



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ENERGÍA, TURISMO
Y AGENDA DIGITAL

SECRETARÍA DE ESTADO
DE ENERGÍA

DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA ENERGÉTICA Y MINAS

GUÍA DE SECADEROS EN LA INDUSTRIA PIROTÉCNICA



Revisión 1



FINANCIA:

**DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA Y MINAS
MINISTERIO DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL**



ELABORA:

Laboratorio Oficial J. M. Madariaga (LOM).



COLABORAN:

Jose M. Faubel Barrachina.

Pirotecnia RICASA.

Pirotecnia IGUAL, S.A

NIPO e: 084-17-011-9

La finalidad de esta Guía es su máxima utilización y difusión. No obstante, debe mencionarse explícitamente la Guía como fuente de cualquier información contenida en la misma que se utilice en acciones formativas, divulgativas o de otro tipo.

NOTA: El presente documento constituye la Revisión 1 de la “GUÍA DE SECADEROS EN LA INDUSTRIA PIROTÉCNICA”, que anula y sustituye a la anteriormente publicada.



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVO	2
3.	MECANISMO DE SECADO DE SÓLIDOS	3
3.1.	Humedad de equilibrio y humedad libre	3
4.	CINÉTICA DE SECADO	4
4.1.	Velocidad de secado en sólidos porosos.....	4
4.2.	Tiempo de secado para condiciones de secado constantes	6
5.	INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN Y LA ESTRUCTURA	8
6.	FASE PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SECADEROS	9
6.1.	Orden 27 de marzo 1992.....	9
7.	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PIROTÉCNICO A SECAR	11
7.1.	Ensayo de ESTABILIDAD TÉRMICA.....	11
7.2.	Ensayo de calorimetría diferencial de barrido	12
7.3.	Temperatura máxima de secado.....	14
7.4.	Temperatura de IGNICIÓN O descomposición.....	14
7.5.	Sensibilidad al impacto.....	15
7.6.	Sensibilidad al rozamiento	16
7.7.	Tiempo de secado y humedad	18
7.8.	Recirculación y velocidad de aire en el interior de la cámara de secado	18
7.9.	Gases inflamables durante el secado.....	19
7.10.	Gases tóxicos en la cámara de secado	19
8.	EQUIPOS Y TECNOLOGIAS DE SECADO	21



8.1.	Generalidades	21
8.2.	Secado por ventilación	23
8.2.1.	Ventilación natural	24
8.2.1.1.	Secado en cámara cubierta	25
8.2.2.	Ventilación forzada	27
8.2.2.1.	Ventilación en circuito abierto	32
8.2.2.2.	Ventilación en circuito cerrado	33
8.2.2.3.	Filtros.....	35
8.3.	Secado por calor.....	36
8.3.1.	Generador de aire caliente	37
8.3.2.	Calentamiento por resistencia	41
8.3.3.	Calentamiento por intercambiadores líquido – aire (radiadores)	44
8.3.4.	Temperatura en la cámara de secado.....	48
8.4.	Secado por deshumidificación.....	49
8.4.1.	Deshumidificación físico - química	49
8.4.1.1.	Desecador de aire por rotor desecante (silicagel)	50
8.4.1.2.	Deshumidificación por frío (ciclo termodinámico).....	52
8.5.	Secado directo al sol.....	56
8.6.	Secado por circulación de agua en superficie	59
8.7.	Hilo radiante.....	62
8.8.	Otros tipos de secado.....	63
8.8.1.	Secado por infrarrojos.....	64
8.8.2.	Exposición a ultrasonidos.....	64
9.	CAPACIDAD DE LA CÁMARA DE SECADO.....	65



10.	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE UN SECADERO	69
10.1.	Ubicación del secadero	69
10.2.	Defensas	71
10.2.1.	Defensas contra las explosiones	72
10.2.2.	Defensas contra las “bolas” de fuego y las proyecciones	74
10.3.	Características constructivas	74
10.4.	Limpieza de las cámaras de secado.....	78
11.	ACCESORIOS PARA EL SECADO DE PRODUCTOS	79
11.1.	Bandejas y bastidores.....	80
11.1.1.	Disposición de las bandejas.....	81
11.1.2.	Transporte de las bandejas	83
11.2.	Cuadro o noria para el secado de estopín	83
11.3.	Entradas y salidas de aire	83
11.4.	Conductos de drenaje	84
11.5.	Otros dispositivos	84
11.6.	Dispositivos de alarma, seguridad y control	84
12.	EQUIPOS Y DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS	86
12.1.	Selección del material eléctrico	87
12.2.	Tomas de corriente y prolongadores	88
12.3.	Calefacción eléctrica	89
12.4.	Cuadro general de distribución	89
13.	PROTECCIÓN FRENTE A LOS RIESGOS DE ELECTRICIDAD ESTÁTICA	91
13.1.	Medidas preventivas hacia los trabajadores.....	91
13.1.1.	Calzado de protección antiestático	92



13.1.2.	Ropa de protección	93
13.1.3.	Pavimento	94
14.	SEÑALIZACIÓN.....	97
15.	MEDIDAS DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS	98
16.	BIBLIOGRAFÍA.....	101

TABLAS

Tabla 1:	Clase térmica	87
Tabla 2:	Clasificación calzado	93
Tabla 3:	Tabla de extintores y clases de fuegos	99

FIGURAS

Figura 1:	Contenido total de humedad y velocidad de secado.....	4
Figura 2:	Curva de velocidad de secado para un sólido poroso.....	5
Figura 3:	Estufa.....	11
Figura 4:	Temperatura de descomposición.....	13
Figura 5:	Aparato ensayo de temperatura de descomposición	15
Figura 6:	Equipo BAM.....	16
Figura 7:	Equipo sensibilidad al rozamiento	17
Figura 8:	Ensayo de rozamiento	17
Figura 9:	Secadero de materia pirotécnica	22
Figura 10:	Tipos de secado más comunes en pirotecnia	23
Figura 11:	Influencia de la humedad relativa del aire en el secado.....	24
Figura 12:	Ventilación natural	25



Figura 13: Circulación del aire y transferencia de agua de la sustancia.....	27
Figura 14: Ventilador o impulsor de aire.....	28
Figura 15: Ventilador por sobrepresión	28
Figura 16: Ventilación por depresión	29
Figura 17: Impulsor y extractor de aire.....	29
Figura 18: Ventilación en circuito abierto.....	33
Figura 19: Ventilación en circuito cerrado	34
Figura 20: Ventilación en circuito cerrado. Impulsores en interior de la cámara de secado.....	34
Figura 21: Pantallas metálicas a tierra	36
Figura 22: Influencia de la temperatura en la materia pirotécnica	36
Figura 23: Generador de calor por caldera de calefacción	38
Figura 24: Caldera de gasoil exterior.....	38
Figura 25: Impulsor de aire	38
Figura 26: Calentamiento del aire por resistencia eléctrica	41
Figura 27: Radiador. Calentamiento por calefacción eléctrica	45
Figura 28: Formación de grietas en el color.....	48
Figura 29: Permeabilidad al vapor de agua.....	49
Figura 30: Funcionamiento de un deshumificador de aire por rotor desecante	50
Figura 31: Deshumificador de aire por rotor desecante (silicagel).....	51
Figura 32: Circuito cerrado tomando aire de la cámara de secado	52
Figura 33: Equipo de deshumificación por frío	53
Figura 34: Deshumidificación por frío.....	54
Figura 35: Secado al sol en bandejas de mezclas de color.....	57
Figura 36: Secado al sol en una bandeja de bolas de color.....	57



Figura 37: Sistema tipo A.....	60
Figura 38: Sistema tipo C.....	60
Figura 39: Sistema tipo B.....	60
Figura 40: Sistema tipo D	61
Figura 41: Esquema de diseño de cámaras de secado.....	65
Figura 42: Secadero compartimentado en ocho unidades	66
Figura 43: Dimensionamiento de las bandejas	67
Figura 44: Disposiciones de defensas.....	73
Figura 45: Diseño de la defensa en planta	73
Figura 46: Diseño de la defensa en alzado	74
Figura 47: Tipo de edificaciones.....	76
Figura 48: Configuraciones básicas de diseño (hormigón armado)	77
Figura 49: Bandejas	81
Figura 50: Bandejas en cámara de secado	81
Figura 51: Disposición de bandejas.....	82
Figura 52: Cuadro o noria.....	83
Figura 53: Secadero.....	86
Figura 54: Temperatura superficial equipo.....	88
Figura 56: Calzado de seguridad antiestático	92
Figura 57: Chaqueta y pantalón antiestático	94
Figura 58: Pictograma de protección frente a electricidad estática	94
Figura 59: Señal de peligrosidad	97



1. INTRODUCCIÓN

Los posibles accidentes con impacto sobre el medio que pueden tener lugar en las instalaciones de secado de las fábricas pirotécnicas son debidos a la aparición de reacciones incontroladas que conducen a la explosión de las mezclas pirotécnicas sometidas a secado.

Estos procesos se caracterizan por un progresivo incremento de la velocidad de generación de calor, de la temperatura y de la presión. Al principio, el calor acumulado provoca el aumento de la temperatura de la masa que está reaccionando y ésta, a su vez, provoca un aumento de la velocidad de reacción. Esto da lugar a una progresiva aceleración del proceso, dado que la velocidad de reacción depende exponencialmente de la temperatura. Este proceso autoacelerado puede ocurrir cuando menos se espera y, a veces, en procesos que tradicionalmente se habían considerado seguros, provocando a menudo, un impacto sobre el medio y, eventualmente, sobre las personas.

El secado de las materias pirotécnicas es un proceso habitual en la mayoría de las empresas de pirotecnia. A pesar de ello, no existe actualmente una reglamentación específica que regule o marque las directrices para que las instalaciones de secado sean adecuadas a sus fines, en condiciones de seguridad.

La Directiva de Máquinas 2006/42/CE, transpuesta en la reglamentación española mediante el Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas, especifica los requisitos de seguridad que deben reunir las máquinas industriales, incluidas las de uso en pirotecnias. No obstante, no se encuentran bien definidas las normas a cumplir en la construcción de secaderos pirotécnicos, puesto que no se evidencia que un secadero en su conjunto sea considerado como una máquina sino como una instalación compleja, en la que únicamente alguno de los elementos que la constituyen son considerados máquinas.

En pirotecnia no hay normas EN relativas a máquinas pirotécnicas, sin embargo, la Conselleria de Industria, Comercio y Turismo de la Generalitat Valenciana aprobó el 27 de enero de 1992 una Orden por la que se aprueba la Especificación Técnica “Maquinaria para la industria pirotécnica. Exigencias de seguridad y salubridad”.

Los principios tecnológicos para el secado de materiales pueden ser muy variados, por ello, esta guía contempla los distintos tipos de secado, y establece, en su caso, aquellas características de diseño que puedan afectar a la seguridad, dejando al mismo tiempo suficiente flexibilidad de



forma que cada industria pueda diseñarlo para su mejor aprovechamiento según sus materiales, utillaje, etc.

El diseño constructivo de los secaderos pirotécnicos, desde el punto de vista de seguridad, se ha realizado según las indicaciones del Reglamento de artículos pirotécnicos y cartuchería (Real Decreto 989 de 30 de octubre).

2. OBJETIVO

El objeto de esta guía es proporcionar unas directrices para el diseño de secaderos industriales de materias pirotécnicas, de manera que dicha máquina o instalación de secado sea adecuada a sus fines en condiciones de seguridad.

Para llevar a cabo esta guía, y previamente al desarrollo constructivo de un secadero industrial pirotécnico, es necesario realizar una evaluación de riesgos asociados a las propias mezclas o sustancias pirotécnicas a secar, consistente en el estudio y análisis del comportamiento de las distintas sustancias con la temperatura principalmente.

Para ello, se determinará inicialmente en el laboratorio las condiciones físico – químicas más adecuadas del proceso de secado, para pasar posteriormente a la realización de una serie de ensayos in situ en secaderos industriales pirotécnicos con el objetivo de determinar los parámetros físico – químicos más adecuados que deben existir en un secadero durante el proceso de secado, en función de los tipos de compuestos o mezclas pirotécnicas a secar.

Una vez realizados los distintos ensayos físico – químicos, se procederá al estudio constructivo de las cámaras de secado, máquinas y dispositivos internos y externos, dispositivos de seguridad, instalaciones eléctricas, etc.



3. MECANISMO DE SECADO DE SÓLIDOS

Se entiende por secado de un sólido a la separación parcial o total del líquido que le acompaña, por medios térmicos. El secado difiere de la evaporación en los aspectos más esenciales, que son los aparatos, los métodos y los productos. En la evaporación, el líquido se elimina por ebullición, mientras que en el secado, el líquido es arrastrado por el aire en forma de vapor, a temperatura generalmente inferior a la de ebullición. Las mezclas tratadas a ebullición suelen contener más líquido que sólido, mientras que en el secado sucede lo contrario.

Si el cuerpo higroscópico está en contacto con aire en condiciones determinadas, su humedad tiende hacia un valor de equilibrio, que se alcanza cuando la tensión de vapor del cuerpo higroscópico es igual a la presión parcial del vapor de agua en el aire. A cada humedad del cuerpo le corresponde en el equilibrio una humedad relativa del aire. De esta forma, cuando un sólido húmedo se pone en contacto con aire de una humedad inferior a la correspondiente al contenido de humedad del sólido, el sólido tiende a perder humedad y secarse hasta alcanzar el equilibrio con el aire. Cuando el aire es más húmedo que el sólido en equilibrio con él, el sólido absorbe humedad del aire hasta que se alcanza el equilibrio.

3.1. HUMEDAD DE EQUILIBRIO Y HUMEDAD LIBRE

El aire que entra en un secadero no suele estar completamente seco, sino que contiene algo de humedad y posee una humedad relativa definida. Para un aire de humedad definida el contenido de humedad del sólido que sale del secadero no puede ser inferior al contenido de humedad de equilibrio correspondiente a la humedad del sólido que entra. La porción de agua del sólido húmedo que no puede ser separada por el aire que entra, debido a la humedad de éste, recibe el nombre de humedad de equilibrio.

La humedad libre es la diferencia entre el contenido total de agua del sólido y el contenido de agua en el equilibrio, es decir, es la humedad que puede perder el sólido después de un contacto suficientemente prolongado con aire en condiciones constantes. Por tanto, si X_T es el contenido total de humedad y X^* es el contenido de humedad de equilibrio, la humedad libre X viene dada por:

$$X = X_T - X^*$$



4. CINÉTICA DE SECADO

Cualquiera que sea el tipo de la instalación a emplear, para determinar la capacidad del equipo o bien el tiempo de secado, es necesario efectuar ensayos de velocidad de secado del material. Estos ensayos se realizan en condiciones constantes de secado: las condiciones del aire (presión, temperatura, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo y varían muy poco desde la entrada hasta la salida. A intervalos regulares se determinan por pesada la humedad del cuerpo; de los datos humedad-tiempo se deduce la curva de velocidad de secado. La velocidad de secado se calcula por la pérdida de humedad en la unidad de tiempo.

A medida que transcurre el tiempo, el contenido de humedad X_t disminuye generalmente como se representa en la Figura 1. Después de un corto periodo de tiempo en el que sigue el calentamiento, la representación gráfica se hace lineal, posteriormente se curva hacia el eje de abscisas y finalmente se hace horizontal. La velocidad de secado se representa mediante la línea B, que es horizontal durante una buena parte de su longitud (velocidad constante), luego se curva hacia abajo y, eventualmente, cuando el material llega hasta su contenido de humedad de equilibrio, alcanza el valor cero.

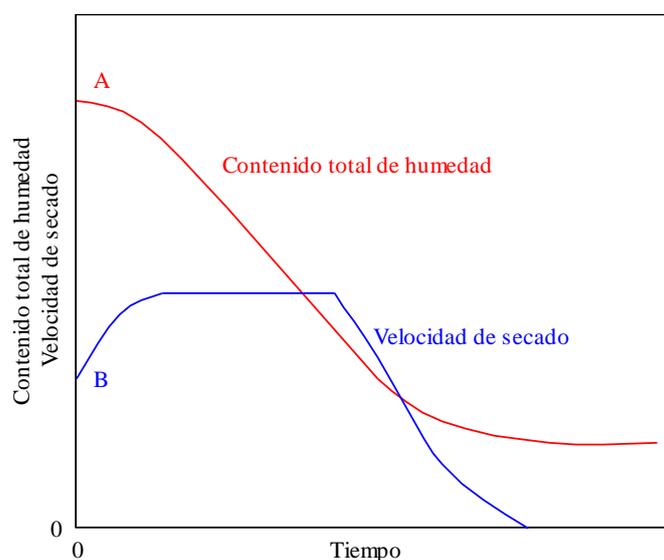


Figura 1: Contenido total de humedad y velocidad de secado

4.1. VELOCIDAD DE SECADO EN SÓLIDOS POROSOS



Cuando se pone en contacto con aire un material húmedo, el agua se evapora de su superficie, difundiéndose en forma de vapor a través de la película de aire que la cubre. La concentración de humedad en la superficie disminuye, lo que origina un gradiente de concentraciones entre la zona interna del material y su superficie, que obliga al agua a difundirse hacia el exterior del cuerpo, o bien a ascender por capilaridad. En el momento en que el caudal con que el agua asciende hacia la superficie es igual al caudal de evaporación, la velocidad de secado se hace independiente del contenido en humedad del bloque suponiendo que la humedad, velocidad y temperatura del aire permanecen constantes.

En la Figura 2 se presenta una curva típica de velocidad de secado por un sólido poroso que tiene poros pequeños. Mientras el aporte de agua desde el interior hasta la superficie es suficiente para mantener la superficie completamente mojada, la velocidad de secado es constante. Los poros se van vaciando progresivamente de agua, y en el punto crítico la capa superficial de agua comienza a retroceder hacia el interior del sólido. Esto se inicia en los poros más grandes. Los puntos altos situados sobre la superficie del sólido comienzan a emerger del líquido y el área disponible para transferencia de materia desde el sólido hacia el aire disminuye. Por tanto, aunque la velocidad de evaporación por unidad de área mojada no se modifica, la velocidad basada sobre la superficie total, incluyendo tanto el área seca como la mojada, es menor que en el período de velocidad constante. La velocidad continúa disminuyendo a medida que aumenta la fracción de superficie seca.

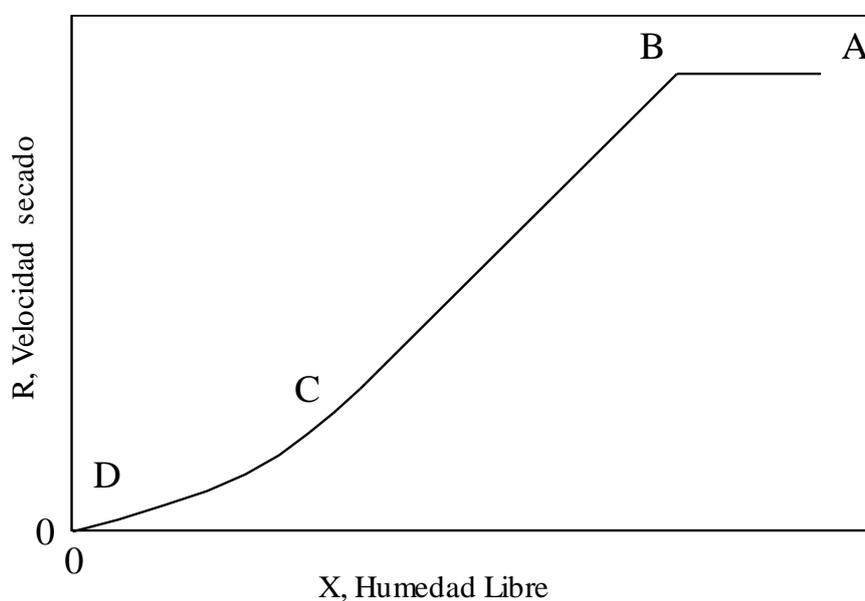


Figura 2: Curva de velocidad de secado para un sólido poroso



La primera fase de velocidad decreciente se representa por medio de la línea BC en la Figura 2. La velocidad de secado durante este período depende de los mismos factores que actúan durante el período de velocidad constante, puesto que el mecanismo de evaporación no varía y la zona de vaporización está en la superficie o próxima a ella. El agua en los poros es la fase continua y el aire es la fase dispersa. En el primer período de velocidad decreciente la curva de velocidad de secado es generalmente lineal.

A medida que se va eliminando el agua del sólido, la fracción del volumen de poros que es ocupada por el aire aumenta, de manera que cuando la fracción alcanza un cierto límite, el agua retirada es insuficiente para mantener una película continua a través de los poros. Estos poros se llenan de aire transformándose en la fase continua.

El agua que queda está confinada en pequeñas masas aisladas en los rincones e intersticios de los poros. Cuando aparece este estado, la velocidad de secado disminuye de nuevo bruscamente tal como muestra la línea CD de la Figura 2. El contenido de humedad para el cual se produce el cambio, representado por el punto C recibe el nombre de segundo punto crítico, y el período que en él se inicia se llama segundo período de velocidad decreciente.

En este período final de secado la velocidad de vaporización es prácticamente independiente de la velocidad del aire. El vapor de agua se tiene que difundir a través del sólido, y el calor de vaporización ha de transmitirse hasta las zonas de vaporización por conducción a través del sólido. En el sólido se establecen gradientes de temperatura, y la temperatura de la superficie del sólido se acerca a la temperatura húmeda del aire.

4.2. TIEMPO DE SECADO PARA CONDICIONES DE SECADO CONSTANTES

En el diseño de secaderos una variable importante es el tiempo que se requiere para secar el material en las condiciones existentes en el secadero, ya que esta variable determina el tamaño del equipo que se necesita para obtener una eficacia determinada. El tiempo de secado de una determinada materia corresponde al tiempo transcurrido desde el inicio del secado hasta aquel en el cual el peso de la muestra empieza a permanecer constante.

Por otro lado, para un secado en condiciones constantes del flujo de aire, se puede determinar este tiempo a partir de la correspondiente curva experimental de la velocidad de secado, siempre y cuando pueda disponerse de la misma. Para ello, el tiempo necesario para secar una muestra desde un cierto contenido de humedad X_1 a otro X_2 puede calcularse resolviendo gráficamente la ecuación siguiente:



$$t_T = \frac{m_s}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{R}$$

siendo:

t_T = tiempo total de secado.

m_s = masa del sólido seco.

A = área de secado.

X = contenido de humedad libre.

R = velocidad de secado (función de la humedad libre).



5. INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN Y LA ESTRUCTURA

Hay numerosas variables que influyen sobre la humedad de equilibrio, entre las que cabe destacar, según la escasa bibliografía existente, las relacionadas con la composición, la superficie específica y la distribución porosimétrica del material a secar.

La industria pirotécnica utiliza como materia prima productos químicos que pueden presentar oscilaciones en su composición, lo que da lugar a variaciones en el comportamiento de las mezclas durante el proceso de secado.

