

Biomasa

Guía técnica

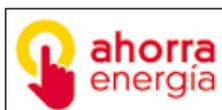
Instalaciones de biomasa térmica en edificios



Biomasa

Guía técnica

Instalaciones de biomasa térmica en edificios



TÍTULO

Guía técnica de instalaciones de biomasa térmica en edificios

DIRECCIÓN TÉCNICA

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

ELABORACIÓN TÉCNICA

Esta publicación ha sido redactada por el Dpto. de Biomasa y Residuos del IDAE junto a un colectivo de especialistas en biomasa para usos térmicos coordinados por Escan, S.A.

.....

Esta publicación ha sido producida por el IDAE y está incluida en su fondo editorial.

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE

Depósito Legal: M-20200-2009

ISBN: 978-84-96680-46-3

.....

IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8

E - 28004 - Madrid

comunicacion@idae.es

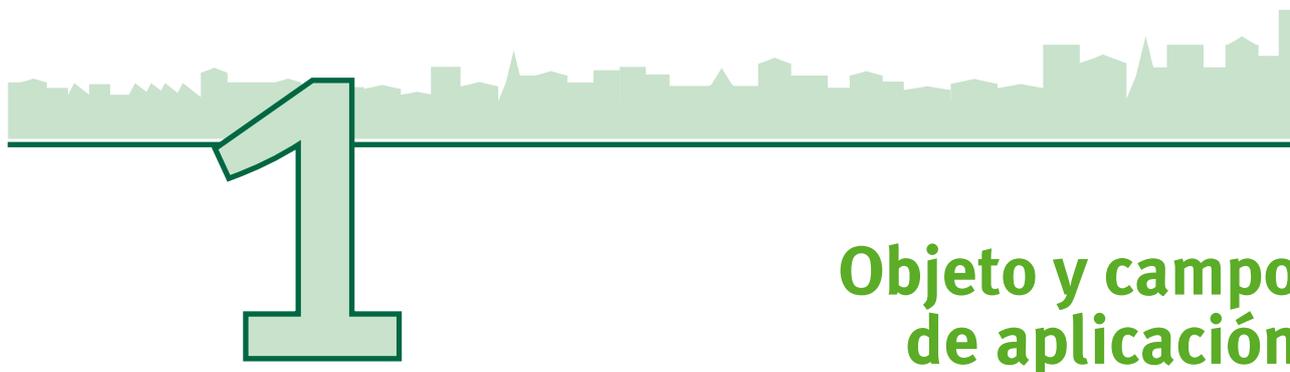
www.idae.es

Madrid, mayo 2009

ÍNDICE

1	Objeto y campo de aplicación	5
2	Tipos de biomasa utilizable para climatización	7
	2.1 Caracterización de biocombustibles	8
	2.2 Clasificación de la biomasa	11
	2.3 Selección del biocombustible	17
3	Logística del suministro de biomasa	19
	3.1 Pretratamiento de la biomasa	20
	3.2 Transporte y distribución	20
	3.3 Sistemas de almacenamiento	28
	3.4 Sistemas de carga del silo de biomasa	36
	3.5 Alimentación de combustible del silo a la caldera	41
	3.6 Sistemas de seguridad en el almacenamiento	46
4	Salas de calderas	49
	4.1 Tipos de calderas	49
	4.2 Selección de la caldera	50
	4.3 Dimensionamiento de las salas de calderas	52
	4.4 Ventilación de salas de calderas	53
	4.5 Requisitos de seguridad	54
	4.6 Chimeneas y sistemas de tratamiento de humos	57
	4.7 Ruido	58
	4.8 Emisiones	60
	4.9 Climatización	63
	4.10 Combinación biomasa y energía solar	64
5	Operación y mantenimiento	67
	5.1 Planificación del suministro	67
	5.2 Puesta en marcha de la instalación	70
	5.3 Control del funcionamiento	72
	5.4 Tareas de mantenimiento	74
	5.5 Manipulación de las cenizas	76

Apéndices	79
Apéndice I: Normas para consulta	79
Apéndice II: Términos y definiciones	82
Apéndice III: Bibliografía	83



Objeto y campo de aplicación

El objeto del presente documento es presentar información práctica dirigida principalmente a los instaladores y mantenedores de calderas de biomasa autorizados, y establecer determinadas condiciones adquiridas en experiencias en nuestro país y en otros países de nuestro entorno, que sirvan como guía de buenas prácticas para las instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria que utilizan como combustible biomasa.

Se consideran las opciones para edificios y viviendas en relación con los sistemas semi-automáticos y automáticos con biomasa existentes en el mercado, con un grado tecnológico avanzado y buena eficiencia energética, que proporcionan un confort similar al obtenido con sistemas convencionales basados en combustibles fósiles. Se excluye de este documento cualquier aparato generador de calor, situado en un espacio habitable.

El campo de aplicación se circunscribe al ámbito de las instalaciones amparadas por el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), tanto en los edificios de nueva construcción, como en las reformas realizadas en los edificios existentes, en los términos que se indican en dicho Reglamento.

Se pretende que el contenido de esta guía sirva como herramienta para la introducción de buenas prácticas en las instalaciones térmicas con biomasa, facilitando la puesta en marcha de nuevas instalaciones y el desarrollo de técnicas propias entre las empresas fabricantes de bienes de equipo y las empresas instaladoras y mantenedoras autorizadas por el RITE.

El uso de la generación térmica con biomasa tiene indudables ventajas para viviendas aisladas, edificios residenciales y cualquier tipo de edificio no residencial, tanto público como privados.

Existen numerosas razones que aconsejan la utilización de modernos sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria con biomasa. Entre éstas se pueden citar las siguientes:

- Las instalaciones abastecidas con biomasa en sus diferentes formas (pélets, astillas, huesos de aceituna triturados, etc.) son respetuosas con el

medio ambiente al presentar una emisión reducida de contaminantes a la atmósfera y no contribuir al efecto invernadero por tener un balance neutro de CO₂. Esta última característica ayuda a cumplir los acuerdos sobre el cambio climático.

- En la actualidad, otra razón es el menor precio comparativo con otros combustibles y su mayor estabilidad, al no depender de las fluctuaciones exteriores, aunque el coste de inversión inicial de los equipos es normalmente superior al de los equipos que utilizan combustibles convencionales.
- La operación y mantenimiento de estos sistemas es sencillo al ser sistemas automáticos con incorporación de control electrónico. A título de ejemplo puede señalarse que algunas calderas incorporan incluso el encendido a distancia mediante un mensaje de teléfono móvil.
- La limpieza del equipo, en las calderas con tecnologías avanzadas, es totalmente automática y la retirada de las cenizas una tarea poco frecuente.
- Las calderas con biomasa tienen una alta resistencia al desgaste, larga vida útil y, lo más importante, presentan un buen rendimiento energético, superando valores entre el 75 y el 90% de eficiencia según el equipo.
- Desde el punto de vista normativo, los biocombustibles sólidos a los que se refiere este documento están reconocidos y tienen tratamiento propio en el RITE, lo que favorecerá de manera notable el crecimiento del mercado de instalaciones con biomasa.

El presente documento ofrece inicialmente una visión comparativa de los principales tipos de biomasa comerciales que pueden ser utilizados en las instalaciones térmicas, destacando sus características principales, para que sirvan como orientación a la hora de elegir los combustibles. Además, recoge datos y modos de transporte, carga y almacenamiento, con diversas configuraciones y esquemas.

En los siguientes capítulos se describen las características de las salas de calderas, sus requisitos y los

aspectos medioambientales y de seguridad. Basado en experiencias, tanto españolas como de otros países, el documento informa sobre temas de operación y mantenimiento y recoge normativa y reglamentación relacionada.

Las empresas instaladoras y mantenedoras autorizadas podrán informar y aconsejar a los clientes el uso de calderas con biomasa, si conocen con profundidad las características y ventajas de este tipo de instalaciones.



Tipos de biomasa utilizable para climatización

Las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente sanitaria son las más comunes dentro del sector de la biomasa, si bien puede utilizarse también para la producción de electricidad. La biomasa puede alimentar un sistema de climatización (calor y frío) del mismo modo que si se realizara con gas, gasóleo o electricidad.

La producción térmica puede realizarse mediante:

- Estufas, normalmente de pélets o leña, que calientan una única estancia y normalmente actúan simultáneamente como elementos decorativos.
- Calderas de baja potencia para viviendas unifamiliares o construcciones de tamaño reducido.
- Calderas diseñadas para un bloque o edificio de viviendas, que actúan como calefacción centralizada.
- Centrales térmicas que calientan varios edificios o instalaciones (*district heating*) o grupo de viviendas.

Las calderas de biomasa pueden dotar a los edificios de calefacción, o de calefacción y agua caliente sanitaria, y su fiabilidad es equiparable a los sistemas habituales

de gas o gasóleo. La descripción detallada de los tipos de calderas y sus usos se encuentra ampliamente descrita en el capítulo 4: Salas de calderas.

El desarrollo del mercado de la biomasa ha permitido que en la actualidad exista una gran variedad de biocombustibles sólidos susceptibles de ser utilizados en sistemas de climatización de edificios. De entre todos ellos, los tipos de biomasa comerciales empleados comúnmente para sistemas de calefacción son:

- Pélets, producidos de forma industrial.
- Astillas, provenientes de las industrias de la primera y segunda transformación de la madera o de tratamientos silvícolas y forestales (podas, claros, cultivos energéticos leñosos, etc.).
- Residuos agroindustriales, como los huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos, almendra, piña, etc.
- Leña, que puede producirla el propio usuario u obtenerse en el mercado.

La Tabla 1 presenta un breve resumen de las propiedades típicas de varios de estos combustibles:

	PCI (kJ/kg)	PCI (kWh/kg)	Humedad b.h. (%)
Pélets	17.000 – 19.000	4,7 – 5,3	< 15
Astillas	10.000 – 16.000	2,8 – 4,4	< 40
Hueso de aceituna	18.000 – 19.000	5,0 – 5,3	7 - 12
Cáscara de frutos secos	16.000 – 19.000	4,4 – 5,3	8 - 15
Leña	14.400 – 16.200	4,0 – 4,5	< 20
Briquetas	17.000 – 19.000	4,7 – 5,3	< 20

b.h.: base húmeda.

Tabla 1: Propiedades de los biocombustibles sólidos

Fuente: Norma UNE-CEN/TS 14961 EX y elaboración propia

2.1 CARACTERIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES

Pélets de biomasa

Los *pélets* de biomasa son un biocombustible estandarizado a nivel internacional. Se conforman como pequeños cilindros procedentes de la compactación de serrines y virutas molturadas y secas, provenientes de serrerías, de otras industrias, o se producen a partir de astillas y otras biomásas de diversos orígenes, como los agropélets. En el proceso de pelletización no se utilizan productos químicos sino simplemente presión y vapor, aunque es posible encontrar también un porcentaje reducido de aditivos biológicos.



Figura 1: Pélets de serrín natural

Es aconsejable exigir al suministrador de pélets que indique explícitamente el origen y tipo de biomasa del que están compuestos para evitar malentendidos con otros tipos de pélets no aptos para las calderas de biomasa. Así mismo, se recomienda el uso de pélets de madera natural, por ser los más adecuados para su uso en la climatización de viviendas y grandes edificios.

Las características principales de los pélets de madera se muestran en las tablas 2, 3 y 4:

	Pélet baja calidad	Pélet estándar	Pélet alta calidad
Poder Calorífico Inferior			
(kcal/kg)	> 3.000	> 4.000	> 4.300
(kJ/kg)	> 12.500	> 16.700	> 18.000
Humedad b.h. (% en masa)	< 12	< 12	< 10
Densidad (kg/m ³)	> 1.000	1.000-1.400	> 1.120
Contenido en cenizas (% en peso)	< 6	< 1,5	< 0,5
Longitud (mm)	< 7 x diámetro	< 50	< 5 x diámetro
Diámetro (mm)	< 12	4-10	< 8

Tabla 2: Características de los pélets

Fuente: elaboración propia, basada en normas DIN Y ÖNORM 7135 para pélets

Propiedad*	A	B	C	Análisis
Origen	Biomasa leñosa sin corteza			Documentación
Diámetro (D) y Longitud (L)	D 6 ± 1 mm ó D 8 ± 1 mm L 5 - 40 mm			Muestreo en el almacén
Humedad b.h. (M)	M 10 ≤ 10%			UNE-CEN/TS 14774-2
Cenizas (A)	A _{0,5} ≤ 0,5%		A _{1,0} ≤ 1,0%	UNE-CEN/TS 14775
Durabilidad (DU)	DU _{96,5} ≥ 96,5%	DU _{97,5} ≥ 97,5%	DU _{95,0} ≥ 95%	UNE-CEN/TS 15210-1
Finos (F)	F _{1,0} ≤ 1%	F _{2,0} ≤ 2%	F _{3,0} ≤ 3%	UNE-CEN/TS 15149-2
Aditivos	Especificar tipo y cantidad			
Poder calorífico (Q)	16,5 (MJ/kg) ó 4,6 (MJ/kg)			UNE-CEN/TS 14918 ó UNE-CEN/TS 15234
Densidad aparente (BD)	≥ 625 kg/m ³ suelto		≥ 600	UNE-CEN/TS 15103

* Las abreviaturas de las propiedades de acuerdo con la versión en inglés

Tabla 3: Propiedades normativas del proyecto de la norma europea prEN 14961-2

Propiedad informativa	A	B	C	Análisis
Nitrógeno (% base seca)	≤ 0,3%	≤ 0,3%	≤ 0,5%	UNE-CEN/TS 15289
Azufre	≤ 0,02%	≤ 0,04%	≤ 0,05%	UNE-CEN/TS 15289
Cloro	≤ 0,02%	≤ 0,05%	≤ 0,05%	UNE-CEN/TS 15103
Fusión cenizas (°C)	AM 1 300	AM 1 300	AM 1 150	UNE-CEN/TS 15370-1

Tabla 4: Propiedades informativas del proyecto de la norma europea prEN 14961-2

En general, un buen pélet de madera presenta menos de un 10% de humedad y una durabilidad mecánica mayor del 97,5% (existe un proyecto de norma donde se define, PNE-CEN/TS 15210-1 EX: Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación de la durabilidad mecánica de pélets y briquetas, y fecha de 16 de enero de 2007). El contenido de finos no pasa del 1% ó 2% mientras que las cenizas y el azufre se sitúan en torno al 0,7% y 0,05%, respectivamente. Los aditivos no deben representar más de un 2% en peso en base seca y como compactadores sólo son válidos productos de la biomasa agrícola y forestal que no han sido tratados químicamente. En todo caso, el tipo y la cantidad de aditivos tienen que ser especificados por el fabricante.

Considerando un poder calorífico cercano a 4.300 kcal/kg (unos 18 MJ/kg), puede establecerse que de 2 a 2,2 kilogramos de pélets equivalen energéticamente a un litro de gasóleo.

Las calderas denominadas “de pélets” normalmente admiten pélets de calidades medias y altas, siendo, en principio, el único tipo de combustible admitido por estos equipos aunque, realizando los ensayos y pruebas necesarios por parte de los fabricantes, pueden llegar a utilizar otros como los huesos de aceituna triturados. También existen calderas de biomasa que pueden funcionar con pélets de calidad inferior, más económicos aunque con mayor porcentaje de cenizas y menor poder calorífico.

Una de las características a considerar de los pélets es su posible degradación para ciertos porcentajes de humedad, por lo que siempre deben estar almacenados en recintos impermeabilizados, tanto en los puntos de suministro como en el almacenamiento en edificios y viviendas.

Es imprescindible exigir una durabilidad mecánica mínima para evitar la desintegración de los pélets en polvo, el cual posee unas propiedades de combustión diferentes y genera problemas en los procesos de transporte, descarga, almacenamiento y combustión.

La degradación del pélet puede dar lugar a finos que implican una mayor emisión de polvo en los almacenamientos, daños en las calderas, menor eficiencia, más cenizas volantes y mayores emisiones de aerosoles. Para reducir la presencia de finos conviene evitar las causas que los generan:

- El bombeo de los pélets a larga distancia y a una diferencia de alturas grande (por ejemplo, si se almacenan los pélets en un desván).
- Daños en las tuberías y conexiones (tornillos, soldaduras con bordes afilados, ...).
- Silos de almacenamiento mal dimensionados (placas deflectoras demasiado cercanas al final de la tubería, placas deflectoras inadecuadas, pendientes no suficientemente inclinadas, ...).
- Conexiones no estandarizadas de tuberías.

Una forma práctica de conocer si el pélet tiene la compresión y densidad adecuadas, y descartar productos de bajas calidades, consiste en realizar dos comprobaciones simples:

- Situar en la mano una cantidad pequeña de pélets y cerrar la mano sin aplastarlos. Agitarlos, y al abrir la mano los pélets deben permanecer con la misma forma que estaban al principio, y la producción de finos debe haber sido escasa o nula.
- Introducir el pélet en un vaso de agua, y verificar que se quede sobresaliendo ligeramente del agua (densidad próxima a 1 kg/dm³) o que se hunde despacio (densidad > 1 kg/dm³). Si permanece flotando similar a un corcho, entonces su densidad y energía serán menores.

No obstante, para determinar si la densidad es adecuada a las exigencias, existe una Norma Experimental UNE-CEN/TS 15150 EX “Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación de la densidad de partículas”, y para pélets y briquetas de combustibles sólidos recuperados se encuentra la CEN/TS 15405 “Combustibles sólidos recuperados. Métodos para la determinación de la densidad de pélets y briquetas”.

Astillas

Las astillas de madera son trozos pequeños de entre 5 y 100 mm de longitud cuya calidad depende fundamentalmente de la materia prima de la que proceden, su recogida y de la tecnología de astillado.

En función de su procedencia y calidad, pueden distinguirse dos grupos principales de astillas:

- Astillas de clase 1: provenientes de la industria de la primera y segunda transformación de la madera o maderas forestales muy limpias. Suelen tener

humedades menores al 30%, aunque pueden alcanzar el 45%. Apropriadadas para su uso en instalaciones domésticas y válidas para todo tipo de instalaciones.

- Astillas de clase 2: procedentes de tratamientos silvícolas, agrícolas y forestales (podas, clareos, entresacas, cultivos energéticos leñosos, etc.). Hasta un 45% de humedad. Utilizada en instalaciones de media a muy alta potencia, como grandes edificios y redes de calefacción.

Como ventaja tiene que, al ser un combustible que tiene un pretratamiento relativamente sencillo (astillado y, en su caso, secado), tienen un coste inferior a

biomasas producidas industrialmente. Se pueden producir localmente y pueden ser un combustible de alta calidad para calderas de cualquier tamaño, aunque precisan de mayor espacio de almacenamiento que los pélets o el hueso de aceituna.

Sin embargo, el control de calidad de las astillas de madera y de los residuos agroindustriales es muy importante ya que sus características son poco homogéneas, principalmente en lo que se refiere al poder calorífico y la humedad. Las astillas muy húmedas (> 40%), los trozos de madera grandes en las astillas, así como algunos tipos de residuos agrícolas son poco recomendables en la mayoría de las calderas para edificios y viviendas.

Astillas de madera	
Origen	Troncos de madera
Contenido de humedad	≤ 20-30%
Dimensiones de la fracción principal (> 80% en peso)	Dimensión mayor ≤ 63 mm
Densidad energética	< 900 kWh/m ³ apilados

Tabla 5: Recomendación de astillas de madera para uso doméstico

Fuente: Especificación técnica europea UNE-CEN/TS 14961 EX

Residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales adecuados para su uso como combustible en calderas de biomasa son fundamentalmente los provenientes de las industrias de la producción de aceite de oliva y aceituna, de las alcohólicas y la uva, y de los frutos secos.

En general, los proveedores suelen reducir su grado de humedad mediante procesos de secado con el objetivo

de aumentar su poder calorífico inferior. Normalmente, son combustibles económicos y de buena calidad, aunque en algunos casos se debe prestar una especial atención a las distintas calidades de una misma biomasa. Por ejemplo, el hueso de aceituna es recomendable que esté limpio de pieles o pellejo, para reducir las labores de mantenimiento y mejorar la operación.

Cáscara de almendra			
Humedad (%)		12	
Densidad aparente (kg/m ³)		470	
PCI b.s.(kJ/kg)	PCI b.s. (kWh/kg)	15.900	4,4

Tabla 6: Características de la cáscara de almendra

Hueso de aceituna			
Humedad (%)		10	
Densidad aparente (kg/m ³)		650-700	
PCI b.s.(kJ/kg)	PCI b.s. (kWh/kg)	18.000-19.000	5,0-5,3

Tabla 7: Características del hueso de aceituna

Combustibles tradicionales: leña y briquetas

Aunque su uso se da con menor frecuencia que el del resto de los biocombustible sólidos presentados previamente, existen también calderas modernas diseñadas

para su uso con leña o briquetas. No obstante, su uso se reduce casi exclusivamente a calderas de viviendas unifamiliares y a geografías con alta disponibilidad de este tipo de biomasa.

Leña

La leña proviene de trocear troncos que no van a ser utilizados para producir madera, y pueden producirse localmente por los propios usuarios. Al igual que ocurre con el resto de la biomasa, la energía que producen en la caldera va a depender del tipo de madera y de la humedad que contenga.

La leña debe introducirse manualmente en la caldera, normalmente varias veces al día. Por lo tanto, los sistemas de calefacción de leña son semiautomáticos, con la ventaja de que esta biomasa es muy económica. Existen calderas que funcionan exclusivamente con leña, y otras que funcionan con leña y astillas o pélets y que tienen un mayor campo de aplicación.

Leña	
Origen	Troncos de madera
Contenido de humedad	≤ 20%
Dimensiones	Desde piezas menores de 20 centímetros de longitud, con diámetros menores de 2 centímetros, hasta piezas con longitud superior a 1 metro y diámetros mayores de 35 centímetros. La mayoría de las clases se sitúan entre estos valores con longitudes entre 20 centímetros y 1 metro y diámetros mayores de 2 centímetros y menores de 35 centímetros
Madera	Especificar si es de conífera o frondosa
Clasificación	No se ven significantes cantidades de moho o descomposición; la superficie de corte son lisas y regulares
Densidad energética	Para maderas de frondosas valores menores de 1.700 kWh/m ³ apilados y para coníferas o mezclas de ambas valores menores de 1.300 kWh/m ³ apilados

Tabla 8: Recomendación de leña para uso doméstico

Fuente: Especificación técnica europea UNE-CEN/TS 14961 EX

Briquetas

Las briquetas son cilindros de biomasa densificada de tamaño superior al del pélet, provenientes normalmente de serrines y virutas de aserraderos. Estos cilindros sustituyen normalmente a la leña en las calderas.

Las principales propiedades de las briquetas son una humedad menor del 10%, un poder calorífico inferior superior a los 16,9 MJ/kg (4,7 kWh/kg) y una densidad en torno a los 1.000 kg/m³. El contenido en cenizas no llega al 0,7%.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA

La clasificación que se utiliza en esta guía se basa en la Norma UNE-CEN/TS 14961 EX *Biocombustibles sólidos – Especificaciones y clases de combustible* para el uso de la biomasa como biocombustible que el Comité Europeo de Normalización (CEN) publicó en 2005.

Los distintos tipos de biomasa se clasifican en función de su origen, su principal forma de comercialización y sus propiedades como se muestra en la tabla 9.

Origen	Residuos de la industria maderera (1.1.3)*
Forma de comercialización	Astillas de madera
Propiedades	Distribución del tamaño de partículas P63, Humedad ≤ 40%, Cenizas ≤ 3%

* Consultar UNE-CEN/TS 14961 EX para detalles sobre el origen de los biocombustibles

Tabla 9: Ejemplo de especificación de un biocombustible sólido

Según su origen, los biocombustibles sólidos se agrupan en las cuatro variedades principales que se presentan a continuación. La clasificación europea va

más allá y divide cada tipo en varios subgrupos, que se pueden consultar en la tabla 1 de la UNE-CEN/TS 14961 EX.

Tipo de biomasa	Origen
Leñosa (tipo 1)	Árboles y arbustos
Herbácea (tipo 2)	Plantas de tallo no leñoso y que mueren al final de su temporada de crecimiento
De frutos (tipo 3)	Partes de las plantas que contienen semillas
Mezclas, intencionadas o no (tipo 4)	Diversos orígenes

Tabla 10: Tipos de biomasa según su origen

Fuente: Especificación técnica europea UNE-CEN/TS 14961 EX

Especificaciones de los biocombustibles sólidos

Las especificaciones dependen de la forma de comercialización y de las propiedades del biocombustible ya que éstas influyen directa o indirectamente en su

manipulación así como en sus propiedades de combustión. La biomasa se comercializa en muchas formas y tamaños, algunos de los cuales pueden observarse en la Tabla 11:

Biocombustible	Tamaño típico de partícula	Método de producción
Pélets	Diámetro < 25 mm	Compresión mecánica
Astillas (clase 1)	Dimensión mayor \leq 31,5 mm	Corte con herramientas afiladas
Astillas (clase 2)	Dimensión mayor \leq 63 mm	Corte con herramientas afiladas
Huesos de aceituna triturado	Dimensión mayor 3-5 mm	Molienda
Huesos de aceituna	Dimensión mayor 12-15 mm	Extracción de la aceituna de mesa
Leña	Longitud 100-1.000 mm	Corte con herramientas afiladas
Briquetas	Diámetro > 25 mm	Compresión mecánica

Tabla 11: Principales formas de comercialización de los biocombustibles sólidos

A continuación se incluyen las especificaciones de los biocombustibles más representativos recogidos en la norma UNE-CEN/TS 14961 EX. La clasificación de los tipos de combustible atiende a una multitud de propiedades como su humedad, el contenido en cenizas o la

densidad aparente. Para establecer estas propiedades es preciso utilizar los métodos fijados por las normas correspondientes mencionadas en el Apéndice I: Normas para consulta.

	Origen	Biomasa de madera	
		Biomasa herbácea	
	Forma de comercialización	Biomasa de frutos	
		Conjuntos y mezclas	
	Dimensiones (mm)	Pélets	
		Diámetro (D) y Longitud (L)*	
Normativo	Do6	D \leq 6 mm + 0,5 mm	L \leq 5 x Diámetro
	Do8	D \leq 8 mm + 0,5 mm	L \leq 5 x Diámetro
	D10	D \leq 10 mm + 0,5 mm	L \leq 4 x Diámetro
	D12	D \leq 12 mm + 1,0 mm	L \leq 4 x Diámetro
	D25	D \leq 25 mm + 1,0 mm	L \leq 4 x Diámetro
	Humedad (% en peso, según se recibe)		
	M10	\leq 10%	
	M15	\leq 15%	
	M20	\leq 20%	

(continuación)

Normativo	Cenizas (% en peso, en base seca)		
	A0.7	< 0,7%	
	A1.5	< 1,5%	
	A3.0	< 3,0%	
	A6.0	< 6,0%	
	A6.0+	> 6,0%	
	Azufre (% en peso en base seca)		
	So.05	< 0,05%	El azufre sólo es obligatorio para la biomasa tratada químicamente o si se ha usado azufre que tuviera aditivos
	So.08	< 0,08%	
	So.10	< 0,10%	
	So.20+	> 0,20%	
	Resistencia mecánica (% en peso de pélets después del ensayo)		
	DU97.5	< 97,5%	
	DU95.0	< 95%	
	DU90.0	< 90%	
	Cantidad de finos (% en peso < 3,15 mm) después de la producción en fábrica		
	F1.0	<= 1,0%	
	F2.0	<= 2,0%	
	F2.0+	> 2,0%	
Aditivos		Pendientes de ser estipulados	
Nitrógeno (% en peso, en base seca)			
No.3	< 0,3%	El nitrógeno es obligatorio sólo para biomasa tratada químicamente	
No.5	< 0,5%		
N1.0	< 1%		
N3.0	< 3,0%		
N3.0+	> 3,0%		
Informativo	Poder calorífico inferior (MJ/kg) o densidad de energía (kWh/m ³ suelto)		Se recomienda que se estipule al nivel de venta
	Densidad aparente como recibida (kg/m ³ suelto)		Se recomienda que se estipule si se comercia en volumen
	Cloro (% en peso en base seca)		Categorías recomendadas: Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10 y Cl 0.10+

* Un máximo del 20% en peso pueden tener mayor longitud que 7,5 x Diámetro

Tabla 12: Especificaciones de las propiedades de los pélets

Fuente: Especificación técnica europea UNE-CEN/TS 14961 EX

Normativo	Origen		Biomasa de madera	
	Forma de comercialización		Astillas de madera	
	Dimensiones (mm) *			
		Fracción principal > 80% del peso	Fracción fina < 5%	Fracción gruesa, máx. longitud de partícula
	P16	3,15 mm <= P <= 16 mm	< 1 mm	máx. 1%* > 45 mm, todas < 85 mm
	P45	3,15 mm <= P <= 45 mm	< 1 mm	máx. 1%* > 63 mm
P63	3,15 mm <= P <= 63 mm	< 1 mm	máx. 1%* > 100 mm	

(continuación)

Normativo	Dimensiones (mm) *		
	P100	3,15 mm ≤ P ≤ 100 mm	< 1 mm máx. 1%* > 200 mm
	Humedad (% en peso según se recibe)		
	M20	≤ 20%	Secadas
	M30	≤ 30%	Adecuada en el almacenamiento
	M40	≤ 40%	Limitada en el almacenamiento**
	M55	≤ 55%	
	M65	≤ 65%	
	Cenizas (% en peso en base seca)		
	A0.7	< 0,7%	
	A1.5	< 1,5%	
	A3.0	< 3,0%	
	A6.0	< 6,0%	
	A10.0	< 10%	
	Nitrógeno (% en peso en base seca)		
No.5	< 0,5%	El nitrógeno es obligatorio sólo para biomasa tratada químicamente	
N1.0	< 1%		
N3.0	< 3,0%		
N3.0+	> 3,0%		
Informativo	Poder calorífico inferior (MJ/kg) o densidad de energía (kWh/m ³ uelto)		Se recomienda que se estipule al nivel de venta
	Densidad aparente como recibida (kg/m ³ uelto)		Se recomienda que se estipule en categorías (BD200, BD300, BD450) si se comercia en volumen
	Cloro (% en peso en base seca)		Categorías recomendadas: Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10 y Cl 0.10+

* Los valores numéricos de la dimensión se refieren al tamaño de las partículas que pasan a través del tamiz del agujero redondo del tamaño mencionado (3,15 mm, 16 mm, 45 mm, 63 mm y 100 mm). Las dimensiones reales pueden diferir de esos valores, especialmente la longitud de la partícula

** A partir del 40% de humedad existe riesgo de reacción química y degradación de las astillas

Tabla 13: Especificaciones de las propiedades de las astillas de madera

Fuente: Especificación técnica europea UNE-CEN/TS 14961 EX

	Origen	Biomasa de madera	
	Forma de comercialización	Trozas	
Normativo	Dimensiones (mm)	Longitud (L) y grosor (D) (máximo diámetro de una pieza)	
	P200-	L < 200 mm y D < 20 mm madera de ignición	
	P200	L = 200 ± 20 mm y 40 ≤ D ≤ 150 mm	
	P250	L = 250 ± 20 mm y 40 ≤ D ≤ 150 mm	
	P330	L = 330 ± 20 mm y 40 ≤ D ≤ 160 mm	
	P500	L = 500 ± 40 mm y 60 ≤ D ≤ 250 mm	
	P1000	L = 1.000 ± 50 mm y 60 ≤ D ≤ 350 mm	
	P1000+	L > 1.000 mm, el valor de D debe indicarse	
	Humedad (% en peso según se recibe)		
	M20	≤ 20%	Trozas listas para su uso

(continuación)

Humedad (% en peso según se recibe)			
Normativo	M30	<= 30%	Secado durante el almacenamiento
	M40	<= 40%	Secado en el bosque
	M65	<= 65%	Fresca, después del apeo en el bosque
Madera			Se señala si se utiliza madera de coníferas, frondosas o mezcla de ambas
Densidad energética (kWh/m ³ suelto o a granel)			Se recomienda señalarlo en la venta al por menor
Volumen, m ³ sólido, apilado o suelto según se recibe			Se recomienda su indicación si se comercia en volumen
Proporción de volumen de trozas partidas/agrietadas			No partidas (=principalmente madera redonda) Partida: más del 85% del volumen está partido Mezcla: mezcla de madera partida y redonda
Informativo	Superficie de corte		Se señala si la superficie de corte de la leña es lisa* y regular* o si los extremos de las trozas son irregulares
	Moho y descomposición		Se debería señalar si existe una cantidad significativa de moho y descomposición (más del 10% en masa) En caso de duda, se podría utilizar la densidad de partícula o del poder calorífico inferior como indicador

* El uso de una motosierra se considera que deja la superficie de corte lisa y regular

Tabla 14: Especificaciones de las propiedades de las trozas

Fuente: Especificación técnica europea UNE-CEN/TS 14961 EX

Origen		Biomasa de madera	
Forma de comercialización		Serrín	
Humedad (% en peso según se recibe)			
Normativo	M20	<= 20%	Seca
	M30	<= 30%	Adecuada en el almacenamiento
	M35	<= 35%	Limitada en el almacenamiento
	M55	<= 55%	
	M65	<= 65%	
	Cenizas (% en peso en base seca)		
A0.7	<= 0,7%		
A1.5	<= 1,5%		
A3.0	<= 3,0%		
A6.0	<= 6,0%		
Nitrógeno (% en peso en base seca)			
No.5	<= 0,5%		El nitrógeno es obligatorio sólo para biomasa tratada químicamente
N1.0	<= 1%		
N3.0	<= 3,0%		
N3.0+	> 3,0%		

(continuación)

Informativo	Poder calorífico inferior (MJ/kg) o densidad de energía (kWh/m ³ suelto)	Se recomienda señalarlo
	Densidad aparente según se recibe (kg/m ³ suelto)	Se recomienda señalarla si se comercializa en base al volumen en categorías (BD200, BD300, BD450)
	Cloro (% en peso en base seca)	Categorías recomendadas: Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10 y Cl 0.10+

Nota: El tamaño de partícula para serrín se considera homogéneo. La distribución de tamaños se puede especificar si es requerida

Tabla 15: Especificaciones de las propiedades del serrín

Fuente: Especificación técnica europea UNE-CEN/TS 14961 EX

Origen	Biomasa de madera	
	Biomasa herbácea Conjuntos y mezclas	
Forma de comercialización	Briquetas	
Dimensiones (mm)	Diámetro (D) o equivalente (diagonal o corte transversal)	
D40	25 ≤ D ≤ 40	
D50	≤ 50	
D60	≤ 60	
D80	≤ 80	
D100	≤ 100	
D125	≤ 125	
D125+	<125	
Normativo	Longitud	
	L50	≤ 50
	L100	≤ 100
	L200	≤ 200
	L300	≤ 300
	L400	≤ 400
	L400+	≥ 400
	Humedad (% en peso según se recibe)	
M10	≤ 10%	
M15	≤ 15%	
M20	≤ 20%	
Cenizas (% en peso en base seca)		
A0.7	< 0,7%	
A1.5	< 1,5%	
A3.0	< 3,0%	
A6.0	< 6,0%	
A10.0	< 10,0%	

(continuación)

Normativo	Azufre (% en peso en base seca)		El azufre sólo es obligatorio para la biomasa tratada químicamente o si se ha usado azufre que tuviera aditivos
	So.05	< 0,05%	
	So.08	< 0,08%	
	So.10	< 0,10%	
	So.20	< 0,20%	
	So.20+	> 0,20%	
	Densidad de partículas (kg/dm³)		
	DE0.8	0,80 - 0,99	
	DE1.0	1,00 - 1,09	
	DE1.1	1,10 - 1,19	
DE1.2	> 1,2		
Aditivos		El tipo y contenido de coadyuvante del prensado, inhibidores de fusión de las cenizas y otros aditivos tienen que señalarse	
Nitrógeno (% peso en base seca)		El nitrógeno es obligatorio sólo para biomasa tratada químicamente	
No.3	< 0,3%		
No.5	< 0,5%		
N1.0	< 1%		
N3.0	< 3,0%		
N3.0+	> 3,0%		
Informativo	Poder calorífico inferior (MJ/kg) o densidad de energía (kWh/m ³ suelto)		Se recomienda señalarlo en venta al por menor
	Densidad aparente como recibida (kg/m ³ suelto)		Se recomienda señalarlo en la venta en base al volumen
	Cloro (% en peso en base seca)		Categorías recomendadas: Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10 y Cl 0.10+

Tabla 16: Especificaciones de las propiedades de las briquetas

Fuente: Especificación técnica europea UNE-CEN/TS 14961 EX

2.3 SELECCIÓN DEL BIOCOMBUSTIBLE

Una de las consideraciones más importantes para decidirse por la instalación de los sistemas de calefacción con biomasa de un tipo u otro es el aseguramiento del suministro de combustible. Debe asegurarse el suministro a medio-largo plazo con una calidad de la biomasa alta y constante, antes de su establecimiento. Asimismo, en la actual fase de penetración de este mercado, es recomendable acordar los precios para futuros suministros con el comercializador.

