendido inicial hasta que se acabe el combustible.

2.1.4 El acumulador inercial

Una buena instalación de una caldera de leña prevé la presencia de un acumulador inercial.

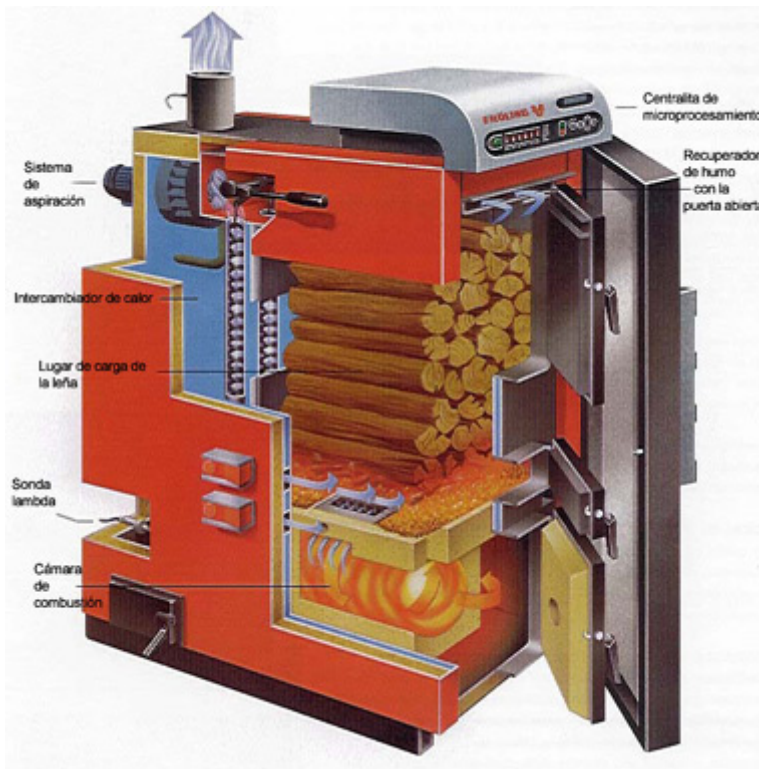


Figura 2. Caldera de leña moderna de llama invertida

El acumulador consta de un depósito de agua térmicamente aislado, conectado directamente al retorno de la caldera por medio de una bomba especial. Por lo tanto, el agua contenida en el acumulador es la misma que circula en la caldera y en el sistema de calefacción. El acumulador inercial desempeña las siguientes funciones de importancia:

- Permite a la caldera funcionar de forma regular, evitando interrupciones debidas a una demanda insuficiente de energía por parte del sistema de calefacción: en estas condiciones, en vez de bloquear la combustión o recalentar el ambiente, la caldera puede seguir funcionando almacenando energía en el depósito de acumulación. Esta energía estará disponible más adelante cuando el agotamiento gradual del combustible determine una reducción de la potencia erogada por la caldera. El funcionamiento sin interrupciones reduce el humo de las emisiones y la suciedad de la chimenea, protege la caldera de formaciones nocivas de condensados de alquitrán y aumenta el rendimiento global del sistema.

- Constituye un “volante” térmico para el sistema de calefacción, y hace aumentar en gran medida el confort de ejercicio, volviéndolo del todo parecido al de los sistemas automáticos de gas / gasóleo. De hecho, la energía contenida en el acumulador en forma de agua caliente viene automáticamente cedida al sistema en el momento en el que éste la pide. Esto asegura algunas horas de calefacción incluso con la caldera apagada, por ejemplo a primera hora de la mañana.

El depósito inercial ha que tener unas medidas especiales en función de la cantidad de leña contenida en la caldera (Volumen de llenado), de la potencia térmica nominal (P_N) y de la carga térmica del edificio (P_{tot}). La fórmula que pone en relación estas variables con el volumen del acumulador (V_{acc}) es la siguiente:

$$20 \cdot 0,7 \cdot \text{Poder calorífico [KWh/l]} \cdot \text{Volumen de llenado[l]}$$

$$V_{acc} [l] = (P_N [KW] - P_{tot} [KW]) \cdot \frac{\text{Volumen de llenado[l]}}{P_N [KW]}$$

En la práctica, se utilizan a menudo las dos siguientes fórmulas simplificadas:

a) $V_{acc} [l] = \text{Volumen de llenado[l]} \cdot 10$

b) $V_{acc} [l] = P_N [KW] \cdot 40$

Por ejemplo, para una caldera con potencia nominal de 50 KW, cuyo hueco de carga para la leña tenga una capacidad de 210 litros, el volumen del acumulador calculado según las dos fórmulas simplificadas a) y b) resulta:

a) $V_{acc} [l] = 210 \cdot 10 = 2100$ litros

b) $V_{acc} [l] = 50 \cdot 40 = 2000$ litros

Los metros cúbicos del edificio a calentar influyen en las medidas del acumulador de forma negativa: a igualdad de caldera de leña y cuanto más pequeña sea la habitación, más grande tendrá que ser el acumulador para compensar la inferior absorción térmica de los usuarios.

En algunos modelos avanzados de calderas de leña con regulación por microprocesador, la temperatura del acumulador se mide en diferentes puntos y la potencia erogada puede ser automáticamente reducida para evitar una saturación demasiado rápida del acumulador inercial.

