

**Título: Metodologías para la evaluación y control del ruido en el ámbito empresarial.**

**Datos de los autores:**

- Sergio Echevarria Hernández

Ingeniero Industrial

([Sergio.echeverria@umcc.cu](mailto:Sergio.echeverria@umcc.cu) )

Años de experiencia: 28

Profesor asistente

- DrC. Joaquín Aramís García Dihigo ([joaquin.garcia@umcc.cu](mailto:joaquin.garcia@umcc.cu) )

Ingeniero Industrial. Doctor en Ciencias Técnicas

Profesor Titular

Años de experiencia: 25

- Dra. C. Grether Lucía Real Pérez

Profesora auxiliar

Ingeniera Industrial, Máster en Gestión de la Producción y los Servicios, Doctora en Ciencias Técnicas

([gretherreal@gmail.com](mailto:gretherreal@gmail.com) ó [grether.real@umcc.cu](mailto:grether.real@umcc.cu) )

**Centro de trabajo:** Profesores de la universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”

**Estos profesores forman parte del colectivo de Seguridad y Salud del Trabajo de la Universidad de Matanzas. Han laborado durante más de 25 años de experiencia en los temas relacionados con la protección e Higiene del trabajo, aplicando un conjunto de metodologías para la evaluación y control del ruido en el ámbito empresarial.**

En este trabajo se hace referencia a un conjunto de metodologías, medidas y procedimientos para poder controlar a uno de los agentes más agresores del medio ambiente: el ruido.

## Desarrollo

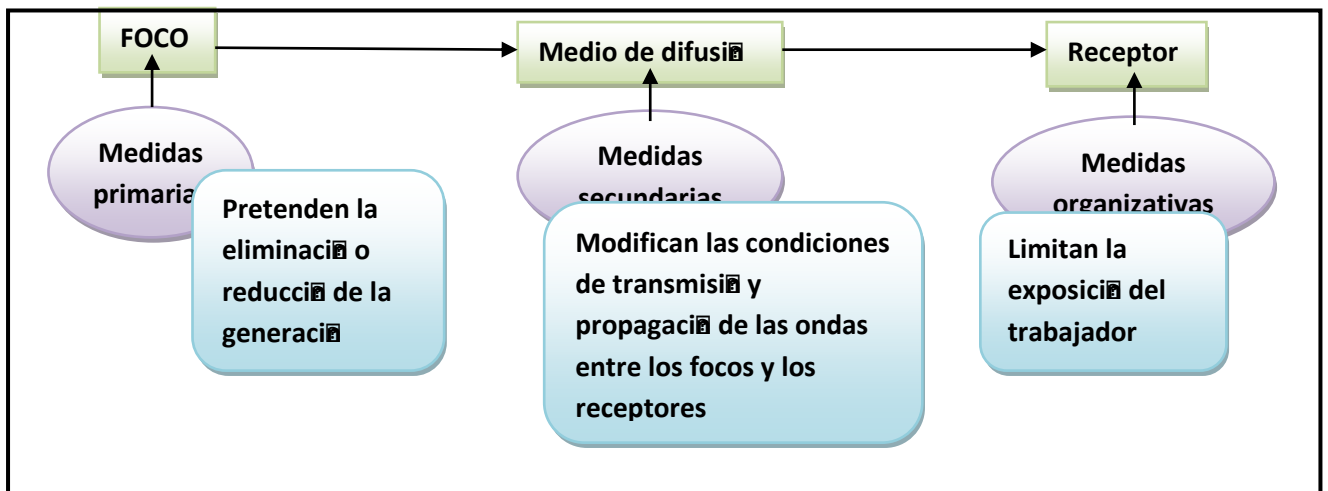
### 1. Medidas de control del ruido

En este epígrafe serán tratadas algunas de las posibles medidas, que han de tenerse en cuenta para lograr en la industria los niveles de presión sonora aceptable. En cualquiera de los casos que sea utilizado, se debe tener en cuenta los puntos que siguen:

1. El control de ruido es un problema de todos (Hombre, máquina y medio).
2. Su objetivo es lograr tener un nivel de ruido aceptable a un costo aceptable.
3. El éxito del control, se mide con la reducción de ruido conseguido.
4. El control puede efectuarse en cualquier punto del conjunto.
5. El control representa un compromiso entre éxito y costo.

Autores como (MAGGIOLO 2004) y (ABÁSULO 2000), se han dado a la tarea de definir cuales son las acciones a llevar adelante, para obtener un buen control del ruido que afecta a los trabajadores.

