

CONTROL DE VIBRACIONES DE EQUIPAMIENTO MECÁNICO EN RECINTOS CRÍTICOS

PACS: 43.55.Vj

Bastián Monarca; Nicolás ¹

¹ Departamento Comercial, Área Comercial

Silentium, Ingeniería del Silencio

José Ananías 207 A, Santiago, Chile

Tel. +56 2 24489820

E-mail: nbastian@silentium.cl

ABSTRACT

Vibration isolation of mechanical equipment is a common problem in any building project. Mechanical equipment that generates unwanted vibration and is mounted on technical or mechanical floors, or placed in genset rooms should be isolated. In this work the criteria, designs and application to achieve successful vibration isolation are presented.

RESUMEN

El control de vibraciones de equipamiento mecánico es un problema usual en cualquier proyecto de construcción. Pisos técnicos, pisos mecánicos, salas de generadores, entre otros, son pisos y/o salas en las cuales hay muchos equipos que generan vibraciones nocivas que deben ser controladas. En este trabajo se presentan criterios, diseños y aplicaciones para realizar un correcto aislamiento de vibraciones.

1. INTRODUCCIÓN

El ruido estructural generado por equipamiento mecánico es un problema usual en edificios hospitalarios, oficinas, hoteles, entre otros. Esto ocurre porque este tipo de construcciones cuenta con una gran variedad de equipos que funcionan con motores, los cuales generan vibraciones molestas. Bombas de agua, bombas de calor, enfriadores de agua (chillers), fancoils, grupo electrógenos, torres de enfriamiento, unidades manejadoras de aire y ventiladores son equipos que deben considerar un tratamiento especial para aislar las vibraciones que generan.

La forma más efectiva de eliminar las vibraciones es utilizando un aislador de vibración entre el equipo y la estructura que lo soporta. El criterio mundialmente utilizado para elegir el tipo de aislador es el entregado por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) [1], el cual, dependiendo del tipo de equipo y otros parámetros, recomienda una deflexión estática mínima que debe tener el aislador.

Por otra parte, los equipos que trabajan con fluidos (como las bombas de agua) deben utilizar juntas flexibles en la conexión con las cañerías, ya que también se generan vibraciones debido al flujo turbulento que producen los equipos.

Debido a lo anterior, es necesario considerar en el diseño acústico de proyectos el efecto de la transmisión de vibraciones y recomendar medidas de mitigación, con el fin de evitar el ruido estructural.

2. CONTROL DE VIBRACIONES EN LA PRÁCTICA

2.1. Generalidades

El diseño de un sistema completo de control de vibraciones se puede dividir en cinco etapas [2]:

- 1) La selección de la transmisibilidad o la deflexión estática requerida de un aislador de vibración.
- 2) La selección del tipo de montaje del sistema.
- 3) La selección de la ubicación de los aisladores de vibración y la determinación de la carga que debe soportar cada aislador.
- 4) La selección de un aislador que se adapte a los tres puntos anteriores.
- 5) El tratamiento de las distintas conexiones de los equipos, asegurando que éstas no cancelen el efecto de los aisladores de vibración.

Al determinar la deflexión estática que se requiere, se puede discriminar si utilizar un aislador de neopreno o un aislador de resorte. Un aislador de neopreno puede tener una deflexión máxima de 13 mm, mientras que un aislador de resorte puede tener una deflexión máxima de 125 mm [3].

La selección del tipo de montaje normalmente se reduce a tres casos, el primero es que se conecte el aislador directo al equipo, el segundo es que se utilice una base de acero entre el equipo y el aislador y el tercer caso es que se utilice una base de concreto (o de inercia) entre el aislador y el equipo [2].

La selección de la ubicación de los aisladores generalmente está dada por los fabricantes de los equipos, ya que los mismos equipos cuentan con perforaciones inferiores (normalmente en las esquinas) donde se pueden anclar los aisladores.

El tratamiento de las conexiones es usual que se enfoque en la utilización de juntas flexibles de una o dos convoluciones en los equipos que trabajan con agua, como bombas de agua, enfriadores de agua, unidades manejadoras de aire y torres de enfriamiento.

Los criterios de diseño para seleccionar la deflexión estática necesaria para aislar un equipo o el tipo de base que requiere, están dados por la ASHRAE y se describen a continuación.

2.2. Criterios de Diseño

Para diseñar los sistemas de control de vibraciones se utiliza las indicaciones establecidas por ASHRAE de acuerdo a las características de los equipos que se quieren aislar y su ubicación.