2.1.5 Producción de agua caliente sanitaria

La producción de agua caliente sanitaria mediante combustión de la leña se puede realizar de diferentes formas.

El sistema más sencillo consiste en el utilizar un calentador con intercambiador interno y conectarlo al sistema mediante una bomba y un termostato. El sistema se puede utilizar en instalaciones con o sin acumulador inercial.

Un acumulador inercial bien aislado térmicamente permite durante el verano recargar muchas veces el calentador sanitario sin tener que volver a encender la caldera. En los sistemas sin acumulador inercial el calentador sanitario habría de tener una capacidad mínima de 300 litros. En este caso, para producir el agua caliente en verano hay que cargar la caldera con poca leña. Algunos modelos de acumuladores inerciales para calderas de leña tienen incorporado un calentador o intercambiador de calor sanitario y, por tanto, no requieren la instalación de otro por separado.

Hay que evitar la producción de agua caliente sanitaria a través del intercambiador de calor de emergencia situado en el interior de la caldera de leña. De hecho, este intercambiador ha de estar constantemente conectado a una válvula de seguridad térmica, y tiene que poder intervenir con la máxima eficacia para enfriar la caldera en caso de emergencia. Por otra parte, utilizando este intercambiador para producir agua sanitaria, se puede provocar en su interior la formación de incrustación de cal, que pueden comprometer su correcto funcionamiento en caso de emergencia.

2.1.6 Sistemas de seguridad

A diferencia de las calderas de gas o gasóleo, las calderas de tarugos de leña se caracterizan por la presencia de una considerable cantidad de combustible sólido que, una vez encendido, sigue produciendo calor con una inercia considerable, difícilmente controlable a corto plazo. Por consiguiente, las calderas de leña pueden encontrarse en condiciones especialmente críticas; estas condiciones son básicamente dos:

1. Interrupción del suministro eléctrico.
2. Avería de la bomba de circulación de la caldera.

En esas circunstancias, se produce un bloqueo casi total de la circulación del agua en la caldera y se interrumpe la aportación del calor producido por la combustión de la leña. Por consiguiente, la temperatura del agua puede subir hasta alcanzar y superar los 100° C. Con temperaturas más altas a la de ebullición, la producción de vapor provoca un fuerte aumento de la presión del sistema. A falta de dispositivos de seguridad adecuados se puede llegar rápidamente a una situación de peligro.

Para evitar este riesgo, además del termostato de seguridad presente en todos los tipos de caldera, las calderas de leña tienen un intercambiador de calor de emergencia, formado por un tubo serpentín sumergido en el agua de la caldera. Este intercambiador tiene que estar conectado por una parte a una toma de agua fría, directamente conectada al acueducto y por el lado de la salida, el intercambiador de emergencia tiene que estar conectado a un desagüe.

Entre la toma de agua fría y la caldera hay que poner una válvula de seguridad térmica. Esta válvula, tiene una sonda de bulbo de mercurio que hay que insertar en un hueco especial de la caldera. En caso de emergencia, antes que la temperatura de la caldera alcance los 100° C, la válvula de seguridad se abre mediante un dispositivo mecánico que no requiere alimentación eléctrica y el agua fría empieza a fluir en el intercambiador de seguridad, sacando el exceso de calor y enviándolo al desagüe. Se evita así el riesgo de ebullición en la caldera.

Para que la válvula de seguridad térmica proporcione una eficaz protección del sistema de leña tiene que estar disponible en todo momento el agua fría, incluso sin suministro eléctrico. Si la casa tiene un pozo propio con bomba y autoclave, es necesario instalar sobre la caldera un depósito de agua fría con una capacidad adecuada, para conectarlo con el intercambiador de emergencia de modo que, en situaciones críticas, el agua fría pueda fluir libremente por la gravedad a través del intercambiador de emergencia.

Es necesario controlar la válvula de seguridad térmica por lo menos una vez al año para averiguar su eficiencia y hermeticidad, sustituyéndola de inmediato si se encuentran defectos.

2.1.7 Instalación de una caldera de leña

La instalación de calderas de leña en sistemas con vaso de expansión abierto es la más segura, debido a la relativa facilidad con la que las calderas de leña pueden alcanzar la temperatura de ebullición.

El vaso de expansión tiene que colocarse en el punto más alto del sistema de calefacción y conectado directamente a la caldera por un tubo, llamado tubo de seguridad, cuyo recorrido no puede tener ningún tramo en bajada. En caso de emergencia, el tubo de seguridad tiene que permitir al vapor producido en la caldera fluir libremente, sin encontrar obstáculos, hasta el vaso de expansión abierto.

Si la caldera se encuentra en un cuarto separado del edificio principal, puede resultar imposible colocar el vaso de expansión abierto en el edificio, a causa de la dificultad de instalar el tubo de seguridad sin tramos de bajada. En estos casos, es necesario realizar dos circuitos de calefacción separados, uno *primario* con vaso abierto en el cuarto caldera y uno *secundario* con vaso cerrado en el edificio a calentar. Entre los dos

circuitos se pone un intercambiador de calor de placas, que permite el intercambio térmico evitando el contacto directo del agua entre los dos circuitos.

En estos casos el aumento de costes del sistema de leña respecto al convencional de gas o gasóleo es ingente, y la presencia del intercambiador de calor reduce las prestaciones y el rendimiento del sistema.

