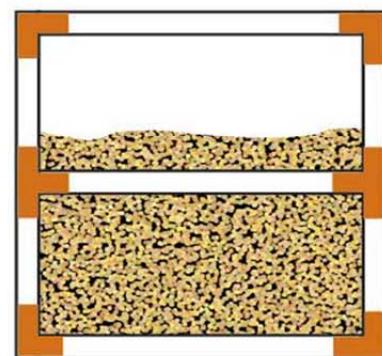
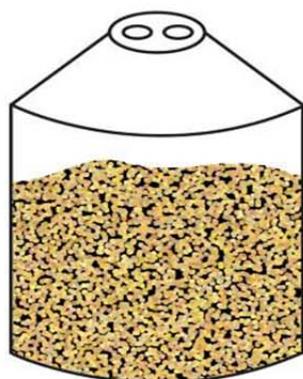


# Directrices del EPC para el almacenamiento de pellets de madera

*Recomendaciones para el diseño, instalación y funcionamiento de almacenes de combustible para aparatos de calefacción por pellets*



## Índice

<b>1.</b>	<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>La calefacción con pellets de madera: información general</b>	<b>4</b>
2.1.	La calidad de los pellets: cosas a tener en cuenta	4
2.2.	ENplus – Pellets de calidad certificada	4
2.3.	Entregas de pellets: problemas de calidad y seguridad	6
2.4.	Finos de pellets: pequeños y problemáticos	6
2.5.	Desgasificación y olor a madera	7
2.6.	Los pellets no son amigos del agua	8
<b>3.</b>	<b>Almacenamiento de pellets de madera</b>	<b>8</b>
3.1.	Almacenes de pellets: ¿a medida o prefabricados?	8
3.2.	Volumen de almacenamiento: ¿cuánto se necesita?	8
3.3.	Entrega de pellets en almacén	10
3.4.	Ventilación	11
3.5.	Limpieza	12
<b>4.</b>	<b>Almacenes prefabricados de pellets</b>	<b>13</b>
4.1.	Observaciones generales	13
4.2.	Requisitos para el local de instalación	13
4.3.	Instalaciones en exteriores	14
4.4.	Silos subterráneos	15
4.5.	Silo de tela	15
<b>5.</b>	<b>Almacenes a medida</b>	<b>17</b>
5.1.	Requisitos generales	17
5.2.	Requisitos para superficies portantes	18
5.3.	Protección contra la condensación y entrada de agua	18
5.4.	Suelos en pendiente	18
5.5.	Alfombrilla de protección contra impactos	19
5.6.	Puertas, ventanas y trampillas	20
5.7.	Instalaciones dentro del almacén	21
5.8.	Sistema de llenado	21
5.9.	Ejemplos de mejores prácticas en almacenes a medida	24
<b>6.</b>	<b>Almacenes grandes (hasta 100 toneladas de capacidad)</b>	<b>26</b>
6.1.	Requisitos generales	26
6.2.	Tamaño del almacén	27
6.3.	Sistemas de recuperación de pellets	27
6.4.	Medición del nivel de llenado	28
6.5.	Limpieza del almacén	28
6.6.	Protección contra explosiones	29
6.7.	Requisitos de ventilación	29

<b>7.</b>	<b>Para su seguridad.....</b>	<b>30</b>
	Referencias normativas .....	30
<b>8.</b>	<b>Certificado de entrega para almacenes de pellets .....</b>	<b>32</b>
8.1.	Lista de comprobación para una entrega .....	32

## 1. Introducción

Los sistemas de calefacción de pellets son una tecnología relativamente nueva. En consecuencia, pueden surgir problemas derivados de la falta de experiencia con esta tecnología. Esto también puede aplicarse a las instalaciones de almacenamiento de pellets. Los almacenes de pellets tienen que cumplir una serie de requisitos para garantizar que se mantenga la calidad de los pellets y que el funcionamiento sea seguro.

La directriz de almacenamiento ENplus describe los requisitos para conservar la calidad del combustible y proporcionar un almacenamiento seguro de los pellets tanto para profesionales (p. ej., instaladores) como para consumidores. La directriz abarca las propiedades técnicas de los almacenes de pellets así como la información sobre el funcionamiento seguro y adecuado de los mismos. No sustituyen a las directrices de instalación ni a las instrucciones de los fabricantes de calderas/sistemas de almacenamiento de pellets, pero tienen prioridad sobre los consejos de instaladores/distribuidores. Las ayudas a la planificación y las normas de llenado de los **fabricantes** de almacenamiento, sistemas de extracción y calderas de pellets **deben** cumplirse.

Las prácticas profesionales son la piedra angular de un desarrollo con éxito del mercado.



Francisco Javier Díaz González

Presidente de la Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (AVEBIOM)

## 2. La calefacción con pellets de madera: información general

### 2.1. La calidad de los pellets: cosas a tener en cuenta

Los pellets de madera son un combustible de madera moderno, ecológico y normalizado. Los pellets de madera son principalmente subproductos prensados de madera sin corteza procedentes de la industria de transformación de la madera. Durante el proceso de prensado, la lignina de la madera se activa y garantiza la durabilidad mecánica de los pellets, potencialmente ayudada por aglutinantes naturales como el almidón. Sin embargo, la durabilidad sigue siendo menor que la de otros materiales a granel. Los procesos logísticos deben tener en cuenta la alta sensibilidad al estrés mecánico de los pellets. Una entrega fluida, así como almacenes con un diseño adecuado, son condiciones fundamentales para que la calefacción de pellets no dé problemas.

### 2.2. ENplus – Pellets de calidad certificada

Los pellets deberían adquirirse exclusivamente de proveedores con la certificación ENplus. A diferencia de otros certificados, solo ENplus abarca toda la cadena de suministro, desde la producción de pellets hasta su distribución. Puede encontrar una lista de empresas certificadas así como información adicional sobre la calidad de los pellets en [www.pelletenplus.es](http://www.pelletenplus.es) y [www.enplus-pellets.eu](http://www.enplus-pellets.eu).

La norma internacional ISO 17225-2 define las propiedades del producto principal para distintas clases de calidad de los pellets. Las clases se diferencian fundamentalmente en el contenido en cenizas y en el

comportamiento de fusibilidad de las cenizas (véase la tabla 1). Estas dos propiedades son importantes para un funcionamiento fiable de estufas y calderas. Un bajo contenido en cenizas y altas temperaturas de fusión evita el sinterizado de la ceniza (formación de escoria sólida). El programa de certificación ENplus define los límites de fusibilidad de las cenizas, algo que la norma ISO no hace.

Las clases de calidad ENplus A1, ENplus A2 y ENplus B cumplen y superan las clases de calidad correspondientes de la norma. ENplus A1 es la mejor calidad y se recomienda para calderas pequeñas. ENplus A2 que presenta requisitos algo inferiores a ENplus A1 (principalmente el contenido en cenizas) es adecuada para aparatos con tolerancias de calidad. La calidad ENplus B sería adecuada para calderas de mayor tamaño (> 100 kW), pero su uso debe estar autorizado por el fabricante de la caldera.

Propiedad	Unidad	ENplus A1	ENplus A2	ENplus B	Norma de ensayos <sup>11)</sup>
Diámetro	mm	6 ± 1 u 8 ± 1			ISO 17829:
Longitud	mm	3,15 < L ≤ 40 <sup>4)</sup>			ISO 17829:
Humedad	% en masa <sup>2)</sup>	≤ 10			ISO 18134
Cenizas	% en masa <sup>3)</sup>	≤ 0,7	≤ 1,2	≤ 2,0	ISO 18122
Durabilidad mecánica	% en masa <sup>2)</sup>	≥ 98,0 <sup>5)</sup>	≥ 97,5 <sup>5)</sup>		ISO 17831-1
Finos (< 3,15 mm)	% en masa <sup>2)</sup>	≤ 1,0 <sup>6)</sup> (≤ 0,5 <sup>7)</sup> )			ISO 18846
Temperatura de los pellets	°C	≤ 40 <sup>8)</sup>			
Poder calorífico neto	kWh/kg <sup>2)</sup>	≥ 4,6 <sup>9)</sup>			ISO 18125
Densidad aparente	kg/m <sup>3</sup> <sup>2)</sup>	600 ≤ BD ≤ 750			ISO 17828
Aditivos	% en masa <sup>2)</sup>	≤ 2 <sup>10)</sup>			-
Nitrógeno	% en masa <sup>3)</sup>	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 1,0	ISO 16948
Azufre	% en masa <sup>3)</sup>	≤ 0,04	≤ 0,05		ISO 16994
Cloro	% en masa <sup>3)</sup>	≤ 0,02		≤ 0,03	ISO 16994
Temperatura de deformación de las cenizas <sup>1)</sup>	°C	≥ 1200	≥ 1100		CEN/TC 15370-1
Arsénico	mg/kg <sup>3)</sup>	≤ 1			ISO 16968
Cadmio	mg/kg <sup>3)</sup>	≤ 0,5			ISO 16968
Cromo	mg/kg <sup>3)</sup>	≤ 10			ISO 16968
Cobre	mg/kg <sup>3)</sup>	≤ 10			ISO 16968
Plomo	mg/kg <sup>3)</sup>	≤ 10			ISO 16968
Mercurio	mg/kg <sup>3)</sup>	≤ 0,1			ISO 16968
Níquel	mg/kg <sup>3)</sup>	≤ 10			ISO 16968
Cinc (Zn)	mg/kg <sup>3)</sup>	≤ 100			ISO 16968

<sup>1)</sup> las cenizas se producen a 815 °C

<sup>2)</sup> según se recibe

<sup>3)</sup> base seca

<sup>4)</sup> un máximo del 1% de los pellets puede tener más de 40 mm de longitud; no se admiten pellets de más de 45 mm de largo.

<sup>5)</sup> en el punto de carga de la unidad de transporte (camión, barco) en el centro de producción

<sup>6)</sup> en la puerta de la fábrica o cuando se carga el camión para entregas a usuarios finales

<sup>7)</sup> en la puerta de la fábrica, cuando se llenan bolsas de pellets o bolsas grandes selladas

<sup>8)</sup> en el último punto de carga para entregas en camión a usuarios finales (*Entrega de carga parcial y Entrega de*

---

carga completa)

<sup>9)</sup> equivale a  $\geq 16,5$  MJ/kg según se recibe

<sup>10)</sup> la cantidad de aditivos en la producción se limitará al 1,8% en masa, y la cantidad de aditivos de postproducción (p.ej. aceites de recubrimiento) se limitará al 0,2% en masa de los pellets.

<sup>11)</sup> Mientras no se publiquen las normas ISO mencionadas, los análisis se realizarán conforme a las normas CEN correspondientes.

### Tabla 1: Principales propiedades de pellets de madera certificados

## 2.3. Entregas de pellets: problemas de calidad y seguridad

Los pellets de madera deben repartirse mediante vehículos cisterna especiales. Los vehículos están equipados con un dispositivo que suministra aire comprimido para el transporte de los pellets a través de una manguera (soplado).

En distancias de soplado más cortas conviene soplar los pellets a mayor presión y pequeñas cantidades de aire. De esta forma se incrementa el factor de carga de sólidos (la proporción pellets/aire en la tubería de entrega), mientras que para distancias más largas o más codos, el factor de carga de sólidos debe reducirse. El conductor debe elegir los valores adecuados de presión y aire de soplado in situ, dependiendo de las condiciones específicas.

El vehículo de reparto también está equipado con un sistema de pesaje calibrado, mangueras recubiertas para minimizar la abrasión, y un ventilador de escape con un filtro de bolsa que sirve para crear un ligero vacío en el almacén. Si el espacio de almacenamiento no es hermético, no se crea vacío y el aire con partículas de polvo escapará, con las consiguientes molestias.