En la Tabla 1 se muestra el tipo de aislador recomendado para diferentes equipos HVAC.

Al ver la Tabla 1, se aprecia que dependiendo de la potencia, revoluciones por minuto, tipo de equipo y luz de losa (mayor dimensión entre elementos estructurales que sostienen a la losa), la ASHRAE entrega una recomendación del tipo de aislador, tipo de base y deflexión estática mínima que se requiere para controlar las vibraciones de los equipos.

Tabla 1. Tipo de aislador recomendado para diferentes equipos HVAC. Fuente: [1]

Tipo de Equipos	Consumo de energía kW (hp)	Rpm	Ubicación del equipo											
			Losa de hormigón a nivel del suelo			Losa hasta 6 m de luz			Losa de 6 a 9 m de luz			Losa de 9 a 12 m de luz		
			Tipo de Base	Tipo de Aislador	Defl. Min. mm	Tipo de Base	Tipo de Aislador	Defl. Min. mm	Tipo de Base	Tipo de Aislador	Defl. Min. mm	Tipo de Base	Tipo de Aislador	Defl. Min. mm
Maquinas de refrigeración y enfriadores														
Alternativo (de pistón)	Todos	Todos	A	2	6	A	4	19	A	4	38	A	4	64
Centrifugos, Scroll (espiral)	Todos	Todos	A	1	6	A	4	19	A	4	38	A	4	38
Tomillo	Todos	Todos	A	1	25	A	4	38	A	4	64	A	4	64
Absorción	Todos	Todos	A	1	6	A	4	19	A	4	38	A	4	38
Enfriado por aire, alternativo y scroll (espiral)	Todos	Todos	A	1	6	A	4	38	A	4	38	A	4	64
Enfriado por aire, de tomillo	Todos	Todos	A	4	25	A	4	38	B	4	64	B	4	64
Compresores de aire y bombas de vacío														
Con estanque montado horizontal	≤7.5 (10)	Todos	A	3	19	A	3	19	A	3	38	A	3	38
	≥11 (15)	Todos	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
Con estanque montado vertical	Todos	Todos	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
Montado sobre una base	Todos	Todos	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
Grandes de pistón	Todos	Todos	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
Bombas														
Monobloc	≤5.6 (7.5)	Todos	B	2	6	C	3	19	C	3	19	C	3	19
	≥7.5 (10)	Todos	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
Grandes en línea	3.7 -19 (5-25)	Todos	A	3	19	A	3	38	A	3	38	A	3	38
	≥22 (30)	Todos	A	3	38	A	3	38	A	3	38	A	3	64
De succión axial y con carcasa dividida	≤30 (40)	Todos	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
	37-93 (50-125)	Todos	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	64
	≥110 (150)	Todos	C	3	19	C	3	38	C	3	64	C	3	89
Sistema de bombas empaquetadas	Todos	Todos	A	3	19	A	3	19	A	3	38	C	3	64
Torres de enfriamiento														
	Todos	Hasta 300	A	1	6	A	4	64	A	4	89	A	4	89
		301-500	A	1	6	A	4	38	A	4	64	A	4	64
		Sobre 501	A	1	6	A	4	19	A	4	19	A	4	38
Calderas														
De fuego directo (Fire-tube)	Todos	Todos	A	1	6	B	4	19	B	4	38	B	4	64
Acuotubulares (Waer-tube)	Todos	Todos	A	1	3	A	1	3	A	1	3	B	4	6
Ventiladores axiales, pleno, gabinetes, secciones, centrifugos en línea														
Hasta 560 mm de diámetro	Todos	Todos	A	2	6	A	3	19	A	3	19	C	3	19
Sobre 610 mm de diámetro	≤500 Pa SP	Hasta 300	B	3	64	C	3	89	C	3	89	C	3	89
		300-500	B	3	19	B	3	38	C	3	64	C	3	64
		Sobre 501	B	3	19	B	3	38	B	3	38	B	3	38
	≥501 Pa SP	Hasta 300	C	3	64	C	3	89	C	3	89	C	3	89
		300-500	C	3	38	C	3	38	C	3	64	C	3	64
		Sobre 501	C	3	19	C	3	38	C	3	38	C	3	64
Ventiladores centrifugos														
Hasta 560 mm de diámetro	Todos	Todos	B	2	6	B	3	19	B	3	19	B	3	38
Sobre 610 mm de diámetro	≤30	Hasta 300	B	3	64	B	3	89	B	3	89	B	3	89
		300-500	B	3	38	B	3	38	B	3	64	B	3	64
		Sobre 501	B	3	19	B	3	19	B	3	19	B	3	38
	≥37	Hasta 300	C	3	64	C	3	89	C	3	89	C	3	89
		300-500	C	3	38	C	3	38	C	3	64	C	3	64
		Sobre 501	C	3	25	C	3	38	C	3	38	C	3	64
Ventilador propulsor axial														
Montado a muro	Todos	Todos	A	1	6	A	1	6	A	1	6	A	1	6
Montado a techo	Todos	Todos	A	1	6	A	1	6	B	4	38	D	4	6
Bombas de calor, Fan-Coils, Unidades para salas de computadores														
Unidades condensadoras	Todos	Todos	A	1	6	A	4	19	A	4	38	A/D	4	38
Unidades Manejadoras (AH, AC, H y V)														
Todas	≤7.5 (10)	Todos	A	3	19	A	3	19	A	3	19	A	3	19
	≤11 (15)	Hasta 300	A	3	19	A	3	89	A	3	89	C	3	89
	≤1 kPa SP	300-500	A	3	19	A	3	64	A	3	64	A	3	64
		Sobre 501	A	3	19	A	3	38	A	3	64	A	3	38
	>11	Hasta 300	B	3	19	C	3	89	C	3	89	C	3	89
	> 1 kPa SP	300-500	B	3	19	C	3	38	C	3	64	C	3	64
		Sobre 501	B	3	19	C	3	38	C	3	38	C	3	64
Equipos Rooftop														
	Todos	Todos	A/D	1	6	D	3	19	Consultar a especialista acústico					
Equipos rotatorios ducteados														
Pequeños ventiladores, cajas de ventiladores con motor	≤300 L/s	Todos	A	3	13	A	3	13	A	3	13	A	3	13
	≥301 L/s	Todos	A	3	19	A	3	19	A	3	19	A	3	19
Generadores accionados por motor														
	Todos	Todos	A	3	19	C	3	38	C	3	64	C	3	89

