



# Documentación

## NTP 55: Túneles de secado de disolventes inflamables control del riesgo de explosión

Explosions in flammable solvent drying ovens  
Explosions dans les tunnels de séchage de solvants inflammables

### Redactores:

José Luis Villanueva Muñoz  
Ingeniero Industrial

Pere Sabaté Carreras  
Facultativo de Minas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA - BARCELONA

*En el año 1981 se registraron dos explosiones en dos industrias de la provincia de Barcelona que ocasionaron dos muertos, numerosos heridos y daños muy importantes a las instalaciones. Una de las explosiones provocó el desplome de la nave donde estaba ubicado el túnel.*

*Como consecuencia de ello se redactó un estudio titulado "Condiciones de seguridad en túneles de secado de disolventes inflamables (3) del cual la presente nota es un extracto.*

*El objetivo de la misma es analizar y divulgar las medidas de control del riesgo de explosión por atmósferas inflamables de disolvente-aire en los túneles de secado.*



## Generalidades sobre explosiones deflagrantes

Las reacciones que provocan una explosión de disolventes, son idénticas a las de un incendio pero desarrolladas a velocidades comprendidas entre 1 m/s y la velocidad del sonido en el medio. Reciben el nombre de deflagraciones.

A dicha velocidad los gases productos de la combustión, a alta temperatura, generan ondas de presión que alcanzan valores comprendidos entre 1 y 10 veces la presión inicial.

## Causas

Para que se inicie una deflagración, hace falta la confluencia en espacio y tiempo de los siguientes factores:

- Una mezcla producto inflamable-aire dentro del rango de inflamabilidad.
- Un foco de ignición.

La manipulación de disolventes a temperatura superior a su temperatura de inflamación, implica la presencia de una atmósfera inflamable, siempre que la ventilación existente no asegure una dilución tal, que la concentración disolvente-aire está por debajo del límite inferior de inflamabilidad.

Cuanto menor sea la dilución y mayor la temperatura ambiente mayor será el volumen de mezcla inflamable. En tales condiciones el aporte de un foco de ignición (chispa, brasa, llama o superficie caliente), puede elevar su temperatura por encima de la de autoignición, originando una explosión deflagrante.

## Consecuencias

Cuando se produce una deflagración en el interior de un túnel de secado el efecto es doble. Por una parte se produce una onda de fuego, que saliendo por las aberturas del túnel quema a todo lo que se encuentre en sus proximidades (normalmente tras la explosión hay incendio). Por otra parte se genera una onda de choque, que si no encuentra suficientes aberturas para ser evacuada, revienta el túnel por cuanto, salvo que tengan un diseño especial al efecto, las construcciones habituales no tienen suficiente resistencia para soportar las presiones generadas.

## Medidas de prevención

Las medidas de prevención son aquellas a adoptar para evitar el inicio del accidente.

Limitación de atmósferas inflamables por ventilación

El análisis de los datos obtenidos en 123 explosiones ha demostrado que existen dos tipos de errores habituales en los sistemas de ventilación, que es necesario evitar:

### Empleo de tiro natural

Las ventilaciones basadas únicamente en el tiro natural no son fiables. El flujo de aire en la chimenea se reduce demasiado fácilmente e incluso puede llegar a invertir su sentido, debido a una multiplicidad de causas externas cuyo control escapa en mayor o menor medida a los responsables de la planta.

### Empleo de ventiladores de doble función

Es una práctica relativamente habitual que los ventiladores que se emplean para recircular el aire en el túnel sean simultáneamente los responsables de la extracción al exterior de los vapores producidos durante el secado. Este método suele generar el caudal necesario de ventilación de seguridad mediante sobrepresiones muy bajas que se ven fácilmente afectadas por las mismas variables que reducen la eficacia de la ventilación natural.