La presencia de materia orgánica suele incrementar la humedad de equilibrio, es decir hace más higroscópico el material.

La porosidad de la mezcla no parece afectar demasiado a la humedad de equilibrio, al menos hasta humedades relativas del orden de 0,5 (intervalo en el que el agua se retiene casi exclusivamente por adsorción), ya que a partir de este valor, el sólido retiene agua mayoritariamente por capilaridad.

Si se considera el tamaño de partícula, cuanto menor sea el tamaño de partícula del producto utilizado, mayor será la superficie específica, así como la humedad de equilibrio.

En principio se puede prever que una mezcla pirotécnica que posee una superficie específica interna elevada tendrá una mala aptitud de secado, pero la inversa no es siempre cierta.



6. FASE PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SECADEROS

Las etapas que constituyen el proceso para el diseño y construcción de secaderos de material pirotécnico desde el punto de vista de la seguridad, son las siguientes.

- 1. Caracterización del material pirotécnico sometido a ensayo.**
- 2. Definición de la temperatura, tiempo y velocidad de secado.**
- 3. Capacidad de la cámara de secado.**
- 4. Características constructivas del secadero.**
- 5. Ubicación del secadero en el taller de pirotecnia.**
- 6. Selección de la tecnología de secado y ubicación en la cámara de secado.**
 - Identificación de los peligros asociados al proceso de secado, en función de la tecnología seleccionada.
 - Definición de las medidas de seguridad en la cámara de secado, para evitar o minimizar el riesgo de incendio y/o explosión, en función de la tecnología de secado.
- 7. Definición y construcción de accesorios o útiles necesarios para el secado (bandejas, bastidores, etc.).**
 - Identificación de los peligros asociados al proceso de secado, en función del utillaje empleado.
 - Definición de las medidas de seguridad en la cámara de secado, para evitar minimizar el riesgo de incendio y/o explosión, en función del utillaje empleado.
- 8. Especificaciones y certificación de los equipos y máquinas utilizadas dentro y fuera de la cámara de secado.**
- 9. Equipos de protección contra incendios.**
- 10. Disposiciones operativas desde el punto de vista de la seguridad.**

6.1. ORDEN 27 DE MARZO 1992

La actividad industrial en los talleres de pirotecnia conlleva unos riesgos específicos por las características de las materias empleadas. La maquinaria utilizada en el secado de estas materias y productos pirotécnicos tiene una parte importante en los riesgos de accidentes que pueden producirse, por lo que deben tomarse ciertas medidas para poder omitirlos, o sino reducirlos.



Por ello la Consellería de Industria, Comercio y Turismo de la Comunidad Valencia en el año 1992 emitió una orden para establecer los requisitos técnicos de seguridad exigibles en la industria pirotécnica. Dicha Orden solo es de aplicación en la Comunidad Valencia.

Los requisitos de seguridad que se exigen a todas las máquinas empleadas en la industria pirotécnica son los siguientes:

- Cada máquina, estará diseñada y fabricada según las distintas materias de carga con las que trabaja. Por ello, toda máquina, desde su diseño y fabricación, tendrá definidos el o los procesos de trabajo, sin poder modificar el usuario ningún parámetro que pueda alterar el proceso establecido.
- Se definirá el valor más desfavorable de cada materia de carga o mezcla más sensible, para los siguientes parámetros:
 - Temperatura de inflamación;
 - Sensibilidad al frotamiento o fricción;
 - Sensibilidad al choque.
- Ningún punto de la máquina que esté en contacto con la materia reglamentada tendrá una temperatura superior al 50% de la temperatura de inflamación.
- Se limitará el recorrido mecánico del grupo compresor para evitar su contacto con la matriz.
- Los límites de recorrido deben realizarse mediante finales de carrera con sistemas redundantes.
- Los materiales de la máquina que estén en contacto con la materia de carga no podrán producir chispas electrostáticas o mecánicas por choques o rozamientos peligrosos.
- Las piezas que en su desplazamiento en presencia de material pirotécnico puedan rozar o chocar entre sí, no podrán ser ambas de hierro ni acero, incluido el inoxidable.
- Según la sensibilidad de la materia de carga a los parámetros de rozamiento y choque se definirán valores de la presión de carga y velocidad de aplicación.

7. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PIROTÉCNICO A SECAR

Desde el punto de vista de la seguridad, el factor más importante a controlar durante la operación de secado de las distintas sustancias pirotécnicas corresponde a la temperatura en el interior de la cámara de secado, para evitar la aparición de reacciones incontroladas que pudieran dar lugar a la explosión de las mezclas pirotécnicas sometidas a secado.

Para poder establecer la temperatura máxima de secado es necesario realizar ensayos térmicos en el laboratorio para analizar el comportamiento de las distintas mezclas pirotécnicas que van a someterse a secado con la temperatura.

7.1. ENSAYO DE ESTABILIDAD TÉRMICA

Se somete a la muestra a una temperatura constante de 75 °C durante 48 horas y se observa la existencia de alguna reacción (descomposición, deflagración, explosión). Este ensayo se realizará de acuerdo a la norma UNE-EN 13631 -2.



Figura 3: Estufa

La estufa monitoriza la temperatura y se registra la pérdida de masa provocada por la temperatura. No se deben presentar signos de reacción durante el ensayo.



7.2. ENSAYO DE CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO

La temperatura de descomposición de una sustancia explosiva corresponde a la más baja temperatura a la cual una determinada cantidad de la sustancia, calentada bajo unas determinadas condiciones, se descompone dando lugar a una generación de calor. Esta descomposición puede ocurrir por ignición o por deflagración o explosión.

El conocimiento de la temperatura de descomposición de las materias primas pirotécnicas sometidas a secado es sumamente importante, puesto que necesariamente las condiciones físico-químicas de la cámara de secado deben dar lugar a que la temperatura a la cual tiene lugar el proceso de secado sea siempre inferior a la temperatura de descomposición más baja de las distintas sustancias o componentes de las mismas a secar, puesto que en caso contrario se iniciaría un proceso de descomposición unido a un aumento de temperatura que podría dar lugar a reacciones exotérmicas en cadena de otras sustancias, finalizando en una importante explosión de la cámara de secado.

La finalidad del ensayo reside en medir los intercambios de calor sufridos por la muestra, por comparación con una muestra de referencia, determinando cuantitativamente los procesos exotérmicos y endotérmicos. El ensayo consiste en calentar la muestra en un crisol de aluminio, siguiendo un grado de calentamiento constante previamente fijado; se mide la diferencia de temperatura entre la muestra y la referencia y se registra frente a la temperatura del horno.

Para poder obtener unos resultados razonables y comparables, es necesario seguir las siguientes condiciones o requerimientos:

- El material del crisol o portamuestras debe ser inerte a la sustancia (por ejemplo, vidrio, acero inoxidable, etc).
- La pureza y composición de la sustancia ensayada debe ser igual que la correspondiente a la sustancia inicial de la cual procede.
- La muestra debe ser representativa para la composición de la sustancia ensayada.
- La muestra debe ser ensayada en condiciones atmosféricas normales.
- El ratio de calentamiento no debe exceder de 5 K/min.
- Los efectos de una evaporación endotérmica no deben interferir en la observación de las reacciones exotérmicas para evitar posibles distorsiones en los resultados (usar crisoles cerrados).



- Los ensayos deben ser repetidos bajo condiciones razonablemente diferentes (por ejemplo utilizando una mayor cantidad de muestra) cuando los resultados reproducibles no son obtenidos usando el proceso estándar.

La temperatura de descomposición es la correspondiente al pico inicial extrapolado de una reacción de descomposición exotérmica, obtenido en la representación gráfica del resultado del ensayo (Figura 4). Para determinar esta temperatura hay que calcular la intersección entre la línea de la base del pico y la tangente mayor a la curvatura del mismo o a una línea auxiliar correspondiente a la parte lineal del pico exotérmico.

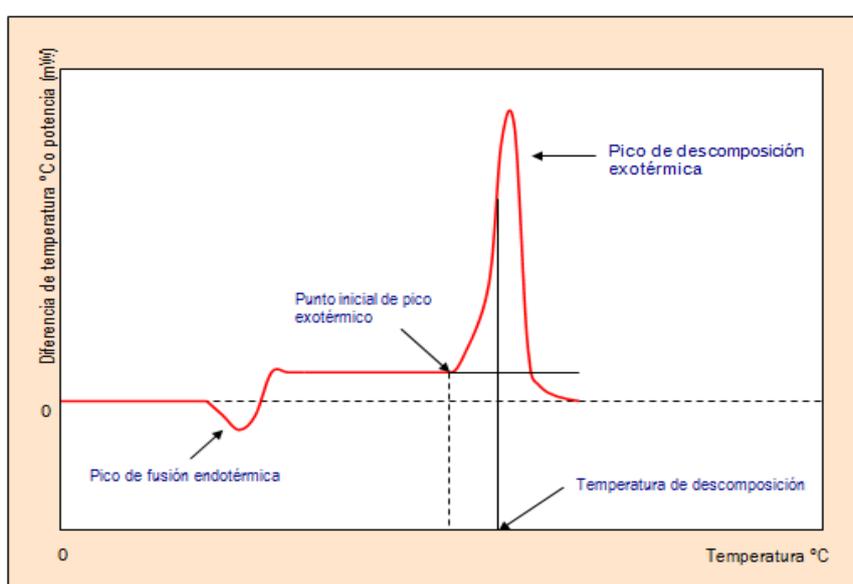


Figura 4: Temperatura de descomposición

Si bien la reacción exotérmica indica una descomposición originada por una ignición, deflagración o explosión, la reacción endotérmica puede ser debida probablemente, excluyendo la pérdida de humedad, a la existencia de algún cambio de estado o recristalización de alguno de los componentes de las mezclas. Estas reacciones endotérmicas ocurridas en el seno de las mezclas cuando son sometidas a un calentamiento, podrían hacer variar las características o comportamientos de las mismas. Por ello, aunque desde un punto de vista de seguridad durante el proceso de secado no supone un riesgo de incendio o explosión, al no desprenderse calor, es recomendable que la temperatura en el interior de la cámara de secado no sobrepase aquella a la cual tienen lugar reacciones endotérmicas en las mezclas.



7.3. TEMPERATURA MÁXIMA DE SECADO

La temperatura máxima admitida en la cámara de secado debería ser inferior a la temperatura de descomposición más baja del material a secar, descontando un factor de seguridad del orden de 60 K.

$$T. \text{ máxima de secado} \leq T. \text{ de descomposición} - 60k$$

Si se van a secar sustancias pirotécnicas desconocidas o que puedan suponerse problemáticas o peligrosas, será conveniente realizar ensayos en laboratorio para determinar sus características físico-químicas, y principalmente la temperatura de descomposición, con objeto de regular la temperatura en el interior de la cámara de secado para evitar así el riesgo de accidente consecuencia de la explosión originada por unas condiciones severas de temperatura en el secado.

7.4. TEMPERATURA DE IGNICIÓN O DESCOMPOSICIÓN

Este ensayo tiene por objeto determinar la temperatura a la cual se inicia una reacción (descomposición, deflagración, etc.) en las sustancias pirotécnicas cuando se les somete a un calentamiento progresivo a velocidad constante. Este ensayo se realizará de acuerdo con la norma UNE 31.017:1994.

Se somete a la muestra a un calentamiento progresivo y se observa la temperatura a la cual se inicia una reacción (descomposición, deflagración o explosión). Los resultados de esta prueba son puramente informativos, sirve para determinar la temperatura superficial de los equipos de trabajo, proceso o instalaciones de acuerdo a lo establecido en la ITC 13 del Reglamento de Explosivos.

La ITC 13 establece que la máxima temperatura superficial de los equipos eléctricos instalados en zonas clasificadas debe ser al menos 75 °C inferior a la mínima temperatura de descomposición o ignición determinada según la norma UNE 31017:1994, para cada una de las posibles materias o mezclas explosivas que puedan presentarse en las zonas Z0, Z1 y Z2, sin exceder en ningún caso los 200 °C

$$T_{max} = T_{descomposición} - 75^{\circ}\text{C}$$



Figura 5: Aparato ensayo de temperatura de descomposición

Por tanto, para las clases térmicas de los equipos eléctricos diseñados para operar en atmósferas explosivas quedarán establecidas las siguientes temperaturas mínimas de descomposición de las sustancias pirotécnicas que puedan entrar en contacto con estos equipos.

Clase de temperatura del material eléctrico	Temperatura superficial máxima del material eléctrico	Temperatura de descomposición/ignición de la sustancia pirotécnica/explosiva
T1	450°C	≥525°C
T2	300°C	≥375°C
T3	200°C	≥275°C
T4	135°C	≥210°C
T5	100°C	≥175°C
T6	85°C	≥160°C

La temperatura de ignición depende de varios parámetros tales como granulometría, composición química, densidad, humedad, etc. Aunque en los valores existentes en la bibliografía se pueden emplear como valores de referencia, estos nunca se deben de generalizar, siendo necesarios realizar los ensayos para una comprobación del material que se vaya a emplear.

7.5. SENSIBILIDAD AL IMPACTO

Este ensayo consiste en dejar caer sobre una muestra de sustancia pirotécnica confinada un peso de masa conocida y comprobar si dicha sustancia reacciona o no por el impacto. Este



ensayo se realizará de acuerdo a la norma UNE-EN 13631-4 “Determinación de la sensibilidad de impacto de los explosivos”.



Figura 6: Equipo BAM

Este ensayo mide la energía mínima de impacto a la cual se produce la explosión ya que durante el impacto no se aplica ninguna fricción significativa sobre la muestra.

La sensibilidad al impacto debe ser superior a 2J

La sensibilidad al impacto depende de varios parámetros tales como granulometría, composición química, densidad, humedad, etc. Aunque en los valores existentes en la bibliografía se pueden emplear como valores de referencia, estos nunca se deben de generalizar, siendo necesarios realizar los ensayos para una comprobación del material que se vaya a emplear.

7.6. SENSIBILIDAD AL ROZAMIENTO

Este ensayo se realizará de acuerdo a la norma UNE-EN 13631-3 “Determinación de la sensibilidad al rozamiento en los explosivos”. Una muestra de explosivo/pirotecnia se coloca en una placa cerámica rugosa y un punzón de cerámica presiona la muestra a una carga específica. La placa se mueve para aplicarle un rozamiento a la muestra.

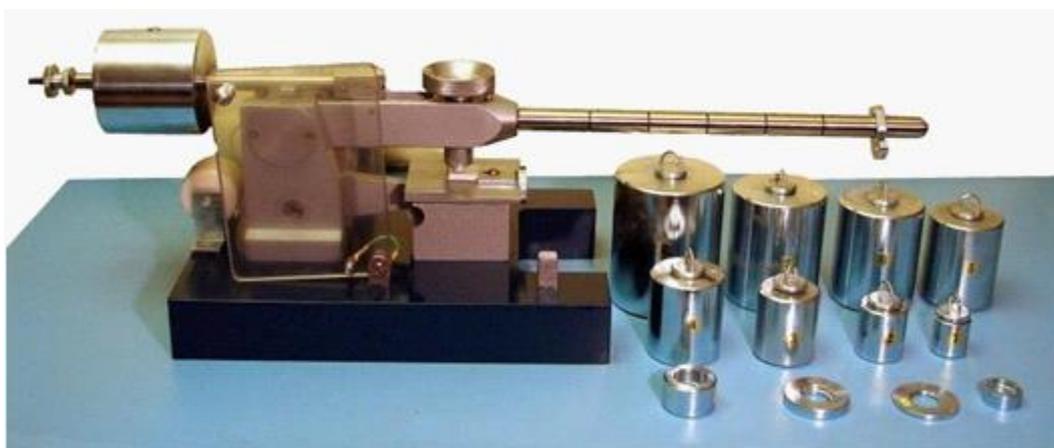


Figura 7: Equipo sensibilidad al rozamiento

Este ensayo mide la fuerza de fricción más baja a la cual se produce la explosión.

La sensibilidad al rozamiento debe ser superior a 80N

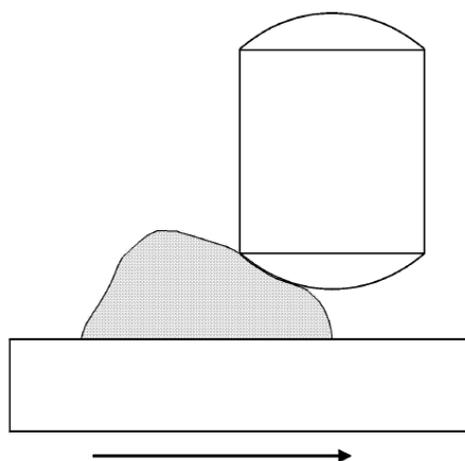


Figura 8: Ensayo de rozamiento

La sensibilidad al rozamiento depende de varios parámetros tales como granulometría, composición química, densidad, humedad, etc. Aunque en los valores existentes en la



bibliografía se pueden emplear como valores de referencia, estos nunca se deben de generalizar, siendo necesarios realizar los ensayos para una comprobación del material que se vaya a emplear.

7.7. TIEMPO DE SECADO Y HUMEDAD

Desde el punto de vista de la seguridad, un tiempo de secado excesivo puede resultar peligroso principalmente si se encuentra asociado a un aporte de calor en el interior de la cámara de secado. El cálculo del tiempo de secado puede llevarse a cabo realizando, de una manera continua o a pequeños intervalos regulares de tiempo (por ejemplo cada hora) y bajo unas condiciones constantes del flujo de aire (velocidad, temperatura, presión y humedad), una serie de medidas de la masa de la muestra hasta que ésta permanezca constante.

En cuanto a la humedad relativa en el ambiente interno de la cámara de secado, unos niveles iguales o superiores al 60% reducen, en general, la posibilidad de acumulación de cargas electrostáticas¹. Por contra, una humedad relativa elevada en el interior de la cámara de secado implica una menor eficacia y rendimiento del sistema de secado.

7.8. RECIRCULACIÓN Y VELOCIDAD DE AIRE EN EL INTERIOR DE LA CÁMARA DE SECADO

La recirculación de aire en el interior de la cámara de secado debe ser tal que no permita la saturación del aire interior y a su vez no provoque el movimiento de polvo explosivo en suspensión. Para ello, habrá que prever bocas de salida del aire de la cámara, siendo de pequeñas aberturas situadas preferiblemente en la parte opuesta a la entrada para favorecer la circulación de aire en el interior y así poder realizar un barrido lo más completo posible. Según lo establecido en la bibliografía, la recirculación de aire recomendada oscila entre 20 y 30 veces a la hora.

La velocidad del aire en la boca de entrada a la cámara de secado no debe dar lugar al levantamiento de polvo de las mezclas pirotécnicas. Para ello se puede actuar bien disminuyendo el caudal del equipo impulsor de aire, bien aumentando la superficie de los

¹ El Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, en su Anexo III: Condiciones ambientales, establece que en locales donde existan riesgos por electricidad estática la humedad relativa no será inferior al 50%.



orificios o ranuras de entrada del aire a la cámara de secado, o bien ubicando las sustancias a secar a una mayor distancia de la boca de entrada de aire.

Como valor orientativo, la velocidad del aire de secado en el orificio de entrada a la cámara de secado, obtenido de mediciones efectuadas en varios secaderos pirotécnicos, es del orden de 1 m/s.

7.9. GASES INFLAMABLES DURANTE EL SECADO

La impureza, inestabilidad, sensibilidad a la temperatura, y composición de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado, puede dar lugar al desprendimiento de gases inflamables durante este proceso de secado. A este respecto, y durante la monitorización *in situ* de los dos secaderos pirotécnicos, se analizó de manera continua durante el proceso de secado la concentración de gases inflamables, resultando nula durante todo el proceso de secado, lo que parece indicar que los compuestos orgánicos empleados en la fabricación de las muestras se han evaporado antes de entrar a la cámara de secado, además de tratarse de concentraciones muy pequeñas.

Sin embargo, y como medida preventiva, es recomendable disponer de salidas de aire adecuadas, y para un secado en circuito cerrado trabajar inicialmente en circuito abierto durante las 8 horas iniciales del secado, con objeto de renovar el aire de la cámara de secado y evitar concentraciones peligrosas en caso de emanaciones de gases inflamables, o bien dejar las materias al aire libre durante dicho periodo.

7.10. GASES TÓXICOS EN LA CÁMARA DE SECADO

Al igual que sucede con los gases inflamables, las impurezas, la inestabilidad, la sensibilidad a la temperatura, y la composición de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado, pueden dar lugar al desprendimiento de gases tóxicos durante el proceso de secado. Por eso es recomendable medir la concentración de los gases CO, NO₂, NO y SO₂ durante el secado.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo establece un límite máximo de 75 ppm de CO que no debe superarse durante más de 30 minutos, y un límite superior de 125 ppm que no debe superarse en ningún momento, considerando en estos casos la entrada puntual de los trabajadores. A este respecto, se debería impedir la entrada de personal al secadero durante el proceso de secado.



Por otro lado, el sistema de ventilación debe asegurar una rápida evacuación y dilución de la concentración de los posibles gases tóxicos emanados de las sustancias pirotécnicas durante el proceso de secado. Por ello, es recomendable disponer de salidas de aire adecuadas, y para secados en circuito cerrado se recomienda trabajar inicialmente en circuito abierto durante las primeras 8 horas, con objeto de renovar el aire de la cámara de secado y evitar concentraciones peligrosas en caso de emanaciones de gases inflamables, o bien dejar las materias al aire libre durante dicho periodo.



8. EQUIPOS Y TECNOLOGIAS DE SECADO

El fabricante deberá efectuar las investigaciones y pruebas necesarias sobre los componentes, los accesorios o la maquinaria en su totalidad para determinar si el diseño del secadero proporciona seguridad. A estos efectos, se deberán tener en cuenta el tipo de maquinaria, la caracterización de la materia pirotécnica y cualquier otra característica que pueda afectar a la seguridad de los trabajadores.

8.1. GENERALIDADES

Existen numerosos tipos de aparatos de secado, que se ajustan a los diversos materiales y las diferentes condiciones a que han de someterse. La clasificación de los aparatos puede efectuarse con arreglo a varios criterios basados en estos aspectos fundamentales:

- Tipo de materiales tratadas.
- Métodos de calefacción
- Modo de funcionamiento (continuo, semicontinuo o discontinuo).

Naturaleza de las sustancias a desecar: es indudable que el modo en que se dispone el secado dependerá en primer término del tipo de materia que va a someterse a desecación. El secado de una materia granular es distinto que el de otra que se presenta en forma pastosa, y éste también diferente del secado de una hoja o lámina continua, como puede ser el papel. En cada caso se emplean métodos diferentes y aparatos también diferentes.

Método de calefacción: aquí se atiende preferentemente a los aparatos en los que el secado tiene lugar por contacto directo del producto con una corriente de aire. En alguno de estos aparatos puede existir calefacción indirecta además de la directa.