Es importante clarificar qué combustibles están disponibles localmente (existe suministrador o distribuidor cercano) pues éste será el factor decisivo que determine la elección final. Un biocombustible adecuado puede proceder de la industria agroforestal local, que produzca biomasa residual, de los residuos forestales municipales, de residuos de cultivos agrícolas,

transformación de la madera, etc. Por ello, desde el primer momento conviene comprobar si hay disponibilidad de residuos adecuados de industrias agroforestales, astillas de producción local o pélets y briquetas de empresas proveedoras.

Es fundamental la disponibilidad de biomasa para la instalación de una caldera de este tipo. En los casos en los que exista disponibilidad de varios tipos de biocombustible, es recomendable analizar más detalladamente las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos:

Pélets de madera

- Ventajas:
 - Elevado poder calorífico.
 - Muy bajo contenido en cenizas, reduciendo las necesidades de operación y mantenimiento.

- Las calderas de pélets son de muy alta eficiencia, incluso existen calderas de condensación de pélets.
- Se comercian a nivel internacional, con una composición constante.
- Se utilizan con composiciones estándar en Europa.
- Inconvenientes
 - Elevado precio en comparación con otras biomásas.
- Consideraciones:
 - Precisa de almacenamiento en lugar aislado y seco.
 - No necesita ningún tipo de secado o tratamiento una vez producido.
 - Están estandarizados, por lo que presentan alta fiabilidad de operación y menor esfuerzo para la operación y mantenimiento de la caldera. Sin embargo, su coste es elevado debido al tratamiento al que son sometidos en su preparación.

Astillas de madera (tanto de clase 1 como de clase 2)

- Ventajas:
 - Su coste de producción es inferior al de los pélets debido al menor proceso de elaboración requerido.
 - Las astillas limpias de corteza y secas (clase 1) son normalmente de alta calidad.
 - Tiene un grado medio de estandarización a nivel Europeo.
- Inconvenientes
 - Son menos densas que los pélets y el hueso de aceituna, por lo que precisan de un espacio mayor para el almacenamiento.
 - Al ser menos densas, el transporte sólo se justifica hasta una distancia corta (< 50 km).
- Consideraciones:
 - Su composición es variable.
 - Es preciso secar la materia prima de forma natural o artificial hasta una humedad inferior al 45%, o incluso menor que el 30% en el caso de las mejores astillas de clase 1.
 - Presentan un contenido en cenizas inferior al 1% (clase 1) o al 5% (clase 2).

Residuos agroindustriales

- Ventajas:
 - Disponibilidad y tipos (abundancia de productos y cantidades).
 - Grandes producciones en España.
 - Su coste de producción es inferior debido al ser subproductos de un proceso.

- Normalmente tienen un elevado poder calorífico, pero se debe tener precaución con la calidad de la biomasa que va a adquirirse, evitando biomásas con residuos no deseados.
- Inconvenientes:
 - Su contenido en cenizas, aunque es aceptable, es superior al del pélet, por lo que las labores de mantenimiento tenderán a ser mayores.
- Consideraciones:
 - Pueden ser biomásas estacionales, por lo que su suministro, si es directamente del productor, debe acordarse durante la temporada.
 - Composición variable.

Leña y briquetas

Su uso es poco frecuente y prácticamente exclusivo para calderas pequeñas y de un grado de automatización medio, ya que hay que introducir leña o briquetas varias veces al día (los días de mayor consumo). El coste de producción de las briquetas es muy superior al de la leña, aunque el poder calorífico de la primera está claramente por encima. Además las briquetas producen menos cenizas, facilitando la limpieza y mantenimiento de la caldera.



3 Logística del suministro de biomasa

Para llegar hasta el punto de destino (edificios o viviendas unifamiliares) se realiza un proceso logístico en el que intervienen todas o algunas de las siguientes operaciones: pretratamiento, transporte, distribución y almacenamiento.

Todas las propiedades conferidas al biocombustible durante su producción deben mantenerse durante su

tratamiento, transporte, almacenamiento y manipulación para garantizar una combustión óptima. Deben, por lo tanto, evitarse acciones innecesarias que lleven a la modificación de sus características. A continuación se describen algunas de ellas.

Circunstancia previa a la combustión	Consecuencias
Humidificación del biocombustible	Disminución de su poder calorífico y aumento del consumo
Altas temperaturas	Modificación de la forma, consistencia y durabilidad
Presiones variables	Aumento de la cantidad de finos, reduciendo la masa útil de combustible
Contaminación metálica debido a la maquinaria y herramientas utilizadas	Aumento del contenido en cenizas, lo que hace aumentar las operaciones de mantenimiento y limpieza
Contaminación atmosférica debida al tráfico	Aumento del contenido en metales pesados (plomo, cinc), conllevando el correspondiente aumento del contenido en cenizas
Contaminación por contacto con el suelo o tierra	Aumento del contenido en silicio, lo que reduce el poder calorífico
Contaminación con cortezas	Aumento del contenido en nitrógeno, azufre y cloro, dando lugar a mayores emisiones. Aumento del contenido en cenizas, aumentando las operaciones de mantenimiento y limpieza
Tratamientos químicos (pintura, conservantes, adhesivos, ...)	Aumento del contenido en metales y elementos inorgánicos, lo que implica una reducción del poder calorífico y aumento del contenido en cenizas

Tabla 17: Consecuencias de la manipulación y el tratamiento inadecuado del biocombustible

Fuente: Especificación técnica europea UNE-CEN/TS 14961 EX

Otras consecuencias derivadas de la contaminación del biocombustible son la corrosión de los elementos de la caldera así como otros daños en el equipo que

disminuyen su vida útil o provocan averías y mantenimientos no programados.

3.1 PRETRATAMIENTO DE LA BIOMASA

Pélets

La fabricación de pélets se realiza mediante un proceso denominado peletizado que consiste en la compactación de la biomasa de madera natural mediante la aplicación de una gran presión (por encima de 100 bar) con unos rodillos sobre una matriz perforada, a través de la cual se hace pasar el material. Este método resulta muy similar al de la producción de briquetas, por lo que ambos se engloban en este mismo apartado.

Los subprocesos de la peletización se representan en la figura 2.

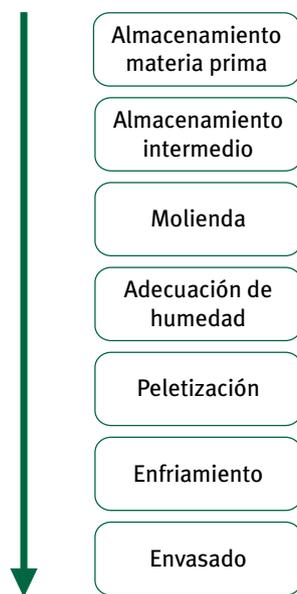


Figura 2: Proceso de peletización

Los pélets no necesitan de ningún tratamiento posterior. Una vez fabricados, se transportan e introducen en el almacenamiento previo a la caldera.

Astillas

El proceso de astillado puede realizarse en el lugar de producción mediante maquinaria móvil, o bien ser transportados a la planta industrial donde se astillan con máquinas fijas. En cualquier caso, su proceso de adecuación suele implicar el secado *natural de la madera*, que permite reducir la humedad y aumentar el poder calorífico del residuo.

Normalmente se somete a la materia prima a un *pre-triturado* o primer astillado, donde se trocea a tamaños de 150-200 mm, y un *post-triturado* o segundo astillado, donde se reduce a tamaño 30-50 mm. Previamente si ha permanecido al aire, la humedad (en base húmeda) puede reducirse al 20 ó 30%, condiciones adecuadas para el almacenamiento en destino y posterior consumo de la astilla en las calderas. Las astillas de mayor humedad deben consumirse prácticamente según se reciben y no

deben almacenarse durante largos periodos de tiempo porque pueden presentar problemas de pudrición, auto-calentamiento y proliferación de hongos.

La astilla puede distribuirse a granel, normalmente mediante volquetes y en algunos casos mediante transporte neumático, o en sacos tipo big-bag. En caso de ensacado los sacos se depositan en palets para facilitar su manipulación, y se almacena en naves cubiertas para evitar un aumento de su humedad.

En la selección de la astilla debe considerarse que no todas las astillas son iguales, y que su parámetro más relevante es la humedad. En la contratación del suministro se recomienda que se especifique qué poder calorífico y grado de humedad va a tener la astilla suministrada. Al igual que para el resto de biomásas, también es recomendable solicitar una analítica lo más completa posible, para evitar comprar astillas con muchas cenizas o con componentes perjudiciales para la caldera.

Residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales proceden normalmente de las industrias de la aceituna, la uva y los frutos secos. Al elegir biomásas agroindustriales, como las cáscaras de frutos secos, huesos de aceituna, pepitas de uva, etc., y dado que sus propiedades pueden ser muy variables, en la contratación del suministro se recomienda que se especifique qué poder calorífico y grado de humedad va a tener la biomasa suministrada. También es recomendable solicitar una analítica lo más completa posible, y evitar que tenga residuos (como pellejos, torta, etc.) incorporados.

Leña y briquetas

La leña que consumen las calderas de biomasa automáticas procede normalmente de troncos o ramas grandes de árboles locales. Esta materia prima se deja secar normalmente durante varias semanas o incluso meses hasta poder ser utilizados de forma económica en una caldera.

Las briquetas, por su parte, son cilindros compactos de mayor tamaño, obtenidos a partir de la misma materia prima que el pélet y a través de un proceso similar. Son asimilables en su uso a la leña, ya que se introducen directamente en las calderas preparadas con este fin.

3.2 TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

Los combustibles de pequeña granulometría, como pélets, astillas y huesos de aceituna, se distribuyen en distintos formatos:

A granel

El combustible se alimenta directamente desde el camión de suministro al depósito de almacenaje, gracias a una cisterna con bomba neumática o a un volquete, con o sin bomba neumática.

En bolsas

La distribución se realiza normalmente en dos tamaños:

- *Bolsas pequeñas* (15 ó 25 kg) para estufas y calderas pequeñas con depósito de carga manual o con depósito intermedio.



Figura 3: Bolsas pequeñas y big bags de pélets

- *Bolsas grandes o big bags* (1 m³, alrededor de 1.000 kg) para sistemas de almacenamiento con silo, o para recarga manual de tolvas.



Figura 4: Bolsas grandes (big bags) de pélets

Ambos tipos de bolsas pueden ser apiladas en palets y vendidos en puntos de venta al por menor como gasolineras. Las propiedades del combustible pueden verse afectadas negativamente si no se cierran adecuadamente o si se almacenan en lugares inadecuados o al aire libre.

El medio de transporte más apropiado para el reparto de biomasa depende del tipo y la forma de la biomasa, la cantidad a transportar, el tipo de cliente y la distancia a recorrer.

El transporte por carretera es el más frecuente para el caso de sistemas de climatización de edificios. Existen distintos tipos de camiones y remolques susceptibles de ser usados y que se describen a continuación junto a sus ventajas e inconvenientes, aunque los más utilizados son los dos últimos: volquetes y camiones cisterna.

Sea cual sea el método de transporte elegido, conviene que éste suministre siempre el mismo tipo de biomasa para garantizar la pureza del combustible, evitando mezclas entre la biomasa y la anterior mercancía transportada ya que es inevitable la presencia de restos de esta última. Además, dependiendo del tipo de sistema de transporte utilizado y la diligencia con la que se practica su manipulación, el combustible puede verse contaminado con tierra o arena, lo que hace aumentar su contenido de cenizas y silicio, o con cortezas, incrementando su contenido en nitrógeno, azufre y cloro aparte de en cenizas y silicio. Se recomienda que los camiones de suministro de biomasa cumplan ciertos requisitos mínimos que aseguren una adecuada humedad a su entrega al usuario, así como que incluyan equipamientos que permitan el pesado del combustible suministrado, entre otras recomendaciones que se recogen en la tabla 18.

Remolque de caja de carga plana

Ampliamente disponible para una gran variedad de aplicaciones, se utiliza para transportar bolsas, tanto pequeñas como grandes, apiladas en palets.

Remolque de piso móvil

Se trata de un equipo especial para el suministro de astillas a granel. Dado que el contenedor se encuentra cerrado por todos los lados, se puede cargar directamente desde las astilladoras. Este proceso se desarrolla en cuestión de minutos y requiere una manipulación mínima.

Contenedor

Adecuadamente modificados, los contenedores pueden ser utilizados como almacenamiento móvil de combustible o incluso para instalaciones modulares.



Figura 5: Contenedor para biomasa

Remolque de caja de carga plana

Ampliamente disponible para una gran variedad de aplicaciones, se utiliza para transportar bolsas, tanto pequeñas como grandes, apiladas en palets.

Remolque de piso móvil

Se trata de un equipo especial para el suministro de astillas a granel. Dado que el contenedor se encuentra cerrado por todos los lados, se puede cargar directamente desde las astilladoras. Este proceso se desarrolla en cuestión de minutos y requiere una manipulación mínima.

Contenedor

Adecuadamente modificados, los contenedores pueden ser utilizados como almacenamiento móvil de combustible o incluso para instalaciones modulares.

Sin modificaciones, y dependiendo del tipo de biomasa a almacenar, puede no cumplir todos los requisitos de un depósito de combustible idóneo. Sin embargo, para periodos de almacenamiento cortos y biomasa con baja humedad, puede ser un medio práctico de transporte y almacenamiento.

Volquete

Apto para un amplio rango de cargas, se puede utilizar para el transporte de astillas de madera, pélets y algunos residuos forestales o agroindustriales. Con un diseño adecuado del recinto de almacenamiento, el suministro puede ser tan fácil como verter la carga en el

silos o bombearla mediante un sistema neumático. Así, se elimina la necesidad de manipulación o equipamiento adicional.



Figura 6: Camión de suministro con suelo móvil

Tipo de camión	Requisito	Descripción
Todos		Almacenamiento y transporte de diferentes tipos o tamaños de combustible por separado
	Pureza	Vaciado y limpieza de los camiones al cambiar de tipo o tamaño de combustible para evitar mezclas no deseadas
		Limpieza de medios auxiliares de manipulación, transporte o almacenamiento
	Humedad	Garantía de ambiente seco en el camión durante el transporte
	Separación de finos	Porcentaje de finos < 1% antes de cargar el camión. No aplicable a sacos pequeños o big-bags ni a camiones de suministro neumático con filtro de finos incorporado que garantice el mismo o menor nivel de finos
	Sistema de pesado a bordo	Aplicable a camiones de capacidad > 12 m ³
Cisterna	Sistema de succión	La masa de aire succionado debe ser mayor que la de aire inyectado para evitar sobrepresiones en el silo
	Mangueras y accesorios	Suma de segmentos de manguera hasta una longitud de 30 m Accesorios de acoplamiento a las toberas o entre los segmentos

Tabla 18: Recomendaciones para los camiones de suministro de biomasa



Figura 7: Camión de suministro tipo volquete con sistema neumático

Camión cisterna

Existe una amplia gama de camiones cisterna utilizados para cargas que fluyen, como líquidos, grano o pienso para animales. Basados en estos sistemas se han desarrollado los camiones cisterna específicos para biomasa.

Estas cisternas equipadas con sistemas neumáticos de suministro se utilizan con gran éxito para la distribución de pélets y huesos de aceituna. Incluyen sistemas de pesado para calcular exactamente la cantidad de combustible suministrado. Combinado con un reparto de combustible frecuente y programado, este sistema convierte el uso de pélets de madera tan limpio y práctico como el de gasóleo. Este sistema es el más rápido y económico, aunque en España todavía no está generalizado.

Además, si están equipados con equipos de succión mecánica, los camiones cisterna permiten vaciar silos. Esto es interesante para situaciones especiales, como por ejemplo en caso de que el silo se atasque y sea necesario vaciarlo para proceder a una limpieza a fondo.



Figura 8: Camión cisterna



Figura 9: Camión cisterna

- *Características de las mangueras*

Las mangueras con las que se produce el llenado de los silos de biomasa provenientes del camión están divididas en unos 6 tramos o mangueras independientes acoplables entre sí. Aunque el suministrador debe ser capaz de suministrar la biomasa a más de 30 m de distancia, se recomienda evitar el uso de mangueras de más de 20-30 m ya que a medida que se utilizan mangueras más largas (hasta un máximo de 40 m), el llenado se va complicando cada vez más.

Aunque no es habitual la existencia de silos de almacenamiento en altura, los sistemas neumáticos son capaces de cargar aquellos con las toberas hasta a 5 m de altura.



Figura 10: Toberas de carga neumática del silo

Estas mangueras poseen un diámetro de 11 cm, y son del tipo Storz A (acoplamiento tipo de los bomberos). Debido a su rigidez y diámetro cuentan con un radio de curvatura muy grande. Es por esto por lo que es necesario un espacio lo suficientemente grande para realizar la conexión entre el camión y el silo. Además, deben ser de material antiestático para prevenir cargas electrostáticas.

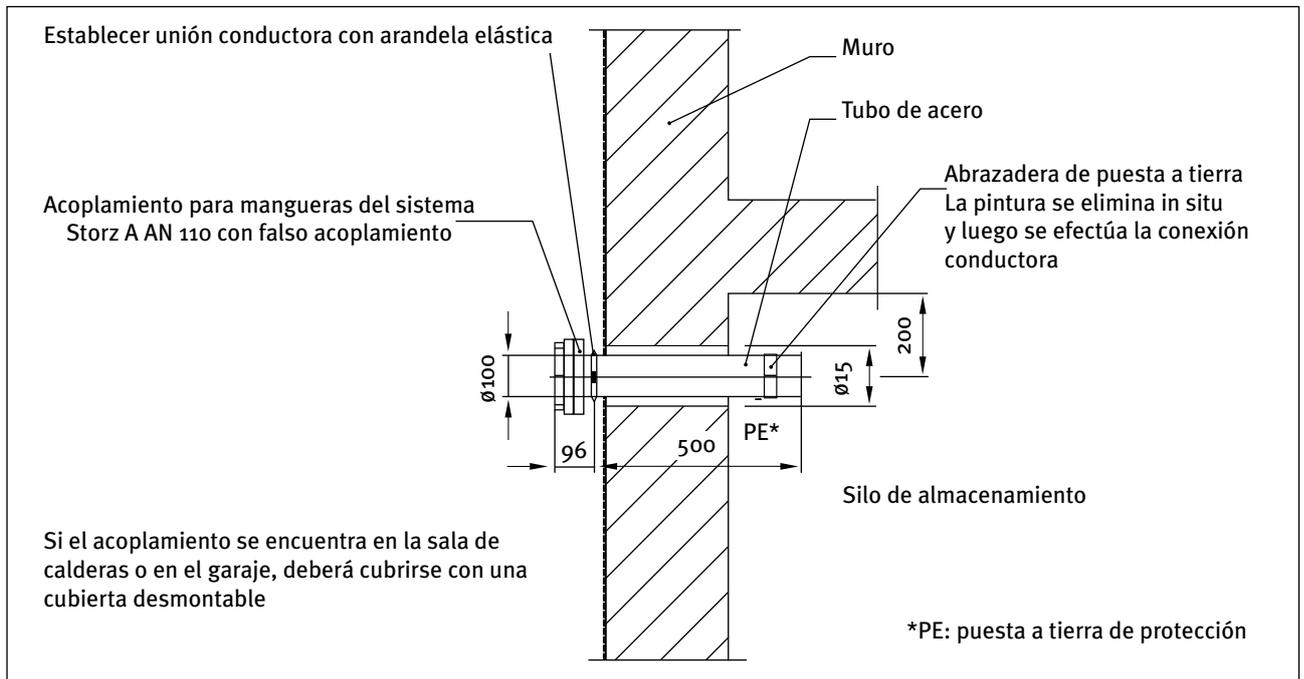


Figura 11: Detalle de conexión necesaria para una recarga neumática mediante camión cisterna

Para el proceso de llenado libre de polvo, se debe dotar al equipo de succión con un filtro antipolvo y debe tener la capacidad suficiente.

- *Tiempo de carga y descarga*

El tiempo aproximado de carga y descarga de un camión completo de 15 toneladas es de 30 minutos para cada proceso, adicionalmente 20 minutos de preparación.

- *Capacidad*

Existen cisternas de todos los volúmenes, aunque las más típicas se sitúan en torno a los 20-25 m³. Su peso suele superar las 16 toneladas y su altura oscila entre los 3,5 y los 4 m. La Figura 14 muestra como ejemplo los planos de un camión cisterna con la cuba dividida en tres tanques de 6 m³ de capacidad cada uno.

- *Cisterna*

La cisterna cuenta con varias bocas de salida para vaciar el camión de manera homogénea, evitando la formación de bóvedas y montículos.

Además, el camión cuenta con otras tantas bocas de entrada, que caen directamente sobre el vértice de un cono, haciendo así que el reparto por la cisterna del camión sea homogéneo.



Figura 12: Recarga de silo mediante camión cisterna neumático

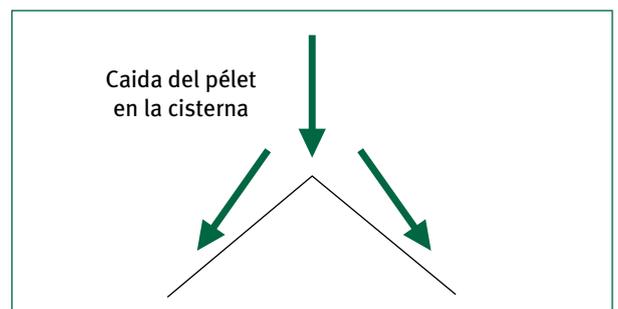


Figura 13: Distribución del pélet en la cisterna

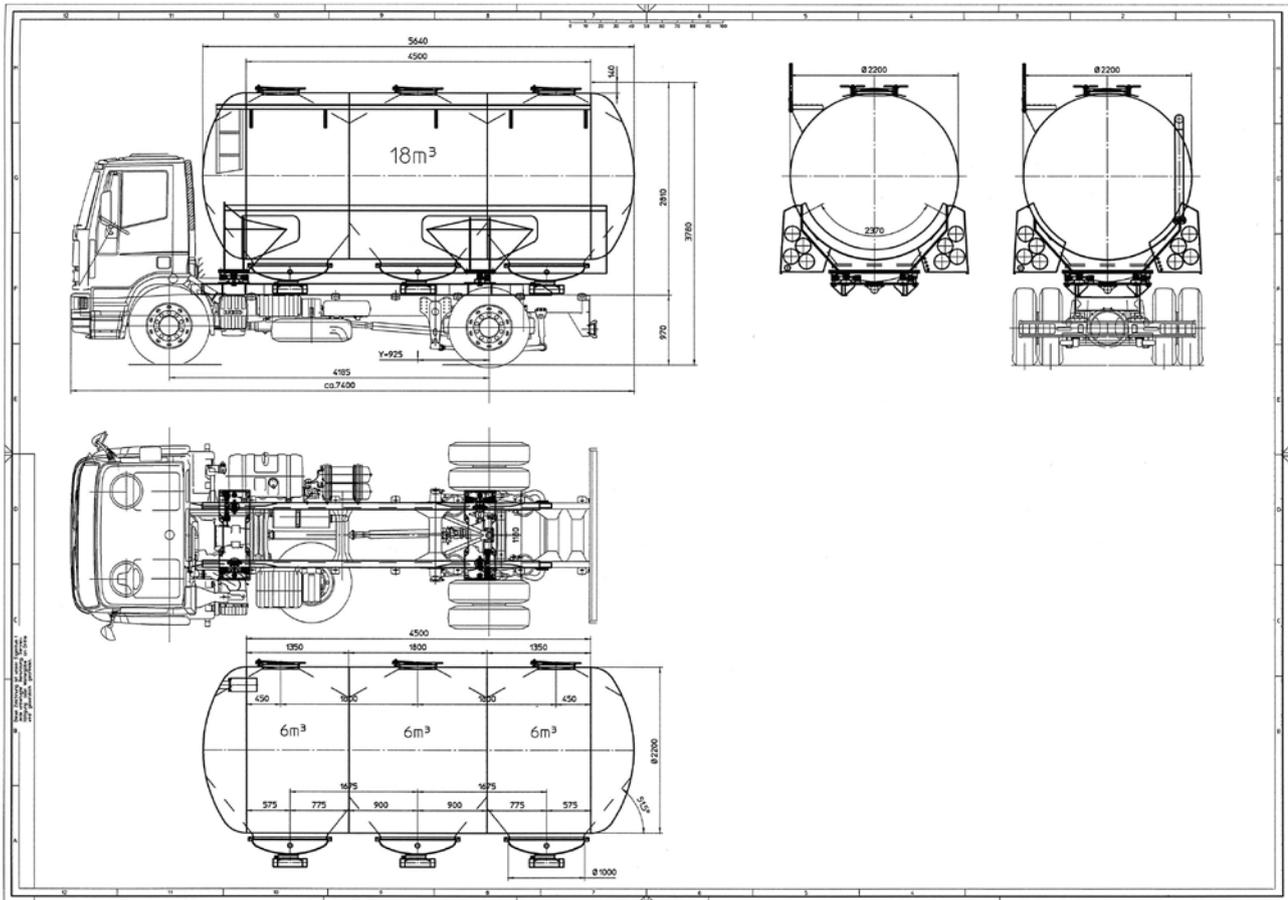


Figura 14: Planos de un camión cisterna de suministro de biomasa

Elección del suministro según el tipo de combustible y el tamaño del silo

Los distintos tipos de sistemas de distribución ofertados por los suministradores se utilizan con uno u otro tipo de combustible atendiendo principalmente al tamaño del mismo. La Tabla 19 recoge esquemáticamente esta división.

Tipo de combustible	Sistema de suministro	
Pélets	Bolsas	Pequeñas Grandes (big-bags)
	A granel	Volquete Camión cisterna Remolque de piso móvil
Astillas	Bolsas	Pequeñas Grandes (big-bags)
	A granel	Volquete Camión cisterna (algunas clases) Remolque de piso móvil
Residuos agroindustriales (huesos de aceitunas, cáscaras de almendras,...)	Bolsas	Pequeñas Grandes (big-bags)

(continuación)

Tipo de combustible	Sistema de suministro	
Residuos agroindustriales (huesos de aceitunas, cáscaras de almendras,...)	A granel	Volquete Camión cisterna Remolque de piso móvil
Leña	Bolsas	Grandes
	A granel	Volquete

Tabla 19: Sistemas de suministro según el tipo de combustible

De entre los sistemas de suministro existentes, el usuario deberá escoger el más adecuado a su situación. La principal restricción a la hora de tomar la decisión acertada es el tamaño tanto del silo de almacenamiento como

de los camiones de suministro disponibles. La Tabla 20 clasifica el sistema de suministro apropiado atendiendo al tamaño del silo disponible.

Tamaño del silo	Sistema de suministro	Comentarios	
> Camión de suministro	> Demanda para 1 temporada	Recargar el silo en verano con tantos camiones como sean necesarios hasta alcanzar el combustible necesario para entre 1 y 1,5 temporadas	
	< Demanda para 1 temporada	Realizar la primera recarga en verano hasta llenar el silo al máximo. Recargas adicionales en invierno cuando haya espacio libre para vaciar camiones enteros	
< Camión de suministro	Sistema neumático, camión volquete o piso móvil	Realizar las recargas del silo vaciando parcialmente el camión. Al no vaciar el camión por completo, el precio del suministro se encarece	
	Bolsas	Grandes (Big-bags)	Para consumos bajos o moderados si no es posible el suministro de menos de un camión, si su precio resulta excesivo en comparación con las big-bags o si el acceso de camiones a la instalación no es posible o está prohibido
		Pequeñas	Para viviendas de bajo consumo

Tabla 20: Sistemas de suministro según el tamaño del silo

Elección del suministro según el tipo de caldera

El requisito básico para que un sistema de suministro sea aceptable para el usuario es el aseguramiento del suministro a medio y largo plazo con una calidad de la biomasa alta y constante y a un precio razonable. Si el usuario dispone de combustible propio, deberá

asegurarse de que éste es suficiente para garantizar el consumo de toda la temporada. De no ser así, le interesará igualmente la compra de combustible a proveedores, a ser posible del mismo tipo del que dispone.

Una vez garantizado el suministro, hay que distinguir los casos según el consumo y el tipo de silo de almacenamiento.

