

# EXPLOSIONES DE POLVO EN PLANTAS CEREALES

RED  
PROTECTOR

HIGIENE, CONTROL  
y SEGURIDAD





DEPÓSITO LEGAL  
TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS  
HECHO EL DEPÓSITO QUE MARCA LA LEY 11.723

EL DERECHO DE PROPIEDAD DE ESTA OBRA COMPRENDE PARA SU AUTOR LA FACULTAD EXCLUSIVA DE DISPONER DE ELLA, PUBLICARLA, TRADUCIRLA, ADAPTARLA O AUTORIZAR SU TRADUCCIÓN Y REPRODUCIRLA EN CUALQUIER FORMA, TOTAL O PARCIAL, POR MEDIOS ELECTRÓNICOS O MECÁNICOS, INCLUYENDO FOTOCOPIA, COPIA XEROGRÁFICA, GRABACIÓN MAGNETOFÓNICA Y CUALQUIER SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN. POR CONSIGUIENTE, NINGUNA PERSONA FÍSICA O JURÍDICA ESTÁ FACULTADA PARA EJERCITAR LOS DERECHOS PRECITADOS SIN PERMISO ESCRITO DE RED PROTEGER.

LOS INFRACTORES SERÁN REPRIMIDOS CON LAS PENAS DE LOS ARTS. 172 Y CONCORDANTES DEL CÓDIGO PENAL (ARTS. 2º, 9º, 10, 71, 72 DE LA LEY 11.723).

## **INDICE**

### 1) EL PROCESO DE LA EXPLOSION

1.1) Definición de Explosión

1.2) Definición de "Explosión de Polvo"

1.3) Factores que Interviene en el Proceso de la "Explosión de Polvo"

### 2) DESARROLLO DE MEDIDAS PREVENTIVAS

2.1) Potencia de las Fuentes de Ignición

2.2) Resumen

### 3) DESARROLLO DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN

3.1) Alivio

3.2) Contención

3.3) Contención y alivio

3.4) Aislamiento

3.5) Ventilación

3.6) Sistemas Supresores de Explosiones

3.7) Resumen

ANEXO I: LA ONDA DE CHOQUE

ANEXO II: PECULIARIDADES DE LOS COMBUSTIBLES SÓLIDOS DISGREGADOS  
EN ESTADO PULVERULENTO

En el manejo de cereales granulados y materiales pulverulentos los dos problemas más importantes que se nos presentan son:

- **Combustión espontánea:** Como consecuencia de la potenciación del contacto combustible comburente, el fenómeno de oxidación se desarrolla con mayor intensidad y, puesto que el fenómeno es siempre exotérmico, la liberación del calor se incrementa. Si, además de una alta tasa de generación de calor por oxidación, el entorno inmediato reúne las suficientes condiciones de aislamiento térmico, se dan, entonces, los condicionantes necesarios para que se genere una combustión espontánea. Las causas de toda combustión espontánea son, principalmente, dos: Disponibilidad de aire (comburente) en íntimo contacto con el combustible, circunstancia que se alcanza cuando el producto está notablemente disgregado; y balance térmico del conjunto o relación entre calor generado y calor liberado.
- **Explosión de polvos:** La rápida combustión de una nube de polvo suspendido en una masa de gas (aire), generalmente con velocidad subsónica, es decir, una deflagración, da lugar a un importante volumen de gases, lo que genera un incremento de la presión, como consecuencia de su expansión brusca e incontrolada, cuyo resultado es una explosión.

Para poder entender más a fondo como prevenir y protegernos de una "explosión de polvo", primero debemos comprender que se entiende por explosión.

## **1) EL PROCESO DE LA EXPLOSION**

### **1.1) Definición de Explosión**

Se define una explosión como una **súbita** liberación de gas a **alta presión** en el ambiente. La palabra clave es súbita; la liberación debe ser lo suficientemente rápida de forma que la energía contenida en el gas se disipe mediante una onda de choque. El segundo término en importancia es alta presión, que significa que en el instante de la liberación la presión del gas es superior a la de la atmósfera circundante.

Nótese que la definición básica es independiente del origen o mecanismo por el que se genera el gas a alta presión.

Reuniendo los elementos comunes a los distintos fenómenos que se consideran explosiones, puede darse la definición siguiente:

- La sustancia liberada ha de encontrarse en fase gaseosa. Puede tratarse de un gas, un vapor, una mezcla de gases o una mezcla de vapores.
- La liberación ha de ser súbita, en el sentido de muy rápida, es decir, que ha de ser lo suficientemente rápida como para que la energía contenida en el gas se disipe en el ambiente mediante una onda de choque.
- La presión del gas en el momento de la liberación ha de ser alta, es decir, que su energía potencial ha de ser suficiente para iniciar y mantener una expansión destructiva.
- La liberación ha de producirse en el ambiente, es decir, fuera de un recipiente. Ambiente significa tanto el aire como un recinto. Recipiente significa un depósito, un conducto o un reactor de proceso.

## **1.2) Definición de "Explosión de Polvo"**

Se define una "explosión de polvo" a una combustión de una nube de polvo que se propaga a sí misma, y se desarrolla lo suficientemente rápida como para que los gases y el calor producto de esta combustión generen en un ambiente lo suficientemente confinado una elevación de la presión lo suficientemente alta y a una velocidad lo suficientemente rápida como para producir la rotura del confinamiento y generar los efectos de una explosión.

El término explosión abarca varios fenómenos distintos, en todos los casos se produce una expansión de gases que lleva asociada una onda de presión destructiva. El uso del término se ha extendido a determinados fenómenos químicos como las deflagraciones, que producen explosiones, aunque no constituyen una explosión en sí mismos.

Conviene clarificar qué sucesos se consideran explosiones y evitar toda confusión entre la explosión en sí; sus causas y sus efectos. Como podemos darnos cuenta hay fenómenos o sucesos que no entran dentro de la definición de explosión, pero que sus consecuencias son similares. No nacen como una explosión (como lo es un gas almacenado a presión), sino, que dada las circunstancias donde ocurren y como ocurren las transforma en una explosión. Entonces, tenemos que distinguir desde el punto de vista de la prevención aquellas "cosas" que son explosivas por su naturaleza, como ya dijimos un gas almacenado que es explosivo cualquiera sea el lugar y situación donde este se encuentre, de aquellas que se transforman en explosiones dada las circunstancias de su ubicación y configuración como por ejemplo, la harina: un paquete de harina colocada en la estantería del supermercado o en la alacena de una casa no es explosivo, pero si hiciéramos una nube de harina en la cocina y junto con esto encendiéramos un fósforo o hiciéramos una chispa, transformaríamos a ese suceso en una explosión, explosión que llamaremos "explosión de polvo".