Muchos almacenes prefabricados no necesitan la aplicación de succión durante las entregas. En este caso, el aire de soplado (hasta 1.500 m<sup>3</sup>/h) debe salir a través de ventanas, puertas u otras aberturas. Para que los pellets se puedan soplar con seguridad y causar el mínimo daño, el operario del sistema de calefacción debe respetar lo siguiente:

- Las instrucciones de llenado para el almacenamiento deben estar claramente a la vista del conductor que hace la entrega de los pellets.
- El sistema de calefacción debe apagarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante o, como mínimo, una hora antes de la entrega.

Los comercializadores de pellets certificados ENplus preparan y entregan un registro de entregas que contiene toda la información importante sobre los pellets, el almacén y el proceso de soplado.

***El cliente debe apagar la caldera antes de la entrega de los pellets. El tiempo exacto debería estar indicado en las instrucciones del fabricante de la caldera. El proveedor de pellets debe poder comprobar que la caldera está apagada. De lo contrario, el proveedor de pellets, por motivos legales, no puede hacer la entrega. Excepción: si el cliente confirma por escrito que el fabricante de la caldera permite la entrega de pellets sin necesidad de apagar la caldera.***

## 2.4. Finos de pellets: pequeños y problemáticos

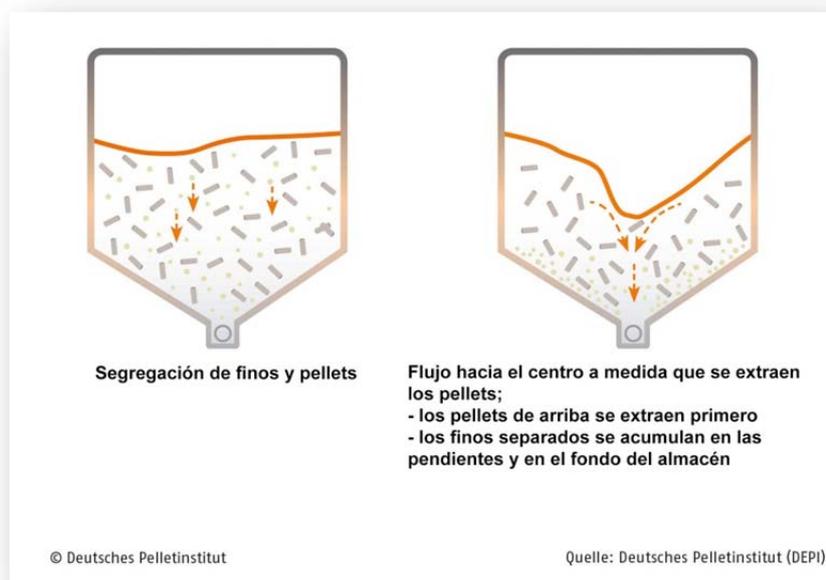
Los finos son fragmentos de pellets rotos que pasan a través de una criba con orificios de 3,15 mm de diámetro. Una cantidad proporcionalmente elevada de finos puede causar problemas con la caldera o el sistema de recuperación de pellets.

Los finos en el almacén de pellets se producen principalmente por el estrés mecánico durante la entrega de los pellets. Los codos de las tuberías, alfombrillas de impacto inadecuadas, obstáculos en el recorrido de los pellets, alta velocidad de soplado de los pellets y un bajo factor de carga de sólidos durante la entrega incrementan la cantidad de finos.

Un alto contenido en finos en la caldera también puede deberse a que el sistema de extracción que lleva los pellets desde el almacén a la caldera esté dañado. Mediante procesos de segregación de partículas en el almacén, con el tiempo los finos se acabarán concentrando en el fondo del almacén de pellets (Figura 1). Para garantizar que la caldera funcione sin problemas, el almacén debería vaciarse y limpiarse completamente periódicamente dependiendo de su capacidad (ver más abajo). Es mejor hacerlo en verano.

Los proveedores certificados ENplus aceptan quejas si se supera el 4% de finos en almacén, con las siguientes condiciones:

- La distancia de soplado (incluidos los conductos internos) no supera los 30 m.
- Se cumple esta directriz de almacenamiento.
- La cantidad restante de pellets antes de la entrega era inferior al 10% de la capacidad total de almacenamiento.
- Se ha utilizado un máximo del 20% de la nueva entrega.
- La frecuencia de limpieza de los almacenes debe basarse en el consumo anual. Los almacenes con un consumo anual menor o igual a 15 toneladas métricas deben limpiarse una vez cada dos años. Los almacenes con un consumo anual mayor de 15 toneladas métricas deben limpiarse una vez al año. Entrar en un almacén siempre conlleva un riesgo importante para la seguridad. Por este motivo, el número de intervenciones debe minimizarse y deben respetarse unas normas de seguridad estrictas (véase el capítulo 7: para su seguridad).



**Figura 1 Ilustración de la segregación de partículas que provoca una mayor cantidad de finos en la parte inferior de un almacén con suelo en pendiente**

Nota: La segregación de partículas se producirá durante la entrega y los resultados también suelen verse porque la "cara" de un montón de pellets aparece con polvo: este aspecto polvoriento NO significa que los pellets no cumplan la especificación ENplus.

## 2.5. Desgasificación y olor a madera

Los pellets frescos pueden provocar un olor desagradable en el almacén. Este olor suele desaparecer en unas cuantas semanas. El olor procede de la denominada desgasificación de la madera. La

desgasificación incluye emisiones de compuestos orgánicos naturales así como emisiones de la lenta descomposición natural de la madera.

En comparación con otros productos de madera, los pellets tienen una mayor superficie y su estructura celular se somete a un gran estrés durante la producción. Esto puede provocar una disipación más rápida de los compuestos volátiles, especialmente en pellets frescos y con temperatura ambiente alta. Las emisiones suelen remitir en unas cuantas semanas y el olor desaparece por completo.

Las emisiones de los pellets de madera están formadas por compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Entre los compuestos volátiles se encuentran los denominados terpenos causantes de olores "químicos" ocasionales similares a la trementina. Otros componentes como los aldehídos y el monóxido de carbono pueden ser perjudiciales para la salud y no deben penetrar en la zona habitable. Por lo tanto, los almacenes para pellets a granel deben estar herméticamente aislados de la zona habitable. La ventilación del almacén hacia el exterior ayudará a dispersar las emisiones y reducir el tiempo de disipación de los componentes olorosos.

## 2.6. Los pellets no son amigos del agua

Los pellets son higroscópicos, es decir, absorben el agua rápidamente y al mismo tiempo aumentan su volumen. Si un gran volumen de agua entra en un almacén de pellets (p. ej., en caso de inundación), la estructura o las paredes del silo pueden sufrir daños. Además, los pellets perderán su forma y se pegarán entre sí. En este caso, los pellets no sirven ya como combustible y tienen que retirarse rápidamente antes de que se sequen y se endurezcan.

A diferencia de los depósitos de fueloil, si un almacén de pellets se inunda, no provoca ningún daño al medio ambiente. No obstante, se recomienda vaciar el almacén de pellets si se prevén inundaciones.

## 3. Almacenamiento de pellets de madera

### 3.1. Almacenes de pellets: ¿a medida o prefabricados?

Los almacenes de pellets suelen ocupar sótanos o habitaciones a menudo diseñados y construidos por su propietario. Las ventajas de un almacén de pellets a medida son la buena utilización del espacio y –en el caso de salas de almacenamiento con paredes exteriores–, la facilidad de acceso para las boquillas de llenado y vacío. Sin embargo, un almacén inadecuado de construcción propia puede provocar riesgos y problemas considerables.

Los sistemas de almacenamiento prefabricados ofrecen una solución bien planificada, que incluye los dispositivos adecuados para el llenado y la extracción, que garantizan que se mantenga la calidad de los pellets y un funcionamiento seguro. Por este motivo se recomienda el uso de sistemas prefabricados para el almacenamiento de pellets.

Es recomendable que los almacenes a medida sean diseñados, construidos y equipados por un profesional cualificado.

### 3.2. Volumen de almacenamiento: ¿cuánto se necesita?

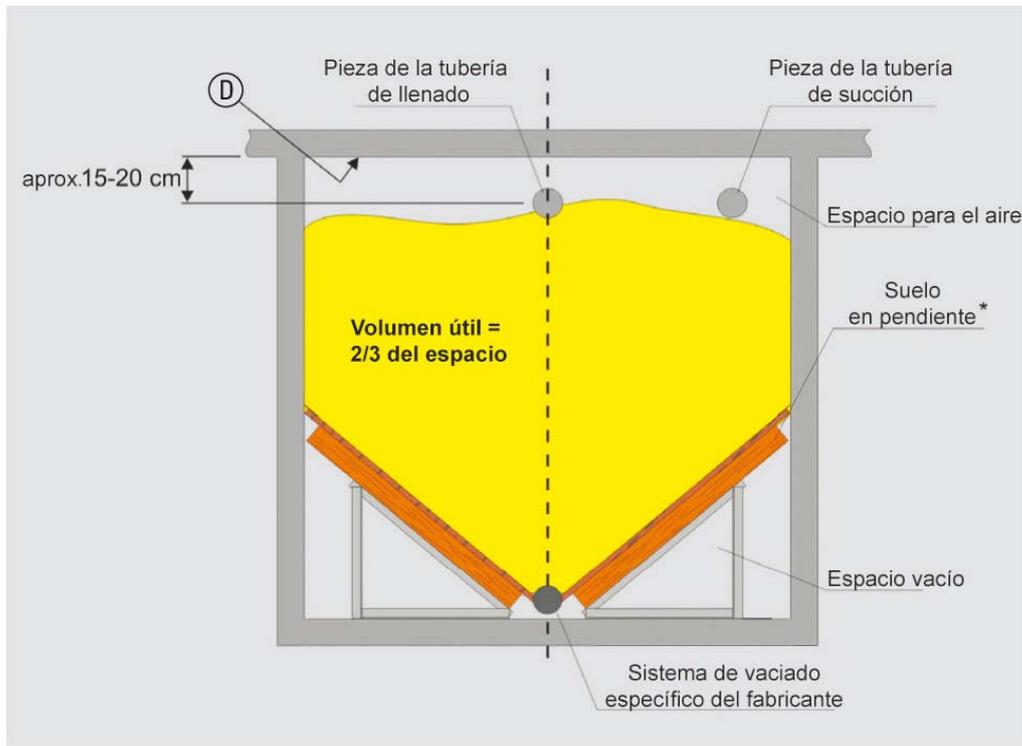
Los almacenes de pellets para consumidores (<70 kW) deben tener capacidad para un año de consumo. Por ello, el volumen de almacenamiento recomendado depende en gran medida de la demanda de calefacción del edificio. La demanda de calefacción puede calcularla un experto o estimarse a partir del consumo de combustible del anterior sistema de calefacción. Si el sistema de calefacción se ha modificado a partir de un sistema de fueloil, la demanda de pellets en kilogramos es el doble del consumo de fueloil en litros. Los valores indicados en la tabla 2 se basan en un sistema de calefacción por fueloil con valores de

eficiencia similares a los del nuevo sistema de pellets. Cuando se sustituye un sistema de calefacción por fueloil ineficiente, los valores de consumo de pellets y el volumen de almacenamiento recomendado en la tabla pueden reducirse hasta en un 20%.

Demanda de calor en kWh/año	5.000	10.000	20.000	50.000
Consumo de fueloil de calefacción en l/año	625	1.250	2.500	6.250
Demanda de pellets en kg/año	1.250	2.500	5.000	12.500
Volumen de almacenamiento recomendado en m <sup>3</sup>	2,5	5	10	25

**Tabla 2: Volúmenes de almacenamiento recomendados para sistemas de calefacción por pellets**

La capacidad de almacenamiento real siempre es menor que el volumen teórico total del almacén. Se pierde volumen cuando los suelos están elevados o inclinados. Los pellets no se llenarán por encima del extremo inferior de las boquillas de llenado y caerán hacia abajo desde la cima siguiendo la boquilla de llenado.