Tipos de Bases:

- A. Sin base, aisladores directamente montados al equipo
- B. Rieles o base de acero estructural
- C. Base de inercia de concreto
- D. Base tipo acera (curb)

Tipo de Aisladores:

1. Pad de neopreno
2. Soporte o colgador de neopreno
3. Soporte o colgador de resorte
4. Aislador de resorte contenido

En las secciones 2.2.1 y 2.2.2, se detallan los distintos tipos de aisladores de vibración y tipos de bases, respectivamente.

2.2.1. Tipos de aisladores de vibración

Es importante diferenciar los aisladores de vibración con los amortiguadores, que es lo que normalmente se ve en las especificaciones técnicas por error de los proyectistas [3].

El objetivo de un aislador de vibración es atenuar la transmisión de vibraciones, mientras que el objetivo de un amortiguador es disipar energía mecánica [4]

Existen aisladores de resorte, aisladores de neopreno, aisladores de aire comprimido y colgadores de resorte o neopreno (hangers). La diferencia entre estos elementos es la deflexión, carga y/o fuerza sísmica que pueden tolerar, siendo unos mejores para ciertas aplicaciones que otros. De forma general, los aisladores de resorte tienen una mayor deflexión, lo que implica que pueden aislar una frecuencia más baja (al compararlo con los aisladores de neopreno). Por otra parte, los aisladores de aire comprimido son utilizados para frecuencias muy bajas y en casos muy especiales.

2.2.2. Tipos de bases

Existen cuatro tipos de base, acorde a lo especificado por ASHRAE, las cuales suelen utilizarse entre el equipo que se quiere aislar y el aislador de vibración. Las cuatro tipos de bases son:

- **Sin base:** En este caso, los equipos se montan directo sobre los aisladores de vibración. Esto es usual en las calderas, compresores, grupos electrógenos y enfriadores de agua (chillers).
- **Bases de acero:** Se utilizan cuando los equipos no pueden ser soportados sobre apoyos puntuales. Normalmente se utilizan en unidades manejadoras de aire, ventiladores y torres de enfriamiento.
- **Bases de concreto:** Se utilizan para proporcionar estabilidad y mejorar la distribución de las masas de inercia. Además, tiende a bajar el centro de gravedad hasta la línea horizontal de fijación de los aisladores [5]. Generalmente se utilizan en bombas de agua.
- **Bases tipo solera:** Se utilizan para equipos rooftop soportados con solera y tienen aisladores de resorte incorporados.