Las mismas pueden englobarse dentro de tres tipos que son: Acciones sobre el foco de ruido, sobre el medio y sobre el trabajador. La figura 1 presenta la representación esquemática de estas medidas. Cada una de ellas será analizada a continuación.



**Figura 1.** Medidas de control del ruido. **Fuente:** elaboración propia

#### Acciones sobre el foco de ruido

Son las más adecuadas; siempre que sean factibles, ya que el objetivo de ellas es eliminar el ruido en su origen, para eso es necesario realizar acciones que van dirigidas a:

- Modificar los procesos productivos.
- Sustituir los equipos y herramientas neumáticas por herramientas eléctricas.
- Eliminar el rozamiento en maquinarias de movimiento, en acabado de superficies y en engrase.
- Lograr el equilibrado de máquinas y alineamiento.

- Colocar silenciadores en los escapes de aire y/o turbulencias en los movimientos de fluidos.
- Evitar la transmisión de vibraciones entre componentes colocando uniones elásticas.
- Incorporar materiales amortiguadores entre superficies que chocan e insertar antivibratorios.
- Darle un buen mantenimiento a los equipos de trabajo.

### **Acciones sobre el medio de difusión**

Las acciones sobre el medio en el cual el ruido se expande (recinto), consisten en frenar el paso de la energía sonora desde la fuente de generación hasta el oído del trabajador. Las mismas, sólo deben ser utilizadas cuando fallan las mencionadas anteriormente, para el logro de su objetivo están encaminadas acciones como:

- Encapsulamiento o encerramiento del equipo ruidos, (diseño de cápsulas).
- Cuando la cápsula no resulta factible, recurrir al aislamiento del foco y el trabajador, acondicionando a este último en una cabina.
- Acondicionamiento acústico del local.

### **Acciones sobre el receptor**

Las acciones que se llevan a cabo para la prevención de riesgos con relación al trabajador, sólo han de utilizarse cuando todos los métodos citados y analizados anteriormente, han resultado ineficaces o inviables, ya sea por las características del trabajo, por el costo del control o por cualquier otra circunstancia. Las principales acciones enmarcan:

1. La vigilancia de la salud del trabajador siempre que exista un riesgo para el mismo, mediante:
  - Realización de pruebas de audiometrías.
  - Ensayos con sonidos de frecuencias determinadas.
2. Es obligatorio por parte de los encargados de seguridad de la empresa informarle y/o formar al obrero sobre el riesgo a que expone su salud si no cumple con lo que se le facilita para su protección:
  - Utilización de los medios de protección individual: tapones, orejeras, cascos, etc.

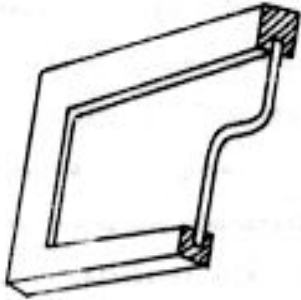
## ***2. Control de ruido: Desarrollo de las metodologías***

No sólo es de vital importancia realizar una correcta evaluación del ruido, sino que es necesario conocer cuáles son los métodos o procedimientos para su eliminación, ya sea completamente, o al menos lograr reducirlo hasta el valor máximo posible. Es por ello que en este epígrafe se explicará en qué consiste cada uno de los métodos, en los casos donde sea difícil su comprensión, se desarrollará el procedimiento con un ejemplo práctico, para lograr un mayor entendimiento. Entre los principales métodos se encuentran:

## 1. Utilización de materiales elásticos

Los materiales elásticos tienen la propiedad de afectarse sensiblemente a las ligeras presiones que provoca una onda sonora.

- **Panel elástico:** Están constituidos por una chapa de madera y un soporte. Cada panel tiene su frecuencia propia y esta es de gran importancia para la atenuación del sonido, pues cuando su frecuencia coincide con la del panel, aparece la resonancia y la energía sonora se convertirá en oscilaciones en grado máximo. Por tanto la absorción de un panel elástico es máxima para su frecuencia propia. (Figura 2.).



**Figura 2.** Panel elástico.

La frecuencia propia se calcula por:

$$f(\text{Hz}) = \frac{600}{\sqrt{P_e}}$$

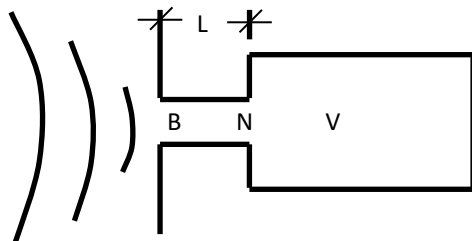
**Donde:**

**P:** Peso del panel ( $\text{Kg/m}^2$ )

**e:** Espacio que media entre la pared y el panel (cm).

La absorción de los paneles mejora si en la cámara de aire que queda entre este y la pared que actúa como un medio elástico es colocado un material con un alto coeficiente de absorción, siendo su uso más ventajoso para las bajas frecuencias.

