



Riesgos de explosión en el transporte de graneles en la industria alimentaria

Xavier Miquel Barraguer
Product Manager Iberfluid

Resulta evidente que los riesgos de explosión de producto en fase sólida pueden aparecer en muy diversos tipos de industrias: farmacéutico, químico, siderúrgico, etc. Para el caso que desarrollaremos a continuación, se va a considerar aplicaciones en una industria alimentaria.

.....
PALABRAS CLAVE: Material pulverulento, Sustancias inflamables, Directivas europeas, Cangilón

It is clear that the risks of explosion of product in solid phase can appear in very diverse types of industries: pharmaceutical, chemical, iron and steel, etc. For the case that we will develop next, applications in a food industry will be considered.

.....
KEYWORDS: Powdery material, Flammable substances, European directives, Bucket

INTRODUCCIÓN

Una explosión de material pulverulento se puede generar siempre que se combine la presencia de polvo (con unas características determinadas) con aire en determinadas condiciones ambientales. Dicho polvo inflamable puede presentarse tanto en las fases iniciales de los procesos productivos (materia prima como granos de malta, maíz, etc.), en fases intermedias (polvo de serrín, textil, soldadura, etc.) o en productos ya manufacturados pendientes de su empaquetado (azúcar, harina, etc.).

Uno de los ejemplos donde la presencia de material pulverulento puede generar un peligro de explosión es el elevador de cangilones. Ante una visita a una planta de fabricación, es posible escuchar comentarios del tipo: "Solo transportamos grano, no puede ocurrir una explosión", o "Apenas utilizamos ese equipo, no habrá ningún peligro", etc. Sin embargo, no podemos obviar que el peligro en este tipo de transporte de graneles es considerable, tal como veremos a lo largo de este documento, y se deben tomar las medidas de protección adecuadas para asegurar la integridad de los operarios y la propia instalación. En la Figura 1 se puede constatar las consecuencias de una mala o inexistente integración de un sistema de protección contra explosiones en un elevador de cangilones

DOCUMENTOS LEGISLATIVOS Y NORMATIVOS

Los operadores deben disponer de un entorno y unas condiciones de trabajo totalmente seguras y sin ningún tipo de impacto sobre su salud. La legislación europea establece en varias Directivas los criterios para asegurar que los trabajadores pueden desarrollar sus actividades sin poner en riesgo su integridad ni la de las instalaciones en las que las desarrollan (Tabla 1).

Además de los requisitos especificados en las directivas anteriores, los fabricantes de equipos y máquinas deben considerar los requisitos normativos relativos a los riesgos de explosión que les aplican de manera específica.

La Tabla 2 muestra un ejemplo de algunos documentos normativos actuales que pueden utilizarse en el caso, por ejemplo, de una instalación para el tratamiento de malta.

CASO PRÁCTICO

Se ha considerado como ejemplo una instalación para la producción de cerveza, centrándose en el transporte y tratamiento de la malta. La instalación a estudiar incluye la zona de recepción, almacenaje, transporte y molienda.

La recepción de la materia prima se realiza sobre tolvas desde las propias cisternas, la cual es transportada posteriormente, mediante tornillos sinfín, hacia un elevador de cangilones. Desde aquí el material es almacenado en diferentes silos. Habitualmente son silos fabricados en acero con fondo cónico que suelen estar ubicados en la zona exterior de la propia fábrica.

Cuando se inicia la operación (elaboración de cerveza), la malta se toma de los silos mediante transportadores de tornillo sinfín, que nuevamente, a través de un elevador de cangilones, son dirigidos a diferentes tolvas que acabarán entregando la materia prima al molino de trituración (Figura 2)

En ese proceso de transporte desde los silos a la molinenda se incluyen también pantallas vibratorias en las que se procede a separar los aditivos indeseables. Desde la criba vibratoria, la malta se transporta mediante cintas pesadoras que realizan el pesaje de la malta y, además, se procede también a la aspiración de las partículas de polvo mediante una pequeña unidad de filtrado. Desde la báscula, la malta ingresa de nuevo en un elevador de cangilones que finalmente transporta la malta hasta el molino (Figura 2).