Modo de funcionamiento: la desecación se produce por contacto con el aire caliente. La calefacción de éste puede efectuarse en el exterior del aparato o bien al pasar sobre elementos de calefacción colocados en el interior. La circulación del aire se activa mediante un ventilador y a veces se dirige por medio de tabiques. Las materias granulares o pulverulentas, se colocan en bandejas. En todo caso, es interesante distribuir el producto de modo que las corrientes de aire alcancen a todas sus partes con la misma intensidad.

Los productos granulares pueden disponerse sobre telas o sobre bandejas perforadas, haciendo que el aire pase a su través. De este modo se consigue una circulación más efectiva y, en

consecuencia, un secado más rápido. Los secaderos pirotécnicos son utilizados para secar las distintas mezclas correspondientes a los variados efectos y colores de los artificios pirotécnicos, puesto que ellas son las que, en realidad, necesitan de una humectación para su elaboración en las fábricas. El material pirotécnico más problemático es el que está configurado en forma de bolas mediante varias capas de formulaciones distintas.



Figura 9: Secadero de materia pirotécnica

En el esquema siguiente se recogen los sistemas más comunes utilizados por el sector pirotécnico para efectuar el secado de las mezclas pirotécnicas.

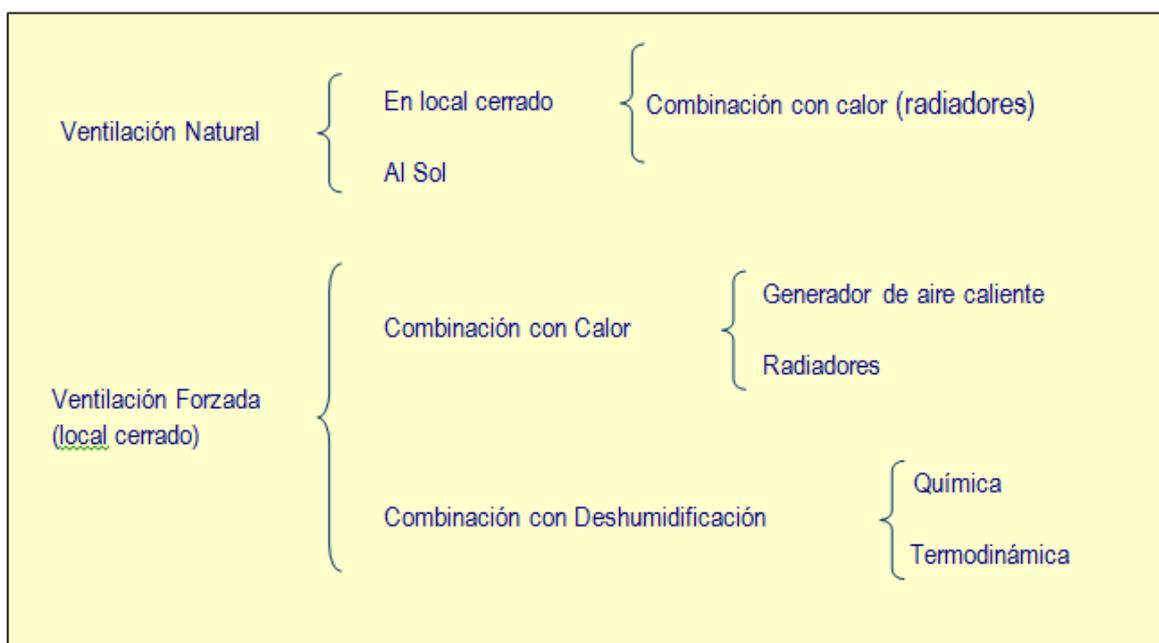


Figura 10: Tipos de secado más comunes en pirotecnia

8.2. SECADO POR VENTILACIÓN

La transferencia de vapor de agua desde las materias al aire que la rodean, es la forma más natural de secado, de manera que los materiales van reduciendo su humedad relativa, y el aire la va aumentando (Figura 11). Cuanto más seco es el aire que rodea a las materias pirotécnicas más eficiente es el secado, por ello, para un buen secado, hay que ir renovando el aire que rodea a las sustancias mediante ventilación.

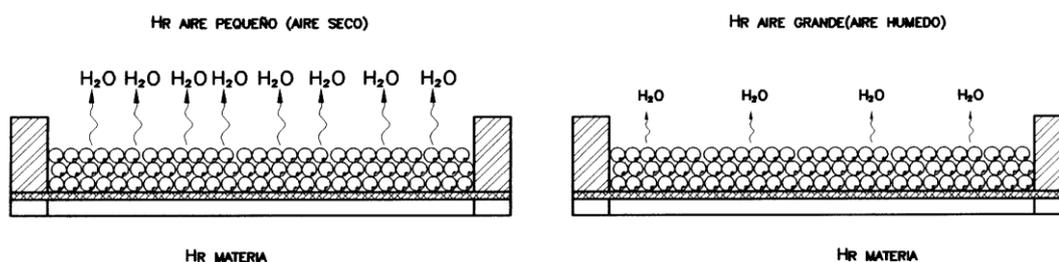


Figura 11: Influencia de la humedad relativa del aire en el secado

Atendiendo a la causa que origina la ventilación podemos considerar la ventilación natural y la ventilación forzada.

8.2.1. VENTILACIÓN NATURAL

En la ventilación natural el aire circula libremente alrededor de las sustancias pirotécnicas, bien dispuestas a la intemperie en el exterior, o bien en el interior de una cámara con algún tipo de extracción natural, de tipo estático. Este medio es muy simple y seguro, aunque la eficiencia no es muy elevada, dependiendo en gran medida de las condiciones atmosféricas.

La ventilación natural es la que se practica en un recinto o cámara de secado renovando todo el volumen de aire del mismo por otro de procedencia exterior, sin la utilización de ningún tipo de ventilador o impulsor de aire (Δ), sino únicamente mediante aperturas de entrada y salida de aire debidamente protegidas, por ejemplo con una malla metálica resistente y con una luz lo más pequeña posible, para evitar la entrada de chispas, roedores y objetos.

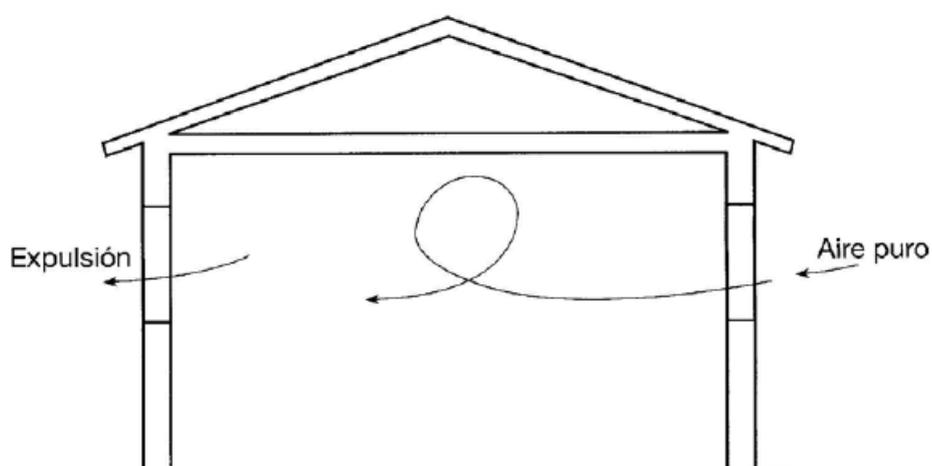


Figura 12: Ventilación natural

8.2.1.1. SECADO EN CÁMARA CUBIERTA

En este caso, la ventilación natural se practica en un recinto o cámara de secado renovando todo el volumen de aire del mismo por otro de procedencia exterior, si la utilización de ventiladores o impulsores de aire, sino únicamente mediante aperturas de entrada y salida de aire.

1. Riesgos asociados al proceso de secado

a. Incendio y/o explosión

- Fuente: descomposición exotérmica del material pirotécnico o concentración explosiva de gases inflamables desprendidos de las sustancias durante el proceso de secado. Causas.
 - Temperatura en el ambiente exterior elevada.
 - Sustancias pirotécnicas sensibles a la temperatura.
 - Sustancias pirotécnicas incompatibles.
 - Escasa renovación del aire asociada a una temperatura ambiente elevada.
 - Desprendimiento de gases inflamables debido a la utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos inflamables en la fabricación de las sustancias pirotécnicas.
- Fuente: chispa de origen eléctrico o temperatura elevada en dispositivos eléctricos. Causas.



- Modo y grado de protección insuficiente en los dispositivos eléctricos existentes en el interior de la cámara de secado
 - Material eléctrico en mal estado.
 - Temperatura superficial del dispositivo elevada.
 - Fuente: chispa de origen estático. Causas.
 - Temperatura elevada o humedad relativa excesivamente baja.
 - Materiales no antiestáticos.
 - Inexistencia de conexiones a tierra.
 - Velocidad del flujo de aire de secado elevada que pueda cargar electrostáticamente las sustancias.
 - b. Inhalación de vapores tóxicos
 - Fuente: Generación o emanación de vapores tóxicos de las sustancias pirotécnicas durante el proceso de secado. Causas:
 - Escasa renovación del aire.
 - Utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos en la fabricación de sustancias pirotécnicas, que pueden dar lugar a la formación de vapores tóxicos durante el secado.
 - Sustancias pirotécnicas inestables a temperaturas moderadas.
- 2. Medidas preventivas asociadas al proceso de secado**
- Caracterización de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.
 - Temperatura de descomposición.
 - Tiempo necesario para el secado.
 - Velocidad de secado.
 - Compatibilidad de sustancias
 - Aberturas de ventilación insuficientes para una correcta renovación del aire.
 - Permanecer las sustancias al sol el tiempo suficiente para la evaporación de posibles compuestos tóxicos e inflamables, previamente a la introducción de las sustancias en la cámara de secado.
 - Equipos y material eléctrico adecuado.
 - Conexiones a tierra de todo el material susceptible de ser cargado electrostáticamente.
- 3. Ventajas**
- Sistema de secado económico.
 - Las materias pirotécnicas se encuentran protegidas frente a agresiones externas, a diferencia del secado directo al sol.

- Las aberturas de ventilación favorecen la renovación de aire y salida de vapores tóxicos o inflamables emanados de las sustancias pirotécnicas.

4. Inconvenientes

- La temperatura, el tiempo y la velocidad de secado en el interior de la cámara no se pueden controlar, lo que incrementa el riesgo de incendio y explosión.
- Rendimiento del proceso de secado bajo, pues depende de las condiciones ambientales.
- Necesita un número suficiente de aberturas de ventilación, las cuales deben estar debidamente protegidas frente a las agresiones externas.

8.2.2. VENTILACIÓN FORZADA

La ventilación forzada a diferencia de la ventilación natural es la que se practica en una cámara de secado utilizando un equipo impulsor y/o extractor de aire, mediante el cual, se obliga a éste a circular alrededor de las sustancias a secar, favoreciendo la transferencia de agua desde la sustancia pirotécnica al aire (Figura 13).

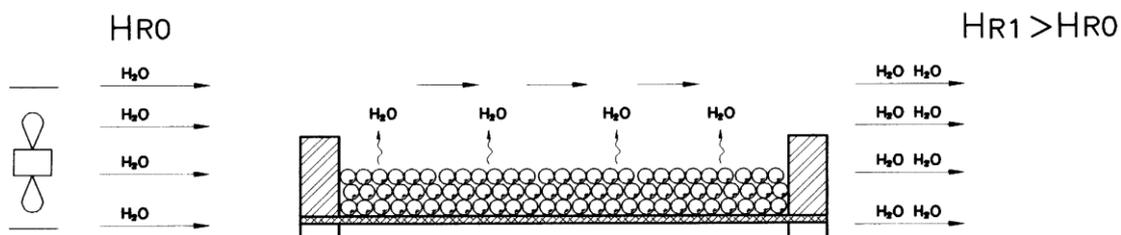


Figura 13: Circulación del aire y transferencia de agua de la sustancia

La ventilación forzada a diferencia de la ventilación natural es la que se practica en la cámara de secado utilizando un equipo impulsor o extractor de aire (Figura 14). Con este tipo de ventilación se puede actuar por sobrepresión o por depresión.

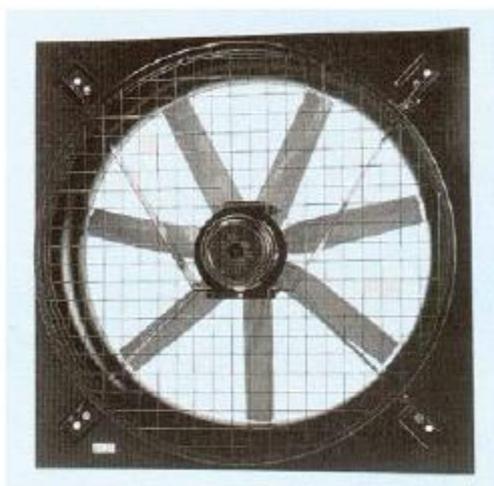


Figura 14: Ventilador o impulsor de aire

La ventilación forzada puede efectuarse por sobrepresión, depresión, y a presión atmosférica. La ventilación por sobrepresión se obtiene insuflando aire a la cámara de secado, poniéndola así en sobrepresión respecto a la presión atmosférica, de manera que el aire fluye entonces hacia el exterior por las aberturas dispuestas para ello (Figura 15).

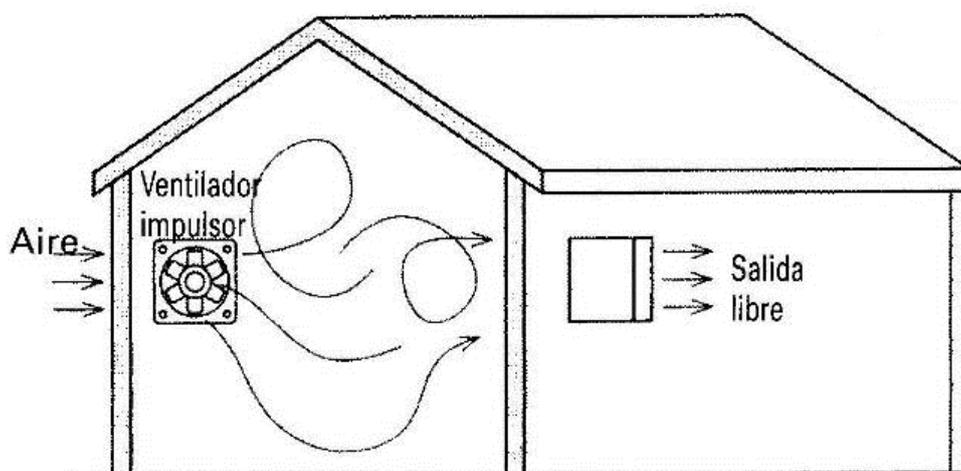


Figura 15: Ventilador por sobrepresión

La ventilación por depresión se logra mediante un extractor de aire en la cámara de secado, lo que provoca que éste quede en depresión respecto de la presión atmosférica (Figura 16). El aire

penetra desde fuera por una abertura, efectuando una ventilación de iguales efectos que la anterior.

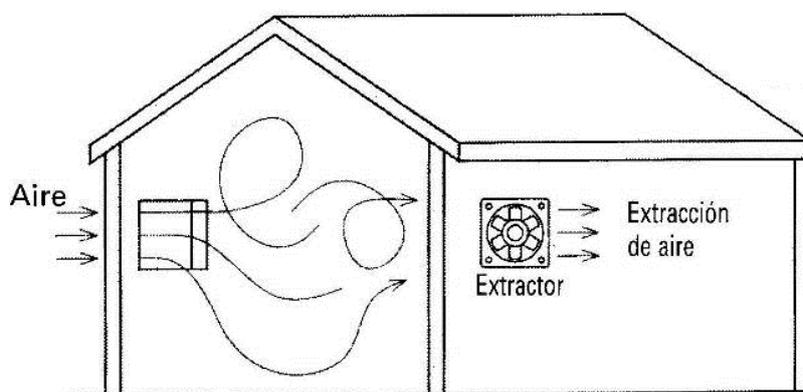


Figura 16: Ventilación por depresión

Por otro lado, también es posible combinar ambos tipos de ventilación utilizando un impulsor y un extractor de aire de manera que la presión en el interior de la cámara de secado permanezca constante e igual a la atmosférica (Figura 17).

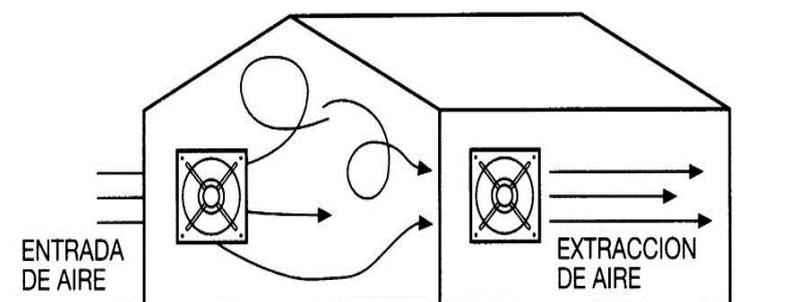


Figura 17: Impulsor y extractor de aire

Al igual que en la ventilación natural, los huecos de entrada o salida de aire deben estar protegidos exteriormente, por ejemplo, con una malla metálica resistente y con una luz lo más pequeña posible, para evitar la entrada de chispas, roedores y objetos. Asimismo, el ventilador utilizado debe estar protegido para evitar cualquier contacto físico con los álabes (Figura 14).



1. Riesgos asociados al proceso de secado

a. Incendio y/o explosión

- Fuente: descomposición exotérmica del material pirotécnico o concentración explosiva de gases inflamables desprendidos de las sustancias durante el proceso de secado. Causas.
 - Temperatura en el ambiente exterior elevada.
 - Sustancias pirotécnicas sensibles a la temperatura.
 - Sustancias pirotécnicas incompatibles.
 - Escasa renovación del aire asociada a una temperatura ambiente elevada.
 - Desprendimiento de gases inflamables debido a la utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos inflamables en la fabricación de las sustancias pirotécnicas.
 - Acumulación de gases inflamables emanados de las sustancias pirotécnicas, cuando se trabaja en circuito cerrado.
 - Sobrepresión en la cámara de secado que puede producir una reducción de caudal del aire entrante lo que da lugar a un aumento de la temperatura.
- Fuente: impacto o rozamiento. Causas.
 - Impacto o fricción con partes móviles del equipo impulsor o extractor de aire, tanto en circuito abierto como en circuito cerrado.
- Fuente: chispa de origen eléctrico o temperatura elevada en dispositivos eléctricos. Causas.
 - Modo y grado de protección insuficiente en los dispositivos eléctricos existentes en el interior de la cámara de secado.
 - Material eléctrico en mal estado.
 - Temperatura superficial del dispositivo eléctrico elevada.
- Fuente: chispa de origen estático. Causas:
 - Temperatura elevada o humedad relativa excesivamente baja.
 - Materiales no antiestáticos.
 - Inexistencia de conexiones a tierra.
 - Velocidad de flujo de aire de secado elevada que pueda cargar electrostáticamente las sustancias.

b. Inhalación de vapores tóxicos



- **Fuente:** Generación o emanación de vapores tóxicos de las sustancias pirotécnicas durante el proceso de secado. Causas:
 - Escasa renovación del aire.
 - Utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos en la fabricación de sustancias pirotécnicas, que pueden dar lugar a la formación de vapores tóxicos durante el secado.
 - Acumulación de gases tóxicos emanados de las sustancias pirotécnicas, cuando se trabaja en circuito cerrado.
 - Sustancias pirotécnicas inestables a temperaturas moderadas.

2. Medidas preventivas asociadas al proceso de secado

- Caracterización de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.
 - Temperatura de descomposición.
 - Tiempo necesario para el secado.
 - Velocidad de secado.
 - Compatibilidad de sustancias.
- Dimensionamiento adecuado del sistema para una correcta renovación de aire.
- Colocación de filtros adecuados en los sistemas de impulsión y/o extracción de aire, para evitar la ignición por impacto o fricción de las partículas inflamables con los elementos móviles (rodetes, alabes, etc).
- Permanencia de las sustancias al sol el tiempo suficiente para la evaporación de posibles compuestos tóxicos e inflamables, previamente a la introducción de las sustancias a la cámara de secado.
- Previamente al trabajo en circuito cerrado es conveniente trabajar en circuito abierto o depositar las sustancias al sol el tiempo suficiente para la evaporación de posibles compuestos tóxicos e inflamables.
- Equipo y material eléctrico adecuado.
- Conexiones a tierra de todo el material susceptible de ser cargado electrostáticamente, incluyendo los filtros de los sistemas de impulsión y extracción de aire.

3. Ventajas

- Las materias pirotécnicas se encuentran protegidas frente a agresiones externas, a diferencia del secado directo al sol.
- La temperatura, el tiempo y la velocidad de secado en el interior de la cámara se pueden controlar, aunque no regular, trabajando en circuito cerrado, con lo que disminuye el riesgo de incendio y explosión.



- El rendimiento del secado es superior que en el caso de la ventilación natural.
- Con los sistemas de impulsión y extracción se puede controlar la velocidad del flujo de aire y la renovación del mismo, lo que favorece la salida de vapores tóxicos o inflamables emanados de las sustancias pirotécnicas, y permite reducir la probabilidad de que las sustancias pirotécnicas sean cargadas electrostáticamente.

4. Inconvenientes

- Sistema más costoso económicamente que la ventilación natural.
- Los parámetros de secado no se pueden regular, sino que está asociado a otro equipo de generación de calor.
- La temperatura, el tiempo y la velocidad de secado en el interior de la cámara no se pueden controlar trabajando en circuito abierto, con lo que aumenta el riesgo de incendio y explosión.
- Previamente al circuito cerrado es necesario trabajar en circuito abierto con objeto de renovar el aire de la cámara de secado y evitar concentraciones peligrosas en caso de emanaciones de gases inflamables o tóxicos, o bien dejar las materias al aire libre durante un periodo adecuado.

Atendiendo al recorrido de la corriente de aire podemos considerar que la ventilación puede realizarse en circuito cerrado o en circuito abierto.

8.2.2.1. VENTILACIÓN EN CIRCUITO ABIERTO

El aire que se impulsa hasta la cámara de secado proviene del exterior (Figura 18). Se dispondrá de un registro, que actúe de filtro, construido de malla metálica, preferiblemente de latón o cobre. Esta medida se considera suficiente, ya que en cada puesta en marcha, las cantidades de polvo que puedan haber atravesado la malla son de nuevo arrastradas hasta la cámara de secado.