2.3. Recomendaciones de Diseño

A continuación se muestran algunas recomendaciones de diseño para distintos tipos de equipos. Los diseños están basados en las recomendaciones entregadas por la compañía norteamericana Mason Industries Inc [6].

2.3.1. Bombas de agua de doble succión

Deben estar sobre una base de inercia de concreto que ayude a distribuir el peso de la bomba de forma más homogénea y disminuir el centro de gravedad del equipo. Por otra parte, la base de inercia debe estar montada sobre aisladores de vibración. De igual forma, los soportes de codos deben estar sobre la base de inercia. Además, como las bombas transportan líquidos, se deben utilizar juntas flexibles que ayuden a eliminar las vibraciones producidas por el equipo y que se propagan a través de las cañerías. Respecto a la selección del aislador, se debe considerar el peso del motor, de la bomba, el peso del agua, el peso de los codos y el peso de la base. En la Figura 1 se muestra un esquema conceptual de instalación.

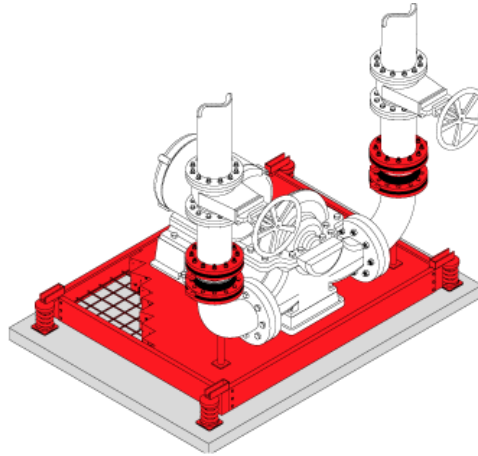


Figura 1. Instalación tipo de una bomba de agua de doble succión. Fuente: [4]

2.3.2. Bombas centrífugas

Deben estar sobre una base de acero y la base debe estar montada sobre aisladores de vibración. De igual forma, los soportes de codos deben estar sobre la base de acero. Además, como las bombas transportan líquidos, se deben utilizar juntas flexibles que ayuden a eliminar las vibraciones producidas por el equipo y que se propagan a través de las cañerías. Respecto a la selección del aislador, se debe considerar el peso del motor, de la bomba, el peso del agua, el peso de los codos y el peso de la base. En la Figura 2 se muestra un esquema conceptual de instalación.

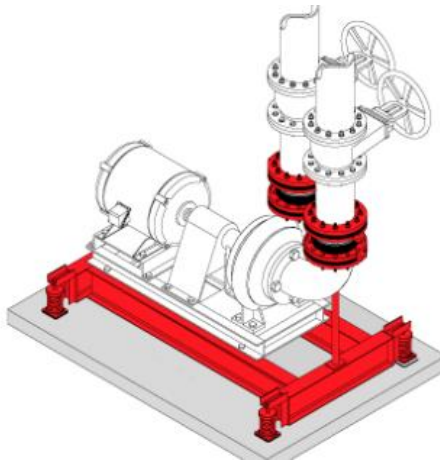


Figura 2. Instalación tipo de una bomba de agua centrífuga. Fuente: [4]

2.3.3. Enfriadores de Agua (Chillers)

Deben instalarse directo sobre aisladores de vibración (normalmente de resorte) y utilizar juntas flexibles en sus cañerías de conexión. En la Figura 3 se muestra un esquema conceptual de instalación.

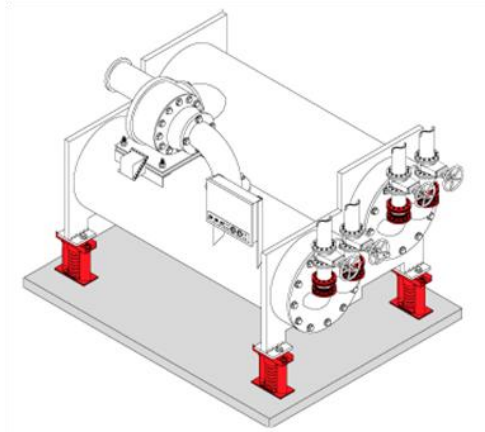


Figura 3. Instalación tipo de enfriadores de agua (chillers). Fuente: [4]

2.3.4. Torres de enfriamiento

Deben instalarse directo sobre aisladores de vibración (normalmente de resorte) y utilizar juntas flexibles en sus cañerías de conexión. En la Figura 4 se muestra un esquema conceptual de instalación.