Ⓓ

Una superficie del techo lisa evita daños a los pellets mientras se soplan en el almacenamiento.

\* **Nota:** Montado en instalaciones de sinfín o de sonda, garantiza que el almacén de pellets se vacíe lo más completamente posible.

**Figura 2: volúmenes perdidos en un almacén**

Cuando se planifican almacenes para sistemas de calefacción más grandes (> 70 KW) hay que tener en cuenta otros factores. La capacidad de almacenamiento debe calcularse para que pueda albergar más pellets que la capacidad máxima del camión de reparto más grande previsto.

La capacidad del almacén tiene que ser mayor que la capacidad del camión para poder recibir cargas completas sin tener que vaciar el almacén cada vez. El acceso determinará el máximo tamaño del camión de reparto. Se recomienda ponerse en contacto con algunos proveedores de pellets antes de encargar el sistema de calefacción para determinar la máxima capacidad del camión que puede acceder hasta el almacén.

### 3.3. Entrega de pellets en almacén

Los pellets de madera a granel pueden entregarse mediante volquetes o camiones cisterna que soplan los pellets al interior del almacén. Deben evitarse las distancias de soplado grandes, los cambios en la dirección por esquinas y las diferencias de altura entre el vehículo y el almacén de pellets, ya que aumentan el estrés mecánico sobre los pellets durante el soplado y al mismo tiempo incrementan los finos. La manguera de llenado y la tubería de llenado instalada deben ser lo más cortas posibles y en conjunto no superar 30 m de longitud. Una planificación inteligente puede ayudar a mantener las distancias cortas y a disponer las condiciones de soplado de manera que no afecten a la calidad de los pellets.

Deben tenerse en cuenta los puntos siguientes:

- El acceso debe ser adecuado para vehículos de entrega mediante aire, que pueden ser rígidos o articulados. La carretera debe tener al menos 3,5 m de ancho sin límites de altura (normalmente hasta 4 metros) que puedan impedir el acceso al punto de descarga. Debe tenerse en cuenta el gradiente y el estado de la carretera en invierno y si el acceso puede verse obstaculizado por otros vehículos aparcados en la ruta.
- También hay que considerar el radio de giro y el peso bruto del vehículo.
- El camión debe poder aparcar legalmente sin provocar obstrucciones inaceptables durante el tiempo de entrega (que puede superar la hora).
- Las boquillas de soplado y salida de aire deben llevar hacia el exterior a través de tuberías de llenado instaladas de forma permanente. Si no es posible tener tuberías permanentes, la conexión debe estar cerca de una abertura, tal como una ventana o una puerta del sótano, pero no tan cerca del marco como para que las tuberías no puedan conectarse.
- Todos los cambios de dirección deben realizarse con el menor número de codos posible y suficiente distancia de entrada y salida. Siempre que sea posible conviene evitar los codos de 90 grados. Si los codos no pueden evitarse, se recomienda un radio interno mínimo de 200 mm.
- Los acoplamientos de llenado deben tener una altura máxima de 1,8 m para que las mangueras de llenado puedan conectarse de forma segura. De lo contrario, debe proporcionarse un acceso seguro mediante rampa o plataforma.
- Las tuberías, acoplamientos y mangueras deben tener un diámetro interno de 100 mm y deben ser de materiales robustos y puestos a tierra.
- Si no hay un estándar nacional alternativo, los acoplamientos de llenado deben ser del tipo “Storz A” (100 mm).
- Los acoplamientos de soplado y escape deben etiquetarse de acuerdo con su función. Debe instalarse una boquilla de escape independiente para evitar que el soplado de pellets obstruya la tubería de vacío en el acoplamiento. Debe evitarse el soplado a través de la boquilla de escape.
- Las tuberías de llenado permanentes deben ser de material conductor y un electricista profesional debe ponerlas a tierra con un cable (4 mm<sup>2</sup>) a la barra de conexión equipotencial (tierra).

### 3.4. Ventilación

La gasificación y el mal funcionamiento del equipo de calefacción pueden provocar la acumulación de cantidades peligrosas de gases nocivos como el monóxido de carbono en el almacén de pellets. Para eliminar cualquier riesgo deben observarse dos sencillas normas de seguridad:

- El almacén debe estar herméticamente cerrado respecto a la zona habitable del edificio.
- El almacén debe tener ventilación hacia el exterior, o al menos a una sala bien ventilada para evitar la acumulación de concentraciones peligrosas de CO.

Los almacenes con una capacidad de  $\leq 10$  t y tuberías de llenado de hasta 2 metros de longitud deben estar equipados con tapas ventiladas en los acoplamientos de llenado y escape. Las tapas ventiladas pueden adquirirse en proveedores de sistemas de calefacción o comercializadores de pellets certificados. Los almacenes prefabricados de material transpirable no necesitan tapas ventiladas. No obstante hay que garantizar una ventilación suficiente del lugar.



Figura 3: tapa ventilada

En almacenes más grandes se necesitan soluciones de ventilación más complejas. La Tabla 3 ofrece un resumen de los requisitos de ventilación para almacenes de tamaño medio. Los requisitos para almacenes grandes se describen en la Tabla 7: Requisitos de ventilación para almacenes grandes

Longitud de la tubería de llenado	Tipo de ventilación	Tamaño del almacén	
		Pequeño ( $\leq 10$ toneladas)	Mediano ( $> 10$ toneladas y $< 40$ toneladas)
$\leq 2$ m	Tapa ventilada	Tapa ventilada en 2 acoplamientos Ventilación al exterior o almacén bien ventilado	Tapa ventilada en 2 acoplamientos de llenado como mínimo Sección transversal mín. $4 \text{ cm}^2/\text{t}$ pellets Ventilación al exterior o almacén bien ventilado
$\leq 5$ m	Abertura de ventilación independiente	Abertura de ventilación mín. $100 \text{ cm}^2$ Abertura libre mín. $80 \text{ cm}^2$ Ventilación al exterior	Sección transversal mín. $10 \text{ cm}^2/\text{t}$ pellets Sección transversal mín. $8 \text{ cm}^2/\text{t}$ pellets Ventilación al exterior
$> 5$ m	Ventilación mecánica	Ventilación del almacén por conducto de ventilación con ventilador La función del ventilador debe estar asociada a la apertura de la puerta del almacén.	

Tabla 3: Recomendaciones para la ventilación de almacenes de pellets

***Todos los almacenes de pellets deben estar ventilados. Las aberturas de ventilación no deben colocarse directamente debajo de ventanas ni de aberturas para aire de entrada.***

### 3.5. Limpieza

Para garantizar un funcionamiento continuo y seguro, el almacén debe limpiarse periódicamente. Los finos acumulados en la parte inferior del almacén deben eliminarse así como el serrín en las paredes, en las boquillas de llenado y otras zonas. Durante la limpieza deben tenerse en cuenta lo siguiente:

- **Entrar en un almacén siempre conlleva un riesgo importante para la seguridad. Por este motivo, el número de intervenciones debe minimizarse y deben respetarse unas normas de**

**seguridad estrictas (véase el capítulo 7: para su seguridad):** la caldera y el sistema de suministro de pellets deben estar apagados, se ha ventilado suficientemente antes de entrar (al menos 15 minutos de ventilación) y hay otra persona presente FUERA del almacén (véase el capítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, "Para su seguridad").

- La limpieza de almacenes prefabricados debe hacerse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- Use una máscara antipolvo que ajuste bien, con un filtro P2 (EN 143) o N95 (estándar US NIOSH), gafas de protección bien ajustadas para que no le entre polvo en los ojos y, en la medida de lo posible, mantenga la piel tapada.
- El almacén debe aspirarse en lugar de barrerse. Las normas de salud y seguridad en el trabajo prescriben el uso de una aspiradora industrial con un filtro de clase M (EN 60335).
- El acceso a silos de almacenamiento subterráneo y almacenes de gran capacidad (normalmente de más de 10 toneladas, consulte la legislación nacional) solo puede hacerse utilizando un monitor de CO individual.

***Al menos cada dos años el almacén de pellets debe limpiarse antes de la siguiente entrega de pellets (cada dos años si el almacen tiene una capacidad <15 toneladas y cada año si la capacidad es >15 toneladas).***

## 4. Almacenes prefabricados de pellets

### 4.1. Observaciones generales

Los sistemas de almacenamiento prefabricados reducen los procesos de planificación e instalación significativamente en comparación con los almacenes construidos de forma individual y cumplen todos los requisitos técnicos y de seguridad necesarios. Pueden instalarse en sótanos, garajes, bajo un porche, en cobertizos para herramientas, como depósitos subterráneos y al aire libre. Los almacenes prefabricados tienen que instalarse y utilizarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El almacén de combustible es una parte integral del sistema de calefacción. El instalador del sistema de calefacción es responsable de la integración fluida de los distintos componentes. Debe garantizar la interoperabilidad de la caldera, del dispositivo de alimentación de pellets y del almacén de pellets. Debe documentar los componentes utilizados y certificar que la instalación es correcta.

### 4.2. Requisitos para el local de instalación

La condición más importante para la instalación de un almacén prefabricado de pellets es una superficie firme y nivelada. De lo contrario, las diferencias de altura deben corregirse. La base debe ser adecuada para transportar las cargas estáticas en los puntos de contacto y para todo el peso del almacén y su contenido. Los locales con niveles máximos de humedad de hasta un 80% son adecuados siempre que pueda circular el aire alrededor del almacén de pellets. El lugar de instalación debe estar bien ventilado para evitar la acumulación de CO nocivo.

### Distancia desde paredes, techo e instalaciones

Muchos sistemas de almacenamiento necesitan una distancia suficiente entre las paredes, el techo, el suelo y las instalaciones tales como lámparas y tuberías. Los silos de tela pueden necesitar espacio para expandirse durante el proceso de soplado. En algunos casos la tela se infla al comienzo de la entrega, para que la tela que cuelga se levante hacia arriba antes de que los pellets entren en el silo. Por lo general, la tela inflada no debe tocar las instalaciones ni los accesorios, ni tampoco debe estar limitada por

la altura del techo, excepto cuando el fabricante lo autorice explícitamente. También hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Las tuberías pueden tener fugas y puede producirse condensación.
- La tela tiene que colgar libremente para evitar un incremento de finos.
- La tela no debe tocar las lámparas del techo ni de las paredes, ya que puede sufrir daños por el calor.
- Un silo de tela debe tener suficiente espacio para desplegarse por completo. La tela no debe crear pliegues en la corriente de soplado ya que esto podría dañar la tela.
- Las boquillas de soplado deben colocarse de forma que los pellets choquen solamente sobre las zonas de tela reforzada y no dañen las costuras.

Los almacenes prefabricados sin tuberías de llenado al exterior necesitan suficiente espacio alrededor de los acoplamientos para evitar que se forme una curva cerrada entre el acoplamiento de llenado y la manguera de soplado. Debe mantenerse al menos una distancia de 1 metro entre el acoplamiento y las paredes. Se recomienda instalar tuberías de llenado fijas con acoplamientos en la pared exterior.

***Como hay muchos sistemas distintos de almacenamiento, debe colocarse una nota claramente visible con las instrucciones de llenado de pellets en el sistema de almacenamiento para el conductor del camión de reparto.***

## **Puesta a tierra**

Los sistemas de almacenamiento pueden instalarse en interiores o al aire libre. Muchos constan de una estructura de madera y tela de poliéster. Otros se construyen con chapa metálica. El sistema de almacenamiento tiene que estar puesto a tierra para desviar la carga electrostática que se crea cuando se introducen los pellets mediante soplado. Un electricista cualificado debe garantizar que el sistema está puesto a tierra mediante un cable (4 mm<sup>2</sup>) que vaya desde los acoplamientos hasta la barra colectora equipotencial.