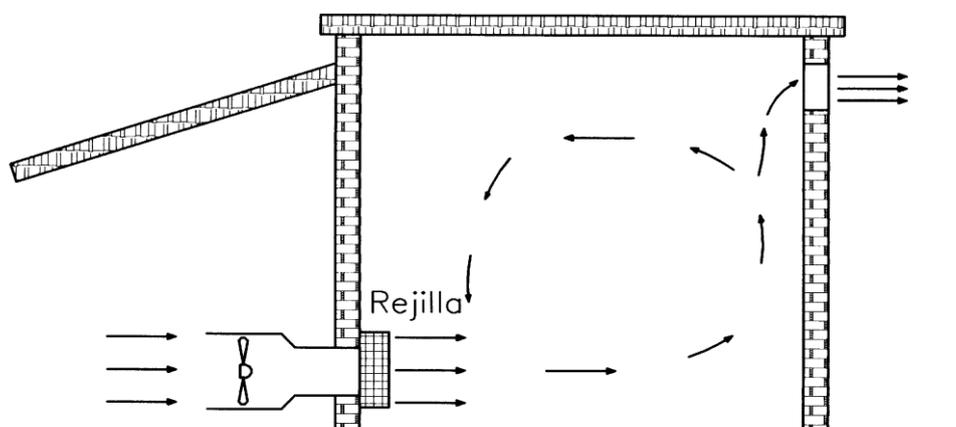


Figura 18: Ventilación en circuito abierto

8.2.2.2. VENTILACIÓN EN CIRCUITO CERRADO

El aire que se impulsa hasta la cámara de secado proviene de dicha cámara (Figura 19). Este caso requiere de un filtrado más preciso, ya que el aire que proviene de la cámara de secado puede arrastrar partículas inflamables, que deben de ser eliminadas antes de pasar por el sistema de impulsión de aire. En circuito abierto esta medida no es necesaria, ya que el aire proviene del exterior y está libre de sustancias inflamables.

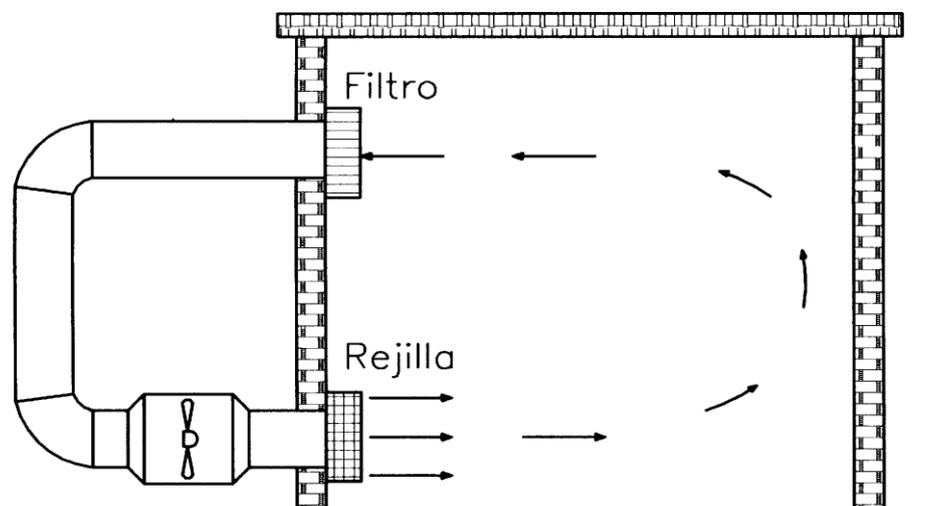


Figura 19: Ventilación en circuito cerrado

También es posible ubicar los elementos impulsores en el interior de la cámara de secado. En este caso si los accionadores, si son eléctricos, deberán cumplir los requisitos correspondientes. En cualquier caso, la ventilación en circuito cerrado, requerirá de los elementos filtrantes y rejillas de salida.

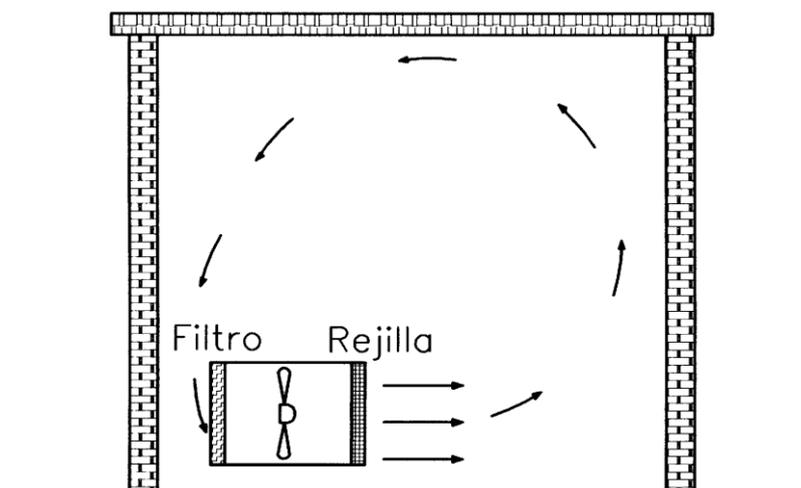


Figura 20: Ventilación en circuito cerrado. Impulsores en interior de la cámara de secado



Para el dimensionamiento de los sistemas de ventilación será importante considerar las pérdidas totales de carga que se originarán a lo largo de tuberías y, en particular, de los filtros, ya que la eficiencia de los sistemas de impulsión depende en gran medida de ello.

La ventilación normalmente se combina con otros medios que favorecen el secado, como el calor o la deshumidificación. Normalmente los sistemas de impulsión se encontrarán en recintos auxiliares con objeto de evitar los riesgos eléctricos en el interior de la cámara. No obstante, no se descarta la electrificación en el interior de la cámara, siempre que cumpla los requisitos para las instalaciones eléctricas en el interior de recintos de riesgo alto del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y la Instrucción Técnica Complementaria ITC 09.0.07 del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera que determina las especificaciones de las instalaciones eléctricas donde se fabrican, manipulan o almacenan sustancias explosivas

8.2.2.3. FILTROS

La función de los filtros es muy importante en la ventilación en circuito cerrado, e independiente de la utilización de otros medios de secado. Hay que asegurar que las partículas explosivas no alcancen los sistemas de impulsión, para evitar la ignición por frotamiento o choque de las partículas con los rodets, alabes, etc. Así pues, en los sistemas de impulsión con partes móviles habrá que filtrar el flujo de aire que atraviesa el sistema de impulsión.

Habrá que prestar especial atención al dimensionamiento de los elementos filtrantes, y prever las pérdidas de carga posibles para el dimensionamiento adecuado de los sistemas de impulsión, y optar por los tipos más adecuados, bien sean del tipo axial o centrifugo

Además, es previsible la presencia de polvo inflamable en el filtro en determinadas cantidades. El fluido de aire que atraviesa dicho filtro hace posible la formación de electricidad estática si no se toman medidas para su evacuación. Así pues, El sistema de filtración deberá diseñarse de manera que se evacuen las cargas electrostáticas que puedan producirse.

En general, los filtros metálicos o conductores serán suficiente su conexión a tierra. En otro tipo de filtración, se dispondrá el elemento filtrante entre dos mallas metálicas, a modo de sándwich (Figura 21), conectando a tierra dichas mallas metálicas, que evitarán las descargas de origen electrostático.

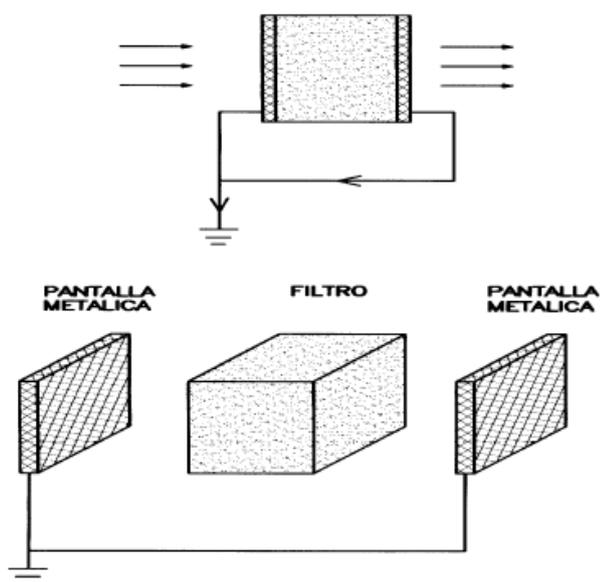


Figura 21: Pantallas metálicas a tierra

8.3. SECADO POR CALOR

Al elevar la temperatura de las materias mediante la introducción de aire caliente en la cámara de secado, se favorece la transferencia de agua desde éstas al aire que las rodea (Figura 22).

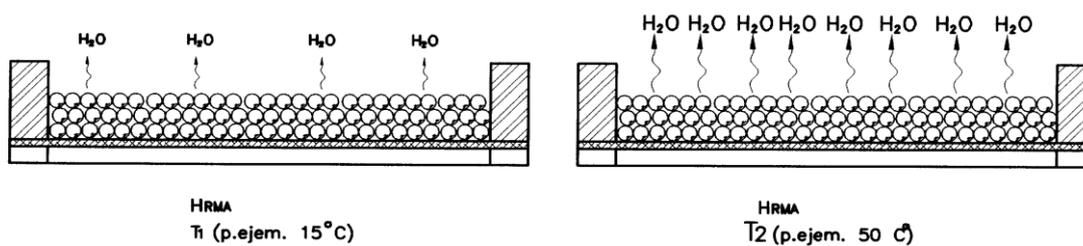


Figura 22: Influencia de la temperatura en la materia pirotécnica

El calentamiento del aire puede realizarse de diferentes formas.



8.3.1. GENERADOR DE AIRE CALIENTE

La energía térmica proviene de la combustión de petróleo, gasoil u otros combustibles líquidos o gaseosos. En este caso el aire de combustión no puede penetrar en la cámara. Mediante un intercambiador de calor (aire - aire), normalmente proveniente del exterior, se calienta el aire antes de entrar en la cámara de secado.

Para evitar una sobrepresión en la cámara de secado, que produzca una reducción del caudal del aire entrante, con su correspondiente sobre elevación de temperatura, hay que prever bocas de salida de la cámara. Son suficientes unas pequeñas aberturas situadas preferiblemente en la parte opuesta de la entrada para favorecer la circulación de aire en el interior y poder realizar un barrido lo más completo posible.

Para evitar que el aire retorne libremente hasta el intercambiador de calor donde pueden depositarse polvo inflamable, se dispondrá de un registro, que actúe de filtro, construido de malla metálica, preferiblemente de latón o cobre. Esta medida se considera suficiente, ya que, en cada puesta en marcha, las cantidades de polvo que puedan haber atravesado la malla son de nuevo arrastradas hasta la cámara de secado, donde la temperatura está limitada.

Un sistema muy utilizado es el que emplea como fluido térmico agua a baja presión. Consta de una caldera de gasoil que transfiere el calor a un circuito calorifugado de agua recirculada por una bomba. La temperatura de este circuito se controla mediante un termostato regulable que incorpora la caldera. Mediante un intercambiador de calor, el circuito de agua transfiere el calor a un circuito de aire (secundario), de tal forma que un impulsor de aire hace circular el aire, por los serpentines, hacia el interior de la cámara de secado. Tanto la caldera como el intercambiador de calor se ubican en el exterior de la cámara de secado.

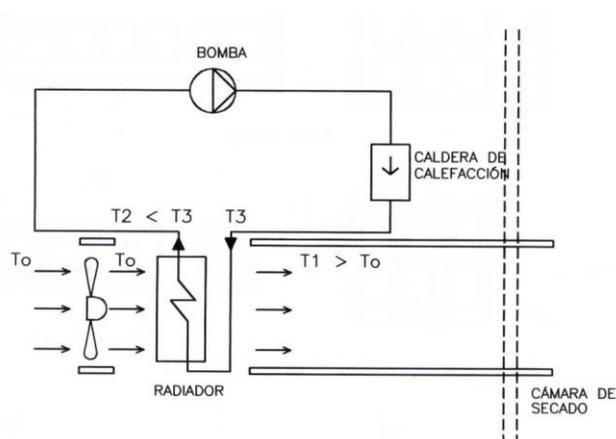


Figura 23: Generador de calor por caldera de calefacción



Figura 24: Caldera de gasoil exterior



Figura 25: Impulsor de aire

1. Riesgos asociados al proceso de secado

a. Incendio y/o explosión

- Fuente: descomposición exotérmica del material pirotécnico o concentración explosiva de gases inflamables desprendidos de las sustancias durante el proceso de secado. Causas.
 - Temperatura de secado elevada.
 - Sustancias pirotécnicas sensibles a la temperatura.
 - Sustancias pirotécnicas incompatibles.



- Escasa renovación del aire asociada a una temperatura ambiente elevada.
- Desprendimiento de gases inflamables debido a la utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos inflamables en la fabricación de las sustancias pirotécnicas.
- Acumulación de gases inflamables emanados de las sustancias pirotécnicas, cuando se trabaja en circuito cerrado.
- Avería o mal funcionamiento del sistema de generación de calor.
- Avería del termostato.
- Tiempo de secado excesivo.
- Introducción en la cámara de secado de los gases de combustión de la caldera.
- Sobrepresión en la cámara de secado que puede producir una reducción de caudal del aire entrante lo que da lugar a un aumento de la temperatura.
- Fuente: impacto o rozamiento. Causas.
 - Impacto o fricción con partes móviles del equipo impulsor o extractor de aire, tanto en circuito abierto como en circuito cerrado.
- Fuente: chispa de origen eléctrico o temperatura elevada en dispositivos eléctricos. Causas.
 - Modo y grado de protección insuficiente en los dispositivos eléctricos existentes en el interior de la cámara de secado.
 - Material eléctrico en mal estado.
 - Temperatura superficial del dispositivo eléctrico elevada.
- Fuente: chispa de origen estático. Causas:
 - Temperatura elevada o humedad relativa excesivamente baja.
 - Materiales no antiestáticos.
 - Inexistencia de conexiones a tierra.
 - Velocidad de flujo de aire de secado elevada que pueda cargar electrostáticamente las sustancias.
- b. Inhalación de vapores tóxicos**
 - Fuente: Generación o emanación de vapores tóxicos de las sustancias pirotécnicas durante el proceso de secado. Causas:
 - Escasa renovación del aire.



- Utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos en la fabricación de sustancias pirotécnicas, que pueden dar lugar a la formación de vapores tóxicos durante el secado.
- Acumulación de gases tóxicos emanados de las sustancias pirotécnicas, cuando se trabaja en circuito cerrado.
- Sustancias pirotécnicas inestables a temperaturas moderadas.

2. Medidas preventivas asociadas al proceso de secado

- Caracterización de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.
 - Temperatura de descomposición.
 - Tiempo necesario para el secado.
 - Velocidad de secado.
 - Compatibilidad de sustancias.
- Dimensionamiento adecuado del sistema para una correcta renovación de aire.
- Colocación de filtros adecuados en los sistemas de impulsión y/o extracción de aire, para evitar la ignición por impacto o fricción de las partículas inflamables con los elementos móviles (rodetes, alabes, etc).
- Colocación en el exterior de la cámara de secado del sistema de generación de calor. Los gases de escape de la caldera no deben entrar en la cámara de secado.
- Mantenimiento adecuado del sistema de generación de calor.
- Regulación adecuada del termostato, de manera que en el interior de la cámara de secado no se sobrepase la temperatura límite de secado.
- Utilización de un segundo termostato de seguridad. Mantenimiento adecuado de los mismos.
- Equipos y material eléctrico adecuado.
- Conexiones a tierra de todo el sistema susceptible de ser cargado electrostáticamente, incluyendo los filtros de los sistemas de impulsión y extracción de aire.

3. Ventajas

- Las materias pirotécnicas se encuentran protegidas frente a agresiones externas, a diferencia del secado directo al sol.
- La temperatura, el tiempo y la velocidad de secado en el interior de la cámara se pueden controlar, aunque no regular, trabajando en circuito cerrado, con lo que disminuye el riesgo de incendio y explosión.

- El rendimiento del secado es muy elevado, principalmente si se dispone de secaderos compartimentados con controles independientes de los parámetros de secado en función de la materia pirotécnica a secar.
- Con los sistemas de impulsión y extracción se puede controlar la velocidad del flujo de aire y la renovación del mismo, lo que favorece la salida de vapores tóxicos o inflamables emanados de las sustancias pirotécnicas, y permite reducir la probabilidad de que las sustancias pirotécnicas sean cargadas electrostáticamente.

4. Inconvenientes

- Sistema muy costoso económicamente.
- Mayor control y mantenimiento del sistema de generación de calor.

8.3.2. CALENTAMIENTO POR RESISTENCIA

En este caso la energía proviene de unas resistencias eléctricas (Figura 26). Tras ser impulsado el aire y obligado a entrar en contacto con las resistencias y/o radiadores adosados a ellas, se produce la transferencia térmica que calienta este aire que entra en la cámara.

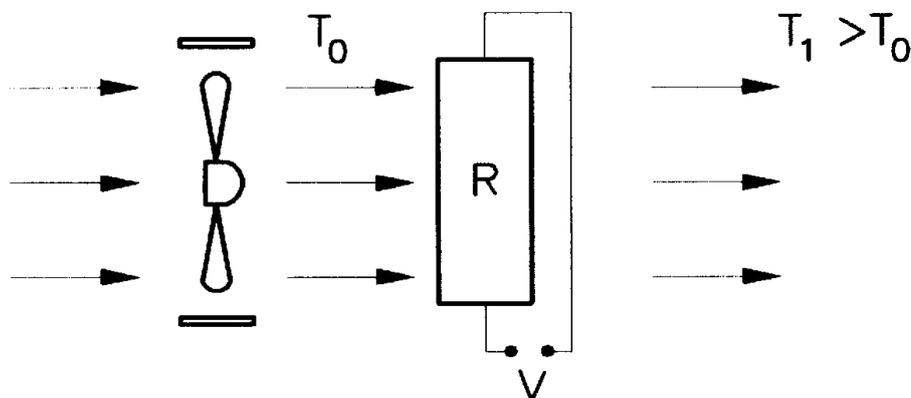


Figura 26: Calentamiento del aire por resistencia eléctrica

La circulación del aire se produce por circuito abierto o por circuito cerrado. En circuito abierto, y al igual que en el generador de aire caliente, el aire proviene del exterior, y al ser impulsado y obligado a entrar en contacto con las resistencias y/o radiadores adosados a ellas, se produce la transferencia térmica que calienta el aire que entrará en la cámara. También se dispondrá de un registro, que actúe de filtro, construido de malla metálica, preferiblemente de latón o cobre.



Esta medida se considera suficiente, ya que, en cada puesta en marcha, las cantidades de polvo que puedan haber atravesado la malla son de nuevo arrastradas hasta la cámara de secado, donde la temperatura está limitada.

En circuito cerrado, el aire calentado por las resistencias, o radiadores adosados, proviene de la cámara de secado, por lo que el calentamiento es más rápido. Este caso requiere de un filtrado más preciso, ya que el aire que proviene de la cámara de secado puede arrastrar partículas inflamables, que deben de ser eliminadas antes de pasar por el sistema de impulsión de aire. En circuito abierto esta medida no es necesaria, ya que el aire proviene del exterior y está libre de sustancias inflamables.

1. Riesgos asociados al proceso de secado

a. Incendio y/o explosión

- Fuente: descomposición exotérmica del material pirotécnico o concentración explosiva de gases inflamables desprendidos de las sustancias durante el proceso de secado. Causas.
 - Temperatura de secado elevada.
 - Sustancias pirotécnicas sensibles a la temperatura.
 - Sustancias pirotécnicas incompatibles.
 - Escasa renovación del aire asociada a una temperatura ambiente elevada.
 - Desprendimiento de gases inflamables debido a la utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos inflamables en la fabricación de las sustancias pirotécnicas.
 - Acumulación de gases inflamables emanados de las sustancias pirotécnicas, cuando se trabaja en circuito cerrado.
 - Avería o mal funcionamiento del radiador.
 - Ubicación de la placa calefactora interna en las proximidades del material pirotécnico sometido a secado.
 - Deposición de sustancia pirotécnica pulverulenta sobre la placa calefactora, en el caso de estar ubicada en el interior de la cámara de secado.
 - Avería del termostato.
 - Tiempo de secado excesivo.



- Sobrepresión en la cámara de secado que puede producir una reducción de caudal del aire entrante lo que da lugar a un aumento de la temperatura.
 - Fuente: impacto o rozamiento. Causas.
 - Impacto o fricción con partes móviles del equipo impulsor o extractor de aire, tanto en circuito abierto como en circuito cerrado.
 - Fuente: chispa de origen eléctrico o temperatura elevada en dispositivos eléctricos. Causas.
 - Modo y grado de protección insuficiente en los dispositivos eléctricos existentes en el interior de la cámara de secado.
 - Material eléctrico en mal estado.
 - Temperatura superficial del dispositivo eléctrico elevada.
 - Fuente: chispa de origen estático. Causas:
 - Temperatura elevada o humedad relativa excesivamente baja.
 - Materiales no antiestáticos.
 - Inexistencia de conexiones a tierra.
 - Velocidad de flujo de aire de secado elevada que pueda cargar electrostáticamente las sustancias.
- b. Inhalación de vapores tóxicos**
- Fuente: Generación o emanación de vapores tóxicos de las sustancias pirotécnicas durante el proceso de secado. Causas:
 - Escasa renovación del aire.
 - Utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos en la fabricación de sustancias pirotécnicas, que pueden dar lugar a la formación de vapores tóxicos durante el secado.
 - Acumulación de gases tóxicos emanados de las sustancias pirotécnicas, cuando se trabaja en circuito cerrado.
 - Sustancias pirotécnicas inestables a temperaturas moderadas.
- 2. Medidas preventivas asociadas al proceso de secado**
- Caracterización de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.
 - Temperatura de descomposición.
 - Tiempo necesario para el secado.
 - Velocidad de secado.
 - Compatibilidad de sustancias.
 - Dimensionamiento adecuado del sistema para una correcta renovación de aire.



- Colocación de filtros adecuados en los sistemas de impulsión y/o extracción de aire, para evitar la ignición por impacto o fricción de las partículas inflamables con los elementos móviles (rodetes, alabes, etc).
- Mantenimiento adecuado del sistema de generación de calor.
- Ubicación de la placa calefactora lo más alejada posible de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.
- Regulación adecuada del termostato, de manera que en el interior de la cámara de secado no se sobrepase la temperatura límite de secado.
- Utilización de un segundo termostato de seguridad. Mantenimiento adecuado de los mismos.
- Equipos y material eléctrico adecuado.
- Conexiones a tierra de todo el sistema susceptible de ser cargado electrostáticamente, incluyendo los filtros de los sistemas de impulsión y extracción de aire.