## **1.3) Factores que Interviene en el Proceso de la "Explosión de Polvo"**

Para que se produzca una "explosión de polvo" deben concurrir simultáneamente las siguientes condiciones:

1. Polvo combustible en suspensión.
2. Concentración de polvo en suspensión por encima del límite inferior de inflamabilidad (LII).
3. El polvo debe tener una distribución de tamaños de partículas capaz de propagar la llama.
4. Aire (oxígeno) u agente oxidante.
5. Fuente de ignición de potencia adecuada.
6. Confinamiento de la nube de polvo.

En general, puede afirmarse que es más difícil que se inicie una "explosión de polvo" que una inflamación de gases o líquidos inflamables, pues las energías de ignición de los polvos son superiores (del orden de mJ) a las de los gases (del orden de los  $\mu$ J).

Es lógico suponer que todas estas condiciones no se van a cumplir simultáneamente en todos los puntos de una instalación en la que se maneje polvo. Sin embargo, esta situación, unida al hecho de que en todo lugar donde se maneja material pulverulento se producen

acumulaciones de éste a lo largo de toda la instalación, ha conducido a establecer el siguiente mecanismo: cuando se alcanzan localmente las condiciones mencionadas puede producirse la explosión de una primera y pequeña nube de polvo, explosión denominada primaria, de no excesiva importancia y que, en principio, debería afectar sólo a un pequeño recinto y no ser grave. Ahora bien, esta explosión primaria genera ondas de presión que aumentarán la turbulencia del ambiente y favorecerá el que una cierta cantidad de polvo depositado o en tránsito por el lugar pase a la atmósfera en forma de nube. Con ello se alcanzan de nuevo las condiciones para la explosión, y es la propia explosión primaria quien ceba o enciende (es decir, se transforma en la fuente de ignición) la nueva nube de polvo, generando así una nueva explosión llamada explosión secundaria. Los efectos de esta segunda explosión (que es más potente y destructiva que la primera) que al propagarse puede dar lugar a sucesivas explosiones en diferentes partes de la instalación, son las realmente catastróficas, debido a la considerable energía que de forma repentina es capaz de liberar.

La manifestación de que ha ocurrido una explosión es los daños o cambios producidos por los obstáculos a la onda expansiva de la explosión como elemento integrante, que ha producido efectos físicos en el continente o en las superficies cercanas.

Estos efectos pueden ser resultado del obstáculo encontrado por la onda expansiva o del impacto de una onda expansiva libre o su choque contra un objeto, persona o edificio.

## **2) DESARROLLO DE MEDIDAS PREVENTIVAS**

La prevención estudia la manera de evitar que sucedan los hechos. Empecemos a trabajar desde el principio y tratemos de desarrollar medidas preventivas teniendo en cuenta los factores que intervienen.

1. **Polvo combustible en el ambiente:** dado el tipo de proceso que se desarrolla la presencia de polvo es inevitable, es mas, el polvo es la materia prima o una parte importante de esta, por ende no se puede evitar o eliminar, pero si se puede trabajar para que no este en suspensión o ubicado en lugares que no debería.
2. **LII:** muy difícil de trabajar haciendo prevención con este elemento, dado que las variables que intervienen son muchas y complejas, como ser: heterogeneidad en la constitución y tamaño de las partículas de polvo, impurezas, humedad, etc. Además, no hay valores unificados o suficientemente confiables de LII como para adoptar uno y trabajar por debajo del límite.
3. **Aire:** siempre existe, el trabajar con ambientes inertes en este tipo de industrias es prácticamente imposible o extremadamente costoso, o a lo sumo es sólo aplicable en equipos o situaciones muy especiales.
4. **Fuente de ignición de potencia adecuada:** primero, casi todas las fuentes de ignición que existen en la industria tienen la potencia adecuada como para encender una nube de polvo; segundo, aunque trabajar sobre este elemento nos asegura la falta de un pilar muy importante en la cadena de sucesos y son unos de los pilares de la prevención, no hay un 100% de seguridad de que no pueda existir alguna que se nos haya escapado a los controles o al análisis, o que se pueda generar por condiciones operativas no adecuadas, como ser: elementos metálicos o generadores de chispa en el transporte, que a algún equipo se le haya desprendido algún "tornillo" o se soltó alguna parte metálica.

5. **Confinamiento:** prácticamente imposible de evitar en este tipo de instalaciones, aunque si, se puede trabajar evitando confinamientos excesivos no necesarios o no adecuados.

### 2.1) Potencia de las Fuentes de Ignición

Las nubes de polvo pueden entrar en combustión por la acción de llamas abiertas, luces, lumbres de un cigarrillo, arcos eléctricos, filamentos incandescentes de bombillas, chispas procedentes de fricción mecánica, conducciones de vapor de agua y otras superficies calientes, chispas originadas por cargas estáticas, calentamiento espontáneo, soplete de corte y soldadura o por las chispas procedentes de estas operaciones, así como otras fuentes comunes de calor.

La mayor parte de las temperaturas necesarias para la ignición de las nubes de polvo se sitúan entre los 300°C y los 600°C, y la gran mayoría de las chispas cuya energía de ignición es conocida está entre los 10 y 40 milijulios (de 20 a 50 veces más de energía de ignición que los vapores inflamables).

Como la temperatura y la energía de ignición necesarias para hacer explotar los polvos son mucho más bajas que las producidas por la mayor parte de las fuentes de ignición comunes, no es sorprendente que se hayan producido explosiones de polvos causadas por toda clase de fuentes de ignición.

### 2.2) Resumen

No hay "explosión de polvo" si no hay un ambiente lo suficientemente confinado, o no existe polvo en suspensión, por más que haya un ambiente confinado y fuentes de ignición.

El proceso primario de la prevención se basa entonces en evitar nubes de polvos y como segunda medida preventiva pero no menos importante, evitar la generación de todo tipo de fuentes de ignición; y para evitar en efecto de cadena o de mecha, mantener los más altos estándares de limpieza.

El tratamiento de las nubes de polvo tiene básicamente dos puntos fuertes a saber: NO GENERAR NUBES DE POLVOS, es decir, por ejemplo, mover los materiales pulverulentos en equipos adecuados y a velocidades adecuadas, como ser una harina se debería mover en equipos cerrados y no mediante una cinta de transporte abierta, evitar caídas libres excesivas, evitar corrientes de aire fuertes, etc.; segundo es instalar en los puntos del proceso donde se generan nubes de polvo equipos de extracción del polvo en suspensión.

## 3) DESARROLLO DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Se trata de las técnicas encaminadas a neutralizar los efectos de una deflagración que ya se ha producido. Pueden distinguirse las siguientes técnicas de neutralización:

### 3.1) Alivio

Desvío de la explosión mediante la rotura de aliviadores, de forma que se disipe en el entorno sin provocar años.