## **Ventilación**

El local de instalación de los silos de tela necesita pozos de ventilación hacia el exterior y tiene que estar herméticamente aislado de la zona habitable.

- Cuando haya tuberías de soplado y escape cortas (< 2 m) dirigidas al exterior, la ventilación puede hacerse mediante tapas ventiladas colocadas en los acoplamientos.
- En los demás casos, la sala de instalaciones debe tener como mínimo una abertura al exterior que no se pueda cerrar, véase la tabla 3.

***En silos de tela sin boquilla de escape, el chorro de aire de conducción sale a través de la tela. En este caso, el chorro de aire durante la entrega (hasta 1.500 m<sup>3</sup>/h) debe salir a través de ventanas, puertas u otras aberturas.***

### **4.3. Instalaciones en exteriores**

Los almacenes prefabricados normalmente se pueden instalar en el exterior de un edificio. En instalaciones exteriores hay que tener en cuenta la carga de viento. Dependiendo del tipo de almacén y de sus materiales, también puede ser necesaria protección UV. Algunos almacenes también necesitan protección contra la lluvia (véase la Tabla 4).

Tipo de almacén	Protección UV	Protección contra la lluvia
Silo de tela	Seguir las instrucciones del fabricante	Fundamental
Silo metálico en superficie	No necesario	No necesario
Silo de GRP en superficie	No necesario	No necesario
Silo de plástico en superficie	Seguir las instrucciones del fabricante	No necesario
Silo de hormigón en superficie	No necesario	No necesario

**Tabla 4: Requisitos especiales para la instalación en exteriores de almacenes prefabricados de pellets**

#### 4.4. Silos subterráneos

Los almacenes de pellets que se construyen bajo tierra deben cumplir unos requisitos especiales. Deben:

- Ser absolutamente impermeables contra la humedad y el agua que se filtra.
- Evitar la condensación cuando la humedad del aire fluctúa.
- Estar asegurados contra la flotabilidad causada por la subida de las aguas subterráneas.
- Ser casi completamente descargables.

Los silos subterráneos se fabrican en hormigón o plástico. La extracción se hace mediante la succión al vacío desde arriba o desde abajo.

En el caso de extracción desde abajo, los silos tienen forma cónica en su parte inferior. La extracción de los pellets al sistema transportador se hace en el punto más bajo. Como la presión estática en los pellets es alta en la zona de extracción, tienen que soltarse mediante rotación, vibración, aire o agitación.

La extracción desde arriba puede hacerse con un cabezal de succión giratorio y montado de forma flexible. El dispositivo se apoya sobre los pellets y se va moviendo lentamente por el almacén debido a la rotación. En algunos sistemas el aire de succión vuelve al almacén.

Los silos subterráneos son herméticos. Durante la entrega de los pellets tienen que aspirarse con un ventilador portátil con una capacidad superior al caudal máximo de aire (a temperatura y presión normales) del soplador del vehículo de entrega mediante aire. Si el fabricante del silo no ha proporcionado una conexión eléctrica (mín. 16 A 230 V CA), ésta debe instalarse fuera del almacén.

***Debido a su construcción hermética, en los silos subterráneos se pueden producir altas concentraciones de CO. Por este motivo solo se puede entrar en los silos subterráneos después de ventilarlos bien y medir el contenido de CO. Una segunda persona tiene que estar presente.***

#### 4.5. Silo de tela

Hay sistemas de almacenamiento en distintos tipos de materiales y formas: circulares, cuadrados o rectangulares y diferentes alturas. Los silos de tela suelen tener un cono en la parte inferior para la extracción de los pellets. Otros diseños habituales son silos en forma de abrevadero, elevados y con fondo plano. Los pellets se descargan por el fondo a través de un tornillo sin fin (auger) o un dispositivo de succión, o bien por arriba a través de un dispositivo flexible de vacío. La Tabla 5 ofrece un resumen de los diseños de silos de tela más comunes.

Los silos cónicos tienen una forma similar a la de una pirámide invertida. La extracción se hace en el punto más bajo mediante succión por vacío o bien con tornillos horizontales cortos que conectan con un transportador de succión o con un tornillo de extracción.

Los silos cónicos también facilitan el diseño modular en el que varios elementos se conectan en fila. En este caso, los puntos de extracción deben regularse mediante dispositivos de conmutación automática. Con el principio modular se consiguen grandes capacidades de almacenamiento incluso en locales con techos bajos.



Los silos de abrevadero ofrecen una gran capacidad para locales estrechos. Gracias a su forma normalmente pueden llenarse hasta el techo. La extracción se realiza mediante un tornillo que transporta los pellets a un punto de vaciado o directamente a la caldera de pellets, o bien mediante varios dispositivos de succión.



Los silos con fondos planos no tienen inclinación. Este diseño ofrece una buena utilización del espacio y el peso se soporta en una superficie mayor.

Los pellets se extraen desde abajo a través de un agitador con tornillo o con un dispositivo de succión. Los pellets también pueden extraerse desde arriba a través de una sonda de succión flexible. Los sistemas con un fondo plano no pueden vaciarse completamente con facilidad. Dependiendo de su construcción, entre un 2 y un 15% de los pellets quedan dentro del silo.



Los silos con una estructura extensible ofrecen un menor volumen en comparación con los de fondo plano, ya que necesitan una menor distancia entre el fondo del silo y el suelo. Por lo tanto, el silo puede inclinarse ligeramente hacia el suelo con ayuda de un elemento vibratorio y conseguir una buena extracción. De esta forma se puede reducir la cantidad de pellets residuales.



## 5. Almacenes a medida

### 5.1. Requisitos generales

Los almacenes de pellets requieren una planificación cuidadosa y tienen que ser diseñados e instalados por profesionales. Los pellets pueden almacenarse en sótanos, garajes, desvanes u otros locales adecuados. Sin embargo, hay que respetar la normativa local y otros reglamentos (p. ej., las normativas de seguridad contra incendios) para el almacenamiento de combustible.

Normalmente el almacén suele tener una planta rectangular (véase la Figura 4). Tanto los acoplamientos de inyección como de succión deben instalarse en la parte más estrecha del local. Debe garantizarse un acceso fácil a los acoplamientos de inyección y succión. Si es posible, en el almacén elegido no debe haber instalaciones eléctricas, conductos de aire ni instalaciones de agua. El impacto contra las paredes del local de los pellets que entran debe amortiguarse con una alfombrilla de impacto adecuada. Los techos y paredes deben construirse de forma que los pellets no se contaminen con materiales sueltos.

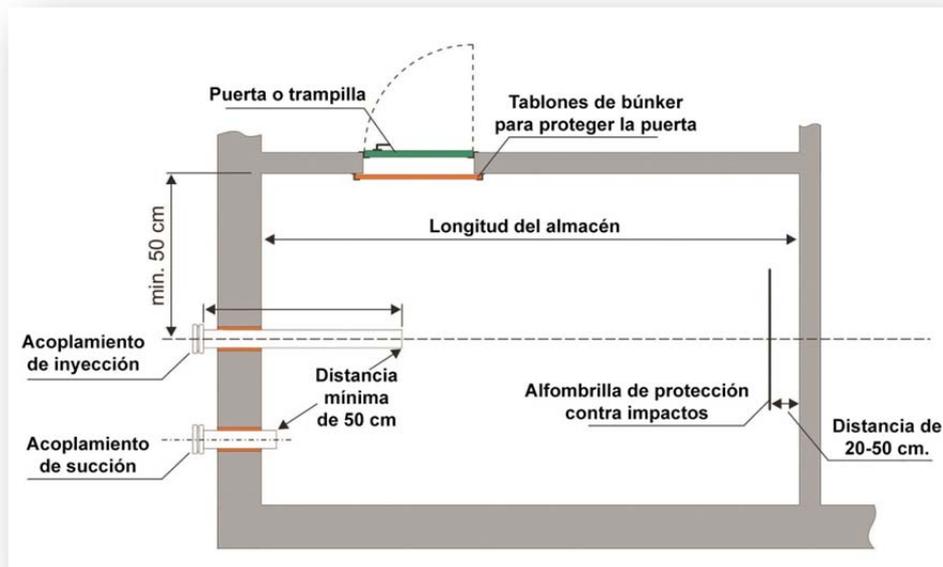


Figura 4 Disposición general de un almacén de pellets a medida

Respecto al riesgo de explosiones de polvo, un almacén de pellets se suele clasificar como Zona 22 ATEX (es decir, puede contener una atmósfera explosiva solo durante breves periodos –durante la inyección de pellets). Todas las superficies verticales dentro del almacén deben ser lisas para evitar la acumulación de polvo. Deben evitarse las superficies horizontales. Todas las tuberías y acoplamientos deben ser de material conductor y tiene que ponerlos a tierra un profesional.

El almacén debe ser hermético respecto a otras partes del edificio para evitar la infiltración de gases y polvo. El local debe estar ventilado de acuerdo con lo dispuesto en la Tabla 3.

## 5.2. Requisitos para superficies portantes

Los suelos, paredes y techos del recinto deben soportar las tensiones estáticas y dinámicas tanto de los pellets (densidad aparente máx. de 750 kg/m<sup>3</sup>) como de las fluctuaciones de presión (debe tolerarse una sobrepresión de 0,05 bar (=500 kg/m<sup>2</sup>)) provocada por el proceso de inyección de los pellets.

No deben utilizarse paredes de hormigón celular poroso. No deben instalarse ventanas de cristal ni grandes paneles de plástico excepto si se prevén como salidas predeterminadas para aliviar la presión. Todas las conexiones a alcantarillas en la mampostería, esquinas y paredes deben ser a prueba de polvo. Para almacenes de pellets más grandes debe consultarse a un profesional experto en ingeniería estructural y protección contra incendios.

Para almacenes con una capacidad de hasta 10 toneladas métricas y una altura de hasta 2 m, las siguientes construcciones han dado un resultado perfecto:

- Hormigón reforzado de 10 cm de espesor.
- Pared de ladrillos de 17,5 cm de espesor, unidos con argamasa por ambos lados, esquinas reforzadas y conectadas al techo.
- Construcciones de madera con vigas de 12 cm, separación de 62 cm, revestidas de un panel de encofrado de tres capas por los dos lados o con paneles de contrachapado multicapa, unidos al techo, suelo y paredes. Dependiendo del diseño de construcción puede ser necesario utilizar bisagras de acero.

## 5.3. Protección contra la condensación y entrada de agua

Los pellets son higroscópicos. En contacto con el agua y superficies húmedas se hinchan, no se pueden quemar y bloquean los conductos. Por lo tanto, hay que respetar los siguientes principios:

- Los almacenes de pellets deben estar completamente secos. Especialmente en casas recién construidas, el suelo del almacén puede estar húmedo y no puede utilizarse hasta que se haya secado del todo.
- La humedad del aire debe mantenerse por debajo del 80%.
- Si hay riesgo de humedad en las paredes (aunque sea solo temporalmente), se recomienda encarecidamente el uso de un silo prefabricado. De lo contrario, el almacén debe revestirse dejando un hueco entre la pared.