3. Ventajas

- Las materias pirotécnicas se encuentran protegidas frente a agresiones externas, a diferencia del secado directo al sol.
- La temperatura, el tiempo y la velocidad de secado en el interior de la cámara se pueden controlar y regular, con lo que disminuye el riesgo de incendio y explosión.
- El rendimiento del secado es muy elevado, principalmente si se dispone de secaderos compartimentados con controles independientes de los parámetros de secado en función de la materia pirotécnica a secar.
- Con los sistemas de impulsión y extracción se puede controlar la velocidad del flujo de aire y la renovación del mismo, lo que favorece la salida de vapores tóxicos o inflamables emanados de las sustancias pirotécnicas, y permite reducir la probabilidad de que las sustancias pirotécnicas sean cargadas electrostáticamente.

4. Inconvenientes

- Sistema muy costoso económicamente.
- Mayor control y mantenimiento del sistema de generación de calor.

8.3.3. CALENTAMIENTO POR INTERCAMBIADORES LÍQUIDO – AIRE (RADIADORES)



Un sistema bastante simple de conseguir el calentamiento de la cámara de secado, es mediante el empleo de sistemas de calefacción por radiadores, agua, aceite o cualquier fluido térmico. Es un sistema simple y seguro, ya que en el interior de la cámara tan solo se instala el radiador, de dimensiones adecuadas al volumen de la cámara de secado.

El fluido, calentado previamente por cualquier sistema de transferencia de energía (resistencias eléctricas, caldera térmica de fuel-oil, gasoil, o cualquier otro tipo de combustible sólido, líquido o gaseoso) hasta una temperatura máxima, al circular por el radiador transmite el calor a la atmósfera de la cámara, consiguiendo la temperatura necesaria para el secado.

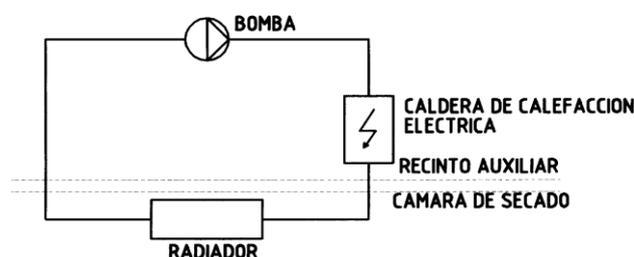


Figura 27: Radiador. Calentamiento por calefacción eléctrica

Por este sistema, los generadores de calor deben de encontrarse en el exterior de la cámara de secado, en cuyo interior se encuentran tan solo los radiadores. Simultáneamente se pueden disponer elementos de ventilación y/o deshidratación que cumplan las prescripciones correspondientes.

1. Riesgos asociados al proceso de secado

a. Incendio y/o explosión

- Fuente: descomposición exotérmica del material pirotécnico o concentración explosiva de gases inflamables desprendidos de las sustancias durante el proceso de secado. Causas.
 - Temperatura de secado elevada.
 - Sustancias pirotécnicas sensibles a la temperatura.
 - Sustancias pirotécnicas incompatibles.
 - Escasa renovación del aire asociada a una temperatura ambiente elevada.



- Desprendimiento de gases inflamables debido a la utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos inflamables en la fabricación de las sustancias pirotécnicas.
- Avería o mal funcionamiento del radiador.
- Ubicación del radiador en las proximidades del material pirotécnico sometido a secado.
- Deposición de sustancia pirotécnica pulverulenta sobre el radiador.
- Avería del termostato.
- Tiempo de secado excesivo.
- Fuente: impacto o rozamiento. Causas.
 - Impacto o fricción con partes móviles del equipo impulsor o extractor de aire, tanto en circuito abierto como en circuito cerrado.
- Fuente: chispa de origen eléctrico o temperatura elevada en dispositivos eléctricos. Causas.
 - Modo y grado de protección insuficiente en los dispositivos eléctricos existentes en el interior de la cámara de secado.
 - Material eléctrico en mal estado.
 - Temperatura superficial del dispositivo eléctrico elevada.
- Fuente: chispa de origen estático. Causas:
 - Temperatura elevada o humedad relativa excesivamente baja.
 - Materiales no antiestáticos.
 - Inexistencia de conexiones a tierra.
 - Velocidad de flujo de aire de secado elevada que pueda cargar electrostáticamente las sustancias.

b. Inhalación de vapores tóxicos

- Fuente: Generación o emanación de vapores tóxicos de las sustancias pirotécnicas durante el proceso de secado. Causas:
 - Escasa renovación del aire.
 - Utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos en la fabricación de sustancias pirotécnicas, que pueden dar lugar a la formación de vapores tóxicos durante el secado.
 - Acumulación de gases tóxicos emanados de las sustancias pirotécnicas, cuando se trabaja en circuito cerrado.
 - Sustancias pirotécnicas inestables a temperaturas moderadas.

2. Medidas preventivas asociadas al proceso de secado

- Caracterización de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.



- Temperatura de descomposición.
- Tiempo necesario para el secado.
- Velocidad de secado.
- Compatibilidad de sustancias.
- Dimensionamiento adecuado del sistema para una correcta renovación de aire.
- Colocación de filtros adecuados en los sistemas de impulsión y/o extracción de aire, para evitar la ignición por impacto o fricción de las partículas inflamables con los elementos móviles (rodetes, alabes, etc).
- Mantenimiento adecuado del sistema de generación de calor.
- Ubicación del radiador lo más alejado posible de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.
- Regulación adecuada del termostato, de manera que en el interior de la cámara de secado no se sobrepase la temperatura límite de secado.
- Utilización de un segundo termostato de seguridad. Mantenimiento adecuado de los mismos.
- Equipos y material eléctrico adecuado.
- Conexiones a tierra de todo el sistema susceptible de ser cargado electrostáticamente, incluyendo los filtros de los sistemas de impulsión y extracción de aire.

3. Ventajas

- Las materias pirotécnicas se encuentran protegidas frente a agresiones externas, a diferencia del secado directo al sol.
- La temperatura, el tiempo y la velocidad de secado en el interior de la cámara se pueden controlar y regular, con lo que disminuye el riesgo de incendio y explosión.
- El rendimiento del secado es muy elevado, principalmente si se dispone de secaderos compartimentados con controles independientes de los parámetros de secado en función de la materia pirotécnica a secar.
- Con los sistemas de impulsión y extracción se puede controlar la velocidad del flujo de aire y la renovación del mismo, lo que favorece la salida de vapores tóxicos o inflamables emanados de las sustancias pirotécnicas, y permite reducir la probabilidad de que las sustancias pirotécnicas sean cargadas electrostáticamente.

4. Inconvenientes

- Sistema costoso económicamente.
- Control y mantenimiento del sistema de generación de calor.

8.3.4. TEMPERATURA EN LA CÁMARA DE SECADO

La temperatura de secado es la temperatura que se mantiene en el interior de la cámara, fijándose un valor recomendado máximo de 60 °C. La temperatura de seguridad es la temperatura que debe detectar el termostato de seguridad que estableciendo un valor de 65 °C como temperatura recomendada.

A mayor temperatura, el secado es más profundo y más rápido, no obstante para evitar agrietamientos (Figura 28) en las bolas y reacciones con otras formaciones no deseadas en las sustancias, conviene limitar la temperatura de secado en cámara hasta 60 °C.

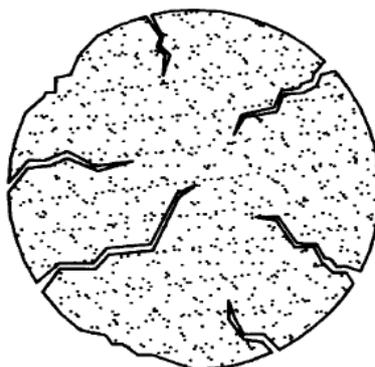


Figura 28: Formación de grietas en el color

En algunas ocasiones, el secado excesivamente rápido produce una capa en el exterior de las materias a secar de baja permeabilidad (Figura 29), que dificulta la evacuación del agua contenida en el interior, lo que produce materiales de mala calidad y de cierta inestabilidad que conviene evitar. Un termostato de seguridad, calibrado en 5 °C sobre la temperatura de secado limitará, por tanto, la temperatura en caso de avería o mal funcionamiento de los sistemas en 65 °C. En este caso se producirá el paro de los sistemas de generación de calor y/o ventilación.

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

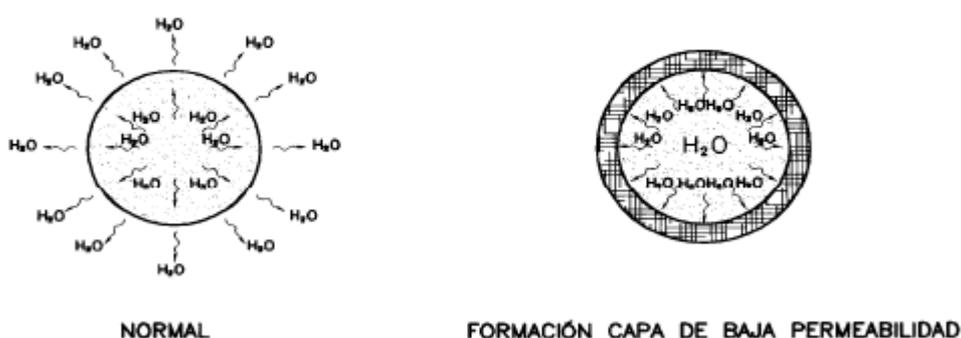


Figura 29: Permeabilidad al vapor de agua

8.4. SECADO POR DESHUMIDIFICACIÓN

Se entiende por deshumidificación la extracción forzada del agua retenida por la sustancia a secar. Básicamente se puede producir por la acción de sustancias higroscópicas o mediante la condensación forzada mediante un ciclo termodinámico.

8.4.1. DESHUMIDIFICACIÓN FÍSICO - QUÍMICA

La acción de determinadas sustancias higroscópicas produce una absorción de agua del aire que las rodea, produciendo así un aire seco que favorecerá el secado de las materias pirotécnicas a secar en la cámara de secado. El secado mediante el empleo de sustancias higroscópicas puede realizarse de forma estática o cíclica mediante la reactivación continua de las sustancias deshidratantes.

Este sistema puede utilizarse sólo o en combinación con cualquier otro sistema que mejore el secado, como la ventilación, el calentamiento, etc.

Deshumidificación estática. Las sustancias higroscópicas se sitúan en recipientes abiertos en el interior de la cámara de secado en recipientes abiertos de forma que tomen agua del aire del interior de la cámara. El aire humedecido se va secando por la acción de dichas sustancias, de manera que cuando éstas pierden su eficacia, ese sustituye por sustancias previamente desecadas por cualquier método, como la exposición al sol, calentamiento por estufa, etc.



Asimismo, cuanto mayor es la cantidad de sustancia higroscópica y más desecada esté, más rápido y profundo será el secado.

Deshumidificación cíclica. La reactivación continua de la sustancia deshidratante se produce mediante una máquina o sistema diseñado para tal fin. Básicamente se produce de forma que parte de la sustancia deshidratante deseca el aire que se introduce en la cámara, y simultáneamente, otra parte de dicha sustancia deshidratante se regenera o reactiva mediante calor en un circuito de aire independiente que se extrae al exterior. De este modo se produce la desecación de forma continua, evitando así que reponer las sustancias en cada ciclo de secado.

8.4.1.1. DESECADOR DE AIRE POR ROTOR DESECANTE (SILICAGEL)

Se basa en un rotor adsorbente de fibras inorgánicas con impregnación de gel de sílice y silicatos metálicos. El rotor gira lentamente dentro de un módulo básico donde hay dos circuitos de aire, uno para el proceso de secado y el otro para regenerar el agente desecante.

En la zona de secado el aire cede vapor de agua al material del rotor. En la regeneración, el material cede vapor de agua al flujo de aire calentado al efecto, el cual es evacuado al exterior. El giro del rotor hace que el efecto sea continuo y uniforme (Figura 30).

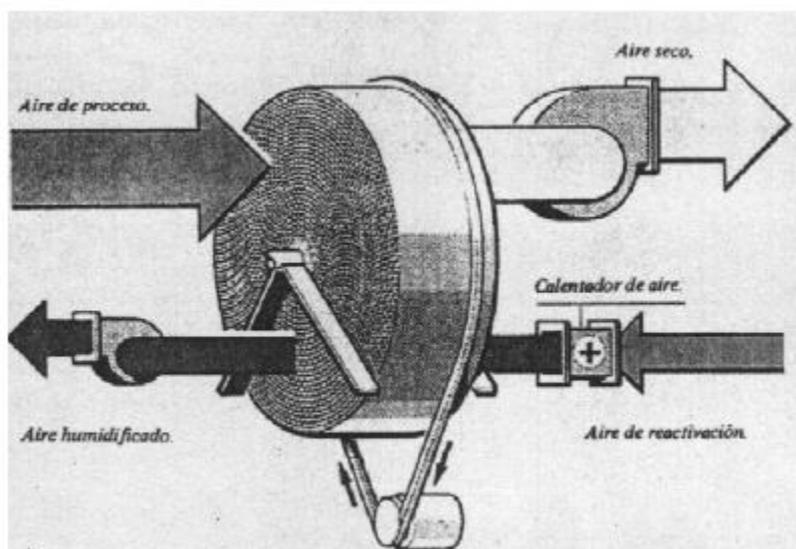


Figura 30: Funcionamiento de un deshumificador de aire por rotor desecante



Figura 31: Deshumificador de aire por rotor desecante (silicagel)

Este tipo de máquinas pueden funcionar en circuito abierto o en circuito cerrado. En circuito abierto, el aire que se deseca por la sustancia higroscópica, proviene del exterior, por tanto está libre de partículas peligrosas o inflamables, lo que no hace necesario el empleo de filtros. No obstante, se dispondrá de un registro, que actúe de filtro, construido de malla metálica, preferiblemente de latón o cobre, para evitar la circulación libre de sustancias de la cámara de secado hasta los mecanismos de impulsión de aire.

En circuito cerrado (Figura 32), el aire que se deseca proviene del interior de la cámara, consiguiendo de este modo un secado más profundo en las últimas fases del secado. En este caso, y de forma análoga a la ventilación en circuito cerrado, se dispondrá de un filtro adecuado para evitar el paso de partículas peligrosas hasta los sistemas de impulsión del aire.



Figura 32: Circuito cerrado tomando aire de la cámara de secado

8.4.1.2. DESHUMIFICACIÓN POR FRÍO (CICLO TERMODINÁMICO)

En este caso, para la eliminación de agua del aire ambiente, se produce la condensación del agua reduciendo la temperatura hasta el punto de rocío. El agua condensada se extrae por gravedad (Figura 33).



Figura 33: Equipo de deshumificación por frío

La deshumificación por frío puede producirse en el exterior de la cámara o en el interior. En el exterior de la cámara hay que hacer pasar el aire a secar a través del serpentín frío donde tiene lugar la condensación del agua contenida en el aire. Al pasar por dicho serpentín de condensación el aire pierde parte del agua y continuación penetra en la cámara de secado.

Análogamente al sistema de ventilación, la circulación puede realizarse en circuito abierto o en circuito cerrado. En circuito abierto el aire se toma del exterior, se seca en el serpentín de condensación y se introduce en la cámara. Dicho aire seco producirá el secado de las materias pirotécnicas. Se dispondrá de un registro, a modo de filtro, para evitar que el aire libre arrastre partículas al interior de los conductos.

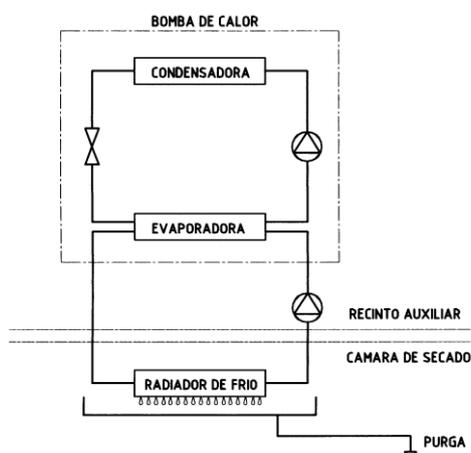


Figura 34: Deshumidificación por frío

En circuito cerrado el aire que pasa por el serpentín de condensación proviene del interior de la cámara de secado produciendo de este modo un secado cada vez más profundo, especialmente en las últimas fases del secado. En este caso, y de forma análoga a la ventilación en circuito cerrado, se dispondrá de filtro adecuado para evitar el paso de partículas peligrosas hasta los sistemas de impulsión del aire.

1. Riesgos asociados al proceso de secado

a. Incendio y/o explosión

- Fuente: descomposición exotérmica del material pirotécnico o concentración explosiva de gases inflamables desprendidos de las sustancias durante el proceso de secado. Causas.
 - Temperatura en el ambiente exterior elevada.
 - Sustancias pirotécnicas sensibles a la temperatura.
 - Sustancias pirotécnicas incompatibles.
 - Escasa renovación de aire asociada a una temperatura ambiente elevada.
 - Desprendimiento de gases inflamables debido a la utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos inflamables en la fabricación de las sustancias pirotécnicas.



- Acumulación de gases inflamables emanados de las sustancias pirotécnicas, cuando se trabaja en circuito cerrado.
 - Sobrepresión en la cámara de secado que puede producir una reducción de caudal del aire entrante lo que da lugar a un aumento de la temperatura.
 - **Fuente:** impacto o rozamiento. Causas.
 - Impacto o fricción con partes móviles del equipo impulsor o extractor de aire, tanto en circuito abierto como en circuito cerrado.
 - **Fuente:** chispa de origen eléctrico o temperatura elevada en dispositivos eléctricos. Causas.
 - Modo y grado de protección insuficiente en los dispositivos eléctricos existentes en el interior de la cámara de secado.
 - Material eléctrico en mal estado.
 - Temperatura superficial del dispositivo eléctrico elevada.
 - **Fuente:** chispa de origen estático. Causas:
 - Temperatura elevada o humedad relativa excesivamente baja.
 - Materiales no antiestáticos.
 - Inexistencia de conexiones a tierra.
 - Velocidad de flujo de aire de secado elevada que pueda cargar electrostáticamente las sustancias.
 - b. Inhalación de vapores tóxicos**
 - **Fuente:** Generación o emanación de vapores tóxicos de las sustancias pirotécnicas durante el proceso de secado. Causas:
 - Escasa renovación del aire.
 - Utilización de disolventes orgánicos u otros compuestos en la fabricación de sustancias pirotécnicas, que pueden dar lugar a la formación de vapores tóxicos durante el secado.
 - Acumulación de gases tóxicos emanados de las sustancias pirotécnicas, cuando se trabaja en circuito cerrado.
 - Sustancias pirotécnicas inestables a temperaturas moderadas.
- 2. Medidas preventivas asociadas al proceso de secado**
- Caracterización de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.
 - Temperatura de descomposición.
 - Tiempo necesario para el secado.
 - Velocidad de secado.
 - Compatibilidad de sustancias.



- Dimensionamiento adecuado del sistema para una correcta renovación de aire.
- Colocación de filtros adecuados en los sistemas de impulsión y/o extracción de aire, para evitar la ignición por impacto o fricción de las partículas inflamables con los elementos móviles (rodetes, alabes, etc).
- Mantenimiento adecuado del sistema de deshumificación.
- Equipos y material eléctrico adecuado.
- Conexiones a tierra de todo el sistema susceptible de ser cargado electrostáticamente, incluyendo los filtros de los sistemas de impulsión y extracción de aire.

3. Ventajas

- Las materias pirotécnicas se encuentran protegidas frente a agresiones externas, a diferencia del secado directo al sol.
- Este sistema se puede combinar con cualquiera de los sistemas de generación de calor y ventilación.
- El rendimiento del secado es muy elevado, principalmente si se dispone de secaderos compartimentados con controles independientes de los parámetros de secado en función de la materia pirotécnica a secar.
- Con los sistemas de impulsión y extracción se puede controlar la velocidad del flujo de aire y la renovación del mismo, lo que favorece la salida de vapores tóxicos o inflamables emanados de las sustancias pirotécnicas, y permite reducir la probabilidad de que las sustancias pirotécnicas sean cargadas electrostáticamente.

4. Inconvenientes

- Sistema costoso económicamente.
- Control y mantenimiento del sistema de deshumidificación, principalmente en el caso de deshumidificación estática por sustancias higroscópicas.

8.5. SECADO DIRECTO AL SOL

La simple exposición a la luz solar, produce un calentamiento de las sustancias que favorece su secado. Es un método muy simple y económico, no obstante, hay que vigilar el comportamiento de las sustancias, pues en determinadas condiciones de sol intenso y baja ventilación, la elevación de temperatura puede alcanzar valores no deseados.



Este procedimiento no precisa equipamiento alguno debido a que el calor y la ventilación son naturales. Sin embargo, el proceso depende mucho de las condiciones climatológicas, viento, polvo, etc.



Figura 35: Secado al sol en bandejas de mezclas de color



Figura 36: Secado al sol en una bandeja de bolas de color

1. Riesgos asociados al proceso de secado



a. Incendio y/o explosión

- Fuente: descomposición exotérmica del material pirotécnico durante el proceso de secado. Causas.
 - Temperatura en el ambiente exterior elevada.
 - Sustancias pirotécnicas sensibles a la temperatura.
 - Sustancias pirotécnicas incompatibles.
 - Telas metálicas desnudas como fondo de las bandejas (se calientan mucho en contacto libre con el sol).
- Fuente: degeneración del material pirotécnico durante el proceso de secado. Causas.
 - Radiación ultravioleta de la luz solar.
 - Ciertos disolventes producen porosidad en los granos causando hinchazón y deformación cuando las piezas empavonadas son repentinamente expuestas a la luz solar directa.
 - Las composiciones con ingredientes solubles en agua y que han sido empavonadas por vía húmeda suelen contener alrededor de un 20% de agua. Si se someten a presión (para conformar pastillas o meteoros) y se expone a la luz directa del sol, tienen tendencia a agrietarse. Esta ruptura puede originar ignición espontánea debida a las tensiones internas, especialmente si se trata de composiciones sensibles a las acciones mecánicas
- Fuente: agresiones externas sobre el material pirotécnico durante el proceso de secado. Causas.
 - Disparo o pruebas de artificios pirotécnicos en sus proximidades.

2. Medidas preventivas asociadas al proceso de secado

- Caracterización de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.
 - Temperatura de descomposición.
 - Tiempo necesario para el secado.
 - Velocidad de secado.
 - Compatibilidad de sustancias
- El secado al sol supone una amplia zona de material pirotécnico a la intemperie, por lo que ni dentro del taller ni en sus proximidades deben encenderse artificios en pruebas, puesto que la luz diurna no permite ver las chispas o partículas incandescentes que, transportadas por el viento, pueden recorrer cientos de metros.



- Una vez que el material pirotécnico esté seco debe dejarse siempre a la sombra antes de pasar a la manipulación posterior.
- Vigilar el comportamiento de las sustancias durante el secado.
- No utilizar telas metálicas desnudas como fondo de las bandejas, puesto que se calientan mucho en contacto directo con el sol.

3. Ventajas

- Método muy simple y económico.
- No precisa equipamiento debido a que el calor y la ventilación son naturales.
- Se minimiza el riesgo de emanación de vapores tóxicos o inflamables de las sustancias pirotécnicas.