Una vez realizada la molienda, la materia prima es de nuevo transportada mediante tornillo sinfín hacia la zona de fabricación, donde se iniciará el procesado de la malta y, por lo tanto, la zona "húmeda" de fabricación.

Se debe tener en cuenta que el proceso húmedo siempre está precedido por la tecnología necesaria para la trituración de la malta. En ese proceso encontramos materia prima en grano, y hay que considerar que las partículas más finas aparecen esencialmente debido a la abrasión durante su transporte. Significa, por lo tanto, que no se trata solo del

TABLA 1.	
LEGISLACIÓN EUROPEA	
Directivas	Contenido
1999/92/EC (ATEX 153)	Relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas
2014/34/EU (ATEX 114)	Relativa a la evaluación del cumplimiento de los equipos y sistemas de protección diseñados para su uso en atmósferas con riesgo de explosión al ponerlas en el mercado
2006/42/EC	Relativa a los requisitos técnicos para maquinarias

FIGURA 1. Explosión de polvo de malta en un elevador de cangilones



TABLA 2.	
NORMAS BÁSICAS ARMONIZADAS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES	
EN 1127-1 ed.2	Atmósferas explosivas - Prevención y protección contra explosiones - Parte 1: Conceptos básicos y metodología
EN 13237	Atmósferas potencialmente explosivas: términos y definiciones para equipos y sistemas de protección destinados a ser utilizados en atmósferas potencialmente explosivas.
EN 60079-0 ed.4	Atmósferas explosivas. Parte 0: Equipos. Requisitos generales.
EN 60079-10-2 ed.2	Atmósferas explosivas. Parte 10-2: Clasificación de áreas. Atmósferas de polvo explosivo.
EN 14373	Sistemas de supresión de explosiones.
EN 14491	Sistemas de protección de ventilación de explosión de polvo
EN 14797	Dispositivos de ventilación por explosión.
EN 15089	Sistemas de aislamiento de explosiones.
EN 16009	Dispositivos de ventilación de explosión sin llama
CEN/TR 16829	Protección contra fuego y explosión en elevadores de cangilones

FIGURA 2. Elevador de cangilones (izquierda), molino triturador cilíndrico (derecha)



TABLA 3.

EQUIPOS QUE COMPONEN LA INSTALACIÓN

1	Tolva de recepción
2	Transportador de tornillo sinfín
3	Elevador de cangilones
4	Silos de materia prima
5	Transportador de tornillo sinfín
6	Transportador de tornillo sinfín
7	Transportador de tornillo sinfín
8	Transportador de tornillo sinfín
9	Transportador de tornillo sinfín
10	Tolva de operación
11	Tolva de embolsado
12	Elevador de cangilones
13	Transportador vibratorio
14	Báscula
15	Unidad de filtrado
16	Elevador de cangilones
17	Molino triturador
18	Transportador de tornillo sinfín
19	Tolva de molienda
20	Transportador de tornillo sinfín

grano transportado, sino también del polvo generado por ese transporte.

En general, las partículas con un tamaño medio superior a 500 μm no reaccionan explosivamente. Sin embargo, el hecho de que las partículas transportadas cumplan ese requisito no significa que el riesgo de explosión desaparezca, ya que durante el manejo de estas partículas puede producirse una abrasión que pueda llegar a generar partículas de polvo de un tamaño muy pequeño. Es suficiente que el tamaño medio de las partículas de proporciones finas sea de aproximadamente 40 μm , y su capacidad de carga sea del 5 al 10 % en peso para que la mezcla de polvo producida se vuelva explosiva nuevamente.

El diagrama tecnológico de la instalación queda descrito en la Figura 3 y corresponde a los elementos enumerados en la Tabla 3

MUESTREO, MEDICIONES EN LABORATORIO Y RESULTADOS

A la hora de elegir los puntos de muestreo más adecuados, se deben considerar tanto las operaciones que se están realizando como sobre qué dispositivos se van a realizar dichos muestreos. Estos puntos son claramente zonas con riesgo de generar una atmósfera explosiva, por lo que el estudio ha de ser muy detallado. Los puntos más críticos son, por una parte, las zonas de transporte donde las diferentes partículas friccionan mutuamente y, por lo tanto, generan una atmósfera pulverulenta, y, por otra, la zona de molturación donde los granos son divididos en pequeñas partículas, hecho que genera un riesgo superior.