Tamaño de caldera	Consumo	Tipo de almacenamiento	Sistema de suministro	Ejemplos	Observaciones
Pequeña (viviendas unifamiliares)	Bajo	Almacenamiento propio tipo tolva	Bolsas pequeñas (15-25 kg)	Vivienda unifamiliar utilizada como segunda residencia	No se precisa gran espacio para almacenamiento. Precisa de una recarga diaria. La caldera puede ser vistosa y situarse en el salón. Puede ser interesante instalar solar térmica para ACS en verano
		Almacenamiento propio tipo tolva	Big bags (1.000 kg)		
	Todos	Almacenamiento de obra	Sistema neumático, volquete o remolque	Vivienda unifamiliar utilizada como residencia habitual	La caldera se sitúa en una habitación separada del almacenamiento. El almacenamiento se calcula para 1 ó 2 recargas anuales
		Contenedor	Sistema neumático		
		Silo flexible	Sistema neumático		
Grande (edificios de viviendas)	Todos	En superficie o en altura	Sistema neumático	Edificio sin terrenos aledaños o edificio ya construido con una habitación disponible para almacén	Debe asegurarse la disponibilidad de un camión cisterna para el suministro. La distancia máxima del sistema neumático de carga es de 40 metros
		Subterráneo o en sótano	Sistema neumático	Silo no accesible directamente o suministro a distancia para evitar el acceso hasta el mismo almacenamiento (por ejemplo, en el caso de que para acceder al silo hubiese que atravesar un jardín)	
			Volquete	Trampilla del silo accesible directamente por el camión de suministro	Asegurar que el volquete tiene acceso directo al punto de suministro
			Remolque de piso móvil	Trampilla del silo accesible directamente por el camión de suministro	Asegurar que el remolque tiene acceso directo al punto de suministro

Tabla 21: Sistemas de suministro en función del tipo de almacenamiento y del consumo

3.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Los requisitos indispensables para los sistemas de almacenamiento de biocombustibles sólidos vienen descritos detalladamente en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, en su versión más actual (RITE-2007). Algunas Comunidades Autónomas, además, añaden unos requisitos adicionales para las instalaciones en edificios alimentados con biomasa.

El lugar destinado al almacenamiento de los biocombustibles sólidos debe estar destinado exclusivamente para este uso, pudiendo hallarse dentro o fuera del edificio. Cuando el almacenamiento esté situado fuera del edificio podrá construirse en superficie o subterráneo, pudiendo utilizarse también contenedores específicos de biocombustible.

La elección del sistema y el volumen de almacenamiento depende de varios factores: características de los sistemas de distribución y suministro de biomasa, necesidad anual de biomasa, espacio disponible para caldera y almacén, etc. En el caso de edificios nuevos, independientemente del tipo de almacenamiento elegido, éste debe disponer de una capacidad mínima suficiente para cubrir el suministro de biomasa correspondiente a dos semanas de máximo consumo para calderas o conjuntos de calderas.

En edificios de nueva construcción las calderas precisan de un silo de almacenamiento en una habitación distinta a la sala de calderas y dedicada exclusivamente a ese fin. Desde el silo, bien en superficie o subterráneo, el combustible es transportado hasta la caldera.

El sistema de almacenamiento tiene una influencia directa sobre el tipo de transporte y los sistemas de suministro. Los silos sobre el terreno necesitan vehículos de suministro que puedan descargar lanzando el combustible sobre la pila mientras que los silos subterráneos con trampilla de acceso se podrían llenar con cualquier tipo de vehículo volquete, o caja basculante.

Básicamente, los tipos de almacenamiento pueden dividirse en almacenamientos prefabricados y almacenamientos de obra, ya sean de nueva construcción o habitaciones existentes previamente adaptadas para su nuevo uso. Los prefabricados se utilizan normalmente para biomasa de pequeño tamaño, como el pèlet y el hueso de aceituna, mientras que los de obra se utilizan también para astillas o cáscaras de frutos secos.

La Tabla 22 presenta de forma esquemática las diversas posibilidades dentro de cada grupo:

Tipo de almacenamiento	Tipo de almacenamiento	Sistema de carga del silo	Sistema de alimentación de la caldera	Observaciones
Almacenamiento prefabricado	Contenedor o tolva exterior	Sistema neumático	Tornillo sinfín o sistema neumático	Normalmente se utiliza en viviendas unifamiliares
	Silo flexible	Sistema neumático o semiautomático	Tornillo sinfín o sistema neumático	Capacidad de entre 2 y 5 toneladas. Para viviendas unifamiliares o pequeños edificios (calderas de < 40 kW). Puede ser de lona o de polipropileno
	Depósito subterráneo	Sistema neumático	Sistema neumático	Tanto en viviendas unifamiliares como en grandes instalaciones.
	Tolva o almacenamiento integrado	Semiautomático	Semiautomático	Almacenamiento integrado en la caldera. Pequeño tamaño (100-1.000 l)
Almacenamiento de obra (sala de nueva construcción o adaptación de una existente)	Con suelo inclinado de 2 lados	Sistema neumático o descarga directa a través de trampilla	Tornillo sinfín o sistema neumático	No necesita agitador
	Con suelo inclinado de 1 lado	Sistema neumático o descarga directa a través de trampilla	Tornillo sinfín o sistema neumático	Agitador sólo hasta 25°. A mayor ángulo de inclinación, mayor espacio muerto bajo los lados inclinados

(continuación)

Tipo de almacenamiento	Tipo de almacenamiento	Sistema de carga del silo	Sistema de alimentación de la caldera	Observaciones
Almacenamiento de obra (sala de nueva construcción o adaptación de una existente)	Con suelo horizontal	Sistema neumático o descarga directa a través de trampilla	Tornillo sinfín o sistema neumático	Con agitador siempre
		Descarga directa	Semiautomático	Para combustibles de tamaño o forma heterogénea como leña o briquetas, que son difíciles de automatizar

Tabla 22: Sistemas de almacenamiento de biomasa

Almacenamientos prefabricados

Los almacenamientos prefabricados están diseñados específicamente para combustibles de pequeña granulometría y estandarizados, como los pélets, las astillas e incluso los huesos de aceituna o las cáscaras de almendra.

Para combustibles de tamaño y forma heterogénea no existen silos prefabricados, sino que son necesarios almacenamientos de obra en los que almacenar el combustible.

- *Contenedor o tolva exterior*

Este sistema es la opción más razonable para usuarios que dispongan de poco espacio. Gracias a la dimensión del contenedor (de hasta 3.000 kg) se pueden conseguir largos periodos de autonomía de la caldera. Se sitúan al lado del edificio y la caldera, y permiten un transporte modular sencillo. Estos sistemas son de fácil instalación y no exigen realizar una obra para adecuar un silo, aunque su disponibilidad a nivel nacional es todavía escasa. Su llenado se realiza mediante un sistema neumático y la alimentación

de combustible a la caldera puede ser también neumática, o mediante un tornillo sinfín.

Si no son adaptados para el tipo de biomasa a almacenar, pueden no cumplir todos los requisitos de un depósito de combustible idóneo: facilidad de llenado, buena ventilación, etc. Sin embargo, bajo ciertas circunstancias pueden ser un medio práctico de almacenar biomasa.

- *Silo flexible*

De lona o de polipropileno, este sistema es óptimo en lugares en los que haya espacio suficiente para su instalación. El silo está soportado por una estructura metálica permeable al aire pero no al polvo y conectada a tierra para evitar cargas electrostáticas. Se rellena de biomasa por la parte superior y la descarga para la alimentación a la caldera es por la parte inferior mediante un tornillo sinfín o un sistema neumático. De forma cuadrada o rectangular, la capacidad de estos silos está entre 2 y 5 toneladas de combustible. Este tipo de almacén tiene la ventaja de poder utilizar habitáculos disponibles y adaptarlos de forma sencilla al almacén.

Se puede instalar tanto en el interior como en el exterior del edificio. En el primer caso, la humedad normal de las paredes de las bodegas y sótanos no representa un problema para el óptimo almacenamiento dentro del silo flexible. De todos modos, es aconsejable que el tejido no esté apoyado contra paredes húmedas.

Si el silo está situado en el exterior, es necesario protegerlo frente a la lluvia y los rayos ultravioletas. Es también necesario asegurarse de que el piso pueda sostener el peso del silo lleno y soportar el viento. Unas bases de hormigón de 50 cm de alto x 50 cm de largo x 50 cm de profundidad en la base de cada poste del silo flexible son suficientes para tal fin.



Figura 15: Tolva exterior con alimentación mediante tornillo sinfín



Figura 16: Silo flexible

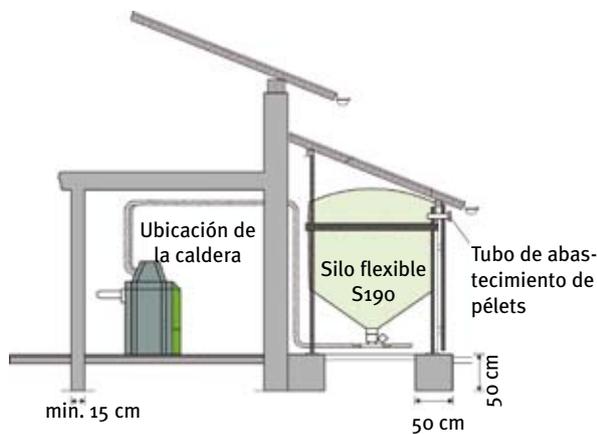


Figura 17: Silo flexible ubicado en el exterior



Figura 18: Silo flexible con sistema de alimentación neumática

- **Depósito subterráneo**

Cuando no existe espacio suficiente para el almacenamiento del combustible, se podrá utilizar este tipo de depósito en el exterior de la vivienda que mediante un sistema neumático o tornillo

sinfín transporta la biomasa a la caldera. El depósito debe ser resistente tanto a la corrosión como al paso del tiempo por la complejidad que entrañaría su sustitución. Es recomendable que la conexión del tanque subterráneo con la vivienda sea estanca y que se haga mediante un tubo corrugado, al menos a 300 mm de profundidad respecto al nivel del suelo, por el que pasen todos los conductos del sistema.

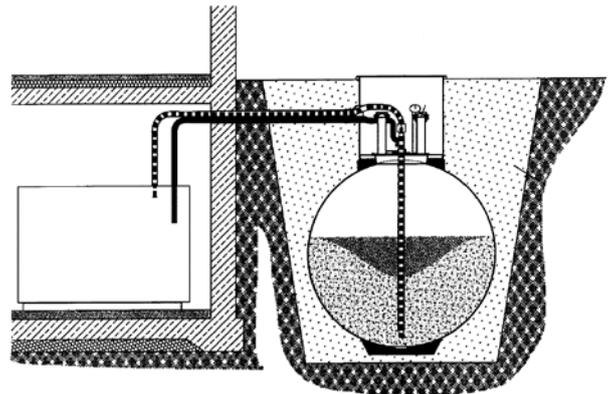


Figura 19: Depósito subterráneo para pélets
Fuente: Norma austriaca ÖNORM M7137



Figura 20: Depósito subterráneo para pélets

- **Tolva o almacenamiento integrado**

Algunos sistemas de calefacción disponen de un almacenamiento intermedio de tipo tolva o integrado en la caldera, que en calderas de baja potencia puede ser único. Su ventaja reside en el poco espacio que ocupa, junto con su elevada integración con la caldera, y se recomienda su uso en el caso de no disponer de suficiente espacio para un almacenamiento independiente. La principal desventaja es su menor capacidad, aunque esto puede no ser problemático si se dispone de suministro habitual. Existen almacenamientos integrados en calderas de hasta 40 kW, con capacidades de hasta 2 m³.



Figura 21: Almacenamiento integrado con la caldera

Almacenamientos de obra

Los almacenamientos de obra son salas de nueva construcción o salas existentes adaptadas para su uso como silo de biomasa. Su característica más importante es la ausencia de humedad, ya que ésta hace que la biomasa aumente de volumen y pierda parte de sus propiedades como combustible. Si no se puede garantizar la ausencia de humedad es preferible elegir un almacenamiento prefabricado de tipo silo flexible o depósito subterráneo.

En el caso de combustibles de pequeña granulometría como pélets, astillas o huesos de aceituna existen silos de almacenamiento específicos que incluyen sistemas automáticos de alimentación de la caldera.

Para todos ellos se recomienda que la puerta que da acceso al almacenamiento tenga las siguientes características:

- Estanqueidad al polvo para evitar la filtración de finos a otras habitaciones.
- En caso de suministro neumático al silo, la puerta debe situarse bajo el nivel de las toberas ya que el combustible se almacena preferentemente en el lado opuesto. Si el llenado es por descarga directa, la puerta estará en el lado opuesto a la trampilla de carga por las mismas razones.
- Dispositivo interior de contención para evitar la salida de la biomasa al abrir la puerta. Suele consistir en varios listones de madera unos encima de otros, que se pueden ir deslizando hacia arriba y sacándose hasta ver la altura de la biomasa almacenada.

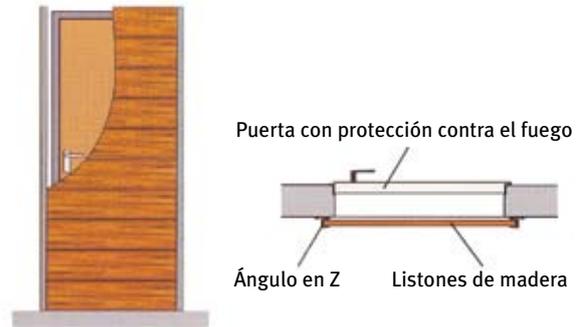


Figura 22: Puerta de acceso al silo con dispositivo interior de contención

- Apertura hacia fuera y mirilla o ventana pequeña para poder realizar la inspección visual del silo sin abrir la puerta.
- *Con suelo inclinado de dos lados*

Esta solución es recomendable en silos rectangulares en los que un rascador no podría barrer toda el área del silo. Se colocan dos falsos suelos inclinados para que el pélet almacenado entre ellos se deslice por gravedad hasta el tornillo sinfín que transporta el combustible a la caldera o hasta el sistema de alimentación neumática que permite que el silo esté situado hasta a 30 m de la caldera. El tornillo sinfín, en codo, consta a su vez de un tornillo rígido de extracción, que es el que está en el silo propiamente dicho, y de uno elevador, que salva el desnivel entre el final del tornillo de extracción y la entrada de biomasa a la caldera. Es recomendable una inclinación de las rampas de entre 35 y 45° para facilitar el vaciado del silo. La desventaja principal de este sistema radica en los espacios muertos existentes debajo de las rampas inclinadas, lo que hace que sólo alrededor de 2/3 del total del volumen del silo sea útil como almacenamiento. Es muy importante la inclinación y altura de las rampas, pues la biomasa puede atascarse si el diseño no es el adecuado.



Figura 23: Almacenamiento con suelo inclinado de dos lados y tornillo sinfín en codo

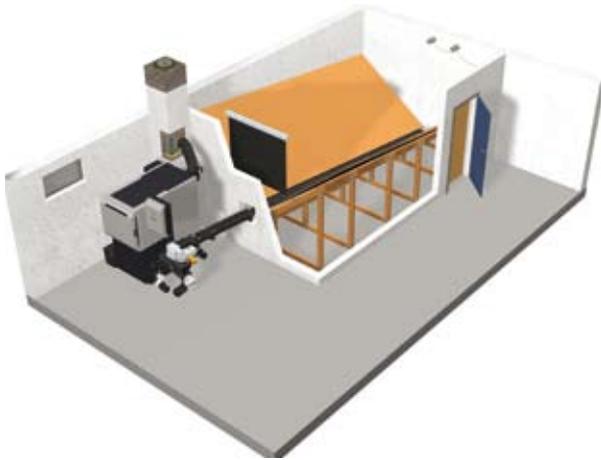


Figura 24: Almacenamiento con dos lados inclinados

- *Con suelo inclinado de un lado*

Se trata del sistema idóneo para silos cuadrados. La inclinación del suelo determina la necesidad de rascadores. Una menor inclinación implica mayor espacio de almacenamiento pues se desaprovecha menos espacio bajo la rampa inclinada, pero conlleva la necesidad de la utilización de rascadores, con su consiguiente coste, ya que la fuerza de la gravedad no es suficiente para suministrar biomasa de una manera continua al sistema de alimentación de la caldera (tornillo sinfín o sistema neumático). En estos casos la inclinación de la rampa y la posición de la caldera se diseñan de tal manera que el tornillo sinfín de extracción conecta directamente con la entrada de biomasa a la caldera, haciendo innecesaria la instalación de un tornillo elevador, como en el caso de los silos con dos suelos inclinados. A partir de un cierto ángulo de inclinación no pueden utilizarse rascadores ya que se generarían fuertes irregularidades en su funcionamiento debido a la diferencia de fuerzas que debería ejercer en la parte inferior y superior del almacenamiento.

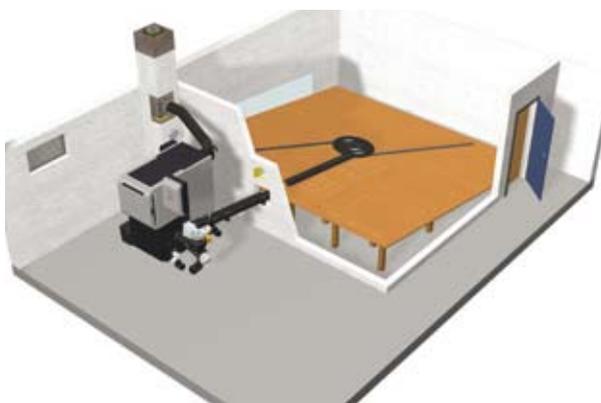


Figura 25: Almacenamiento con suelo inclinado de un lado y tornillo sinfín recto

- *Con suelo horizontal*

Es la opción más acertada cuando se dispone de poco espacio disponible o el combustible tiene poca densidad. El suelo plano necesita de rascadores horizontales hidráulicos, lo que implica un mayor coste pero optimiza el volumen del silo. Los rascadores giratorios (lamas de acero) son más económicos y pueden utilizarse con una gran variedad de combustibles (piña troceada, astillas de madera, etc.). El sistema de alimentación de la caldera puede ser tanto por tornillo sinfín como mediante un sistema neumático. Conviene que el silo de almacenamiento sea redondo o cuadrado para evitar espacios muertos.

Dimensionamiento del silo

A la hora de diseñar el tamaño de un silo de almacenamiento nuevo, deben tenerse en cuenta factores tan diversos como la carga térmica a cubrir, el tipo de combustible elegido, el espacio disponible, el tamaño del camión de recarga o la fiabilidad del suministro, por citar sólo los más importantes.

No obstante, en los casos en los que ya existan salas de almacenamiento, se recomienda adaptar el sistema de suministro de combustible al silo existente. De esta forma se aprovecha el espacio existente y se evita incurrir en los gastos que conlleva la construcción de un nuevo silo. En estos casos, el tamaño del silo está limitado por la sala disponible. Si el volumen de la sala es reducido respecto a las necesidades de la instalación, se recomienda optimizar el volumen disponible mediante un suelo horizontal con rascador hidráulico. De esta forma se aprovecha al máximo el volumen disponible, evitándose los suelos muertos existentes debajo de las rampas en los silos con suelos inclinados.

Para silos de almacenamientos nuevos se recomienda al menos un volumen equivalente a una de las siguientes condiciones, según el caso de aplicación más razonable de acuerdo con la situación específica de la instalación:

- 1 temporada de funcionamiento de la instalación: así sólo es necesario recargar el silo una vez al año.
- 1,5 veces el volumen del camión de suministro: de esta manera es posible recargar el silo con un camión completo antes de que se acabe el combustible.
- 2 semanas de consumo máximo de combustible: éste es el volumen mínimo exigido por el RITE para edificios de nueva construcción.

El volumen total que alcanza el silo en cada uno de estos casos depende directamente de la densidad de la biomasa elegida para el sistema de calefacción y ACS, por lo que no es posible dar valores indicativos generales.

En el caso concreto de los pélets, los huesos de aceituna y las astillas de madera es más factible la indicación de dimensiones orientativas gracias a su mayor grado de estandarización. La Tabla 23 puede utilizarse para

obtener una primera aproximación sobre el volumen de silo necesario para cubrir la demanda de energía térmica para una temporada entera o para dos semanas, el mínimo exigido por el RITE para almacenamientos de edificios de nueva construcción.

Como ratio estimativo, para 1 kW de potencia instalada son necesarios alrededor de 200-250 kg de pélets o huesos de aceituna anuales, que equivalen a unos 900 kWh.

Tipo de biomasa	Densidad aparente (kg/m ³)	Poder Calorífico Inferior (kJ/kg)	Volumen de combustible (m ³ /kW)	Volumen del silo (m ³ /kW)			
				Suelo inclinado de 1 ó 2 lados		Suelo horizontal	
				por temporada	por semana	por temporada	por semana
Pélets de madera o huesos de aceituna	650	18.000	0,30	0,48	0,023	0,40	0,019
Astillas de madera	250	13.000	1,10	1,77	0,084	1,44	0,069

Nota: se considera 1 temporada de invierno = 1.500 horas

Tabla 23: Volumen de almacenamiento necesario por kW de potencia instalada

Tipo de biomasa	Área del silo para altura de 2,50 m (m ²)			
	Suelo inclinado de 1 ó 2 lados		Suelo horizontal	
	por temporada	por semana	por temporada	por semana
Pélets de madera o huesos de aceituna	0,19	0,009	0,16	0,008
Astillas de madera	0,71	0,033	0,58	0,027

Nota: se considera 1 temporada de invierno = 1.500 horas

Tabla 24: Área del silo para una altura de 2,5 m

Los valores de las tablas anteriores ya incluyen el sobredimensionamiento del silo para considerar dos factores muy importantes:

- La posibilidad de recargar el silo con una cisterna entera sin tener que esperar a que esté completamente vacío.
- El desaprovechamiento de espacio debajo de los lados inclinados, si los hubiera. Tanto en el caso de un solo suelo inclinado como en el de dos, el

volumen de almacenamiento desperdiciado debajo del falso suelo es similar, por lo que el tamaño del silo necesario es el mismo.

Para otros tipos de combustible es posible hacer un cálculo aproximado similar si se conoce su densidad aparente y su poder calorífico inferior. Así, el volumen de almacenamiento necesario por kW de potencia térmica a aportar se puede obtener de las fórmulas empíricas siguientes:

Para 1 temporada:

$$V_{\text{alm, horizontal}} = \frac{4,7 \cdot 10^6}{\text{PCI} \cdot \rho_{\text{ap}}} \quad V_{\text{alm, inclinado}} = \frac{5,8 \cdot 10^6}{\text{PCI} \cdot \rho_{\text{ap}}} \quad V_{\text{comb}} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{\text{PCI} \cdot \rho_{\text{ap}}}$$

$V_{\text{alm, horizontal}}$: Volumen de almacenamiento de suelo horizontal (m³/kg).

$V_{\text{alm, inclinado}}$: Volumen de almacenamiento de suelo inclinado (m³/kg).

V_{comb} : Volumen de combustible (m³/kg).

PCI : Poder Calorífico Inferior (kJ/kg).

ρ_{ap} : Densidad aparente (m³/kg).

Nota: se considera 1 temporada = 1.500 horas

Fórmula 1: Volumen de almacenamiento necesario para cualquier combustible para una temporada completa

Para 1 semana

$$V_{alm, horizontal} = \frac{220 \cdot 10^3}{PCI \cdot \rho_{ap}} \quad V_{alm, inclinado} = \frac{270 \cdot 10^3}{PCI \cdot \rho_{ap}} \quad V_{comb} = \frac{170 \cdot 10^3}{PCI \cdot \rho_{ap}}$$

$V_{alm, horizontal}$: Volumen de almacenamiento de suelo horizontal (m³/kg).

$V_{alm, inclinado}$: Volumen de almacenamiento de suelo inclinado (m³/kg).

V_{comb} : Volumen de combustible (m³/kg).

PCI : Poder Calorífico Inferior (kJ/kg).

ρ_{ap} : Densidad aparente (m³/kg).

Nota: se considera 1 temporada = 1.500 horas

Fórmula 2: Volumen de almacenamiento necesario de cualquier combustible para una semana

Es importante destacar que todos los valores indicados previamente han sido obtenidos aplicando criterios muy conservadores, por lo que cubrirán holgadamente la demanda térmica durante el periodo de tiempo indicado. Estos valores tienen un carácter indicativo.

Los coeficientes 0,77 y 0,62 de las fórmulas del cálculo de la energía almacenada en el silo son valores empíricos.

Cálculo de la energía almacenada en el silo

En cualquier momento puede ser interesante conocer la cantidad de energía almacenada en el silo, la cual depende lógicamente del tipo de combustible y el estado de llenado del silo en ese momento.

Para cualquier tipo de biomasa y silo de suelo horizontal, este valor puede obtenerse aplicando la siguiente fórmula:

$$E = 0,77 \cdot PCI \cdot A_{silo} \cdot h_{comb} \cdot \rho_{ap}$$

E: Energía almacenada (kJ).

PCI: Poder Calorífico Inferior del combustible almacenado (kJ/kg).

A_{silo} : área del silo de almacenamiento (m²).

h_{comb} : altura que alcanza el combustible almacenado en el silo (m).

ρ_{ap} : densidad aparente del combustible almacenado (kg/m³).

Esquemas de salas de almacenamiento

Almacenamientos prefabricados

- *Silo flexible*

Las medidas en planta de la sala donde se sitúe el silo flexible deben ser al menos 7-10 cm más largas que las del silo flexible. Por exigencias de instalación es necesaria una distancia adicional de 30 cm de separación entre el silo flexible y la pared por donde entrará (y será acoplado al silo flexible) el tubo de abastecimiento. La altura del cuarto destinado al montaje del silo flexible debe ser por lo menos de 220 cm.

La resistencia al fuego de las paredes y del techo del cuarto destinado al montaje del silo flexible y del cuarto donde vendrá instalada la caldera deberán estar en conformidad con la normativa vigente de construcción y antiincendio de locales.

Plano de instalación del silo flexible

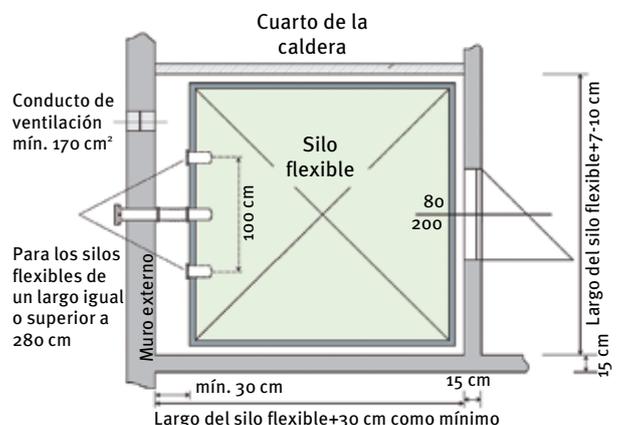


Figura 26: Dimensiones de la sala del silo flexible (planta)

Fórmula 3: Energía almacenada en un silo de suelo horizontal

Para almacenamientos de uno o dos lados inclinados y cualquier tipo de biomasa, el cálculo se presenta a continuación:

$$E = 0,62 \cdot PCI \cdot A_{silo} \cdot h_{comb} \cdot \rho_{ap}$$

E: energía almacenada (kJ).

PCI: Poder Calorífico Inferior del combustible almacenado (kJ/kg).

A_{silo} : área del silo de almacenamiento (m²).

h_{comb} : altura que alcanza el combustible almacenado en el silo (m).

ρ_{ap} : densidad aparente del combustible almacenado (kg/m³).

Fórmula 4: Energía almacenada en un silo de suelo inclinado

Plano transversal de instalación del silo flexible

- *Tolva o almacenamiento integrado*

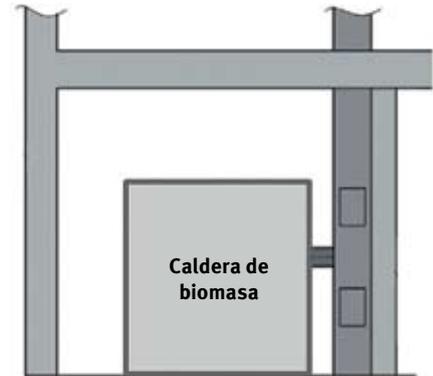
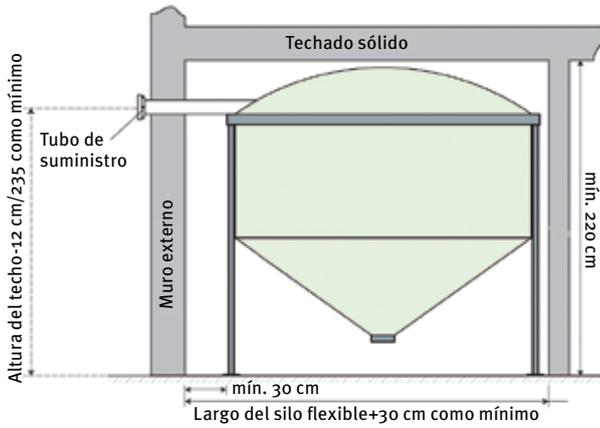


Figura 27: Dimensiones de la sala del silo flexible (alzado)

- *Depósito subterráneo*

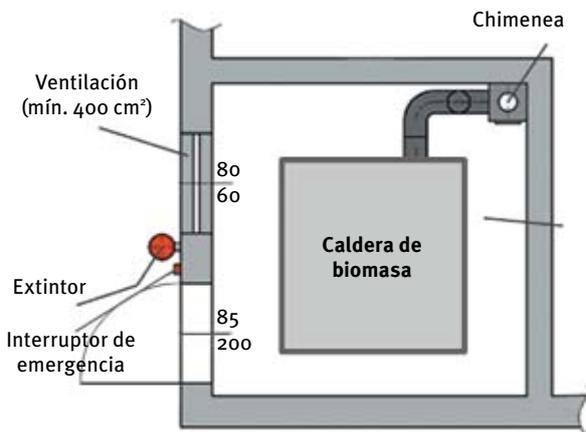
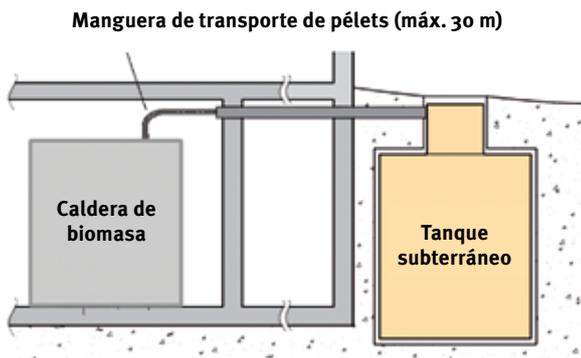


Figura 28: Depósito subterráneo con alimentación neumática

Figura 29: Almacenamiento integrado en la caldera

Almacenamientos de obra

- *Con suelo inclinado de 1 lado*

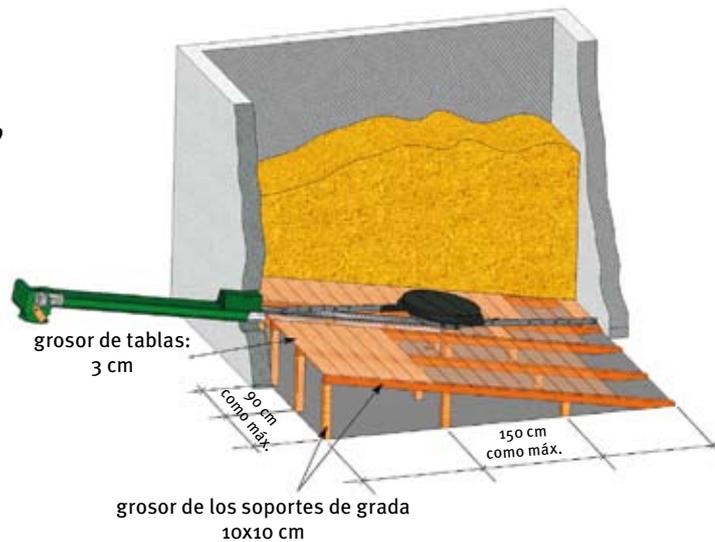


Figura 30: Almacenamiento con suelo inclinado

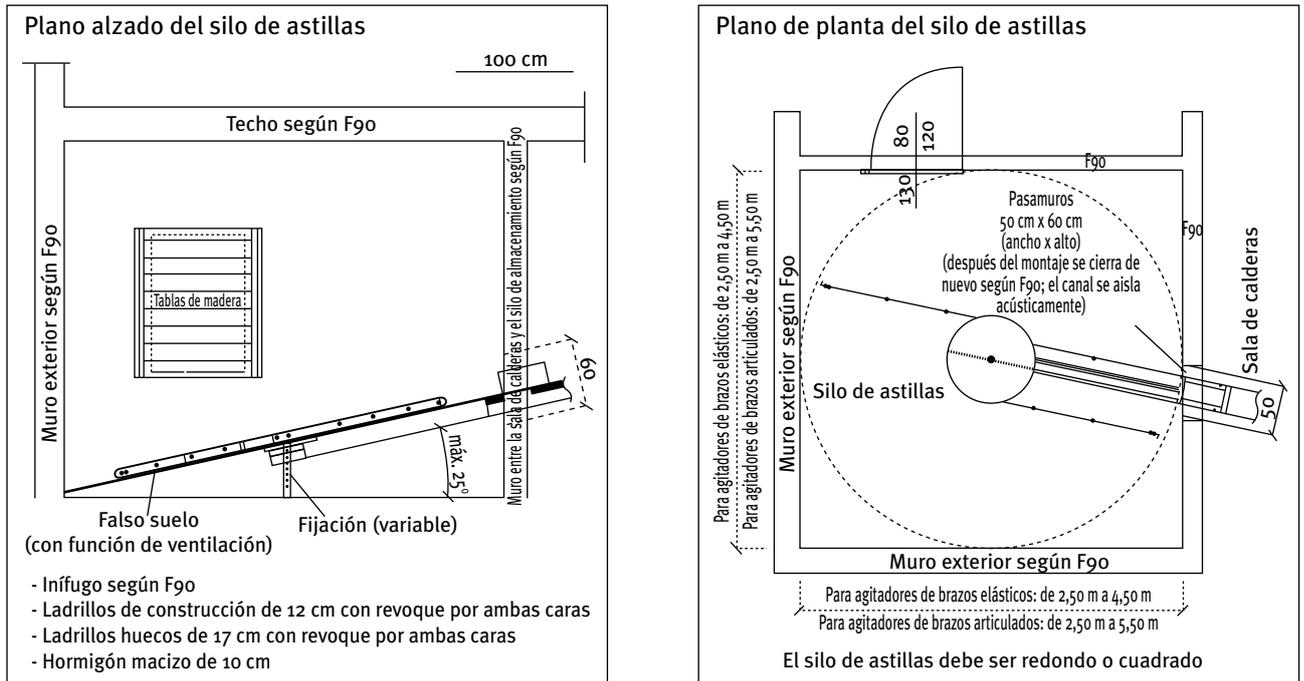


Figura 31: Silo de almacenamiento con un lado inclinado y agitador

- Con suelo horizontal

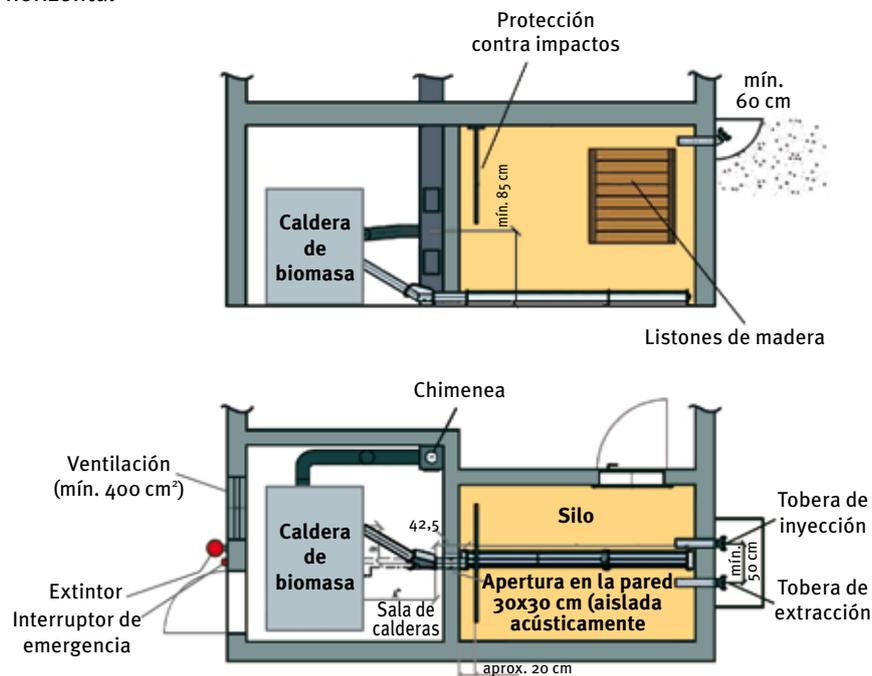


Figura 32: Silo de almacenamiento con suelo horizontal

3.4 SISTEMAS DE CARGA DEL SILO DE BIOMASA

Considerando los tipos de almacenamiento detallados en la sección anterior, los sistemas de carga de los mismos pueden clasificarse en tres grupos:

- Sistema semiautomático.