4. Inconvenientes

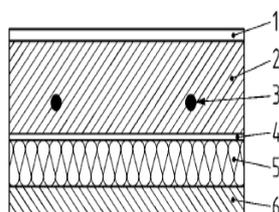
- El secado directo al sol depende mucho de las condiciones climatológicas, polvo, viento, etc.
- La temperatura, el tiempo y la velocidad de secado no se pueden controlar, lo que incrementa el riesgo de incendio.
- Rendimiento del proceso de secado muy bajo, pues depende de las condiciones ambientales.
- Las materias pirotécnicas no se encuentran protegidas frente a las agresiones externas.

8.6. SECADO POR CIRCULACIÓN DE AGUA EN SUPERFICIE

Este tipo de secado consiste en la utilización de un sistema de calefacción de circulación de agua mediante circuito de tubos, donde los tubos transportan agua con o sin aditivos, integrado en la superficie del secadero.

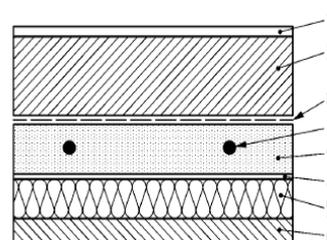
Este tipo de secado distingue las siguientes estructuras de calefacción:

- Sistema de los tubos dentro del pavimento tipo A y C. Sistema de calefacción totalmente integrados en el pavimento.



- 1 Recubrimiento del suelo
- 2 Capa de carga de peso y de difusión térmica (pavimento)
- 3 Tubo de calefacción/refrigeración
- 4 Capa protectora
- 5 Capa aislante
- 6 Base estructural

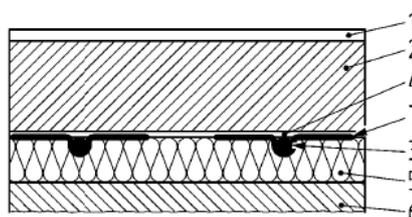
Figura 37: Sistema tipo A



- 1 Recubrimiento del suelo
- 2 Capa de carga de peso y de difusión térmica (pavimento)
- 3 Tubo de calefacción/refrigeración
- 4 Capa protectora
- 5 Capa aislante
- 6 Base estructural
- 8 Doble capa separadora
- 9 Ajuste de pavimento

Figura 38: Sistema tipo C

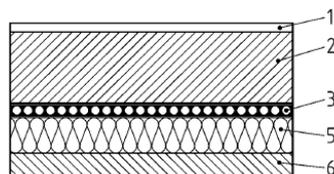
- Sistema de los tubos debajo del pavimento tipo B. Sistema de calefacción situado con placas de difusión en la capa de aislamiento térmico debajo del pavimento.



- 1 Recubrimiento del suelo
- 2 Capa de carga de peso (madera/pavimento)
- 3 Tubo de calefacción/refrigeración
- 4 Capa protectora
- 5 Capa aislante
- 6 Base estructural
- 7 Dispositivo de difusión de calor

Figura 39: Sistema tipo B

- Sistema de calefacción en superficie (secciones planas) tipo D. Sistema de placa con secciones huecas actuando como canales de agua.



- 1 Recubrimiento del suelo
- 2 Capa de carga de peso y de difusión térmica (pavimento)
- 3 Elemento de superficie
- 5 Capa aislante
- 6 Base estructural

Figura 40: Sistema tipo D

El aislamiento empleado tiene que tener una resistencia térmica $R_{\lambda, \text{ins}}$ de acuerdo a la tabla 1 de la norma EN 1264-4:2009, para limitar la pérdida de calor.

- **Riesgos asociados al proceso de secado**
- **Incendio y/o explosión**
- **Fuente:** descomposición exotérmica del material pirotécnico durante el proceso de secado. Causas.
 - Temperatura de secado elevada.
 - Sustancias pirotécnicas sensibles a la temperatura.
 - Sustancias pirotécnicas incompatibles.
- **Fuente:** chispas de origen estático. Causas.
 - Temperatura elevada o humedad relativa excesivamente baja.
 - Materiales no antiestáticos.
 - Inexistencia de conexiones a tierra
- **Medidas preventivas asociadas al proceso de secado**
- Caracterización de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.
 - Temperatura de descomposición.
 - Tiempo necesario para el secado.
 - Velocidad de secado.
 - Compatibilidad de sustancias
- Verificación del sistema antes y después de taparlos.
- Comprobar que no existen huecos entre el pavimento y los tubos calefactores.
- Vigilar el comportamiento de las sustancias durante el secado.



- No utilizar telas metálicas desnudas como fondo de las bandejas, puesto que se calientan.
- **Ventajas**
- Método simple.
- Trabaja de forma continua.
- Se minimiza el riesgo de emanación de vapores tóxicos o inflamables de las sustancias pirotécnicas.
- **Inconvenientes**
- En caso de que no se haya realizado adecuadamente el sellado del suelo puede producir accidentes graves.
- Sistema muy caro e instalación complicada.
- Se necesita mucho tiempo en calentarse el líquido que contiene.

8.7. HILO RADIENTE

El hilo radiante eléctrico es un sistema de calefacción a alta temperatura cuya fuente de calor es un cable calefactor integrado en el suelo del secadero. Este cerramiento provoca la emisión de calor por irradiación.

Una vez instalado el sistema de calefacción por hilo radiante eléctrico se recomienda echar una capa de mortero u hormigón encima del sistema para aislarlo de las posibles fuentes de ignición.

No existe normativa española asociada a este tipo de sistema de calefacción, sino que la normativa IEC establece requisitos para el hilo empleado en este tipo de sistema de calefacción.

1. *Riesgos asociados al proceso de secado*

a. **Incendio y/o explosión**

- Fuente: descomposición exotérmica del material pirotécnico durante el proceso de secado. Causas.
 - Temperatura de secado elevada.
 - Sustancias pirotécnicas sensibles a la temperatura.
 - Sustancias pirotécnicas incompatibles.
- Fuente: chispas de origen estático. Causas.
 - Temperatura elevada o humedad relativa excesivamente baja.



- Materiales no antiestáticos.
- Inexistencia de conexiones a tierra

2. Medidas preventivas asociadas al proceso de secado

- Caracterización de las sustancias pirotécnicas sometidas a secado.
 - Temperatura de descomposición.
 - Tiempo necesario para el secado.
 - Velocidad de secado.
 - Compatibilidad de sustancias
- Verificar los cables calefactores antes y después de taparlos.
- Comprobar que no existen huecos entre el pavimento y los cables calefactores
- Vigilar el comportamiento de las sustancias durante el secado.
- No utilizar telas metálicas desnudas como fondo de las bandejas, puesto que se calientan.

3. Ventajas

- Método simple.
- Trabaja de forma continua.
- Se minimiza el riesgo de emanación de vapores tóxicos o inflamables de las sustancias pirotécnicas.

4. Inconvenientes

- En caso de que no se haya realizado adecuadamente el sellado del suelo puede producir accidentes graves.
- Sistema muy caro e instalación complicada.

8.8. OTROS TIPOS DE SECADO

En estos tipos de secado, el control del proceso de secado es particularmente complejo, y en particular, no se consideran adecuados. La incidencia de radiaciones sobre la sustancia produce una elevación de temperatura de ésta, que a su vez, transmite calor al aire por contacto, alcanzando un punto en que la energía que absorbe iguala a la energía que emite al ambiente.

La dificultad de determinar dicha temperatura de equilibrio obligaría a la medición de la temperatura sobre la misma sustancia, ya que la temperatura ambiente puede ser considerablemente inferior a la de las sustancias, alcanzando éstas valores peligrosos.



Por todo ello, el uso de estos tipos de secado requiere estudios específicos que sobrepasan el alcance de esta guía. La utilización de estos tipos de secado requerirá de una justificación específica, y ensayos pertinentes que demuestren la adecuación del sistema a las sustancias pirotécnicas en condiciones de seguridad.

8.8.1. SECADO POR INFRARROJOS

El secado mediante lámpara de infrarrojo implica un calentamiento directo de las composiciones. Este tipo de secado requiere el empleo de lámparas de tipo reflector de 25 w. Han de regularse cuidadosamente las distancias según el tipo de material a secar y son necesarios complejos accesorios que garanticen el aislamiento total del material respecto de las fuentes de calor.

Para evitar altas temperaturas, el proceso debe realizarse en condiciones abiertas, lo que impide ser ventajoso.

8.8.2. EXPOSICIÓN A ULTRASONIDOS

La incidencia de ultrasonidos sobre las sustancias provoca un calentamiento de la sustancia que favorece su secado. Al igual que la exposición u otro tipo de radiaciones, tiene el inconveniente del control de la temperatura en la sustancia, que depende de diversos factores como el tipo de sustancia, el tiempo de exposición, la distancia, el grado de absorción de las radiaciones, ventilación, etc.

9. CAPACIDAD DE LA CÁMARA DE SECADO

La cámara de secado es el recinto en el que tiene lugar el proceso de secado. Bajo el punto de vista de la eficiencia en el secado es conveniente adecuar las dimensiones del local a las necesidades reales de secado.

Existen dos planteamientos básicos para la cámara de secado: cámara única y compartimentación.

- Cámara única: se trata de una cámara, de dimensiones considerables, en la que se introducen todas las materias a secar (Figura 41).
- Compartimentación: en este caso existen varias cámaras de dimensiones ajustadas a las bandejas o carros, de forma que se pueden poner en funcionamiento de forma independiente en función de las necesidades de secado (Figura 41).

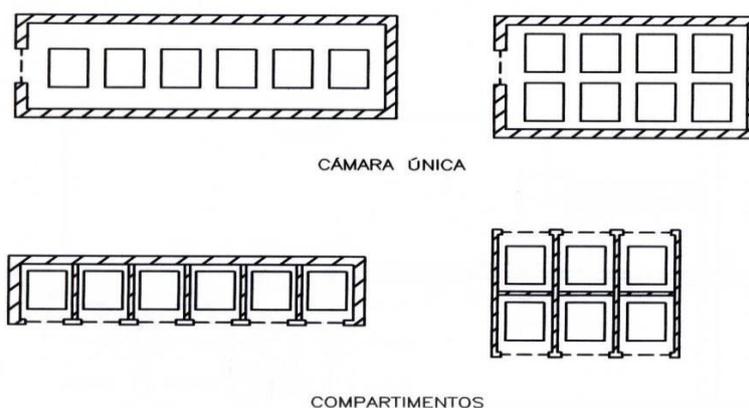


Figura 41: Esquema de diseño de cámaras de secado

Dentro de la variedad de diseños de secaderos pirotécnicos destacan los secaderos compartimentados. Se trata de un local dividido en varias unidades de secado independientes, para distintas materias pirotécnicas, separados por muros de hormigón armado u otros materiales de resistencia equivalente.

Cada una de estas unidades puede contar con su propio equipo de secado o impulsor de aire, o por el contrario, se puede disponer de un único equipo de secado, de mayor potencia, que alimente a cada una de estas unidades, pudiéndose complementar con sistemas de



apertura/cierre de cada una de las canalizaciones que acceden a las distintas compartimentaciones.

Con este sistema de compartimentación se alcanza un mayor rendimiento de secado, además de disminuirse el riesgo de inflamación, puesto que en cada compartimento se procede al secado de una única composición pirotécnica. Asimismo, se disminuye la cantidad de sustancias depositadas a secar, en comparación con un mismo secadero sin compartimentar.



Figura 42: Secadero compartimentado en ocho unidades

Para determinar las dimensiones mínimas necesarias para el normal funcionamiento de la actividad, conviene conocer de antemano las necesidades de secado del taller.

Si no se conocen las dimensiones de la cámara de secado adecuadas al taller, a continuación, se describe un procedimiento para un dimensionado preliminar:

- Consumo diario en kilogramos (Q_d) de materias que requieran el proceso de secado. Conviene considerar un consumo para fechas de consumo punta.
- Periodo del secado (d). Es el número de días mínimo que se requiere para conseguir un secado conveniente, en fechas de condiciones ambientales más desfavorables. Esta duración puede variar dependiendo de varios factores: humedad del material, humedad y temperatura ambiente, temperatura de secado elegida, etc.
- Masa total en kilogramos de material a secar (P), cuyo valor será:

$$P = Q_d * d$$



- Dimensiones de las bandejas, largo (a), ancho (b), altura (c) en metros. Las dimensiones se pueden elegir a voluntad. Si en alguna fase del proceso se han de manipular por un único operario, conviene que no sean excesivamente grandes para poder manipularlas con seguridad.
- Masa en kilogramos del material depositado en cada bandeja, o unidad de transporte (p). Este valor depende de las dimensiones de las bandejas y del estado de agregación del material. Para ello, es recomendable que el material no llegue a rebosar los bordes de la bandeja para que pueda transportarse de forma normal y segura sin pérdidas ni derrames de producto.
- Cantidad de bandejas necesarias para el secado (n), cuyo valor será:

$$n = P/p$$

Hay que puntualizar que éste es el número de bandejas en el proceso de secado. Para determinar el número de bandejas totales en circulación habrá que considerar el stock intermedio y las bandejas necesarias en curso de fabricación.

- Volumen mínimo de secado en metros cúbicos (V_S), cuyo valor se puede determinar por:

$$V_S = 10^{-6} * \frac{6 * n * p}{1000} * \frac{1}{r_0}$$

Siendo r_0 la densidad aparente del material en g/cm^3 , y considerando un espacio libre entre bandejas igual al doble de la altura para la circulación de aire ().

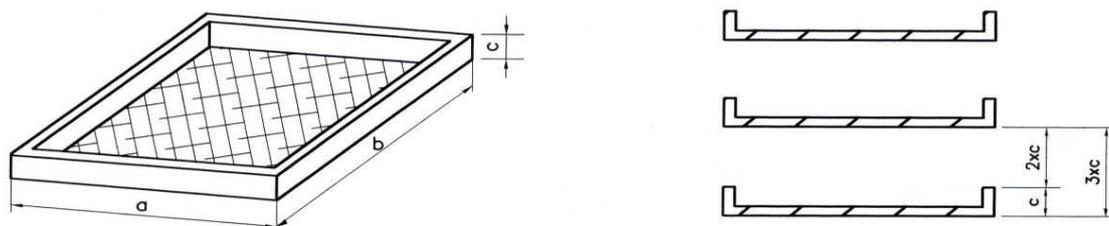


Figura 43: Dimensionamiento de las bandejas

También se puede calcular el volumen mediante la siguiente expresión:

$$V_S = 3 * n * a * b * c$$

Siendo a, b y c las dimensiones de las bandejas en metros.

- Volumen total de la cámara de secado en metros cúbicos (V_{TOTAL}).

$$V_{TOTAL} = V_S * K_H * K_{EST}$$



Siendo K_H el factor de altura ($K_H = \text{altura total} / \text{altura utilizada}$), y K_{EST} el factor estático para pasos y espacio estático alrededor de las bandejas².

- Superficie de la cámara de secado (S), en metros cuadrados.

$$S = \frac{V_{TOTAL}}{H_{TOTAL}}$$

Siendo H_{TOTAL} la altura total de la cámara de secado. En cámaras pequeñas, o por el sistema de compartimentación, conviene calcular la superficie a partir de las dimensiones reales de las bandejas, dejando una separación mínima de 20 cm entre las paredes y las bandejas para una buena circulación del aire.



²Un valor orientativo puede ser K_H igual a 1,2 y K_S igual a 1,5 siendo el $V_{TOTAL} = 1,8 * V_S$



10. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE UN SECADERO

Un secadero de materia pirotécnica es considerado en el Reglamento de artículos pirotécnicos y cartuchería (RD 989/2015) como un local peligroso, entendiéndose este como aquel compartimento integrado o no en un edificio en el que se llevan a cabo la manipulación o almacenamiento de materias reglamentadas.

10.1. UBICACIÓN DEL SECADERO

De acuerdo a lo establecido en el Reglamento de artículos de pirotecnia y cartuchería, los secaderos deben mantener una distancia de seguridad respecto a los demás edificios del taller de pirotecnia, en función de las características constructivas, y de la cantidad y división de riesgo de las sustancias pirotécnicas existente en su interior.

Estas distancias mínimas que han de observarse en el emplazamiento de los secaderos, se especifica en la ITC Nº 9 del citado reglamento, en la cual:

$$D = k\sqrt[3]{Q}$$

Donde Q es la distancia entre edificios o locales, en metros, Q es la cantidad de materia reglamentada contenida habitualmente en cada edificio o local dador, en kilogramos y k es un coeficiente de acuerdo con las siguientes tablas.



División de Riesgo 1.1

Coefficiente K

Receptor		Dador			
		→	→	→	→
Cubierto de tierra (1)		2	2,5	3	3,5
Cubierta y paredes resistentes (2)		2	3	4	5
Cubierta resistente (2) y paredes ligeras, con defensas (3)					
Paredes resistentes (2) y cubierta ligera		2	2,5	3	5
Cubierta y paredes ligeras, con defensas (3)					
Cubierta y paredes ligeras		2	3,5	4	6

- (1) El espesor mínimo del recubrimiento será de un metro.
- (2) El espesor mínimo de la cubierta o pared será el correspondiente a 25 centímetros de hormigón armado u otra estructura de resistencia equivalente.
- (3) Ver apartado 4 de esta ITC.



División de Riesgo 1.3 y 1.2

Coefficiente K

Dador	Receptor			
Recubierto de tierra		*	*	*
Pared resistente al fuego (1) sin aberturas		*	*	1,25
Pared resistente al fuego (2) con defensas		*	1,25	1,4
Pared resistente al fuego (2) sin defensas		1,4	1,4	1,7
Pared ligera o cara de alivio de presión (3), con defensas		1,4	1,7	2,0
Pared ligera o cara de alivio de presión (3), sin defensas		1,4	1,7	2,0

* Ninguna regulación de distancias.

(1) Pared con una resistencia al fuego EI-60 según Real Decreto 842/2013.

(2) Pared con una resistencia al fuego EI-30 según Real Decreto 842/2013.

(3) Es un panel o zona debilitada, de baja resistencia a la sobrepresión.

División de Riesgo 1.4

En este caso, la distancia mínima entre edificios o locales será de 5 metros si las paredes son de hormigón armado de 25 centímetros de hormigón o estructura de resistencia equivalente, o de 10 metros si se trata de paredes ligeras.

10.2. DEFENSAS

El Reglamento de artículos de pirotécnica y cartuchería diferencia, en diversos casos, el que un edificio o local peligroso esté dotado o no de defensas que lo protejan de una explosión externa o limiten los efectos al exterior de una explosión ocurrida en el interior de dichos locales.

Una defensa basada en el efecto “pantalla” presenta, al menos, una disminución de los riesgos al confinar o aislar los efectos de una posible explosión. Los tipos de defensa de efecto “pantalla” que se pueden emplear son:



- Defensa o barrera contra las explosiones.
- Defensa o barrera contra las “bolas” de fuego y proyecciones de restos.

Las defensas de efecto pantalla se localizarán frente a los paramentos de construcción ligera del edificio dador con el objeto de salvaguardar el edificio receptor, paso de personas, etc, de los efectos de una explosión o incendio del edificio.

10.2.1. DEFENSAS CONTRA LAS EXPLOSIONES

Los tipos de defensa que se pueden utilizar contra las explosiones son los siguientes:

- Defensa natural o perfil accidental del terreno;
- Merlones de tierra;
- Muros;
- Terraplenes;
- Cavidades artificiales.

Los requisitos generales que deben tenerse en cuenta en el diseño y construcción de estas defensas son:

- El apantallamiento de la defensa debe ser lo suficientemente grande para que el perímetro de proyección de la posible explosión caiga dentro de la defensa.
- La resistencia de la defensa debe ser la adecuada para soportar el esfuerzo máximo previsible. Los muros deben estar calculados, para resistir, sin vuelco, el efecto de la onda de choque.
- Cuando la defensa o protección se establezca a partir de terraplenes, podrá estar cubierta de material, natural o artificial, que garantice, en su caso, el perfil de aquella.
- Como norma general, la defensa deberá tener como altura mínima la del edificio o local que protegen. En todo caso, deberán superar en un metro la altura de las materias reglamentadas contenidas en dichos locales o edificios.

Entre los muy diversos tipos de defensas en uso, se ilustran en la Figura 44 algunas de las disposiciones más habituales.

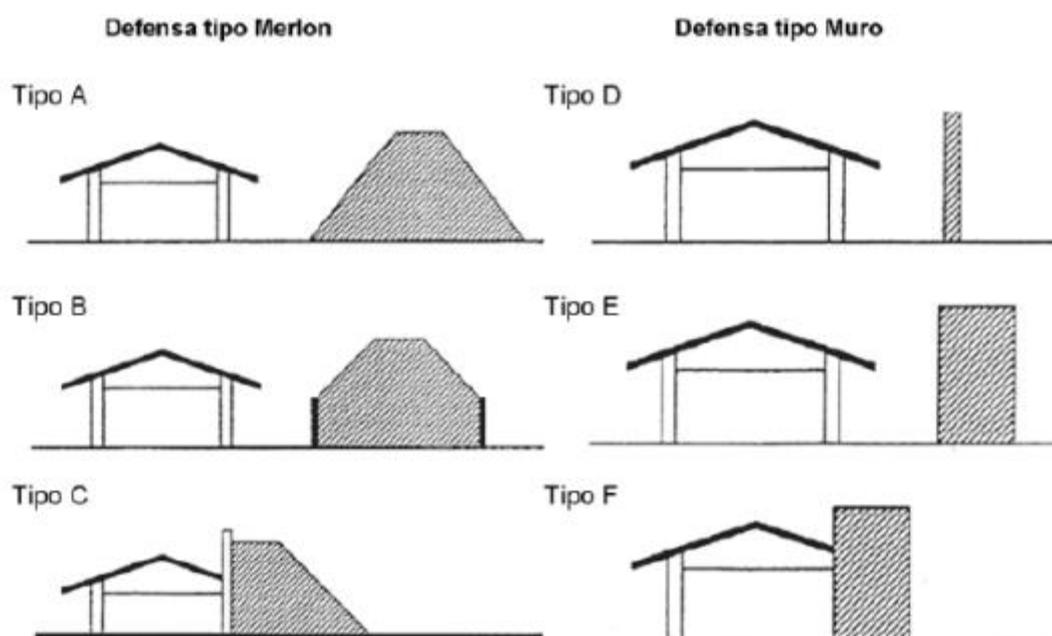


Figura 44: Disposiciones de defensas

En las siguientes figuras se indican las características constructivas.

