

# **Aislación con poliuretano-inyección y spray**

**Artículo proporcionado por el señor Klaus Grote Hahn, Ing. civil Mecánico  
UTFSM**

## **ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO**

La utilización de espumas rígidas de poliuretano (PUR) ha crecido espectacularmente en el mundo en los últimos años. Su insuperable calidad como aislante térmico, su grado de impermeabilidad al agua y a los combustibles y sus excepcionales características físicas, han generalizado su uso bajo condiciones extremas de temperatura humedad.

El poliuretano es un aislante térmico rígido que se caracteriza por una estructura de pequeñísimas celdas cerradas, que contienen gas de baja conductividad térmica, libre de agentes CFC y HCFC, perjudiciales para el medio ambiente, que otorgan a este material su excelente capacidad aislante. Se puede aplicar in situ y se obtiene cuando dos productos químicos: un Diisocianato y un Polioliol se mezclan en presencia de un agente activador. El activador es liberado junto con el calor que se genera en la reacción, dándole a la espuma un volumen 30 veces al que tienen los componentes en estado líquido, en densidad libre.

El material que queda en contacto con la superficie forma una "piel" que le da protección a la espuma y sello adicional.

Las cualidades físicas y mecánicas del producto son, en general, función de su densidad, que puede oscilar entre 27 y 80 Kgs/m<sup>3</sup> según el uso a que sea destinado. El grado de aislamiento térmico que ofrece una capa de esta espuma rígida equivale al de espesores mucho más amplios de otros materiales utilizados tradicionalmente.

## **Sistema Spray**

Consiste en mezclar los componentes del Poliuretano con una máquina equipada para aplicar el material atomizado in situ en capas superpuestas y sucesivas. Esta técnica se basa en la capacidad autoadhesiva de la espuma durante su proceso de reacción, que la hace adherirse a casi cualquier superficie limpia y seca.

## **Vertido o Colado**

Se mezclan los componentes en un recipiente cuyo contenido se vuelca en un molde o en una cavidad que se quiera aislar. Esta técnica se usa especialmente para

la fabricación de grandes bloques, que luego son cortados en piezas del tamaño y forma que se desee, incluyendo caños y otros.

### **Inyección**

Consiste en mezclar los componentes en una máquina, que permite inyectar el material entre dos superficies de tal forma que al espumar, ambas quedan unidas.

### **VENTAJAS**

La espuma de Poliuretano tiene las ventajas que se señalan a continuación, ello debido a una rigurosa selección de materias primas y un alto nivel profesional en su fabricación:

#### **Excelente sello (debido a su estructura cerrada)**

Muy buena estabilidad (no sufre grandes dilataciones ni contracciones con los cambios de temperatura) El producto se mantiene estable a temperaturas entre  $-100^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$ . No registra alteración a  $-30^{\circ}\text{C}$  y su volumen se dilata alrededor del 3% tras estar sometido durante 24 horas a  $150^{\circ}\text{C}$ . Para usos especiales se puede producir con una calidad tal que soporte sin problemas, durante períodos prolongados  $170^{\circ}\text{C}$  y por breves lapsos hasta  $250^{\circ}\text{C}$ .

#### **Más liviano. Resistente en sacudidas y vibraciones.**

#### **Muy buena resistencia a la compresión.**

La resistencia a la compresión es función directa de la densidad y es de 2,5 N/mm<sup>2</sup> para el producto de 45-50kg/m<sup>3</sup>, aumentando para las espumas más pesadas hasta llegar a los 6,5 N/mm<sup>2</sup> en las espumas de 75kg/m<sup>3</sup> En la práctica esto significa que una persona normal puede caminar sobre espumas de 40-45 kg/m<sup>3</sup> sin dañarla en lo más mínimo. La estructura celular de la espuma rígida comienza a romperse cuando es comprimida en un 9-10% de su volumen.

Excelente capacidad aislante (por poseer el coeficiente de conductividad más bajo de todos los aislantes térmicos de uso habitual). Una constante dieléctrica muy baja, así como bajas pérdidas dieléctricas y de reflexión indican su utilización para la construcción o aislación de antenas.

Permite ahorro de espacio (ya que, comparativamente, no requiere menores espesores que otros materiales por su gran capacidad aislante).

Aplicado con sistema spray se puede utilizar en recuperación de techumbres (ya que no hay que remover el material anterior, sólo limpiarlo, el Poliuretano se adhiere a él, cubriéndolo).

La aplicación con sistema spray es muy rápida, con un mínimo de traslado de materias primas a obra.

No pueden anidar insectos, contrariamente a lo que ocurre con el poliestireno expandido, donde se suelen instalar hormigas y vinchucas.

Impermeabilidad: En pruebas realizadas bajo condiciones usuales, la espuma sumergida en agua durante 3 meses absorbe menos del 1% de su volumen.

Resistencia a los agentes químicos. En su condición de plástico reticulado, la espuma rígida de poliuretano no es dañada por los disolventes comunes, los hidrocarburos alifáticos, los aceites minerales y vegetales, los ácidos diluidos ni las soluciones alcalinas.

Sin embargo es afectado por la acción directa de los ésteres, cetonas, algunos alcoholes y los hidrocarburos clorados.

### **PRINCIPALES PROPIEDADES FÍSICAS.**

Factor de conductividad de calor a 10°C 0,011 a 0,018 kcal/mh°C.