### 3.2) Contención

Confinamiento de la deflagración en el recipiente o conducto en que se produce. La contención requiere el concurso de dos factores:

- a) Que el recipiente sea resistente a la presión generada por la deflagración.
- b) Que la deflagración no pueda propagarse a otros conductos y recipientes. Esto se consigue, según el caso, mediante el empleo de una o varias de las técnicas siguientes:
  - El cierre rápido automático de los sistemas de transporte neumático o de los conductos de combustible.
  - El establecimiento de barreras contra explosiones de cierre rápido y automático. La mayoría de las válvulas de compuerta rotativa y de los transportadores helicoidales utilizados en las plantas industriales de tratamiento de sólidos pulverulentos constituyen barreras efectivas. En otro tipo de plantas puede ser necesario utilizar válvulas de aislamiento de alta velocidad de cierre.
  - El establecimiento de barreras de agentes supresor mediante una descarga rápida y automática.
  - La inertización anticipada de los conductos y recipientes contiguos.

### 3.3) Contención y alivio

Técnica que combina elementos o materiales resistentes a la presión (elementos constructivos en el caso de recintos y materiales en el caso de recipientes) y aliviadores de presión.

### 3.4) Aislamiento

Alejamiento del recipiente o recinto peligroso del resto de las instalaciones. Suele combinarse con la técnica de contención y alivio. Se utiliza como protección contra las detonaciones de depósitos auxiliares de sustancias explosivas, como la nitrocelulosa. No aplicable a la industria cerealera.

### 3.5) Ventilación

La ventilación es el medio de crear una zona abierta en la pared de un recinto donde se desarrolla un proceso, como respuesta a una subida de presión súbita y excesiva. Esa zona abierta limitará la subida de presión hasta valores aceptables para los equipos sin que se produzca daños, siempre que el hecho que haga subir la presión no supere las condiciones del caso más desfavorable que se utilizaron en el proyecto.

### 3.6) Sistemas Supresores de Explosiones

Un sistema supresor de explosiones es un dispositivo que detecta una deflagración dentro de un recipiente o de un recinto en los momentos iniciales de la oxidación y que descarga un agente extintor adecuado en la cantidad y con la velocidad necesarias para detener la reacción antes de que se alcancen presiones capaces de producir una explosión, entendiendo como tal:



- La rotura de un recipiente o de un contenedor debido a una sobrepresión interna, seguida de una onda de expansión destructiva en el interior.
- La propagación de una onda de presión destructiva en el interior de un conducto o de una galería.

Conviene destacar dos aspectos:

- Los sistemas supresores protegen contra explosiones cuyo origen es una deflagración. Es decir, contra explosiones de origen químico causadas por una reacción de oxidación cuyo frente de reacción avanza a velocidad subsónica.
- En las detonaciones, el frente de reacción avanza a velocidad sónica o supersónica y el incremento de presión es tan rápido que no hay tiempo material para su detección y mucho menos para su supresión.
- Estos sistemas suprimen deflagraciones en el interior de recipientes y recintos (contenedores, conductos, recintos de pequeñas dimensiones y galerías).
- No es necesario que el recipiente o recinto esté completamente cerrado, pero sí que ejerza un efecto de confinamiento sobre la nube explosiva y que sus dimensiones sean limitadas. Sólo así pueden tener lugar una detección y una supresión efectivas.
- Por otra parte, en las deflagraciones libres rara vez se alcanzan presiones peligrosas (una excepción a esto son las explosiones de nubes de vapor no confinadas hasta convertirse en detonación).

En principio, los sistemas supresores de explosiones pueden utilizarse para proteger tanto recintos (como una alternativa a la técnica de contención y alivio, que combina elementos constructivos resistentes y aliviadores de presión) como equipos de proceso (como una alternativa a la técnica de alivio). Sin embargo, rara vez se emplean para proteger recintos, a causa de las limitaciones que suponen la resistencia mecánica necesaria en los muros, el volumen del recinto y la seguridad del personal.

Los sistemas supresores de explosiones se utilizan generalmente para proteger equipos de proceso, recipientes, conductos y galerías.

La aplicación de los sistemas supresores se ve limitada por los siguientes factores:

**La velocidad del incremento de presión:** Las oxidaciones con una gran velocidad de reacción llevan asociada una gran velocidad de incremento de presión y son difíciles de controlar con un sistema supresor, porque antes de que el sistema haya podido completar la supresión puede alcanzarse una presión suficiente para romper el recipiente.

Los sistemas supresores realizan el ciclo completo detección-supresión en un tiempo comprendido entre 20 y 150 ms, según los casos. Durante este tiempo se produce cierto incremento de presión, debido a la deflagración incipiente y a la descarga del agente extintor del recipiente.

Esto elimina del campo de aplicación de los sistemas supresores todas las detonaciones y determinadas deflagraciones.

**La resistencia del recipiente:** Una consecuencia directa de lo expuesto en el párrafo anterior es que el recipiente debe tener una resistencia generalmente superior a 20 kPa, o de lo contrario el sistema supresor no podrá evitar su rotura.

**El volumen del recipiente:** Cuando mayor sea el recipiente, se requieren una mayor cantidad de agente extintor y una mayor velocidad de descarga. Esto significa que con el volumen aumentan las dificultades técnicas y el coste de la supresión. Se han realizado ensayos de supresión de explosiones de polvo en recipientes de hasta 250 m<sup>3</sup> con resultados satisfactorios, en general no se considera factible la supresión de explosiones en recipientes de volumen superior a 550 m<sup>3</sup>.

### **3.7) Resumen**

La más efectiva protección lo constituyen los sistemas supresores, dado que trabajan sobre los comienzos de la combustión, evitando de esta manera la generación de suficiente cantidad de gases combustibles como para producir una posterior explosión. Si tenemos en cuenta el efecto de cadena o de mecha que se produce en este tipo de explosiones, los anteriores sistemas de protección no garantizan el control de la misma, dado que por más que minimicen los efectos de una ya producida explosión, cualquier residuo de onda de choque, o un cimbronazo en las instalaciones podrá iniciar nuevamente el ciclo de explosiones; es decir, cualquier efecto posterior a la actuación de los sistemas de protección que produzca una nueva nube de polvo podrá iniciar nuevamente la tan temible "explosión de polvo".

Tengamos en cuenta lo siguiente, lo más terrible en una "explosión de polvo" no lo constituye solamente la primera explosión o explosión primaria, que podrá ser desde pequeña a muy grande, sino, el propio proceso de encadenamiento o de mecha que se genera a posterior, por lo cual la protección no sólo debe ir encaminada a controlar y minimizar los efectos de esta primera explosión, sino, a cortar el proceso de encadenamiento.