Un análisis realizado en este tipo de instalaciones, considerando los tres puntos más habituales, puede generar los siguientes valores:

FIGURA 3.
Esquema de la instalación

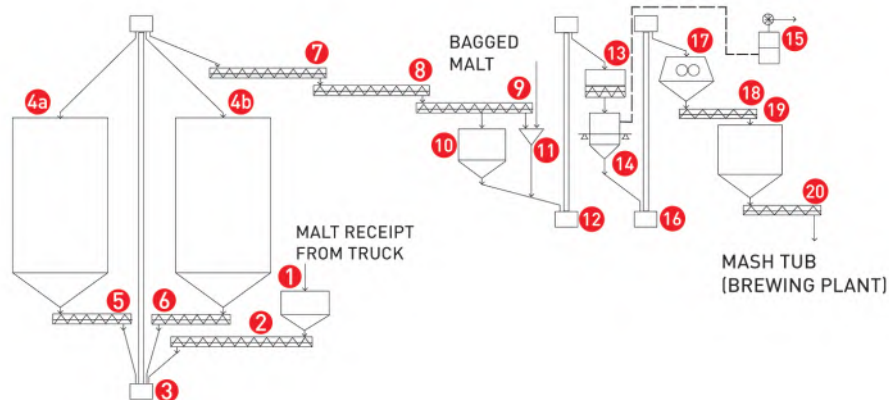


FIGURA 4. Separación de la muestra del elevador de cangilones



- Muestra del elevador - $d_s = 663.9 \mu\text{m}$, humedad = 7.52 % en peso.
- Muestra de la molienda - $d_s = 467.2 \mu\text{m}$, humedad = 4.31 % en peso.
- Muestra superficial en las estructuras - $d_s = 34.0 \mu\text{m}$, humedad = 9.61 % en peso.

Los parámetros de explosión a seleccionar para una evaluación de riesgo son el límite de explosión inferior (LEL), la presión de explosión máxima P_{max} , la velocidad de aumento de la presión de explosión $(dp/dt)_{\text{max}}$ y el valor KSt . Estos parámetros de explosión no son elegidos de manera casual, sino que responden a necesidades concretas. El valor de LEL, por ejemplo, es fundamental a la hora de evaluar si nos encontramos en una atmósfera explosiva o no. Otros parámetros nos permiten, por ejemplo, proponer el método de seguridad contra una posible explosión. La Tabla 4 muestra el ejemplo de resultados de unas determinadas pruebas individuales. Estas pruebas pueden indicar que el límite inferior de explosión LEL alcanza valores de 60 g/m^3 , el cual podemos considerar que es relativamente bajo. Estas evaluaciones se realizan en depósitos autoclave, con volúmenes de, por ejemplo, 20 litros (VA-20).

La determinación de los parámetros de explosión (en VA-20) de la muestra de la molienda y la muestra en los equipos ha demostrado que el grano y el polvo generado son

TABLA 4.

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE EXPLOSIÓN DE LAS MUESTRAS ORIGINALES EN VA-20

Nombre	LEL [g/m ³]	P_{max} [bar]	$(dp/dt)_{\text{max}}$ [bar/s]	KSt [bar * m/s]
muestra del elevador	65	7.6	270	73
muestra de la molienda	60	7.4	232	63
muestra en las estructuras	75	7.9	231	63

explosivos. Se debe considerar, por lo tanto, una zona con riesgo de explosión.

Por otro lado, la muestra obtenida del elevador de cangilones no cumple con la definición general de polvo inflamable ($d_s \leq 500 \mu\text{m}$). Sin embargo, una vez procedido al estudio detallado del tamaño de las partículas, se encuentra que, una vez separadas las de mayor tamaño (superiores a $1000 \mu\text{m}$ - grano solo), aparecen una cantidad importante de partículas de mediano y pequeño tamaño (Figura 4). Una vez estudiada esta segunda muestra, se llega a la conclusión de que efectivamente puede generar una zona explosiva.