- **Resonador:** El resonador acústico consiste en una cavidad que comunica al exterior por un conducto o cuello en cuya boca B, inciden ondas sonoras. Tiene una forma similar a la de una botella. (Figura 3).



### Figura 3. Resonador.

Cuando por B penetra una onda y avanzando por el cuello llega a N, en la cavidad V se produce un sonido procedente de N. Pero en esta cavidad se originará una reverberación y por tanto, existirá una energía que se propagará por N hacia el exterior de forma pulsante y según la frecuencia propia del conjunto, que viaja en dirección contraria al sonido incidente.

Cuando esta emisión secundaria recibe una nueva onda que incide en B, se contrarrestarán sus acciones y el resonador actuará como un absorbente, siendo máxima cuando la frecuencia del sonido incidente coincida con la frecuencia propia del resonador produciéndose la resonancia en oposición o anulación.

La frecuencia propia de un resonador viene dada por:

$$F = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{LV}} \text{ (Hz)}$$

#### Donde:

**v**: velocidad del sonido (cm/seg).

**S**: sección del cuello (cm).

**L**: Longitud del cuello (cm).

**V**: Volumen de la cavidad (cm<sup>3</sup>).

Se denomina conductividad (c) al coeficiente de la sección del cuello entre su longitud.

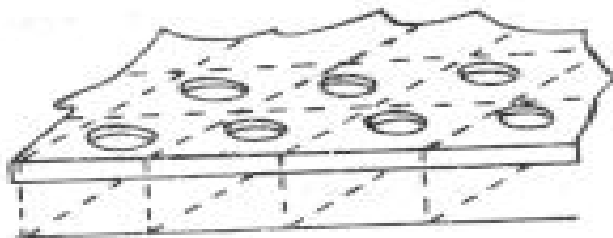
$$C = \frac{S}{L}$$

Por lo que sustituyendo valores queda:

$$F = 5400 \sqrt{\frac{C}{V}}$$

El término conductividad C tomará valores diferentes dependiendo de las características particulares del cuello: si es circular, cuadrado, rectangular, etc.

Prácticamente los resonadores se logran perforando una placa de yeso o aluminio y suspendiendo a una distancia del techo e interponiéndole una capa de fibra mineral. Cada orificio actuará como un resonador individual, siendo máxima su absorción para las altas frecuencias. (Figura 4).



**Figura 4.** Conjunto de resonadores logrados a partir de la perforación de una placa.

## 2. Tratamiento Acústico

Es una de las técnicas más utilizadas para reducir los altos niveles de presión sonora cuando existe un campo reverberante, es la utilización de materiales absorbentes. La misma consiste en revestir las paredes y/o superficies con esos materiales de forma que cuando el sonido incida sobre ellas sea reducida su reflexión.

Este método resulta de interés en los puestos de trabajos en los cuales el problema es falta de inteligibilidad, por ejemplo en el sector de servicio y de la enseñanza.

Los pasos a seguir para la aplicación de esta metodología se despliegan a continuación:

### Paso 1. Evaluación del ruido existente en el local

Para cumplir con este primer paso se parte de definir el tipo de ruido al que el expone el trabajador. Si este es ruido constante, se utiliza la tabla 1. “Evaluación del ruido por el criterio N”. Si el ruido es no constante, se utilizan las expresiones del nivel sonoro equivalente continuo expuestas en el capítulo I de esta tesis.

### Paso 2. Buscar el NPS máximo permisible en el local según la actividad laboral correspondiente.

Para encontrar el NPS máximo admisible, se busca en la Tabla 1. “Niveles máximos admisibles de ruido”, el valor que corresponde a la actividad que se esté analizando.

El valor máximo permisible para el caso que la actividad no quede descrita en esta tabla, se toma la actividad I, referente a todos los puestos y locales. En esta tabla, se presentan los valores de niveles máximo admitidos bien sea para ruidos constante, como para ruidos no constantes.