## **ANEXO I: LA ONDA DE CHOQUE**

### **LA ONDA DE PRESION**

La característica fundamental de una explosión es la onda de presión generada por la expansión del gas liberado.

La expansión del gas genera una onda de presión, que se define con tres parámetros:

- Amplitud (intensidad),
- Período (duración) y,
- Energía total.

La onda de presión tiene dos componentes:

- La presión de la onda de choque
- La presión de viento, es decir, la presión dinámica debida a la velocidad del aire desplazado por el gas y del propio gas en expansión.

La onda de choque se desplaza radialmente desde el origen de la expansión. En las proximidades del origen tiene una gran amplitud y un período muy corto (del orden de milisegundos o microsegundos). Con la distancia al origen la amplitud disminuye y aumenta el período, hasta que en la lejanía el impulso se transforma en una brisa suave.

La amplitud inicial de la onda de presión corresponde a la presión del gas en el momento de su liberación. Tomemos como ejemplo la explosión de un recipiente de gas por sobrepresión. La presión pico de la onda de choque, en el origen de la explosión, debe ser, en principio, equivalente a la presión de rotura del recipiente. Sin embargo, para que el recipiente se rompa, la presión de rotura ha de mantenerse durante cierto tiempo, y durante este tiempo, la presión interna puede mantenerse constante o continuar aumentando, según cuál sea la causa de la sobrepresión. Si la presión interna sigue aumentando a una velocidad mayor que la expansión de las paredes del recipiente, la presión del gas en el momento de la liberación es mucho mayor (entre dos y diez veces, según se ha registrado en casos reales) que la presión de rotura de recipiente.

La energía de la onda corresponde a la energía liberada y ésta depende del volumen de gas liberado, de su presión y temperaturas iniciales. Si durante la explosión se sigue generando gas a alta presión después de la liberación inicial, aumenta la energía total liberada. Este aumento de energía no provoca el aumento de la amplitud de la onda de presión, sino el alargamiento de su período

El aumento de la onda de presión sobre un objeto tiene los efectos siguientes:

1. La onda de choque ejerce una presión incidente que se eleva casi instantáneamente hasta un pico de máxima amplitud. Después, la presión decrece bruscamente y pasa por una fase negativa, cuya amplitud es muy inferior a la del pico de presión positiva.
2. El viento ejerce una presión que también se eleva casi instantáneamente hasta un pico de máxima amplitud y después decrece bruscamente. El pico de presión de viento depende del pico de presión de la onda de choque.

## Factores que Determinan la Onda de Presión

Los factores que determinan la onda de presión son los siguientes:

<b>Características del Gas Liberado</b>	Tipo de gas, masa de gas liberado y condiciones iniciales de presión y temperatura del gas liberado El tipo, la masa y las condiciones PT iniciales del gas liberado determinan la energía inicial del gas.
<b>Condiciones de PTA</b>	La energía inicial del gas y la relación entre sus condiciones PT iniciales y las condiciones PT ambientales determinan la energía liberada.
<b>Velocidad de Liberación</b>	La velocidad de liberación determina la velocidad de expansión del gas.
<b>Velocidad de Expansión</b>	La presión se propaga a la velocidad del sonido. Para que la energía del gas se disipe mediante una onda de choque, el frente de expansión ha de desplazarse a velocidad sónica o supersónica. En el aire, la velocidad del sonido es aproximadamente 340 m/s. Pero la velocidad de expansión depende de la velocidad de liberación del gas. Para que la velocidad de expansión sea sónica o supersónica y se forme la onda de choque es necesario que la liberación del gas sea muy rápida. Con la distancia al origen disminuyen la energía residual del gas y su velocidad de expansión. A una determinada distancia, la velocidad pasa de sónica o subsónica y desaparece la onda de choque, aunque persiste la presión de viento debido al desplazamiento del aire y del gas en expansión.
<b>Energía Liberada</b>	La energía inicial del gas depende de su masa y de sus condiciones de presión y temperatura iniciales. Expresado de otra manera, la energía inicial depende del volumen de gas liberado, de su presión y temperaturas iniciales. Por otra parte, la relación entre las condiciones PT iniciales del gas y las condiciones PT ambientales determina la energía liberada.
<b>Factores direccionales</b>	En casi todas las explosiones intervienen factores direccionales, que impiden que la onda de presión se propague uniformemente en todas las direcciones. Si la expansión se produce de una manera uniforme en todas las direcciones, la onda de presión se propaga en forma de esfera. Pero recordamos que la velocidad de la expansión ha de ser sónica o supersónica y sólo ciertos fenómenos pueden producir una expansión uniforme a esa velocidad. La mayor parte de las explosiones se producen por la descarga de un gas confinado a alta presión. Cuando la presión del gas supera la que puede soportar el recipiente, éste falla por su punto más débil y la onda de choque se propaga en la dirección del fallo. Por tanto, las explosiones por rotura de contenedores generan una onda de presión que no es uniforme en todas las direcciones.

## Otros Factores que Intervienen en el Potencial Destructivo

El potencial destructivo de una explosión en su entorno depende, esencialmente, de la energía liberada y de las características de la onda de presión. Además, hay otros dos factores que influyen en los efectos destructivos de una explosión:

- **La Temperatura del gas:** Si el gas está muy caliente a los efectos mecánicos de la onda de presión se añaden efectos térmicos, tales como el deterioro de superficies, la deformación de objetos, el fallo de elementos estructurales y la ignición de combustibles.
- **La proyección de elementos en forma de metralla:** el impacto de objetos despedidos por la explosión agrava los efectos mecánicos de la onda de presión, produciendo roturas, perforaciones y otros daños.

### Presión Incidente y Presión Reflejada

Se llama **presión incidente** ( $p_{so}$ ) a la ejercida por la onda de choque, cuando se hace impacto en un objeto, sobre las superficies perpendiculares a la dirección de la propagación de la onda.

Si la onda de choque hace impacto sobre una superficie que forma un ángulo con la dirección de la propagación, se produce una **presión reflejada** ( $p_r$ ), cuyo valor depende de la presión incidente y del ángulo de incidencia. En las ondas de choque de impacto ligero, la presión reflejada llega a ser dos veces superior a la presión incidente. En las ondas de choque de alto impacto, la presión reflejada puede llegar a ser ocho veces superior a la presión incidente, de acuerdo con la ecuación:

$$\frac{P_r}{p_{so}} = 2 \times \frac{7P_s + 4p_{so}}{7P_s + p_{so}}$$

donde:

- $p_r$ : presión reflejada (relativa)
- $p_{so}$ : presión incidente (relativa)
- $P_s$ : presión ambiental (absoluta)
- $P_{so}$ : presión incidente (absoluta)

La relación  $p_r/p_{so}$  se mantiene cercana a la determinada según la ecuación anterior hasta un ángulo de incidencia de 40°. A partir de este ángulo decrece, hasta que, al llegar a los 90°, se hace igual a 1.