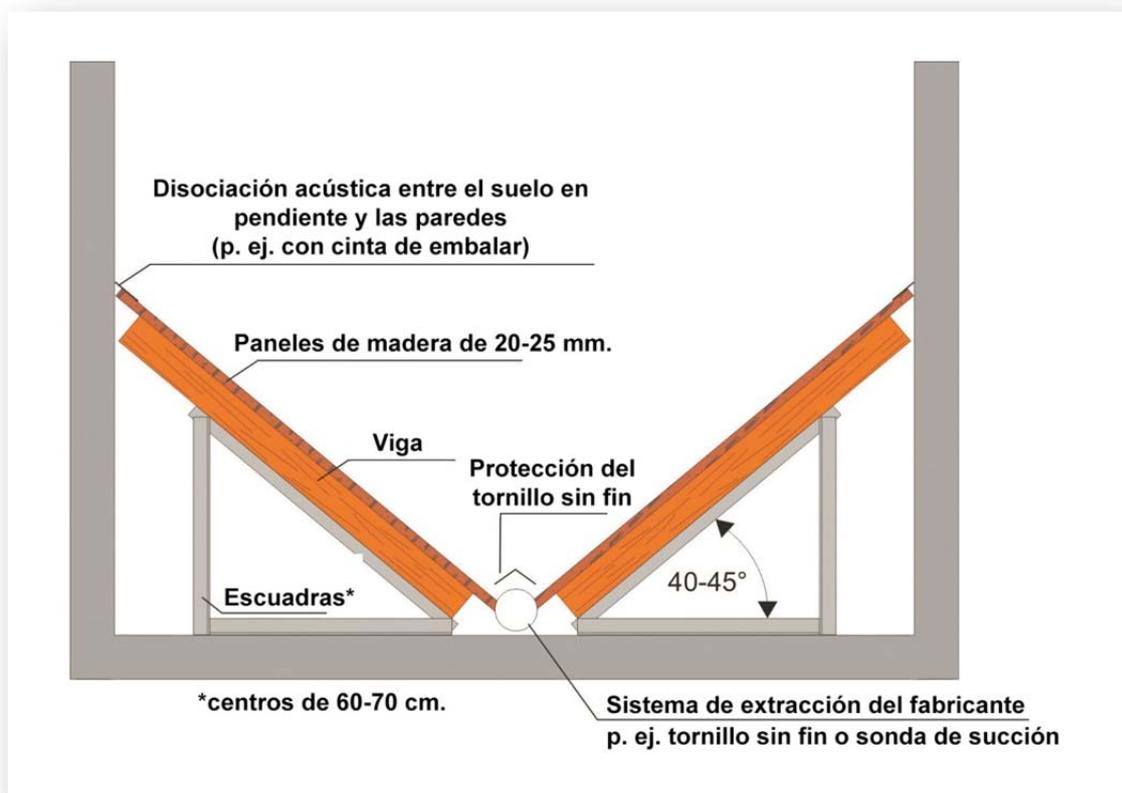
## 5.4. Suelos en pendiente

Los suelos en pendiente dirigen los pellets hacia el tornillo sin fin o el sistema de extracción por succión simplemente por gravedad y permiten vaciar completamente el almacén.

La construcción de almacenes con suelo en pendiente (véase la Figura 5) debe respetar unas cuantas reglas fundamentales de diseño:

- Los suelos en pendiente deben soportar el peso de los pellets. Es imprescindible tener una estructura resistente y estable.
- Las vigas de madera maciza que forman la estructura del suelo en pendiente deben utilizar escuadras de soporte cada 60 o 70 cm.
- El suelo en pendiente debe tener un ángulo de al menos 45 a 50 grados.
- Los paneles del suelo en pendiente deben tener una superficie lisa. Los tableros de aglomerado no son adecuados. Se recomienda el uso de paneles de madera de tres capas o de contrachapado de múltiples capas.

- Los tornillos sin fin debe estar protegidos con una construcción angular (de acero) que cubra toda su longitud, para disipar el peso de los pellets sobre los pellets en el tornillo sin fin. El hueco entre la protección y el suelo en pendiente debe ser de entre 60 y 70 mm para permitir el flujo sin problemas de los pellets.
- Deben evitarse bordes, escalones y zonas planas alrededor del tornillo sin fin o del punto de descarga.
- Los suelos en pendiente deben unirse perfectamente con las paredes circundantes para que los pellets no puedan introducirse en el hueco bajo el suelo.
- La conexión del sistema de extracción debe hacerla un profesional siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Para evitar la transmisión de vibraciones y ruido desde el almacén (p. ej., del sistema de extracción) a la estructura de la construcción, las instalaciones deben estar acústicamente dissociadas del edificio. Los huecos entre los suelos en pendiente y el suelo deben cerrarse con cinta de embalar.



**Figura 5 Recomendaciones para instalación de suelos en pendiente**

### 5.5. Alfombrilla de protección contra impactos

La alfombrilla de protección contra impactos reduce la rotura de pellets durante la entrega, protege las paredes del almacén y, por lo tanto, evita la contaminación de pellets con partículas de la pared (p. ej., pintura, argamasa). Los tornillos, listones y soportes de fijación deben instalarse de tal manera que no interfieran con el flujo de pellets (véanse las figuras 7 y 8).

La alfombrilla de protección contra impactos debe colocarse verticalmente respecto al flujo de entrada de pellets a una distancia de entre 20 y 50 cm de la pared opuesta a la tubería de inyección. Por lo general,

debe colgar libremente de manera que la fuerza del flujo entrante de pellets la permita oscilar hacia atrás. Esta oscilación es la que garantiza una disipación adecuada de la energía cinética de los pellets. Una alfombrilla de protección no sirve si se coloca directamente sobre la pared.

La alfombrilla de protección tiene que ser lo suficientemente ancha para captar todo el flujo de pellets. Debe tener suficiente longitud para evitar que el aire o la fuerza del flujo la desplace, pero no ser demasiado larga (el riesgo de que quede pillada entre los pellets y se desgarre aumenta con la longitud de la alfombrilla). Cuando se llena el almacén por primera vez, hay que probar la función de la alfombrilla de protección contra impactos: el flujo entrante de pellets debe chocar contra ella. Si hay más de una tubería de llenado, podría ser necesario instalar más de una alfombrilla de protección contra impactos.

La alfombrilla de protección contra impactos debe resistir la abrasión y los desgarros. Moquetas, plásticos blandos o materiales de goma son **inadecuados** y pueden provocar daños considerables si las fibras o partículas de plástico caen entre los pellets y entran en el tornillo sin fin. Se recomienda el uso de película de polietileno de alta densidad (HDPE) de al menos 2 mm de espesor o una goma **resistente a la abrasión** de 1-3 mm de espesor con unas dimensiones de 1,2 m x 1,5 m.

### 5.6. Puertas, ventanas y trampillas

Las puertas y trampillas deben construirse a prueba de polvo (figura 4). Deben abrir hacia afuera y requieren juntas a prueba de polvo en todo su contorno. Las ventanas suelen estar selladas por el fabricante y tienen que estar aprobadas para este uso (p. ej., cristal de seguridad ya que pueden darse picos de presión). Dentro del marco de la puerta hay que instalar tablones de madera o chapas metal (tablones de búnker) para proteger las puertas contra la presión de la masa de pellets. Los cerrojos deben ser a prueba de polvo por dentro, de manera que no les afecte el polvo de los pellets. El proveedor de pellets no es responsable de los daños o de la contaminación provocada por unas juntas inadecuadas.

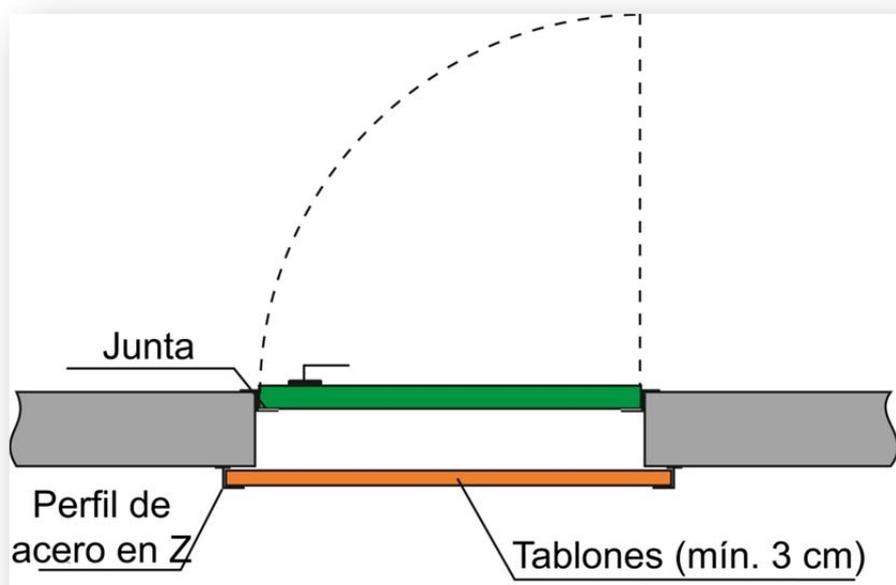


Figura 6 Protección de la puerta del almacén contra la presión y los impactos

Si es posible, la puerta que lleva al silo debe estar cerca del acoplamiento de inyección. De esta manera se prolonga el tiempo hasta que la acumulación de pellets impida el acceso. La puerta no debe colocarse detrás de la alfombrilla de protección contra impactos. El almacén debe ser accesible para limpiarlo y para que el conductor del camión de reparto lo inspeccione visualmente antes de proceder al llenado. **Entrar en un almacén siempre conlleva un riesgo importante para la seguridad. Por este motivo, el número de**

**intervenciones debe minimizarse y deben respetarse unas normas de seguridad estrictas (véase el capítulo 7: para su seguridad).**

Se recomienda prever un visor de cristal, p. ej., una mirilla en los tablonos de madera. Si se usa plástico transparente, la ventana puede acumular finos atraídos por la electricidad estática. Los finos en una mirilla de plástico dificultan la visión de la cantidad de combustible que queda en el almacén.

### **5.7. Instalaciones dentro del almacén**

Las instalaciones dentro del almacén (como tuberías de agua, de aguas residuales, etc.), deben retirarse. Si no es posible sin un trabajo considerable y las instalaciones cruzan el recorrido de los pellets entrantes, entonces deben protegerse con deflectores inclinados para minimizar el daño a los pellets.

Las instalaciones eléctricas como interruptores, enchufes, luces y cajas de conexiones **no deben** situarse en el almacén. Las instalaciones eléctricas a prueba de explosiones pueden quedar exentas de esta norma, así como los sistemas de extracción especialmente contruidos con este fin.

### **5.8. Sistema de llenado**

Un almacén necesita al menos un acoplamiento para la inyección de pellets y otro de salida para la tubería de succión. Su función debe marcarse de forma clara y permanente en las tuberías y las tapas. Los acoplamientos deben montarse al menos 15 cm por debajo del techo del silo (medidos desde el techo hasta el extremo superior de la tubería de llenado). Dejando una distancia de 50 cm, las tuberías de llenado deben sujetarse firmemente con una abrazadera para tuberías (véase la

Figura 7).

Los acoplamientos estándar comúnmente aceptados tienen un diámetro de 100 mm y se denominan "Storz tipo A". Debe utilizarse para las tuberías de inyección y de succión. Si se instalan los acoplamientos en un tragaluz, debería ser fácil conectar la manguera de llenado a una sección recta que sobresalga del tragaluz sin doblarla. Los acoplamientos deben fijarse firmemente para que no puedan girarse ni doblarse cuando se conecte el acoplamiento del camión de reparto.

