

# Trabajos con amianto friable: diseño y montaje de un confinamiento dinámico (II)

*Work with friable asbestos: Design and assembling a dynamic containment (II)*  
*Travaux avec amiante friable : conception et montage d'un confinement dynamique (II)*

## Redactores:

Asunción Freixa Blanxart  
*Licenciada en Ciencias Químicas*

Isabel Varela Iglesias  
*Licenciada en Biología*

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES  
DE TRABAJO

Luis Mallart Casamajor  
*Licenciado en Geografía*  
*Técnico Higienista industrial*

Jorge Vidal Sanmartín  
*Ingeniero Químico*  
*Técnico Higienista industrial*

ACM-TBK 2020, SL.

*A continuación y enlazando con la Nota Técnica de Prevención n° 953, se define el método de cálculo para el diseño fluido dinámico del sistema de trabajo en confinamientos en depresión negativa, determinando la capacidad extractora requerida por el sistema y las entradas controladas de aire necesarias para optimizar el caudal de aire de entrada y maximizar la renovación volumétrica de aire.*

Vigencia	Actualizada	Observaciones
VÁLIDA		Se complementa con las NTP 953. Están relacionadas con este tema las NTP 796, 815, 862.

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando los trabajos de retirada de amianto se realicen dentro de un confinamiento a presión negativa se deben realizar de forma metódica los cálculos para determinar que capacidad de extracción necesitará el sistema y que entradas de aire serán necesarias, ya que así se garantiza que dentro del confinamiento existe la renovación de aire adecuada. De este modo se maximiza la limpieza continuada del aire sucio del interior del confinamiento y se reduce la concentración en el aire de trabajo de fibras de amianto u otros materiales que puedan ser aspiradas por los trabajadores.

## 2. DISEÑO DE CONFINAMIENTOS EN PRESIÓN NEGATIVA

Antes de comenzar los cálculos se definirán las zonas que se encuentran en un confinamiento:

- Zona elemental: área/zona homogénea que requiere un estudio individualizado que garantice la renovación del aire en todos los rincones del confinamiento.
- Zona muerta: área/zona aislada del resto del confinamiento que no tiene aportaciones de aire que faciliten su renovación periódica (vacío). Requiere una aportación complementaria.

### Método de cálculo aerodinámico

Un confinamiento puede aprovechar una estructura del edificio en el que se instale o ser una estructura provisional independiente. El cálculo aerodinámico dependerá de una serie de variables en función de las características intrínsecas de la zona a desamiantar. En este apartado se procede a establecer un método de cálculo<sup>1</sup> por etapas incluyendo anotaciones prácticas.

#### *Etapas* 1. Estudio previo de las instalaciones y del entorno

La primera fase se realizará mediante el estudio del entorno de trabajo, determinando:

Las características de los recintos que van a ser objeto de los trabajos: dimensiones, cerramientos, suministro eléctrico, suministros de agua, y las posibles salidas de emergencia. En algunos casos, como los edificios que se encuentran en uso, o los centros de trabajo con varios contratistas, se deben extremar las medidas de seguridad. Además se debe establecer una adecuada comunicación con todas las partes implicadas para definir una coordinación eficaz de las actividades empresariales.

En el caso de confinamientos en el exterior o con peligro de ignición se tendrá en cuenta en el diseño la elec-

1. Institut National de Recherche et Sécurité (France)

ción de los materiales de confinamiento a emplear. Para interiores se utiliza polietileno de 400 y 800 galgas. En exteriores es necesario colocar plásticos reforzados que resistan a las inclemencias del tiempo y en su caso el uso de polietileno ignífugo.

Localizar en el futuro escenario de trabajo, en planos, croquis, etc., todos los materiales con amianto a manipular / tratar, haciendo uso del informe de diagnóstico y verificar el riesgo potencial de los materiales con amianto.

Se debe elegir la ubicación de las unidades de descontaminación, los depresores, y la zona limpia (vestuario de los trabajadores), área provisional de residuos (en interior del confinamiento y en el exterior de la misma). La elección de las distintas ubicaciones, para las distintas funciones, deben estar justificadas.

### **Etapa 2. Delimitar la zona a confinar y subdividir los espacios en zonas elementales**

Un aspecto importante a tener en cuenta es el análisis de las dificultades de circulación del aire en las zonas a confinar. Las "zonas muertas" deben tenerse en cuenta en el momento de definir las zonas elementales para optimizar las aportaciones de aire y la renovación volumétrica.