Si esta situación no se resuelve, se pueden utilizar datos para la evaluación de riesgos que no corresponden con la realidad y la aparición del polvo podría generar una atmósfera explosiva. Para el elevador de cangilones se debe tener en cuenta que en su interior se produce la mencionada fricción entre los granos que provoca la aparición del polvo fino. Se ha de considerar, además, que dicho grano puede incluir polvo inherente de transportes anteriores, cosa que hace que la situación pueda ser aún más crítica. Una vez estudiado el caso, se llega a la conclusión que, si hay un 5 % en peso de partículas finas de polvo en la mezcla de grano ($d_s < 40 \mu\text{m}$), este material no explosivo se convertirá en una muestra explosiva nuevamente ($LEL = 32 \text{ g/m}^3$).

Posible caso de una atmósfera explosiva en el elevador de cangilones:

FIGURA 5. Capa de polvo asentada en la estructura del molino de trituración



1) $LEL = 32 \text{ g/m}^3$ $c_{HAZ} > 16 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ concentración peligrosa (c_{HAZ})
 2) $m = 12000 \text{ g}$ cantidad de grano en el elevador (condiciones actuales)
 $m_{5\%} = 600 \text{ g}$ 5% en peso
 $V_E = 3 \text{ m}^3$ volumen en el elevador de cangilones (V_E)

$$c_{ACT} = \frac{m_{5\%}}{V_E} = \frac{600}{3} = 200 \text{ g/m}^3$$
 concentración actual (c_{ACT})
 $c_{ACT} \gg c_{HAZ}$
 << ATMOSFERA EXPLOSIVA = ZONE 20 >>

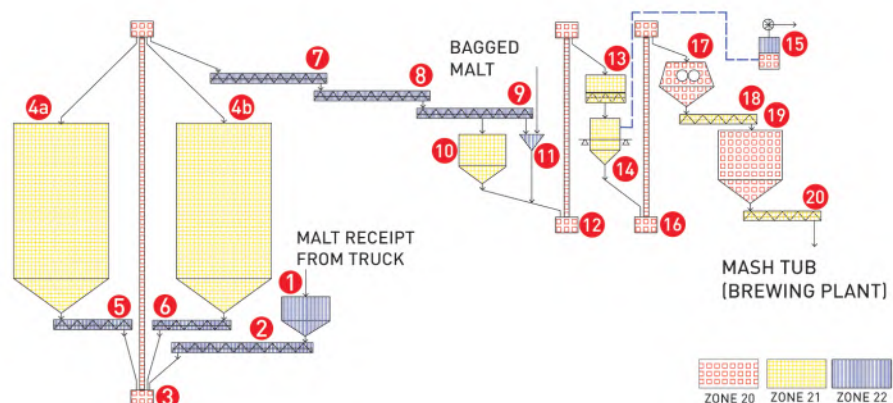
DISEÑO ESTRUCTURAL
INTERIOR DE LOS EQUIPOS

Desde el punto de vista del operador, solo el espacio interior del molino triturador se percibe como una atmósfera explosiva (zona 20). Sin embargo, cuando se constata la cantidad de polvo depositado en las áreas exteriores (Figura 5), se deben considerar los espacios interiores del equipo como se muestra la Figura 6.

Tras lo mencionado anteriormente, se pueden extraer varias conclusiones sobre los posibles riesgos de aparición de atmósferas explosivas durante el proceso de producción. Las principales serían:

- **Elevador de cangilones.** Genera una atmósfera explosiva clasificada como zona 20 (según el cálculo establecido).

FIGURA 6. Zonas especificadas dentro de las unidades tecnológicas



- **Silos.** En este caso la atmósfera explosiva queda clasificada como zona 21, dado que el proceso de llenado no es continuo. Desde el punto de vista de la creación de una concentración peligrosa, existe un riesgo básicamente durante el llenado y en casos o situaciones extraordinarios.

- **Transportadores de tornillo sinfín.** Se trata habitualmente de un área clasificada como zona 22, ya que no suele haber espacio libre al estar siempre llena de producto.