- Sistema de descarga directa.
- Sistema neumático.

En todos los casos, antes de la recarga conviene seguir unos pasos predeterminados para garantizar un correcto llenado y almacenamiento del combustible. Estos pasos están indicados en la tabla 25.

Comprobación	Descripción
Preparación del silo	Vaciado y limpieza en caso de cambio del tipo o tamaño del combustible
Estado de la caldera	Apagada
Estado del silo	Sistema de antirretorno cerrado
Combustible existente en el silo	Comprobación del tipo y estimación de la cantidad de combustible presente en el silo antes de la recarga

Tabla 25: Comprobaciones generales antes de la carga del silo

Sistema semiautomático

Es el caso de las tolvas y los almacenamientos integrados en la caldera. El propio usuario recarga dichos silos mediante bolsas pequeñas o provisiones almacenadas en otro lugar de la vivienda.

También existen silos flexibles que pueden ser recargados manualmente con sacos de pélets, como puede apreciarse en la figura 33.



Figura 33: Empalme para llenado manual de silo flexible

Sistema de descarga directa

Es el utilizado por volquetes y camiones de piso móvil para cargar los silos accesibles mediante trampillas en el suelo. El camión de suministro necesita tener acceso directo desde la entrada a la propiedad hasta la trampilla y suficiente espacio alrededor para dar la vuelta tras la descarga.

Es un sistema simple y económico, aunque genera polvo durante el suministro, y, además, hay que limpiar los restos del combustible al final de la recarga. La trampilla cuenta con una rejilla de acero que elimina la posibilidad de la caída de personas dentro del silo, pero con aberturas suficientemente amplias para el paso del combustible sin obstrucciones.

Se utiliza también para el suministro de biomasa de gran tamaño o forma heterogénea, como pueden ser la leña o las briquetas.

Sistema neumático

Cisternas equipadas con un sistema neumático de suministro se usan con gran éxito para la entrega de pélets a edificios y pequeñas centrales térmicas de barrio. Este sistema de suministro es cómodo y limpio, permitiendo rellenar un silo de almacenamiento mediante un tubo flexible desde distancias de hasta 40 m, aunque a partir de los 20 m el proceso de llenado se complica. El conductor del camión instala y desinstala el sistema de descarga en menos de 5 minutos, y el propio camión está equipado con un dispositivo de pesado para garantizar el suministro exacto de la cantidad demandada.

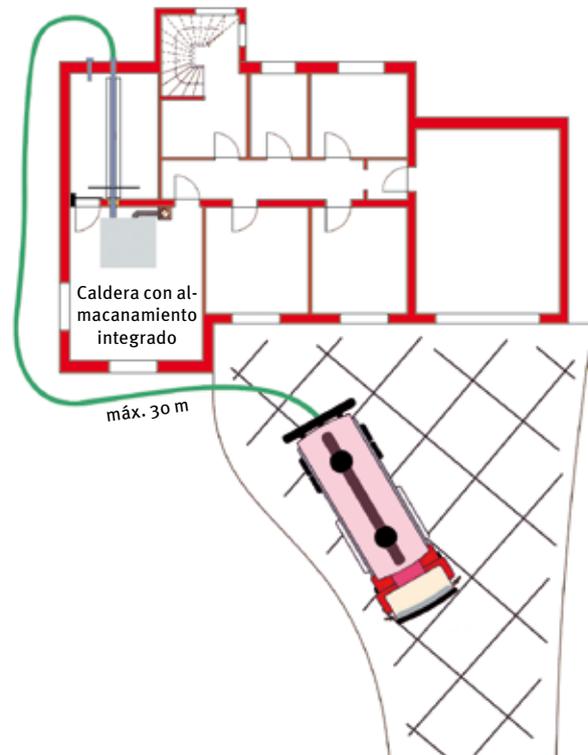


Figura 34: Suministro mediante sistema neumático a caldera con almacenamiento integrado, a través de recinto interior



Figura 35: Detalle toberas camión cisterna

El camión dispone de dos mangueras de llenado y de succión que se conectan a sendas toberas del silo. La manguera principal, de material antiestático para prevenir cargas electrostáticas, rellena el silo de pélets. Mientras tanto, la manguera de succión genera una ligera depresión que absorbe los finos introducidos inevitablemente por la manguera principal y evita la creación de una sobrepresión en el almacenamiento.

El equipo de succión dispone de un filtro antipolvo con capacidad suficiente para los finos absorbidos. No obstante, a pesar de la existencia de tales dispositivos, se debe situar el camión de suministro tan cerca del almacenamiento como sea posible ya que cuanto menor sea el recorrido de los pélets a través de la manguera menor será la cantidad de finos que entren en el silo.

En el caso del suministro neumático de biomasa, además de los pasos aconsejados en la tabla 25, conviene cumplir asimismo con las recomendaciones específicas para estos sistemas recogidas en la tabla 26.

Tarea	Observación
Abrir toberas de llenado y succión	Limpieza de las conexiones antes del acoplamiento de las mangueras con las toberas
Acoplamiento de las mangueras con las toberas	Anotación de la longitud de la manguera utilizada
Encendido del sistema de succión	Uso de filtros limpios y secos
Carga del silo	
Apagado del sistema de succión	
Desacoplamiento de las mangueras y las toberas	
Cierre de las toberas de llenado y succión	Limpieza de las conexiones antes del cierre

Tabla 26: Recomendaciones para la carga del silo mediante sistema neumático

• Características de las toberas

En cuanto a sus propiedades y disposición, deben atenderse las siguientes recomendaciones:

- Estar situadas en la misma pared y al menos a 20 cm del techo (medido entre el techo y el borde superior de la tobera). La pared debe ser la más corta del silo para así aprovechar mejor el espacio de almacenamiento. Además, es muy aconsejable que la pared dé directamente al exterior para reducir el recorrido del combustible por la manguera, evitar el paso de las mangueras por otras salas del edificio y garantizar una correcta extracción de aire. Si no es posible evitar el paso de la tobera por habitaciones adyacentes, ésta debe recubrirse con un aislante acústico y una placa de protección antiincendios.

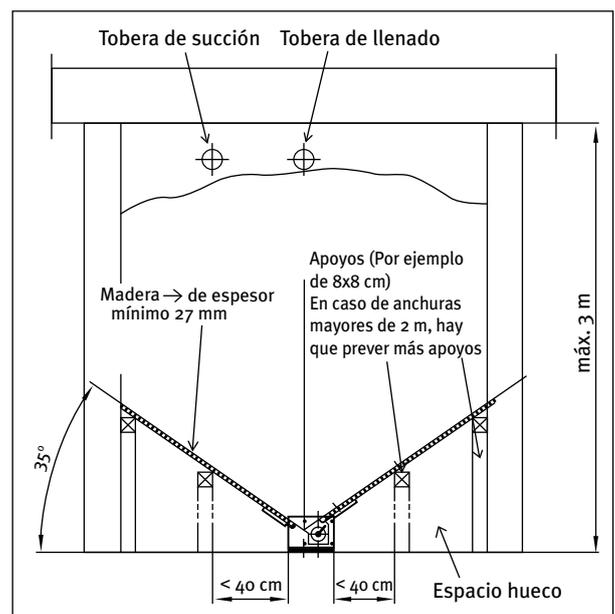


Figura 36: Disposición de las toberas en el silo

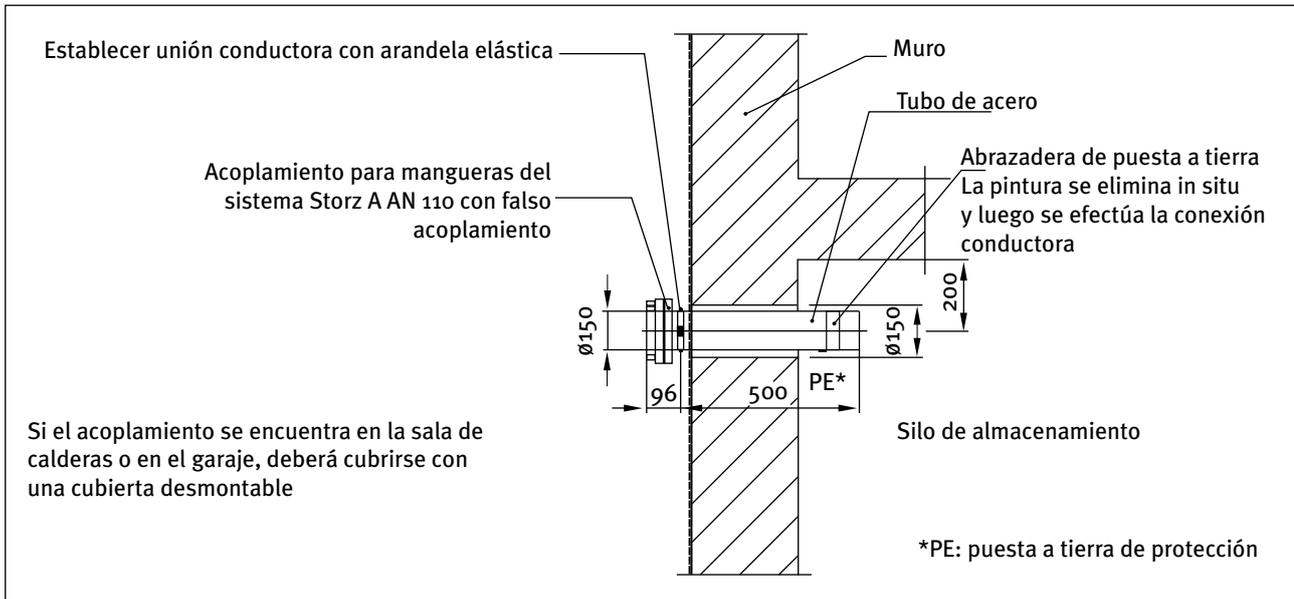


Figura 37: Montaje típico de la tobera de inyección

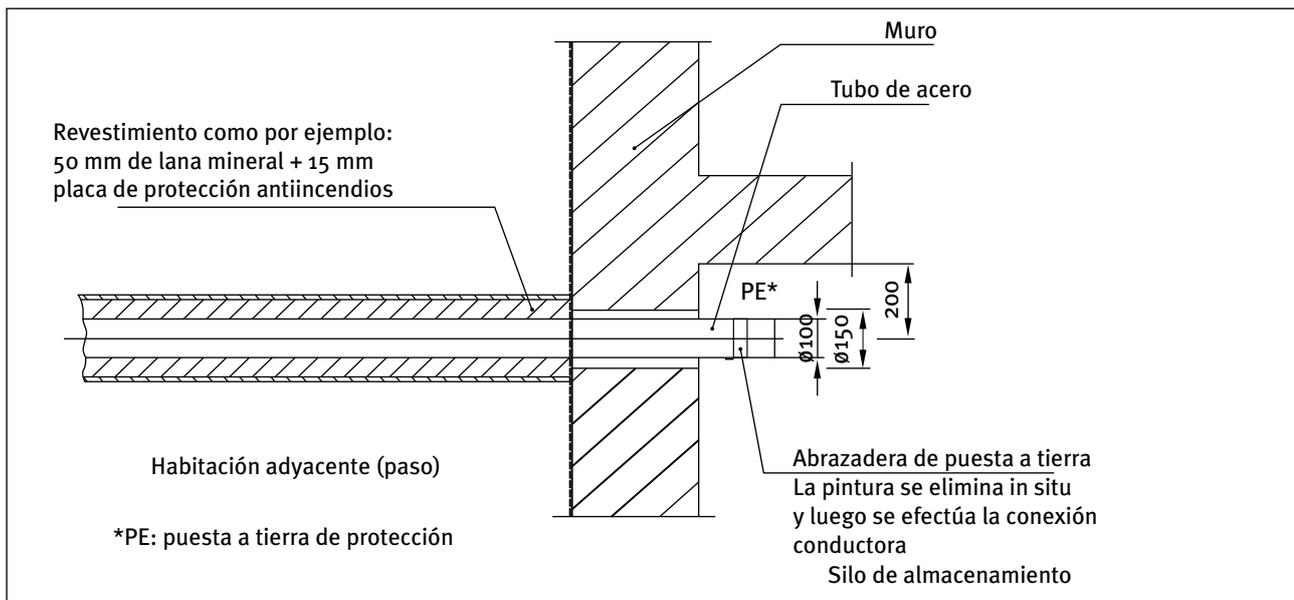


Figura 38: Montaje de la tobera de inyección en caso de que pase por otros recintos

- La tobera de llenado debe estar situada en el medio de la pared para garantizar una máxima simetría en la carga del silo y entrar unos 30 cm en el silo para asegurar la entrada del combustible en la dirección deseada. La tobera de llenado debe ser más larga que la de succión para prevenir cortocircuito del flujo.
- La tobera de succión debe estar alineada con la superficie de la pared por el interior.
- Las toberas deben ser metálicas y estar conectadas a tierra para evitar la aparición y los efectos de cargas electrostáticas. Además, deben ser resistentes a la corrosión y al paso del tiempo ya que no se prevé su recambio con el tiempo.
- Disponer de una tapa o cierre que debe estar permanentemente puesta excepto durante la carga del silo.
- Garantizar suficiente espacio libre alrededor de la toma exterior de las toberas para que su conexión con las mangueras no presente problemas. Si las toberas están situadas en un pozo de luz, sus tomas exteriores deben acabar en un codo hacia arriba para que sean fácilmente accesibles.

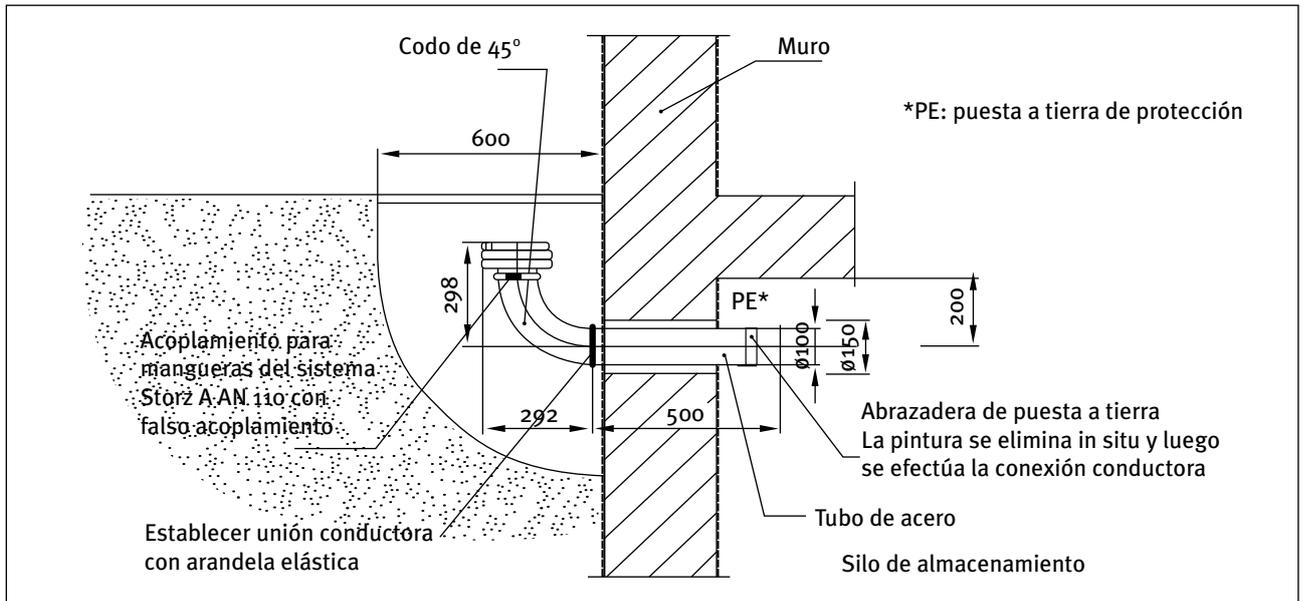


Figura 39: Montaje de la tobera de inyección para pozos de luz

Cuando no sea posible la disposición recomendada de la sala debido a razones arquitectónicas, se deberán adoptar soluciones alternativas como, por ejemplo, el

llenado a lo ancho con dos mangueras o el llenado en diagonal de una sala en la que sólo se puedan situar las toberas en el lateral más largo.

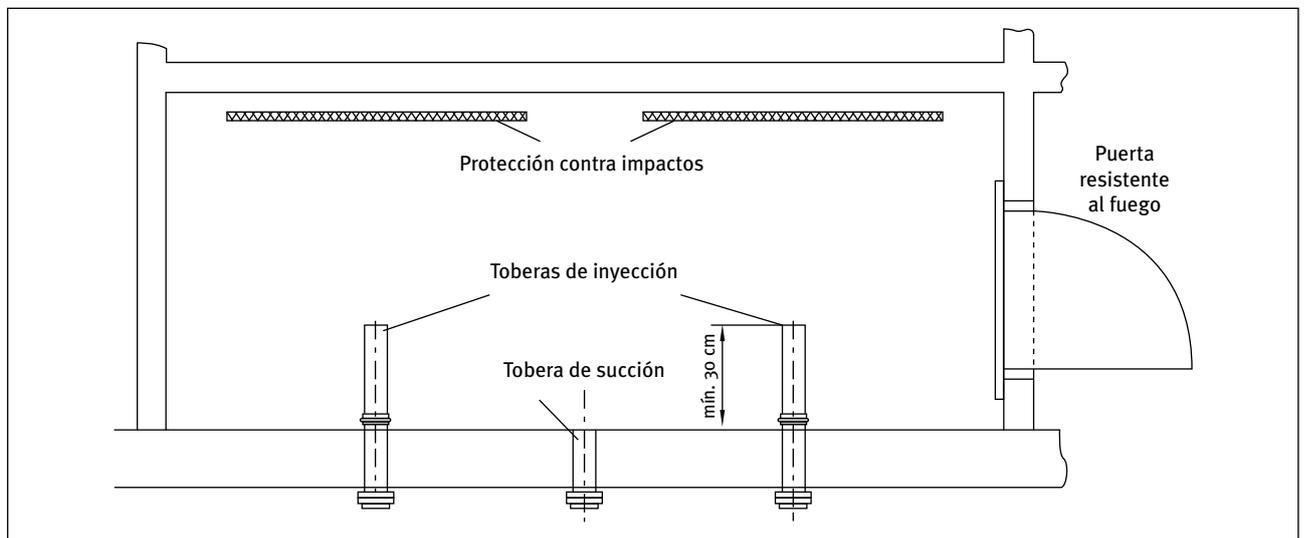


Figura 40: Silo con disposición de las toberas a lo ancho
Fuente: Norma austriaca Ö NORM M7137

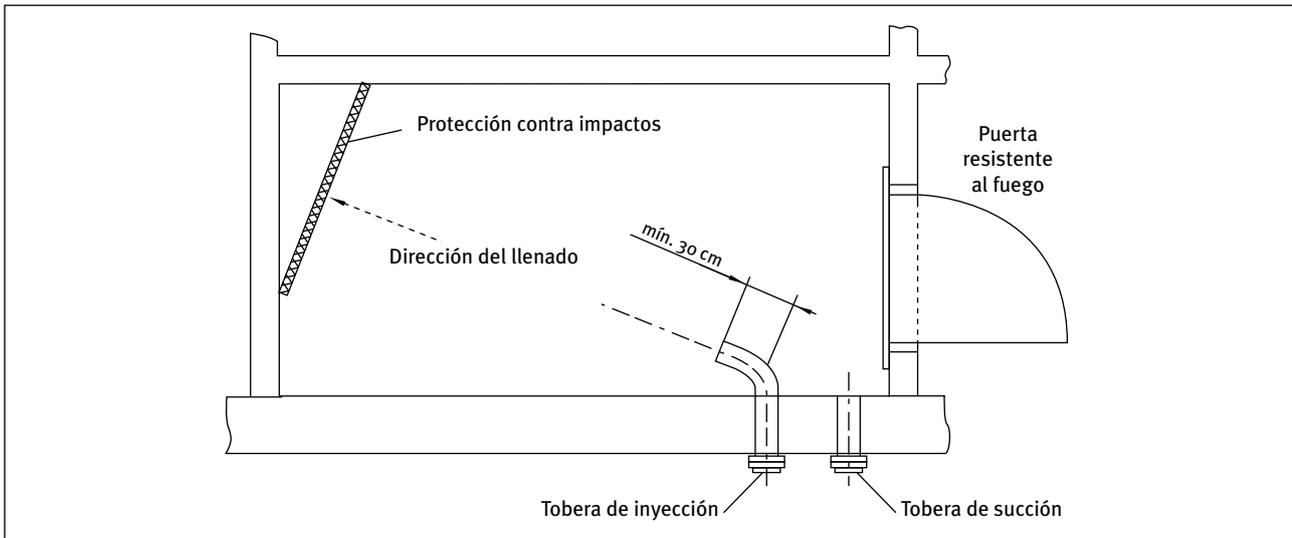


Figura 41: Silo con tobera en diagonal para un mejor llenado del espacio de almacenamiento
Fuente: Norma austriaca Ö NORM M7137

3.5 ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE DEL SILO A LA CALDERA

El combustible puede ser transportado desde el lugar de su almacenaje hasta la caldera mediante uno de los sistemas descritos a continuación. Independientemente del sistema elegido, éste tiene que limitar de alguna manera la granulometría máxima del biocombustible que se ha de mover, su densidad y el caudal, para poder fijar así un diseño y evitar bloqueos y otras incidencias.

Sistema manual

Este sistema es utilizado en calderas pequeñas con almacenamiento tipo tolva o integrado ya que estos

almacenamientos cumplen simultáneamente las funciones de silo de almacenamiento y depósito de la caldera previo a la combustión.

Tornillo sinfín

Los tornillos sinfín son sistemas mecánicos que conducen el combustible a lo largo de su longitud hasta el depósito que alimenta directamente a la caldera. En caso de estar situado en canal, como en el caso de un silo con dos lados inclinados, la biomasa desliza desde las paredes hasta el canal en toda su longitud, mientras que de estar situado en el interior de un tubo la biomasa entra solamente al principio del tornillo.



Figura 42: Tornillo sinfín

La Figura 43 muestra un ejemplo de la unión entre la caldera y el tornillo sinfín.

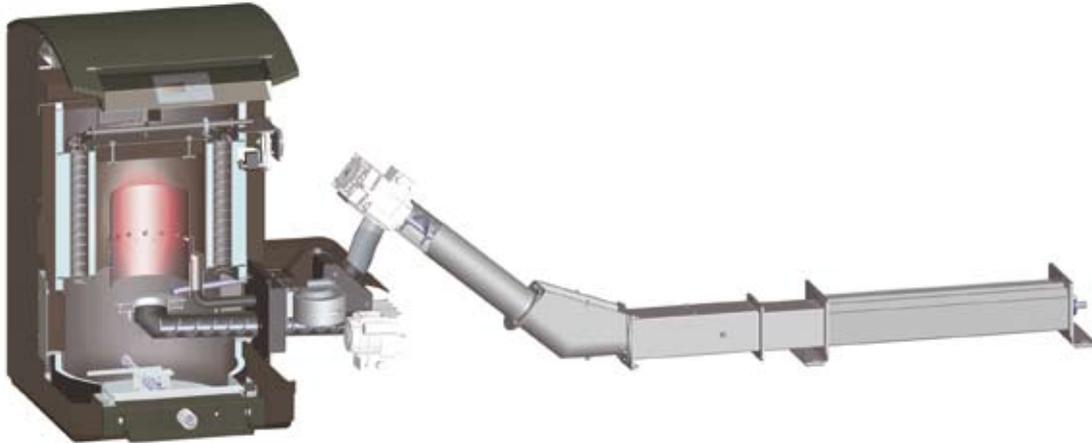


Figura 43: Unión entre caldera y tornillo sinfín

Los sistemas de alimentación mecánica basados en tornillos sinfín son susceptibles de quedar bloqueados por trozos de biocombustible que excedan el límite dimensional, especialmente cuando los tornillos sinfín están dentro de un tubo. El límite de la granulometría aceptada queda definido por el diámetro, el paso y el

eje del tornillo sinfín, así como por la distancia que hay entre el diámetro exterior del tornillo y el interior del tubo. En los casos de transporte por canal los bloqueos son menos frecuentes, aunque se han de utilizar motorizaciones sobredimensionadas debido al mayor caudal circulante.

Propiedades de los tornillos sinfín convencionales (rígidos y en codo)	
Capacidad de transporte (en horizontal, para pélets) (kg/h)*	3.500-18.000
Longitud máxima de transporte (m)	25-20
Diámetro exterior del tubo (mm)	100-200
Material de la pared del tubo	Acero galvanizado
Espesor de la pared del tubo (mm)	1,5-2

* Para pendientes de 45° la capacidad de transporte es un 30% menor

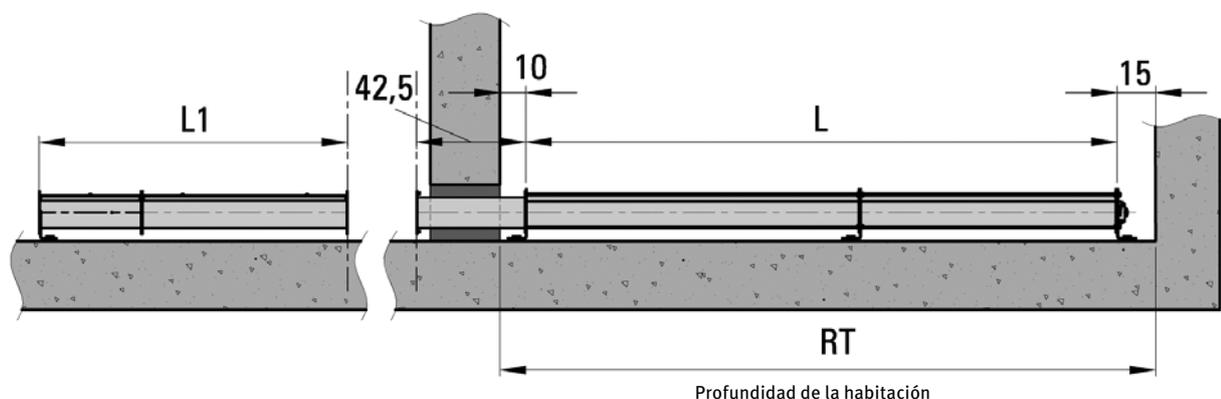
Tabla 27: Propiedades de los tornillos sinfín convencionales

- **Tornillo sinfín rígido**
Para silos cuadrados al lado o sobre la sala de calderas se recomienda el sistema de alimentación mediante agitador y tornillo sinfín. Este sistema no precisa mantenimiento y tiene un consumo propio mínimo. Una ventaja adicional es el aprovechamiento óptimo del volumen del silo.



Figura 44: Tornillo sinfín rígido

El dimensionamiento del sinfín rígido viene determinado por diferentes parámetros, como se muestra en la tabla siguiente.



Tornillo sinfín de alimentación

Tornillo sinfín de alimentación- $L=1.300$ mm; prof. mín. habitación: 1.550 mm

Tornillo sinfín de alimentación- $L=1.800$ mm; prof. mín. habitación: 2.050 mm

Tornillo sinfín de alimentación- $L=2.300$ mm; prof. mín. habitación: 2.550 mm

Tornillo sinfín de alimentación- $L=2.600$ mm; prof. mín. habitación: 2.850 mm

Tornillo sinfín de alimentación- $L=2.800$ mm; prof. mín. habitación: 3.050 mm

Tornillo sinfín de alimentación- $L=3.100$ mm; prof. mín. habitación: 3.350 mm

Tornillo sinfín de alimentación- $L=3.600$ mm; prof. mín. habitación: 3.850 mm

Tornillo sinfín de alimentación- $L=4.600$ mm; prof. mín. habitación: 4.850 mm

Tornillo sinfín de alimentación- $L=4.900$ mm; prof. mín. habitación: 5.150 mm

Tornillo sinfín de alimentación- $L=5.400$ mm; prof. mín. habitación: 5.650 mm

Prolongación del tornillo sinfín de alimentación

Extensión del canal del sinfín- $L_1=400$ mm

Extensión del canal del sinfín- $L_1=800$ mm

Extensión del canal del sinfín- $L_1=1.200$ mm

Extensión del canal del sinfín- $L_1=1.600$ mm

Extensión del canal del sinfín- $L_1=2.000$ mm

Extensión del canal del sinfín- $L_1=2.400$ mm

La profundidad de la habitación incluye la distancia que hay que dejar a los lados del sinfín para tareas de montaje, mantenimiento, etc.

Tabla 28: Dimensionamiento del tornillo sinfín rígido

- *Tornillo sinfín en codo*

Esta variante es la solución idónea para almacenamientos rectangulares situados al lado o sobre la sala de calderas. Se compone de un tornillo de

extracción y otro de subida y es ampliable mediante módulos. Tanto el consumo propio de energía eléctrica como el nivel de ruido son reducidos.

