



Prevención y Protección de Explosiones en instalaciones industriales



PELIGROS DE UNA EXPLOSIÓN

- LA LLAMARADA O RADIACIÓN TÉRMICA**
- LA ONDA DE PRESIÓN**
- OBJETOS PROYECTADOS (METRALLA)**
- COLAPSO DEL EDIFICIO E INCENDIO**



Efectos de LA PRESIÓN

- Algunos efectos de la presión:
 - 1 mbar ruido de 137 dB
 - 2 mbar rotura cristales “grandes”
 - 3 mbar ruido de 143 dB rotura de la barrera del sonido
 - 10 mbar rotura cristales ventanas
 - 20 mbar proyecta objetos
 - 70 mbar rotura estructural edificio (grietas)
 - 140 mbar rotura muros de 200 mm de cemento
 - 150 mbar derriba y lanza a personas
 - 160 mbar perdida de audición temporal
 - 340 mbar rotura de tímpanos
 - 600 mbar explosión pulmones
 - 700 mbar destrucción total

Pstat
100
mbar



Pstat
200
mbar





Conceptos

- Deflagración

- Propagación subsónica de la combustión (<340 m/s)
- El frente de presión va por delante del de llamas



- Detonación

- Propagación supersónica de la combustión (>340 m/s)
- El frente de presión y de llamas van juntos





Tipos de combustiones

- Deflagración atmosférica
- Deflagración confinada
- Detonación inestables (transición)
- Detonación estables



Deflagración atmosférica:



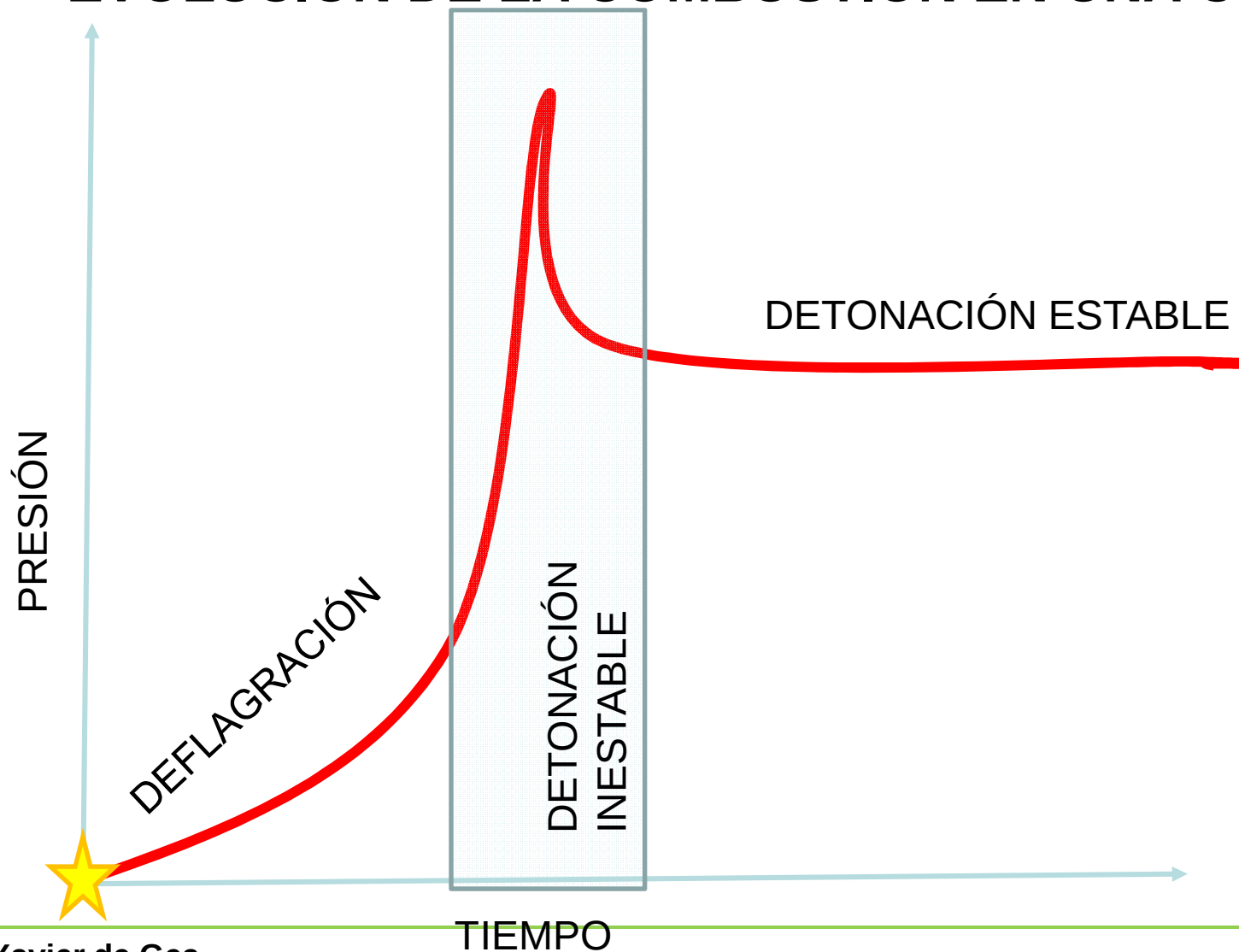
Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





EVOLUCIÓN DE LA COMBUSTIÓN EN UNA CONDUCCIÓN



Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





Explosiones

- **La 1ª reportada el 14 de Diciembre de 1785:**
 - 1 trabajador muere en una harinera, durante la descarga de harina,
 - La causa una combinación de circunstancias:
 - La harina llega más seca de lo normal y genera gran cantidad de polvo.
 - La iluminación se realiza con velas.
- **Se siguen sucediendo explosiones cada día,....**
- **Quizás se pueden reducir en nº y en importancia**



- **A las 10:45 del 20 de Agosto de 1997:**
 - **Terminal portuaria de Blaye (Francia):**
 - **11 muertos**

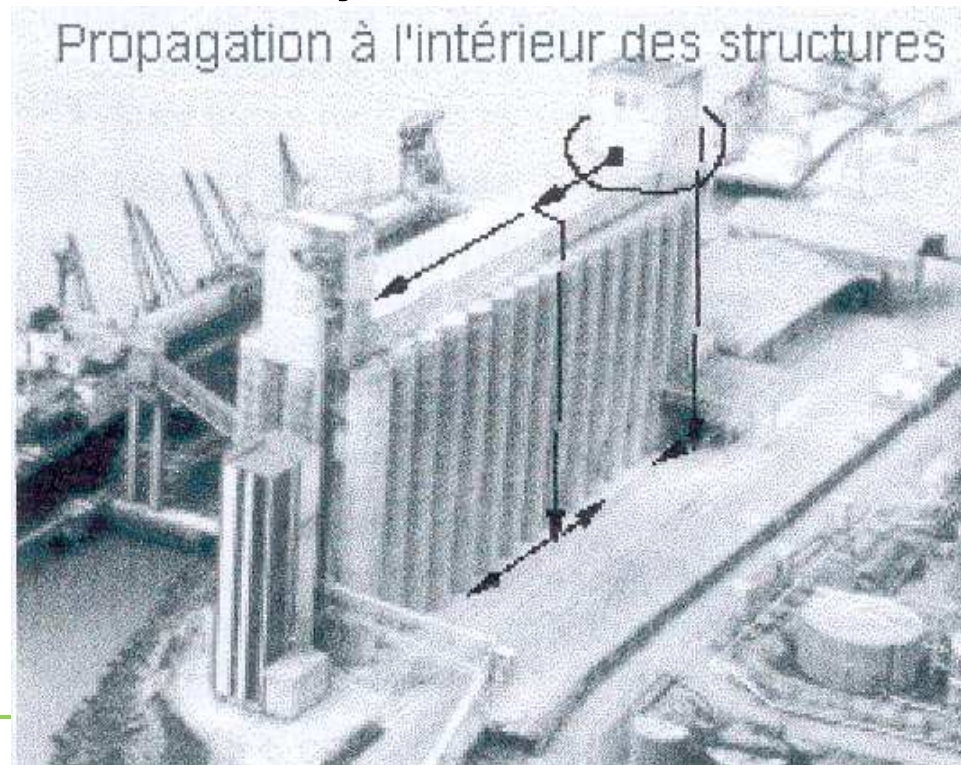


**LABORATORIO OFICIAL
J.M. MADARIAGA**



- Causa: instalación **muy sucia**:
- Se inicia un incendio en un filtro de mangas de una torre el cual explota y propaga la explosión de polvo al resto de la instalación

Las 11 personas que mueren son trabajadores de las oficinas, las cuales están instalada debajo de los silos





Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





IMPERIAL SUGAR 27de Septiembre de 2006



Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.