- **Molino triturador.** Se trata de equipos clasificados como zona 20, ya que, independientemente de que se supere el valor del 5 % en peso mencionado anteriormente, existe una presencia elevada de polvo.

EXTERIOR DE LOS EQUIPOS

Se han de considerar todas aquellas zonas o áreas susceptibles de que el polvo pueda escapar a través de ellas. Se trata de cualquier conexión (válvulas de muestreo, mirilla o conexiones de inspección, etc.) que permita en momentos ocasionales el escape de polvo. La zona 22 quedará delimitada a una distancia de un metro de cualquiera de los puntos mencionados anteriormente. El intervalo de limpieza debe especificarse claramente para que las capas asentadas no puedan causar una posible aparición de una atmósfera explosiva.

Utilizando como base los comentarios anteriores, las zonas de la planta quedarían clasificadas según se muestra en la Figura 6 para los equipos enumerados en la Tabla 3.

PROPUESTA DE MEDIDAS

La propiedad debe tomar las decisiones necesarias para asegurar la integridad de los operarios y reducir cualquier posible daño material sobre la instalación y los equipos que la conforman. Para este propósito, la propiedad debe tomar las medidas técnicas y organizativas adecuadas a la propia naturaleza del proceso productivo.

MEDIDAS TÉCNICAS

- **Medidas preventivas.** Conexionado a tierra de componentes metálicos, mantenimiento de los intervalos de lubricación de las maquinarias, inspecciones regulares de equipos con componentes internos móviles, etc.

- **Requisitos de selección de equipos.** Por ejemplo, requisitos para la temperatura máxima posible de la superficie de los equipos, requisitos para el grado de protección de los equipos eléctricos, el equipo debe cumplir con ATEX y debe cumplir con los requisitos para equipos con zonas internas y para equipos para atmósferas explosivas.

- **Suplementación con protección contra explosiones.** Ventilación o supresión de explosiones.

MEDIDAS ORGANIZATIVAS

- Documentación de protección contra explosiones.

- **Sistema de limpieza.** Se deben llevar a cabo inspecciones regulares, y el polvo debe eliminarse inmediatamente en las áreas de escape.

- Capacitación de empleados en el campo de la prevención de explosiones, que se aplica principalmente a un riesgo potencial de explosión y al mantenimiento de equipos eléctricos y de maquinaria.

- **Marcado de áreas.** Las áreas con riesgo de explosión de fluidos inflamables deben estar marcadas con un símbolo de área de atmósfera explosiva en la entrada.

Sobre la base de las zonas determinadas, las zonas 20 y las zonas 21 deben estar protegidas contra explosiones. El método de protección contra explosiones debe basarse en las siguientes condiciones:

- Dónde el equipo evaluado está en funcionamiento (su ubicación).

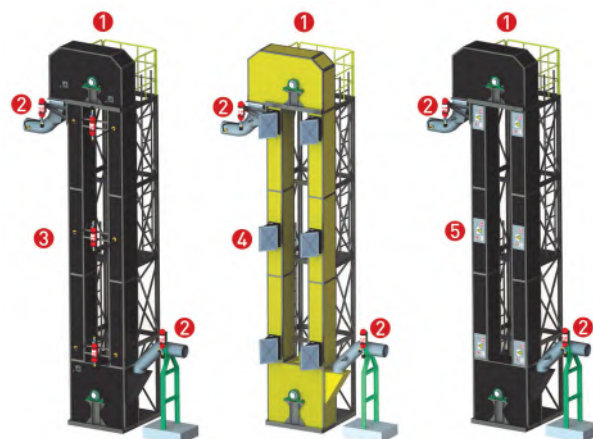
- Qué movimiento de personas se produce en dicha ubicación.