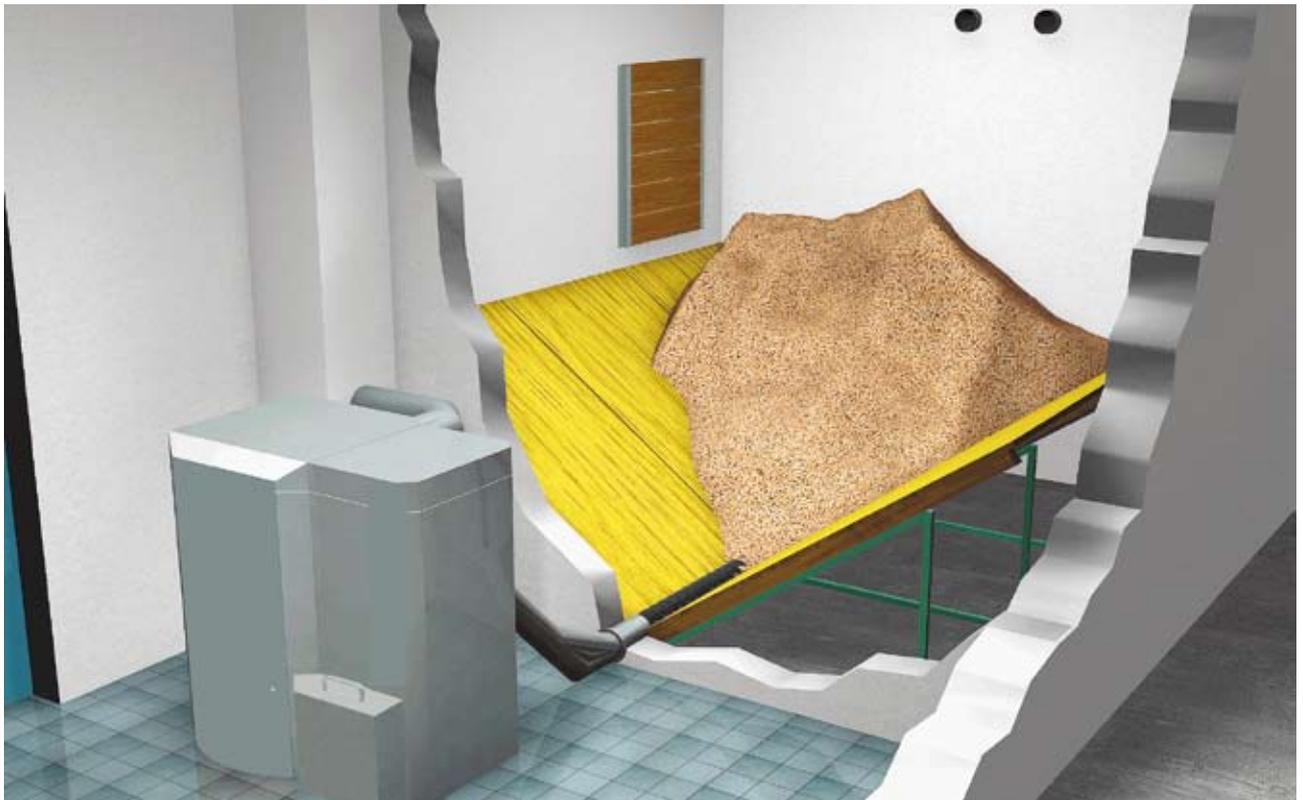


Figura 45: Tornillo sinfín en codo

El dimensionamiento del sinfín en codo se rige por diferentes parámetros, indicados en la Tabla 29.

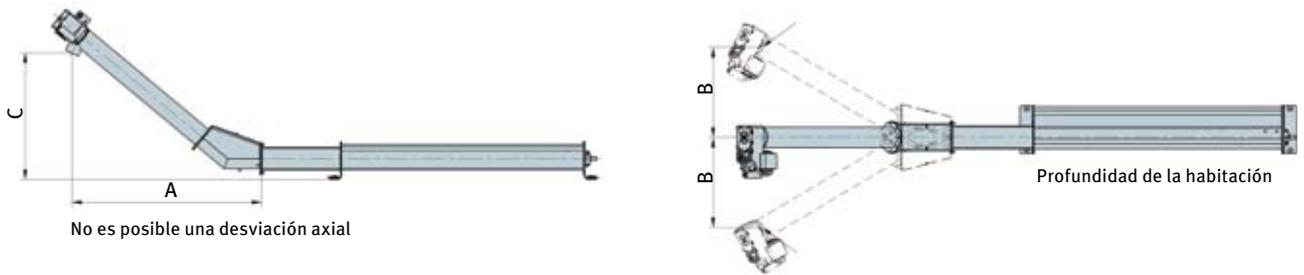


Figura 46: Disposiciones posibles del tornillo sinfín en codo

B (mm)	Dimensiones del sinfín en codo (mm)			
	A=785 C=487	A=910 C=699	A=1010 C=679	A=1160 C=808
0	0	0-350	0-470	440-640
50	-	0-270	0-420	350-600
100	-	0-120	0-340	220-550
150	-	-	0-240	0-500
200	-	-	-	0-430
250	-	-	-	0-330
300	-	-	-	0-190
350	-	-	-	-
400	-	-	-	-

Tornillo sinfín de alimentación

Tornillo sinfín de alimentación-L=1.300 mm; prof. mín. habitación: 1.550 mm
Tornillo sinfín de alimentación-L=1.800 mm; prof. mín. habitación: 2.050 mm
Tornillo sinfín de alimentación-L=2.300 mm; prof. mín. habitación: 2.550 mm
Tornillo sinfín de alimentación-L=2.600 mm; prof. mín. habitación: 2.850 mm
Tornillo sinfín de alimentación-L=2.800 mm; prof. mín. habitación: 3.050 mm
Tornillo sinfín de alimentación-L=3.100 mm; prof. mín. habitación: 3.350 mm
Tornillo sinfín de alimentación-L=3.600 mm; prof. mín. habitación: 3.850 mm
Tornillo sinfín de alimentación-L=4.600 mm; prof. mín. habitación: 4.850 mm
Tornillo sinfín de alimentación-L=4.900 mm; prof. mín. habitación: 5.150 mm
Tornillo sinfín de alimentación-L=5.400 mm; prof. mín. habitación: 5.650 mm

Tabla 29: Dimensionamiento del tornillo sinfín en codo

- *Tornillo sinfín flexible*

Existen también tornillos sinfín flexibles, con menor capacidad de transporte y ángulo de inclinación que los sinfines convencionales, pero que permiten la alimentación a distancias de hasta 60 metros. Son muy útiles para combustibles con impurezas que puedan atascar un tornillo rígido. Su mayor inconveniente es la posible abrasión del tornillo sinfín debido a su menor dureza, ya que está hecho con acero para resortes muy flexibles y de alta calidad, pero menor resistencia que el acero de los tornillos rígidos o en codo.



Figura 47: Tornillo sinfín flexible

Propiedades del tornillo sinfín flexible

Capacidad de transporte (en horizontal, para pélets)* (kg/h)	1.400-4.500
Longitud máxima de transporte (m)	60-35
Diámetro exterior del tubo (mm)	75-125
Material de la pared del tubo	PVC o acero galvanizado
Espesor de la pared del tubo (mm)	3,6-6
Diámetro exterior de la espiral (mm)	60-100
Paso de la espiral (mm)	40-70

* Para pendientes de 45° la capacidad de transporte es un 30% menor

Tabla 30: Características del tornillo sinfín flexible

Sistema neumático

Una bomba succiona el combustible del silo y lo bombea hasta la caldera. La alimentación neumática permite que el silo de almacenaje o depósito se encuentre a una distancia de hasta 15 m desde la sala de calderas, gracias a una manguera. El lugar de almacenaje debe de ser estrecho y largo, para evitar los posibles puntos muertos. Se trata del sistema más económico pero sólo admite pélets o combustibles de tamaño y forma muy homogénea.



Figura 48: Bomba neumática de alimentación del silo a la caldera

3.6 SISTEMAS DE SEGURIDAD EN EL ALMACENAMIENTO

El diseño de los silos de almacenamiento debe cumplir una serie de premisas para prevenir el daño del combustible o una autocombustión.

Requisitos de la sala de almacenamiento

Se pueden mencionar las siguientes:

- **Ausencia de humedad**
Las paredes, suelo y techo del almacenamiento no permitirán filtraciones de humedad, impermeabilizándolas en caso necesario. El almacenamiento de las astillas debe estar bien ventilado para permitir su secado y evitar la aparición de mohos.
- **Instalaciones eléctricas**
Las instalaciones eléctricas dentro del almacén no están permitidas y cuando se utilice un sistema neumático para el transporte de la biomasa, ya sea del camión al silo o del silo a la caldera, el sistema deberá contar con una toma de tierra para evitar la aparición de chispas por cargas electrostáticas.
- **Vaciado del sistema de almacenamiento**
Se debe prever un procedimiento de vaciado del almacenamiento de biocombustible para el caso de que sea necesario, para la realización de trabajos de mantenimiento, de reparación o en situaciones de riesgo de incendio.
- **Capacidad mínima**
En edificios nuevos la capacidad mínima de almacenamiento de biocombustible será la suficiente para cubrir el consumo de dos semanas.

- **Protección contra incendios**

En edificios nuevos el almacenamiento y la sala de máquinas deben encontrarse situados en locales distintos y con las aperturas para el transporte desde el almacenamiento a los generadores de calor dotadas con los elementos adecuados para evitar la propagación de incendios de una a otra.

En instalaciones térmicas existentes que se reformen, en donde no pueda realizarse una división en dos locales distintos, el depósito de almacenamiento estará situado a una distancia de la caldera superior a 0,7 m y deberá existir entre el generador de calor y el almacenamiento una pared con resistencia ante el fuego de acuerdo con la reglamentación vigente de protección contra incendios. La resistencia al fuego de los elementos delimitadores y estructurales del almacenamiento de biocombustible será la que determine la reglamentación de protección contra incendios vigente (*Código Técnico de la Edificación - Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio*).

- **Resistencia a la presión del combustible**

Las paredes y puertas del almacén deben ser capaces de soportar la presión del biocombustible almacenado.

- **Mantenimiento del tornillo sinfín**

Una vez al año se debe limpiar el polvo acumulado y engrasarse los cojinetes del tornillo sinfín.

Además, de acuerdo con el *Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio del Código Técnico de la Edificación (CTE)*, los almacenes de combustible sólido para calefacción se clasifican bajo el nivel de riesgo medio y deberán cumplir sus correspondientes exigencias de seguridad de acuerdo con la siguiente tabla:

Característica	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
Resistencia al fuego de la estructura portante	R 90	R 120	R 180
Resistencia al fuego de las paredes y techos que separan la zona del resto del edificio	EI 90	EI 120	EI 180
Vestíbulo de independencia en cada comunicación de la zona con el resto del edificio	No	Sí	Sí
Puertas de comunicación con el resto del edificio	EI2 45-C5	2 x EI2 30-C5	2 x EI2 30-C5
Máximo recorrido de evacuación hasta alguna salida del local	≤ 25 m	≤ 25 m	≤ 25 m

Tabla 31: Condiciones de las zonas de riesgo especial integradas en edificios

Fuente: Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio del Código Técnico de la Edificación (CTE). Tabla 2.2

Requisitos relacionados con el suministro de combustible

- **Suministro neumático de combustible**
Caldera apagada: la caldera debe mantenerse apagada durante el llenado del silo para prevenir

cualquier peligro potencial de retroceso del fuego debido a la depresión en el silo que puede provocar un reflujo de la llama de la caldera hacia el almacén.

Aspiración del aire del silo: durante la carga del silo se debe aspirar el aire interior para evitar

sobrepresiones y para permitir la aspiración del polvo impulsado durante la operación de llenado, evitando así su impulsión al interior de la casa.

Presión de suministro limitada: la presión de suministro debe igualmente limitarse con el objetivo de prevenir el daño del silo y la desintegración del combustible, en caso de utilizar pélets, durante la carga.

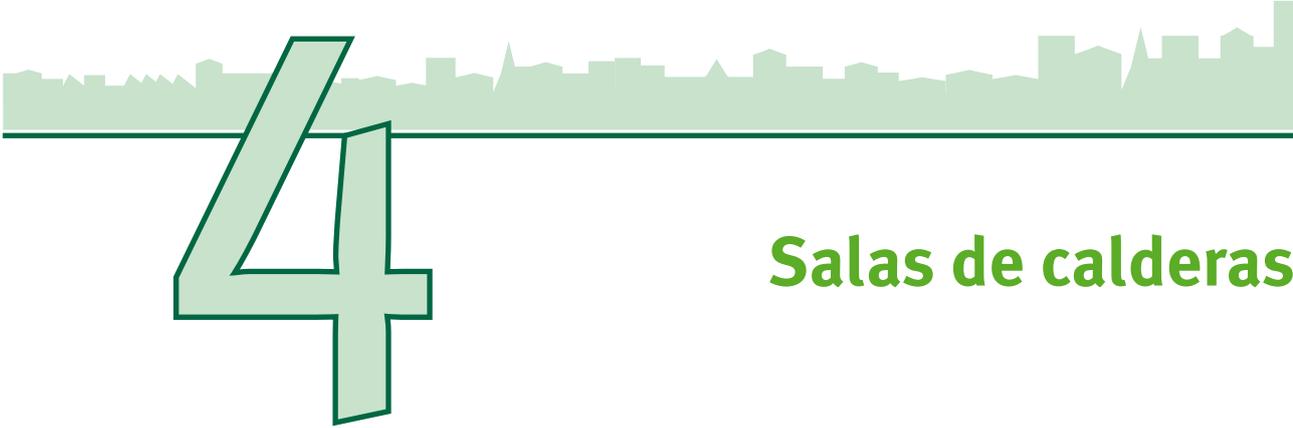
Sistema de protección de la zona de impacto: debe instalarse en la zona de impacto un sistema de protección de la pared contra la abrasión derivada del golpeteo de los biocombustibles y para evitar su desintegración por impacto.

Sistema de antirretorno: debe permanecer cerrado durante el suministro de combustible.

- *Suministro mediante descarga directa*

Protección frente a caídas dentro del almacenamiento: cuando la descarga sea directa a través de compuertas a nivel del suelo, como es el caso de los volquetes, éstas deben constar de los elementos necesarios de seguridad para evitar caídas dentro del almacenamiento. Una rejilla de acero es una buena solución, aunque sus aberturas deben ser lo suficientemente amplias para garantizar que el combustible puede pasar a través de ellas, evitando problemas de obstrucción.

Sistema de antirretorno: debe permanecer cerrado durante el suministro de combustible.



4

Salas de calderas

4.1 TIPOS DE CALDERAS

Se consideran salas de máquinas los recintos con calderas o equipos auxiliares, cuando la suma de todas sus potencias sea mayor de 70 kW. Se consideran parte de la sala de máquinas los locales a los que se acceda desde la misma sala, que comuniquen con el resto del edificio o con el exterior.

No tienen consideración de sala de calderas los locales en los que se sitúen generadores de calor con potencia térmica nominal menor o igual a 70 kW, o los equipos modulares de climatización de cualquier potencia preparados en fábrica para su instalación en exteriores.

Este apartado hace referencia a instalaciones con potencias superiores a 70 kW pero puede utilizarse para potencias menores. Para instalaciones de menos de 70 kW se considerará lo que sugiera el fabricante/instalador. Todo ello considerando además lo que indique el RITE en vigor.

Las calderas de biomasa pueden clasificarse atendiendo al tipo de combustible que admiten y a la clase de tecnología que utilizan.

Según tipos de combustible, existen tres tipos:

- *Calderas específicas de pélets*

Suelen ser pequeñas (hasta 40 kW) y altamente eficientes. Destaca su compacidad debido a la estabilidad del combustible suministrado. La razón de ser de estas calderas tiene sentido por su bajo coste, pequeño tamaño y un elevado rendimiento. En algunos casos pueden utilizar otros biocombustibles con características similares siempre que el fabricante lo garantice.

- *Calderas de biomasa*

Su potencia varía desde 25 kW a cientos de kW. No admiten varios combustibles simultáneamente, aunque se puede cambiar el combustible si se programa con suficiente antelación el vaciado del silo, la nueva recarga y la reprogramación de la caldera. Precisan de modificaciones en tornillo de alimentación y parrilla.

- *Calderas mixtas o multicomcombustible*

Admiten varios tipos distintos de combustible, cambiando de unos a otros de manera rápida y eficiente, como por ejemplo pélets y astillas. Suelen fabricarse para potencias medias (alrededor de 200 kW) o grandes.

Independientemente de su potencia, el RITE excluye explícitamente la necesidad de escalonar la potencia para las calderas de biomasa.

De acuerdo a su tecnología, las calderas se dividen en cuatro grupos:

- *Calderas convencionales adaptadas para biomasa*

Suelen ser antiguas calderas de carbón adaptadas para poder ser utilizadas con biomasa o calderas de gasóleo con un quemador de biomasa. Aunque resultan baratas, su eficiencia es reducida, situándose en torno al 75-85%. Suelen ser semi-automáticas ya que, al no estar diseñadas específicamente para biomasa no disponen de sistemas específicos de mantenimiento y limpieza. En España existen varios fabricantes con este tipo de calderas.

- *Calderas estándar de biomasa*

Diseñadas específicamente para un biocombustible determinado (pélets, astillas, leña,...), alcanzan rendimientos de hasta un 92%, aunque suele ser posible su uso con un combustible alternativo a costa de una menor eficiencia. Generalmente se trata de calderas automáticas ya que disponen de sistemas automáticos de alimentación del combustible, de limpieza del intercambiador de calor y de extracción de las cenizas.

- *Calderas mixtas*

Las calderas mixtas permiten el uso alternativo de dos combustibles, haciendo posible el cambio de uno a otro si las condiciones económicas o de suministro de uno de los combustibles así lo aconsejan. Necesitan un almacenamiento y un sistema de alimentación de la caldera para cada combustible, por lo que el coste de inversión es

mayor que para otras tecnologías. Su rendimiento es alto, cercano al 92%, y son calderas totalmente automáticas.

- *Calderas de pélets a condensación*
Pequeñas, automáticas y para uso exclusivo de pélets, estas calderas recuperan el calor latente de condensación contenido en el combustible bajando

progresivamente la temperatura de los gases hasta que se condensa el vapor de agua en el intercambiador. Mediante esta tecnología, el ahorro de pélets es del 15% respecto a una combustión estándar, logrando así las mayores eficiencias del mercado, con un rendimiento de hasta el 103% respecto al poder calorífico inferior (PCI).

Tecnología	Propiedades	Tipo de caldera	Comentarios
Calderas convencionales adaptadas para biomasa	Menor rendimiento (hasta 85%). Semi-automáticas	Calderas de gasóleo con quemador de biomasa	La potencia se reduce por la adaptación al uso de biomasa. La limpieza de la caldera no es totalmente automática
		Calderas adaptadas con quemador fijo o en cascada	La potencia se reduce por la adaptación al uso de biomasa. La limpieza de la caldera no es totalmente automática
Calderas estándar de biomasa	Alto rendimiento (hasta 92%). Automáticas	Calderas de biomasa con alimentador inferior	Calderas domésticas que únicamente pueden consumir pélets estándar. Equipos compactos. Aptas para combustibles con bajo contenido en cenizas (pélets, astillas, algunos biocombustibles agroindustriales)
		Calderas de biomasa con parrilla móvil	Aptas para biocombustibles con altos contenidos de humedad y cenizas. Se utiliza para potencias superiores a los 100 kW
Calderas mixtas	Alto rendimiento (hasta 92%). Automáticas	Todos	Permiten el uso alternativo de dos combustibles en función de las necesidades de cada situación. Precisan un almacenamiento y un sistema de alimentación de la caldera para cada combustible
Calderas a condensación	Máximo rendimiento (hasta 103% respecto al PCI). Automáticas	Calderas de biomasa con alimentador inferior	Aptas sólo para el uso de pélets. Baja potencia (< 70 kW)

Tabla 32: Tipos de calderas de biomasa según tecnología

Las calderas de biomasa son, generalmente, de tipo atmosférico, lo que significa que el hogar o cámara de combustión se encuentra a presión ambiente. Aunque el RITE establece la prohibición de instalar calderas de tipo atmosférico a partir del uno de enero de 2010, la corrección de errores del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, modifica dicha prohibición vinculándola exclusivamente a calderas individuales a gas de menos de 70 kW de tipo atmosférico. Por tanto, quedan excluidas las calderas de biomasa.

4.2 SELECCIÓN DE LA CALDERA

De acuerdo con el RITE, a las calderas de biomasa utilizadas para la producción de calor se les exige un rendimiento mínimo instantáneo del 75%.

Es suficiente con indicarlo solamente para el 100% de la potencia máxima y para uno de los biocombustibles sólidos que se prevé utilizar en su alimentación o, en su caso, la mezcla de biocombustibles. Además, hay que indicar la temperatura media del agua del conjunto caldera-sistema de combustión, a la potencia máxima demandada por el sistema de calefacción y, en su caso, por el sistema de preparación de agua caliente sanitaria.

Cualquiera de las calderas de biomasa disponibles en el mercado supera holgadamente el 75% de rendimiento de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes. Es importante verificar el rendimiento si se trata de calderas convencionales de carbón o gasóleo adaptadas para su uso con biomasa, aunque normalmente superan el rendimiento del 75% sin dificultad.

Factores determinantes para la elección de una caldera:

- Tipo y calidad de combustible con el que se la va a alimentar para conocer las tecnologías (tipos de calderas) disponibles para esa biomasa.
- Una vez conocidas las calderas adecuadas disponibles, es aconsejable la elección de sistemas de alto rendimiento (> 90%) y bajas emisiones.
- Para mayor comodidad, es preferible un elevado nivel de automatización, reduciendo al mínimo los trabajos de mantenimiento. Las calderas con niveles de automatización mayores suelen ser más eficientes, pero tienen mayores costes de inversión.
- Son igualmente recomendables los sistemas modulantes que permiten una variación continua de la potencia para adecuarla a la demanda existente en cada momento. También debe valorarse la inclusión de sistemas de telecontrol de los parámetros de la caldera por el mantenedor.
- La disponibilidad de un distribuidor y de una empresa instaladora autorizada es imprescindible, y preferiblemente con un certificado por la empresa fabricante de la caldera de haber recibido el curso formativo correspondiente.
- El coste del sistema y las ayudas públicas existentes.

Estimación de la potencia y necesidades de combustible

El cálculo adecuado de la carga y demanda térmica del edificio al inicio del diseño del proyecto tiene una in-

fluencia considerable tanto económicamente como en el adecuado funcionamiento del sistema.

Si el sistema de calefacción con biomasa sustituye a un sistema de calefacción de un edificio existente, la demanda anterior de combustible es la mejor base para el cálculo de la demanda y también de la potencia requerida, aunque ello no elimina la necesidad de hacer un nuevo cálculo de cargas para obtener el valor real de potencia requerida y no de la potencia consumida. Frecuentemente esta potencia requerida no se corresponde con la potencia de las calderas existentes y habrá que decidirse por la caldera de potencia inmediatamente superior a la potencia precisa.

Si el sistema va a instalarse en un edificio de nueva construcción la potencia térmica y la demanda de calefacción se deben calcular desde el principio, considerando los datos de aislamiento así como la demanda de agua caliente sanitaria.

Las siguientes tablas se han confeccionado basándose en la norma *UNE-EN 12831 – Cálculo simplificado de la carga térmica total del edificio*, y ofrece valores típicos de potencia térmica necesaria para el suministro de calefacción y agua caliente sanitaria a diversos edificios.

Se han tomado como referencia una vivienda unifamiliar y dos bloques de viviendas, de cuatro y diez alturas respectivamente sobre la planta baja. Además, se han considerado las situaciones de estos edificios en el caso de estar aislados o de ser adyacente a otros. Los resultados se muestran a continuación:

Tipo de vivienda	Plantas	Superficie (m ² construidos)		Temperatura exterior de diseño						
				Text = -10 °C		Text = 0 °C		Text = 10 °C		
				Potencia térmica aproximada (kW)						
		por planta	por vivienda	total	por vivienda	total	por vivienda	total	por vivienda	
Unifamiliar	aislada			17,7	17,7	13,0	13,0	8,3	8,3	
	1 medianería	2	75	150	17,1	17,1	12,6	12,6	8,1	8,1
	2 medianerías				16,6	16,6	12,3	12,3	7,9	7,9
	3 medianerías				15,8	15,8	11,8	11,8	7,7	7,7
Bloque de viviendas	aislado	5	700	135	261	10,0	200	10,0	143	10,0
		11	700	135	547	9,7	425	9,7	305	9,7
	2 medianerías	5	700	135	236	9,3	185	9,3	135	9,3
		11	700	135	491	8,9	390	8,9	287	8,9

Tabla 33: Potencia térmica necesaria aproximada para distintos edificios típicos con aislamiento medio-alto

Fuente: elaboración propia, basada en la Norma UNE-EN 12831 – Cálculo simplificado de la carga térmica total del edificio

En todos los casos se ha considerado un aislamiento medio-alto de la vivienda. Las correcciones a realizar en el cálculo de la potencia en los casos de aislamientos bajos o muy altos se indican en la Tabla 34:

Grado de aislamiento	Factor de corrección	Potencia térmica aproximada (kW)
Bajo	1,50	$P_{\text{medio-alto}}^* \times 1,50$
Medio-alto	1,00	$P_{\text{medio-alto}}^* \times 1,00$
Muy alto	0,75	$P_{\text{medio-alto}}^* \times 0,75$

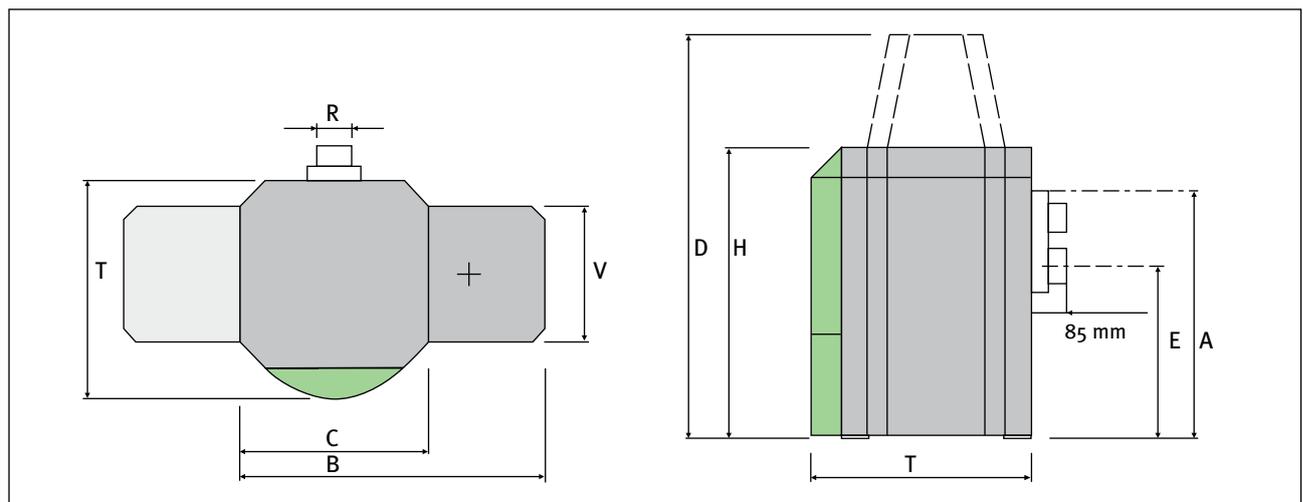
* $P_{\text{medio-alto}}$ (kW): Potencia para un aislamiento medio-alto. Ver tabla anterior

Tabla 34: Factor de corrección según el grado de aislamiento

En caso de suministrarse agua caliente sanitaria (ACS) se debe calcular la potencia necesaria para este servicio si se produce de forma instantánea o con el almacenamiento correspondiente si es por acumulación. Este incremento suele ser de un 10-20%.

Dimensiones de las calderas

Las dimensiones básicas de diversas calderas vienen representadas en las figuras siguientes a modo de ejemplo. Es de destacar que existen fabricantes que suministran las calderas ya montadas, por lo que es necesario tener en consideración el tamaño total de la caldera a la hora de llevarla hasta la sala de calderas, pues puede darse el caso de que la caldera no quepa por la puerta de acceso o los pasillos y escaleras que conducen a la sala de calderas.



A: Altura de las conexiones de las tomas de envío y retorno (mm)
 B: Ancho total (mm)
 C: Ancho de la caldera (mm)
 D: Altura de las tuberías del sistema neumático (mm)
 E: Altura de la conexión del tubo de salida de los gases (mm)

H: Altura de la caldera (mm)
 R: Diámetro del tubo de salida de los gases (mm)
 T: Profundidad de la caldera (mm)
 V: Profundidad del revestimiento lateral (mm)

Figura 49: Dimensiones de la caldera

4.3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS SALAS DE CALDERAS

Un sistema de calefacción con biomasa tiene unas exigencias de espacio mayores que un sistema convencional. En general, es necesario disponer de espacio suficiente para la caldera, el sistema de almacenamiento de combustible, así como el acceso para el suministro de éste (salvo en los casos de calderas que incorporan el depósito de combustible).

Las dimensiones de los espacios necesarios deben ser proporcionados por el fabricante o suministrador de la caldera, indicando las dimensiones de la caldera, los espacios libres en todas las direcciones, y un esquema con los principales elementos que deben incluirse en la sala de calderas (sinfines, vaso de expansión, etc.) para esa caldera en particular.

Como norma básica, las calderas y los equipos auxiliares deberán ser perfectamente accesibles en todas sus partes de forma que puedan realizarse adecuadamente

y sin peligro todas las operaciones de mantenimiento, vigilancia y conducción.

Toda sala de máquinas tendrá un camino desde su interior hacia el exterior por el que se podrá pasar con el equipo más pesado y voluminoso contenido en la misma sin dificultad alguna y sin necesidad de tener que eliminar del camino elementos constructivos o puertas.

Los espacios libres alrededor de un generador, lateralmente, frontalmente, en la parte trasera y en altura, se deberán determinar teniendo en cuenta la necesidad de efectuar con comodidad las operaciones de manejo y mantenimiento y, en general, deberán ser tanto más grandes cuanto mayor sea la potencia del equipo. Los valores indicados por el fabricante deben considerarse valores mínimos.

La altura mínima de la sala será de 2,50 m. Se respetará una altura libre de tuberías y obstáculos sobre la caldera de 0,5 m, aunque es recomendable mantener al menos la cota de un metro. Los espacios mínimos libres que deben dejarse alrededor de los generadores de calor serán los que se señalan a continuación, o los que indique el fabricante, cuando sus exigencias superen las mínimas anteriores.

Existirá un espacio libre en el frente de las calderas atmosféricas como mínimo de 1 m, con una altura mínima de 2 m libre de obstáculos. Las calderas en las que la retirada de la ceniza sea manual o sea necesaria la accesibilidad al hogar para carga o reparto del combustible tendrán un espacio libre frontal igual, por lo menos, a vez y media la profundidad de la caldera. En aquellos casos donde el sistema de retirada de cenizas, aún siendo manual, no requiera la distancia antes mencionada podrán realizar los cálculos de espacio necesarios, reduciendo el mismo, de forma que queden perfectamente detallados y descritos en los correspondientes manuales de mantenimiento.

Entre calderas, así como las calderas extremas y los muros laterales y de fondo, debe existir un espacio libre de al menos 50 cm aunque se recomienda que no sea menor de 80 cm para facilitar el mantenimiento. Esta distancia podrá disminuirse en los modelos en que el mantenimiento de las calderas y su aislamiento térmico lo permita.

Cuando las calderas a instalar sean del tipo mural y/o modular formando una batería de calderas o cuando las paredes laterales de las calderas a instalar no precisen acceso, puede reducirse la distancia entre ellas, teniendo en cuenta el espacio preciso para poder efectuar las operaciones de desmontaje de la envolvente y del mantenimiento de las mismas.

4.4 VENTILACIÓN DE SALAS DE CALDERAS

El aire de ventilación de las salas de calderas sirve para un doble propósito: ventilar el local con el fin de evacuar

parte del calor desprendido por los equipos y las tuberías y suministrar el aire necesario para la combustión. Es de aplicación a salas de calderas con potencias superiores a 70 kW.

Se recomienda que las salas de calderas estén situadas en contacto con el ambiente exterior, de manera que la ventilación tenga lugar siempre por medios naturales (ventilación natural directa por aperturas). Además, en estos casos, se facilita la salida de los productos de la combustión hacia el exterior. No obstante, también son válidos los sistemas de ventilación natural directa por conductos y los de ventilación forzada.

En cualquier caso, se intentará lograr una ventilación cruzada gracias a corrientes de aire creadas colocando las aberturas sobre paredes opuestas de la sala y en las cercanías del techo y del suelo. Los orificios de ventilación distarán al menos 50 cm de cualquier hueco practicable o rejillas de ventilación de otros locales distintos de la sala de máquinas. Además, las aberturas estarán protegidas para que no puedan ser obstruidas o inundadas y evitar la entrada de insectos u otros cuerpos extraños.

Ventilación natural directa por orificios

La ventilación natural directa al exterior puede realizarse, para las salas contiguas a zonas al aire libre, mediante aberturas de área libre mínima de 5 cm² por cada kW de potencia térmica nominal. Se recomienda practicar más de una abertura y colocarlas en diferentes fachadas y a distintas alturas, de manera que se creen corrientes de aire que favorezcan el barrido de la sala.

La fórmula para el cálculo del área mínima de ventilación admite unos valores en función del tipo de ventilación:

$$A_{\text{libre, min}} = n \cdot PN$$

$A_{\text{libre, min}}$: Área mínima de ventilación (cm²).

PN: Potencia nominal instalada (kW).

n: Coeficiente (cm²/kW) con valor "5" para ventilación natural directa por orificios.

Fórmula 5: Área mínima en ventilación natural directa por conducto vertical

Fuente: RITE

Además, en la parte superior de las paredes se practicarán aberturas de superficie igual, por lo menos, a una milésima parte de la superficie en planta de la sala de máquinas.