2.1.8 Diseño del sistema

Hay que dedicar una especial atención al diseño del sistema, teniendo en cuenta que las calderas de leña, a diferencia de las de gas o de gasóleo, tienen, en la medida de lo posible, que funcionar de forma continua y sin interrupciones.

Por tanto, hay que evitar un exceso de tamaño de la caldera, que tendría importantes consecuencias negativas: un inútil aumento de los costes del sistema y un mal funcionamiento de la caldera, a causa de las frecuentes interrupciones de la combustión a las que estaría sujeta. Las interrupciones obligadas de la combustión a causa de una parada imprevista del flujo de aire comburente producen de hecho una mayor producción de humos, que provoca el ensuciamiento de la chimenea y de la caldera y un menor rendimiento estacional del sistema.

Hay que decidir las dimensiones de la caldera tras una atenta evaluación de las características del edificio y de la zona climática en la que se encuentra. Para los propósitos de este trabajo se puede calcular una necesidad de potencia comprendida entre 20 y 40 W/m³ según el clima y las características del sistema de calefacción y de aislamiento del edificio. La potencia necesaria es menor en los edificios bien aislados y en los que tienen sistemas de calefacción de alta eficiencia, como los sistemas de hilo radiante en el suelo o en las paredes.

Otro factor a tener en cuenta es el número de *cargas* de leña que se quiere efectuar en el día, en otras palabras, la autonomía de funcionamiento deseada. Ésta depende de la capacidad del hueco de carga de la leña y de la potencia de la caldera. La relación entre estas dos medidas, expresando la capacidad de carga de leña en litros y la potencia en KW, proporciona el número aproximado de horas de autonomía de funcionamiento continuo a la máxima potencia.

La presencia de un acumulador inercial permite aumentar considerablemente la autonomía, sobre todo en los periodos menos fríos, momento en el que la energía producida por la caldera en un periodo limitado se acumula y redistribuye en el sistema de calefacción durante el día. Este efecto tampón del acumulador inercial es tanto mayor cuanto más grande es el acumulador.

2.1.9 Cuarto de caldera

Otro aspecto importante que hay que tener en cuenta es la disponibilidad de espacio para la central térmica y para la leñera, que tienen que estar muy cerca. El cuarto de la caldera tiene que ser amplio y bien aireado. Además de la caldera de leña, la central térmica debería poder acoger el acumulador inercial, el calentador sanitario, el cuadro eléctrico y toda la instalación hidráulica.

Considerando que es mejor dejar un espacio libre de por lo menos 60 cm alrededor de la caldera, se puede afirmar que la superficie mínima tiene que ser de unos 8-10 m² (m 2-2,5 x 4). Para los sistemas de más de 35 KW, se prevé que tengan una puerta de entrada independiente desde el exterior. Para estos sistemas es necesario presentar el proyecto de la central térmica a los bomberos y comunicarlo al Instituto Nacional para la Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Para la normativa sobre la seguridad se considera la potencia térmica total de todas las calderas presentes en el mismo local, que se puedan encender simultáneamente.

Si en el mismo cuarto de caldera se encuentran una caldera de leña y una de gas o gasóleo, con posibilidad de que funcionen de forma simultánea, es necesario que cada caldera tenga su propia chimenea independiente.

2.1.10 Chimenea

La chimenea es un componente importante del sistema de calefacción de leña. Su función no es sólo la de alejar y dispersar los humos, sino también asegurar, a través de un tiro adecuado, el buen funcionamiento de la caldera.

El tiro debe ser tanto mejor cuanto más calientes sean los humos que pasan por la chimenea. Por esta razón, la chimenea debería tener un buen aislamiento térmico. Otra razón importante para aislar térmicamente la chimenea es evitar que la temperatura de los humos baje al nivel de condensación, ya que en ese caso se ensuciarían rápidamente las paredes de la misma, hasta atascarse.

Las chimeneas de acero inoxidable asiladas dan unas prestaciones óptimas. Estas chimeneas necesitan en la base un desagüe para el producto de la condensación y tienen un buen tiro incluso con bajas temperaturas de los humos. Permiten obtener los mejores resultados de los modelos de calderas de leña tecnológicamente más avanzados, en los que la temperatura de los humos pueden bajarse hasta un poco más de los 100° C, aumentando considerablemente el rendimiento del sistema.

Sea cual sea la chimenea presente en un sistema de leña, es muy importante realizar una limpieza profunda por lo menos una vez al año, incluso con la ayuda de un deshollinador.

2.1.11 Combustible

Para reducir la formación de condensación corrosiva y la producción de humos, las calderas a llama invertida se deberían alimentar solo con leña para quemar con un contenido de humedad que no supere el 25%. Esto se logra con un secado de por lo menos un año al aire, preferiblemente debajo de un cobertizo.

Se pueden utilizar prácticamente todas las especies de árboles, incluidas las confieras o maderas ligeras como el álamo. De todos modos, los mejores resultados, en términos de duración de la combustión, se obtienen con especies fuertes como robinia, haya o encina. La leña lista para su utilización se coloca adecuadamente en una leñera cerca del cuarto de caldera, a la que se trasladará con la ayuda de una carretilla.

Para calentar un chalet de unos 150 m² son necesarios aproximadamente 80-100 quintales de leña cada año.