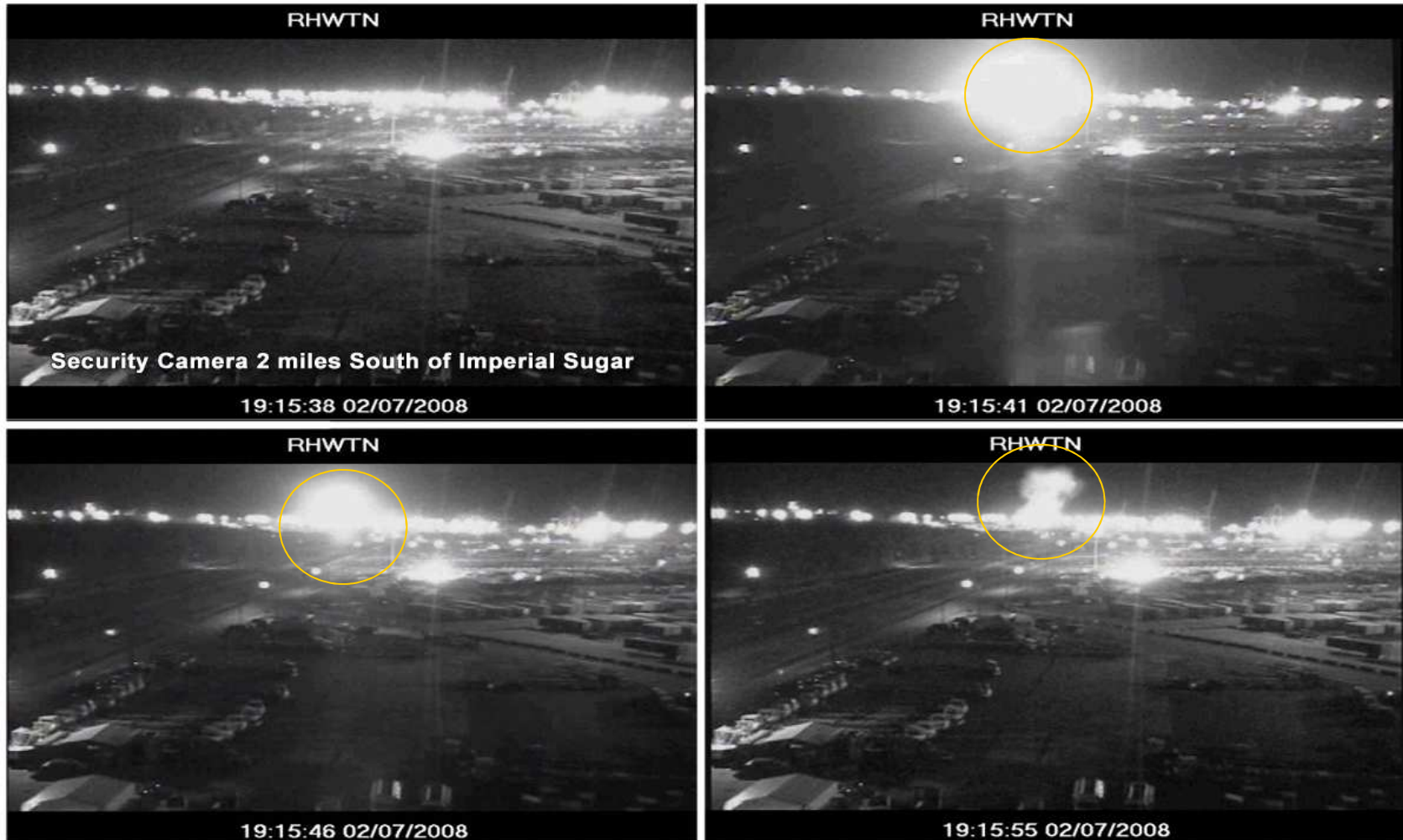


IMPERIAL SUGAR 27de Septiembre de 2006





IMPERIAL SUGAR 8 de Febrero de 2008



13 muertos y 7 heridos críticos

Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





IMPERIAL SUGAR 7 de Febrero de 2008



13 muertos y 7 heridos críticos

Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





IMPERIAL SUGAR 7 de Febrero de 2008



13 muertos y 7 heridos críticos

Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





NUESTRA EXPERIENCIA

Llevamos **55** explosiones protegidas correctamente:

- 17-1-2011 atomizador plasma sanguíneo
- 8-1-2011 Silo madera **al día siguiente explota otro silo sin protección.**
- 17-marzo-2010 y 5 noviembre 2009 Motor generación eléctrico
- 17-09-09 y 5-10-09 Tolva de molino de azufre venteo sin llamas.
- 2-09-09 filtro de polvo de corcho
- 17-06-09 atomizador café
- 16-6-09 tolva de azufre venteo sin llamas
- 19-01-09 atomizador café
- 18-12-08 transporte y silo biomasa.
- 19-10-08 Filtro de café
- 1- 6- 08: filtro de cortadora láser por rotura de manguito hidráulico.
- 7- 02-08:
 - En Fuenlabrada Madrid: (Fundición reciclado aluminio)
 - Hace dos años tuvieron explosión sin protección:
 - Ningún herido, 15 días de parada total,
 - Reparación de los ciclones 70.000 Euros
 - Reparación jaulas filtro 2.500 Euros
 - Con protección: VENTEO DE EXPLOSIONES
 - Parada 3 horas
 - Coste 4.200 Euros

Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





¿Qué es una ATEX?



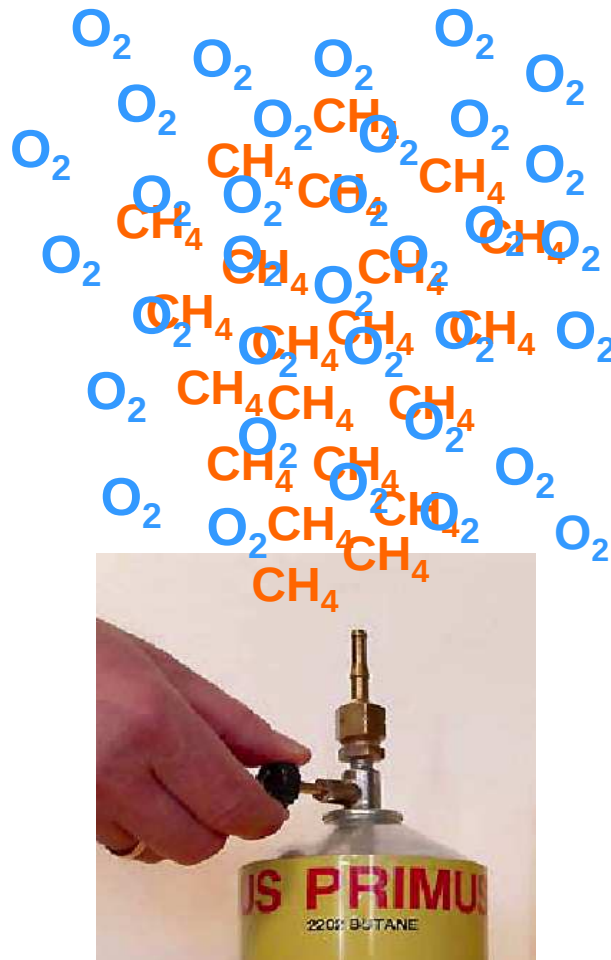
Identificación de una ATEX

- **Definición:**
 - Mezcla de **AIRE** con **GAS, VAPOR, NIEBLA O POLVO combustibles**, que de inflamarse lo hace en todo su conjunto a la vez.

GAS

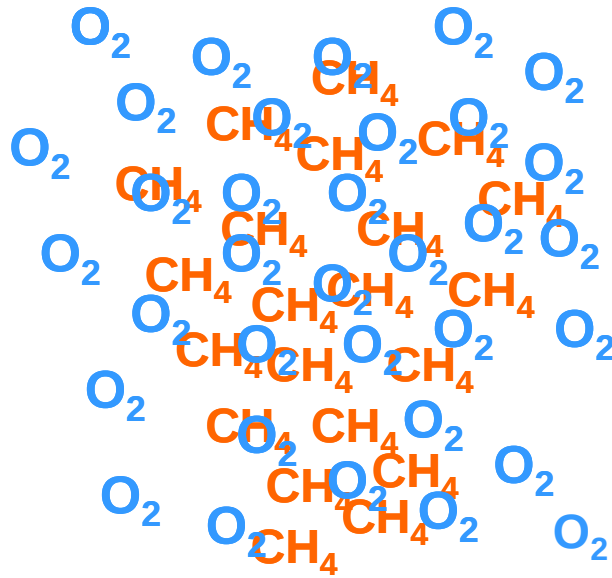
ATEX

POLVO

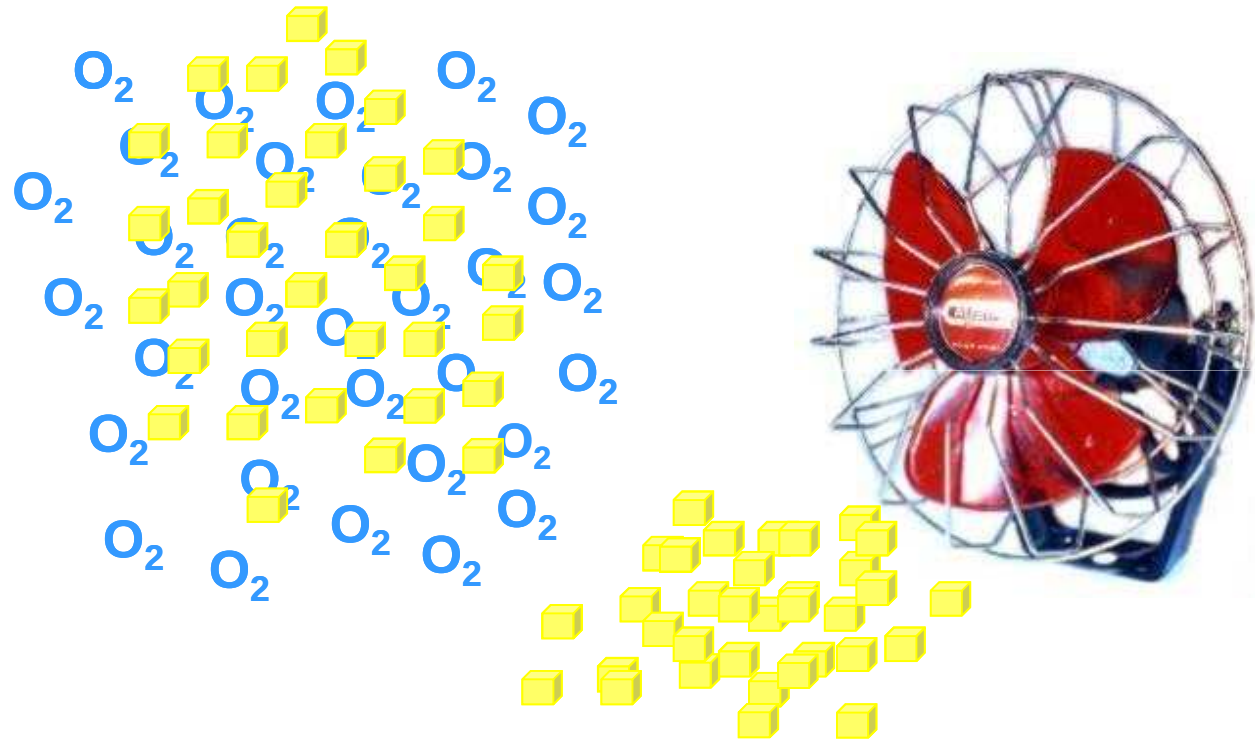




Eliminar ATEX de GAS



Eliminar ATEX de polvo





Eliminar ATEX de polvo





ELIMINACIÓN ATEX

- **GAS:**
 - Ventilación.
 - Inertización (gas inerte o saturación).
- **POLVO:**
 - Aspiración.
 - Sedimentación (con agua).
 - Inertización(gas inerte ó sólido inerte).