## Síntomas de una ventilación insuficiente

Puesto que en los túneles de secado la probabilidad de que se presente un foco de ignición es relativamente pequeña, es común que éstos funcionen en condiciones próximas o incluso superiores al límite inferior de explosividad, (es decir, con una ventilación insuficiente), durante períodos de tiempo largos sin que se produzca la explosión; sin embargo existen una serie de síntomas que pueden permitir detectar precozmente que el caudal de ventilación es inferior al necesario:

- a. Si la temperatura del conducto de extracción o de la chimenea desciende, es debido usualmente a que el caudal de extracción ha disminuido, o incluso que se ha invertido el sentido del flujo.
- b. Si se ha realizado algún cambio en el proceso sin una determinación previa del nuevo flujo de disolvente evaporado es posible que el caudal de ventilación que inicialmente podía ser correcto, sea ahora insuficiente.
- c. Cuando se presentan dificultades para alcanzar la temperatura de régimen es una tentación difícil de vencer el reducir el caudal de extracción; por eso es conveniente registrar este tipo de incidentes a fin de poder verificar a posterior que las condiciones de ventilación siguen siendo las adecuadas.
- d. Si las piezas salen del túnel insuficientemente secas, una posible causa es la reducción del caudal de extracción.
- e. La presencia de depósitos de condensación en la chimenea puede indicar que éstos se producen también en el interior del túnel, dificultando el paso del aire y reduciendo su caudal.
- f. Si estas condensaciones se producen junto a las bocas de entrada y salida del túnel ello puede ser debido a una presión interna en el túnel superior a la del local, lo cual puede indicar una reducción del caudal e extracción.

## Recomendaciones para el diseño del sistema de extracción

Los conductos de extracción deben situarse preferentemente en la zona de máxima concentración de vapores.

La extracción debe realizarse exclusivamente por medios mecánicos.

El sistema de extracción de un túnel de secado no debe conectarse a un colector común a otros equipos, salvo cuando se trate de otros túneles de secado. En este caso la conexión común sólo podrá realizarse cuando se garantice que la puesta fuera del servicio de uno o más de los túneles no provoca una disminución del caudal extraído en los demás; al mismo tiempo los vapores procedentes de los túneles en servicio no deberán crear un riesgo en el que está parado.

Los túneles en los que la temperatura se controla mediante válvulas (manuales o automáticas) que modifican el volumen de aire caliente introducido, deben diseñarse de forma que una reducción de dicho volumen no implique una disminución del caudal de la ventilación de seguridad.

En los túneles de calentamiento indirecto mediante combustible líquido o gas, la extracción

de los humos de combustión debe realizarse mediante un ventilador independiente del sistema de extracción de los vapores generados en el túnel.

El aire aportado para la ventilación del túnel debe distribuirse lo más uniformemente posible por todo el volumen del mismo, evitando al máximo la existencia de zonas mal ventiladas.

### Caudal de extracción

#### Túneles continuos

Cuando un túnel continuo se ha diseñado para operar con un disolvente determinado y el caudal de ventilación puede controlarse con exactitud, éste puede calcularse con la fórmula 1:

$$Q_c = 3,3 \times D_L \times (100 - L.I.I.) / D_v \times L.I.I. \quad (1)$$

donde:

$Q_c$  = Caudal de ventilación, en metros cúbicos de aire a 20°C por litro de disolvente evaporado.

$D_L$  = Densidad relativa del disolvente respecto al agua.

$D_v$  = Densidad relativa del vapor del disolvente respecto al aire.

L.I.I. = Límite inferior de inflamabilidad, en porcentaje

La fórmula 1 incorpora un factor de seguridad de 4; es decir, si empleamos el caudal deducido de ella la concentración **media** del vapor del disolvente en el interior del túnel será del 25% del L.I.I.

En las tablas anexas a la referencia bibliográfica 1 pueden encontrarse los parámetros para la mayoría de los disolventes.

Cuando no se disponga de los valores precisos o sea difícil su cálculo, (mezclas), se puede emplear un caudal de 80 m<sup>3</sup> de aire (referidos a 20°C) por cada litro de disolvente evaporado.

#### Túneles discontinuos

La experiencia ha puesto de manifiesto que la naturaleza del producto del secado es el factor determinante del caudal de ventilación necesario. Distintos tipos de productos producen diferentes flujos de evaporación, y los ensayos prácticos han probado que aquél es máximo en el caso de piezas metálicas recubiertas por inmersión. Los datos obtenidos indican que, en este caso, es necesario un volumen de 3 m<sup>3</sup> de aire (en condiciones standard) por cada litro de disolvente evaporado.

Para otras clases de productos debe emplearse este mismo dato a menos de que se disponga de valores experimentales fiables sobre el flujo máximo instantáneo de disolvente evaporado (no el valor medio) durante el proceso de secado. Se recomienda que a partir de este dato se elija un caudal de ventilación que en ningún caso permita que se supere el

25% del L.LL Cuando no se dispone de dato citado puede generalmente calcularse el caudal de ventilación a emplear mediante la fórmula 2:

$$Q_d = 2,5 \times E \times Q_c \quad (2)$$

donde:

$Q_d$  = Caudal de ventilación referido a 20°C, m<sup>3</sup>/h.