Densidad 27 a 80 kg/m<sup>3</sup>. Resistencia a la compresión 2 a 8,8kp/cm<sup>2</sup> según densidad.

Máxima compresión que resiste 8 a 10 % de su volumen.

Estabilidad dimensional 30 a 120°C 3,3% del volumen al cabo de 24 Hrs.

Factor de resistencia a la difusión 50 a 80. (corresponde a 12-15g/m<sup>2</sup> del vapor de agua por día).

### **RESUMEN**

La espuma rígida de poliuretano es el único material capaz de proveer por sí mismo y en un solo manto continuo, sin puentes térmicos o juntas, la aislación termohidrofuga necesaria para techos, paredes, losas, pisos, cámaras frigoríficas, caños de agua fría, caliente, oleoductos, tanques, etc.

Es el aislante más usado en la Comunidad Económica Europea debido a que con menor espesor y peso cumple con las estrictas normas de edificación del área.

- Se adhiere firmemente a todo tipo de materiales, sin necesidad de pegamento ni sujetador mecánico.
- Elimina problemas de goteo por condensación.
- Resistente a los ácidos.
- Estable dimensionalmente, no se elonga, contrae ni deforma.

- No necesita mantenimiento posterior.
- A diferencia de otros aislantes no es atacado por roedores.
- Actúa como capa distribuidora de cargas.
- Aplicado sobre chapas deterioradas renueva la cubierta sin necesidad de cambiar partes averiadas.
- Fácil y rápida aplicación Resistente al fuego. Autoextinguible.

## **Control de ruido en sistemas de climatización (I parte)**

**Artículo proporcionado por el señor Héctor Fuentes L.  
Gerente Ingeniería SILENTIUM.**

Los problemas de ruido asociados a los sistemas de climatización, son generados por los ventiladores, bombas y compresores que componen estos sistemas. El ruido puede ser generado y transmitido en forma aérea o estructural. En esta serie de artículos veremos los fenómenos de generación de ruido, problemas de regeneración de ruido que se puedan producir por una mala selección o instalación de los sistemas de reducción de ruido y sus soluciones.

### **PARÁMETROS DE EVALUACIÓN**

Los parámetros de evaluación para el ruido ambiente presentes en una sala, deben considerar el comportamiento espectral (por frecuencia) del ruido percibido. Para esto existen varias curvas de evaluación, dentro de las cuales las más utilizadas y que permiten evaluar de mejor forma la molestia causada por un ruido en un ambiente cerrado, son las curvas NC y la curvas RC Mark II. Las curvas NC (Noise Criteria) corresponde a una clasificación de número único que pondera el contenido espectral del ruido evaluado su sonoridad e interferencia con la palabra. El método consiste en una familia de curvas que comprenden un rango de frecuencias entre las bandas de 1/1 oct. De 63 Hz a 8000 Hz. El ruido evaluado se asocia a la mayor curva NC donde éste intersecta.

Esta curva se usa generalmente para lugares donde la calidad del sonido no es especialmente importante. Las curvas RC Mark II corresponde a una revisión del año 1997 de las curvas RC (Room Criteria), creadas en el año 1981. El procedimiento de evaluación para éste método, parte por el cálculo del promedio aritmético redondeado al entero más próximo de los niveles de presión sonora en las bandas de octava de 500, 1000 y 2000 Hz (la región de frecuencia principal de la voz), el número resultante corresponde al criterio RC. Posteriormente se realiza un análisis de las diferencias

entre la curva RC y el ruido evaluado en las regiones de baja frecuencia (LF), frecuencias medias (MF) y altas frecuencias (HF), con el objetivo de determinar las molestias del ruido en estas regiones.

Cuando el ruido evaluado tiene pocas diferencias con la curva RC asociada se dice que el ruido es neutral (N). Para evaluar si el ruido es del tipo LF, MF HF o N, se debe calcular el QAI (Quality Assessment Index), para cada región de frecuencia, si éste es mayor a 5 dB, se describe el ruido evaluado con el criterio RC asociado seguido por las siglas (LF), (MF) o (HF), según sea el caso. Si al QAI es menor o igual a 5 dB se utiliza la sigla (N).

## **VENTILADORES**

El ruido emitido por un ventilador básicamente se debe al corte del aire por las aspas del ventilador. El nivel de ruido, entonces depende del caudal que maneje el ventilador, la presión estática con que esté trabajando y el tipo de ventilador. Dado que la generación de ruido de un ventilador se produce por el golpe del aire por las aspas, la mayor emisión de ruido es a través de las descargas y admisión de aire del ventilador, y en forma secundaria, la carcasa del ventilador -si es del tipo centrífugo o tuboaxial - y el motor. Si bien es cierto los ventiladores son las mayores fuentes de ruido, no son las únicas fuentes, produciéndose ruido regenerado en los codos de los ductos, dampers, bifurcaciones y otros elementos incluso en atenuadores de ruido. Los ruidos relacionados a problemas aerodinámicos en los ductos pueden ser evitados con:

### **Notas:**

1.- Las velocidades en los ramales deberán tener velocidades no superiores al 80% del valor mostrado.

2.- Las velocidades en los recorridos finales hacia las descargas deberán tener velocidades no superiores al 50% del valor mostrado.