Evaluación del riesgo



Sensibilidad a la inflamación de Gases y Vapores

- **LIE** Límite inferior de explosividad
» % volumen.
- **LSE** Límite superior de explosividad
» % volumen.
- **EMI** Energía mínima de Inflamación
» $\mu\text{J } 10^{-6}$ Joules
- **Flash Point (Temperatura de destello)**

Temperatura mínima de un líquido forma gases inflamables

- °C “líquido inflamable” < 55 °C (algún texto 100 °F = 37,2 °C)

- **Temperatura de Ignición**
 - Temperatura ala que inflama un gas
 - T1, T2, T3, T4, T5 y T6



Sensibilidad a la inflamación de Sólidos

- **CME** concentración mínima explosiva
» g/m³
- **CLO** concentración límite de Oxígeno
» % volumen
- **EMI** Energía mínima de Inflamación
» mJ 10⁻³ Joules
- **TMI** Temperatura mínima de inflamación en °C
 - En nube **TMI n** (nube de polvo en contacto con una superficie caliente).
 - En capa **TMI c** ignición de una capa de 5 mm.
 - (límite de T el menor de: $\frac{2}{3}$ de TMI n o TMI c -75°C)

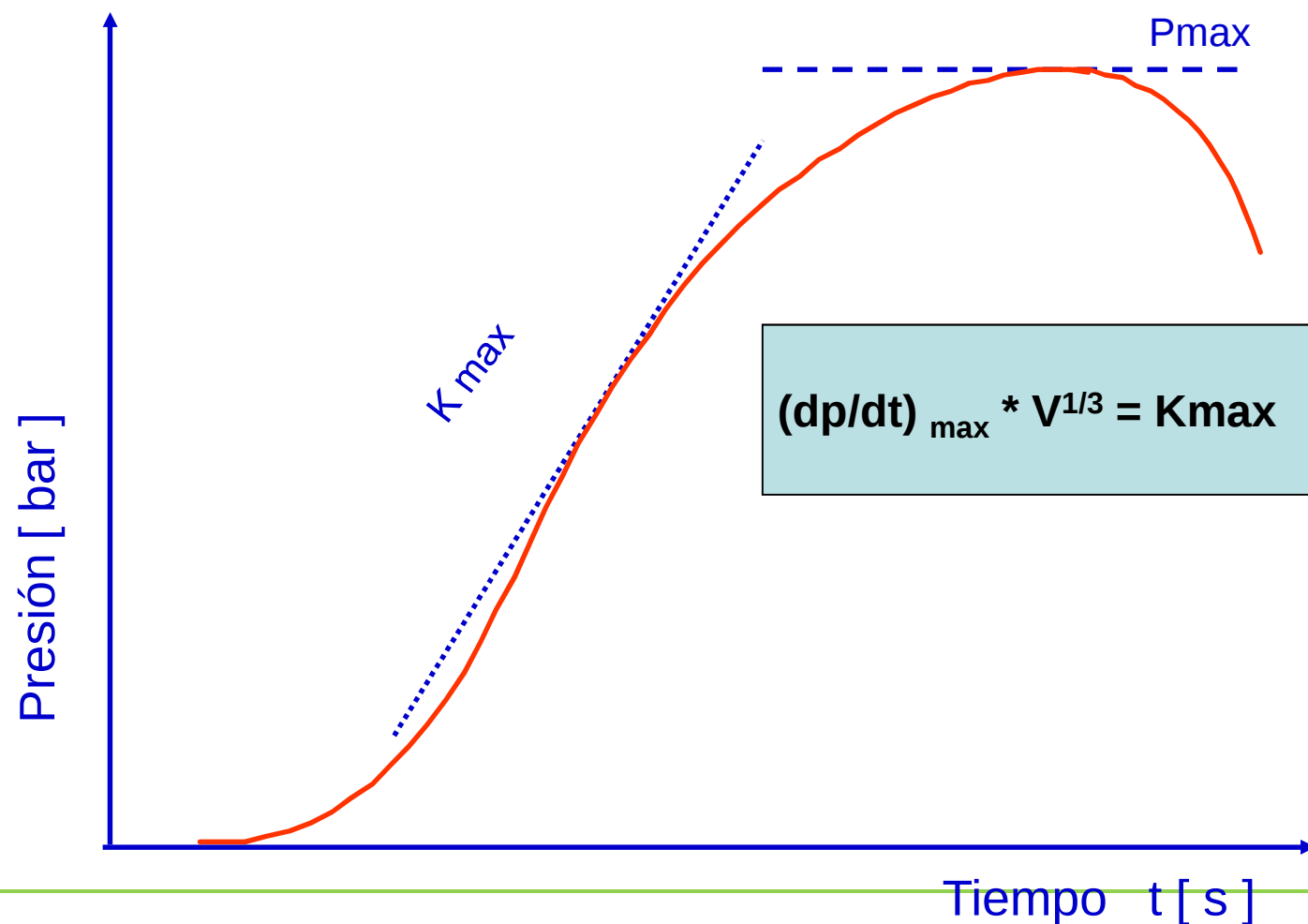


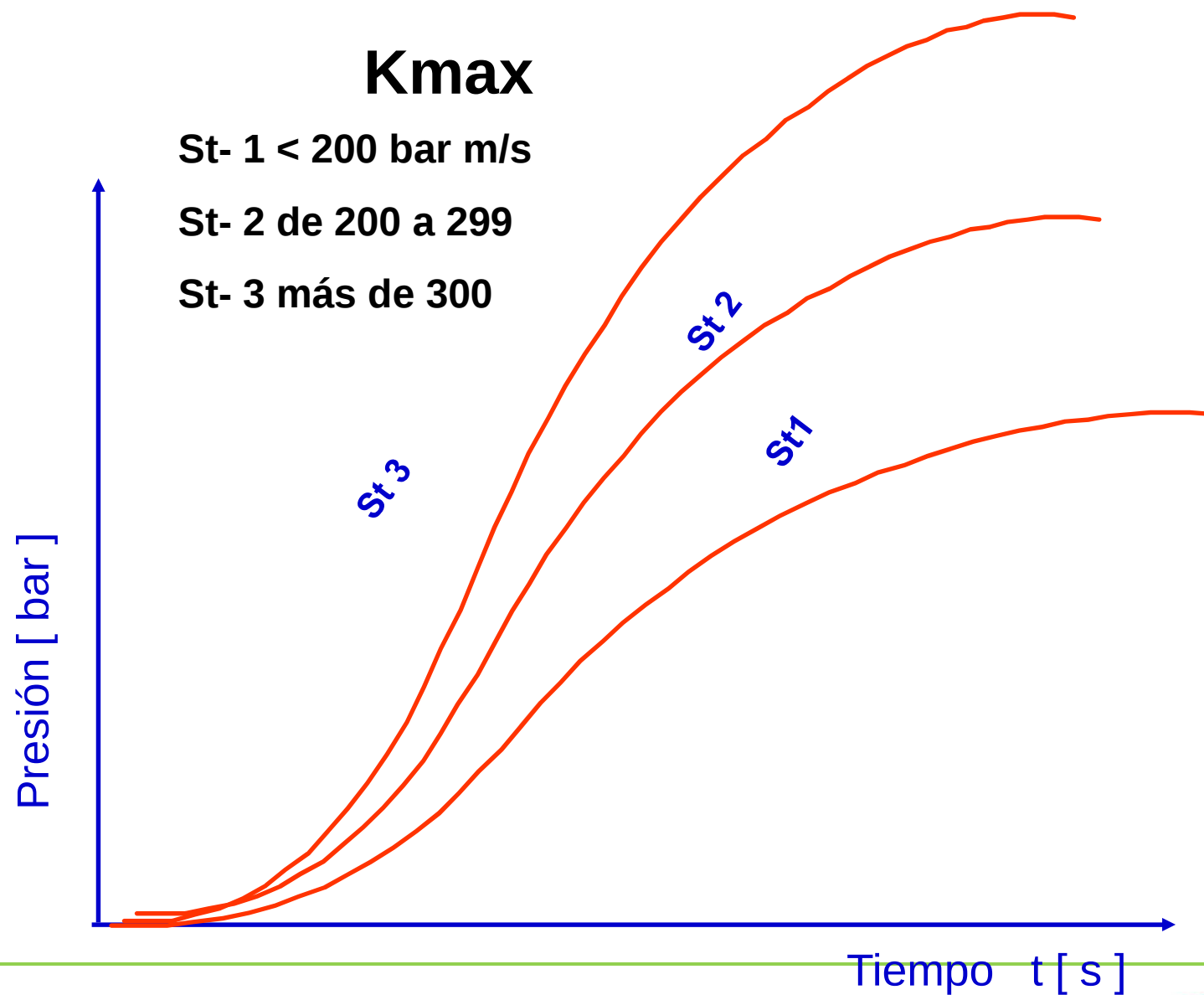
Severidad de la Explosión

- $K_{\max}$ (K_{st} ó K_G) bar m / s
- $P_{\max}$ en bar
- **CLO**
 - La concentración de Oxígeno condiciona a $K_{\max}$ y $P_{\max}$



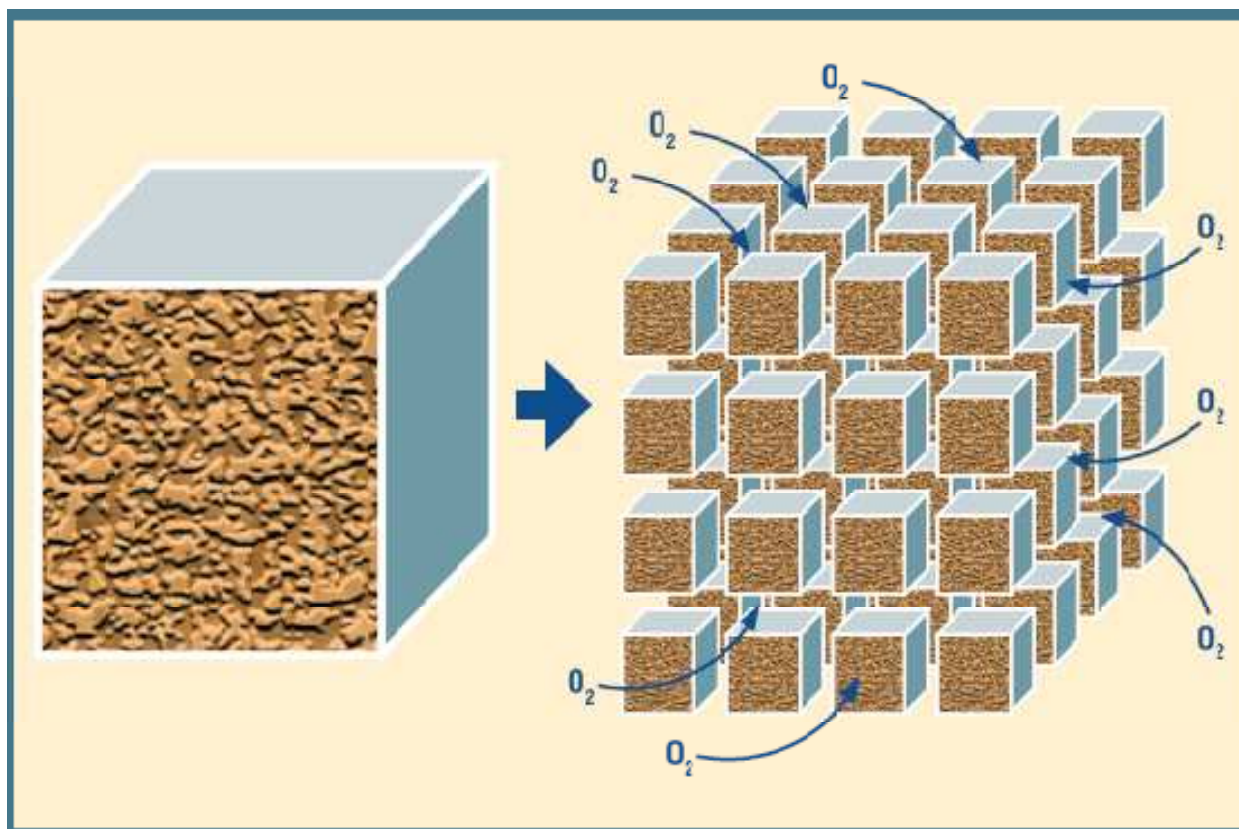
Severidad de la Explosión





TAMAÑO de Partícula

**Aumenta la K_{max}
al disminuir el tamaño de partícula**





Producto	Kmax	Pmax	EMI	CLO	TMI _n	TIM _c
Madera	80	7.2	100	12 %	280	400
Cáscara de coco	75	7.6	1000		300	470
Corcho	116	8.1	1000		300	460
Poso de café	107	7,2	1000		290	350
Estiércol de Cerdo	66	7.0	100		300	480
Fango depuradora	102	8.0	300		260	450
...						
Carbón mineral	85	6.4	100	12 %	450	500
Lignito	123	8.7	100	12 %	230	420
Coque de petróleo	33	5.9	1000		>850	>500

Fuente: BIA report 12/97: www.hvbq.de/e/bia/gestis/expl/index.html

Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.