2.2 Calderas de astillas

2.2.1 Características generales

Las calderas de astillas utilizan madera virgen cortada en pequeños trozos de unos centímetros de tamaño, cargados automáticamente a través de dispositivos mecánicos especiales. El combustible procede de materiales diferentes, como podas desmenuzadas, desechos de serrería o biomasa procedentes de las actividades forestales (corte de monte bajo, aclareos, cortes de conversión, etc.).

Los sistemas de astillas son totalmente automatizados y no tienen límite de tamaño, pudiendo alcanzar potencias de incluso varios MW térmicos. El rendimiento y el confort son los mismos que los de las calderas de gas o gasóleo. Por sus características de automatización y ahorro de actividad, los sistemas de astillas están especialmente indicados para la calefacción en edificios de tamaño medio o grande, como hoteles, escuelas, comunidades, hospitales y centros comerciales.

2.2.2 Componentes

Un sistema de calefacción de astillas consta de los siguientes componentes:

- caldera;
- contenedor o local especial (silo) para almacenar las astillas;
- sistema de movimiento del combustible;

- centralita de regulación;
- eventual acumulador inercial y calentador para agua sanitaria;

2.2.3 Principios de funcionamiento

Debido a que la carga del combustible en la caldera se realiza de forma automática, es necesario que al lado del cuarto de la caldera haya un local (silo) para el almacenamiento del combustible.

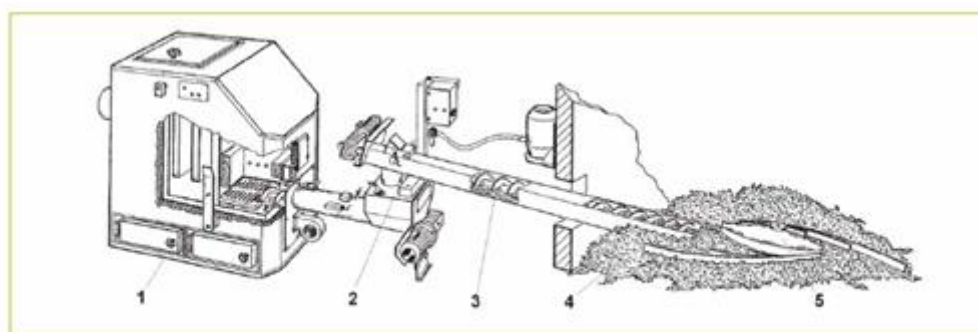


Figura 3. Esquema de una central térmica de chipeado

Para facilitar las operaciones de descarga del astillas en el lugar de almacenamiento, es conveniente que el silo esté situado bajo el nivel del suelo. Desde el silo de alimentación, las astillas se sacan automáticamente y se envían, a través de un alimentador-dosificador, a la caldera, donde se realiza su combustión completa mediante la inserción de aire, primaria y secundaria.



La combustión se realiza en calderas con rejilla; ésta puede ser:

- fija, para quemar materiales finos y con un bajo contenido de humedad;
- móvil, para quemar combustibles de tamaño más grueso o con un gran contenido de cenizas y humedad (hasta el 50% en peso de agua), como la biomasa forestal recién cortada.

En los sistemas más avanzados, el flujo de astillas y la combustión están regulados continuamente por un microprocesador según la demanda de energía del usuario y la temperatura y concentración de oxígeno de los humos (regulación lambda).

El sistema puede modular la potencia erogada manteniendo la combustión óptima incluso con diferentes combustibles, tanto con la carga llena como con la carga al mínimo. El encendido de las astillas se puede realizar manual o automáticamente, a través de dispositivos eléctricos o con combustible líquido (quemador piloto).

En algunos modelos existe la función de *mantenimiento de brasas*, que permite a la caldera mantener una pequeña cantidad de brasas encendidas durante las pausas de funcionamiento, permitiendo así un encendido inmediato al volver a activar el sistema.

2.2.4 Sistemas de seguridad

Las calderas de astillas, al igual que las de leña para quemar, están actualmente obligadas a tener el vaso de expansión abierto. A diferencia de las calderas para leña en tarugos, las calderas de astillas tienen un depósito que contiene sólo pequeñas cantidades de combustible, que se quema rápidamente cuando llega a la rejilla de combustión. Por esta razón, el riesgo de ebullición en caso de emergencia en estas calderas es menor respecto a las de leña.

Los dispositivos de seguridad que siempre deberían encontrarse en los sistemas térmicos de astillas son los relativos al sistema de alimentación del combustible, para evitar eventuales retornos de llama de la caldera al silo de almacenaje.

Un primer sistema, de gran importancia, tiene como finalidad interrumpir la continuidad física del flujo de astillas del silo a la caldera. Por esta razón los sistemas de astillas tienen a menudo una tolva de caída del combustible colocada entre dos diferentes alimentadores de tornillo sin fin, de los cuales uno procede del silo y el otro lleva el material a la caldera. El flujo de astillas, en caída libre en la tolva, se puede interrumpir fácilmente en caso de emergencia gracias a un cierre corta-llama o a una válvula (más cara) con forma de estrella, que mantiene permanentemente la interrupción. En la parte final del tornillo sin fin procedente del silo, se puede además instalar una válvula de seguridad térmica conectada a la conducción de agua, que en caso de emergencia introduce agua en el canal del alimentador de tornillo sin fin impidiendo la propagación del retorno de llama.