E = Cantidad de disolvente evaporada en la hora de máxima evaporación.

$Q_c$  = Volumen de ventilación por litro de disolvente obtenido de la fórmula dada en el apartado de túneles continuos.

La fórmula 2 presupone que el flujo instantáneo máximo de evaporación no supera en más de 2,5 veces el flujo medio; cuando esta hipótesis pueda razonablemente incumplirse, como ocurre cuando el producto a secar es de poca capacidad calorífica por lo que se calentará muy rápidamente (papel, tejidos) o se emplean disolventes muy volátiles, el caudal así calculado puede ser insuficiente.

La bibliografía existente sobre la variación del L.L.L. con la temperatura indica que éste decrece cuando la temperatura aumenta; por tanto el caudal de ventilación por unidad de disolvente evaporado deberá ser mayor cuanto más alta sea la temperatura. Aunque los datos específicos varían bastante de un disolvente a otro, con carácter general puede acudirse a la siguiente recomendación: **El caudal calculado tal como se ha indicado es válido a temperaturas del túnel de hasta 120°C. Para temperaturas superiores el caudal debe incrementarse en un 40%.**

### Elementos de seguridad en el sistema de ventilación

Dada la importancia del equipo de ventilación para la seguridad de funcionamiento del túnel es necesario dotar a aquél de una serie de controles que aseguren que su efectividad se mantiene de forma permanente. Entre éstas destacaremos las siguientes:

- a. El sistema de calefacción y el de arrastre del material a secar no han de poder ponerse en marcha si previamente no se han puesto en funcionamiento los ventiladores de extracción y, a ser posible, los de recirculación si los hay.
- b. El fallo de cualquier ventilador debe producir la parada automática del sistema de calefacción y del mecanismo de arrastre.

Para minimizar el riesgo de que se produzca este tipo de fallo se recomienda que todos los ventiladores de extracción sean de accionamiento directo (o bien si son de accionamiento por correa se use más de una correa y se disponga de un sistema de detección de su rotura). Un buen sistema para detectar el fallo del ventilador es el empleo de indicadores de presión o caudal del aire extraído que en caso de fallo proporcionen una señal que detenga la calefacción y el arrastre.

- c. Cuando se produce una parada accidental (del conjunto del equipo o del sistema de extracción únicamente) pueden acumularse en el interior del túnel concentraciones peligrosas de vapores de disolvente; para este caso antes de poner de nuevo en marcha el equipo ha de efectuarse, mediante el sistema de extracción, una

ventilación equivalente al menos a cuatro renovaciones del aire contenido en el interior del túnel. Para que la duración de esta purga sea suficiente, un temporizador ha de impedir la puesta en marcha de los sistemas de calefacción y arrastre hasta que haya transcurrido el tiempo necesario para efectuar las cuatro renovaciones.

## Limitación de focos de ignición

Una atmósfera inflamable vapor-aire puede ser inflamada por una energía de alrededor de 25 milijulios.

Si se recapacita sobre el hecho de que una descarga electrostática puede alcanzar hasta 50 milijulios, es utópico esperar que todos los focos de ignición a ese nivel, serán eliminados y no se generarán a lo largo de los años.

La técnica de eliminación de focos de ignición es necesaria pero no garantiza un nivel de seguridad aceptable como única medida de prevención.

Los focos de ignición pueden ser agrupados en llamas, brasas, chispas y superficies calientes.

Resulta evidente que en el mismo túnel y sus alrededores, donde la manipulación de inflamantes a temperatura superior a la de la inflamación, pueden formarse mezclas inflamables, debe existir una eliminación exhaustiva de todos los focos mediante la adopción de las medidas preventivas necesarias que a continuación se resumen.

- Prohibición de fumar y de utilizar otros focos de ignición.
- Eliminar llamas desnudas (calefacción, quemadores, etc.).
- Control exhaustivo de operaciones de mantenimiento que utilicen o produzcan llamas o chispas (soldadura, corte, etc.) (NTP 30.82).
- Evitar la formación de chispas por fricción o impacto mediante el control de operaciones y mantenimiento de elementos móviles (cojinetes, engranajes, etc.).
- Continuidad eléctrica entre todas las masas metálicas y a su vez puesta a tierra para limitar la aparición de cargas electrostáticas.
- Instalación eléctrica antiexplosiva acorde con la Instrucción Complementaria MIBT 026 del Vigente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Control térmico de la instalación para limitar el riesgo de autoinflamación de los disolventes o del fluido utilizado para calefacción (ejemplo aceites térmicos cuya temperatura de autoinflamación puede estar entre 200÷300°C).
- Limpieza periódica de los túneles y conductos en donde puedan producirse condensaciones de disolvente, aceites, fibras o polvos inflamables.