**Grupos de Explosión**

Comparación entre DIN 57165 y CEN prEN 12874
(Standard europeo)
y NFPA (National Fire Protection Association)

Grupo de Expl. a DIN resp. CEN	Grupo de Explosión a NFPA	Separación máx. experimental [mm]	Producto de ref. del grupo de explosión
(I)	(E)	($\geq 1,1$)	(Metano)
II A	D	$> 0,9$	Propano
II B ₁		$0,9 \geq s \geq 0,85$	
II B ₂		$0,85 > s \geq 0,75$	
II B ₃	C	$0,75 > s \geq 0,65$	Etileno
II B		$0,65 > s \geq 0,5$	
II C	B	$< 0,5$	Hidrógeno



HEXANO

- Punto Destello: -21 °C o flash point
- LIE : 1,0 % ó 35 mg/l
- LSE: 8,4 % ó 290 mg/l
- T Inflamación 233 °C
- IEMS 0,93 mm
- Tn T3
- Grupo IIA

HIDROGENO

- Punto Destello:
- LIE : 4,0 % ó 3,4 mg/l
- LSE: 77 % ó 63 mg/l
- T Inflamación 560 °C
- IEMS 0,28 mm
- Tn T1
- Grupo IIC



Industrias con materias combustibles

- **Alimentación**

- Harineras, panaderías,
- Helados
- Lácticas
- Deshidratados
- Dulces,...

- **Madera**

- Muebles, palets, aserraderos,..
- Tablero conglomerado,...

- **Agrícolas**

- Piensos,
- Cereales,
- Aceites soja, girasol,...

- **Pinturas**
- **Imprentas**
- **Automoción**
- **Químicas**
- **Farmacéuticas**
- **Petroquímica**
- **Generación Eléctrica**
- **Biomasa**
- **Tratamiento de residuos**
- **Metales**
- ...



Parámetros imprescindibles Líquidos

- Flash-point

- Si $< 60^{\circ}\text{C}$ es inflamable y puede formar ATEX

- **SI ATEX:**

- LIE y LSE
 - Grupo (IIA, IIB o IIC)
 - T inflamación (T1, T2.....T6)

- Temperatura uso

- Si Flash-point $<$ Temperatura de uso



Parámetros imprescindibles Gases

- ¿Es inflamable?
- ¿Densidad relativa aire?
- **SI ATEX:**
 - LIE y LSE
 - Grupo (IIA, IIB o IIC)
 - T inflamación (T1, T2.....T6)



Parámetros imprescindibles Solidos

- ¿Es inflamable?
- ¿es conductor?
- Tamaño de partícula
- **SI ATEX:**
 - LIE
 - TMI_n y TMI_c nos dará la temperatura limitante
 - K_{max} y P_{max} ...

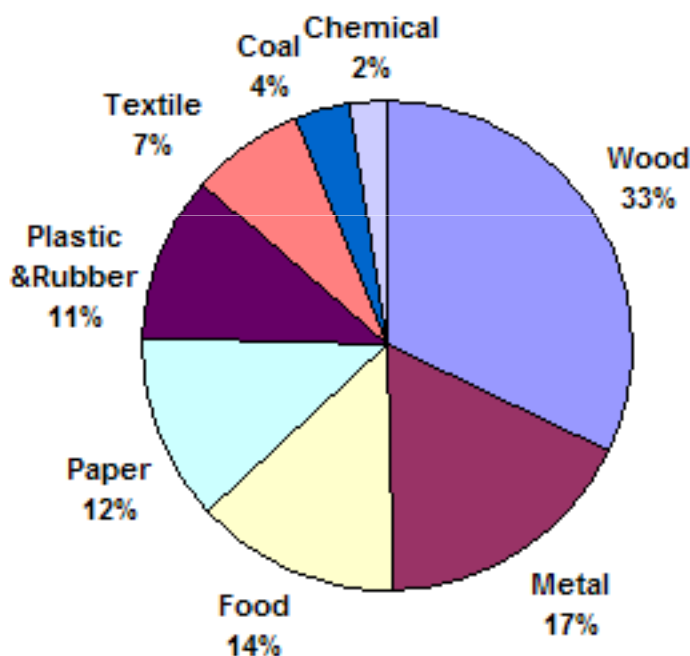


INDUSTRIAS CON RIESGO ATEX



Explosiones en industrias con materias combustibles

Materials



Combustible Dust
Policy Institute

Explosiones según materia:

- Madera 33 %
- Metales 17%
- Alimentación 14 %
- Papel 12 %
- Plásticos y Cauchos 11%
- Textil 7%
- Carbón 4 %
- Químicos 2%

Fuente: Combustible dust Policy
institute

Equipos con riesgo

- En General:

- Filtros de mangas,
 - Muchas industrias lo tienen, el equipo más presente
- Silos,
 - son grandes volúmenes, si explotan “siempre se sabe”.
- Molinos,
 - causan explosiones.
- Elevadores de cangilones,
 - causan explosiones.





Siniestralidad por equipos y sectores

Equipos	% incidentes industria en general	% incidentes industria de la madera	% incidentes industria metal	% incidentes industria alimentaria
Silos	20,2	35,9	'--	22,9
Filtros de mangas	17,2	18,0	45,6	9,5
Molinos	13,0	7,0	5,3	18,1
Transportadores	10,1	4,7	'--	26,7
Secadores	8,0	'--	'--	7,6
Mezcladoras	5,4	'--	3,5	'--
Granalladoras	4,5	3,9	22,8	'--
Cribas	2,8	4,7	3,5	2,8
Otros	14,1	25,80	19,30	12,40



PREVENCIÓN y PROTECCIÓN





ZONAS ATEX

SIEMPRE ATEX

de GAS **0**

de POLVO **20**

OCASIONAL NORMAL

de GAS **1**

de POLVO **21**

RARAMENTE

de GAS **2**

de POLVO **22**



ZONAS ATEX

- **DENTRO EQUIPOS**

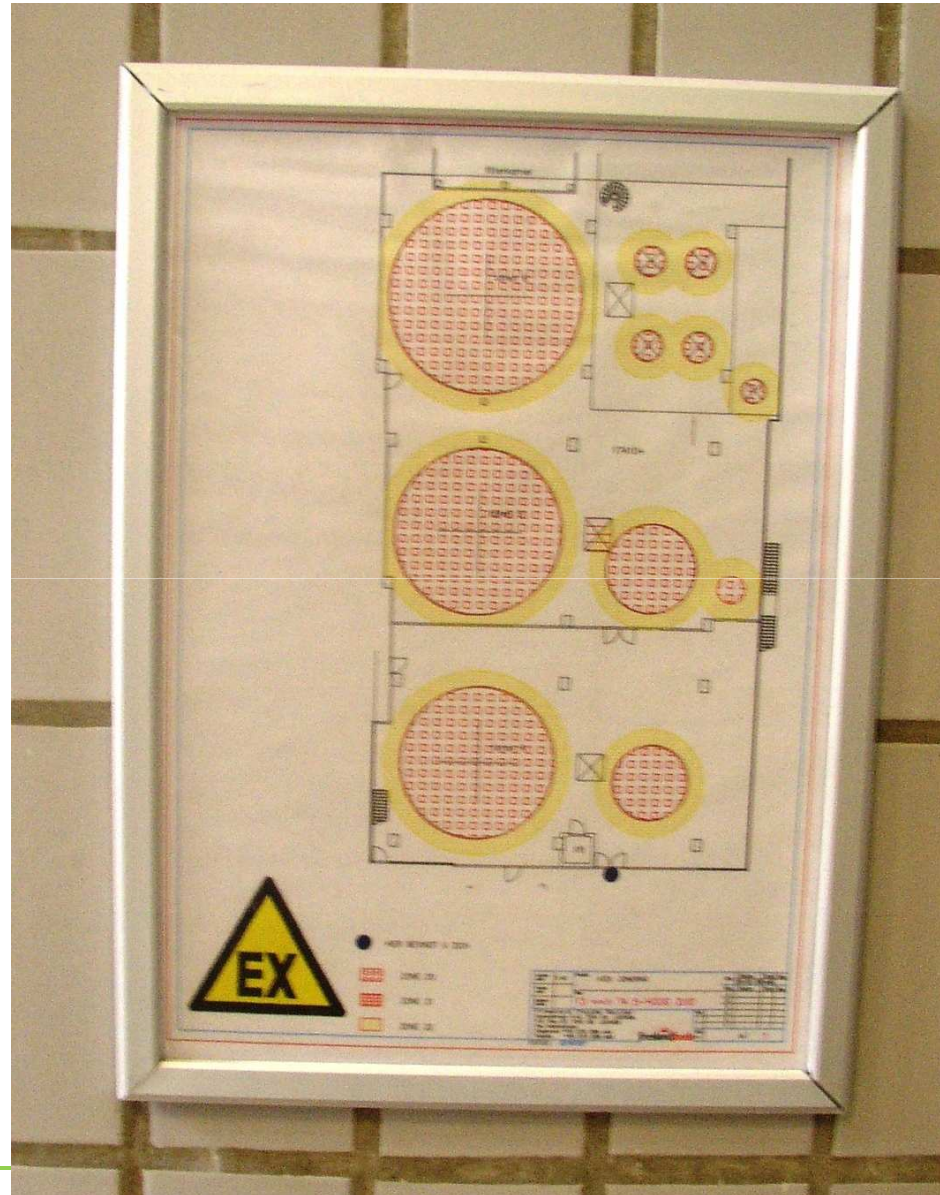
- Condiciona criterio prevención o protección

- **EN LAS INSTALACIONES**

- Condiciona marcado equipos



Sólidos





Adecuación equipo a Gas y Polvo

LOS EQUIPOS PARA GAS (G)

NO SIRVEN PARA POLVO (D)

**Para ser válidos para gas y polvo deben ir
marcados como G / D**





Prevención: Actuaciones destinadas a evitar
que se inicie la explosión

***EVITANDO la coexistencia de ATEX y Fuente de
ignición***

***ELIMINANDO FUENTES DE IGNICIÓN
ELIMINANDO ATEX***

Protección: Actuaciones destinadas al control
de los efectos de la explosión

CONTROLANDO llamas y presión



• PREVENCIÓN

- medidas organizativas
- extinción de chispas,
- instalación eléctrica,
- puestas a tierra,
- detección de CO,
- medidores de vibración,
- medidores de alineamiento,
- sensores de atasco,
- sensores de temperatura,
- imanes,
- medidores de velocidad,





FUENTES DE IGNICIÓN UNE EN 1127-1

- Superficies calientes.
 - Llamas o gases calientes.
 - Chispas de origen mecánico.
 - Material eléctrico.
 - Corrientes parásitas.
 - Electricidad estática.
 - Rayo.
 - Ondas electromagnéticas.
 - Radiación ionizante.
 - Ultrasonidos.
 - Reacciones exotérmicas.
-
- Ingreso de objetos extraños.
 - Explosión en equipo conectado.
 - FACTOR HUMANO.