### **Etapa 3. Determinar el volumen a confinar, la tasa mínima de renovación del aire y el valor teórico de depresión**

El volumen total a confinar se obtiene mediante la suma de los volúmenes de las zonas elementales.

El aire de renovación proviene del exterior del confinamiento y compensa el aire filtrado por los depresores. Para un volumen dado, la tasa de renovación de aire, representa el número de veces por hora que se renueva el volumen de aire confinado. Optimizar la tasa de renovación es importante para facilitar la dilución de las concentraciones en aire de amianto en el interior del confinamiento. La tasa de renovación nunca será inferior a 4 volúmenes por hora. Como base de cálculo es recomendable establecer una tasa de entre 4 y 6 renovaciones por hora.

La depresión en el sistema debe diseñarse para un valor teórico de 20 pascales. En la práctica se estima que los valores óptimos se encuentran entre 10 y 16 pascales. En según qué casos un exceso de depresión puede ser causa de pérdidas de estanqueidad en el confinamiento y consecuentemente caídas de depresión incontroladas. También pueden darse fluctuaciones en la medida de la depresión por efectos atmosféricos adversos. La empresa que realiza los trabajos debe implantar procedimientos eficaces para mantener la depresión estable y para corregir inmediatamente todas aquellas incidencias que puedan alterar el correcto funcionamiento del sistema. Es conveniente registrar todas estas incidencias y acciones tomadas. Esta información es fundamental para la mejora de los procedimientos y actuaciones futuras.

### **Etapa 4. Determinar los caudales de aire nuevo que accede al confinamiento a través de las unidades de descontaminación**

El aire nuevo de renovación penetra en el sistema prioritariamente a través de las esclusas ( $Q_u$ ). Las características aerodinámicas de las unidades de descontaminación de personas y residuos deben ser proporcionadas por el fabricante, y en su defecto se pueden hacer mediciones de la velocidad del aire mediante un anemómetro a un valor de depresión determinado.

Obsérvese en la figura 1 el efecto de la depresión en la esclusa. Existe una corriente de aire continua a través de las ventanas de las esclusas. Para unas esclusas tipo se estima en  $400\text{m}^3/\text{h}$  y  $350\text{m}^3/\text{h}$ , respectivamente para la unidad del residuo y de las personas.



Figura 1. Efecto de la depresión en la esclusa

### **Etapa 5. Entradas controladas de aire limpio. Cálculo del caudal de aportación**

En el caso que sea necesario para un determinado volumen de confinamiento se deben instalar entradas controladas de aire para alcanzar las renovaciones de aire establecidas como complemento a las aportaciones de aire a través de las esclusas.

Las entradas de aire de compensación funcionan de forma forzada. El flujo de aire se produce gracias a la diferencia de presión entre el interior y el exterior del confinamiento. La localización de las entradas de aire debe ser estratégicamente elegida en función a las características intrínsecas del confinamiento, dando prioridad a la aportación de aire en las "zonas muertas" y facilitando la fluidez dinámica del confinamiento con el fin de crear corrientes homogéneas de circulación del aire desde todas las zonas y rincones del confinamiento.

Existen varias posibilidades cuando hay que elegir el tipo de mecanismo para la aportación. Los cálculos se realizarán para una entrada de aire tipo compuerta anti-retorno de acero galvanizado. También es posible utilizar un prefiltro del depresor o una entrada de aire reglada con servomotor que regula automáticamente la depresión y las aportaciones de aire. Para cada caso es imprescindible calcular aerodinámicamente su comportamiento.

La compuerta anti-retorno de acero galvanizado (véase figura 2) permite la entrada de aire limpio al confina-



Figura 2. Compuerta anti-retorno

miento, asegura un flujo de aire homogéneo, facilita la medición de la velocidad de aire a su través, y tiene una sección de paso determinada (véase figura 3). Además el sistema anti-retorno garantiza ante una caída de la depresión que la compuerta se cierre y no permita la salida de aire contaminado. De todos modos ante una eventual caída de la depresión es importante verificar el correcto funcionamiento de la compuerta. Para una compuerta de acero galvanizado en el sistema aerodinámico propuesto:

$$\Delta P = \zeta * \rho * (v^2 / 2) \quad \text{y} \quad Q = S * v * 3600$$

$v$  = velocidad del aire de entrada (m/s)  
 $\rho$  = 1,2 kg/m<sup>3</sup> densidad del aire a 20°C y presión atmosférica  
 $\Delta P$  = valor de la depresión teórica (20Pa)  
 $\zeta$  = coeficiente de pérdida de carga por rozamiento del aire con el conducto. Se basa en la viscosidad del fluido, la rugosidad del conducto y el régimen de movimiento del aire.  
 $S$  = sección transversal del cilindro:  $\pi * r^2$