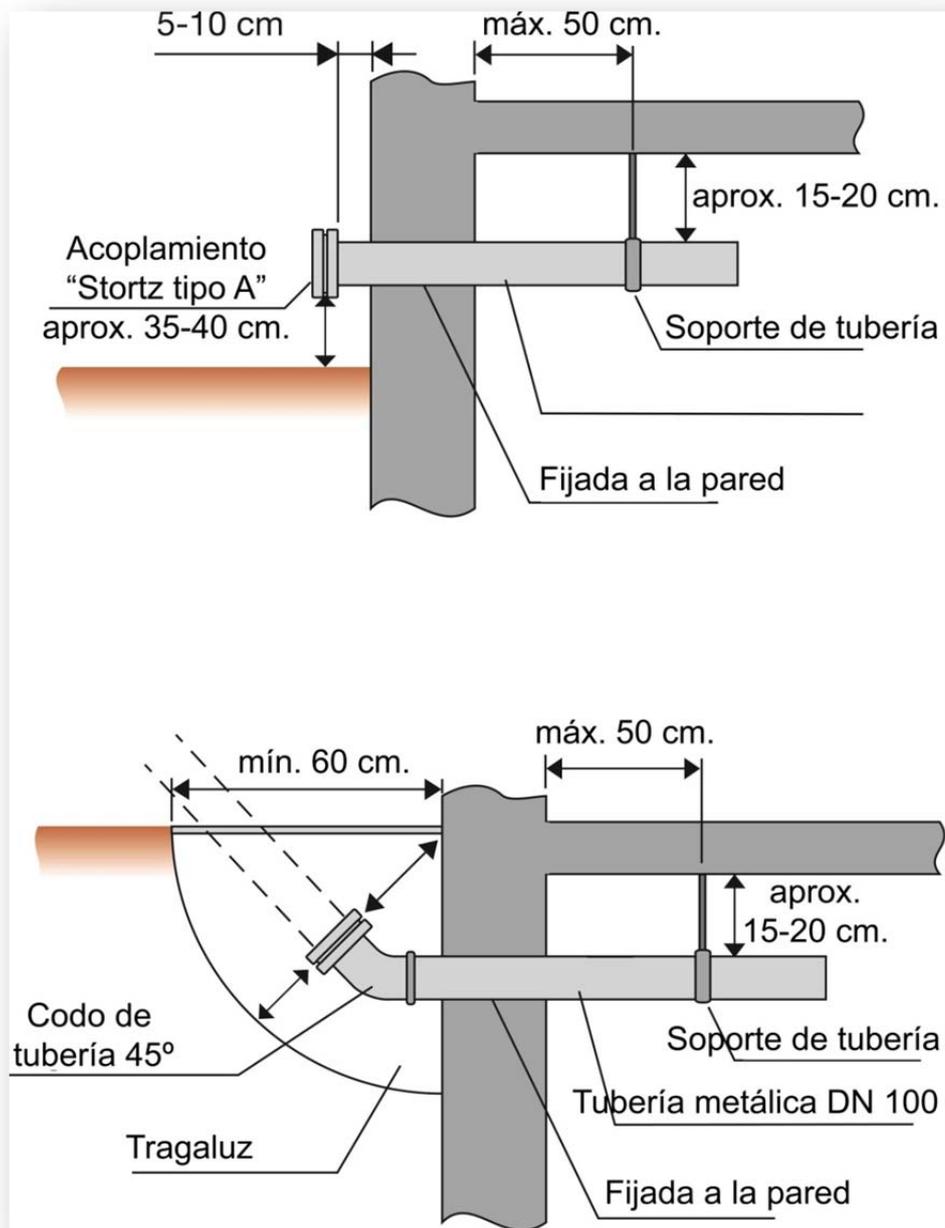
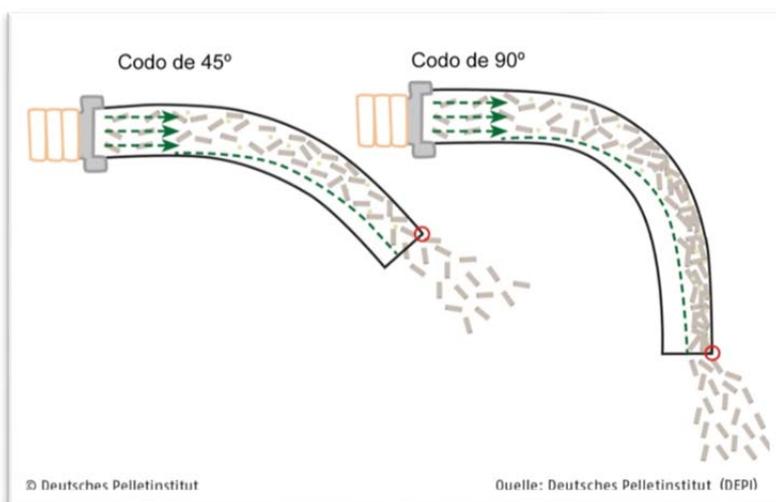


Figura 7 Recomendaciones para el diseño de acoplamientos situados por encima o por debajo del nivel del suelo

**El sistema de llenado debe cumplir las siguientes condiciones:**

- Todos los acoplamientos (inyección y succión) deben ser "Storz tipo A" (o calidad equivalente). Todas las tuberías deben tener 100 mm de diámetro.
- Las tuberías deben ser metálicas y resistentes a una presión mínima de 1 bar.
- Las tuberías y codos deben tener una superficie interna lisa para evitar la abrasión. Los remaches o tornillos no deben penetrar en la tubería. Si las tuberías están soldadas, hay que comprobar que no haya poros, escoria ni otros daños en las juntas del interior de las tuberías (juntas de soldadura). Las tuberías de acero se deben desbarbar.
- Las tuberías deben ser lo más cortas posible. Deben evitarse los cambios de dirección. Solo deben utilizarse codos con un radio mayor de 200 mm.

- La tubería de inyección debe tener una sección final recta de entre 30 y 50 cm como mínimo para superar las turbulencias en el flujo de pellets que podrían provocar grandes ángulos de dispersión en la salida. (Véase la figura 6).
- El sistema de llenado deben ponerse a tierra con un cable de 4 mm<sup>2</sup> a una barra colectora equipotencial.
- Los acoplamientos de inyección y de succión deben marcarse claramente. Debe evitarse la inyección a través de la tubería de succión ya que los pellets podrían bloquear la tubería de succión posteriormente.
- Debe mantenerse libre una zona de unos 40 cm alrededor de los acoplamientos, incluso si están situados en un tragaluz.
- El ventilador de succión necesita una toma de corriente (230 voltios, 16 amperios) que no esté muy lejos del acoplamiento de succión. El conductor del camión de reparto debe tener acceso a ella.
- El acceso a los acoplamientos y la zona circundante (tragaluces, rejillas) deben estar a salvo de la nieve y el hielo durante el invierno.
- Después de la operación de soplado, los acoplamientos deben cerrarse con tapas ventiladas que puedan bloquearse preferiblemente. Las llaves deben estar a disposición del conductor del camión de reparto.



- La fuerza centrífuga de los codos de la tubería causa fricción así como finos en los pellets.
- La presión y el aire de inducción/gas portador varían de acuerdo con la ruta/curso/sección/longitud del recorrido y las características de la ruta/curso/sección y recorrido.
- El número de codos de una tubería de llenado debe reducirse a un mínimo.
- Los codos de las tuberías con un radio de arco mayor de 45° deben evitarse en la medida de lo posible.
- Cada codo debe ir seguido de una tubería/sección recta de al menos 30 cm para estabilizar el flujo. De lo contrario, los pellets del extremo arqueado se parten.

**Figura 8 Forma de descarga de los pellets soplados a través de distintos codos sin una sección recta adecuada (= sección estabilizadora)**

**Los almacenes de pellets deben estar ventilados. Para una capacidad de almacenamiento de hasta 40 t, con tuberías de llenado de menos de 2 m de longitud hacia el exterior, las tapas ventiladas de los acoplamientos proporcionan suficiente ventilación. En todos los demás casos se necesitan conductos de ventilación adicionales.**

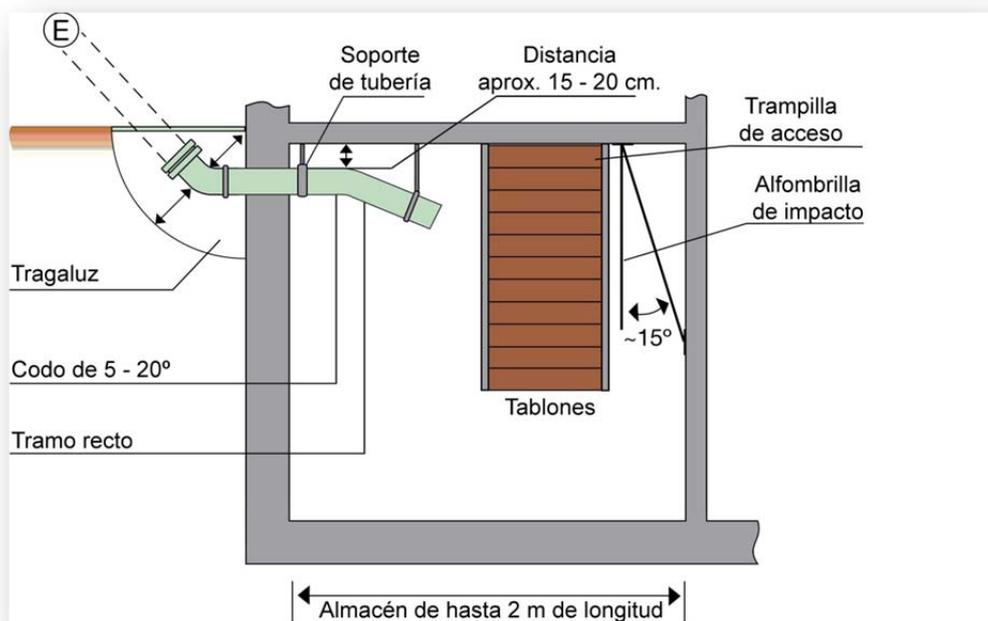
### 5.9. Ejemplos de mejores prácticas en almacenes a medida

El diseño de un almacén de pellets debe tener en cuenta las dimensiones y la geometría del local, especialmente la distancia entre la tubería de llenado y la pared opuesta.

Los almacenes pequeños, con una profundidad de menos de 2 metros, presentan un alto riesgo de rotura de pellets debido a las fuerzas de impacto. Un diseño especial de la tubería de inyección y de la alfombrilla de protección contra impactos (véase la

Figura 9) ayudan a evitar un estrés mecánico excesivo sobre los pellets:

- La salida de la tubería de inyección debe dirigir el flujo de pellets ligeramente hacia abajo (véase la
- Figura 9). Esto debe hacerse con un codo de tubería de unos 15-20 grados seguidos de un tramo recto final de 30 cm. El tramo recto también puede conseguirse con una sección de la manguera de inyección de material conductor adecuadamente instalada. En este caso, la espiral de acero interior debe tener una conexión firme con la tubería de metal para la puesta a tierra de toda la tubería de inyección.
- La alfombrilla de protección contra impactos debe estar bien colocada para realizar su función. Se recomienda sujetar la alfombrilla a una tabla de soporte del mismo tamaño. Esta construcción debe fijarse al techo y a la pared. El ángulo vertical debe ser de unos 15 grados aproximadamente.



**Figura 9 Diseño idóneo para un almacén con una profundidad < 2 m**

El diseño de un almacén de pellets rectangular con una profundidad de entre 2 y 5 metros (

Figura 10) debe tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Las tuberías de inyección deben instalarse horizontalmente a una distancia de entre 15 y 20 cm del techo para evitar que los pellets choquen contra éste cuando se introducen mediante soplado (ángulo de dispersión de 7°).
- La alfombrilla de protección contra impactos de la pared opuesta del silo debe estar a una distancia de entre 20 y 50 de la pared trasera y fijarse al techo. Debe poder oscilar libremente.
- El acoplamiento de succión debe montarse al menos a 0,5 m, preferiblemente más lejos, del acoplamiento de inyección y estar claramente marcado tanto en la tapa como en la tubería. Idealmente, el acoplamiento de succión debe situarse en una esquina y algo más arriba que la tubería de inyección.