Zonas y Categorías

- Selección de los aparatos en función de la clasificación en zonas

Atmósfera explosiva	Zona	Categoría	Fuente de ignición
Atmósfera explosiva permanente	20 0	1D 1G	No hay fuente de ignición incluso en caso de funcionamiento defectuoso inesperado
Atmósfera explosiva ocasional	21 1	2D 2G	No hay fuente de ignición en caso de funcionamiento defectuoso esperable
No hay atmósfera explosiva en funcionamiento normal	22 2	3D 3G	No hay fuentes de ignición en operación normal

FUENTES DE IGNICIÓN UNE EN 1127-1

Fuente de ignición	% en industria general	% en industria Plásticos
Chispas mecánicas	→ 26,1	21,2
Brasas o chispas	11,3	9,6
Calentamiento mecánico	8,9	9,6
Descarga electrostática	8,7	→ 34,6
Fuego	7,8	‘--
Auto-combustión	4,9	‘--
Superficie caliente	4,9	3,9
Soldadura y trabajos calientes	4,9	‘--
Equipo eléctrico	2,8	‘--
Desconocido	16,0	11,5
Otros	3,5	9,6





PREVENCIÓN

Medidas Organizativas

mediante

Permisos de trabajo

N.º

Localización y descripción de los trabajos:

.....

.....

Solicitante del permiso: Firma:

Nombre de los operarios: / /

Firma de los operarios: / /

FECHA: / / Hora Inicio: Hora finalización:

Permiso autorizado por: Firma:

ANÁLISIS DE RIESGOS:☐ Soldadura y corte☐ PQ Corrosivos☐ Electricidad / AT☐ Ruido☐ Caídas > 2 m☐ Gases/ Vapores tóxicos☐ Proyec. Partículas☐ Otros☐ PQ Inflamables☐ Presión / Temperatura☐ Explosión☐ PQ Tóxicos☐ Cortes☐ Incendio

Nombre Producto Químico

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL A UTILIZAR:**EXTINCIÓN INCENDIOS:**☐ Anticaídas (arnés, cinturón)☐ Cabeza (cascos)☐ Boca Incendio Equipada☐ Respiratoria (mascarillas, filtros,
respiración autónoma)☐ Pies (Calzado de Seguridad)☐ Extintor Polvo ABC☐ Traje estancos para gases / PQ☐ Ojos (gafas, pantallas faciales)☐ Extintor CO₂☐ Mandil☐ Careta soldador☐ Extintor Agua☐ Manos (guantes)☐ Auditivo (tapones, orejeras)☐ Extintor Espuma☐ Otros:☐ Mantas ignífugas

N.º

Localización y descripción de los trabajos:

.....

.....

Solicitante del permiso: Firma:

Nombre de los operarios: / /

Firma de los operarios: / /

FECHA:/...../..... Hora inicio: Hora finalización:

Permiso autorizado por: Firma:

ANÁLISIS DE RIESGOS:			
☐ Caídas > 2 m	☐ Gases/ Vapores tóxicos	☐ Proyec. Partículas	☐ Otros
☐ PQ Inflamables	☐ Presión / Temperatura	☐ Explosión	☐
☐ PQ Tóxicos	☐ Cortes	☐ Incendio	☐
☐ PQ Corrosivos	☐ Electricidad / AT	☐ Ruido	☐
Nombre Producto Químico			

EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL A UTILIZAR:	EXTINCIÓN INCENDIOS:
☐ Anticaídas (arnés, cinturón)	☐ Boca Incendio Equipada
☐ Respiratoria (mascarillas, filtros, respiración autónoma)	☐ Extintor Polvo ABC
☐ Traje estancos para gases / PQ	☐ Extintor CO ₂
☐ Mandil	☐ Extintor Agua
☐ Manos (guantes)	☐ Extintor Espuma
☐ Cabeza (cascos)	☐ Mantas ignífugas
☐ Pies (Calzado de Seguridad)	
☐ Ojos (gafas, pantallas faciales)	
☐ Careta soldador	
☐ Auditivo (tapones, orejeras)	
☐ Otros:	

Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección

¿Es posible realizar el trabajo en el taller? ☐ Sí ☐ No

Si es posible, desmontar y llevar equipo al taller



PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES



No existe una única solución

- Depende de:
 - ❖ Eficacia de la técnica
 - ❖ Puede depender de la empresa
 - ❖ Coste de la técnica
 - ❖ A veces es mejor proteger que prevenir
 - ❖ Entorno de la empresa
 - ❖ Medio rural, urbano
 - ❖ Personal
 - ❖



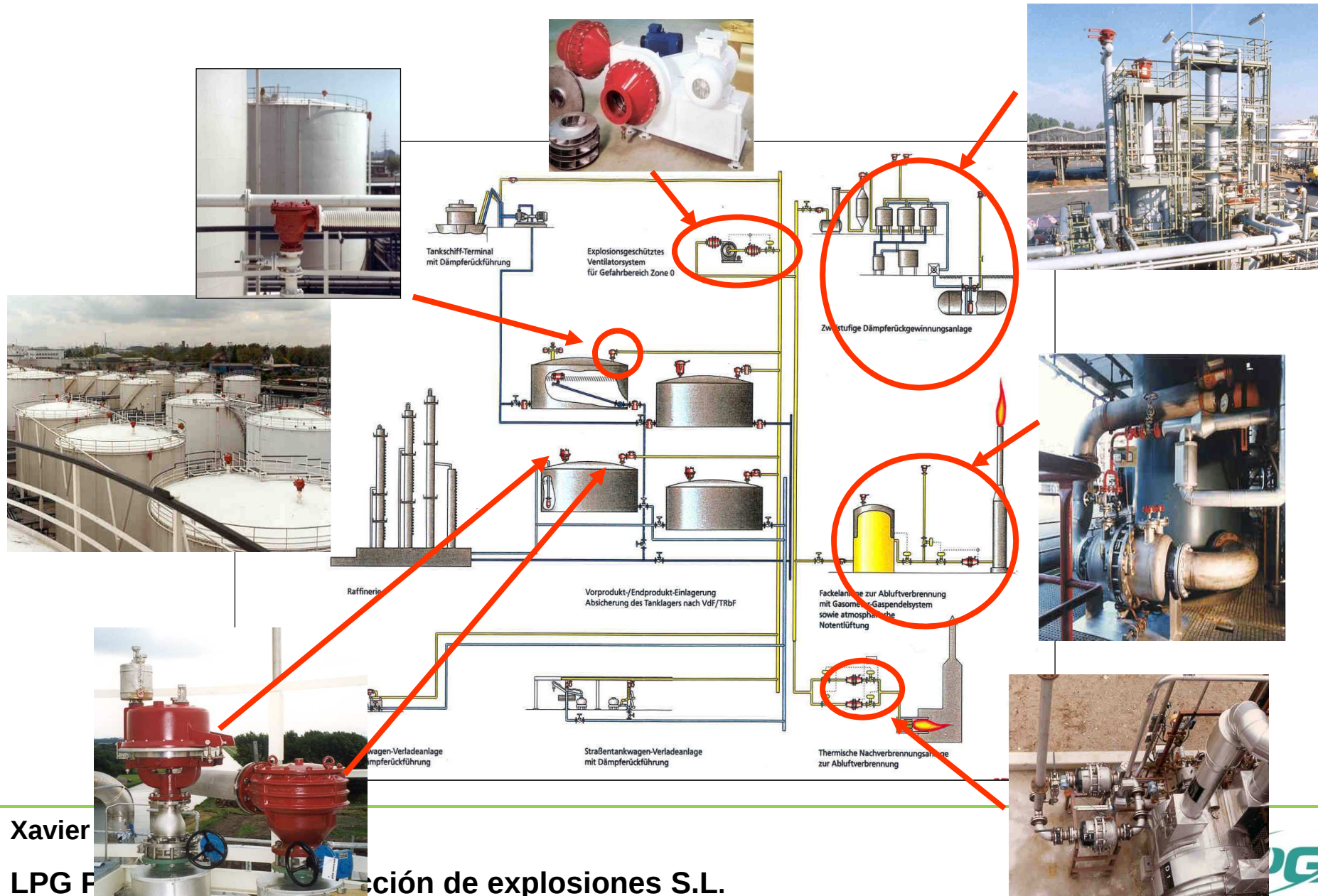
- **PROTECCIÓN EXPLOSIONES DE GAS y VAPORES**

- **Punto ignición versus protección**

- Protecciones mediante apagallamas.**

- **Final de línea:**
 - Deflagración atmosférica
 - Combustión prolongada
 - **En línea**
 - Deflagración
 - Detonación
 - » Estable
 - » Inestable

APLICACIONES DE APAGALLAMAS



Xavier

LPG F

cción de explosiones S.L.