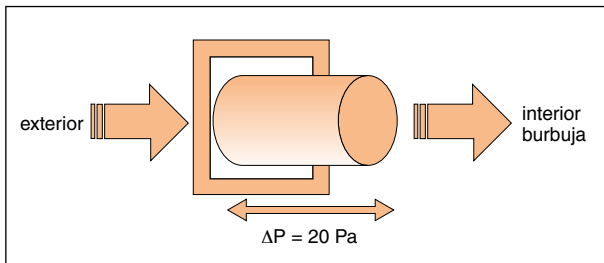


Figura 3. Funcionamiento de una compuerta de acero galvanizado

Al modo de ejemplo, para regímenes turbulentos, un diámetro de compuerta de 315 mm y  $\zeta = 3\text{Pa/m}$

$$\left. \begin{aligned} v &= \sqrt{2 * \Delta P / \zeta * \rho} = 3,3 \text{ m/s} \\ S &= 0,078 \text{ m}^2 \end{aligned} \right\} Q_{EC} = 927 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cada compuerta de este tipo en base a las condiciones descritas aporta un caudal de aire limpio de 927 m<sup>3</sup>/h

**Etapa 6.** Localizar todas las entradas de aire existentes al recinto para posteriormente aislarlas y confinar el espacio confinado del modo más estanco posible. Cálculo estimativo del caudal de fugas ( $Q_f$ )

Los trabajos previos al montaje (figura 4) del confinamiento son clave para alcanzar un aislamiento del exterior lo más estanco posible. Una vez definidas las zonas



Figura 4. Trabajos previos al confinamiento

elementales a confinar es fundamental, para cumplir los cálculos teóricos, anular todas las posibles entradas de aire (figura 5) y en su caso, aislar y anular el servicio de los sistemas de ventilación y climatización. En función del riesgo potencial de los materiales con amianto existentes puede darse el caso que estos trabajos previos deban realizarse con riesgo de exposición al amianto, con todo lo que ello conlleva: equipo de descontaminación personal, equipos de protección respiratoria, etc.



Figura 5. Identificación de posibles entradas de aire.

La tasa de fugas se define como el número de renovaciones por hora del volumen confinado que son aportadas por el caudal de aire limpio proveniente de este tipo de entradas de aire. La unidad es h<sup>-1</sup>

La tasa de fugas depende del volumen confinado, de la permeabilidad al aire de las estructuras de la envolvente y de la experiencia de la empresa en la construcción de un confinamiento que reúna las condiciones de calidad y seguridad. La tasa de fugas de un volumen confinado es indispensable para el dimensionado de la capacidad de extracción.

El cálculo se estima en base a métodos de cálculo reconocidos. El cálculo propuesto por el INRS<sup>2</sup> define cuatro tipos de comportamientos aerodinámicos para una depresión dada en función a la presencia de fugas estructurales que no pueden ser aisladas y de la complejidad en la instalación de plásticos en la envolvente del confinamiento.

**Etapa 7.** Cálculo del caudal de aire de extracción y del número de entradas controladas de aire

Este cálculo se realiza en base al balance aerodinámico para un sistema dado.

Para cada zona elemental:

$$Q_i = (V_i * N) - Q_U \quad \text{dónde } V_i = \text{volumen};$$

$$N = \text{renovaciones hora}; \quad Q_U = \text{caudal esclusa}$$

Este caudal  $Q_i$  es caudal mínimo de aire limpio a introducir a cada zona. Hay que tener en cuenta en su caso el caudal aportado por las esclusas. A partir de este valor calculamos el número de entradas controladas de aire en esta zona ( $N_{EC}$ )

$$N_{EC1} = Q_i / Q_{EC}$$

siendo  $Q_{EC}$ : caudal de una entrada controlada

2. Institut National de Recherche et Sécurité (France)

Se redondea el valor de  $N_{ECi}$  de cada zona y se calcula el caudal de aportación total de cada zona, y mediante el sumatorio de los caudales de cada zona, se calcula el caudal total de compensación

Para cada zona: Caudal total de compensación  
 $Q_{T,ECi} = (N_{ECi} * Q_{EC})$        $Q_{T,EC} = \sum (N_{ECi} * Q_{EC})$

Seguidamente se calcula el caudal total de aportación de cada zona  $Q_{T,i}$  teniendo en cuenta en su caso los caudales de aportación a través de las esclusas  $Q_U$ .