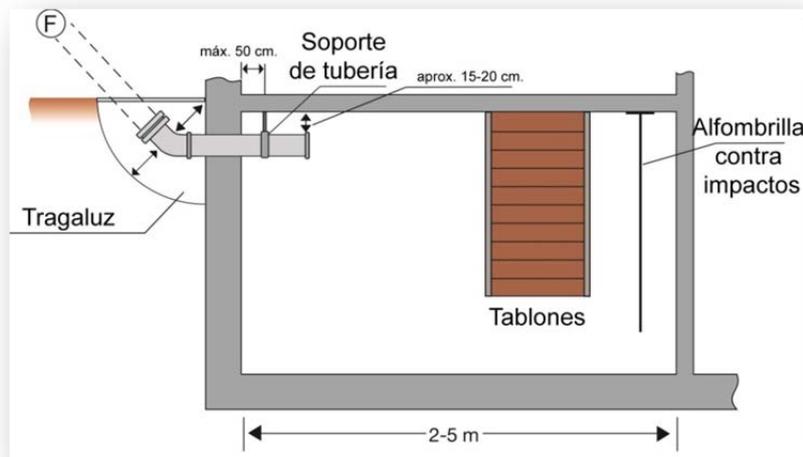
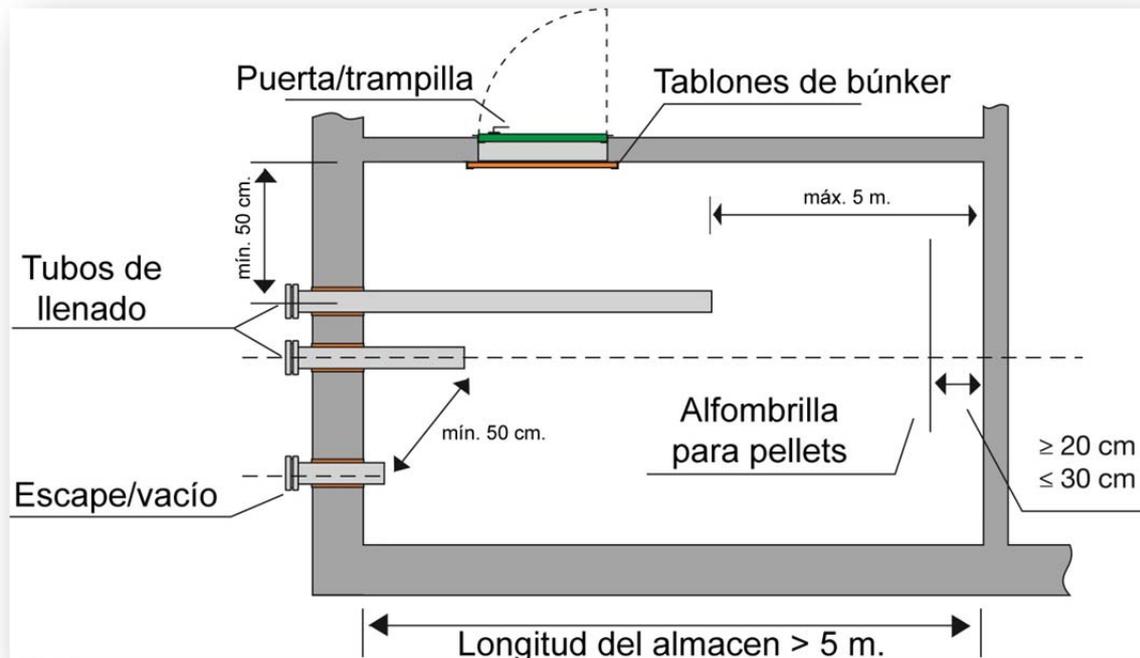


Figura 10 Diseño idóneo para un almacén con una profundidad de 2 - 5 metros

El diseño de almacenes a medida debe tener en consideración los límites de una trayectoria adecuada de los pellets: la distancia desde la salida de la tubería de inyección a la superficie de la alfombrilla de impacto debe ser siempre de entre 2 y 4 metros.

Por lo tanto, los almacenes con una profundidad de más de 5 metros deben estar equipados con tuberías de inyección adicionales que terminen más dentro del local. Los acoplamientos de dichas tuberías deben estar claramente marcados (larga/corta). La inyección de pellets debe comenzar por la tubería de llenado larga. Nota: El nivel de los pellets en la boca de la tubería larga en un almacén sin luz puede no ser visible, por lo que debe proporcionarse otros medios para controlar el nivel de llenado.



**Figura 11 Diseño idóneo para un almacén con una profundidad > 5 metros**

Cuando se soplan los pellets al interior del almacén, forman una pila con un ángulo de reposo de 45-60°. Para utilizar adecuadamente el volumen de almacenamiento, los locales anchos (> 3 metros de anchura) necesitan tuberías de inyección adicionales. La distancia horizontal entre las tuberías de inyección debe ser de entre 1,5 y 2 metros. Cada tubería de inyección requiere una alfombrilla de impactos delante de la pared trasera.

En los tres ejemplos anteriores, los requisitos de ventilación se pueden cumplir equipando los conductos de llenado de los almacenes con tapas ventiladas en los acoplamientos de llenado y escape. No obstante, también se puede proporcionar ventilación implementando soluciones de ventilación más complejas. Los requisitos para las mismas se resumen en la tabla 3.

## 6. Almacenes grandes (hasta 100 toneladas de capacidad)

### 6.1. Requisitos generales

Los requisitos básicos para el almacenamiento de pellets tratados en las secciones anteriores también se aplican a los almacenes más grandes con una capacidad de hasta 100 toneladas métricas. Los requisitos para inyectar suavemente los pellets también se aplican a los almacenes más grandes: hay que utilizar tuberías adecuadas, la posición de aparcamiento del camión de reparto debe estar próxima y las tuberías de llenado deben ser lo más rectas posible. Asimismo, la distancia entre el almacén y la caldera debe ser corta. Pero el diseño y el funcionamiento de los almacenes más grandes obligan a prestar especial atención a una serie de aspectos menos relevantes para sistemas de almacenamiento más pequeños. A menudo, los almacenes más grandes están equipados con sistemas de extracción diferentes de los de los almacenes pequeños y el riesgo de problemas por exceso de presión durante la inyección de pellets es mucho menor. El mayor volumen libre evita los grandes picos de presión y algunos almacenes están equipados con un sistema de vacío para el proceso de inyección.

La inyección de pellets desde un camión cisterna que contenga 25 t de pellets puede durar hasta dos horas. Durante este tiempo tanto el motor como el compresor del camión están funcionando. Por lo tanto

hay que tener en cuenta algún tipo de protección acústica. Una buena posición de aparcamiento para el vehículo de reparto puede plantear dificultades, especialmente cerca de zonas residenciales, hoteles y hospitales. La entrega de pellets mediante camiones con piso móvil o volquetes que viertan los pellets en el almacén o a una cinta transportadora podrían ser una buena alternativa que ofrece un menor tiempo de entrega in situ y mucho menos ruido.

## 6.2. Tamaño del almacén

Para dimensionar un almacén de gran tamaño hay que tener en cuenta la demanda anual de combustible (calculada a partir de la energía térmica de la caldera y del factor de capacidad previsto) así como los problemas logísticos. Un importante factor es la carga útil típica de 25 toneladas métricas por camión de reparto. Las capacidades de almacenamiento propicias deben determinarse de acuerdo con la figura 10. El diagrama muestra la capacidad de almacenamiento propicia según el tamaño de la caldera.

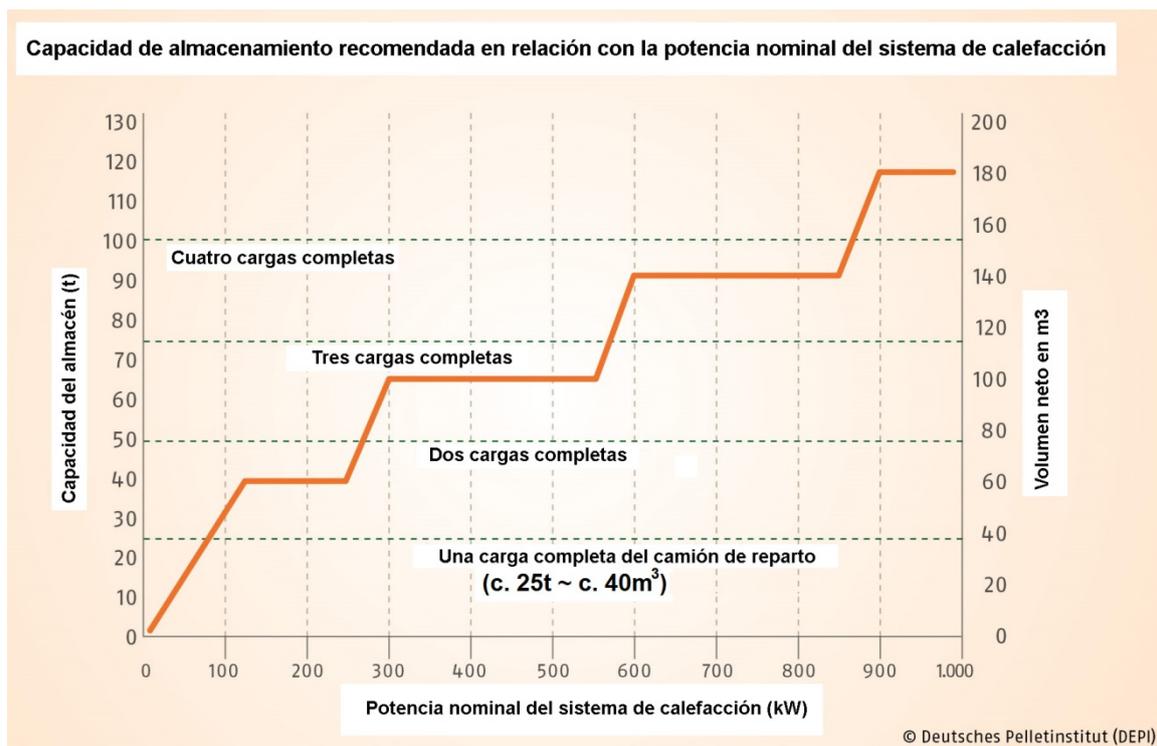


Figura 12 Determinación de las capacidades de almacenamiento propicias para almacenes de gran tamaño

## 6.3. Sistemas de recuperación de pellets

A diferencia de los sistemas de calefacción por pellets más pequeños, el uso de sistemas de succión no es habitual en los sistemas grandes. La Tabla 6 presenta sistemas típicos de recuperación de pellets para almacenes grandes.