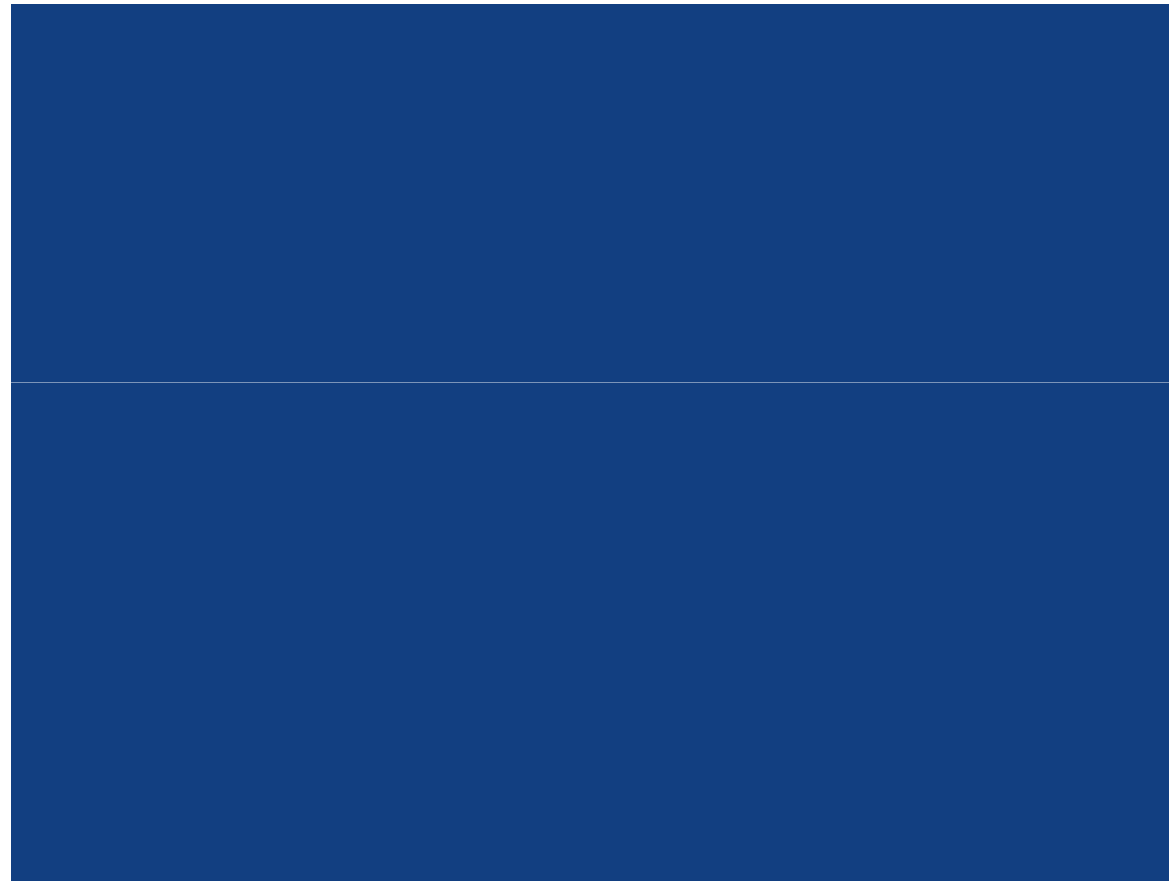
- **Explosiones de Polvo**

- Confinamiento de la explosión
- Venteo de explosiones
- Supresión de explosiones
- Aislamiento de explosiones





Confinamiento de la explosión





VÁLVULA DE ACCIONAMIENTO RÁPIDO KAMMERER



Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





Ventoeo de una explosión



Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





VENTEO DE UNA DEFLAGRACIÓN ¿QUE ES?

1. Consiste en aliviar la presión

Evitando rotura (EXPLOSION) del recipiente protegido

2. Reconducir las llamas a una zona segura

Evitando daños e incendios

Norma aplicable UNE-EN 14491



VENTEO

- Consiste en la instalación de dispositivos de alivio de presión tales como
 - Paneles de Venteo contra explosiones
 - Puertas de Venteo contra explosiones





VENTEO SIN LLAMA



Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





LPGVent
1.04

LPGVENT aplica la UNE EN 14491

unidad milímetro

H4

H5

d1 $\varnothing$

d2 $\varnothing$

H3

H1

H2

Volumen (m³) L/D

Ventoeo de recipientes aislados

Volumen: $V =$ m³

L/D: $L/D_e =$

Resistencia (sobrepresión): $P_{red} =$ bar

Constante de explosividad: $K_{st} =$ bar m/s

Sobrepresión máxima de explosión: $P_{max} =$ bar

Presión de apertura del panel: $P_{stat} =$ bar

Longitud del conducto: $long =$ m ☐

Diametro del conducto: $d =$ m

Relación l/d del conducto: $l/d =$

Longitud del conducto: $(l/d)_c =$

Eficiencia: $Ef =$ %

Area de ventoeo: $A_v =$ m²

Longitud de la llama: $L_F =$ m

www.lpgvent.com





DISTANCIAS DE SEGURIDAD





AISLAMIENTO

¿QUE ES?

1. Consiste en parar el frente de combustión

Evitando la propagación y **explosiones secundarias**, o incluso **detonaciones**.

2. Tipos:

- **Químico**

Barrera de agente extintor

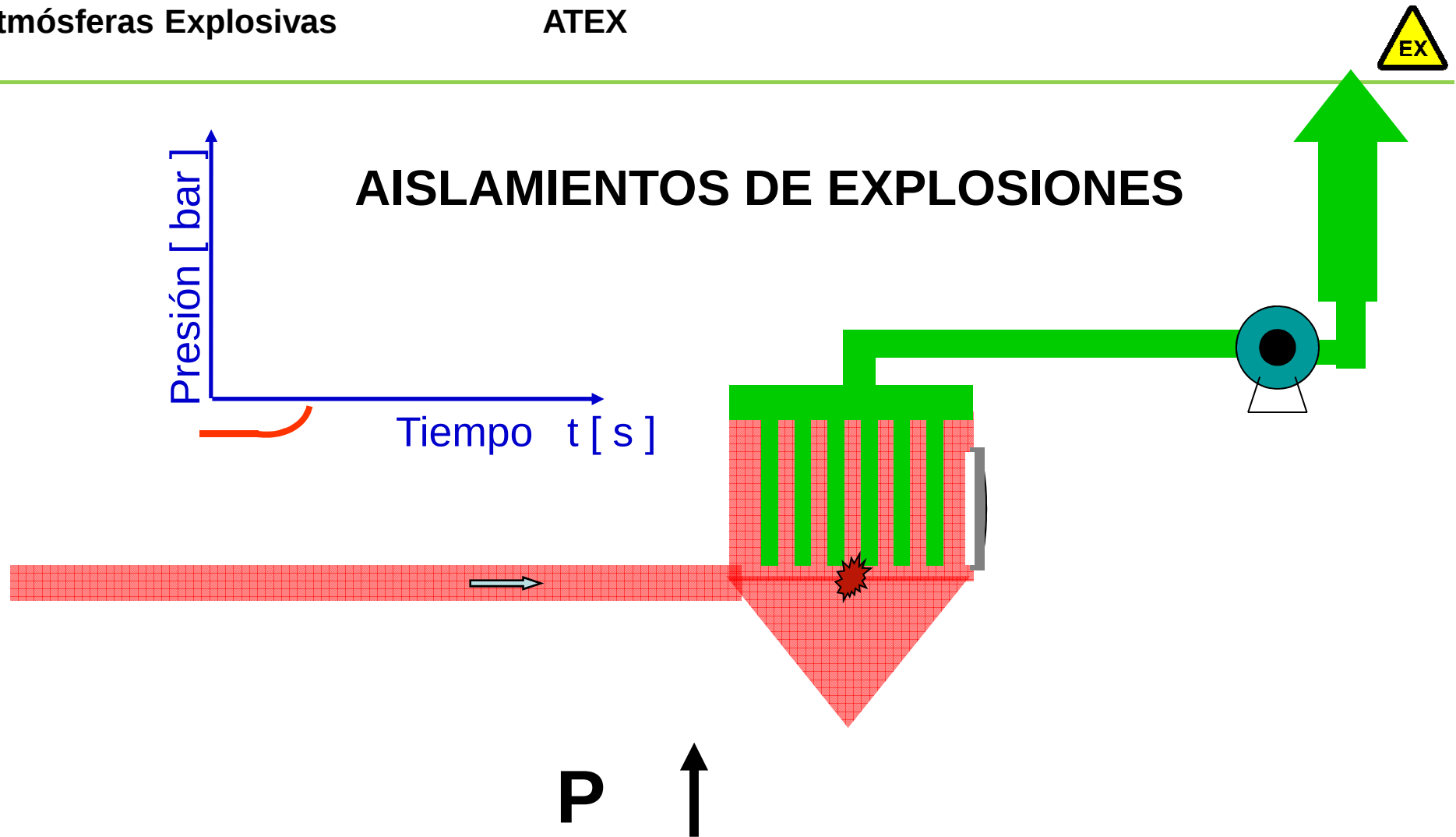
- **Mecánico**

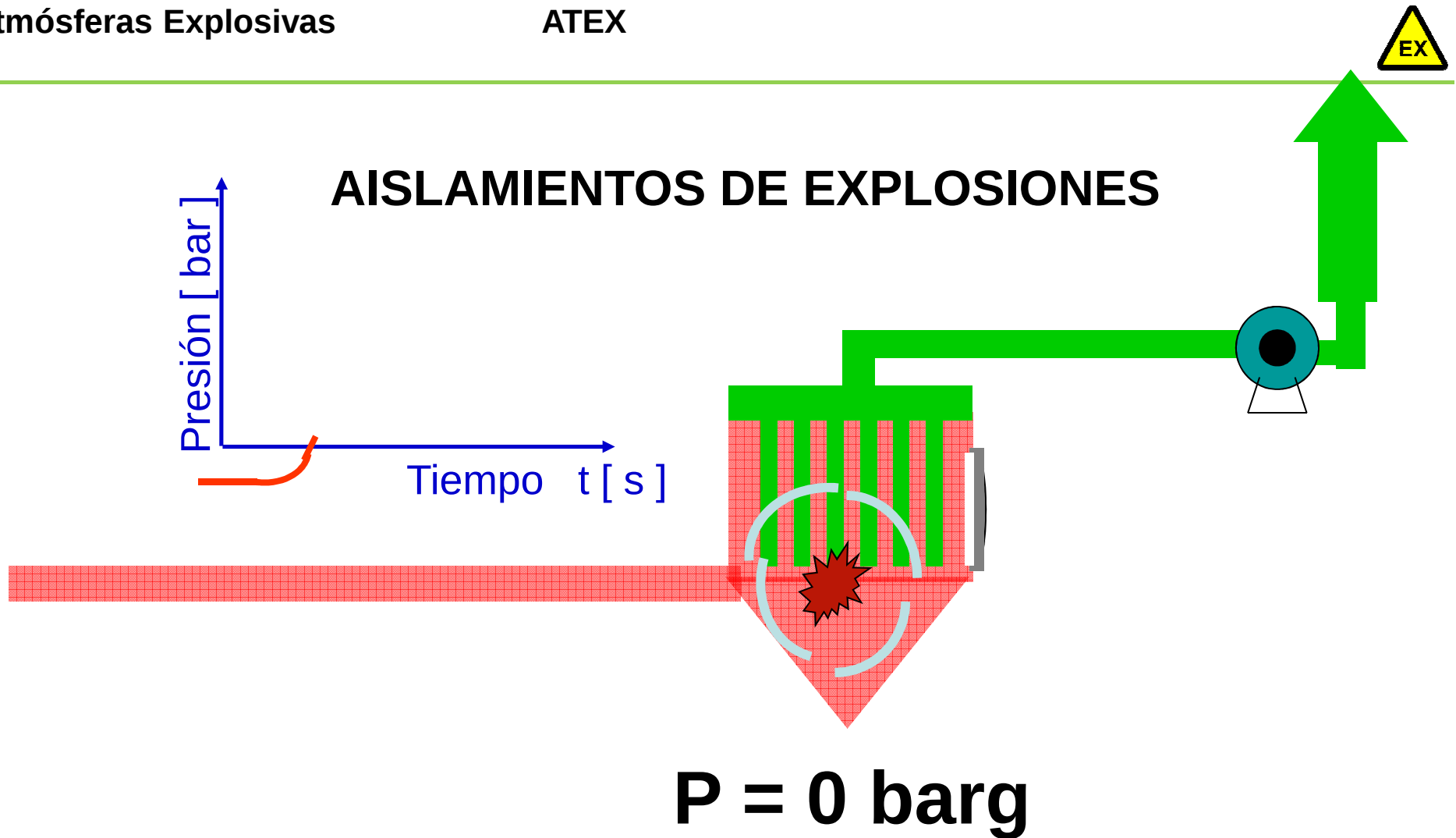
Barrera de una válvula de accionamiento rápido