3.- Los codos y otros elementos pueden aumentar sustancialmente el nivel de ruido de flujo, dependiendo del tipo.

Las velocidades deberán ser reducidas hasta en un 50% dependiendo del tipo de elemento.

- Proporcionando transiciones suaves.

- Permitiendo un flujo uniforme en la descarga de los ventiladores antes de cualquier codo, atenuador o damper

## **ATENUADORES DE RUIDO**

Los atenuadores de ruido son secciones de ductos prefabricadas que contienen celdas internas rellenas con materiales de absorción acústica (generalmente lana de vidrio o lana mineral). Su rendimiento acústico y aerodinámico depende del tamaño, forma y longitud de las celdas internas. Mientras más larga y gruesa sea la celda interna, mayor atenuación de ruido producirá, pero por lo general a expensas de una mayor pérdida de carga.

También se debe tener en consideración el ruido que se regenera por los atenuadores de ruido, que está en directa relación con la velocidad de paso del aire por entre las celdas.

Otra manera de producir atenuación de ruido en ductos es revistiendo internamente el ducto con palmetas de lana de fibra de vidrio especialmente diseñada para este propósito, sin embargo, el rendimiento acústico de este revestimiento en comparación con un atenuador de ruido es muy bajo. Por ejemplo, para producir el mismo rendimiento acústico en la frecuencia de 250 Hz de un atenuador comercial de 1,5m de largo, es necesario revestir interiormente 25 m de ducto con ara producir las atenuaciones de ruido y el desempeño aerodinámico mostrado por los catálogos de los fabricantes, los atenuadores de ruido deben ser instalados de acuerdo a los dibujos de la Fig. 8 (a-h).

Si los atenuadores se instalan muy cerca de las descarga de los ventiladores o de las singularidades de los ductos (codos, bifurcaciones), se puede producir una regeneración de ruido por turbulencia que afectará el desempeño acústico y aerodinámico final.

## **Guía práctica para el control de vibraciones en equipamientos de climatización**

**Artículo proporcionado por el señor Héctor Fuentes L.  
Gerente Ingeniería SILENTIUM**

Un sistema aislado de las vibraciones puede ser considerado como un sistema simple Masa-Resorte (ver fig. 1). Este sistema visualiza al equipo al cuál se quiere aislar como una masa a la cuál se le aplica una fuerza vibratoria – generada por su mecanismo de funcionamiento – y está soportada a tierra mediante un elemento elástico – resorte – con cierta rigidez o constante del resorte.

Este sistema Masa-Resorte posee una frecuencia natural de vibración que depende de la masa del equipo y de la constante del resorte y está dada por la relación de la ecuación 1.

La eficiencia de la aislación de vibraciones del sistema depende sólo de la relación entre la frecuencia natural del sistema  $f_n$  y la frecuencia de disturbio  $f_d$  – para fines prácticos es la frecuencia preponderante más baja producida por el equipo a aislar. Cuando la frecuencia natural  $f_n$  del sistema es más alta que la frecuencia de disturbio, no existe aislación de las vibraciones. Cuando las frecuencias  $f_n$  y  $f_d$  son iguales se produce una resonancia del sistema operando, por lo tanto, una amplificación de las vibraciones.

Cuando la relación  $f_d / f_n$  es igual a aprox. 1,41 comienza a haber una aislación de las vibraciones hacia la fundación. Cuando esta relación es igual a 3 se produce una aislación del 90% de las vibraciones para la frecuencia de disturbio, en la practica esta se puede considerar como la aislación mínima de un sistema.

Cuando esta relación es de 6, se produce una aislación del 99% de las vibraciones para la frecuencia de disturbio. Si aumentamos esta relación a un número mayor a 6, la efectividad de la aislación prácticamente no cambia por lo que podemos considerar este número para máxima aislación. Como se puede observar de la ecuación 1, lo único que podemos controlar para modificar  $f_n$  es la constante del resorte  $k_s$ , dado que la masa  $M$  está dada por el equipo que se quiere aislar.

Por lo tanto, para aislar efectivamente un equipamiento debemos seleccionar un aislador de vibraciones que permita una relación  $f_d / f_n$  entre 3 y 6, es decir, que al estar cargado con una masa  $M$  produzca una frecuencia natural lo suficientemente baja en relación a la frecuencia de disturbio que permita que la relación  $f_d / f_n$  esté entre 3 y 6.

Propiedades de los aisladores Tal como la frecuencia natural de un sistema de péndulo depende del largo de la cuerda que sostiene la masa, para un sistema como el que estamos analizando, la frecuencia natural depende de la deflexión estática del elemento de aislación y está dada por la ecuación

2. Por lo tanto, podemos seleccionar un aislador de acuerdo a su deflexión estática.

Existen básicamente 3 tipos de aisladores: Elastómeros; Resortes; y Muelles de Aire. El aislador elastómero más popular es el neopreno.

La figura 2 muestra cómo se produce la deflexión de estos elementos al estar cargados por el equipo a aislar.

Para instalaciones en dónde el aislador de neopreno no pueda ser reemplazado se recomienda trabajar con una deflexión igual al 15% de la altura del aislador y utilizar un neopreno calidad bridge-bearing- utilizado para montaje de puentes. Si es posible cambiarlo se puede trabajar con una deflexión del 25% de la

altura del aislador. Un aislador de neopreno otorga deflexiones de hasta aprox. 12mm (0,5 pulg.). Por lo tanto, es menos eficiente para equipamiento de bajo 800 rpm.