Ventilación natural directa por conducto

Cuando la sala no sea contigua a la zona al aire libre, pero pueda comunicarse con ésta por medio de conductos de menos de 10 m de recorrido horizontal, la sección libre mínima de estos conductos, referida a la potencia térmica nominal instalada, se calculará utilizando los

siguientes valores del coeficiente “n” para ventilación natural por conducto:

- 7,5 cm²/kW para ventilación natural directa por conducto vertical.
- 10 cm²/kW para ventilación natural directa por conducto horizontal.

Las secciones indicadas se dividirán en dos aberturas, por lo menos, una situada cerca del techo y otra cerca del suelo y, a ser posible, sobre paredes opuestas.

Ventilación forzada

En la ventilación forzada se dispondrá de un ventilador de impulsión, soplando en la parte inferior de la sala, que asegure un caudal mínimo de:

$$Q_{min} = 1,8 \cdot PN + 10 \cdot A$$

Q_{min}: Caudal mínimo (m³/h).

PN: Potencia nominal instalada (kW).

A: Superficie de la sala (m²).

Fórmula 6: Caudal mínimo en ventilación forzada

Fuente: RITE

El ventilador estará enclavado eléctricamente con los quemadores, de manera que entre en funcionamiento cuando al menos uno de los quemadores funcione y pare cuando todos los quemadores estén parados.

Para disminuir la presurización de la sala con respecto a los locales contiguos, se dispondrá de un conducto de evacuación del aire de exceso construido con material incombustible y dimensionado de manera que la sobrepresión no sea mayor que 20 Pa. Estará situado a menos de 30 cm del techo y en lado opuesto de la ventilación inferior de manera que se garantice una ventilación cruzada.

Las dimensiones mínimas de dicho conducto serán:

$$A_{conducto, min} = 10 \cdot A_{sala de calderas}$$

A_{conducto, min}: Área mínima del conducto de ventilación (cm²).

A_{sala de calderas}: Área de la sala de calderas (m²).

Fórmula 7: Área mínima en ventilación forzada

Fuente: RITE

Las pautas del funcionamiento del sistema de ventilación forzada serán las enumeradas en la Tabla 35.

Pautas de funcionamiento del sistema de ventilación forzada	
Encendido	1 Arrancar el ventilador
	2 Mediante un detector de flujo o un presostato debe activarse un relé temporizado que garantice el funcionamiento del sistema de ventilación antes de dar la señal de encendido a la caldera
	3 Arrancar el generador de calor
Apagado	1 Parar el generador de calor
	2 Sólo cuando todas las calderas de la sala estén paradas debe desactivarse el relé mencionado anteriormente y parar el ventilador

Tabla 35: Pautas de funcionamiento del sistema de ventilación forzada

Fuente: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE)

4.5 REQUISITOS DE SEGURIDAD

En general, los sistemas de seguridad están preparados para que puedan actuar incluso en situaciones de falta de suministro.

Las calderas de biomasa, por su naturaleza, deben disponer de algún sistema de seguridad específico para ellas, recogido en la Tabla 36 y que se describe a continuación:

Elemento	Función
Interruptor de flujo	Detener la circulación del fluido en el interior de la caldera
Dispositivo de interrupción de funcionamiento del sistema de combustión	Interrumpir la combustión en el caso de alcanzarse temperaturas superiores a las de diseño o de existir retroceso de los productos de la combustión o de llama
Dispositivo contra el retroceso de llama	Evitar el retroceso de la llama de la caldera hacia el silo de almacenamiento de la biomasa

(continuación)

Elemento	Función
Sistema de eliminación del calor residual	Eliminar el calor adicional producido por la biomasa ya introducida en la caldera cuando se interrumpe la combustión
Una válvula de seguridad	Desviar el agua a sumidero en caso de sobrepasarse en más de 1 bar la presión de trabajo de agua

Tabla 36: Dispositivos de seguridad de la caldera

Fuente: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE)

Pueden ser:

- **Interruptor de flujo**

Salvo que el fabricante especifique que no requieren circulación mínima, las calderas estarán equipadas con un interruptor de flujo con el objeto de poder detener la circulación del fluido en su interior.

- **Dispositivo de interrupción de funcionamiento del sistema de combustión**

Este dispositivo, que será de rearme manual, actuará en dos situaciones críticas:

- En el caso de alcanzarse temperaturas superiores a las de diseño.
- En el caso de existir retroceso de los productos de la combustión o de llama.

- **Dispositivo contra el retroceso de llama**

Se deberá evitar el retroceso de la llama de la caldera hacia el silo de almacenamiento de la biomasa. Para ello, existen varios sistemas entre los que se destacan:

- Compuerta de cierre estanca contra el retroceso de la combustión, que interrumpe la entrada de combustible a la caldera.

- Rociador de extinción de emergencia, que tenga la capacidad para inundar el tubo de transporte del combustible en el caso de que se produzca el retroceso de la llama. Se recomienda que este sistema aporte un caudal mínimo de 15 l/h de agua. Este sistema sólo se instala para calderas de grandes potencias.
- Sistemas que garanticen la depresión en la zona de combustión.

- **Sistema de eliminación del calor residual**

Las instalaciones de biomasa tienen mayor inercia que las de gas o de gasóleo a seguir generando calor cuando tenga lugar un corte eléctrico. Esto se debe a que la biomasa introducida en la caldera continuará quemándose.

El sistema de eliminación del calor residual debe garantizar la liberación de ese calor adicional producido en la caldera cuando se interrumpe el funcionamiento del sistema de combustión. Para la evacuación del calor residual, en una caldera cargada de combustible, la solución es instalar un sistema de acumulación en el tubo de equilibrio del colector (agua o material de cambio de fase), como por ejemplo el presentado en la siguiente figura:

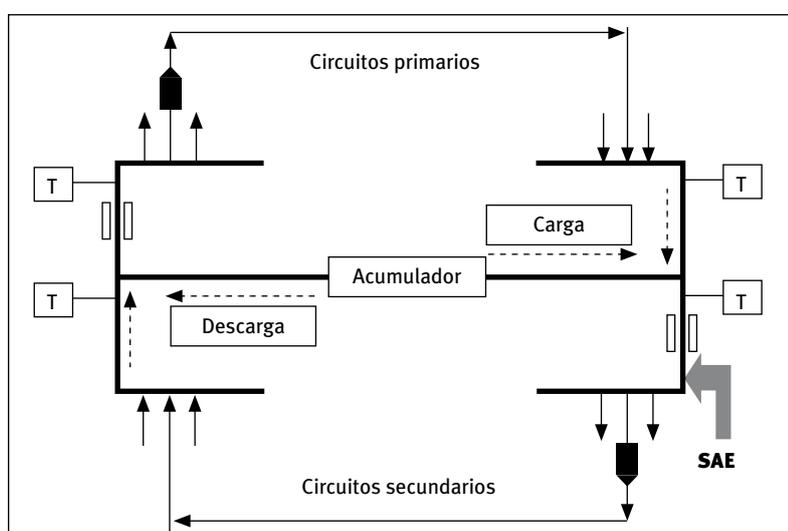


Figura 50: Sistema de acumulación en el tubo de equilibrio del colector

Hay varias alternativas para la eliminación de este calor:

- Un recipiente de expansión abierto que pueda liberar el vapor si la temperatura del agua alcanza los 100 °C dentro de la caldera.
- Un intercambiador de calor de seguridad en la caldera, refrigerado por una corriente de agua cuando la temperatura en el interior de la caldera aumente demasiado.
- Un depósito de acumulación, siempre y cuando la circulación natural tenga la capacidad de enfriar la caldera.

Las bombas que impulsan el agua de la calefacción por el edificio no deben estar controladas mediante sistemas electrónicos incluidos en la caldera, de modo que puedan seguir funcionando hasta que se haya eliminado el calor residual en caso de un corte eléctrico en la caldera.

- *Válvula de seguridad*
Estará tarada a 1 bar por encima de la presión de trabajo del generador y en su zona de descarga deberá estar conducida hasta sumidero.

Requisitos comunes para todas las salas de calderas

Además de disponer de los dispositivos específicos mencionados en el RITE, las salas de calderas de biomasa deben cumplir las prescripciones generales de seguridad establecidas en la sección SI-1 del *Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio del Código Técnico de la Edificación* (CTE) y que se comentan a continuación.

Como requisito básico, mencionar que las salas de calderas no podrán ser utilizadas para otros fines, ni podrán realizarse en ellas trabajos ajenos a los propios de la instalación.

El acceso normal a la sala de máquinas no debe hacerse a través de una abertura en el suelo o techo. Las dimensiones de la puerta de acceso serán las suficientes para

permitir el movimiento sin riesgo o daño de aquellos equipos que deban ser reparados fuera de la sala de máquinas. Entre la maquinaria y los elementos que delimitan la sala de máquinas deben dejarse los pasos y accesos libres para permitir el movimiento de equipos, o de partes de ellos, desde la sala hacia el exterior y viceversa. La conexión entre generadores de calor y chimeneas debe ser perfectamente accesible. Además, con el objeto de evitar los accidentes fortuitos del personal, los motores y sus transmisiones deben estar suficientemente protegidos.

Las puertas deben estar provistas de cerradura con fácil apertura desde el interior, aunque hayan sido cerradas con llave desde el exterior. Además, salvo cuando estén en contacto directo con el exterior, tendrán una permeabilidad no mayor a 1 l/(s·m²) bajo una presión diferencial de 100 Pa.

Las tomas de ventilación no podrán estar comunicadas con otros locales cerrados y los elementos de cerramiento de la sala no permitirán filtraciones de humedad. La sala dispondrá de un sistema eficaz de desagüe por gravedad o, en caso necesario, por bombeo.

En lo relativo a las instalaciones eléctricas, el cuadro eléctrico de protección y mando de los equipos instalados en la sala o, por lo menos, el interruptor general, estará situado en las proximidades de la puerta principal de acceso. Este interruptor no podrá cortar la alimentación al sistema de ventilación de la sala. Así mismo, el interruptor del sistema de ventilación forzada de la sala, si existe, también se situará en las proximidades de la puerta principal de acceso.

La iluminación de la sala de calderas debe ser suficiente para realizar los trabajos de conducción e inspección. El valor mínimo admisible del nivel medio de iluminación en servicio son 200 lux, con una uniformidad media de 0,5.

En el exterior de la puerta de acceso a la sala de máquinas, así como en su interior, figurarán, visibles y debidamente protegidas, las indicaciones recogidas en la Tabla 37.

Indicaciones a colocar en el interior de la sala de calderas	
En el exterior de la puerta de acceso	Cartel con la inscripción: «Sala de Máquinas. Prohibida la entrada a toda persona ajena al servicio»
En el interior de la sala de calderas	Instrucciones para efectuar la parada de la instalación en caso necesario, con señal de alarma de urgencia y dispositivo de corte rápido
	Indicación de los puestos de extinción y extintores cercanos
	Nombre, dirección y número de teléfono de la persona o entidad encargada del mantenimiento de la instalación
	Dirección y número de teléfono del servicio de bomberos más próximo, y del responsable del edificio
	Plano con esquema de principio de la instalación

Tabla 37: Indicaciones a colocar en el interior y exterior de la sala de calderas

Fuente: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE)

Aparte, conviene mencionar que se pueden utilizar equipos de generación de calor de hogar abierto, o que viertan los productos de la combustión al local a calentar, en espacios destinados a almacenes, talleres, naves industriales u otros recintos especiales, siempre que la calidad del aire del recinto no se vea afectada negativamente. Para ello, se deben indicar las medidas de seguridad adoptadas.

Requisitos según el nivel de riesgo de la sala de calderas

Según el *Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio del Código Técnico de la Edificación (CTE)*, el nivel de riesgo de las salas de calderas se establece según la potencia:

Potencia útil nominal total (kW)	Riesgo
$P \leq 70$	No se considera sala de calderas
$70 < P \leq 200$	Bajo
$200 < P \leq 600$	Medio
$P > 600$	Alto

Tabla 38: Nivel de riesgo de las salas de caldera según su potencia total

Fuente: Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio. Código Técnico de la Edificación (CTE)

A su vez, de acuerdo con el RITE, las instalaciones con sala de máquinas de riesgo alto son aquellas que cumplen una cualquiera de las siguientes condiciones:

Salas de calderas de alto riesgo
Las realizadas en edificios institucionales o de pública concurrencia
Las que trabajen con agua a temperatura superior a 110 °C

Tabla 39: Salas de calderas de riesgo alto según el RITE

Fuente: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE)

Según su nivel de riesgo, cada sala debe cumplir unas exigencias mínimas de seguridad recogidas anteriormente en la Tabla 31: Condiciones de las zonas de riesgo especial integradas en edificios. La tabla ha sido obtenida del Documento Básico SI del CTE, que se debe consultar para detalles, comentarios y excepciones.

Además, en una sala de máquinas de riesgo alto el cuadro eléctrico de protección y mando de los equipos instalados en la sala o, por lo menos, el interruptor general y el interruptor del sistema de ventilación deben

situarse fuera de la misma y en la proximidad de uno de los accesos.

4.6 CHIMENEAS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE HUMOS

Las emisiones a la atmósfera de los sistemas de climatización con biomasa no varían mucho respecto a las de otros combustibles, y son mucho menores que las de carbón.

El sistema de evacuación de humos consiste en una chimenea. La única diferencia con una chimenea de un sistema de combustible líquido o gaseoso es el diámetro necesario. En el caso de biomasa hay que prever un volumen de gases ligeramente superior, debido a que la humedad que contiene la biomasa se evapora en la caldera y da lugar a vapor de agua que sale mezclado con los productos de la combustión, aumentando así el volumen de los gases.

La evacuación de los productos de la combustión en las instalaciones térmicas se debe realizar por la cubierta del edificio de acuerdo a los siguientes casos y con las siguientes normas generales:

- Los edificios de viviendas de nueva construcción en los que no se prevea una instalación térmica central ni individual, dispondrán de una preinstalación para la evacuación individualizada de los productos de la combustión, mediante un conducto conforme con la normativa europea, que desemboque por cubierta y que permita conectar en su caso calderas de cámara de combustión estanca tipo C, según la Norma UNE-CEN/TR 1749 IN.
- En los edificios de nueva construcción en los que se prevea una instalación térmica, la evacuación de los productos de la combustión del generador se realizará por un conducto por la cubierta del edificio, en el caso de instalación centralizada, o mediante un conducto igual al previsto en el apartado anterior, en el caso de instalación individualizada.
- En las instalaciones térmicas que se reformen cambiándose sus generadores y que ya dispongan de un conducto de evacuación a cubierta, éste será el empleado para la evacuación, siempre que sea adecuado al nuevo generador objeto de la reforma y de conformidad con las condiciones establecidas en la reglamentación vigente.
- En las instalaciones térmicas existentes que se reformen cambiándose sus generadores que no dispongan de conducto de evacuación a cubierta o éste no sea adecuado al nuevo generador objeto de la reforma, la evacuación se realizará por la cubierta del edificio mediante un nuevo conducto adecuado.

Además, han de cumplirse las siguientes exigencias:

- Queda prohibida la unificación del uso de los conductos de evacuación de los productos de la combustión con otras instalaciones de evacuación.
- Las calderas de potencia térmica nominal mayor que 400 kW tendrán su propio conducto de evacuación de los productos de la combustión.
- Las calderas de potencia térmica nominal igual o menor que 400 kW, que tengan la misma configuración para la evacuación de los productos de la combustión, podrán tener el conducto de evacuación común a varias de ellas, siempre y cuando la suma de la potencia sea igual o menor a 400 kW. De estar instaladas en cascada, el ramal auxiliar, antes de su conexión al conducto común, tendrá un tramo vertical ascendente de altura igual o mayor que 0,2 m.
- En ningún caso se podrán conectar a un mismo conducto de humos calderas que empleen combustibles diferentes.
- Es válido el dimensionado de las chimeneas de acuerdo a lo indicado en las Normas *UNE-EN 13384-1*, *UNE-EN 13384-2* o *UNE 123001*, según el caso.
- En el dimensionado se analizará el comportamiento de la chimenea en las diferentes condiciones de carga; además, si la caldera funciona a lo largo de todo el año, se comprobará su funcionamiento en las condiciones extremas de invierno y verano.
- El tramo horizontal del sistema de evacuación, con pendiente hacia la caldera, será lo más corto posible.
- Se dispondrá un registro en la parte inferior del conducto de evacuación que permita la eliminación de residuos sólidos y líquidos.
- La chimenea será de material resistente a la acción agresiva de los productos de la combustión y a la temperatura, con la estanquidad adecuada al tipo de generador empleado. En el caso de chimeneas metálicas la designación según la Norma *UNE-EN 1856-1* o *UNE-EN 1856-2* de la chimenea elegida en cada caso y para cada aplicación será de acuerdo a lo establecido en la Norma *UNE 123001*.
- Para la evacuación de los productos de la combustión de calderas que incorporan extractor, la sección de la chimenea, su material y longitud serán los certificados por el fabricante de la caldera. El sistema de evacuación de estas calderas tendrá el certificado CE conjuntamente con la caldera y podrá ser de pared simple, siempre que quede fuera del alcance de las personas, y podrá estar construido con tubos de materiales plásticos, rígidos o flexibles, que sean resistentes a la temperatura de los productos de la combustión y a la

acción agresiva del condensado. Se cuidarán con particular esmero las juntas de estanquidad del sistema, por quedar en sobrepresión con respecto al ambiente.

- En ningún caso el diseño de la terminación de la chimenea obstaculizará la libre difusión en la atmósfera de los productos de la combustión.

Como excepción a los anteriores casos generales se permitirá siempre que los generadores utilicen combustibles gaseosos, la salida directa de estos productos al exterior con conductos por fachada o patio de ventilación, únicamente, cuando se trate de aparatos estancos de potencia útil nominal igual o inferior a 70 kW o de aparatos de tiro natural para la producción de agua caliente sanitaria de potencia útil igual o inferior a 24,4 kW, en los siguientes casos:

- 1 En las instalaciones térmicas de viviendas unifamiliares.
- 2 En las instalaciones térmicas de edificios existentes que se reformen, con las circunstancias mencionadas en el apartado d), cuando se instalen calderas individuales con emisiones de NOx de clase 5.

4.7 RUIDO

En lo que respecta a la calidad del ambiente acústico, el RITE remite al *Documento Básico DB-HR Protección frente al ruido* del Código Técnico de la Edificación (CTE). No obstante, las calderas de biomasa suelen incluir sistemas internos de reducción de ruidos, por lo que resultan más silenciosas que las de gasóleo y, en general, no presentan inconvenientes relacionados con el nivel de ruido. Sin embargo, sí pueden generar problemas las vibraciones que transmiten a la estructura del edificio los equipos en sus contactos con el suelo o los conductos al traspasar las paredes.

En cualquier caso, para todos los equipos los suministradores deben proporcionar la información recogida en la Tabla 40.

Información a aportar por el suministrador

Nivel de potencia acústica L_w de la caldera y del resto de equipos que producen ruidos estacionarios
Rigidez mecánica y carga máxima de los lechos elásticos empleados en bancadas de inercia
Amortiguamiento, curva de transmisibilidad y carga máxima de los sistemas antivibratorios utilizados en el aislamiento de maquinaria y conducciones
Coefficiente de absorción acústica de los productos absorbentes empleados en conductos de ventilación
Atenuación de conductos prefabricados, expresada como pérdidas por inserción

(continuación)

Información a aportar por el suministrador

Atenuación total de los silenciadores interpuestos en conductos o empotrados en elementos constructivos, como fachadas

Tabla 40: Información acústica a aportar por los suministradores

Fuente: Documento Básico DB-HR Protección frente al ruido. Código Técnico de la Edificación (CTE).

Los elementos generadores de mayor ruido en la sala de calderas son generalmente los ventiladores del aire y de los gases de salida y el sistema de alimentación, ya sea neumático o mecánico (tornillo sinfín), si bien el aislamiento acústico de una sala normal de una vivienda reduce mucho su nivel.

Principales fuentes de ruido

Ventiladores	de aire
	de los gases de salida
Sistemas de alimentación	mecánico (tornillo sinfín)
	neumático

Tabla 41: Principales fuentes de ruido en salas de calderas de biomasa

El máximo nivel de potencia acústica admitido en recintos de instalaciones, tales como salas de calderas o

conductos de extracción de humos, viene dado por la expresión:

$$L_w \leq 70 + 10 \cdot \lg V - 10 \cdot \lg T + K \cdot t^2$$

Fórmula 5: Nivel permitido de potencia acústica de emisión en recintos de instalaciones

Fuente: Documento Básico HR Protección contra el ruido. Código Técnico de la Edificación (CTE).

Siendo:

L_w : Nivel de potencia acústica de emisión (dB).

V : Volumen del recinto de la instalación (m^3).

T : Tiempo de reverberación del recinto (s).

A : Absorción acústica, o cantidad de energía acústica absorbida por un objeto del campo acústico (m^2).

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{A}$$

K : Factor que depende del equipo, siendo $K = 12,5$ para calderas.

t : Transmisibilidad del sistema antivibratorio soporte de la instalación, siendo $t_{m\acute{a}x} = 0,15$ para calderas.

En caso de estar los equipos situados en un recinto protegido, tal como una caldera individual en un salón, el valor máximo de la potencia acústica admitida para cada tipo de recinto debe ser menor del recogido en la siguiente tabla:

Uso de edificio	Tipo de recinto	Valor de L_w máx (dBA)
Sanitario	Estancias	35
	Dormitorios y quirófanos	30
	Zonas comunes	40
Residencial	Dormitorios y estancias	30
	Zonas comunes y servicios	50
Administrativo	Despachos profesionales	40
	Oficinas	45
	Zonas comunes	50
Docente	Aulas	40
	Salas de lectura y conferencias	35
	Zonas comunes	50
Cultural	Cines y teatros	30
	Salas de exposiciones	45
Comercial		50

Tabla 42: Valor máximo de potencia acústica admitida en recintos protegidos

Fuente: Documento Básico HR – Protección contra el ruido. Código Técnico de la Edificación (CTE)

Por *recinto protegido* se entiende cualquier recinto interior destinado al uso de personas con una mínima densidad de ocupación y tiempo de estancia en el mismo. Se consideran recintos protegidos las habitaciones y estancias en edificios residenciales; aulas, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente; quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario; y oficinas, despachos, salas de reunión, en edificios de uso administrativo. No se consideran recintos protegidos las cocinas, baños, aseos, pasillos y distribuidores siempre y cuando no tengan simultáneamente la función de un recinto protegido.

Si los equipos se encuentran situados en *zonas exteriores*, el nivel de potencia acústica será tal que en el entorno del equipo y en los *recintos habitables y protegidos* no se superen los objetivos de calidad acústica correspondientes.

La velocidad de circulación del agua se limitará a 1 m/s en las tuberías de calefacción y los radiadores de las viviendas, tal y como exige el DB-HR (apartado 5 del 3.3.3.1) del Código Técnico de Edificación.

Se deben utilizar silenciadores en las rejillas de toma o expulsión de aire de una sala de máquinas. Nunca deben instalarse silenciadores en salidas de humos de calderas por el enorme riesgo de ensuciamiento. En cualquier caso, el material fonoabsorbente de un atenuador acústico, o silenciador, deberá estar recubierto de un material que, sin mermar las propiedades del material fonoabsorbente, sea capaz de protegerlo de la suciedad y permita la limpieza interior del silenciador.

Respecto al montaje, todo punto de contacto entre las partes mecánicas y las paredes o el suelo debe tener aislamiento acústico. Además, los equipos se han de instalar sobre soportes elásticos antivibratorios cuando se trate de equipos pequeños y compactos. Las patas de los equipos se atornillan a chapas metálicas que a su vez se colocan sobre gomas. La función de la chapa metálica es transmitir los esfuerzos de la pata a la goma de la forma más homogénea posible, evitando la rotura de la goma. Por su parte, la goma se encarga de amortiguar el contacto de dos partes rígidas, como son la pata y el suelo.

Sin embargo, cuando se trate de equipos que no posean una base propia y necesiten la alineación de sus

componentes (por ejemplo, motor y ventilador o bomba), es necesaria una bancada suficientemente rígida para soportar los esfuerzos causados por el movimiento y de masa e inercia suficiente para evitar el paso de vibraciones al edificio. Los equipos deben conectarse a las conducciones mediante conexiones flexibles. La norma UNE 100153-88 es una buena ayuda para los criterios de selección de los soportes antivibratorios.

Se evitará el paso de las vibraciones de las conducciones a los elementos constructivos mediante sistemas antivibratorios como pasamuros, coquillas, manguitos elásticos, abrazaderas y suspensiones elásticas. Esto será necesario siempre que la sala de calderas y la de almacenamiento sean habitaciones distintas, ya que el sistema de alimentación, ya sea neumático o mecánico, debe atravesar el muro para conectar el silo con la caldera.

Otra medida alternativa para reducir el nivel de ruido es adaptar la situación de la caldera y la chimenea en función de la distribución de las habitaciones de la vivienda. Así, se debe evitar situar el cuarto de calderas debajo de los dormitorios o que éstos sean atravesados por la chimenea. Además, las chimeneas de hormigón son más silenciosas que las de acero. En edificios de nueva construcción se puede también independizar el suelo del cuarto de calderas y del silo de las paredes mediante la inserción de rellenos elásticos entre el suelo y la pared, de forma que no haya conexiones de hormigón o acero entre ambos.

4.8 EMISIONES

Los productos de la combustión deberán cumplir con los requerimientos medioambientales de las autoridades nacionales, regionales o locales, que limitan los valores máximos de las emisiones de contaminantes.

La norma europea UNE-EN-303-5 (Calderas de calefacción. Parte 5: Calderas especiales para combustibles sólidos, de carga manual y automática y potencial útil nominal hasta 300 kW. Terminologías, requisitos, ensayos y marcado, publicada en 1999) referente a emisiones en función de la potencia de las calderas establece la siguiente clasificación:

Potencia nominal (kWt)	Límite de emisiones								
	CO (mg/m ³ en 10% O ₂)			COV ⁽¹⁾ (mg/m ³ en 10% O ₂)			Partículas (mg/m ³ en 10% O ₂)		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 1	Clase 2	Clase 3
< 50	15.000	5.000	3.000	1.750	200	100	200	180	150
50-150	12.500	4.500	2.500	1.250	150	80	200	180	150
150-300	12.500	2.000	1.200	1.250	150	80	200	180	150

Tabla 43: Límites de emisiones para calderas de diferentes tipos de biomasa y potencias

Fuente: Normativa UNE-EN 303-5

⁽¹⁾COV: Compuestos orgánicos volátiles

En función de la eficiencia, las calderas se clasifican en tres clases:

Clase 1: 53-62% de eficiencia.

Clase 2: 63-72% de eficiencia.

Clase 3: 73-82% de eficiencia.

El RITE establece que las calderas de biomasa deben tener una eficiencia $\geq 75\%$. Es por esto por lo que el uso de las calderas de clase 1 y 2 en España no está permitido para uso en edificios.

Los datos incluidos en la norma UNE-123-001 de 1994, de carácter indicativo, señalan los siguientes valores

para la temperatura de los gases de combustión en salida de chimenea.

Potencia la caldera	Temperatura de gases de combustión
10 kW	240°C
100 kW	230°C
1.000 kW	210°C

Normas en otros países:

En otros países, las normas correspondientes a emisiones de gases y partículas son las siguientes:

- **Austria**

CO	Límite de emisiones (mg/MJ)		
	NO _x	C orgánico	Partículas
500	150	40	60
750 (30% part. output)			

Tabla 44: Límite de emisiones para madera quemada

Fuente: Normativa EN 303-5

- **Dinamarca**

Combustible	Contenido de CO a carga parcial (ppm, 10% O ₂)	Contenido de CO a carga nominal (ppm, 10% O ₂)	Contenido de partículas a carga nominal (ppm, 10% O ₂)
Pacas, pélets, serrín, astillas, maíz	1.500	1.000	300
Paja	4.000	3.000	600

Tabla 45: Límites de emisiones para diferentes tipos de combustibles

Fuente: Normativa EN 303-5

- **Alemania**

Potencia (kWt)	Emisiones calculadas para las siguientes cantidades de O ₂ (%)	Límite de emisiones			
		CO (mg/m ³)	Partículas (mg/m ³)	C orgánico (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)
15-50	13	4.000	150	-	-
50-150	13	2.000	150	-	-
150-500	13	1.000	150	-	-
500-1.000	13	500	150	-	-
1.000-5.000	11	250	150	50	500
5.000-50.000	11	250	50	50	500

Tabla 46: Límites de emisiones para la combustión de madera limpia

Fuente: Normativa EN 303-5

Estas emisiones fueron calculadas para una combustión con un contenido en oxígeno de un 13% y un 11% y, por lo tanto, desviándose de la norma UNE-EN 303-5, en la cual el contenido de oxígeno es del 10%.

• **Suiza**

Potencia (kWt)	Emisiones calculadas para las siguientes cantidades de O ₂ (%)	Partículas (mg/m ³)	CO (mg/m ³)/CO (%)	C orgánico (mg C/m ³)
20-70	13	-	4.000 / 0,32	-
70-200	13	150	2.000 / 0,16	-
200-500	13	150	1.000 / 0,08	-
500-1.000	13	150	500 / 0,04	-
1.000-5.000	11	150	250 / 0,02	50
> 5.000	11	50	250 / 0,02	50

Tabla 47: Límites de emisiones para calderas de madera quemada

Fuente: Normativa EN 303-5

• **Finlandia**

La normativa finlandesa distingue entre calderas principales y auxiliares de biomasa. Las emisiones vienen recogidas en las siguientes tablas:

– Caldera principal

Potencia (kWt)	CO (mg/m ³)	COV (mg/m ³)
≤50	3.000	100
50 < P ≤ 150	2.500	80
150 < P	1.200	80

– Caldera auxiliar

Potencia (kWt)	CO (mg/m ³)	COV (mg/m ³)
≤50	5.000	150
50 < P ≤ 150	2.500	100
150 < P	1.200	100

Tabla 48: Límites de emisiones para calderas de biomasa

Fuente: Proyecto europeo “BIOHOUSING”

Estas emisiones fueron calculadas para una combustión con un contenido en oxígeno de un 10%.

• **Italia**

Potencia (kWt)	Total de partículas	COV (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)
150-3.000	100	---	350	500	200
3.000-6.000	30	---	300	500	200
6.000-20.000	30	30	250-150 ⁽ⁱ⁾	400-300 ⁽ⁱ⁾	200
> 20.000	30-10 ⁽ⁱ⁾	30-10 ⁽ⁱ⁾	200-100 ⁽ⁱ⁾	400-200 ⁽ⁱ⁾	200

⁽ⁱ⁾ Valores medios diarios

Tabla 49: Límites de emisiones para calderas de biomasa

Fuente: Proyecto europeo “BIOHOUSING”

Para calderas con una potencia menor de 150 kW, las emisiones totales de polvo no podrán exceder los 200 mg/Nm³ durante una hora de operación.

4.9 CLIMATIZACIÓN

La climatización engloba tanto la producción de calor como de frío. La producción de calor a través de la biomasa se realiza a través de calderas automáticas y semiautomáticas, como se ha descrito con anterioridad, mientras que para la producción de frío, además, es necesario incorporar ciclos de absorción.

La producción de frío mediante un ciclo de absorción necesita una fuente de energía térmica. En el caso de sistemas alimentados con biomasa esta fuente es el agua caliente que genera la caldera de biomasa, sustituyendo la labor que realizarían los generadores alimentados con gasóleo, gas, electricidad o energía solar térmica en otros sistemas.

El esquema del ciclo de absorción es el siguiente:

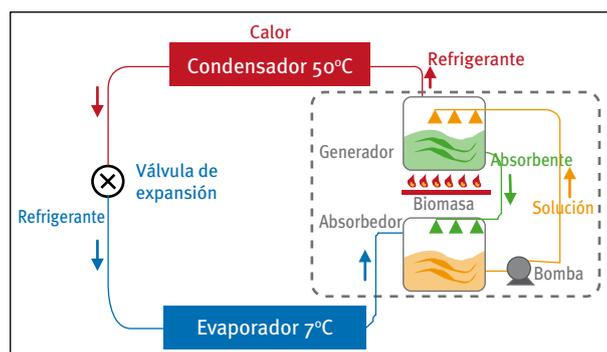


Figura 51: Climatización por medio de biomasa

En el evaporador, que es el foco frío, se produce la adición de calor al refrigerante. El fluido refrigerante (vapor de agua) se expande en la válvula de expansión y se evapora en el evaporador instalado en el recinto frigorífico. La válvula de expansión separa las zonas de la alta presión y de baja presión de la instalación. El vapor de agua, procedente del evaporador pasa al absorbente, donde es absorbido por la disolución, mezclándose y transformándose en disolución diluida. El proceso de disolución en el absorbente se realiza con refrigeración exterior, pues de lo contrario, la temperatura aumentaría en este proceso y la solubilidad disminuiría, interesando precisamente lo contrario. La disolución diluida es bombeada a un intercambiador de calor, donde se calienta, tomando el calor aportado al fluido desde el exterior, a expensas de un enfriamiento de la disolución concentrada, que fluye en dirección contraria, es decir, del generador al absorbente.