- **Diversor de llama**

Desaceleación de la combustión



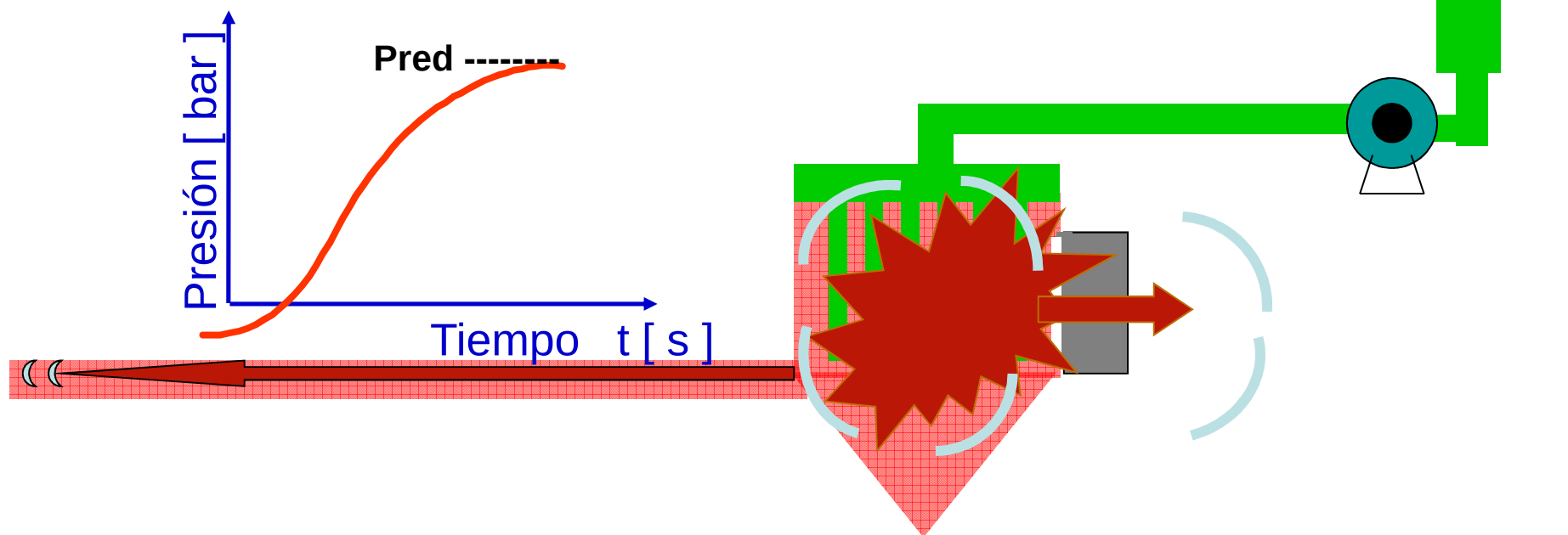






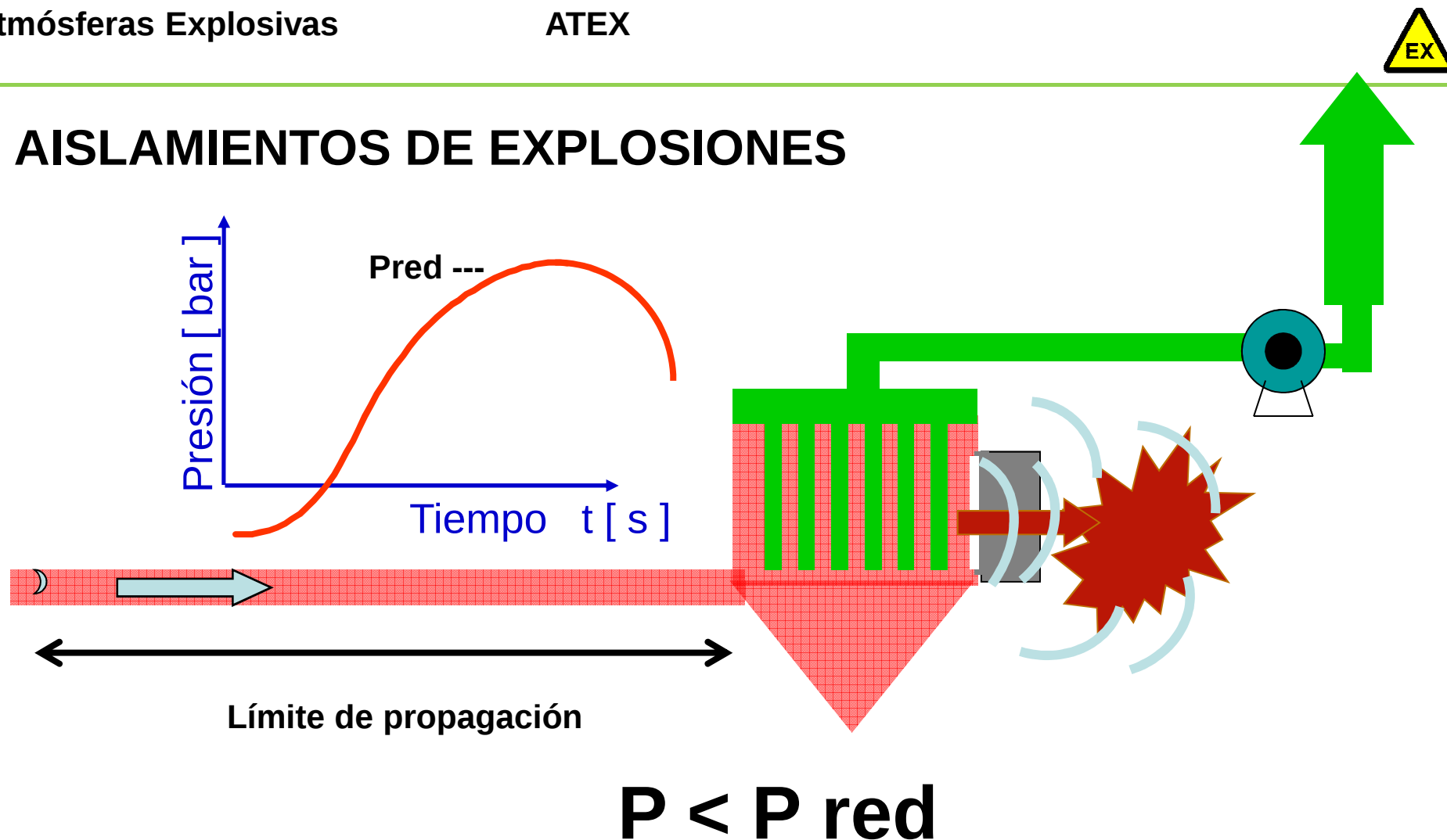


AISLAMIENTOS DE EXPLOSIONES



$$P = P_{red} \text{ barg}$$

AISLAMIENTOS DE EXPLOSIONES

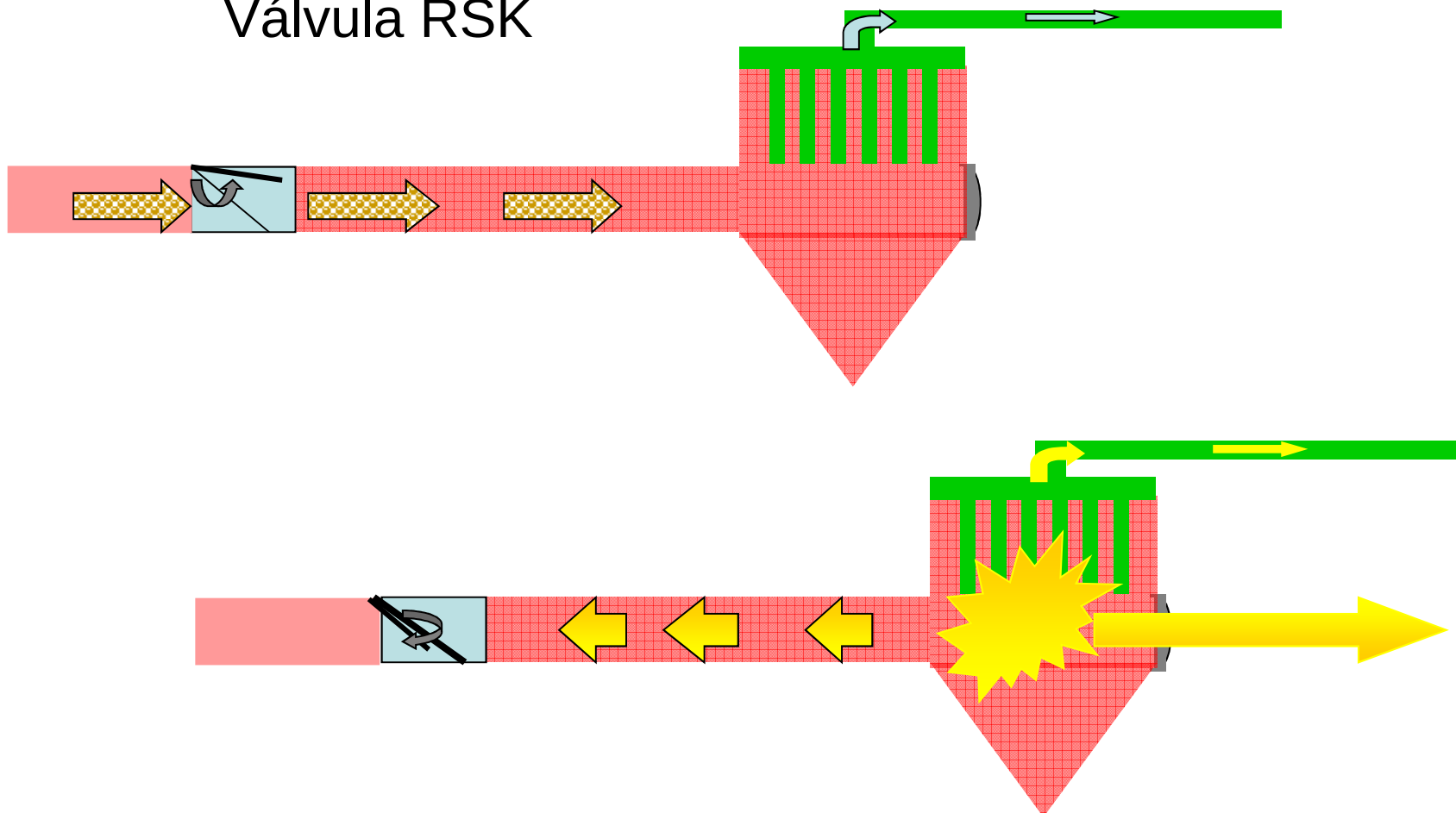


AISLAMIENTOS DE EXPLOSIONES



AISLAMIENTO DE EXPLOSIONES

Válvula RSK





SUPRESIÓN DE LA EXPLOSIÓN

¿QUE ES?