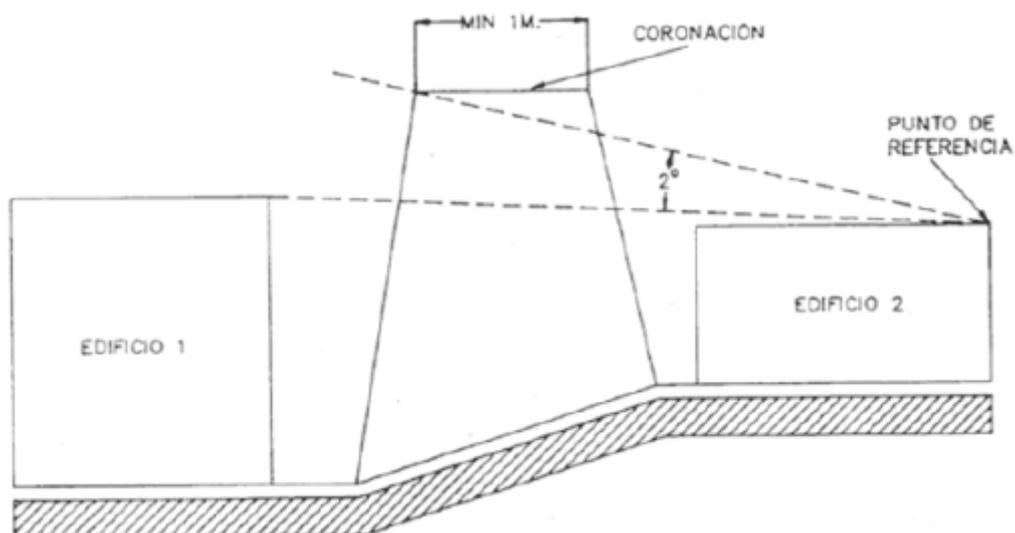


Figura 45: Diseño de la defensa en planta

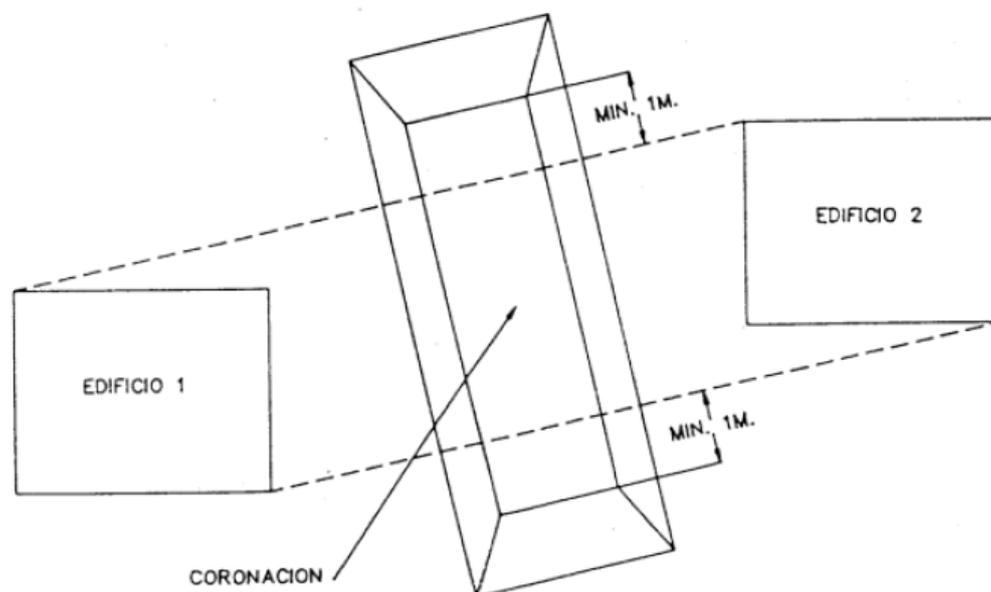


Figura 46: Diseño de la defensa en alzado

10.2.2. DEFENSAS CONTRA LAS “BOLAS” DE FUEGO Y LAS PROYECCIONES

El objetivo de estas defensas es prevenir la propagación del fuego a otros edificios o secciones colindantes al hipotético lugar de la deflagración.

La diferencia respecto a las defensas construidas contra las explosiones, es que éstas no están calculadas para soportar las presiones producidas por una supuesta explosión. La disposición de estas defensas es análoga a las descritas en las barreras contra explosiones con la salvedad de que no son resistentes a las presiones de una posible explosión.

10.3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Las paredes y el suelo de los secaderos deben poseer una superficie lisa, sin grietas ni fisuras, y permitir su fácil limpieza y lavado. El suelo debe ser además antideslizante y estar construido con materiales antiestáticos.



El tipo de acabado superficial interior debe de ser fino para evitar la acumulación de polvo. Puesto que un secadero necesita una limpieza muy exhaustiva y continuada, una buena solución consiste en revestir las paredes con azulejos.

En el basamento de los edificios, el tipo de construcción más generalizado consiste en una solera de hormigón de 15 cm de espesor.

Las medidas que se pueden adoptar contra la permeabilidad de la humedad y del calor, son:

- En cuanto a la humedad:
 - La colocación de aceras, de un ancho mínimo de 50 cm.
 - Recubrimiento exterior de la parte inferior de los paramentos con pinturas asfálticas o resinas epoxi, como mínimo de una altura de 50 cm.
- En cuanto al aislamiento térmico:
 - Si el edificio está provisto de falso techo se colocará sobre éste una capa aislante de fibra de vidrio de un espesor aproximado de 5 cm.
 - Si el edificio no tiene falso techo, se puede emplear el techo tipo sándwich (planchas de acero galvanizado con aislante en su interior).
 - Para los paramentos exteriores, si se considera necesario, se puede emplear cámara de aire, pudiéndose la rellenar con fibra de vidrio o cualquier tipo de resina aislante.

Los principales diseños constructivos para evacuar la onda expansiva son:

- Construcción superficial:
 - Construcción no resistente.
 - Construcción resistente del techo.
 - Construcción resistente de tres paramentos.
 - Construcción resistente de techo y tres paramentos.
- Edificación semienterrada:
 - Construcción resistente de techo y tres paramentos.

En la Figura 47 se muestra gráficamente un ejemplo de estos tipos de construcción. Las construcciones resistentes más clásicas son las de hormigón armado. Asimismo en la Figura 48 se representan varias configuraciones de diseño de esta clase de estructuras.



TIPO DE EDIFICACIONES					
SUPERFICIAL				SEMIENTERRADA	
NO RESISTENTE	TECHO RESISTENTE	TRES PARAMETROS RESISTENTES	TECHO Y TRES PARAMENTOS RESISTENTES	TECHO Y TRES PARAMENTOS RESISTENTES	
VISTA EN PLANTA	VISTA EN PLANTA	VISTA EN PLANTA	VISTA EN PLANTA	VISTA EN PLANTA	VISTA EN PLANTA
ALZADO	ALZADO	ALZADO	ALZADO	ALZADO	ALZADO

NOTA: FRENTE A LOS PARAMENTOS DE CONSTRUCCIÓN LIGERA ES CONVENIENTE CONSTRUIR DEFENSAS DE SALVAGUARDIA CONTRA LA PROYECCIÓN DE RESTOS Y BOLAS DE FUEGO.

Figura 47: Tipo de edificaciones

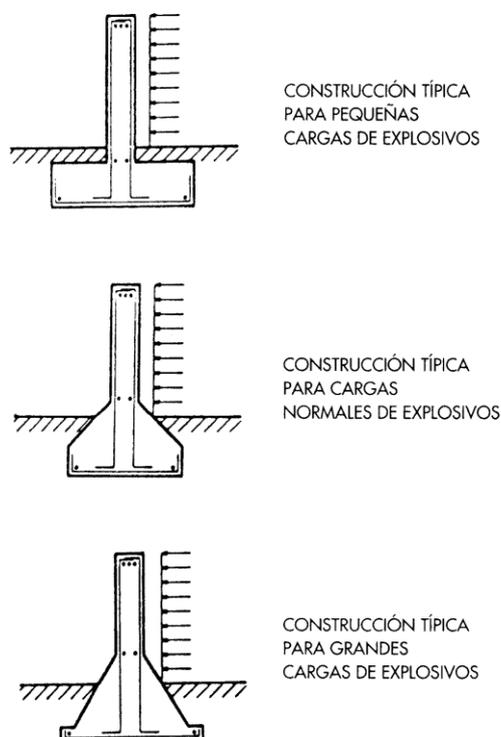


Figura 48: Configuraciones básicas de diseño (hormigón armado)

Para los techos, en cuanto al tipo de protección elegida contra la proyección de los elementos más proclives a ello por los efectos de una explosión, los de plancha de acero galvanizada no precisa protección alguna, sin embargo, si se trata de planchas de fibrocemento será necesario colocar un mallazo metálico en la parte superior u otro tipo de protección adecuada. Cuando el edificio esté provisto de falso techo esta protección se podrá colocar por debajo de las planchas de fibrocemento.

Las puertas deberán ser de seguridad de clase 6 según norma UNE-EN 1627:2011 para medidas de protección ciudadana, además deberán tener una resistencia suficiente para soportar un posible impacto exterior. Asimismo, deberán abrir hacia fuera y cerrarán con las suficientes garantías de seguridad.

Por otro lado, y desde el punto de vista de protección contra el fuego, los secaderos deben cumplir las exigencias exigidas para los sectores de incendio EI-60 y EI-30 según el Real Decreto 842/2013.



10.4. LIMPIEZA DE LAS CÁMARAS DE SECADO

Dado que en un secadero de mezclas pirotécnicas es muy probable que se pueda generar polvo durante el proceso de secado, el método de limpieza más adecuado corresponde al de aspiración, combinado o no con barrido en húmedo y arrastre por agua.

El secado por soplado tiene el inconveniente de que puede poner en suspensión cantidades apreciables de polvo que puedan existir en el secadero, de tal forma que pudieran entrar en ignición o formar una mezcla explosiva en el aire.

La limpieza por aspiración consiste en la absorción de polvos y residuos mediante el empleo de una aspiradora. Si ésta es eléctrica deberá tener un grado y modo de protección adecuados.

La limpieza por barrido en húmedo consiste en esparcir sobre el suelo serrín previamente humedecido y después barrer con una escoba de palma o cepillo de raíces finas o blandas tanto el serrín como los residuos acumulados en el suelo.

La limpieza por arrastre de agua consiste en arrastrar mediante agua a presión todos los depósitos de suciedad que se puedan encontrar en el suelo.

En general, la limpieza del suelo debe hacerse, siempre que se pueda, por arrastre con agua, excepto cuando la naturaleza del suelo no lo aconseje. En este caso, se utilizaría el barrido en húmedo preferentemente, salvo que esté presente polvo de magnesio, de maglium, de aluminio o de titanio, para los que se utilizaría el barrido en seco, siempre y cuando no suponga un agravamiento del posible riesgo existente.



11. ACCESORIOS PARA EL SECADO DE PRODUCTOS

Los accesorios para el secado de productos se especifican en los siguientes apartados.

1. Riesgos asociados a la utilización de bandejas, bancadas, carros y cuadros

a. Incendio y/o explosión

- Fuente: impacto, rozamiento o chispa mecánica. Causas.
 - Sobrellenado de las bandejas con el consiguiente derrame de sustancias.
 - Ensamblaje inadecuado de las bandejas en los carros.
 - Baja resistencia e inestabilidad de carros y bandejas.
 - Saliente de hierro u otros materiales susceptibles de provocar chispas mecánicas por rozamiento o impacto, en las bandejas, bancadas y carros.
 - Tamaño excesivo, que dificulta la manipulación.
 - Esquinas y cantos de carros no protegidos.
 - Vías de circulación irregular o inexistente.
- Fuente: chispa de origen estático. Causas.
 - Utilización de plásticos como fondo de bandejas.
 - Materiales no antiestáticos.
 - Inexistencia de conexiones a tierra.

2. Medidas preventivas asociadas a la utilización de bandejas, bancadas, carros y cuadros

- El transporte manual de las bandejas es adecuado para pocas distancias o cantidades, pero es más conveniente la utilización de carros de transporte.
- Las vías de circulación deben ser lo suficientemente planas y regulares para asegurar un transporte seguro, reduciendo vibraciones y el riesgo de vuelco.
- Las bandejas deben ser lo suficientemente resistentes para soportar el uso previsto y deben de disponer de medios adecuados para evitar la producción de chispas por rozamiento al manipularlas, desplazarlas, etc, evitando el contacto entre pares de materiales hierro – hierro.
- Las esquinas y los cantos de los carros deben protegerse mediante bandas amortiguadoras u otro sistema equivalente. Asimismo, en caso de tener ruedas, éstas serán preferiblemente de caucho o nylon.



- Las bandejas de secado deben impedir que al apilarlas, el fondo de una superior roce el material que contiene la inferior. El material a secar debe esparcirse uniformemente en la bandeja y no deben utilizarse bolsas u hojas de plástico en el fondo de las mismas, puesto que se cargan eléctricamente con facilidad y forman gotas de humedad condensada.
- Las bandejas deben ser confeccionadas con materiales ligeros, suficientemente resistentes a la manipulación requerida, y antistáticos.
- El ensamblaje debe ser lo suficientemente robusto, y los elementos de fijación estar debidamente instalados, evitando en lo posible que las cabezas de los tornillos queden al descubierto, siendo preferibles los tornillos avellanados. Igualmente, para las bandejas de madera ensambladas con clavos, es preferible la utilización de clavos de cabeza cónica.
- Las dimensiones deben ser acordes al método de manipulación y transporte previsto. Es preferible un tamaño tal que pueda ser manipulado con seguridad por un solo operario. En caso de dimensiones elevadas habrá que indicar la prohibición de ser manipuladas por un único operario.

11.1. BANDEJAS Y BASTIDORES

Las materias a secar, color o mixturas diversas, se disponen normalmente en bandejas, con un marco lateral de cierta altura para evitar el derrame de las sustancias, y un fondo de rejilla o mallas lo suficientemente finas como para no dejar pasar las sustancias, pero que permita la circulación de aire con objeto de facilitar el secado.

Las bandejas de secado deben impedir que, al apilarlas, el fondo de una superior roce el material que contiene la inferior.

El material a secar debe esparcirse uniformemente en la bandeja y no deben utilizarse bolsas u hojas de plástico en el fondo de las mismas, puesto que se cargan eléctricamente con facilidad y forman gotas de humedad condensada.

Las bandejas pueden adoptar variedad de tipos constructivos y confeccionados con materiales diversos, no obstante son habituales las bandejas construidas en madera, ya que son bastante ligeras y suficientemente resistentes a la manipulación requerida y no generan electricidad estática (Figura 49 y Figura 50). También pueden construirse en aluminio, acero inoxidable u otros materiales antiestáticos.

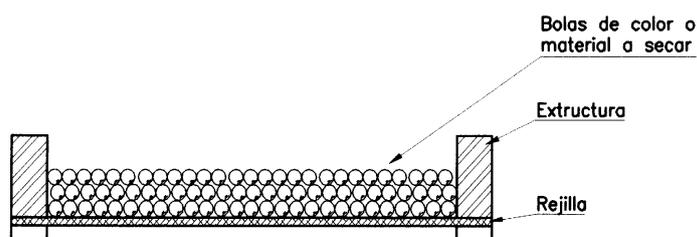


Figura 49: Bandejas



Figura 50: Bandejas en cámara de secado

El ensamblaje debe ser lo suficientemente robusto, y los elementos de fijación estar debidamente instalados, evitando en lo posible que las cabezas de los tornillos queden al descubierto. Son preferibles los tornillos avellanados. Se deberán emplear clavos de cabeza cónica en las bandejas de madera ensambladas con clavos, estos debidamente repulsados y masillados.

Las dimensiones serán acordes al método de manipulación y transporte previsto. Es preferible un tamaño tal que pueda ser manipulado con seguridad por un solo operario. En caso de dimensiones elevadas habrá que indicar la prohibición de ser manipuladas por un solo operario.

11.1.1. DISPOSICIÓN DE LAS BANDEJAS

En general, y según el método de secado, las bandejas se pueden disponer en bancadas o en carros (Figura 51).

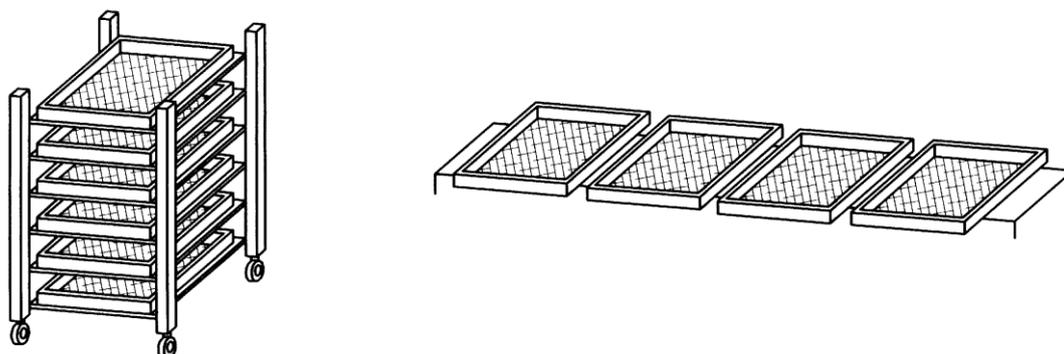


Figura 51: Disposición de bandejas

En bancadas, bien sea en interiores o en exteriores, las bandejas se sitúan sobre unos largueros dispuestos para soportar las bandejas. Serán lo suficientemente resistentes para soportar el uso previsto y disponer de los medios adecuados para que no se produzcan chispas por roces al manipularlas o desplazarlas, etc., evitando el contacto entre pares de materiales hierro - hierro. Por ejemplo, si las bandejas son de acero inoxidable, los soporte que las alojen serán de madera, latón, plástico, etc., o cualquier otro material antiestático no férreo.

El empleo de carros aporta muchas ventajas, ya que las bandejas se disponen de forma adecuada para su secado y facilita considerablemente el transporte de los materiales. Una estructura, generalmente de madera, o metálica, aloja una cierta cantidad de bandejas, en el lugar donde se elaboran las materias.

Una vez alojadas las bandejas en dichos carros, permanecen en ellos durante todo el proceso de secado, permitiendo también el transporte hasta los distintos lugares de procesamiento, elaboración-secado-manipulación posterior. Así mismo, las esquinas y cantos de los carros deben protegerse, mediante bandas amortiguadoras, contra posibles golpes o rozamientos.

Análogamente a las bancadas, las bandejas serán lo suficientemente resistentes para soportar el uso previsto y disponer de los medios adecuados para que no se produzcan chispas por roces al manipularlas o desplazarlas, etc., evitando el contacto entre pares de materiales hierro-hierro. Por ejemplo, si las bandejas son de acero inoxidable, los soporte que las alojen serán de madera, latón, plástico, etc., o cualquier otro material antiestático no férreo.

Las ruedas serán preferiblemente de caucho o nylon, habrá que disponer las vías de circulación lo suficientemente planas, para asegurar un transporte seguro, reduciendo las vibraciones y el riesgo de vuelco.



11.1.2. TRANSPORTE DE LAS BANDEJAS

Desde la producción de las materias húmedas, hasta su utilización tras su proceso de secado, las materias han de ser transportadas hasta los lugares adecuados, bien de forma manual, o bien mediante el empleo de carros u otros medios habituales.

El transporte manual, es adecuado para pocas distancias o cantidades, pero generalmente es más adecuado la utilización de carros de transporte.

11.2. CUADRO O NORIA PARA EL SECADO DE ESTOPÍN

La función de los secaderos en pirotecnia es también muy importante en la fabricación de mecha de estopín, en particular para la fabricación de tracas, debido a la gran cantidad de cuadros y volumen que se requiere cuando el proceso de secado es lento. En este caso se necesita de un secado rápido, para reducir el stock de producto en curso de fabricación y espacio requerido.

Para ello, la mecha de estopín se enrolla en los cuadros o norias, en espiral y de forma que no se toquen entre sí, hasta que tiene lugar su secado (Figura 52).

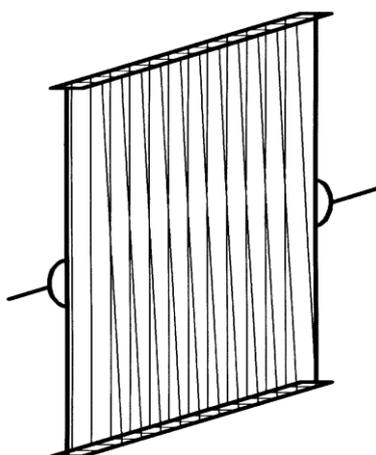


Figura 52: Cuadro o noria

11.3. ENTRADAS Y SALIDAS DE AIRE



En función del tipo de equipo o tecnología de secado, los huecos de entrada o salida de aire deben estar protegidos exteriormente con una malla metálica resistente y con una luz lo más pequeña posible, para evitar la entrada de chispas, roedores y objetos.

La entrada de aire caliente se debe situar en aquellas zonas de la cámara de secado en donde no tienda a acumularse polvo.

11.4. CONDUCTOS DE DRENAJE

Los canalones y otros conductos de drenaje que pudieran existir en el interior o exterior de la cámara de secado, en función del tipo de limpieza, deben de ser de fácil inspección y limpieza en todos sus tramos. Asimismo, siempre que sus características lo permitan, serán descubiertos o fácilmente accesibles y estarán diseñados de forma que los residuos explosivos arrastrados por el agua se depositen en un decantador del que puedan ser recogidos.

11.5. OTROS DISPOSITIVOS

Es posible la ubicación de distintos dispositivos según el tipo de secado que se emplee, como impulsores de aire, accionadores, condensadores o radiadores.

Todos aquellos que sean de naturaleza eléctrica deberán de cumplir con los requisitos establecidos en la ITC 13 del Reglamento de artículos pirotécnicos y cartuchería.

Si se disponen de registros de ventilación con apertura y cierre automatizado, se preferirán los accionadores hidráulicos o bien neumáticos. Si son de naturaleza eléctrica cumplirán las especificaciones correspondientes de la ITC 13.

Si se sitúan impulsores de aire, a la boca de admisión deberán llevar acoplados los sistemas de filtrado y las tomas de conexión a tierra como se describe en el apartado de filtros. Se dispondrá de algún dispositivo que impida la puesta en funcionamiento cuando los filtros no estén acoplados.

Si existen canalizaciones de aire, deberán estas sólidamente instaladas y ser de material antiestático. Se dispondrán de manera que no dificulten la limpieza de la cámara de secado.

11.6. DISPOSITIVOS DE ALARMA, SEGURIDAD Y CONTROL



Si el secadero dispone de funcionamiento automático, es conveniente que disponga de alguna señalización que informe del estado de marcha, y en su defecto incorpora alguna función que provoque el paro del sistema cuando se pretenda acceder a su interior.

Cuando exista algún sistema de generación de calor, el sistema dispondrá de un termostato que limite la temperatura de secado. Si los generadores son muy potentes, se puede disponer de un segundo termostato de seguridad, que se puede calibrar en 5 °C sobre la temperatura de secado.