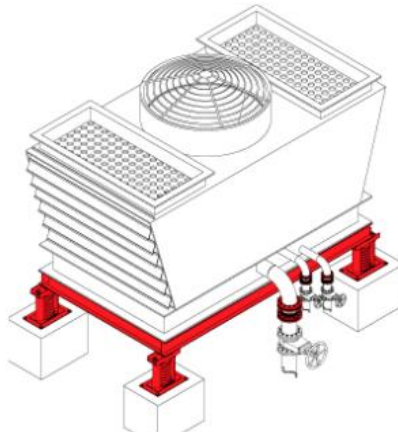


Figura 4. Instalación tipo de enfriadores de agua (chillers). Fuente: [4]

3. RECINTOS CRÍTICOS

Si bien el control de vibraciones es un problema que se debe enfrentar en cualquier proyecto que tenga equipamiento mecánico, existen algunos tipos de recintos que es imperativo que contemplen un sistema de control de vibraciones. Recintos críticos como Datacenters, Hospitales, Hoteles y Oficinas deben considerar un sistema de control de vibraciones en el equipamiento mecánico del edificio, con el fin de lograr un correcto funcionamiento del recinto.

4. APLICACIONES EN PROYECTOS

A continuación se muestran algunas instalaciones de equipamiento mecánico con aisladores de vibración y/o juntas flexibles en proyectos desarrollados en Chile por la compañía Silentium, Ingeniería del Silencio.



Figura 5. Aplicación en piso mecánico de Mall Comercial. Aisladores de vibración de resorte (círculos azules) y restrictores sísmicos (círculos verdes) en enfriadores de agua (chillers) y bombas de agua y juntas de dilatación.



Figura 6. Aplicación en sala de clima de Hospital. Aisladores de vibración de resorte (círculos azules) con restricción sísmica en bombas de agua y juntas de dilatación.



Figura 7. Aplicación en sala de grupo electrógeno de Planta de Gas. Aisladores de vibración de neopreno con restricción sísmica (círculos azules) en grupos electrógenos y colgadores de resorte (círculos verdes) con arriostramientos sísmicos en silenciadores de escape de gases.

5. CONCLUSIONES

Se entregaron criterios de diseño para el correcto aislamiento de vibraciones de equipamiento mecánico, a través de las recomendaciones que entrega la ASHRAE.

Para realizar un correcto aislamiento de vibraciones de un equipo, se debe conocer el tipo de equipo que se necesita aislar, su potencia, sus revoluciones por minuto y la luz de losa donde está instalado el equipo.

Recintos como Datacenters, Hospitalas, Hoteles y Oficinas cuentan una gran variedad de equipos que generan vibraciones nocivas, por lo cual, son proyectos en los que se requiere el apoyo de un especialista acústico para diseñar un sistema de control de vibraciones efectivo.

El control de vibraciones de equipamiento mecánico es un problema que está presente en cualquier proyecto constructivo, lo que genera oportunidades de trabajo para especialistas acústicos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no se podría haber realizado sin la cooperación de la compañía Silentium, Ingeniería del Silencio, ya que facilitaron toda la información de la sección de aplicaciones en proyectos.

REFERENCIAS

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc (2011). Ashrae handbook: HVAC applications. SI edition.
- [2] Sound Research Laboratories Ltd. Noise Control in Industry. CRC Press; 3 edition (December 31, 1990).
- [3] Bastián, N.; Galleguillos, C. Control de Vibraciones y Restricción Sísmica de Componentes y Sistemas no Estructurales en Chile. IX Congreso Iberoamericano de Acústica FIA 2014. Valdivia, Chile (2014).
- [4] E. E. Ungar (1992). Vibration isolation. 11 in Noise and Vibration Control Engineering, L.L. Beranek and I.L. Ver, Eds, Wiley, New York.
- [5] Gerges, S.N.Y.; Arenas, J.P. Fundamentos y Control del Ruido y Vibraciones, 2da Ed., NR Editora, Florianópolis (2010).
- [6] Mason Industries Inc. Mason Black Catalog. May 2014.