### Daños Materiales

Los daños materiales son producidos tanto por el pico de presión de la onda de choque, como por el pico de presión de viento, pero en algunos objetos uno u otro tipo de presión tiene efecto dominante. Por ejemplo, los daños en los elementos constructivos son producidos principalmente por la onda de choque.

La resistencia de los elementos constructivos a los efectos de la presión es bastante baja. Los siguientes datos orientativos se refieren a la presión pico incidente. Si no hay presión reflejada, los valores de presión pico pueden duplicarse.

<b>Presión Pico (kPa)</b>	<b>Efecto</b>
0,7	Rotura de cristales de grandes dimensiones. Puede producir la rotura del 50% de los cristales a los que afecte.
3 a 7	Rotura de todo tipo de cristales y destrucción total de las ventanas.
7 a 14	Derrumbamiento de elementos compartimentadores ligeros, hechos de madera o de planchas de fibrocemento, aluminio o chapa de acero.
14 a 21	Derrumbamiento de elementos compartimentadores de hormigón hueco no armado, tales como tabiques de bloques de hormigón, de entre 200 y 300 mm de espesor.
21 a 30	Derrumbamiento de elementos estructurales metálicos ligeros.
30 a 48	Derrumbamiento de elementos estructurales de hormigón ligeros.
48 a 55	Rotura, por cizalladura o flexión, de tabiques de ladrillos, de 200 a 300 mm de espesor.
70	Destrucción total de la mayor parte de los elementos constructivos.

### **Daños en las Personas**

Los daños físicos directos en las personas pueden ser producidos por la presión incidente, por la suma de la presión incidente y la del viento o por la presión reflejada. Las personas pueden soportar sin daño sobrepresiones bastantes altas y de corta duración. Los datos que siguen son sobrepresiones de duración comprendida entre 3 y 5 milisegundos a partir del pico.

<b>Presión Pico (kPa)</b>	<b>Efecto</b>
15	Puede derribar a una persona.
34	Es el umbral de la rotura de tímpanos (el 50% de las personas la sufre a 100 kPa).
100	Puede producir daños pulmonares.
240	Es el umbral de las víctimas mortales.
345	Supone el 50% de las víctimas mortales.
450	Supone el 99% de las víctimas mortales.

### **EFFECTO DE LA ONDA EXPANSIVA DE LA EXPLOSIÓN**

La explosión de un material produce una gran cantidad de gases que se expanden a gran velocidad, alejándose del punto de origen. Los gases y el aire que desplazan producen una onda expansiva que es la principal responsable de los daños materiales y personales causados por las explosiones.

La onda expansiva de la explosión se produce en dos fases distintas, según la dirección de las fuerzas con respecto al punto de origen de la explosión: la fase de presión positiva y la de presión negativa.

## **Fase de Presión Positiva**

La fase de presión positiva es la parte de la onda expansiva de la explosión durante la cual los gases en expansión se alejan del punto de origen. Esta fase es más potente que la negativa y a ella se deben la mayoría de los destrozos causados por la presión.

## **Fase de Presión Negativa**

Como la expansión rapidísima de los gases en la fase de expansión positiva de la explosión los aleja de su punto de origen, el frente desplaza, comprime y calienta el aire que lo rodea. En el epicentro u origen se crea una zona de bajas presiones (con relación a la presión ambiente). Cuando se disipa la presión positiva, el aire vuelve rápidamente a la zona de origen donde había menos presión, creando la fase de presión negativa.

Esta fase puede causar daños secundarios y desplazar pruebas físicas hacia el punto de origen de la explosión. El movimiento de los escombros durante la fase de presión negativa, puede ocultar el punto de origen. Normalmente esta fase produce mucha menor presión que la positiva, pero puede ser suficiente para hacer que se hundan edificios ya debilitados por la fase de presión positiva.

## **Forma de la Onda Expansiva de la Explosión**

En condiciones teóricas ideales, la onda expansiva de una explosión sería esférica y se expandiría uniformemente en todas las direcciones a partir del epicentro. Pero en condiciones reales, los obstáculos o límites que encuentra la onda expansiva hacen que cambie y se modifique su dirección, forma y fuerza.

El contacto con la atmósfera de los gases contenidos en el recipiente o edificio puede hacer que se produzcan daños fuera de esas estructuras. Los daños máximos se producen normalmente en el camino que recorre el aire. Por ejemplo, la onda expansiva de una habitación puede salir por la puerta y afectar a elementos o materiales que estén en la habitación contigua, en línea recta con la puerta. El mismo efecto relativo se puede apreciar si se rompe la unión de un depósito o bidón, en línea recta desde la rotura hasta las paredes.

La onda expansiva se puede reflejar en objetos sólidos y cambiar de dirección, produciendo un importante aumento o un posible descenso de la presión, según las características del obstáculo.

Cuando las reacciones de propagación ya no encuentran combustible, la fuerza de la onda expansiva disminuye a medida que aumenta su distancia al epicentro de la explosión.

## **Velocidad de Aumento de Presión Frente a Presión Máxima**

El tipo de destrozos causados por la onda expansiva de una explosión depende no sólo de la cantidad total de energía generada, sino también, y con frecuencia en mayor medida, de la tasa de energía liberada y de la consiguiente velocidad de aumento de la presión,

Una velocidad de aumento de presión relativamente baja, producirá daños de tipo desplazamiento o abombamiento, es decir, los típicos daños leves. Primero se rompen las partes más débiles del edificio donde se ha producido la explosión, como las ventanas o uniones estructurales. Al salir la onda al exterior, se reducen los efectos totales de la explosión.

En explosiones en que la presión aumenta muy rápidamente, se producirán mayores destrozos en el recipiente o edificio y sus restos serán lanzados a mayor distancia, pues no hay tiempo suficiente para que se amortigüen los efectos de la onda expansiva. Estos Son los típicos daños graves causados por la explosión.

### **Efecto Metralla**

Cuando los contenedores, recipientes o edificios que sujetan o impiden la propagación de la onda expansiva se rompen, a menudo lo hacen en pedazos que pueden salir lanzados a gran distancia. Estos trozos se suelen llamar metralla y pueden causar graves daños materiales y personales, a veces hasta muy lejos del origen de la explosión. Además, la metralla puede afectar con frecuencia a los cables eléctricos, tuberías de gas o de otros combustibles inflamables o depósitos, aumentando la magnitud e intensidad de los incendios producidos tras la explosión o causando otras explosiones.