La activación del termostato de seguridad producirá la activación de una señal de alarma. El control de los sistemas puede ser por todo/nada, alcanzados los valores de consigna en los termostatos correspondientes, o también por control de humedad en la cámara. Puede utilizarse un ciclo constante, o bien combinar la ventilación en circuito abierta o cerrada en función de la fase de secado, ya que en las primeras fases del secado puede convenir la ventilación en circuito abierto y cambiar después la circulación en circuito cerrado. También se puede combinar la generación de calor con la deshidratación.



12. EQUIPOS Y DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS

Las zonas donde están presentes o puedan presentarse materias reglamentadas se aplicará la ITC 13 del Reglamento de artículos pirotécnicos y cartuchería, mientras que en zonas donde no estén presentes dichas materias reglamentadas, será de aplicación lo establecido en el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

De conformidad con lo establecido en la Instrucción técnica complementaria número 14 del Reglamento de artículos pirotécnicos y cartuchería, el empresario titular deberá identificar todas las zonas con peligro de explosión existentes en el centro de trabajo.

Si en la zona donde se encuentra la materia pirotécnica secándose existe exposición directa de la materia reglamentada a una posible fuente de ignición se clasificará como zona Z0.

Si no existe una barrera física separando dicha zona se deberá determinar el límite de la zona Z0. Por ejemplo en la Figura 53 no existe dicha barrera física por lo que en el entorno del secadero la existencia de exposición directa a una posible fuente de ignición de origen eléctrico es ocasional.

En caso de no efectuar cálculos para la determinación del límite de la zona Z0, puede utilizarse la aproximación de 1 metro establecida en la norma, siempre y cuando se observe que más allá de 1 metro no exista presencia de acumulación de polvo.

Por lo tanto, a partir de un metro de distancia del entorno de las bandejas de secado se clasifica la zona como Z1.



Figura 53: Secadero



El material eléctrico y las canalizaciones deberán, en la medida de lo posible, estar situados en zonas no clasificadas. Si esto no fuera posible, se ha de elegir para su instalación alguna de las zonas con menor riesgo.

12.1. SELECCIÓN DEL MATERIAL ELÉCTRICO

La máxima temperatura superficial de los equipos eléctricos debe ser al menos 75 °C inferior a la mínima temperatura de descomposición determinada según la norma UNE 31017 “Ensayo para la determinación del efecto de la elevación de la temperatura sobre las sustancias explosivas” para cada una de las posibles materias o mezclas explosivas que puedan presentarse en las zonas Z0, Z1 o Z2, sin exceder en ningún caso los 200°C. Si por razones técnicas no existiesen equipos eléctricos que garanticen el cumplimiento de estos requisitos deberán tomarse las medidas adecuadas para asegurar que no ocurran reacciones peligrosas de las materias que puedan entrar en contacto con esas superficies.

Hay que prestar especial importancia a la temperatura superficial de los equipos eléctricos presentes en las zonas clasificadas (Z0, Z1 y Z2), ya que pueden convertirse en una fuente de ignición.

El material eléctrico se debe seleccionar de manera que su temperatura superficial máxima no alcance la temperatura de ignición de cualquier sustancia pirotécnica que pueda estar presente. Por tanto, la primera medida a realizar será la caracterización de las sustancias presentes en la zona clasificada que pueda entrar en contacto con las superficies de los equipos.

Una vez establecida la temperatura de descomposición de todas las sustancias presentes, se determina la temperatura del equipamiento eléctrico a instalar, para ello se usará la temperatura de descomposición más restrictiva.

$$T_{\text{máxima admitida}} = T_{\text{descomposición}} - 75^{\circ}\text{C}$$

El equipamiento a instalar deberá contar con alguno de los modos de protección establecidos en el apartado 3.10. de la ITC 13 del RAPYC, estableciendo la clase de temperatura en función de la caracterización de la sustancia realizada. Las clases de temperatura de los equipos eléctricos son las siguientes:

Tabla 1: Clase térmica

Clase térmica	T _{superficial máxima} (°C)
T1	450

T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Si por necesidades de proceso, una capa de polvo de material o mezcla explosiva mayor de 5 milímetros debe permanecer en contacto con una superficie de un equipo eléctrico Ex tD A20 en una zona Z0, la temperatura superficial del equipo se incrementará según lo establecido en la siguiente gráfica:

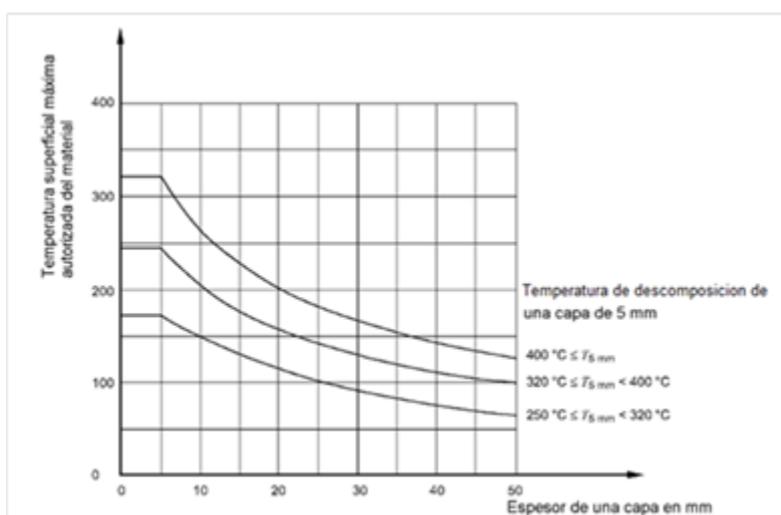


Figura 54: Temperatura superficial equipo

12.2. TOMAS DE CORRIENTE Y PROLONGADORES

No se permite la instalación de tomas de corriente ni el uso de prolongadores en zonas Z0 por riesgo de aparición de arcos eléctricos, chispas o sobrecalentamientos que pueda suponer una fuente de ignición.

Las tomas de corriente, con modo de protección adecuado para zona Z1, deberán disponerse de manera tal que la zona de inserción para la clavija esté dirigida hacia abajo con una máxima desviación de la vertical de 60°. Igualmente en zonas Z1, no se permite la utilización de



prolongadores ni adaptadores por riesgo de arcos eléctricos, chispas o sobrecalentamientos que pueda suponer una posible fuente de ignición

12.3. CALEFACCIÓN ELÉCTRICA

No se permite la utilización de calefacción eléctrica en zonas Z0 por representar una posible fuente de ignición de la materia clasificada. En el caso de que se tenga que utilizar calefacción para el confort de los trabajadores o por algún otro motivo, deberán utilizarse otros sistemas de calefacción.

En zonas Z1, la temperatura superficial de los aparatos en superficies lisas no deberá exceder los 120 °C. Adicionalmente al modo de protección correspondiente a la zona Z1, la calefacción eléctrica de locales y procesos deberá disponer de doble dispositivo limitativo de control de temperatura.

Se limita la temperatura de funcionamiento de los calefactores eléctricos a 120°C, cumpliéndose siempre el requisito de temperatura de descomposición de las sustancias. Habrá que prestar especial atención cuando existan sustancias con temperatura de descomposición inferior a 195 °C.

12.4. CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN

El cuadro general de distribución se situará en una zona no clasificada. Todo el material eléctrico y las canalizaciones deberán, en la medida de lo posible, estar situados en zonas no clasificadas.

Si esto no fuera posible, se ha de elegir para su instalación alguna de las zonas con menor riesgo. Los equipos eléctricos situados en las zonas clasificadas (Z0, Z1 y Z2) han de realizarse desde una zona no clasificada. Por lo que se tendrá dos opciones:

- Alimentación desde el cuadro principal.
- Alimentación desde un cuadro secundario situado siempre en una zona no clasificada. Este cuadro secundario es alimentado por el cuadro principal.

Al estar localizada en una zona no clasificada, se le aplicará ITC 17 del REBT. Los dispositivos generales de mando y protección deberán situarse lo más próximo posible a la puerta de entrada.

Las envolventes de los cuadros se ajustarán a las normas UNE EN 60670 y UNE –EN 61439-3, con un grado de protección mínimo IP 30 según UNE 20324 e IK07 según UNE-EN 50102. La



envolvente para el interruptor de control de potencia será precintable y sus dimensiones estarán de acuerdo con el tipo de suministro y tarifa a aplicar. Sus características y tipo corresponderán a un modelo oficialmente probado.



13. PROTECCIÓN FRENTE A LOS RIESGOS DE ELECTRICIDAD ESTÁTICA

En el diseño de los secaderos se debe tener en cuenta los efectos de la electricidad estática para reducirlos a un nivel seguro. Se adoptarán, entre otras, las siguientes precauciones:

- La resistencia a tierra del conjunto formado por la puesta a tierra y la red de conexión equipotencial no superará el valor de $1M\Omega$.
- El calzado y la ropa que se suministre a los trabajadores que desarrollen su actividad en zonas Z0 y Z1 deberán estar de acuerdo con el Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual, y deberán estar fabricados y diseñados de tal manera que no pueda producirse en ellos ningún arco o chispa de origen eléctrico, electrostático o causados por un golpe, que pueda inflamar una mezcla explosiva.
- Adicionalmente, el calzado, ya sea de seguridad, de protección o de trabajo, será de tipo antiestático, con una resistencia no inferior a $10^8\Omega$ (medidos según la norma UNE-EN ISO 20344:2005/A1:2008 “Equipos de protección personal. Métodos de ensayo para calzado”), debiendo estar identificado en el mercado con un símbolo “A”.
- La ropa de protección será conforme a la norma UNE-EN 1149-1:2007 “Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 1: Método de ensayo para la medición de la resistividad de la superficie” o la norma UNE-EN 1149-3:2004 “Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 3: Métodos de ensayo para determinar la disipación de la carga” y estará identificada con el pictograma de seguridad correspondiente.
- El pavimento instalado en zonas Z0, Z1 o Z2 tendrá una resistencia inferior a $10^9\Omega$, medida según la norma UNE-EN 61340-4-1:2005 “Electroestática. Parte 4-1: Métodos de ensayo normalizados para aplicaciones específicas. Resistencia eléctrica de recubrimientos de suelos y pavimentos instalados”.
- Deberán disponerse medios conductores de descarga electrostática para descarga de los trabajadores tanto antes de su acceso a zonas Z0 o Z1, como durante el desarrollo de su trabajo en estas zonas.

13.1. MEDIDAS PREVENTIVAS HACIA LOS TRABAJADORES

El cuerpo humano puede estar cargado electrostáticamente, generando y acumulación cargas electrostáticas, esto se debe a diversos factores, destacando:



- Contacto con elementos cargados.
- Proximidad de campos eléctricos generados por cuerpos cargados.
- Naturaleza de la vestimenta del trabajador. Debe evitarse en medida de lo posible prendas de fibra sintética, y calzado aislante ya que son malos conductores y pueden acumular mucha energía electrostática.
- Suelos con materiales aislantes.
- Humedad relativa del ambiente.
- Características físicas del trabajador en el momento (sudoración...).

Debido a la existencia del riesgo de explosión provocado por chispa electrostática, los trabajadores deberán tomar precauciones especiales.

13.1.1. CALZADO DE PROTECCIÓN ANTIESTÁTICO

El calzado, ya sea de seguridad, de protección o de trabajo, será de tipo antiestático, con una resistencia inferior a $10^9\Omega$ (medido según la norma UNE-EN ISO 20344 «Equipos de protección personal. Métodos de ensayo para calzado»), debiendo estar identificado en el marcado con un símbolo «A».



Figura 55: Calzado de seguridad antiestático

Las propiedades del calzado se pueden modificar de manera significativa en función de las condiciones ambientales del secadero (humedad, suciedad, etc). También es importante tener en cuenta las propiedades de resistencia del suelo, de tal manera que no anule las propiedades del calzado.

Existen diferentes categorías de calzado con las combinaciones de requisitos básicos y adicionales más comunes.



Tabla 2: Clasificación calzado

Símbolo / Categoría	Calzado de seguridad (UNE-EN ISO 20345)	Calzado de protección (UNE-EN ISO 20346)	Calzado de trabajo (UNE-EN ISO 20347)
Antiestático «A»	S1, S2, S3, S4, S5	P1, P2, P3, P4, P5	O1, O2, O3, O4, O5

13.1.2. ROPA DE PROTECCIÓN

La ropa de protección, al igual que el calzado, ha de someterse a una serie de ensayos para determinar las propiedades electroestáticas, el tiempo de disipación de la carga y la resistividad superficial de los materiales utilizados para la confección.

En el caso de los requisitos de comportamiento electrostáticos, se establecen dos tipos de requisitos, debiendo la ropa cumplir al menos uno de ellos, atendiendo al método de ensayo utilizado:

- Resistencia superficial debe ser menor o igual a $2,5 \times 10^9 \Omega$, en al menos una de las superficies (para prendas multicapa) ensaya de acuerdo al método de ensayo descrito en la norma UNE-EN 1189-1.
- Un tiempo de semi-disipación $t_{50\%}$: menor a 4 s o un factor de protección S mayor a 0,2, en el caso que se haya ensayado de acuerdo a la norma UNE-EN 1149-3 (método 2, carga por inducción)

La ropa de protección debe ir marcada con un pictograma indicando la protección frente electricidad estática junto con la referencia a la norma especificada ().



Figura 56: Chaqueta y pantalón antiestático



Figura 57: Pictograma de protección frente a electricidad estática

No existe una normativa específica para guantes de protección con propiedades electrostáticas. No obstante, las propiedades electrostáticas de estos deben ensayarse de acuerdo a los métodos descritos en las normas UNE-EN 1149 partes 1 y 2. Sin embargo, no puede utilizarse el pictograma de protección frente a electricidad estática (Figura 57), ya que estos métodos están validados para ropa y no para guantes.

Para una correcta protección, deben seguirse las instrucciones del fabricante de la ropa teniendo especial cuidado en:

- Advertencias de uso simultáneo de la ropa con calzado con propiedades disipativas.
- No quitarse la ropa en presencia de atmósferas explosivas.
- Ajustarse bien las prendas para una correcta protección.

13.1.3. PAVIMENTO



Los requisitos exigibles a los suelos de los lugares de trabajo en ámbito del Real Decreto 989/2015:

- Artículo 83. El suelo de los almacenes habrá de reunir los requisitos exigidos por las características de los productos que se almacenen, debiendo constituir en todo caso una superficie unida, sin grietas ni fisuras, de fácil limpieza y lavado.
- Artículo 98. El suelo de los almacenes auxiliares habrá de reunir los requisitos exigidos por las características de los productos que se almacenen, debiendo constituir en todo caso una superficie unida, sin grietas o fisuras, de fácil limpieza y lavado.
- ITC 13. Instalaciones y equipos eléctricos en zonas clasificadas con presencia de materia reglamentada. El pavimento instalado en zonas Z0 o Z1 tendrá una resistencia inferior a $10^9 \Omega$, medida según la norma UNE-EN 61340-4-1:2005 «Electrostática. Parte 4-1: Métodos de ensayo normalizados para aplicaciones específicas. Resistencia eléctrica de recubrimientos de suelos y pavimentos instalados»

Adicionalmente, la ITC 14 establece que el empresario evaluará los riesgos específicos de explosión de materias o mezclas explosivas teniendo en cuenta, al menos:

- Las características explosivas de las materias o mezclas existentes en los lugares de trabajo.
- Las instalaciones, los equipos de trabajo, los procesos industriales y sus posibles interacciones.
- Las probabilidades de la presencia y activación de focos de ignición, incluidas las descargas electrostáticas.
- Las proporciones de los efectos previsibles.

En las evaluaciones de riesgos laborales deberán tenerse en cuenta las características de los suelos instalados en zonas clasificadas, para evitar que por sus características puedan provocar la aparición de cualquier tipo de fuente de ignición.

El cumplimiento de la exigencia establecida por la ITC 13 puede alcanzarse de tres formas:

- Efectuando una medición insitu de acuerdo a lo establecido por la norma UNE-EN 61340-4-1.
- Instalando un suelo o aplicando un tratamiento superficial cuyas características de resistencia sean certificadas por el fabricante y cumplan con el requisito exigido.
- Instalando un suelo o aplicando un tratamiento superficial no certificados por el fabricante, pero de los que se conozca sus características por ensayos previos realizados.



14. SEÑALIZACIÓN

La presencia de artículos pirotécnicos se advertirá, en todo momento, de modo perfectamente visible, mediante la señal de peligrosidad reglamentaria definida en la ITC número 22 del Reglamento de artículos pirotécnicos y cartuchería.



Figura 58: Señal de peligrosidad

Así mismo, los secaderos deberán estar claramente identificados mediante una clave numérica, alfabética o alfanumérica. Dicha clave deberá reseñarse, de forma bien visible, en el exterior del edificio, local o almacén y próxima al acceso.

En el interior, en lugar visible y junto al acceso principal, deberá disponerse una placa identificativa donde se recoja, al menos, la información siguiente:

- Identificación del edificio o local.
- Número máximo de personas que puede albergar simultáneamente.
- Cantidad máxima de materias reglamentadas que pueda contener, si procede, y división de riesgo.
- Medidas generales de seguridad.
- Normas que deben adoptarse en caso de emergencia.



15. MEDIDAS DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS

Todos los secaderos estarán dotados de extintores y medios necesarios para combatir rápidamente cualquier conato de incendio, de acuerdo con un plan previamente establecido, que deberá ser anualmente revisado.

El emplazamiento de los extintores permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio, a ser posible próximos a las salidas de evacuación y preferentemente sobre soportes fijados a paramentos verticales, de modo que la parte superior del extintor quede, como máximo, a 1,70 metros sobre el suelo.

Los medios de protección contra incendios de utilización manual (extintores, bocas de incendio, hidrantes exteriores, pulsadores manuales de alarma y dispositivos de disparo de sistemas de extinción) se deben señalar mediante señales definidas en la norma UNE 23033-1 cuyo tamaño sea:

- 210 x 210 mm cuando la distancia de observación de la señal no exceda de 10 m;
- 420 x 420 mm cuando la distancia de observación esté comprendida entre 10 y 20 m;
- 594 x 594 mm cuando la distancia de observación esté comprendida entre 20 y 30 m.

Los extintores se clasifican en los siguientes tipos, en función del agente extintor:

- Extintores de Agua.
- Extintor de Espuma.
- Extintor de Polvo.
- Extintor de Anhídrido Carbónico (CO₂).
- Extintor de Hidrocarburos Halogenados.
- Extintor Específico para Fuegos de Metales.

En todo caso, la eficacia de cada extintor así como su identificación, debe estar consignada en la etiqueta del mismo.

El tipo de extintor a instalar va a depender de la “clase de fuego” o materiales existentes en el secadero. Las distintas clases de fuego son las siguientes:

- Clase A: Fuego de materias sólidas, generalmente de naturaleza orgánica, donde la combustión se realiza normalmente con formación de brasas.



- Clase B: Fuego de líquidos o de sólidos licuables.
- Clase C: Fuego de gases.
- Clase D: Fuego de metales.

Tabla 3: Tabla de extintores y clases de fuegos

Agente extintor	Clase de fuego (UNE 23.010):			
	A (Sólidos)	B (Líquidos)	C (Gases)	D (Metales especiales)
Agua pulverizada	(2)xxx	x		
Agua a chorro	(2)xx			
Polvo BC (convencional)		xxx	xx	
Polvo ABC (polivalente)	xx	xx	xx	
Polvo específico metales				xx
Espuma física	(2)xx	xx		
Anhídrido carbónico	(1)x	x		
Hidrocarburos halogenados	(1)x	xx		

Los extintores se someterán a las siguientes operaciones de mantenimiento y control de funcionamiento:

- Cada tres meses se realizará por personal de una empresa mantenedora autorizada, o bien, por el personal del usuario o titular de la instalación, la comprobación de la accesibilidad, la señalización, el buen estado aparente de conservación, además se realizará una inspección ocular de seguros, precintos, inscripciones, estado externo de las partes mecánicas, etc. Así mismo se comprobará el peso y la presión.
- Cada doce meses se comprobará por el personal especializado del fabricante o instalador del equipo o sistema o por el personal de la empresa mantenedora autorizada:
 - Comprobación del peso y presión en su caso.
 - En el caso de extintores de polvo con botellín de gas de impulsión se comprobará el buen estado del agente extintor y el peso y aspecto externo del botellín.
 - Inspección ocular del estado de la manguera, boquilla o lanza, válvulas y partes mecánicas.



- Cada cinco años a partir de la fecha de timbrado del extintor (y por tres veces) se procederá al retimbrado del mismo de acuerdo con la ITC-MIE-AP5 del Reglamento de aparatos a presión sobre extintores de incendios. Se rechazarán aquellos extintores que, a juicio de la empresa mantenedora presenten defectos que pongan en duda el correcto funcionamiento y la seguridad del extintor o bien aquellos para los que no existan piezas originales que garanticen el mantenimiento de las condiciones de fabricación.



16. BIBLIOGRAFÍA

Real Decreto 989/2015 de 30 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de artículos pirotécnicos y cartuchería.

Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.

Real Decreto 485/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

Real Decreto 1942/1993 del 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.

Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.

Orden 27 de enero de 1992 por la que se aprueba la Especificación Técnica Maquinaria para la industria pirotécnica. Exigencias de seguridad y salubridad.

Norma UNE-EN 1264-1. Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 1: Definiciones y símbolos.

Norma UNE-EN 1264-2. Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 2: Suelo radiante.

Norma UNE-EN 1264-3. Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 3: Dimensionamiento.

Norma UNE-EN 1264-4. Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 4: Instalación.

Norma UNE-EN 1264-5. Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 5: Suelos, techos y paredes radiantes.

Norma UNE-EN 13631-1. Explosivos para uso civil. Explosivos rompedores. Requisitos.



Norma UNE-EN 13631-2. Explosivos para uso civil. Explosivos rompedores. Determinación de la estabilidad térmica en los explosivos.

Norma UNE-EN 13631-3. Explosivos para uso civil. Explosivos rompedores. Determinación de la sensibilidad al rozamiento de los explosivos.

Norma UNE-EN 13631-4. Explosivos para uso civil. Explosivos rompedores. Determinación de la sensibilidad al impacto de los explosivos.

Norma UNE-EN 15947-4. Artículos de pirotecnia. Artificios pirotécnicos, categorías 1, 2 y 3. Parte 4: Métodos de ensayo.

Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott. "Operaciones unitarias en Ingeniería Química". Cuarta Edición. Ed. McGraw Hill.

"Evaluación de las condiciones de seguridad en el proceso de secado de las mezclas pirotécnicas". Laboratorio Oficial J. M. Madariaga. Junio 1994.

"Guía para la Elaboración de un Proyecto de Taller Pirotécnico". Generalitat Valenciana. Conselleria d'Industria, Comerç i Turisme. 1993.

J. Aguilar Peris. "Curso de Termodinámica". Ed. Alhambra. Madrid. 1984.

W. Nusch. "Tecnología de la madera y del mueble". Ed. Reverte. Barcelona. 1996.