La disolución diluida pasa del intercambiador de calor al generador. En el generador, gracias al calor suministrado en forma de vapor o de agua caliente (en este caso procedente de la caldera de biomasa), se realiza el proceso contrario al que se produce en el absorbente. El refrigerante se evapora y se desprende en la parte superior, de donde pasa al condensador, mientras que la mezcla concentrada fluye al absorbente, donde se repite el proceso de mezcla. En el condensador, el vapor de agua producido en el generador es condensado por el agua de refrigeración. La válvula de regulación sirve para mantener separadas la presión del circuito de baja en el absorbente y la presión alta en el generador.

Un resumen técnico a modo de ejemplo de climatización a partir de la biomasa puede verse en la siguiente tabla:

Superficie climatizada	33.000 m ²
Calderas de biomasa	2 x 3.000 kW
Potencia calefacción contratada	2.500 kW
Consumo biomasa	1.500 t/a
Grupo de enfriadora por absorción	4.000 kW + 2.000 kW (auxiliar)
Potencia refrigeración contratada	4.000 kW
Red de distribución	Red de cuatro tubos de tubería preinstalada
Longitud red de distribución	4 km
Ahorro de energía primaria	500 tep/a
Ahorro de emisiones	1.535 t CO ₂ /a

Tabla 50: Climatización por medio de biomasa

Además de todas las ventajas propias del uso de biomasa para calefacción y ACS, hay que sumar el ahorro energético con respecto a una instalación convencional con enfriadoras de tornillo o centrífugas. Todo esto se traduce en un importante ahorro de energía primaria.

4.10 COMBINACIÓN BIOMASA Y ENERGÍA SOLAR

La combinación de una caldera de biomasa con un sistema de energía solar térmica es una opción particularmente atractiva que puede suministrar todas las necesidades de calefacción y agua caliente sanitaria de una instalación.

Debido a que la energía solar no es constante, es siempre necesario disponer de un sistema auxiliar de apoyo. La sustitución de las calderas convencionales por calderas de biomasa como sistema de apoyo permite reducir la emisión de gases contaminantes.



Figura 52: Instalación mixta de biomasa y solar térmica en pabellón de deportes

Además de ventajas ecológicas (cubrir la demanda térmica únicamente con energías renovables), esta solución permite la reducción de los costes de climatización y ACS de un edificio o vivienda unifamiliar.

Durante la época de verano, con bajo consumo de energía térmica, la instalación solar puede proporcionar el 100% de la energía demandada y la instalación de biomasa puede permanecer parada, reduciendo sus costes de mantenimiento, sus emisiones y las pérdidas de



Figura 53: Campo de captadores solares

energía. En caso de tener refrigeración con máquina de absorción la biomasa se utilizaría tal y como se ha descrito en el apartado anterior.

Durante la época de invierno, el sistema de biomasa se emplea para proporcionar la energía que no puede obtenerse del sol.

Como se ha dicho, la instalación solar puede ser empleada tanto para ACS como para calefacción, además de para otros usos, como el calentamiento del agua de piscinas o la climatización mediante generación de frío con máquinas de absorción.

En España estas aplicaciones mixtas deben cumplir los siguientes requisitos:

- Consumir prioritariamente la energía solar evitando las pérdidas por acumulación.
- Asegurar la correcta complementariedad entre la energía solar y la energía auxiliar (biomasa).
- Es recomendable no utilizar un mismo acumulador para la energía solar con la energía auxiliar (biomasa).
- Nunca debe mezclarse el agua caliente sanitaria con el agua para calefacción.

Para ello, es necesario instalar un depósito de acumulación para cada sistema (uno para el sistema de biomasa y otro para el sistema solar). La instalación de un depósito de inercia es siempre recomendable, pero debe dejarse a criterio del proyectista y recomendación del fabricante. Su capacidad aproximada rondaría los 20-30 l/kW.

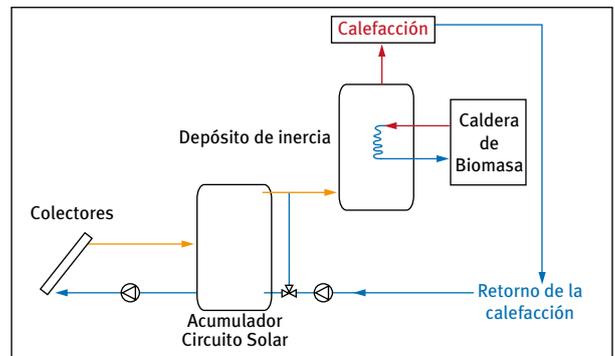


Figura 54: Sistema mixto biomasa-solar para calefacción

Existen distintos esquemas de conexión entre la instalación solar y el sistema de biomasa:

- *Calefacción sin producción de agua caliente sanitaria*

El sistema de energía solar precalienta el agua procedente del retorno de la calefacción y la almacena en el acumulador del sistema solar. Si el agua de retorno tiene una temperatura demasiado elevada se evita su paso por este acumulador mediante una válvula de tres vías. Una vez precalentada el agua pasa a un depósito de inercia donde volverá a ser calentada por la caldera de

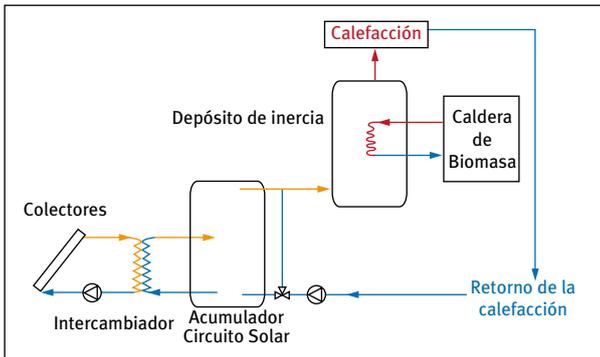


Figura 55: Sistema de energía solar térmica indirecto para calefacción

biomasa. Este depósito ayuda a equilibrar la demanda energética y evita la unión directa de la caldera de biomasa y el sistema solar.

- *Calefacción y producción de agua caliente sanitaria descentralizada*

El sistema sigue el mismo esquema que el anterior. Se diferencian en la distribución de la energía térmica por el edificio. Para la distribución de calefacción y generación de agua caliente sanitaria se disponen intercambiadores que cederán calor a los sistemas individuales de ACS. Estos intercambiadores pueden instalarse en paralelo (ver Figura 56) o en serie con los radiadores. La disposición en paralelo asegura una distribución correcta de la energía y de la temperatura del ACS, siendo más adecuada cuando la temperatura de la red de calefacción no debe ser alta (suelo radiante). La conexión en serie radiador-intercambiador supone optimizar el consumo de energía, disminuyendo al máximo la temperatura de retorno de la calefacción, lo que significa una disminución de las pérdidas en la red de distribución y un mayor rendimiento del sistema solar (ya que el agua llega a menor temperatura). Este sistema es más adecuado para calefacciones con radiadores que necesitan temperaturas superiores en el agua de distribución.

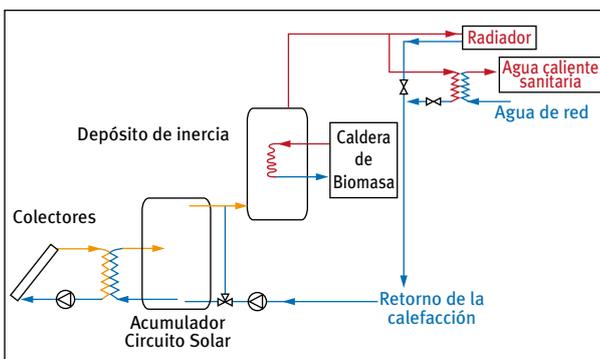


Figura 56: Sistema de energía solar térmica para calefacción y ACS descentralizada

Los sistemas individuales de ACS pueden incluir un acumulador de agua caliente o no (con o sin un sistema de energía auxiliar: resistencia eléctrica, calentador de gas, etc.). Se recomienda el uso de acumuladores en los sistemas individuales a fin de equilibrar la demanda térmica, mejorando el rendimiento del sistema solar e impedir variaciones de carga importantes en la caldera de biomasa.

- *Calefacción y producción de agua caliente sanitaria centralizada*

En este caso el agua de retorno de la calefacción no se almacena en el acumulador del sistema solar ya que éste contendrá agua caliente sanitaria. Para evitar la mezcla del agua caliente sanitaria y el agua del circuito de calefacción en el acumulador solar se dispone, dentro de éste, de un intercambiador. Por el intercambiador pasa el agua de retorno de calefacción precalentándose y almacenándose posteriormente en el depósito de inercia. El agua caliente sanitaria pasa del acumulador solar al depósito de inercia donde se calentará a través de un intercambiador para evitar su mezcla con el agua de calefacción allí contenida. En la Figura 57 puede verse el esquema de esta instalación para un sistema de energía solar térmica indirecto.

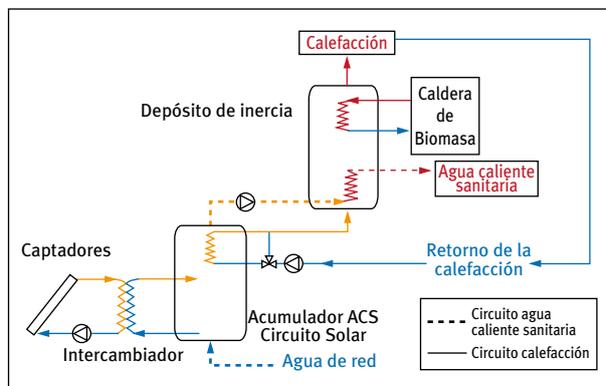


Figura 57: Sistema de distribución de calefacción y ACS centralizada

La distribución de calefacción y ACS se realiza de forma independiente siendo conveniente la existencia de acumuladores individuales de agua caliente sanitaria o de un acumulador centralizado de ACS que esté conectado a la caldera de biomasa.

Los aspectos básicos que hay que tener en cuenta para el diseño de un sistema combinado de energía térmica y biomasa son los siguientes:

- 1 *Diseño:* es importante considerar la integración de un sistema solar térmico en los primeros pasos del diseño del proyecto, para adaptarlo adecuadamente. A fin de reducir el impacto visual y los costes de instalación es preferible integrar los captadores solares en el tejado que montarlos encima. Es preferible que

los captadores formen un campo no interrumpido por chimeneas, etc., para disminuir los costes.

- 2 *Temperatura de retorno*: cuanto más fría esté el agua de retorno que pasa al sistema solar mayor será su rendimiento. Así mismo, cuanto más baja sea la temperatura de uso también será mayor el rendimiento y menor será la necesidad de la caldera de biomasa. Por tanto, es preferible instalar sistemas de calefacción a baja temperatura (por ejemplo, suelo radiante).
- 3 *Conexión hidráulica de los captadores*: los captadores deben conectarse de acuerdo con el caudal principal. Un buen diseño permitirá mayores incrementos de temperatura en el captador, menores pérdidas, menor energía requerida para bombeo, menor recorrido de tuberías y una mejor temperatura de acumulación.
- 4 *Gestión de la acumulación de calor*: debe utilizarse un único acumulador para el sistema de energía solar térmica (que será complementado por otro del sistema auxiliar). El uso de más de un acumulador en el sistema solar implica mayores costes. El acumulador debe estar bien aislado y lo más cerca posible del campo de captadores solares.
- 5 *Inclinación de los captadores*: la inclinación de los captadores solares se sitúa entre los 35 y los 45 grados para España, dependiendo de la zona y el uso principal. Su orientación debe ser Sur. Estas condiciones pueden tener cierto margen de variación cuando las circunstancias lo justifiquen.
- 6 *Dimensionamiento del sistema solar*: es necesario estimar detalladamente la demanda de calor. Para evitar pérdidas importantes de rendimiento de la instalación, así como sobrecalentamientos en verano, no debe sobredimensionarse la instalación aunque esto signifique una menor cobertura con energía solar. Debe procurarse no aportar más del 110% de la energía necesaria en ningún mes. Para evitar estos sobrecalentamientos en los meses de finales de primavera, verano y principios de otoño puede conectarse la instalación a otros usos como son: calentamiento de piscinas, climatización, etc.



5

Operación y mantenimiento

Una condición previa para optimizar la operación y el mantenimiento de la instalación es la elección correcta de la potencia de la caldera. Un correcto dimensionamiento da las condiciones óptimas de operación y reduce la exigencia de gestión de las cenizas, limpieza de la caldera y el número de averías debidas a demandas de potencia demasiado bajas.

Durante la estación de invierno cualquier sistema de calefacción está sujeto a muchas variaciones de carga de calefacción, según la meteorología, el comportamiento del usuario, etc. La curva de carga muestra la demanda que se puede esperar para un periodo de tiempo determinado.

5.1 PLANIFICACIÓN DEL SUMINISTRO

Suministro de biomasa

En calderas que cuentan con un **siló de almacenamiento**, habrá que tener en cuenta los siguientes puntos:

- **Carga del siló para toda una temporada**
Se recomienda que la compra de la biomasa se realice en la temporada de verano puesto que su precio es más económico.
- **Varias cargas del siló por temporada**
Independientemente del número de veces que se rellene el siló en una temporada, éste deberá ser cargado como mínimo con una cantidad de biomasa tal que pueda suplir las necesidades de ACS y calefacción a plena carga durante dos semanas.

En función del biocombustible no consumido y del que se prevé consumir, en la inspección semanal (que puede llevarse a cabo por el usuario) se calculará las necesidades de biomasa previstas y se avisará con suficiente antelación al suministrador.

En el caso de existir sistemas con medición de nivel automática, se realizará igualmente la inspección visual para confirmar la medición.

En calderas que **no dispongan de un siló de almacenamiento**, la previsión del suministro se hará de la siguiente manera:

- **Utilizando pequeñas bolsas con biomasa**
En este caso, hay que asegurar el suministro de calefacción y ACS para dos semanas y a plena carga.

Independientemente del tipo de caldera que se posea (con siló, sin siló, automática, semiautomática...), hay que revisar al menos una vez en semana (por parte del usuario y para calderas de <70 kW) el nivel del siló.

Suministro de electricidad

Con respecto a la distribución de electricidad a la instalación, hay que asegurar que la potencia contratada sea adecuada al incremento debido a los motores de la instalación.

Los motores eléctricos pueden ser monofásicos o trifásicos. Habrá que consultar con el instalador o suministrador qué tipo de motor utiliza la caldera. En el caso de tener monofásica, existen equipos que la transforman en trifásica y viceversa.

Contratación de los servicios de mantenimiento

El mantenimiento de las instalaciones con calderas de biomasa se debe de realizar por medio de una Empresa Autorizada de acuerdo con lo establecido en el RITE y registrada en el Organismo Competente de la Comunidad Autónoma donde se encuentre la instalación. Es conveniente consultar con la empresa suministradora del sistema de calefacción los contratos de mantenimiento existentes.

Con respecto a la optimización de la producción de energía, algunas estrategias para regular la carga y mejorar la seguridad del suministro son:

Complementar la caldera de biomasa con una caldera convencional (de gasóleo o de gas)

En este caso se utiliza la caldera convencional para cubrir los picos de demanda y servir como sistema auxiliar. De

esta manera la potencia de la caldera de biomasa a instalar puede reducirse hasta el 60 ó 70% de la potencia térmica máxima. La caldera de biomasa podrá abastecer entre el 90 y el 95% de las necesidades energéticas de calefacción ya que la demanda máxima de carga sólo aparece durante períodos cortos (esto depende del clima local; sin embargo, es necesario calcular la curva local de duración de carga para su dimensionamiento apropiado). Esta solución es particularmente ventajosa cuando existe una caldera antigua de gasóleo o gas, en

condiciones correctas de funcionamiento, y que pueda ser utilizada en periodos de tiempo cortos. Debe tenerse en cuenta que en ningún caso las dos calderas (biomasa y convencional) podrán compartir la salida de humos, aunque no estén simultáneamente en funcionamiento, tal y como cita el RITE: “En ningún caso se podrán conectar a un mismo conducto de humos generadores que empleen combustibles diferentes.”

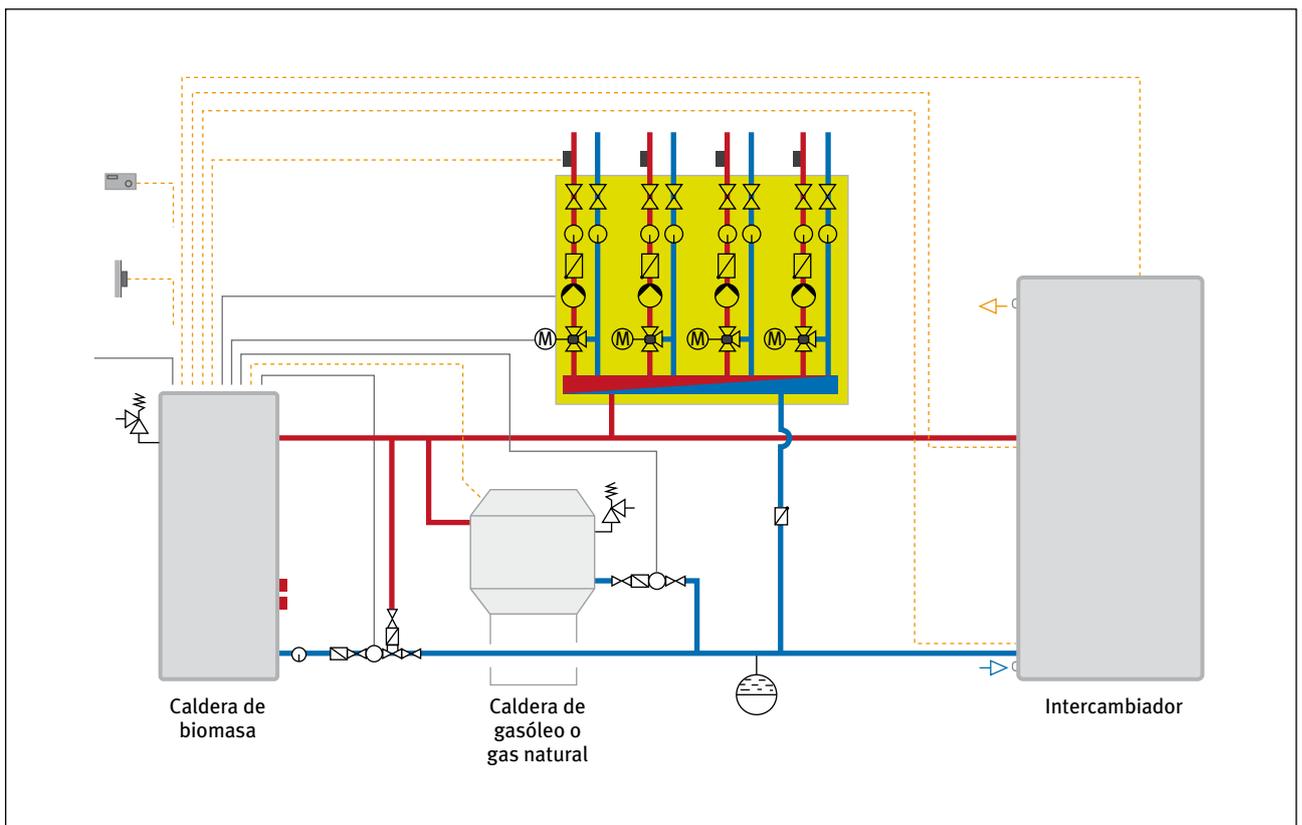


Figura 58: Caldera de biomasa con caldera convencional

La caldera de biomasa puede cubrir la demanda máxima, ayudada por un depósito de inercia

Esto se realiza con el fin de gestionar los periodos cortos de variación de carga y asegurar que la caldera pueda operar con cargas bajas de forma razonable.

El depósito de inercia se utiliza, en algunos países, como acumulador de agua caliente de un sistema energía solar térmica, durante el verano. Esta solución tiene como ventaja que sólo se necesita una chimenea.

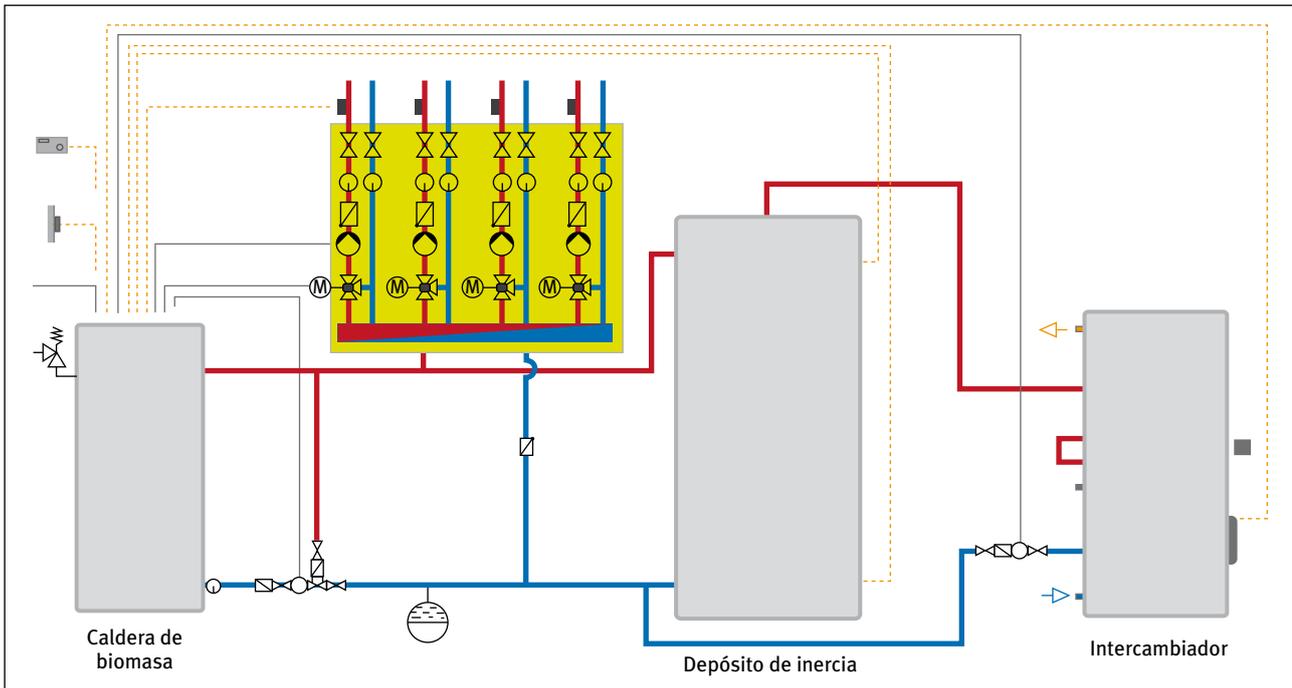


Figura 59: Caldera de biomasa ayudada por depósito de inercia

Combinación de dos calderas de biomasa

La segunda caldera aumenta la seguridad de suministro (por esta razón debe tener su propio sistema de alimentación de combustible) y se asegura que las calderas operen de forma óptima para cualquier carga. Puede ser más económico instalar una segunda caldera de biomasa que una caldera convencional más un depósito de gasóleo o una conexión de gas (además, si la suma de la potencia de las dos calderas de

biomasa no supera los 400 kW pueden compartir conducto de humos). Debe observarse en este punto que un sistema de gestión de la demanda correctamente dimensionado depende de una correcta estimación de la carga real de calor. En edificios existentes la carga de calor puede ser calculada dividiendo la demanda energética anual por el número de las horas de operación a potencia máxima que corresponden al clima local y al uso concreto del edificio.

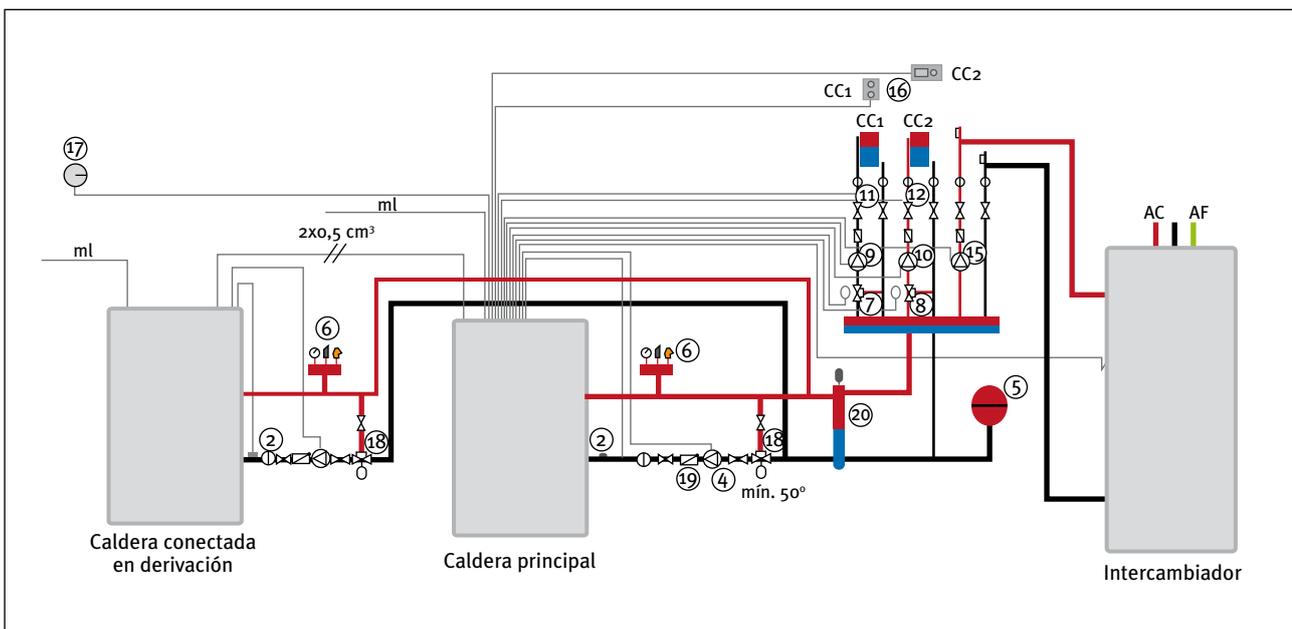


Figura 60: Combinación de dos calderas de biomasa

Según la IT. 1.3.4.1.4 apartado 3, “En edificios nuevos la capacidad mínima de almacenamiento de biocombustible será la suficiente para cubrir el consumo de dos semanas”.

Para llevar a cabo este control, será necesario comprobar el estado de almacenamiento de la biomasa una vez por semana.

5.2 PUESTA EN MARCHA DE LA INSTALACIÓN

La IT. 2 tiene por objeto establecer el procedimiento a seguir para efectuar las pruebas de puesta en servicio de una instalación térmica.

- Equipos

Se tomará nota de los datos de funcionamiento de los equipos y aparatos, que pasarán a formar parte de la documentación final de la instalación. Se registrarán los datos nominales de funcionamiento que figuren en el proyecto o memoria técnica y los datos reales de funcionamiento.
- Pruebas de estanqueidad de redes de tuberías de agua
 - Preparación y limpieza de redes de tuberías

Todas las redes de circulación de fluidos portadores deben ser probadas hidrostáticamente, a fin de asegurar su estanqueidad, antes de quedar ocultas por obras de albañilería, material de relleno o material aislante.

Antes de realizar las pruebas de estanqueidad y de efectuar el llenado definitivo, las redes de tuberías de agua deben ser limpiadas internamente para eliminar los residuos procedentes del montaje.

Las pruebas de estanqueidad requerirán el cierre de los terminales abiertos. Deberá comprobarse que los aparatos y accesorios que queden incluidos en la sección de la red que se pretende probar puedan soportar la presión a la que se les va a someter. De no ser así, tales aparatos y accesorios deben quedar excluidos, cerrando válvulas y sustituyéndolos por tapones.

Para ello, una vez completada la instalación, la limpieza podrá efectuarse llenándola y vaciándola el número de veces que sea necesario, con agua o con una solución acuosa de un producto detergente, con dispersantes compatibles con los materiales empleados en el circuito, cuya concentración será establecida por el fabricante.

El uso de productos detergentes no está permitido para redes de tuberías destinadas a la distribución de agua para usos sanitarios.

Tras el llenado, se pondrán en funcionamiento las bombas y se dejará circular el agua durante

el tiempo que indique el fabricante del compuesto dispersante. Posteriormente, se vaciará totalmente la red y se enjuagará con agua procedente del dispositivo de alimentación.

En el caso de redes cerradas, destinadas a la circulación de fluidos con temperatura de funcionamiento menor que 100°C, se medirá el pH del agua del circuito. Si el pH resultara menor de 7,5, se repetirá la operación de limpieza y enjuague tantas veces como sea necesario. A continuación se pondrá en funcionamiento la instalación con sus aparatos de tratamiento.

- Prueba preliminar de estanqueidad

Esta prueba se efectuará a baja presión, para detectar fallos de la red y evitar los daños que podría provocar la prueba de resistencia mecánica; se empleará el mismo fluido transportado o, generalmente, agua a la presión de llenado. La prueba preliminar tendrá la duración suficiente para verificar la estanqueidad de todas las uniones.
- Prueba de resistencia mecánica

Esta prueba se realizará a continuación de la prueba preliminar: una vez llenada la red con el fluido de prueba se someterá a las uniones a un esfuerzo por la aplicación de la presión de prueba. En el caso de circuitos cerrados de agua caliente hasta una temperatura máxima de servicio de 100°C, la presión de prueba será equivalente a una vez y media la presión máxima efectiva de trabajo a la temperatura de servicio, con un máximo de 6 bar; para circuitos de agua caliente sanitaria, la presión de prueba será equivalente a dos veces la presión máxima efectiva de trabajo a la temperatura de servicio, con un mínimo de 6 bar.

Para los circuitos primarios de las instalaciones de energía solar, la presión de la prueba será la de una vez y media la presión máxima de trabajo del circuito primario, con un mínimo de 3 bar, comprobándose el funcionamiento de las líneas de seguridad.

Los equipos, aparatos y accesorios que no soporten dichas presiones quedarán excluidos de la prueba.

La prueba hidráulica de resistencia mecánica tendrá la duración suficiente para verificar visualmente la resistencia estructural de los equipos y tuberías sometidos a la misma.
- Reparación de fugas

La reparación de las fugas detectadas se realizará desmontando la junta, accesorio o sección donde se haya originado la fuga y sustituyendo la parte defectuosa o averiada con material nuevo.

Una vez reparadas las anomalías, se volverá a comenzar desde la prueba preliminar. El proceso se repetirá tantas veces como sea necesario, hasta que la red sea estanca.

- Pruebas de libre dilatación

Una vez que las pruebas anteriores de las redes de tuberías hayan resultado satisfactorias y se haya comprobado hidrostáticamente el ajuste de los elementos de seguridad, las instalaciones equipadas con generadores de calor se llevarán hasta la temperatura de tarado de los elementos de seguridad, habiendo anulado previamente la actuación de los aparatos de regulación automática. En el caso de instalaciones con captadores solares se llevará a la temperatura de estancamiento.

Durante el enfriamiento de la instalación y al finalizar el mismo, se comprobará visualmente que no haya tenido lugar deformaciones apreciables en ningún elemento o tramo de tubería y que el sistema de expansión haya funcionado correctamente.

- Pruebas de recepción de redes de conductos de aire

La limpieza interior de las redes de conductos de aire se efectuará una vez se haya completado el montaje de la red y de la unidad de tratamiento de aire, pero antes de conectar las unidades terminales y de montar los elementos de acabado y los muebles.

En las redes de conductos se cumplirá con las condiciones que prescribe la norma UNE 100012.

Antes de que la red de conductos se haga inaccesible por la instalación de aislamiento térmico o el cierre de obras de albañilería o falsos techos, se realizarán pruebas de resistencia mecánica y de estanqueidad para establecer si se ajustan al servicio requerido, de acuerdo con lo establecido en el proyecto o memoria técnica.

Para la realización de las pruebas las aberturas de los conductos, donde irán conectados los elementos de difusión de aire o las unidades terminales, deben cerrarse rígidamente y quedar perfectamente selladas.

Las redes de conducto deben someterse a pruebas de resistencia estructural y estanqueidad.

El caudal de fuga admitido se ajustará a lo indicado en el proyecto o memoria técnica, de acuerdo con la clase de estanqueidad elegida.

- Pruebas de estanqueidad de chimeneas

La estanqueidad de los conductos de evacuación de humos se ensayará según las instrucciones de su fabricante.

- Pruebas finales

Se consideran válidas las pruebas finales que se realicen siguiendo las instrucciones indicadas en

la norma *UNE-EN 12599* en lo que respecta a los controles y mediciones funcionales.

Las pruebas de libre dilatación y las pruebas finales del subsistema solar se realizarán en un día soleado sin demanda.

En el subsistema solar se llevará a cabo una prueba de seguridad en condiciones de estancamiento del circuito primario, a realizar con este lleno y la bomba de circulación parada, cuando el nivel de radiación sobre la apertura del captador sea superior al 80% del valor de irradiancia fijada como máxima, durante al menos una hora.