<p><b>Tornillo sin fin de descarga centrado</b></p>	<p><b>Sistema rentable para almacenes largos con suelos en pendiente.</b></p> <p><b>Adecuado para calderas &lt; 100 kW.</b></p>	
---	---	--

<p><b>Descarga mediante resorte</b></p>	<p>Sistema rentable para almacenes rectangulares que utiliza dos brazos con resorte para empujar los pellets hacia el tornillo sin fin de descarga.</p> <p>Adecuado para calderas &lt; 200 kW.</p>	
<p><b>Descarga mediante brazo telescópico</b></p>	<p>Sistema rentable para silos circulares, los brazos telescópicos empujan los pellets hacia el tornillo sin fin de descarga.</p> <p>Recomendado para calderas de hasta 500 kW.</p>	
<p><b>Descarga mediante tornillo sin fin centrado</b></p>	<p>Sistema eficaz para silos circulares que utilizan un tornillo sin fin centrado para empujar los pellets hacia el punto de descarga central.</p> <p>Adecuado para calderas &gt; 500 kW.</p>	
<p><b>Descarga mediante suelo móvil</b></p>	<p>Sistema eficaz y robusto para almacenes rectangulares de gran tamaño que se basa en un suelo móvil hidráulico.</p> <p>Adecuado para calderas &gt; 500 kW.</p>	

**Tabla 6: Distintos tipos de sistemas de descarga de pellets para almacenes grandes**

#### 6.4. Medición del nivel de llenado

La medición in situ del nivel de los almacenes de pellets es todavía más importante para la supervisión automatizada de la instalación y la programación de las entregas. La supervisión continua del nivel de combustible puede hacerse con una serie de dispositivos tales como sensores mecánicos, sensores capacitivos y sistemas de ultrasonidos. El nivel de llenado de los silos también puede controlarse mediante celdas de carga. El nivel de llenado de almacenes con suelos en pendiente puede controlarse con sensores de presión integrados en los tablones del suelo.

#### 6.5. Limpieza del almacén

Los almacenes de pellets de gran tamaño (consumo anual > 15 toneladas) deben vaciarse y limpiarse al menos una vez al año. El personal de limpieza siempre debe:

- Utilizar aspiradoras industriales equipadas con un filtro de clase M (EN 60335).
- Utilizar aspiradoras industriales homologadas para uso en zona 22 ATEX, recipiente del dispositivo <= 50 l y potencia del motor <1,2 kW.
- Utilizar máscara antipolvo del tipo P2 (EN 143) o N95 (norma US NIOSH)
- Utilizar un detector de CO personal

**Entrar en un almacén siempre conlleva un riesgo importante para la seguridad. Por este motivo, el número de intervenciones debe minimizarse y deben respetarse unas normas de seguridad estrictas (véase el capítulo 7: para su seguridad).**

## **6.6. Protección contra explosiones**

La protección contra explosiones en almacenes de gran tamaño se basa tanto en evitar una atmósfera explosiva como en garantizar bajas concentraciones de polvo y evitar fuentes de ignición en cualquier punto de los sistemas de llenado, almacenamiento y descarga. Dentro del almacén solo están permitidos aparatos eléctricos con una clasificación de al menos IP 54 (preferiblemente AP 65). La iluminación del almacén, así como otras instalaciones fijas, requieren la aprobación de zona 22 ATEX (Norteamérica: Clase II división 2).

Siempre que se cumplan todas estas directrices, los almacenes de pellets no requieren medidas de protección contra explosiones.

## **6.7. Requisitos de ventilación**

En los almacenes de pellets existen dos fuentes de emisión de gases nocivos a la atmósfera del almacén: la gasificación de los pellets y el contraflujo de gases de escape de la caldera de pellets en caso de mal funcionamiento. Los accidentes debidos a los gases tóxicos se pueden prevenir de dos formas distintas.

- La ventilación permanente del almacén, que evita la acumulación de gases (p. ej., CO) hasta niveles de concentración perjudiciales.
- Las normas de seguridad para el acceso al almacén, incluida la protección personal con un detector de CO, evitarán la exposición del personal a una atmósfera tóxica.

Si el almacén se encuentra cerca del exterior, la ventilación debe hacerse mediante conductos de ventilación de menos de 5 metros de longitud. La zona de ventilación necesaria se calcula según lo indicado en la Tabla 7.

En el caso de almacenes que necesitan conductos de más de 5 m de longitud hacia el exterior, la ventilación debe hacerse con un equipo de ventilación.

Solo se debe entrar en el almacén

- después de medir el nivel de CO y confirmar que el nivel no supera las 60 ppm
- llevando un detector de CO con una calibración válida

Longitud del conducto de ventilación	Requisitos
≤ 2 m	Tapas ventiladas (solo ≤ 40 toneladas) Sección transversal mín. 4 cm <sup>2</sup> /t pellets
≤ 5 m	Abertura de ventilación hacia el exterior independiente Sección transversal del conducto de ventilación ≥ 100 cm <sup>2</sup> Sección transversal mín. 10 cm <sup>2</sup> /t Abertura libre mín. 8 cm <sup>2</sup> /t
> 5 m	Ventilación del almacén por conducto de ventilación con ventilador La función del ventilador debe estar asociada a la apertura de la puerta del almacén.

Tabla 7: Requisitos de ventilación para almacenes grandes

## 7. Para su seguridad

Las siguientes instrucciones le ayudarán a garantizar su seguridad personal cuando maneje sistemas de almacenamiento de pellets.

**Primero y ante todo**, nadie debe entrar en los almacenes de pellets excepto para las necesidades de mantenimiento necesarias. El acceso debe estar prohibido para el personal no autorizado. Los niños no deben tener nunca acceso a los almacenes de pellets.

**Segundo**, debe apagar la caldera de pellets antes de entrar en un almacén de pellets. Siga las especificaciones de tiempo de las instrucciones del fabricante.

**Tercero**, los almacenes de pellets deben tener ventilación suficiente en todo momento. En sistemas de almacén pequeños (< 10 t) las tapas ventiladas son suficientes para este fin. Además, se recomienda abrir la puerta del almacén de pellets al menos 15 minutos antes de entrar para que haya más aire fresco.

**Cuarto**, antes de entrar o trabajar en almacenes o contenedores de pellets, debe haber otra persona con conocimientos fuera del almacén para dar la alarma, NO PARA intentar un rescate.

**Quinto**, la entrada a los sistemas de almacenamiento de pellets bien sellados y herméticos, p. ej., almacenes subterráneos de pellets fabricados en hormigón o plástico con un ventilador eléctrico, solo debe hacerla personal de mantenimiento con la adecuada formación y solo después de determinar las concentraciones de oxígeno y de monóxido de carbono dentro del almacén. Esto es necesario ya que este tipo de almacenes de pellets son especialmente proclives a mantener niveles altos de CO y niveles bajos de oxígeno al mismo tiempo, ya que prácticamente no hay intercambio de aire con el exterior.

### Referencias normativas

- ÖNorm 7137: Pellets de madera: requisitos para el almacenamiento de pellets en las instalaciones del consumidor
- EN 303-5: Caldera de calefacción de combustibles sólidos
- ISO 17225-2: Pellets de madera para uso no industrial
- ENplus – Manual para la certificación de pellets de madera para usos térmicos, Versión 3.0

- VDI Norm 3464 (Borrador oficial 2014): Almacenamiento de pellets de madera en las instalaciones del consumidor



### Instrucciones de seguridad para almacenes de pellets < 10 toneladas

- Peligro de muerte por monóxido de carbono inodoro (CO).
- Ventile al menos 15 minutos a través de la puerta de acceso antes de entrar: mantenga la puerta abierta mientras esté en el almacén.
- Asegúrese de ventilar continuamente a la atmósfera exterior, p. ej., a través de las tapas ventiladas, aberturas o un ventilador.
- Riesgo de lesión por piezas móviles.
- Prohibido fumar, no utilizar llamas vivas ni otras fuentes de ignición.
- Mantenga las puertas cerradas. Acceso solo permitido a personas autorizadas bajo la supervisión de un ayudante fuera del almacén.
- Apague la caldera de pellets al menos 1 hora antes de la entrega de los pellets.
- En las 3 primeras semanas después del llenado, solo entre en el almacén si lleva un detector personal de CO.

### Instrucciones de seguridad para almacenes de pellets > 10 toneladas y silos de almacenamiento subterráneo

- Peligro de muerte por monóxido de carbono inodoro (CO).
- Ventile al menos 15 minutos a través de la puerta de acceso antes de entrar: mantenga la puerta abierta mientras esté en el almacén.
- Entre solamente si lleva un detector de CO.
- Asegúrese de ventilar continuamente a la atmósfera exterior, p. ej., a través de las tapas ventiladas, aberturas o un ventilador.
- Riesgo de lesión por piezas móviles.
- Prohibido fumar, no utilizar llamas vivas ni otras fuentes de ignición.
- Mantenga las puertas cerradas. Acceso solo permitido a personas autorizadas bajo la supervisión de un ayudante fuera del almacén.

## 8. Certificado de entrega para almacenes de pellets

### 8.1. Lista de comprobación para una entrega

Usuario a medida/calefacción

Instalador

Nombre: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_

#### Calefacción

Tipo de caldera: \_\_\_\_\_ Potencia: \_\_\_\_\_ kW

Colector solar:  Sí  No Depósito de reserva: \_\_\_\_\_ l

**Almacenamiento**  Almacén  prefabricado

#### **Silo prefabricado:**

Fabricante/Modelo: \_\_\_\_\_ Capacidad: \_\_\_\_\_ t

Material: \_\_\_\_\_ ¿Permeable al aire?  Sí

Ubicación:  Edificio  Exterior   
Subterráneo

¿Ventilación exterior?  Sí Abertura libre: \_\_\_\_\_ mm<sup>2</sup>

¿Ubicación seca (< 80% HA)?  Sí ¿Se necesita sistema de escape durante la  
inyección de pellets?  Sí

¿Almacén adecuado para pellets impregnados?  Sí

---

#### **Almacén a medida:**

Ubicación:  Ático  Sótano  Zona habitable

Material de las paredes: \_\_\_\_\_ mm Espesor de las paredes: \_\_\_\_\_

Tamaño del local (L x A x H): \_\_\_\_\_ m x \_\_\_\_\_ m x \_\_\_\_\_ m Capacidad de  
almacenamiento: \_\_\_\_\_ t

Acceso: \_\_\_\_\_ m x \_\_\_\_\_ m  Puerta  Ventana

Ventilación del almacén:  Tapa ventilada  otro tipo  
abertura libre: \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup>

Almacén hermético a prueba de polvo de locales adyacentes:  Sí

Alfombrilla de protección: Distancia a la pared: \_\_\_\_\_ cm ¿Trayectoria despejada?  Sí

Iluminación:  Sí  con ATEX

¿Paredes/suelo secos?  Sí  barrera contra la humedad

### Condiciones/acceso para inyección por soplado

Tubería de llenado interna:  Sí Material: \_\_\_\_\_

conductor  puesto a tierra

Longitud: \_\_\_\_ m Diámetro: \_\_\_\_ mm codos: \_\_\_\_ x 45° \_\_\_\_ x > 45°

Nº de acoplamientos de inyección: \_\_\_\_ ¿Acoplamiento de escape?  Sí

¿Toma de corriente exterior?  Sí

¿Acoplamiento identificado?  Sí ¿Acoplamiento puesto a tierra?

¿Aparcamiento para camión cisterna?  Sí ¿Camión adecuado?  Yes

Distancia de inyección (manguera y conducto de llenado): \_\_\_\_ m Diferencia de altura: \_\_\_\_ m



*Disposición con zona de aparcamiento para camión y ubicación de los acoplamientos de inyección:*

**Extracción de pellets:**  Tornillo sin fin  Succión en parte inferior

Succión en parte superior

**Instrucciones de llenado:**  colocadas ¿Dónde? \_\_\_\_\_

**Instrucciones de limpieza:**  Escritas  Verbales

**¿Sesión informativa sobre el funcionamiento del almacén/sistema de extracción?**

Sí

\_\_\_\_\_  
(Lugar y fecha)

\_\_\_\_\_  
(Instalador)

\_\_\_\_\_  
(Cliente)

**European Pellet Council c/o AEBIOM**

**Place du Champ de Mars 2**

**1050 Bruselas, Bélgica**

**Correo electrónico: [gauthier@pelletcouncil.eu](mailto:gauthier@pelletcouncil.eu)**

**Teléfono: +32 2 318 40 35**

**Móvil: +32 491 99 22 06**