Se pueden dar condiciones favorables al retorno de llama hacia el silo cuando en el hogar haya una presión positiva, mientras que el riesgo es mínimo si la cámara de combustión se mantiene constantemente en depresión. Por esta razón, los diferentes modelos de calderas de astillas tienen dispositivos para el control de la presión en el hogar.

2.2.5 Instalación de una caldera de astillas

Para la instalación de las calderas de astillas son válidas las mismas indicaciones que para las calderas de leña en tarugos. En lo que respecta al sistema termo-hidráulico, puede resultar útil la presencia de un acumulador inercial, sobre todo si el circuito de caldera (primario) está separado del resto del sistema de calefacción (secundario) por medio de un intercambiador de calor, si se prevé que la caldera tiene que funcionar incluso en verano para la producción de agua caliente sanitaria.

De todos modos, el acumulador inercial es más pequeño que el de una caldera de leña en tarugos con la misma potencia, ya que la cantidad de combustible contenida en el hogar de una caldera de astillas es pequeña respecto a la potencia térmica erogada.

2.2.6 Diseño del sistema

Para decidir el diseño de los sistemas de calefacción de astillas se pueden utilizar criterios parecidos a los de los sistemas convencionales de gas o gasóleo. Si se quiere instalar o mantener en activo una caldera de gas o gasóleo con función de reserva o emergencia, la caldera de astillas podría tener un tamaño aproximado del 70% de la potencia máxima estimada.

Esto permite ahorrar en la compra e instalación, ya que los picos de demanda de potencia en los sistemas de calefacción son generalmente de breve duración y limitados a algunos días del mes más frío; de esta manera se logra, con la energía de la biomasa, cubrir más del 90% de la demanda total de calor.

En el caso de que una sola caldera de astillas tenga que proporcionar la calefacción a muchos usuarios conectados por una red de calefacción, la potencia de la caldera de biomasa corresponde a la suma de las potencias de todos los usuarios conectados menos un coeficiente de simultaneidad que considera las características de la necesidad térmica de los diferentes usuarios. El valor de este coeficiente tiene que ser evaluado caso por caso, y a menudo se sitúa entre 0,6 y 0,7.

2.2.7 Cuarto de la caldera

Para el cuarto de la caldera de astillas son aplicables las mismas normas que se han expuesto anteriormente para las calderas de leña. El cuarto de la caldera tiene que ser proyectado en estricta asociación con el silo de almacenaje de las astillas, que tienen que estar a su lado.

2.2.8 Almacenamiento de las astillas

El silo de almacenamiento de las astillas debería estar en un local al lado del cuarto caldera o colocado muy cerca de éste.

Una de las condiciones más importantes para la construcción de un sistema de calefacción de astillas es la disponibilidad de un local para el almacenamiento, en una posición accesible para los medios de transporte del combustible, con un espacio adecuado para las maniobras de los mismos.

El silo tiene que tener unas determinadas dimensiones en función de la potencia y del rendimiento de la caldera, de las características del combustible y de la autonomía requerida. De forma indicativa, el poder calorífico neto del astillas está comprendido entre 600 y 900 KWh/m³ según el tipo de madera y el contenido de humedad. La densidad está comprendida entre los 200 y los 400 kg/m³. Generalmente las astillas de conífera (pino, abeto) tienen un poder calorífico inferior al de las latifoliadas (haya, encina).

A continuación se presenta un ejemplo de las dimensiones de un silo de almacenamiento:

- Potencia nominal de la caldera: 100 KW
- Rendimiento térmico de la caldera: 80%
- Poder calorífico del astillas: 800 KWh/m³
- Autonomía de funcionamiento requerida: 1 mes

El consumo horario de la caldera a la potencia nominal es el siguiente:

$$100/(800*0.8) = 0,15 \text{ m}^3/\text{h}$$

Suponiendo que la caldera funcione 12 horas al día al máximo de la potencia, el consumo mensual será de:

$$0,15 * 12 * 30 = 54 \text{ m}^3$$

El silo de almacenaje se puede colocar en un local ya existente o en uno construido ex novo. En cualquier caso tiene que estar cuidadosamente protegido de filtraciones de agua.

En la base del silo se coloca el extractor de astillas, que lleva el combustible al canal transportador. En los sistemas pequeños, para potencias hasta 300–500 KW y capacidad hasta aproximadamente 100 m³, se utiliza normalmente un extractor con brazo giratorio, que requiere una sección del silo circular o cuadrada.

Para sistemas de mayor potencia se utilizan extractores a fondo móvil, formados por una o más rejillas paralelas accionadas hidráulicamente que, con un lento movimiento hacia adelante y hacia atrás, empujan las astillas al canal del alimentador de tornillo sin fin.