La distancia a la que se pueden encontrar dichos trozos de metralla del lugar de la explosión, depende en gran medida de su dirección inicial y de otros factores como su peso y características aerodinámicas.

### **Efecto Térmico**

Las explosiones por combustión liberan grandes cantidades de energía que elevan la temperatura ambiente y de los gases combustibles. Esta energía puede hacer que ardan los combustibles próximos o causar heridas de quemaduras al personal. Estos incendios secundarios aumentan los daños materiales y personales de la explosión y complican el proceso de investigación. A veces es difícil saber qué ocurrió primero, si el incendio o la explosión.

Todas las explosiones químicas producen gran cantidad de calor. Los daños térmicos dependen de la naturaleza del explosivo así como de la duración de la temperatura máxima. Las detonaciones producen temperaturas muy altas de muy poca duración, mientras que las deflagraciones producen temperaturas inferiores pero de mucha mayor duración. La duración e intensidad del calor afectan en gran medida a los daños personales y materiales producidos por una explosión.

### **Efecto Sísmico**

A medida que se va expandiendo la onda expansiva y caen al suelo algunos elementos de los edificios, su caída puede producir temblores que se transmiten a través del suelo. Estos efectos sísmicos, generalmente despreciables en las explosiones pequeñas, pueden producir nuevos daños en los edificios, galerías de servicios, tuberías, tanques, depósitos o cables subterráneos.

## **FACTORES DETERMINANTES DE LOS EFECTOS DE UNA EXPLOSIÓN**

Los factores que pueden determinar los efectos de una explosión son el tipo y forma del combustible; la naturaleza, tamaño, forma y volumen del recipiente u objeto afectado; la situación y magnitud de la fuente de ignición; la salida a la atmósfera de la onda expansiva; la presión mínima relativa y la velocidad de aumento de la presión. Todos estos factores y sus distintas combinaciones pueden producir una enorme variedad de efectos físicos de una explosión, que deberá estudiar el investigador.



A medida que la onda expansiva se aleja del centro de la explosión, se ve afectada por distintos factores.

### **Reflejo**

Si la onda expansiva encuentra algunos objetos en su camino, se puede ampliar debido a su reflejo. Ese reflejo hace en algunos casos que aumente aún más la presión, incluso hasta ocho veces, según el ángulo de incidencia. Sin embargo, este efecto es mínimo en las deflagraciones, donde la presión dentro del recipiente se va compensando aproximadamente a la velocidad del sonido en el aire (es decir, no se producen fuertes ondas expansivas).

### **Refracción y Concentración de la Onda Expansiva**

Las irregularidades atmosféricas pueden alterar a veces el comportamiento de la onda expansivo. Si encuentra una capa de aire de temperatura muy distinta, la onda se curva o refracta, porque la velocidad del sonido es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura del aire. Una inversión térmica de poca intensidad puede hacer que se refracte una onda expansiva inicialmente semi-esférica y que se concentre sobre el suelo alrededor del centro de la explosión. Los cambios repentinos en la dirección del viento pueden hacer que la onda expansiva se concentre en esa dirección. Este efecto es mínimo con las deflagraciones.

## **ANEXO II: PECULIARIDADES DE LOS COMBUSTIBLES SÓLIDOS DISGREGADOS EN ESTADO PULVERULENTO**

### **Condicionantes de las Explosiones de Polvo**

La rápida combustión de una nube de polvo suspendido en una masa de gas (generalmente con velocidad subsónica, es decir, una deflagración), da lugar a un importante volumen de gases, lo que genera un incremento de la presión, como consecuencia de su expansión brusca e incontrolada, cuyo resultado es una explosión.

La posibilidad de explosión de una nube de polvo depende, en primer lugar, de:

- La naturaleza del polvo (el combustible).
- El gas en el que se encuentra suspendida la nube de polvo (el comburente u oxidante).

Sin embargo, las características de su desarrollo dependen de otros factores que las condicionan definitivamente. Estos condicionantes son:

- Las dimensiones de las partículas
- La concentración
- Las impurezas
- La concentración de oxígeno
- La potencia de la fuente de ignición

### **Características explosivas de diversos polvos**

	Presión máx. de aumento de la explosión [lib/pulg]	Velocidad máx. de aumento de la explosión [lib/pulg]	Temperatura de ignición [°C]		Energía mín. de ignición de la nube [julios]	Concent. mín. para la explosión por pie cúbico	% límite de oxígeno [ignición por chispa]
			Nube	Capa			
Celulosa alfa	117	8.000	410	300	0,040	0,045	--
Fécula comestible de trigo	100	6.500	430	--	0,025	0,045	C13
Fécula de maíz	106	7.500	400	--	0,040	0,045	--
Harina de madera	113	5.500	470	260	0,040	0,035	--
Licopodio	75	3.100	480	310	0,040	0,025	C13

1 psi (lib/pulg<sup>2</sup>) = 6,895 kPa

°F = 9/5 (°C + 32)

0,01 oz/pie<sup>3</sup> = 100 g/m<sup>3</sup>

C13 significa dilución hasta un contenido de oxígeno del 13% con anhídrido carbónico como gas diluyente.

**Características de la deflagración de polvos**

	Media del tamaño de partículas [μ]	Concent. min. explosivo [g/m <sup>2</sup> ]	Presión máx. creada por la explosión [bar]	Velocidad máx. de aumento de presión (dP/dt) <sub>máx</sub> [bar/s]
Celulosa	33	60	9,7	229
Pulpa de celulosa	42	30	9,9	62
Corcho	42	30	9,6	202
Maíz	28	60	9,4	75
Harina de soja	20	200	9,2	110
Almidón de maíz	7	---	10,3	102
Almidón de arroz	18	60	9,2	101
Almidón de trigo	22	30	9,9	115
Cebada	41	125	9,8	140

En estudios llevados a cabo por la Oficina de Minas de EEUU, las presiones máximas del polvo de maíz han sido superiores a 690 kPa. Las estructuras de hormigón que forman los silos pueden soportar normalmente sólo hasta 172 kPa.