1. Consiste en parar y extinguir la deflagración

Detectar en el estado incipiente la deflagración

2. Suprime la deflagración

Mediante agente extintor por dos mecanismos posibles:

- NaHCO_3 Absorción los radicales libres de la reacción y apantalla la combustión.
- H_2O Enfriamiento e inertización.

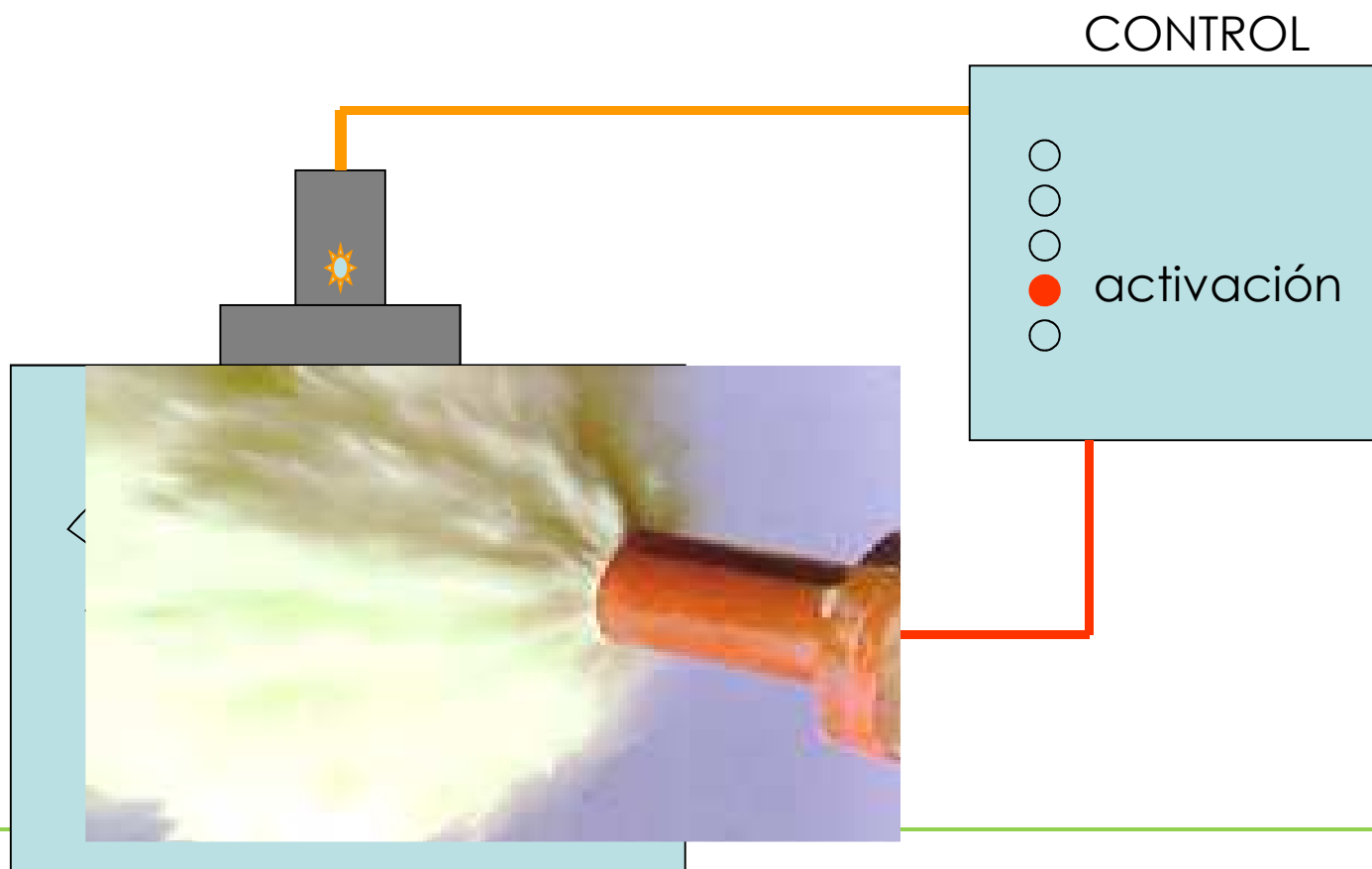
Norma aplicable UNE-EN 14373



SUPRESION DE EXPLOSIONES

- **TRES COMPONENTES:**
 - **DETECTOR**
 - **CONTROLADOR**
 - **SUPRESOR**

SUPRESION DE EXPLOSIONES

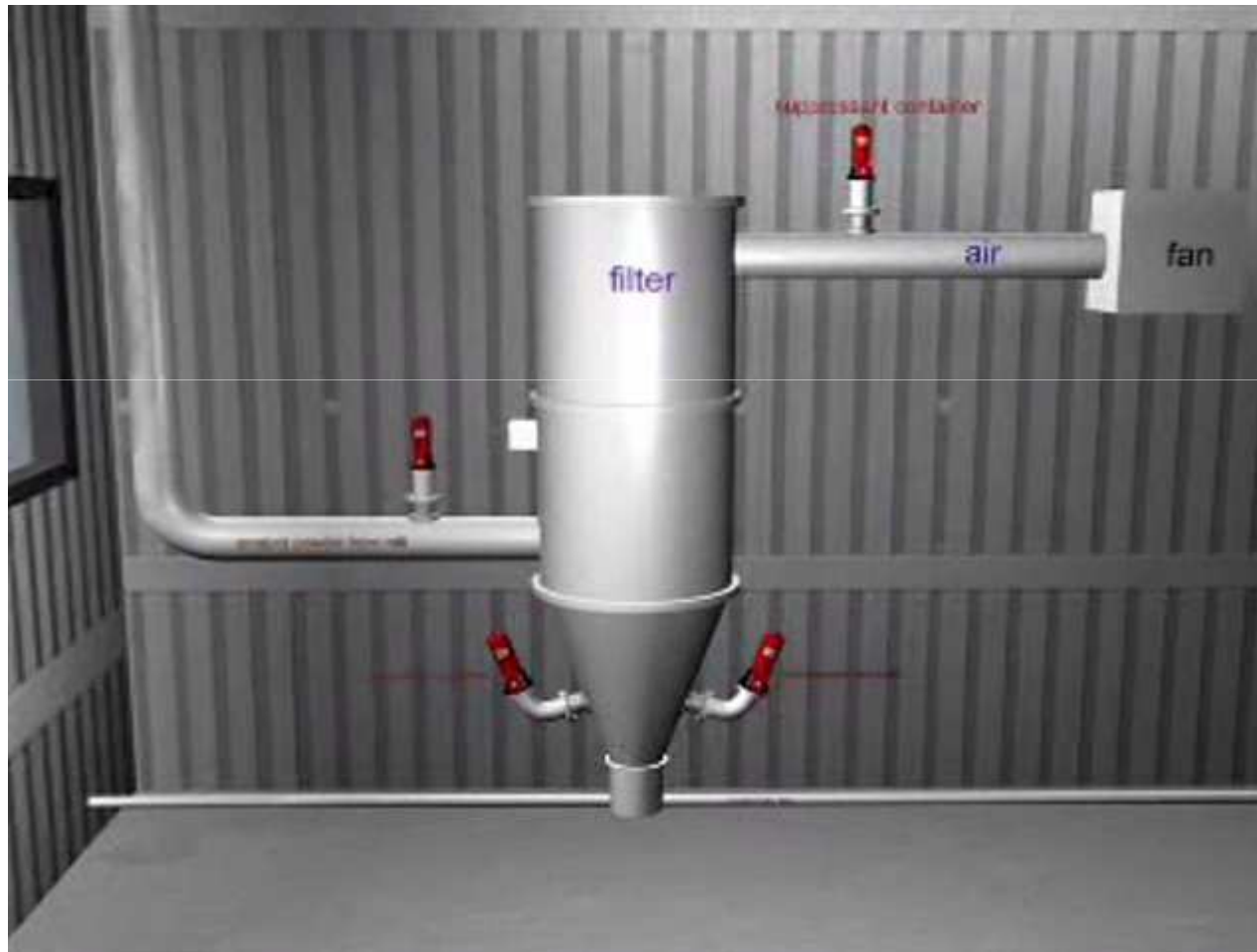


Xavier de

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.



SUPRESIÓN DE EXPLOSIONES



Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.





Xavier de Gea

LPG Prevención y Protección de explosiones S.L.







CRITERIO DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN

- **La empresa tiene que tener un criterio de actuación:**
 - NO PUEDE SER QUE UNA EMPRESA DISEÑADA ANTES DE LA ENTRADA EN VIGOR DEL Real Decreto 681/2003, TENGA EL DOCUMENTO DE PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIONES Y **NO REALICE NINGUNA ACTUACIÓN**



CRITERIO DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN

- **La empresa tiene que tener un criterio de actuación:**
 - **Conocer la explosividad de la sustancia o sustancias**, ¿dónde la encontraremos? ¿Cantidad?
 - **Identificar equipos** con riesgo, priorizando la prevención y la protección en función de su probabilidad de fallo y la coexistencia con ATEX.
 - **Evaluar económicamente** el coste de las medidas adoptar inversión versus mejora de la seguridad.
 - **Para así DEFINIR LAS PRIORIDADES.**



Preguntas Lógicas

1. ¿Existe o puede existir ATEX?

1. **No**-----*se acabó*

2. **Sí**---¿puede coexistir con fuente de ignición?

1. **No**-----¿Prevenir o proteger?

En función de zona interior.

2. **Sí**----- **Eliminar o la ATEX o la Fuente.**



¿ PREVENCIÓN O PROTECCIÓN ?

El criterio de actuación, puede ser:

ZONA	ACTUACIÓN
0 ó 20	PROTECCIÓN
1 ó 21	PREVENCIÓN Ó PROTECCIÓN SI ES MÁS BARATA
2 ó 22	FORMACIÓN



MUCHAS GRACIAS

Xavier de Gea

Licenciado en Ciencias Químicas

MBA por ESADE

DIRECTOR de LPG Prevención y Protección de Explosiones

Miembro del comité Europeo CEN/CN 305 WG3

Miembro del comité Nacional AEN/CTN 163

Miembro del European Safety Management Group

www.lpg-atex.com

Email: xdegea@lpg.es tel: 93 480 29 25