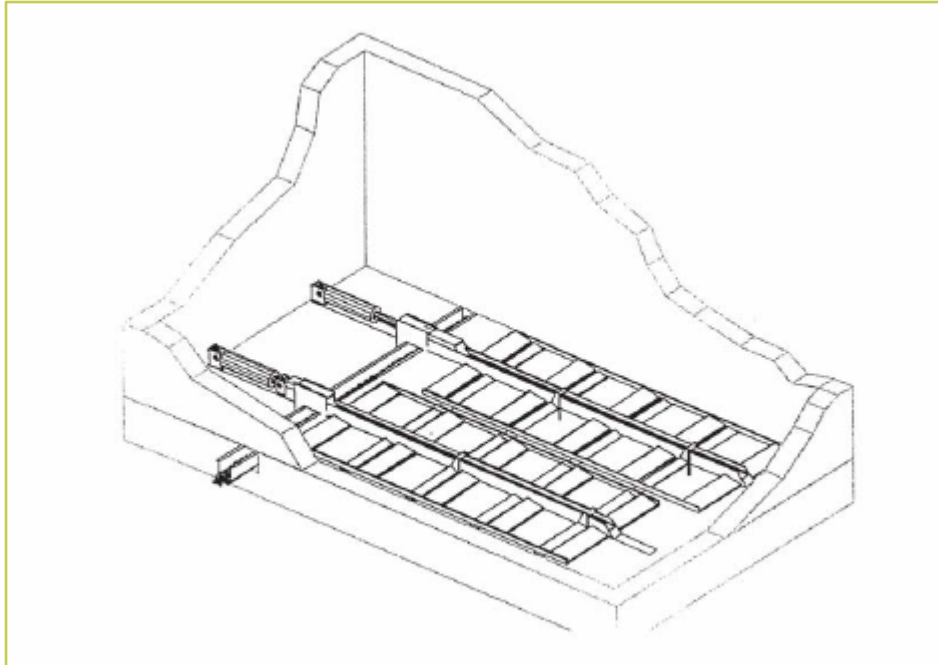


Figura 5. Esquema de un extractor de chips a fondo móvil

2.2.9 Combustible

El término astillas indica genéricamente un combustible derivado de la trituración de la madera virgen procedente de diferentes fuentes: podas, desechos de serrería, mantenimiento del bosque, etc. El tamaño y la forma de los trozos de madera varían en función del material de origen y del tipo de máquina utilizada para la trituración.

Por lo tanto, se trata de un material muy heterogéneo caracterizado por una alta tendencia a formar aglomerados y a menudo fácilmente fermentable cuando el contenido de humedad es elevado. El precio varía mucho según las características del producto.

Para los sistemas pequeños con alimentador de tornillo sin fin el tamaño de las piezas es el factor fundamental de posibles situaciones críticas. El tamaño de las piezas no debería superar los 4 – 5 cm. Piezas de más de 7–8 cm, aunque estén presentes en pequeñas cantidades, pueden provocar atascos en el sistema de alimentación de la caldera y, por tanto, el bloqueo del sistema.

Para evitar estos inconvenientes es importante realizar siempre un cuidadoso control de la calidad del combustible, y descartar a los proveedores que no cumplan los requisitos necesarios de calidad del producto.

El contenido de humedad es un factor menos crítico, ya que numerosos modelos de calderas pueden quemar madera recién cortada (humedad 40 – 50 %) o ligeramente secada al aire.

Hay que tener en cuenta la humedad de las astillas, sobre todo a la hora de decidir su precio, ya que influye de forma inversamente proporcional al poder calorífico del combustible. En la siguiente tabla se puede encontrar información más detallada sobre la densidad energética de varias especies de árboles para astillar.

Tabla 2. Densidad energética de algunas especies de árboles

Especie	Humedad*	Astillas		Madera llena	
		Densidad energética (KWh/m ³)	Densidad (kg/ m ³)	P.C. neto (KWh/kg)	Densidad (kg/ m ³)
Abeto	20%	686	170	4,03	485
Abeto	30%	662	192	3,44	548
Abeto	40%	640	224	2,86	640
Abeto	50%	610	269	2,27	768
Corteza abeto	20%	649	162	-	-
Corteza abeto	30%	626	183	-	-
Corteza abeto	40%	604	213	-	-
Corteza abete	50%	575	256	-	-
Alerce	20%	863	214	4,03	610
Alerce	30%	841	244	3,44	697
Alerce	40%	814	285	2,86	813
Alerce	50%	775	342	2,27	976
Pino silvestre	20%	799	198	4,03	565
Pino silvestre	30%	768	223	3,44	638
Pino silvestre	40%	743	260	2,86	744
Pino silvestre	50%	710	313	2,27	893
Haya/encina	20%	960	254	3,78	726
Haya/encina	30%	925	287	3,22	820
Haya/encina	40%	892	335	2,66	956
Haya/encina	50%	847	402	2,10	1148

* La humedad está expresada como porcentaje del peso fresco
Fuente: Calentar con la madera. Provincia Autónoma de Bolzano

2.3 Calderas de pellets

2.3.1 Características generales

El pellet es un combustible de madera virgen seca y prensada en pequeños cilindros, sin aditivos. El peso específico del pellet a granel es de aproximadamente $6-700 \text{ kg/m}^3$, mucho más alto que el de otros combustibles no prensados de madera (astillas). El poder calorífico alcanza las 4.200 kcal/kg , con una densidad energética de $3000 - 3.400 \text{ KWh/m}^3$.

A causa de la forma cilíndrica y lisa y del tamaño pequeño, el pellet tiende a portarse como un fluido, lo que facilita el movimiento del combustible y la carga automática de las calderas. El transporte puede realizarse con camiones cisterna, desde los cuales se bombea directamente en el depósito de almacenamiento del sistema. La alta densidad energética y la facilidad de movimiento hacen del pellet el combustible vegetal más indicado para sistemas de calefacción automáticos de todos los tamaños. El pellet de madera puede utilizarse en las calderas de astillas o en calderas proyectadas especialmente para pellet. Es posible incluso utilizar el pellet en algunos modelos de calderas de gasóleo, a través de quemadores especiales.