**Localización más probable de la explosión primaria (1958-1978)**

LOCALIZACIÓN	Nro. de Instalaciones	Porcentaje de Instalaciones
Desconocida	107	42,8
Elevador de cangilones	58	23,2
Molino de mazas, de rodillo o de otro tipo	17	6,8
Depósito o contenedores	13	5,2
Cuarto de control	9	3,6
Molino de pienso	8	3,2
Cimientos	4	1,6
Equipo de proceso	3	1,2
Colector de polvo	3	1,2
Túnel	2	0,8
Cabezas de distribución	2	0,8
Ascensor o montacargas	2	0,8
Secador	2	0,8
Externa o adyacente a la instalación	2	0,8
Colector de palets	2	0,8
Cinta transportadora	2	0,8
Tolva de recepción	2	0,8
Otro equipo de manipulación	2	0,8
Planta de procesado	1	0,4
Bajante	1	0,4
Cuarto de ensayo	1	0,4
Cuarto de alimentación	1	0,4
Muestreador	1	0,4

Almacén	1	0,4
Caldera o molino de pienso	1	0,4
Interruptor eléctrico	1	0,4
Transportador de tornillo	1	0,4
Cuadro eléctrico	1	0,4
<b>Tamaño de la muestra</b>	<b>250</b>	<b>100</b>

### Dimensiones de las Partículas de Polvo

Cuanto menor es el tamaño de las partículas de polvo, más fácil es que la nube de polvo entre en ignición, puesto que es más íntima la interacción del combustible con el comburente. Es decir, la capacidad para explotar está directamente relacionada con la superficie del polvo (relación entre la superficie de las partículas y su masa).

La dimensión de las partículas influye, también, sobre la velocidad de incremento de la presión, aumentando con su finura.

Al mismo tiempo, al disminuir el tamaño de las partículas, disminuye la concentración mínima necesaria, la temperatura de ignición y la energía requerida para que ésta comience.

Finalmente, la disminución del tamaño de las partículas aumenta la capacidad eléctrica de la nube de polvo, es decir, la carga eléctrica que puede acumular la nube, aumentando, por tanto, el riesgo de que se produzcan cargas electrostáticas.

Así pues, el tamaño de las partículas del polvo influye en la expresividad de la nube de polvo, de modo que la disminución de su tamaño incrementa muy notablemente los factores de riesgo.

Los investigadores suelen estar de acuerdo en que el riesgo mayor lo producen las partículas de menos de 100 micras. Como indica la tabla siguiente una parte del polvo que hay en un silo es de un tamaño menor de 100 micras. Las partículas más grandes no sólo tienden a depositarse rápidamente, sino que tienen una menor relación superficie-peso. Aproximadamente una concentración de 20 g/mm<sup>3</sup> (casi la mínima que se necesita para una explosión) sería casi imposible de ver desde un metro.

Aunque parece improbable que se produjeran nubes tan densas dentro de un silo en las zonas donde hay personas, se han medido tales concentraciones dentro de la cubierta de los elevadores de cangilones y también puede haberlas en el interior de las cintas transportadoras, de los contenedores, silo, sistemas de recogida de polvo y tubo de llenado.

Granulometría del polvo (μ)	Foso para recolectar el cereal (%)	Carga de la cinta transportadora (%)	Elevador ppal. (%)	Malla
+ 150	94,8	--	56	+ 100
150-100	3,7	--	11,3	100
100-74	1,1	--	7	159
64-38	0,4	--	6	200
38-21	--	31	6	450
21-16	--	28	5	630
16-8	--	22	4	937
8-6	--	10	3	1875
6-4	--	3	2	2300
4-2	--	2	--	4500
2-1	--	3	--	6250

- 1	--	1	--	12500
-----	----	---	----	-------

**Velocidades de sedimentación de las partículas de distintos tamaños**

Tamaño (µm)	Velocidad de caída			
	pulg/min	m/min	pulg/hora	mm/hora
100	320,0	8,13	--	--
50	160,0	4,06	--	--
10	7,0	0,18	--	--
5	1,8	0,05	--	--
1	--	--	5,0	127,0
0,5	--	--	1,4	35,6
0,1	--	--	0,05	1,3
menores	--	--	≈ 0	≈ 0
---	Movimiento Browniano			

**Concentración**

Como sucede con los gases y vapores inflamables, existen concentraciones límites (límites de inflamabilidad) del polvo en el gas, dentro de las cuales la explosión es posible.

Los límites suelen expresarse en masa del polvo por unidad de volumen de aire o gas y son: el límite inferior de inflamabilidad (LII) y el límite superior de inflamabilidad (LSI).

El primero (LII) ha sido determinado, en ciertas condiciones de ensayo, para muchos polvos, aunque el valor medio puede desviarse del que se presenta en situaciones reales por la influencia que en la explosividad tienen otros parámetros, como ya se ha indicado (tamaño del polvo, pureza, concentración de oxígeno, potencia de la fuente de ignición, etc.).

El segundo (LSI) no se ha determinado, debido, sobre todo, a dificultades experimentales; se plantea, además, la cuestión de si el LSI está claramente definido y aún si es de verdadera utilidad.

Polvos	LII (g/m <sup>3</sup> )
Carozo de maíz	45
Almidón de maíz	40
Alfalfa	100
Cebada de malta	55
Cáscara de cacahuete	45
Arroz	50
Harina de soja	60
Azúcar	45
Harina de trigo	50
Almidón de trigo	45
Harina de algodón	55

**Impurezas**

Entre las impurezas, cuya presencia influye de modo notable en la explosividad de la nube de polvo, están las siguientes:

**Agua :** La humedad contenida en las partículas de polvo hace aumentar la temperatura necesaria para la ignición como consecuencia del calor absorbido por la evaporación del agua presente. Sin embargo, la humedad del aire que forma la nube de polvo no tiene efecto significativo en la deflagración, una vez alcanzada la temperatura de ignición. Desde un punto de vista práctico, sin embargo, la humedad contenida en el polvo no puede considerarse como un medio preventivo efectivo contra las explosiones, porque la mayor parte de las fuentes de ignición proporcionan calor más que suficiente para evaporar el agua presente y llevar el polvo al estado de ignición. Por otra parte, para que la humedad impidiera la ignición del polvo a partir de fuentes comunes de ignición, éste tendría que estar tan empapado que no podría formarse una nube.

**Polvos Inertes:** La presencia de un sólido inerte en estado pulverulento reduce la combustibilidad de los polvos explosivos porque absorbe calor, pero la cantidad que sería necesaria para impedir la explosión se considera generalmente mayor que las concentraciones que puedan encontrarse normalmente o puedan tolerarse como materia extraña. La adición de polvos inertes reduce la velocidad de aumento de la presión y aumenta el valor del LII. Esta circunstancia hace que, en algunos casos, se utilice como medida preventiva la pulverización con polvos inertes, para evitar explosiones. Así, en minas de carbón se emplea la pulverización de roca en las entradas de la mina (en proporción no inferior al 65% del total de polvo previsto) para evitar la explosión del polvo combustible del carbón.

**Gases Inertes:** La presencia de gases inertes en la nube explosiva de polvo afecta de modo directo a la concentración de oxígeno y, por ello, a la facilidad de ignición del polvo. Por esto, los gases inertes se emplean como medio preventivo de las explosiones para que actúen como diluyentes del oxígeno hasta alcanzar concentraciones de éste demasiado bajas como para que se mantenga la combustión.