Como medida especial de prevención es conveniente instalar en el interior del túnel, uno o más explosímetros de detección continua de atmósferas inflamables, que interrumpan la calefacción en caso de alcanzarse concentraciones del orden del 40% del límite inferior de inflamabilidad.

## Medidas de protección

Las medidas de protección son aquellas que se adoptan para limitar las consecuencias.

Es necesario que se adopten por cuanto puede existir un fallo de prevención, que permita un escape accidental de fluido de calefacción o combustible, un sobrecalentamiento o un fallo en el sistema de ventilación. Cualquiera de dichas eventualidades puede degenerar en una explosión de desastrosas consecuencias.

### Localización del túnel

Lo más alejado posible de otras actividades. A ser posible formando sector cortafuego RF 60 minutos mínimo.

El techo del edificio con placas ligeras de fibrocemento o similares que cedan en caso de explosión.

### Construcción-confinamiento

El túnel puede ser construido con materiales incombustibles y de forma que, las partes donde puedan depositarse residuos, sean accesibles.

Una posible medida de protección es el diseño del túnel de forma que sea capaz de resistir y confinar una explosión interior. De adoptarse tal medida hay que tener presente que las aberturas (alimentación y extracción de producto) y conducciones que nazcan o confluyan en el túnel (ventilación) deben ser a su vez diseñadas para resistir la explosión.

En la práctica esta medida sólo es de aplicación en túneles pequeños.

### Paramentos débiles

Los túneles deben ser provistos de paramentos débiles en la proporción de 1 m<sup>2</sup> cada 4,5 m<sup>3</sup> de volumen del túnel. Los paramentos débiles deben situarse uniformemente distribuidos a lo largo de todo el túnel, en el techo, o en aquellas paredes en proximidad a las cuales no existan puestos de trabajo o circulación de personas.

Se evitará la posibilidad de que por el diseño y ubicación de los paramentos, éstos puedan salir despedidos en caso de explosión, lesionando a personas. Una posible solución es sujetarlos con cables o cadenas al techo.

Los paramentos se diseñarán de forma que cedan para presiones de 0,15 kg/m<sup>2</sup> como máximo. Hay que prever un mantenimiento periódico de los mismos para que dicha condición

### Supresores

En una deflagración la velocidad de la llama no supera normalmente los 10 m/s, mientras que la onda de presión se desplaza por delante a la velocidad del sonido en el medio ( 360 m/s); es posible por tanto detectar dicha onda, disponiendo de fracciones de segundo para actuar contra la extensión de la combustión y el aumento de presión.

Los supresores de explosión son sistemas que detectan la explosión en sus inicios, y que

por una señal eléctrica hacen explosionar un recipiente que contiene una sustancia extintora (halón o polvo), que inunda el recinto en pocos milisegundos antes de que la presión crezca hasta un nivel peligroso.

En general este sistema sólo es aplicable por su coste a recintos pequeños.

## Protección de aberturas

Las aberturas en los túneles no pueden ser evitadas salvo en túneles de proceso discontinuo. En caso de deflagración, saldrá por allí el frente de llamas. Si en sus proximidades existe alguna persona, ésta resultará quemada. Es necesario que o bien dichas aberturas dispongas de baffles deflectantes que desvíen las llamas en una dirección no peligrosa, o bien que se proteja el puesto de trabajo del individuo mediante paramentos que detengan el frente de llamas.

## Bibliografía

(1) NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION

**National Fire Codes** (Volumen 1)

Boston, 1973-74

(2) FACTORY MUTUAL SYSTEM

**Handbook of Industrial Loss Prevention** (Second Edition)

McGraw-Hill Book Company. New York, 1967

(3) CASTEJON VILELLA, E., VILLANUEVA MUÑOZ, J.L.

**Condiciones de seguridad en túneles de secado por disolventes inflamables**

(Documentos Técnicos de Prevención) ITB/2112.81

Barcelona, 1981