2.3.2 Componentes

Un sistema de calefacción de pellets consta de los siguientes componentes:

- caldera;
- depósito del pellet;
- sistema de alimentación del pellet;
- centralita de regulación;
- eventual acumulador inercial y calentador para agua sanitaria.

2.3.3 Principio de funcionamiento

Las calderas de pellets, como las de astillas, requieren un contenedor para el almacenaje del combustible situado cerca de la caldera. Desde el mismo, un alimentador de tornillo sin fin lo lleva a la caldera, donde se realiza la combustión. Los quemadores de pellet para su uso en calderas de gasóleo se ponen en la parte anterior de la caldera. Se alimentan desde arriba y queman el pellet, desarrollando una llama horizontal que entra en la caldera, como suele suceder en los sistemas de gasóleo.

En cualquier caso, el encendido es automático y muy rápido, gracias a una resistencia eléctrica. En los sistemas más avanzados la regulación del aire comburente y del flujo de combustible se realizan automáticamente gracias a un microprocesador. Estas características de sencillez de empleo y de automatización confieren a los sistemas de calefacción de pellets un elevado nivel de confort.



Figura 6. Quemador de pellet aplicado a una caldera de gasóleo.

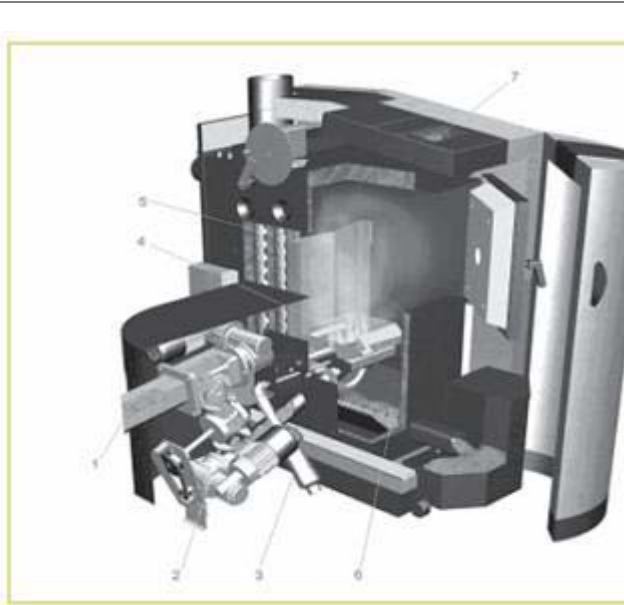


Figura 7. Esquema de una caldera de pellet moderna.

2.3.4 Sistemas de seguridad

Los dispositivos contra el retorno de llama del quemador hacia el depósito son elementos fundamentales para la seguridad de una caldera de pellet. El sistema más común consiste en colocar un tramo de caída libre del pellet entre el transportador sin fin y la caldera. Este tramo está normalmente constituido por un tubo flexible. Otros sistemas prevén cierres corta-llama o válvulas con forma de estrella.

En caso de corte del suministro de electricidad o de avería de la bomba de circulación, el riesgo de ebullición del agua es mucho menor que el de las calderas de leña, gracias a la pequeña cantidad de combustible presente en el hogar. De todos modos, ya que en muchos casos las calderas de pellets están preparadas también para la combustión de leña para quemar y tienen intercambiador de calor de emergencia, es buena idea engancharlo a una toma de agua fría e instalar una válvula de seguridad térmica, como la ya descrita para las calderas de leña.

2.3.5 Instalación de una caldera de pellets

Lo expuesto para las calderas de leña respecto a las normas del cuarto de caldera es válido para las calderas de pellets.

Las calderas de pellets de poca potencia tienen un depósito para el combustible de capacidad generalmente limitada a un centenar de litros. En los sistemas más sencillos, este contenedor se carga manualmente con las bolsas de pellet. En ese caso, la autonomía de funcionamiento es de unos días.

Para aumentar la autonomía y, por consiguiente, el confort es oportuno preparar un silo de almacenamiento, en el que el pellet se descarga automáticamente desde un camión cisterna. Basándose en el poder calorífico del pellet y en los rendimientos de conversión, el consumo horario de combustible a la potencia nominal de la caldera es de aproximadamente 0,25 kg/h (0,35 dm³/h) por KW.

Un silo de 10 m³ confiere, por tanto, aproximadamente 1.500 horas de autonomía de funcionamiento a la máxima potencia para una caldera de 20 KW. Si el silo de almacenamiento está cerca del cuarto de la caldera, un transportador sin fin de características normales es suficiente para llevar el pellet a la caldera. Si por el contrario, el silo está colocado más lejos -hasta diez metros o más del cuarto de la caldera- el transporte se puede realizar con alimentadores de tornillo sin fin flexibles, o con sistemas neumáticos.