La empresa instaladora realizará y documentará el procedimiento de ajuste y equilibrado de los sistemas de distribución de agua, de acuerdo con lo siguiente:

De cada circuito hidráulico se deben conocer el caudal nominal y la presión, así como los caudales nominales en ramales y unidades terminales.

Se comprobará que el fluido anticongelante contenido en los circuitos expuestos a heladas cumple con los requisitos especificados en el proyecto o memoria técnica.

Cada bomba, de la que se debe conocer la curva característica, deberá ser ajustada al caudal de diseño, como paso previo al ajuste de los generadores de calor y frío a los caudales y temperaturas de diseño.

Las unidades terminales, o los dispositivos de equilibrado de los ramales, serán equilibradas al caudal de diseño.

En circuitos hidráulicos equipados con válvulas de control de presión diferencial, se deberá ajustar el valor del punto de control del mecanismo al rango de variación de la caída de presión del circuito controlado.

Cuando exista más de una unidad terminal de cualquier tipo, se deberá comprobar el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales, mediante el procedimiento previsto en el proyecto o memoria técnica.

De cada intercambiador de calor se deben conocer la potencia, temperatura y caudales de diseño, debiéndose ajustar los caudales de diseño que lo atraviesan.

Cuando exista más de un grupo de captadores solares en el circuito primario del subsistema de energía solar, se deberá probar el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales de la instalación mediante el procedimiento previsto en el proyecto o memoria técnica.

Cuando exista riesgo de heladas se comprobará que el fluido de llenado del circuito primario del subsistema de energía solar cumple con los requisitos especificados en el proyecto o memoria técnica.

Se comprobará el mecanismo del subsistema de energía solar en condiciones de estancamiento así como el retorno a las condiciones de operación nominal sin intervención del usuario con los requisitos especificados en el proyecto o memoria técnica.

Con respecto a los sistemas automáticos, el ajuste y equilibrado englobará los apartados que a continuación se detallan.

Se ajustarán los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño especificados en el proyecto o memoria técnica y se comprobará el funcionamiento de los componentes que configuran el sistema de control.

Para ello, se establecerán los criterios de seguimiento basados en la propia estructura del sistema, en base a los niveles del proceso siguiente: nivel de actividades de campo, nivel de proceso, nivel de comunicaciones, nivel de gestión y telegestión.

Los niveles de proceso serán verificados para constatar su adaptación a la aplicación, de acuerdo con la base de datos especificados en el proyecto o memoria técnica. Son válidos a estos efectos los protocolos establecidos en la norma *UNE-EN-ISO 16484-3*.

Cuando la instalación disponga de un sistema de control, mando y gestión o telegestión basado en la tecnología de la información, su mantenimiento y la actualización de las versiones de los programas deberán ser realizados por personal cualificado o por el mismo suministrador de los programas.

Con respecto a la eficiencia energética, la empresa instaladora realizará y documentará la comprobación del funcionamiento de la instalación en las condiciones del régimen.

Se comprobará:

- La eficiencia energética de los equipos de generación de calor y frío en las condiciones de trabajo. El rendimiento del generador de calor no debe ser inferior en más de 5 unidades del límite inferior del rango marcado para la categoría hincada en el etiquetado energético del equipo de acuerdo con la normativa vigente.
- Los intercambiadores de calor, climatizadores y demás equipos en los que se efectúe una transferencia de energía térmica.
- La eficiencia y aportación energética de la producción de los sistemas de generación de energía de origen renovable.
- El funcionamiento de los elementos de regulación y control.
- Las temperaturas y los saltos térmicos de todos los circuitos de generación, distribución y las unidades terminales en las condiciones de régimen.

- Que los consumos energéticos se hallan dentro de los márgenes previstos en el proyecto o memoria técnica.
- El funcionamiento y el consumo de los motores eléctricos en las condiciones reales de trabajo.
- Las pérdidas térmicas de distribución de la instalación hidráulica.

5.3 CONTROL DEL FUNCIONAMIENTO

Según la IT 3.7, el programa de funcionamiento será adecuado a las características técnicas de la instalación concreta con el fin de dar el servicio demandado con el mínimo consumo energético.

En el caso de instalaciones de potencia térmica nominal mayor que 70 kW comprenderá los siguientes aspectos:

- Horario y puesta en marcha y parada de la instalación.
- Orden de puesta en marcha y parada de los equipos.
- Programa de modificación del régimen de funcionamiento.
- Programa de paradas intermedias del conjunto o de parte de equipos.
- Programa y régimen especial para los fines de semana y para condiciones especiales de uso del edificio o de condiciones exteriores excepcionales.

Actualmente, existen varios tipos y unidades de control de los parámetros de la caldera. El control adapta la potencia de la caldera automáticamente y de forma continua desde el estado de disponibilidad hasta el de plena carga en función del calor necesario. El concepto de regulación garantiza unas condiciones óptimas de combustión, pocas emisiones y la máxima rentabilidad.

Además de la regulación de la combustión, existe la posibilidad de que la caldera cuente con un sistema de regulación de la gestión del calor, tanto para casas unifamiliares como para redes locales de calefacción.

Una caldera puede contar con las plataformas de regulación que a continuación se detallan:

- Placa base: contiene todas las entradas/salidas de la regulación de la caldera, incluidos los sensores y conexiones para cableado externo. La placa base contiene también el control para un depósito de ACS y un depósito de inercia con dos sensores de temperatura.
- Mando de control de la caldera: utilizado para manejar y regular la caldera, así como para la gestión del calor. Además, existe la posibilidad de que la unidad de control pueda utilizarse para la visualización de datos, como termómetro interior, mando a distancia...

- Unidad analógica de control remoto: normalmente se utiliza para manejar con sencillez un circuito de calor, con sensor de temperatura ambiente.



Figura 61: Unidad de control remoto analógica

- Unidad de control remoto digital: en la mayoría de los casos permite manejar uno o más circuitos de calefacción con sensor de interiores, así como configurar y monitorizar la gestión del circuito de calefacción, el depósito de ACS y el de inercia.



Figura 62: Unidad de control remoto digital

- Módulo de ampliación del circuito de calefacción: para el control de un máximo de 2 circuitos de calefacción, un depósito de ACS y un depósito de inercia. El manejo y la monitorización se hacen a través del mando de control de caldera, o bien, opcionalmente, a través de unidades de control remoto digitales.



Figura 63: Módulo de ampliación del circuito de calefacción

Existe la posibilidad de supervisar y controlar activamente el sistema de calefacción a través del teléfono móvil. Las prestaciones de este sistema abarcan desde mensajes de alarma en texto completo (por ejemplo “Intervalo de mantenimiento expirado”), hasta el control activo de la instalación: conectar y desconectar la instalación, configurar los circuitos de calor y el depósito de ACS,... Además se puede llevar a cabo una consulta de los estados de operación en los que se encuentren la caldera, los circuitos de calor, el depósito de ACS, el de inercia...

También existe la posibilidad de llevar a cabo una monitorización remota y el mando remoto desde un ordenador. Para ello se tiene la posibilidad de instalar el ordenador directamente in situ o en cualquier otro lugar utilizando una conexión de módem.

A través de un ordenador in situ, existe la posibilidad de registrar y evaluar los datos que suministra la caldera al sistema de regulación y control, pudiéndose llevar a cabo un estudio cronológico de eventos, rastrear parámetros, y ver cuándo se han cambiado los mismos.

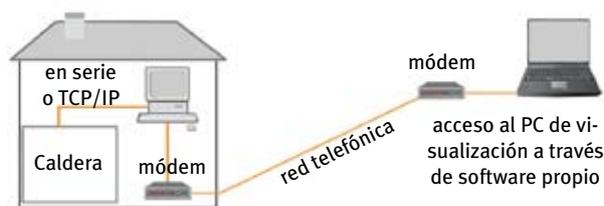


Figura 64: PC de visualización próximo a la instalación

Vía módem se puede acceder a la instalación de calefacción desde cualquier sitio. Así, se puede tener la calefacción bajo control para poder intervenir en caso necesario. Utilizando esta característica, el servicio al cliente por parte de la empresa instaladora y/o mantenedora puede hacerse cargo del mantenimiento remoto de la calefacción del cliente.

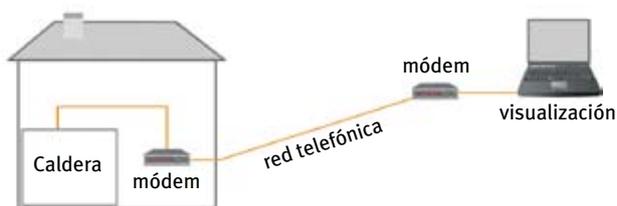


Figura 65: Sin PC próximo a la instalación

5.4 TAREAS DE MANTENIMIENTO

Una condición previa para optimizar la operación y el mantenimiento de la instalación es la elección correcta de la potencia de la caldera. Un correcto dimensionamiento da las condiciones óptimas de operación y reduce la exigencia de gestión de las cenizas,

limpieza de la caldera y el número de averías debidas a demandas de potencia demasiado bajas (IT. 3.3). Las operaciones de mantenimiento las realizará una empresa mantenedora autorizada. La siguiente tabla indica las tareas de mantenimiento preventivo para biomasa, incluyendo algunas operaciones generales recogidas en el RITE.

Operación	Periodicidad	
	≤ 70 kW	> 70 kW
Revisión de los datos de timbrado de la caldera	t	t
Medición del pH del agua de la caldera	t	t
Verificación de la válvula de seguridad	t	t
Revisión del vaso de expansión	t	t
Revisión de los sistemas de tratamiento de agua (si procede)	t	t
Comprobación del material refractario (si procede)		2t
Comprobación de presión de agua en circuitos y en la caldera	t	m
Comprobación de estanqueidad de circuitos de tuberías y en el hogar	--	t
Revisión y limpieza de aparatos de recuperación de calor	t	t
Revisión y limpieza de unidades de impulsión y retorno de aire	t	t
Verificación de estado, disponibilidad y timbrado de elementos de prevención de incendios	t	t
Revisión del estado del aislamiento térmico	t	t
Revisión del sistema de control automático de encendido y apagado	t	2t
Comprobación del estado de almacenamiento del biocombustible sólido (por el usuario)	s	m
Apertura y cierre del contenedor plegable en instalaciones de biocombustible sólido (por el usuario)	t	t
Limpieza y retirada de cenizas en instalaciones de biocombustible sólido (por el usuario)	m	m
Control visual de la caldera de biomasa (por el usuario)	s	m
Comprobación y limpieza, si procede, de la cámara de combustión, conductos de humos y chimeneas en calderas de biomasa	t	2t
Comprobación de reglaje y actuación del termostato de trabajo	t	t
Comprobación de reglaje y actuación de la seguridad por temperatura	t	m
Verificación del sistema de ignición del biocombustible	t	t
Verificación del extractor de gases de la combustión	t	t
Verificación de actuación de los circuitos de seguridad y enclavamiento	t	t
Limpieza de la cúpula de postcombustión	t	m
Control de piezas de desgaste (cuando proceda) o por indicaciones del fabricante	t	m
Control de las placas de empuje (cuando proceda)	t	m
Controlar las instalaciones de seguridad contra el retroceso de la combustión (cuando proceda)	t	m
Controlar la limpieza de los remanentes de la combustión	t	m
Limpieza y control de la tapa de seguridad contra el retroceso de la combustión	t	m
Lubricar todos los rodamientos y cadenas	t	m
Medición de los gases de combustión y creación de un acta de medición (a partir del 01.10.2006)	t	m
Limpieza y comprobación de la junta de estanqueidad de la puerta	t	m
Limpieza y comprobación del sinfín de alimentación del biocombustible y de extracción de ceniza	t	m
Limpieza y comprobación del estado del cableado y de los sensores	t	m
Verificación y apriete de las conexiones eléctricas	t	t

(continuación)

Operación	Periodicidad	
	≤ 70 kW	> 70 kW
Verificación y ajuste de la protección térmica del motor del ventilador	t	t
Verificación de las conexiones de la puesta a tierra de la caldera y de los sistemas eléctricos para el transporte del biocombustible	t	t
Verificación de los pilotos de señalización y sustitución si procede	t	t
Verificación de interruptores, contactores, relés y protecciones eléctricas	t	t
Verificación del estado y funcionamiento de la ventilación de la sala de calderas	t	t

s: una vez cada semana; m: una vez al mes, la primera al inicio de la temporada

t: una vez por temporada (año); 2t: dos veces por temporada (año), una al inicio de la misma y otra a la mitad del período de uso, siempre que haya una diferencia mínima de dos meses entre ambas

Tabla 51: Operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad

Fuente: RITE y propia

Además del programa de mantenimiento preventivo, el RITE establece un programa de gestión energética (IT 3.4.1) donde la empresa mantenedora autorizada

realizará un análisis y evaluación periódica del rendimiento de los equipos generadores de calor en función de su potencia térmica nominal instalada.

Medidas de generadores de calor	Periodicidad		
	20 kW < P ≤ 70 kW	70 kW < P ≤ 1.000 kW	P > 1.000 kW
Temperatura o presión del fluido portador en entrada y salida del generador de calor	2a	3m	m
Temperatura ambiente local o sala de máquinas	2a	3m	m
Temperatura de los gases de combustión	2a	3m	m
Contenido de CO y CO ₂ en los productos de combustión	2a	3m	m
Índice de opacidad de los humos combustibles sólidos o líquidos y de contenido de partículas sólidas en combustibles sólidos	2a	3m	m
Tiro en la caja de humos de la caldera	2a	3m	m

m: una vez al mes, la primera al inicio de la temporada

3m: cada tres meses, la primera al inicio de la temporada

2a: cada dos años

Tabla 52: Programa de gestión energética

Fuente: RITE

Además de las operaciones de mantenimiento (preventivo y gestión energética), las calderas de biomasa están sujetas a inspecciones periódicas de eficiencia energética, como establece la IT 4.1.

Serán inspeccionados los generadores de calor de potencia térmica nominal instalada igual o mayor que 20 kW.

La inspección del generador de calor comprenderá los siguientes apartados:

- Análisis y evaluación del rendimiento.

En las sucesivas inspecciones o medidas el rendimiento tendrá un valor no inferior a 2 unidades con respecto al determinado en la puesta en servicio.

- Inspección del registro oficial de las operaciones de mantenimiento que se establecen en la IT.3, relacionadas con la generación de calor y de energía solar térmica, para verificar su realización periódica, así como el cumplimiento y adecuación del “Manual de Uso y Mantenimiento” a la instalación existente.

- La inspección incluirá la instalación de energía solar, caso de existir, y comprenderá la evaluación de la contribución solar mínima en la producción de agua caliente sanitaria y calefacción solar.

Se realizará una inspección completa de la instalación térmica cuando la instalación térmica tenga más de 15 años de antigüedad, contados a partir de la fecha de emisión del primer certificado de la instalación, y la potencia térmica nominal instalada sea mayor que 20 kW. Esta inspección comprenderá como mínimo, las siguientes actuaciones:

- Inspección de todo el sistema relacionado con la exigencia de eficiencia energética regulada por la IT.1.

- Inspección del registro oficial de las operaciones de mantenimiento que se establecen en la IT.3, para la instalación térmica completa y comprobación del cumplimiento y la adecuación del “Manual de Uso y Mantenimiento” a la instalación existente.
- Elaboración de un dictamen con el fin de asesorar al titular de la instalación, proponiéndole mejoras o modificaciones de su instalación, para mejorar su eficiencia energética y contemplar la incorporación de energía solar. Las medidas técnicas estarán justificadas en base a su rentabilidad energética, medioambiental y económica.

La periodicidad de las inspecciones de eficiencia energética se resume en la siguiente tabla:

Potencia térmica nominal (kW)	Períodos de inspección
$20 \leq P \leq 70$	Cada 5 años
$P > 70$	Cada 4 años

Tabla 53: Inspecciones

Fuente: RITE

5.5 MANIPULACIÓN DE LAS CENIZAS

A diferencia del gas natural y gasóleo, la combustión de la biomasa genera cenizas. Por ello es necesario un dispositivo de extracción de las mismas. Las cenizas de madera no son peligrosas y frecuentemente se utilizan como fertilizantes. En ambientes urbanos pueden tirarse a la basura. En cualquier caso, debe cumplirse la normativa local al respecto.

Uno de los aspectos a tener en cuenta es la temperatura de fusión de las cenizas. Si el horno donde se produce la combustión alcanza temperaturas elevadas y el biocombustible disponible produce unas cenizas con temperatura de fusión reducida, éstas pueden llegar a

fundirse. Si esto ocurre, el flujo de aire primario puede quedar limitado –y la calidad de la combustión– y la extracción de cenizas puede sufrir bloqueos o poca efectividad.

En el caso de los residuos agroindustriales la variedad de orígenes y tipos de residuos hace imposible dar unos valores medios para los componentes de sus cenizas. En la mayoría de los casos estas podrán ser utilizadas como fertilizantes o tiradas a la basura junto con el resto de residuos orgánicos. Se recomienda que, antes de tomar una decisión, se consulte al proveedor de biomasa y se pidan los datos referentes a la composición de la misma. En la siguiente tabla se muestran los principales componentes de las cenizas de astillas de madera:

Componente	SiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O
(% sobre peso)	24,5	46,6	4,8	6,9	0,5	3,8

Tabla 54: Composición de las cenizas de astillas de madera

Las calderas de biomasa poseen diferentes sistemas de evacuación de cenizas en función del diseño de la caldera. El mecanismo más común para la retirada de cenizas consiste en dos tornillos sinfín que transportan la ceniza de manera automática de la cámara de combustión al contenedor de cenizas. Allí se comprimen y hace que el manejo sea aún más confortable. En las calderas más modernas existe un control electrónico del llenado del cajón de cenizas, que puede llegar a desactivar la caldera en el caso de que no se produzca la retirada de las cenizas.



Figura 66: Dispositivo para la retirada de cenizas



Figura 67: Dispositivo para la retirada de cenizas

En aquellas calderas que, debido a su tamaño o al biocombustible utilizado, se genera gran cantidad de cenizas, existe la posibilidad de conducir las a un contenedor de mayor capacidad y prolongar así los intervalos de vaciado. Este sistema también puede ser útil para instalaciones con una baja producción de cenizas donde se desee ampliar los intervalos de recogida de las mismas.



Figura 68: Sistema de extracción de cenizas

Pueden darse casos en los que se acumule una gran cantidad de cenizas siendo necesaria la contratación de un servicio de retirada de cenizas, a través de la empresa instaladora y/o responsable del mantenimiento.

Apéndices

APÉNDICE I: NORMAS PARA CONSULTA

Comunidad europea

- Especificaciones técnicas europeas:
 - CEN/TS 14588: Biocombustibles sólidos. Terminología, definiciones y descripciones.
 - CEN/TS 14774: Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación del contenido de humedad.
 - CEN/TS 14775: Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación del contenido en cenizas.
 - CEN/TS 14778: Biocombustibles sólidos. Métodos de muestreo.
 - CEN/TS 14780: Biocombustibles sólidos. Métodos para la preparación de la muestra.
 - CEN/TS 14918: Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación del poder calorífico.
 - UNE-CEN/TS 14961 EX: Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases.
 - CEN/TS 15103: Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación de la densidad aparente.

- CEN/TS 15149: Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación de la distribución del tamaño de partícula.
- CEN/TS 15210: Biocombustibles sólidos. Métodos para la determinación de la durabilidad mecánica de pélets y briquetas.

- Normativa europea:

- EN 303-5: Métodos de prueba y requisitos de emisiones para pequeñas calderas en Europa.

Austria

- Normativa austriaca:

- Ö NORM M7132: Aprovechamiento energético y económico de madera y cortezas como combustible. Definiciones y características.
- Ö NORM M7133: Astillas. Requisitos y métodos de determinación.
- Ö NORM M7135: Comprimidos naturales de madera y cortezas. Pélets y briquetas. Requisitos y métodos de determinación.
- Ö NORM M7136: Comprimidos naturales de madera. Pélets de madera. Aseguramiento de calidad en la logística del transporte y almacenamiento.
- Ö NORM M7137: Madera comprimida en estado natural. Pélets de madera. Requisitos para el almacenamiento de pélets por el usuario final.

Propiedades	Pélets de madera	Pélets de corteza
Diámetro (mm)	4-10	4-10
Longitud (mm)	< 5 x diámetro	< 5 x diámetro
Densidad (kg/dm ³)	< 1,12	< 1,12
Humedad (% en peso)	< 10	< 18
Durabilidad (Lignotest)	2,3	2,3
Cenizas (% en peso)	< 0,5	< 6
Poder calorífico (MJ/kg)	> 18	> 18
Azufre (% en peso)	< 0,04	< 0,08
Nitrógeno (% en peso)	< 0,3	< 0,6
Cloro (% en peso)	< 0,02	< 0,04
Aditivos (% en peso)	< 2	< 2

Tabla 55: Clases de pélets

Fuente: Norma austriaca Ö NORM M7135

Suecia

- SS 187120. Especifica tres clases de pélets en función del tamaño y de la cantidad de cenizas que generan.

Propiedades	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Diámetro (mm)	< 25 mm		
Longitud (mm)	< 4 x diámetro	< 5 x diámetro	< 5 x diámetro
Durabilidad (% finos < 3%)	< 0,8	< 1,5	< 1,5
Humedad (% en peso)	< 10	< 10	< 12
Cenizas (% en peso)	< 0,7	< 1,5	< 1,5
Poder calorífico (MJ/kg)	> 16,9	> 16,9	> 15,1
Azufre (% en peso)	< 0,08	< 0,08	Indicar
Nitrógeno (% en peso)	-	No especificado	No especificado
Cloro (% en peso)	< 0,03	< 0,03	Indicar
Densidad aparente (kg/m ³)	> 600	> 500	> 500
Fusibilidad de las cenizas	Indicar	Indicar	Indicar
Aditivos	Indicar	Indicar	Indicar

Tabla 56: Clases de pélets

Fuente: Norma sueca SS 187120

Alemania

- Normativa alemana:
 - DIN 51731: <http://www.nmp.din.de>
Análisis de combustibles sólidos. Madera comprimida no tratada. Requisitos y métodos de determinación.
 - DIN Plus: pélets de gran calidad para calderas que sólo trabajan con pélets.

DIN 51731	
Propiedades	Pélets de Madera
Diámetro (mm)	4-10
Longitud (mm)	< 5
Densidad (kg/m ³)	1-1,4
Humedad (% en peso)	< 12
Cenizas (% en peso)	< 1,5
Poder calorífico (MJ/kg)	17,5-19,5
Azufre (% en peso)	< 0,08
Nitrógeno (% en peso)	< 0,3
Cloro (% en peso)	< 0,03
Arsénico (mg/kg)	< 0,8
Cadmio (mg/kg)	< 0,5
Cromo (mg/kg)	< 8
Cobre (mg/kg)	< 5
Mercurio (mg/kg)	< 0,05
Plomo (mg/kg)	< 10
Zinc (mg/kg)	< 100

Tabla 57: Clases de pélets

Fuente: Norma alemana DIN 51731

DIN Plus	
Propiedades	Pélets de Madera
Diámetro (mm)	Indicar
Longitud (mm)	< 5 x diámetro
Densidad real (kg/m ³)	1,12
Humedad (% en peso)	< 10
Cenizas (% en peso)	< 0,5
Poder calorífico (MJ/kg)	> 18
Azufre (% en peso)	< 0,04
Nitrógeno (% en peso)	< 0,3
Cloro (% en peso)	< 0,03
Arsénico (mg/kg)	< 0,8
Cadmio (mg/kg)	< 0,5
Cromo (mg/kg)	< 8
Cobre (mg/kg)	< 5
Mercurio (mg/kg)	< 0,05
Plomo (mg/kg)	< 10
Zinc (mg/kg)	< 100
Densidad aparente	Indicar
Durabilidad	< 2,3%
Aditivos	< 2%

Tabla 58: Clases de pélets

Fuente: Norma alemana DIN Plus

Italia

- Normativa italiana:
 - CTI Ro4/06: establece los parámetros de calidad de los pélets de biomasa con fines energéticos. Distingue 3 categorías en función del origen.

Parámetro	Unidad	Categoría		
		A.1	A.2	A.3
Origen		Troncos de árboles caducifolios sin corteza. Madera sin tratar de industrias madereras. Madera sin corteza y sin tratar tras ser utilizada. Mezcla de las categorías anteriores	Materiales en crudo comprendidos en la categoría A.1. Biomasa herbácea sin tratar. Mezcla de las categorías anteriores	Materiales en crudo comprendidos en la categoría A.2
Diámetro (D)	(mm)	6±0,5-8±0,5	6±0,5-8±0,5	10±0,5-25±1,0
Longitud (L)	(mm)	6±0,5-8±0,5	6±0,5-8±0,5	6±0,5-8±0,5
Humedad	(% peso b.h.)	≤ 10	≤ 10	≤ 15
Cenizas	(% peso b.h.)	≤ 0,7	≤ 1,5	Indicar
Durabilidad	(% peso)	≥ 97,7	≥ 95,0	≥ 90,0
Polvo	(% peso)	≤ 1,0	≤ 1,0	Indicar
Agentes aglomerantes	(% peso)	No aceptados		

(continuación)

Parámetro	Unidad	Categoría		
		A.1	A.2	A.3
S	(% peso b.s.)	≤ 0,05	≤ 0,05	Indicar
N	(% peso b.s.)	≤ 0,3	≤ 0,3	Indicar
Cl	(% peso b.s.)	≤ 0,03	Indicar	Indicar
Densidad aparente	(kg/m³)	≥ 620-≤ 720	≥ 600-≤ 720	≥ 550
Poder calorífico b.h.	(MJ/kg)	≥ 16,9	≥ 16,2	Indicar
	(kcal/kg)	(≥ 4.039)	(≥ 3.870)	

Tabla 59: Clases de pélets

Fuente: Norma italiana CTI Ro4/06

APÉNDICE II: TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Poder Calorífico Superior (PCS) y Poder Calorífico Inferior (PCI)

De acuerdo con la Norma UNE 164001 EX se definen los siguientes conceptos:

Poder calorífico superior a volumen constante: es la cantidad de energía liberada cuando una masa unitaria de biocombustible se quema con oxígeno en una bomba calorimétrica en condiciones normalizadas.

Se considera que la materia existente después de la combustión está formada por oxígeno, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y nitrógeno como gases, agua en estado líquido en equilibrio con su vapor y saturada de dióxido de carbono y como residuo sólido la ceniza, todo a la temperatura de referencia de 25°C.

Poder calorífico inferior a volumen constante: es la cantidad de energía liberada cuando una masa unitaria de biocombustible se quema con oxígeno en una bomba calorimétrica en condiciones de volumen constante.

Se considera la que materia existente después de la combustión está formada por oxígeno, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, nitrógeno y vapor de agua como gases, y como residuo sólido la ceniza, todo a la temperatura de referencia de 25°C.

Poder calorífico superior a presión constante: es la cantidad de energía liberada cuando una masa unitaria de biocombustible se quema con oxígeno en una bomba calorimétrica en condiciones de presión constante.

Se considera que la materia existente después de la combustión está formada por oxígeno, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, nitrógeno y vapor de agua como gases, y como residuo sólido la ceniza, todo a la temperatura de referencia de 25°C.

Poder calorífico inferior a presión constante: es la cantidad de energía liberada cuando una masa unitaria de biocombustible se quema con oxígeno en una bomba calorimétrica en condiciones de presión constante.

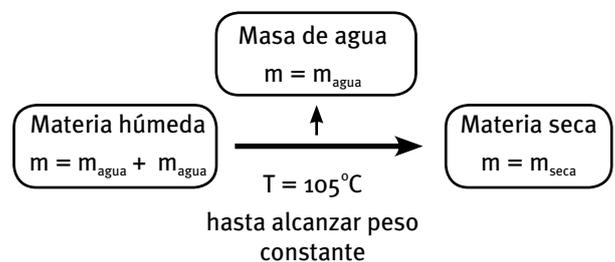
Se considera que la materia existente después de la combustión está formada por oxígeno, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, nitrógeno y vapor de agua como gases, y como residuo sólido la ceniza, todo a la temperatura de referencia de 25°C.

Densidad real y aparente

La densidad real es la masa correspondiente al volumen original del combustible mientras que la densidad aparente es la correspondiente al volumen ocupado en la práctica. La densidad aparente incluye, por ejemplo, huecos vacíos al apilar leña y es la densidad a tener en cuenta a la hora de calcular el volumen de almacenamiento necesario. Una elevada densidad aparente proporciona una ventaja de cara al transporte y al almacenamiento ya que se dispone de una mayor cantidad de energía para un mismo volumen dado. Se mide en kg/m³.

Humedad

La humedad de una muestra se determina sometiéndola a una temperatura de 105°C hasta que alcance un peso constante, y comparando la masa inicial y la final.



El resultado se expresa en % de agua, tanto sobre la muestra inicial (base húmeda) como sobre el producto final (base seca):

Humedad en base húmeda:

$$H_h (\%) = \frac{m_{agua}}{m_{seca} + m_{agua}} \cdot 100$$

Humedad en base seca:

$$H_s (\%) = \frac{m_{agua}}{m_{seca}} \cdot 100$$

De lo anterior resulta inmediato que la humedad en base seca será siempre mayor que la humedad en base húmeda.

Un elevado grado de humedad hace disminuir el poder calorífico y aumentar el consumo de combustible.

Granulometría

La distribución granulométrica de las partículas se determina haciéndolas vibrar sobre tamices con distintos tamaños de malla. Un tamaño mediano y pequeño, pero homogéneo, de la unidad de combustible, facilita la automatización de los sistemas y mejora la combustión. El tamaño se mide en milímetros.

Contenido en cenizas

El contenido en cenizas se determina sometiendo a una muestra de la biomasa en un horno a 800 °C durante 5 minutos. La relación entre la masa inicial y la final, en %, indica el contenido en cenizas. Estas cenizas se deben a la presencia de partículas minerales así como de elementos inorgánicos en la biomasa. Un bajo nivel de cenizas reduce las operaciones de limpieza y mantenimiento de los equipos. El nivel de cenizas puede crecer debido a contaminaciones con tierra o arena, a un alto contenido de cortezas, a aditivos inorgánicos o a tratamientos químicos tales como pinturas o conservantes.

Composición elemental

Los porcentajes de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y azufre (S) se obtienen analizando los gases de combustión al quemar una muestra de la biomasa a temperatura variable. El porcentaje de oxígeno (O) se determina por diferencia a 100 de la suma de los cuatro elementos y las cenizas. La biomasa se caracteriza, en general, por poseer un bajo contenido en carbono (< 50%) y un alto contenido en oxígeno (< 40%) así como por su bajo contenido en azufre y cenizas. Estos factores son favorables para su aprovechamiento energético. También pueden analizarse otros elementos como el flúor (F), cloro (Cl), potasio (K), etc.

Durabilidad mecánica (pélet)

Para el caso de los pélets la durabilidad mecánica muestra el grado de compactación y la resistencia a la desintegración. Para verificar estas características, se somete a los pélets a un ensayo en el cual se cuantifica el porcentaje de ellos que sufren una pérdida de peso inferior a un valor límite. El resultado se suele situar por encima del 92,5%, sobrepasando el 97,5% los pélets de mejor calidad.

APÉNDICE III: BIBLIOGRAFÍA

- Actividades Medioambientales Asturianas
www.amarenovables.com – AENOR – www.aenor.es
- Big Dutchman – www.bigdutchman.com
- Bioebro – www.bioebro.com
- Bioheat – www.bioheat.info
- Biohousing – www.biohousing.eu.com
- Biomasa: edificios. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2007.
- Brennstoffe Stadlober – www.stadlober.at
- Calefacción en grandes edificios con biomasa. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2002.
- Calordom – www.calordom.com
- Caryse – www.caryse.com
- Código Técnico de la Edificación (CTE). Ministerio de Vivienda. 2006.
- Combustibles Cabello.
- Corrección de errores y erratas del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE nº 22 del viernes 25 de enero de 2008.
- Corrección de errores del Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. BOE nº 51 del jueves 28 de febrero de 2008.
- Cultivos energéticos. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2007.
- Domoheat – www.escansa.com/domoheat/domoheat.htm
- Energía de la biomasa. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2007.
- Fröling – www.froeling.com
- Geolit Climatización.
- HC Ingeniería – www.hcingeneria.com
- Herz Armaturen GmbH – www.herz-armaturen.com
- IDAE – www.idae.es
- Ingener del sur – www.ingener.net
- KWB – www.kwb.at
- Novaenergía – www.novaenergia.com
- Ökofen – www.peletsheizung.es
- Propellets – www.propellets.es
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE nº 74 del martes 28 de marzo de 2006.
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). 2007. BOE nº 207 del miércoles 29 de agosto de 2007.

- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la ley 37/2003 del Ruido.
- Rotártica – www.rotartica.com
- Sistemas automáticos de calefacción con biomasa en edificios y viviendas. Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad Autónoma de Madrid (DGIEM). 2006.
- VTT – www.vtt.fi
- Wilstrand Innovation AB – www.salix.se

IDA Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
comunicacion@idae.es
www.idae.es

ISBN 978-84-96680-46-3



P.V.P.: 20 € (IVA incluido)