Para una adecuada selección de este elemento es muy necesario que los fabricantes entreguen la curva de deflexión de los aisladores de neopreno y el punto dónde se logra una deflexión del 15% de la altura o la deflexión la carga nominal. Los aisladores de resorte pueden otorgar deflexiones de hasta de 5", por lo tanto pueden ser mucho más eficientes que un aislador de neopreno. La manera más adecuada de trabajar con estos resorte es conociendo la constante del resorte o la deflexión nominal, datos que deberán ser entregados por el fabricante.

Para que un resorte trabaje en un punto de seguridad, evitando que el material se fatigue por sobreesfuerzo, es recomendable que pueda existir una deflexión adicional del 50% de la deflexión nominal antes de que el resorte se comporte como un sólido – que esté completamente comprimido. La estabilidad de un resorte también es un parámetro que hay que considerar. Para que un resorte sea estable el diámetro del resorte no debe ser inferior al 80% de la altura del resorte en operación. Esto también permite que la constante del resorte sea igual en el sentido vertical que en el horizontal, permitiendo aislar adecuadamente las vibraciones de un equipo real.

El otro tipo de aislador es el muelle de aire o resorte de aire que se compone de una bolsa de neopreno con aire comprimido y que produce aislaciones superiores a un resorte. Estos elementos son utilizados para aplicaciones muy críticas y deben operar con un compresor y con válvulas de regulación de presión.

### **Guía Práctica de Control de Vibraciones**

Para facilitar la instalación de los equipos aislados y de sus cañerías o ductos, es necesario que la altura de operación de un aislador de resorte sea igual a la altura libre. Para lograr lo anterior el aislador de resorte debe incorporar un perno de ajuste para cargar el resorte una vez instalado el equipo (ver figura 5).

Es muy útil tener en la mente las frecuencias naturales asociadas a las deflexiones. La siguiente tabla muestra las frecuencias asociadas a las deflexiones nominales más usadas.

El primer paso para seleccionar un aislador de vibraciones es conocer la frecuencia de disturbio del equipo que se quiere aislar. Esto se realiza mediante inspección de la frecuencia más baja de rotación dentro del equipo. En el ejemplo de la figura 6 se muestra un caso de un ventilador centrífugo con un motor de 1800 rpm, un ventilador que gira a 600 rpm con 10 aspas ( $10 \times 600 = 6000$  rpm). En este ejemplo la frecuencia más baja que deberá considerarse para la selección del aislador son las 600 rpm del ventilador.

Una vez conocida la frecuencia de disturbio se debe seleccionar la frecuencia del resorte. En esta etapa debemos tener claro qué cantidad de vibraciones necesitamos atenuar, considerando la potencia y tamaño del equipo que se quiere aislar y la sensibilidad del lugar dónde se instalará- una instalación en un hospital u oficina es más sensible a las vibraciones que una instalación industrial. Cuando la instalación no es muy crítica y no hay problema con la sensibilidad a los ruidos producidos por las vibraciones podemos trabajar con una relación  $f_d / f_n = 3$  (mínima aislación).

Si la instalación es más crítica debemos trabajar con una relación  $f_d / f_n = 6$  (máxima aislación). En nuestro ejemplo anterior para el caso mínima aislación, necesitaríamos entonces un aislador con una frecuencia de 200 rpm, por lo tanto, necesitaríamos un resorte de 1 pulg. de deflexión. Para el caso de máxima aislación necesitamos un resorte de 4 pulg. de deflexión (ver figura 7).

Para situaciones nada críticas se podría utilizar una relación menor a 3, pero nunca menor a 2, dado que tendríamos el riesgo de exponer al sistema a resonancia o en el mejor de los casos tener un aislador que no esté produciendo ninguna aislación. Tampoco es recomendable utilizar una relación sobre 7 a menos que sea requerido por un especialista.

Todo lo expuesto anteriormente se aplica para instalaciones en terreno firme o que se encuentre apoyado directamente sobre los pilares de un edificio. Lamentablemente estos casos son los que menos provocan problema. Cada vez es más usual tener equipos instalados en los pisos del edificio sobre las losas y en muchas ocasiones nos encontramos con grandes equipos instalados en las azoteas directamente sobre oficinas de ejecutivos de alto nivel.

En estas situaciones no podemos aplicar directamente la teoría simple mostrada al comienzo del artículo, si no que tendremos que considerar el efecto de la losa en donde se instalará el equipo en nuestro método de selección.

La losa hace que nuestro sistema simple ya no esté anclado a una tierra sino que a otra masa-la de la losa- que posee cierta constante de resorte – deflexión de la losa- que depende básicamente de la luz y espesor de la losa (ver figura 8).