**Gases Inflamables:** La presencia de gases inflamables en la nube de polvo, aún en muy pequeña cantidad, facilita la ignición del aerosol y refuerza la violencia de la explosión, sobre todo con bajas concentraciones de polvo. Han llegado a producirse así explosiones muy violentas, con más frecuencia de lo que cabría esperar, considerando la fracción de la mezcla representada por el vapor inflamable. Incluso, se han producido explosiones en mezclas aire-polvo combustible-vapor inflamable, en las que la porción de la mezcla aire-vapor estaba por debajo de su límite de inflamabilidad. Estas circunstancias pueden darse cuando se produce el secado de un polvo combustible que contiene un líquido cuya evaporación da lugar a la aparición de vapor inflamable. En tales casos es preciso tomar medidas de prevención especiales.

**Concentración de Oxígeno:** La concentración de oxígeno afecta a la facilidad de ignición de las nubes de polvo y también, muy notablemente, a las presiones de su explosión. Al disminuir la presión parcial de oxígeno, aumenta la energía necesaria para que se produzca la ignición, la temperatura de ignición también aumenta y las presiones máximas de explosión disminuyen.

### **Potencia de la Fuente de Ignición**

Las nubes de polvo pueden entrar en combustión por la acción de llamas abiertas, luces, colillas de un cigarrillo, arcos eléctricos, filamentos incandescentes de bombillas, chispas procedentes de fricción mecánica, conducciones de vapor de agua y otras superficies calientes,

chispas originadas por cargas estáticas, calentamiento espontáneo, soplete de corte y soldadura o por las chispas procedentes de estas operaciones, así como otras fuentes comunes de calor.

La mayor parte de las temperaturas necesarias para la ignición de las nubes de polvo se sitúan entre los 300°C y los 600°C, y la gran mayoría de las chispas cuya energía de ignición es conocida está entre los 10 y 40 milijulios (de 20 a 50 veces más de energía de ignición que los vapores inflamables).

Como la temperatura y la energía de ignición necesarias para hacer explotar los polvos son mucho más bajas que las producidas por la mayor parte de las fuentes de ignición comunes, no es sorprendente que se hayan producido explosiones de polvos causadas por toda clase de fuentes de ignición. La eliminación de cualquier fuente de ignición posible es, pues, un principio básico de la prevención de explosiones de polvos.

En cuanto a la mayoría de las explosiones en los silos de cereales se han producido en los elevadores de cangilones, podría deducirse que esta es la pieza del equipo que presenta el mayor riesgo de ignición para el personal de los silos. El movimiento de los elevadores produce energía de muy diversas maneras. La sobrecarga o el patinamiento de las correas genera mayor calor por rozamiento en las poleas. Se sabe que esto ha hecho quemarse las correas hasta romperse, cayendo trozos en llamas dentro de la carcasa. Los mismos resultados se pueden producir por fallos en los empalmes de las correas.

La mala alineación de la correa puede hacer que la carcasa del elevador se caliente hasta hacer que ardan los materiales combustibles como los polvos y lubricantes.

Probablemente una correa mal alineada no se calienta lo suficiente para arder mientras se mueve, pues se va enfriando, pero puede empezar a hacerlo cuando se para el equipo y la correa se para cerca de la carcasa caliente.

Otra posible fuente de ignición en los elevadores de cangilones es el recalentamiento de los rodamientos. Algunos elevadores antiguos tienen correas con rodamientos situadas en sus extremos, dentro de la carcasa. Si los rodamientos se recalientan, pueden proporcionar calor suficiente para la ignición del polvo depositado o en suspensión. Incluso los rodamientos situados fuera de la carcasa pueden hacer que arda el polvo depositado, que a su vez puede pasar al interior de la carcasa a través del mecanismo de aspiración de polvo o por la fricción de bombeo que produce el propio elevador.

Las materias extrañas como los trozos de metal, herramientas, maderas, piedras o trozos de hormigón pueden dar problemas en los elevadores de cangilones. Puede producir chispas con suficiente energía para hacer que arda el polvo, pero desde luego pueden obstruir los tubos de descarga, estropear las correas o deformar los cangilones. Cuando esto sucede, aumenta el riesgo de que patinen las correas o de que se produzca un mayor rozamiento.

Las correas de material no conductor pueden crear una gran electricidad estática en los cangilones. La investigación demuestra que esta electricidad estática no tiene suficiente energía para iniciar una explosión de polvo, pero es conveniente eliminarla mediante correas conductoras y la conexión a tierra de los equipos.

La energía de los sistemas eléctricos de los silos es muy alta, pero se puede evitar que sea una fuente de ignición siguiendo estrictamente lo establecido en la norma NFPA 70 (Código Eléctrico Nacional) en atmósferas de Clase II, Grupo G. Esto se aplica también igualmente a los

aparatos eléctricos portátiles, de iluminación, a los circuitos de control de baja tensión, a los alargues y a los equipos de comunicación.

**Probables fuente de ignición (1958-1978)**

<b>Fuente</b>	<b>Nro. de Instalaciones</b>	<b>Porcentaje de instalaciones</b>
Desconocida	103	41,2
Soldadura	43	17,2
Avería eléctrica	10	4
Trozos de metal desprendidos	10	4
Fuego distinto de soldadura o corte	10	4
Objetos extraños sin identificar	9	3,6
Rozamiento en un transportador	8	3,2
Recalentamiento de rodamientos	7	2,8
Otras chispas	7	2,8
Chisas por rozamiento	7	2,8
Rayos	6	2,4
Alargaderas en los transportadores	4	1,6
Motores averiados	4	1,6
Electricidad estática	3	1,2
Fuego por rozamiento de una correa que patina en el transportador	3	1,2
Vapor inflamable	3	1,2
Rescaldos de granos	2	0,8
Material de fumador	2	0,8
Electrodos	1	0,4
Productos químicos volátiles de procesos de soja	1	0,4
Fuego en un montón de mazorcas externo	1	0,4
Sistema de calentamiento	1	0,4
Gas en contenedor	1	0,4
Extinción de fuego	1	0,4
Fuga en una tubería de gas	1	0,4
Explosión en el cuadro eléctrico	1	0,4
Correa que patina en una cinta transportadora	1	0,4
<b>Total muestra</b>	<b>250</b>	<b>100</b>



**Trabajamos para que no  
haya nada que perder**

**Mejor que  
asegurar es  
evitar,  
y evitar es  
proteger**

Prevenición de incendios, asesoramiento  
integral de seguridad e higiene

[info@redproteger.com.ar](mailto:info@redproteger.com.ar)

[www.redproteger.com.ar](http://www.redproteger.com.ar)

Tel. (0341) 156-420607 / (0341) 421-3815