Figura 8. Instalación de una caldera de pellet con extractor de cóclea

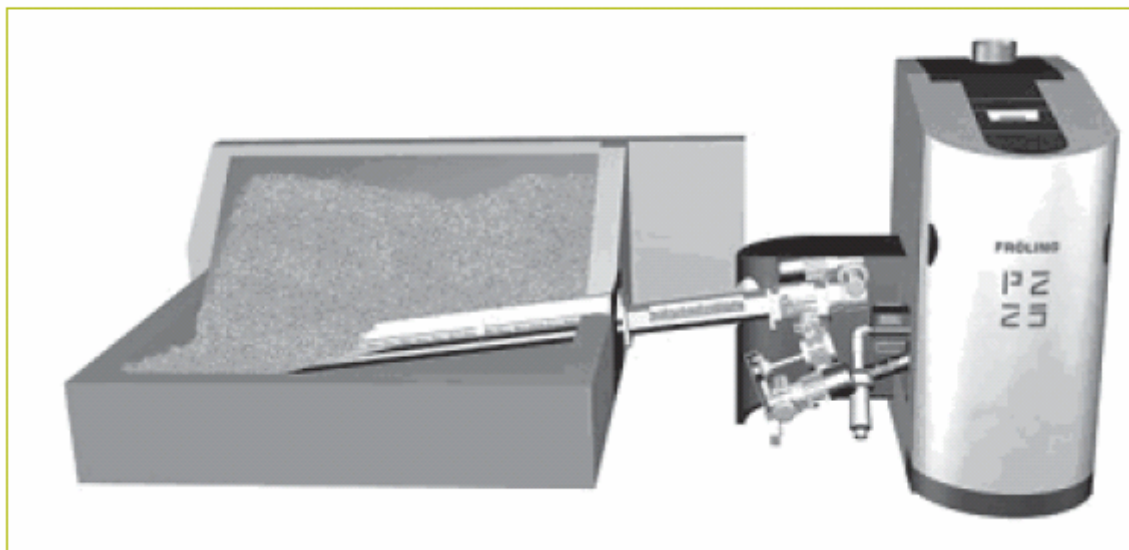




Figura 9. Instalación de una caldera de pellet con extractor neumático

En cualquier caso, hay que prestar especial atención en evitar infiltraciones de agua en el silo de almacenaje, que podrían provocar una hinchazón del pellet, hasta hacerlo inutilizable.

2.3.6 Combustible

El pellet está disponible en el mercado en diferentes formas:

- bolsas pequeñas de 15 kg, utilizadas para estufas, chimeneas y pequeñas calderas con depósito de carga manual;
- bolsas grandes de 800 – 1000 kg (“big bags”), se pueden utilizar con la inserción de un alimentador de tornillo sin fin o en sistemas con silo de almacenaje enterrado;
- a granel, transportado mediante un camión cisterna especialmente equipado para bombearlo directamente en un silo de almacenaje.

El sistema basado en la entrega del pellet a granel es parecido al que se utiliza para suministro del gasóleo y por su rapidez y simplicidad es el más adecuado para todos los sistemas de calefacción de pellet.

El suministro se puede realizar hasta unos 20 – 30 metros desde el lugar donde se para el camión. Para evitar la difusión de polvo en el aire, los camiones cisterna tienen un dispositivo que aspira el aire del silo durante el bombeo del pellet y lo hace circular.

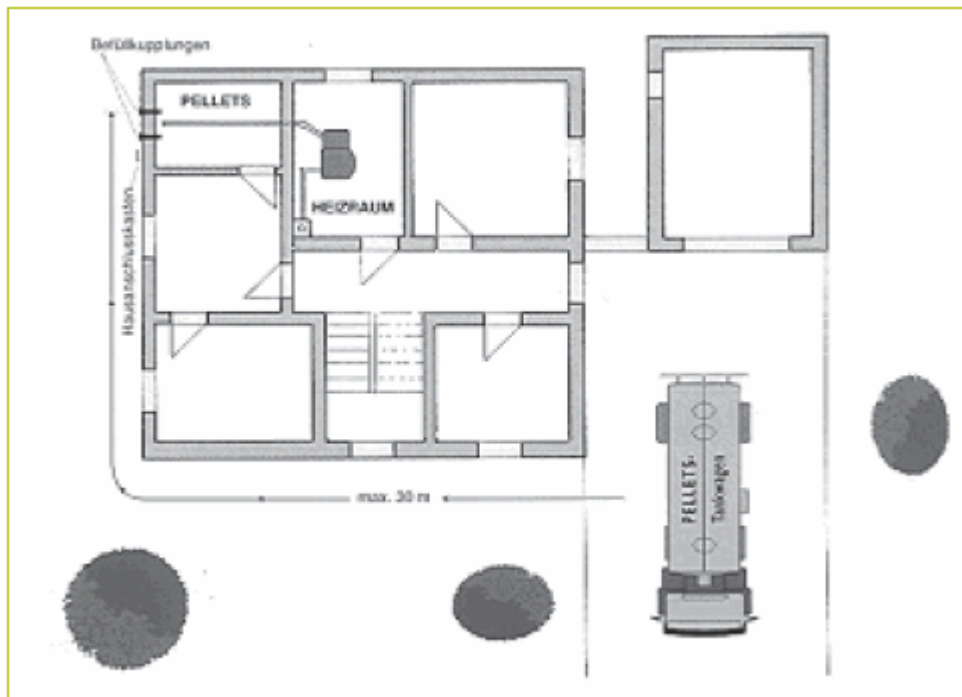


Figura 10. Suministro de pellet a través de camiones cisterna.