Una forma práctica para considerar el efecto de la losa es considerar que una losa se diseña para una deflexión no superior a  $Luz/720$ . Se debe analizar la deflexión necesaria para aislar la frecuencia de disturbio de la losa y paralelamente el de la losa. Si utilizamos el ventilador de nuestro ejemplo anterior que se instalará sobre una losa con luz de 6m, la deflexión probable de una losa con una luz de 6m sería  $9/720 = 12,5\text{mm}$  (0,5 pulg.). Para mínima aislación, el análisis del resorte nos indica un resorte de 1 pulg.; el análisis de la losa nos indica una deflexión de  $0,5 \times 3 = 1,5$  pulg. Seleccionamos la mayor deflexión, en este caso la deflexión por análisis de la losa controla la vibración. Para máxima aislación, el análisis del resorte nos indica un resorte con una deflexión de 4 pulg., el análisis de la losa nos indica una deflexión de  $0,5 \times 6 = 3$  pulg., por lo tanto en este caso el sistema lo sigue controlando el análisis del resorte. También existen tablas de selección de aisladores, basadas en la experiencia en terreno, en las cuales se indica el tipo y deflexión del aislador dependiendo del tipo de equipo, potencia y ubicación dentro del edificio.

## **Bases de Soporte**

Erróneamente existe la creencia que las masas o bases de inercia aportan aislación a las vibraciones. Como vimos anteriormente lo único que aporta aislación es el elemento aislado.

Cuando un equipo está montado en una losa en la que se requiera un aislador de resorte con una deflexión de 1 pulg. una solución de base de inercia soportada sobre aisladores de neopreno no cumplirá su objetivo, dado que los aisladores de neopreno podrían funcionar para una deflexiones de hasta 0,5 pulg.

### **Existen 6 razones por las cuales se debe usar una base de soporte, estas son:**

1. Para mantener unidos el motor con el ventilador o unidades que conforman una unidad mayor.
2. Para distribuir trasladar la carga hacia las vigas del edificio, cuando la losa no soporta cargas adicionales.
3. Para estabilizar una unidad sobre aisladores que posea un centro de gravedad muy alto. Bajando el centro de masa con una base de concreto.
4. Para estabilizar una unidad que posea un centro de gravedad muy alto soportando el equipo sobre una estructura metálica en donde los aisladores se puedan instalar más altos.
5. Para otorgar rigidez a la base de un equipo, evitando distorsiones de su funcionamiento.
6. Como barrera acústica para reducir el ruido emitido por el equipo hacia los pisos inferiores

Para que una base metálica sea lo suficientemente rígida la altura de la estructura debe ser  $1/10$  de la distancia entre apoyos. En el caso de una base de concreto la altura de la base debe ser  $1/12$  de la distancia entre apoyos.

## **Aislación de Cañerías y Ductos**

Además de aislar adecuadamente los equipos en sus bases es necesario considerar la transmisión de vibraciones por las cañerías o ductos que estén conectados a estos. Primero tenemos que utilizar juntas de expansión o flexibles en la llegada o salida de cañerías o ductos del equipo con lo que reduciremos en algún porcentaje la vibración y/o ruido transmitido y posteriormente aislar los soportes de las cañerías.

Existen las juntas de expansión de neopreno de lóbulo simple o doble que producen reducción de las vibraciones y absorción de los pulsos de una bomba, con lo que también se reduce el ruido transmitido hacia las cañerías.

Últimamente se han introducido al mercado las juntas de expansión de EPDM, que ha demostrado tener mayor flexibilidad, con lo que aumenta la reducción de las vibraciones y del ruido, y mayor duración que las juntas de neopreno convencionales. Las juntas flexibles de acero inoxidable corrugado aportan reducción de las vibraciones pero no reducción del ruido de pulsación, por lo que no son recomendables para aplicaciones críticas para el ruido.

Los flexibles de acero inoxidable funcionan sólo para movimientos transversales por lo que deben ser instalados en paralelo al eje de rotación del equipo y adicionalmente perpendicularmente si el equipo genera movimiento en todos los sentidos. La eficiencia de la reducción de vibraciones depende del diseño del corrugado y del largo del flexible-mientras más largo mayor reducción de las vibraciones.

Los flexibles no producen una reducción total de las vibraciones y además se pueden producir regeneraciones de vibraciones por el flujo dentro de las cañerías, por lo que es necesario considerar una fijación aislada en los soportes de estas. Estas fijaciones se pueden ejecutar por medio de colgadores aisladores de vibración o soportados al piso mediante aisladores de vibración de neopreno o resorte. Las necesidades de aislación dependen del diámetro para el caso de las cañerías, de la velocidad del aire para los ductos y del tipo de estructura en dónde estén soportados (Concreto o acero. Para ductos con velocidades bajo 10 m/s no se requiere que estén aislados de las vibraciones.

### **Consideraciones sísmicas**

Al aislar de las vibraciones un equipo, cañerías o ductos, se está realizando una instalación flexible por lo que se deben tener en cuenta que puede ser necesario una retención sísmica del equipo. Durante un evento sísmico un resorte puede entrar en resonancia con la frecuencia del sismo y provocar que el equipo se salga de su posición y provoque serios daños no tan solo al equipo y a las cañerías y ductos asociados sino que también existe riesgo para las personas que circulen cerca de los equipos. A continuación se muestran fotografías tomadas después del terremoto de Northridge, California (1994). En la fotografía 1, se muestra el daño provocado en un chiller que no consideró restricción sísmica y la fotografía 2 muestra un equipo que si consideró restricción sísmica.

# Aislación térmica de EPS por el exterior de los elementos envolventes de masa de una edificación

**Artículo proporcionado por el señor Alberto Dunker Daiber. Gte. ACHIPEX AG.**

Durante el período estival en una localidad dada, un día caluroso tipo y representativo de esta estación no sólo está caracterizado por el nivel de temperatura mínima, media y máxima exterior que acontece diariamente entre otros factores, sino que también, por el nivel de radiación solar que recibe y que también solicita térmicamente con fuerte impacto a las envolventes de las edificaciones y a los habitantes que en ellas se desenvuelven.