Después de tener en cuenta ambas condiciones, se debe proceder a la protección del equipo, ya sea mediante un sistema de alivio de la explosión (solución correctiva) o mediante un sistema de supresión de explosión (solución preventiva)

En el ejemplo de instalación planteada, y en el caso particular del elevador de cangilones, es posible utilizar un sistema de alivio de explosión directo a atmósfera, ya que se encuentra ubicado fuera del edificio. Para aquellos equipos ubicados en el interior del edificio, solo es posible la utilización de alivio de la explosión sin llama o soluciones de tipo supresión de explosión, siempre combinadas con un sistema que impidan la propagación de la explosión a otros dispositivos. Esto significa que, para un diseño correcto, primero se ha de solucionar satisfactoriamente la protección del propio equipo y, posteriormente, estudiar con detalle las diferentes conexiones que dicho equipo disponga con el resto, para conseguir una protección adecuada de toda la instalación.

A continuación (Figura 7) se muestra un ejemplo de un diseño detallado para la protección contra explosiones de un elevador de cangilones. Como se puede observar, en todos

FIGURA 7. Protección de un elevador de cangilones. Alternativas



los casos se incluye un sistema de aislamiento para evitar la propagación de explosión (punto 2). En cuanto a la propia protección del elevador, existen diferentes opciones en función de si su ubicación es interior o exterior al edificio. En el caso de una instalación interior, se puede optar por una protección preventiva, o una correctiva. En el primer caso, un sistema es HRD instalado en diferentes posiciones del elevador, detectará el inicio de la ignición y se producirá la supresión evitando dañar la estructura y que la explosión alcance el exterior del elevador (punto 3). Alternativamente, la solución correctiva pasaría por la instalación de un sistema de alivio de presión, siempre y cuando incorpore adicionalmente un dispositivo que evite que la llama alcance el exterior del elevador (punto 4).

Por otro lado, si el elevador se encuentra ubicado en el exterior, una solución alternativa a las ya expuestas anteriormente para la protección del elevador (son también válidas), sería la de un sistema puramente correctivo mediante un dispositivo de evacuación (punto 5).

Como sumario del ejemplo de protección para el elevador de cangilones, al sistema HRD para la protección contra propagación de la explosión (punto 2) que se debe incluir en todas las alternativas, las opciones son:

- Punto 3: Sistema HRD para extinguir la explosión en el interior del elevador.

- Punto 4: Sistema mediante panel de ruptura y apagallamas para aliviar la explosión evitando que la llama alcance el exterior.

- Punto 5: Sistema mediante panel de ruptura para aliviar la explosión sin evitar que la llama alcance el exterior dado que el elevador no se encuentra en el interior del edificio.

De manera similar al ejemplo anterior, la protección contra explosiones para el resto de dispositivos (silos, molinos de trituración, contenedores de molienda y unidades de filtrado) se diseñará con los mismos criterios.

FIGURA 8. Ejemplo de protección contra explosiones en un filtro de aspiración (aplicación interior)



En la Figura 8 se muestra el caso de una unidad de filtrado formada por un filtro (punto 1), un ventilador para la aspiración (punto 2) y una válvula rotativa (punto 3). En este caso, y basando el estudio de protección en lo expuesto anteriormente, el sistema incluiría los siguientes componentes:

- Punto 4: Detector de explosión.
- Punto 5: Unidad de control.
- Punto 6: Unidad de contenedor HRD para sistema de aislamiento de explosión.
- Punto 7: Dispositivo de ventilación sin llama FLEX con apagallamas para ventilación de explosión sin llama.

CONCLUSIÓN

En base a los valores medidos en condiciones reales de operación, y si se considera el caso más desfavorable, se puede constatar que, en el caso específico de un elevador de cangilones, siempre habrá la concentración de la proporción de polvo fino necesaria para generar una explosión, por lo que será necesaria la implementación de las medidas de protección contra explosiones.

Únicamente basándose en cálculos teóricos, y sin conocer los dispositivos ni los fenómenos que pueden estar presentes en el transporte de materiales a granel en la industria alimentaria, no se puede realizar un análisis de riesgo suficientemente confiable, por lo que las medidas posteriores podrán no ser del todo eficaces.

El documento presentado muestra que el material que inicialmente no parece ser explosivo puede acabar generando una explosión, por lo que es necesario realizar un análisis preciso para obtener una correcta evaluación. Solo gracias a un enfoque detallado del problema y un análisis real de la situación se puede evaluar objetivamente la existencia de una atmósfera explosiva y proponer las medidas adecuadas de protección contra explosiones. 