Una vez que se ha obtenido este valor por zona, se hace el sumatorio para calcular el caudal total de aportación:

$$Q_{E,T} = \sum Q_{T,i}$$

Así pues, teniendo en cuenta el caudal de fugas ( $Q_F$ ), el caudal total de extracción es de:

$$Q_{EX,T} = Q_{E,T} + Q_F$$

Una vez obtenido el caudal total de extracción se calcula el numero de extractores necesarios dividiendo este valor por el caudal de extracción de un depresor. Para finalizar el diseño sólo queda ubicar los depresores.

**Etapa 8. Balance aerodinámico. Caso práctico**

Para facilitar la comprensión de los cálculos realizamos un caso práctico:

Confinamiento dividido en dos zonas elementales en el sótano de un edificio. Existen 3 tipos diferentes de materiales con amianto (MCA). La zona 1 tiene un volumen

total de 270 m<sup>3</sup> y la zona 2 de 410 m<sup>3</sup>. Sólo hay espacio para ubicar las unidades de descontaminación en la zona 2. Se establece como base de cálculo: 4 renovaciones de aire a la hora, y un valor de depresión de 20 pascales. Se dispone de entradas de aire controladas que nos da un caudal unitario de 927 m<sup>3</sup>/h. y depresores de 1200 m<sup>3</sup>/h de capacidad máxima.

$Q_i$ : caudal mínimo de aire limpio a introducir a cada zona  
 $Q_1 = 270m^3 * 4h^{-1} = 1.080m^3/h$   
 $Q_2 = 410m^3 * 4h^{-1} - Q_U = 1.640 m^3/h - 350 m^3/h$  (esclusa personas) -400 m<sup>3</sup>/h (esclusa residuo) = 890 m<sup>3</sup>/h

$N_{ECi}$  de cada zona:  
 $N_{EC1} = 1.080 / 927 = 1,17 \approx 1$  unidades  
 $N_{EC2} = 890 / 927 = 0,96 \approx 1$  unidades  
 $Q_{T,EC1} = 1*927 = 927 m^3/h$        $Q_{T,EC2} = 1*927 = 927 m^3/h$   
 $Q_{T,1} = 927 m^3/h$        $Q_{T,2} = 927 + 350 + 400 = 1.677 m^3/h$

Calculo total de aportación controlada:  
 $Q_{E,T} = \sum Q_{T,i} = 927 + 1.677 = 2.604 m^3/h$

Cálculo del caudal de fugas:

El sótano tiene una estructura en forma de galerías con muros y techos de piedra. Se aprovecha la estructura de las galerías para construir el confinamiento. No existen fugas estructurales que no puedan ser confinadas y el confinamiento de la envolvente del confinamiento es fácil de construir.

El tipo de este confinamiento es ideal, de tipo I y el volumen total es de 680 m<sup>3</sup>:

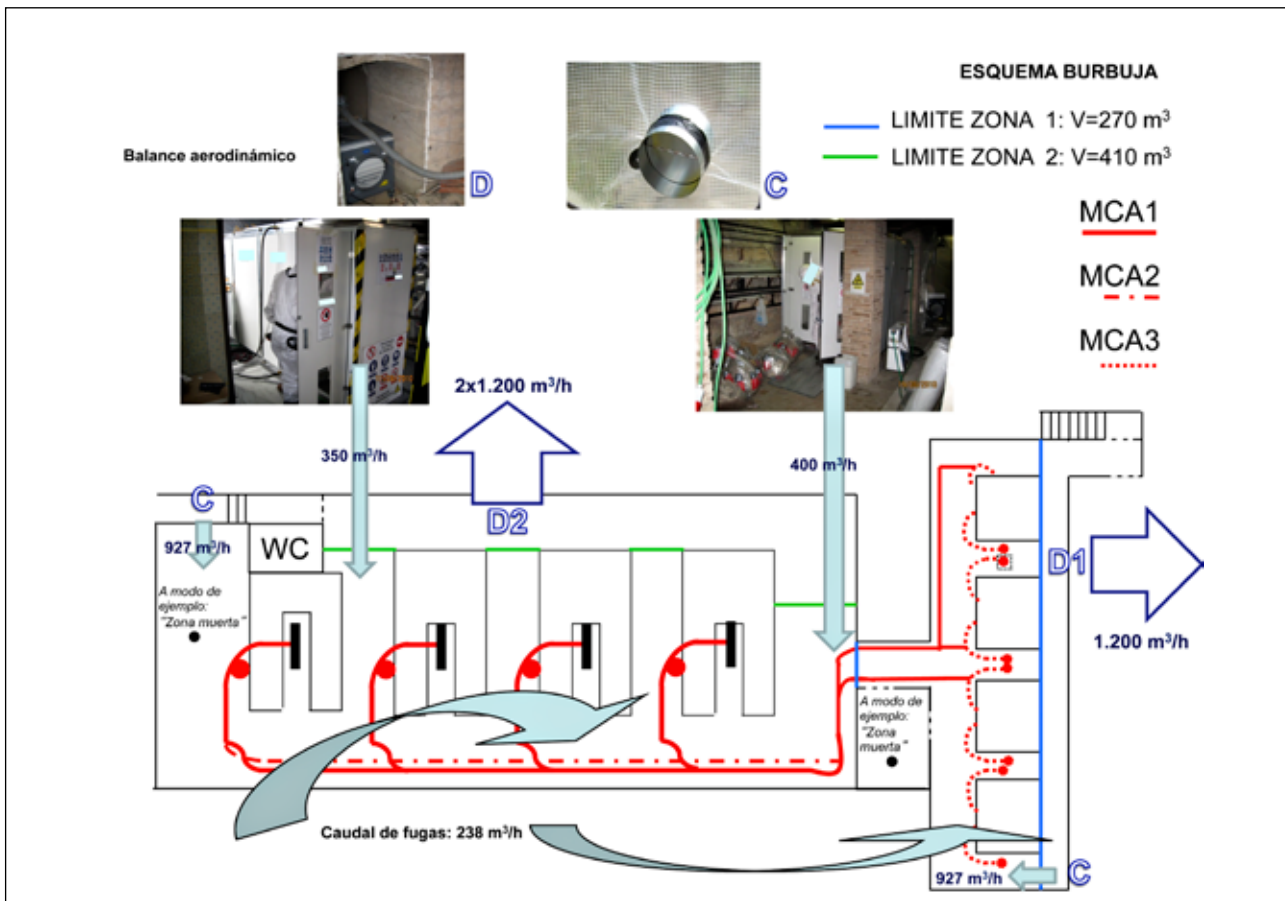


Figura 6. Diseño del funcionamiento de la burbuja



En la ficha 2 del anexo I de la publicación del INRS referenciada (ver bibliografía), obtenemos en el gráfico la tasa de fugas de  $0.35 \text{ h}^{-1}$

$$Q_F = 0.35 \cdot 680 = 238 \text{ m}^3/\text{h}$$

Y el caudal total de extracción:

$$Q_{EX,T} = Q_{E,T} + Q_F = 2.604 + 238 = 2.842 \text{ m}^3/\text{h}$$

Número de depresores

Es conveniente realizar un buen mantenimiento de los filtros de los depresores, de todos modos se realiza el diseño estimando que los depresores con filtros sucios tienen una eficiencia del 85%, la capacidad de extracción por unidad con los filtros sucios se estima en  $1020 \text{ m}^3/\text{h}$ , así pues:

$$2.842 \text{ m}^3/\text{h} / 1020 \text{ m}^3/\text{h} = 2,78 \text{ unidades} \sim 3 \text{ unidades}$$

Para el caso práctico en cuestión con el fin de facilitar la depresión en las dos zonas elementales, se instalan tres depresores. Podrán darse otras soluciones con depresores de potencias varias. Resumiendo, se necesita: tres depresores de  $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ , uno de reserva para situaciones de emergencia y dos entradas de aire (ver figura 6: balance aerodinámico). Estas entradas de aire y los depresores, deben localizarse para facilitar la dilución del aire contaminado, en todas las zonas, en especial, las zonas muertas. Estas zonas sin aportaciones de aire adicional quedan fuera del alcance de la renovación.

Los cálculos teóricos sirven como diseño previo. De todos modos es necesario recalcular el sistema "in situ" para las condiciones reales. En el supuesto de no alcanzar la depresión óptima se deberá reducir volúmenes de confinamiento o aumentar la capacidad de extracción.

### 3. MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

El tipo de montaje de la envolvente del confinamiento dependerá de cada caso. Siempre que sea posible debe aprovecharse la estructura del mismo edificio, habitáculo, sala, etc. como envolvente. En caso que sea necesario se construirán estructuras auxiliares para este objetivo (atención los con riesgos colaterales: caída en altura, objetos desprendidos, desplome, etc.).