Los seres humanos respondemos funcionalmente acorde a nuestro metabolismo físico natural y, para que ellos se desempeñen confortablemente en los recintos de los edificios en los que habitan o trabajan, es trascendente desde la etapa inicial de un proyecto de edificación tener por considerado la concepción arquitectónica de funcionamiento del mismo y de sus usuarios, ajustado por el diseño, orientación y el adecuado uso y ubicación de los materiales y sus combinaciones, entre los que se encuentran los aislantes térmicos; mecanismos importantes de considerar para limitar tanto el excesivo soleamiento exterior como las altas temperaturas medias y extremas en los períodos de calor del verano.

Según los referentes internacionales, la temperatura máxima en términos de confort es del orden de 28 grados Celsius. Esta referencia límite, según el clima y las características de la construcción, puede o no ser satisfecha sin climatizar. Se refiere a la temperatura que se admite como límite hasta la cual la temperatura al interior de una edificación puede igualarse para no interferir en la actividad funcional y metabólica y así no posibilitar condiciones de desagrado térmico y afecten su bienestar por exceso de temperatura y calor en las personas que la habitan.

Cuando no hay climatización, la temperatura interior resulta de la amortiguación de los aportes de calor que ingresan directamente a través de las superficies de los elementos constructivos de la vivienda, los que son absorbidos con mayor o menor celeridad, aumentándola o disminuyéndola según las características físicas propias de los materiales y elementos considerados.

## **INERCIA TÉRMICA**

El uso de elementos constructivos más pesados o de mayor inercia térmica absorberá y reducirán más estos aportes solares, reduciendo la amplitud de la temperatura interior, y, a la inversa, los más livianos o de menor inercia térmica absorberán menos, elevando más rápido la temperatura al interior de la vivienda. Para obtener la temperatura alcanzada al interior de una vivienda hay que tener en cuenta los aportes térmicos debidos a la diferencia de temperatura entre el ambiente interior y exterior, al soleamiento originado por la radiación solar que incide e ingresa como

calor radiante a través de las superficies de los elementos constructivos y a los generados interiormente por el uso de la edificación.

### **REDUCCIÓN DE LA AMPLITUD DE LA TEMPERATURA EXTERIOR SEGÚN LA UBICACIÓN DEL AISLAMIENTO TÉRMICO SOBRE EL ELEMENTO ENVOLVENTE DE MASA CONCEPTO**

Siempre convendrá aislar por el exterior y sobre los muros envolventes portantes de masa. En el primer caso, al disponer la aislación térmica de EPS por el exterior de una pared envolvente de masa y alta inercia térmica, la amplitud de la temperatura superficial interior de esta pared es inferior al segundo caso, inverso, con la térmica dispuesta contigua por el interior, en la que la amplitud de la temperatura de la superficie interior en el mismo plano es superior, con lo que se aprovecha la inercia térmica para controlar el soleamiento excesivo de la estación estival. La diferencia de temperatura que se produce entre la temperatura exterior y la que se desea para el interior de la edificación acorde al destino de la misma es uno de los parámetros que conduce a evaluar y definir el nivel de aislación térmica que se requiere. Si esta diferencia es muy pequeña, como la que se presenta, por ejemplo, en climas templados, prácticamente no se requerirá de aislamiento térmico. Pero como esta sollicitación térmica no es la única, al actuar la radiación solar, se produce además, el calentamiento del complejo envolvente de la edificación lo que eleva significativamente la temperatura de los muros y la techumbre, transfiriéndose esta cantidad de energía en términos de calor a través de ellos hacia el interior de la misma.

Bajo los rayos solares directos incidentes sobre la superficie de los muros envolventes horizontales y verticales de una edificación, la temperatura superficial de estos elementos puede elevarse hasta tal extremo de duplicar el nivel de la temperatura media del ambiente exterior y aún incrementarse más si no se considera o dispone sobre ellos un espesor adecuado de aislación térmica. Para tal ascenso de la temperatura superficial en estos muros envolventes de un edificio, sí será importante consultar un adecuado nivel de aislamiento térmico y, en especial, si ellos tienen alta inercia térmica y sobre los cuales una aislación térmica exterior amortiguará y retardará la onda de calor hacia el interior con el consiguiente beneficio de disminuir la temperatura interior y otorgar mayor confort a sus usuarios; al depender las entradas de calor de estas diferencias de temperatura entre la superficie aislada y su superficie interior. Si los muros no consideran aislación térmica exterior alguna, la proporción de calor que entrará al interior a través de ellos será por lo mismo mayor. Por esta razón, no debe inducirse a restarle importancia a la aislación térmica, pues ella contribuirá a reducir esta mayor diferencia de temperatura que originan estos aportes solares.

Si estos aportes solares se realizan a través de las superficies acristaladas, se producirá una elevación aún mayor y más rápida de la temperatura al interior de las viviendas, por lo que con mayor importancia habrá que evaluar tamaño, tipo de acristalamiento y/o disponer protecciones para reducirlos, constituyendo los elementos de fachada los de mayor importancia en términos de control. La orientación de las fachadas es también primordial para el control del soleamiento, dado que lo que interesa es reducir los aportes en el verano para así también posibilitarlos en la estación de invierno. El control del soleamiento, que posibilita fuertes calentamientos

al interior de los espacios utilizados o habitados de una edificación o de una vivienda, reviste por ello una importancia preponderante para los problemas térmicos del verano.

Para aquellos climas calurosos en los que la temperatura exterior es siempre inferior a esta temperatura de referencia máxima de confort de 28 °C, si se disponen protecciones para reducir los aportes solares e interiores, no será necesario climatizar. Y del mismo modo, en aquellos más calurosos en los que la temperatura máxima diaria es superior a este límite y su temperatura media exterior es inferior a él, si se considera además una inercia suficiente. Con ello se consigue mantener una temperatura prácticamente estable y próxima a la temperatura media exterior que es inferior a este límite. En climas más calurosos todavía, en los que la temperatura media exterior es siempre superior a esta temperatura de referencia máxima de 28 °C, generalmente debe considerarse la climatización. Aún cuando se logre la amortiguación total de la onda de temperatura exterior y la anulación completa de los aportes solares, este extremo exterior conduce a una temperatura interior similar a la temperatura media exterior que es superior a esta temperatura límite de confort. En los climas cálidos y húmedos, el confort es muy difícil de obtener. La temperatura exterior media puede estar cerca del límite de confort o superarlo, pero raramente es mucho más alta que este límite y la diferencia de temperatura diurna exterior es generalmente también pequeña. Por ello, es poco lo que la inercia térmica de la construcción puede ofrecer y que además se inhibe al tener necesariamente que ventilar fuertemente si no se adopta una climatización artificial.

Para el caso de los climas cálidos y secos, las temperaturas exteriores máximas son muy altas y muy superiores a su temperatura exterior media y, aún existiendo una fuerte diferencia de temperatura entre sus extremas diurnas, su temperatura exterior media es superior a esta referencia máxima de confort, por lo que en estos climas se hace necesaria la climatización natural o artificial. La aislación térmica dispuesta por el exterior de muros portantes de masa y de suficiente inercia térmica, como por ejemplo, los de hormigón armado, albañilerías u otras alternativas equivalentes que conforman los elementos envolventes de una vivienda, permite reducir, amortiguar y retardar significativamente el efecto de los sobrecalentamientos durante el día para así devolver el exceso de los mismos por ventilación durante la noche cuando se invierte el flujo térmico.

El Poliestireno Expandido es especialmente indicado y versátil en este tipo de aplicaciones por sus múltiples ventajas para resolver las singularidades de la Construcción y su Térmica. Las soluciones de aislación térmica con Poliestireno Expandido sobre muros portantes de masa de alta inercia térmica son alternativas ya probadas en el mundo y ofrecen innovación tecnológica, contribuyen al ahorro y a la eficiencia energética – Como valor agregado y aparte del ahorro energético por calefacción y la protección del medio ambiente que significa una aislación térmica, se aprovecha la inercia térmica de las paredes portantes de masa para absorber y amortiguar los efectos de sobrecalentamientos en el verano, lo que es especialmente indicado considerar para largos períodos de acupación, como lo es, el uso de las viviendas que se habitan – Este tipo de soluciones serán opciones interesantes de aplicar, a propósito de la implementación de la segunda etapa de la reglamentación térmica para muros, ventanas y pisos, que será incorporada próximamente como Ley

a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones y que entrará en vigencia obligatoria a fines del año 2006. Santiago, 6 de Diciembre de 2006.

## **Aplicaciones de intercambiadores de calor de placas y aeroenfriadores en sistemas de refrigeración**

### **Por Alfa Laval Chile de su Manual Técnico de Intercambiadores de Calor para Aplicaciones de Refrigeración**

Los equipos de transferencia de fluidos son usados comúnmente en la industria. Uno de estos equipos son los intercambiadores de calor de placas que interactúan con fluidos a diferentes temperaturas para servir a procesos de enfriamiento o calentamiento presente en los procesos de producción de la industria en forma directa o indirectamente.

**Intercambiadores de Placas** Los intercambiadores de calor de placas semisoldados (Figura 1a y 1b) son usados como Evaporadores y Condensadores para sistemas de refrigeración en una serie de aplicaciones para la industria, como por ejemplo:

- En el área alimenticia, lechería, cervecería, vitivinícola.
- En el área de Marina; barcos pesqueros y procesamiento de peces.
- En Mataderos.
- En Industria Química y farmacéutica.
- En Industrias del hielo y pistas de patinaje de hielo.
- En Enfriamiento y almacenamiento de congelados, etc.

Estos equipos son usados como evaporadores y condensadores en sistemas de refrigeración en diferentes aplicaciones. Los Aero evaporadores (Figura N° 2) son usados para enfriar cámaras de almacenamiento de productos en diferentes temperaturas.

Los condensadores son usados como disipadores de calor del circuito de refrigeración. En el caso de los enfriadores de líquido pueden usarse en circuitos cerrados para enfriar fluidos secundarios de sistemas de climatización u otro sistema similar que haga circular agua, aceite u otros fluidos.

El mejor reflejo para los diferentes aplicaciones de los intercambiadores de placas y Aero-enfriadores es por ejemplo en un gran supermercados.