La envolvente del confinamiento (suelos, paredes y techos) debe aislarse con polietileno para evitar contaminaciones de la zona, siempre que las tareas de confinamiento no supongan otros riesgos. Es conveniente retirar de la zona todo el mobiliario, instalaciones, equipos, y materiales que puedan ser trasladados. En el caso que no sea posible estos elementos deben ser aislados

Tal como se indicaba anteriormente es de suma importancia localizar y aislar todas las posibles entradas de aire al confinamiento. Seguidamente se instalarán los equipos descritos anteriormente. Una vez se ponga en marcha el sistema se comprobará el nivel de depresión alcanzado. Antes de comenzar los trabajos de desamiantado el sistema debe haber estado funcionando al menos 24 horas de forma estable. Se recomienda custodiar todos los registros en papel del monitor de control de la depresión tal y como se ha mencionado anteriormente.

Al finalizar los trabajos una vez se verifique la idoneidad del resultado de los controles de calidad (control visual de superficies desamiantadas) y los índices de descontaminación en el interior del confinamiento, la depresión se mantendrá al menos 48 horas más para garantizar una limpieza óptima de las zonas desamiantadas.

En función de las características de los edificios e instalaciones dónde deba construirse el confinamiento pueden darse diferentes posibilidades de localización de los equipos necesarios para el confinamiento:

#### “Túneles” hacia las unidades de descontaminación

Por motivos de espacio puede ser necesario construir “túneles” de conexión entre el confinamiento y las unidades de descontaminación. Estas estructuras auxiliares deben estar en depresión. Durante su construcción se debe tener en cuenta los riesgos asociados al montaje: caída al mismo nivel, cortes, golpes... Durante el uso, estos túneles, permanecerán libres de obstáculos. No deben considerarse espacios para almacenaje temporal.

#### Localización de los depresores

La localización de los depresores será preferentemente en el exterior del confinamiento para facilitar el control de rendimiento. Los filtros siempre se cambiarán desde el interior (Ver figura 7). La empresa debe disponer de procedimientos e instrucciones con evidencias de implantación (personal técnico y operativo), sobre el correcto cambio de filtros primarios y secundarios y del filtro absoluto cuando sea necesario.

Siempre que sea posible se ubicarán los depresores en el sentido opuesto a las entradas de aire de mayor aportación. Por motivos de espacio puede ser necesario instalar los depresores en el interior del confinamiento o de un modo combinado.

Una manera de facilitar el mantenimiento de los equipos de depresión es reducir el régimen de funcionamiento de todos los depresores y poner en marcha el depresor de reserva. De este modo se reducen las revoluciones por minuto de todos los depresores y el mantenimiento es más fácil. Basta con desconectar un depresor y poner a pleno rendimiento todos los demás. La capacidad del depresor de reserva se calcula de forma que pueda cubrir el fallo de un equipo depresor



Figura 7. Localización de los depresores

#### Descontaminación de medios y equipos auxiliares, herramientas utilizadas para la construcción (montaje) deconstrucción (desmontaje) del confinamiento.

Buena parte de los medios y equipos utilizados para el montaje del confinamiento quedan en su interior durante el proceso de retirada del amianto. Alguno de estos medios y equipos también han sido útiles, en uno u otro momento de dicha retirada. Todos estos medios y

equipos deben ser debidamente descontaminados en el interior de la confinamiento y debidamente protegidos antes del control final de superficies desamiantadas y de los correspondientes muestreos finales: índice de

descontaminación en el interior del confinamiento. La empresa desamiantadora debe disponer e implantar procedimientos e instrucciones específicas sobre estas tareas.

## BIBLIOGRAFÍA

---

HEALTH, SAFETY AND HYGIENE AT WORK

**A practical guide on best practica to prevent or minimise asbestos risks in work that involves (or may involve) asbestos: for the employer, the workers and the labour inspector.**

*European Commission, 2003*

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET SECURITE (FRANCE).

**Le bilan aéraulique des chantiers d'amiante.**

*Cahiers de notes documentaires-N°181, 4<sup>e</sup> trimestre 2000.*

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

**Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la Exposición al Amianto, que desarrolla el Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo de 2006, por el que se establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto,**

## AGRADECIMIENTOS:

Barcelona d'Infraestructures Municipals de Barcelona (BIM/SA)

Asociación Coordinadores de Seguridad y Salud (ACSYS)