## APLICACIONES DE INTERCAMBIADORES EN UN GRAN SUPERMERCADO

Ver figura Figura N°3. Este es el aspecto que podría tener un supermercado moderno. Sin embargo, la planta no está completa. Un gran supermercado podría tener aún más cargas de enfriamiento a diferentes niveles de temperatura. El propósito principal es mostrar las aplicaciones de los intercambiadores de calor, por lo que otros equipos, válvulas, bombas control y tuberías solo se muestran parcialmente.

Las características de la planta son las siguientes: El circuito entero del amoníaco está la sala de máquinas, así no hay amoníaco en espacios frecuentados por personal no autorizado y por clientes del supermercado.

El evaporador de amoníaco enfría una salmuera. Posteriormente, la salmuera enfría las diferentes unidades de enfriamiento. Aquí se usan dos PHE semisoldados, conectados como termosifón a un separador común de vapor-líquido.

El circuito evaporador –tanque de salmuera está separado del circuito tanque de salmuera –UC. Cada uno tiene su bomba. Aunque la salmuera se mezcla en el tanque, esto sirve para controlar el evaporador y la UC independientemente.

La temperatura de entrada de salmuera,  $-8^{\circ}\text{C}$ , es igual para todas las UC, pero la temperatura del retorno,  $-4^{\circ}\text{C}$ , es una mezcla de UC diferentes. La Figura N°3 muestra un circuito de salmuera que alimenta varias UC. Si las temperaturas del aire de varios almacenes son muy diferentes podrían ser necesarios varios circuitos de salmuera (y varios evaporadores) a diferentes temperaturas.

De manera similar, el condensador de amoníaco es enfriado por agua, que a su vez se enfría en un enfriador de líquido, situado en el techo. Aquí se muestra un diseño semisoldado, con una sección separada de recuperación de calor. Es posible usar salmuera para enfriar un almacén con temperaturas muy bajas, pero la eficiencia se reduce cada vez más al disminuir la temperatura.

Aquí se muestra el sistema de R404a conectado en cascada para el almacenamiento a muy bajas temperaturas. El condensador de R404a se enfría evaporando amoníaco del sistema principal. Esta es una carga adecuada para una unidad semisoldada pequeña o como una unidad soldada con níquel con bastidor.

Si el almacén a baja temperatura está lejos de la sala de máquinas, las tuberías de R404a podrían ser demasiado largas. En este caso podría ser mejor situar la unidad de refrigeración cerca del almacén y enfriar el condensador con la salmuera de la unidad principal. Otra alternativa es un “heat pipe” con dióxido de carbono como fluido de trabajo. Entonces podría usarse un PHE soldado con cobre como condensador. La compresión desde una temperatura de evaporación de  $-12^{\circ}\text{C}$  a la temperatura de la condensación de  $45^{\circ}\text{C}$  da un COP bajo. Más importante todavía, el amoníaco sale con temperaturas de descarga muy altas, en este caso alrededor de  $160^{\circ}\text{C}$ . Ésta es demasiado alta y conduce a la descomposición del aceite y al gripado del compresor. Por consiguiente. La planta está provista por dos compresores conectados en serie (o un compresor de dos etapas con entrada de refrigerante a presión intermedia) y un economizador (ver figura 3); aquí se muestra una unidad soldada con níquel.

Esto tiene la doble función de aumentar el COP y disminuir la temperatura de descarga a valores más razonables, 96°C. Una temperatura de descarga de 96°C todavía es suficientemente alta para recuperar calor para la producción de agua caliente. Fácilmente se puede producir agua a una temperatura de 80 a 85°C en un PHE. El condensador está provisto con una sección del desrecalentamiento para la producción de agua caliente. Se puede recuperar del 20 a 25% de la energía de enfriamiento como agua caliente.

El separador se compone de dos partes. La parte horizontal sirve principalmente como un separador vapor-líquido. El nivel del amoníaco líquido se mantiene en un recipiente vertical.

Debido a su área de paso pequeña comparada con el recipiente horizontal, el contenido en amoníaco puede ser pequeño. El nivel de líquido en un separador no está fijo. Para conseguir una lectura estable para el flotador que controla la válvula de expansión, el flotador y la válvula se sitúan en un recipiente separado que comunica con el recipiente principal. El aceite es insoluble y más pesado que el amoníaco.

El aceite de los compresores se acumula en el punto más bajo del circuito de termosifón. De este punto el aceite pasa al tanque de aceite a través de las tuberías con las válvulas A.

Inevitablemente habrá algo de amoníaco que entrará en el tanque de aceite. El amoníaco se evapora y el exterior del tanque quedará cubierto por hielo. Cuando el tanque está lleno de aceite, el amoníaco no puede entrar, la temperatura aumenta y el hielo funde.

Esto sirve como señal, visual o por un termómetro, de que el tanque de aceite está lleno. Entonces se cierran las válvulas A y se abren las válvulas B. A través de una de las válvulas B, el amoníaco a alta presión empuja el aceite fuera del tanque a través de la otra válvula B hacia el tanque secundario de aceite. Este alimenta aceite a los compresores.

Si la temperatura ambiente no es suficientemente alta para evaporar el amoníaco, se puede instalar un calentador eléctrico o un serpentín con condensado para mejorar la evaporación. Podría usarse una bomba en lugar del amoníaco de Alta Presión.