**Tabla 1.** Niveles máximos admisibles de ruido.

Tipo de actividad laboral	Criterio N evaluación (dB)	Nivel sonoro equivalente continuo (dB)
Todos los puestos y locales.	80	85
Ejecución de operaciones manuales con comunicación acústica, tales como la dirección de máquinas e instalaciones móviles.	75	80
Ejecución de operaciones manuales sin operaciones intermedias, tales como, el equipamiento y el servicio de las máquinas, la mecánica de precisión y la óptica, sin medios ópticos auxiliares (lupa, microscopio).	70	75
Selección de tareas cotidianas relativas a la actividad intelectual con requisitos constantes de comunicación con un público variable;	65	70

ejecución de procesos motores, donde existen operaciones intermedias, tales como: labores administrativas, atención a los clientes y servicios de consulta, perforación y verificación en los centros de cálculos, labores de microscopia con medios ópticos auxiliares (lupa, microscopio).		
Solución de tareas complejas cumpliendo requisitos relativos a la actividad laboral intelectual y relativos a la recepción y el procesamiento de la información acústica, tales como la observación de pizarra de distribución del servicio telefónicos y la telegrafía; el servicio de despacho, <b>operación de computadoras</b> ; búsqueda de defectos en equipos electrónicos, dibujo técnico, tareas de diseño.	60	65
Selección de tareas complejas cumpliendo requisitos relativos a actividades intelectuales, tales como la actividad de traducción, programación, trabajo en laboratorios docentes e investigativos.	55	60
Trabajo creador, cumplimentando requisitos relativos a la redacción y el procesamiento de la información acústica, tales como: impartir clases, actividades médicas, científicas, de diseño, elaboración de lenguajes programados	45	50
Local para personas en los vagones de recorrido largo	60	65
Vagón para pasajeros interprovinciales y restaurantes	70	75

**Paso 3.** Cálculo del nivel de reducción que deberá lograrse para eliminar los efectos del ruido.

$$N_R = NPS_E - NPS_R$$

**Donde:**

**N<sub>R</sub>:** Nivel de Reducción, (dB)

**NPS<sub>E</sub>:** Nivel de presión sonora existente (dB), es el que existe en el puesto de trabajo para la frecuencia analizada.

**NPS<sub>R</sub>:** Nivel de presión sonora recomendado (dB), se busca en la 1.1 con la frecuencia de interés y el NPS permitido en el local.

**Paso 4.** Cálculo de A<sub>1</sub> (Absorción del ruido del local antes del tratamiento).

$$A_1 = \sum_{i=1}^n S_T \alpha_{AT}$$

**Donde:**

**A<sub>1</sub>:** Absorción del ruido del local antes del tratamiento, (sabinos métricos).

**S<sub>T</sub>:** Superficie que se va a tratar (m<sup>2</sup>).

**α<sub>AT</sub>:** Coeficiente de absorción antes del tratamiento (sabinos).

Debe tenerse en cuenta para el cálculo de A<sub>1</sub> a todas las superficies que se describen y que están presentes en el local.

**Paso 5.** Cálculo de A<sub>2</sub> (Absorción del ruido del local después del tratamiento, sabinos métricos).

$$N_R = 10 \text{Log} \frac{A_2}{A_1}$$

**Paso 6.** Cálculo del coeficiente de absorción (α<sub>T</sub>) que es necesario que tenga el material con que se va a tratar la superficie.

En este caso se le realizará el tratamiento al techo del local.

$$A_2 = S_T * \alpha_T + A_1 - A_{AT}$$

**Donde:**

**A<sub>AT</sub>:** Absorción que tiene la superficie a tratar antes del tratamiento (sab. métricos).

Despejando en la expresión anterior, se tiene que:

$$\alpha_T = \frac{A_2 - A_1 + A_{AT}}{S_T}$$

Con ese valor se entra a la tabla 1.2, de los coeficientes de absorción, y se busca cuáles de ellos se puede utilizar para recubrir la superficie del tratamiento.

Un elemento a considerar para la selección del material son los costos, y la disponibilidad en el almacén de estos.

**Paso 7.** Determinar el área máxima que se va a revestir con el material seleccionado.

$$A_R = \frac{A_2 - A_1}{\alpha_R} \quad \alpha_R = \alpha_T - \alpha_{AT}$$

**Donde:**

**A<sub>R</sub>:** Área máxima a revestir en el local (m<sup>2</sup>).

**α<sub>R</sub>:** Coeficiente de absorción resultante del tratamiento (Sabino).

Por lo tanto, se puede decir, los m<sup>2</sup> necesarios a revestir, con el material seleccionado para solucionar el problema del ruido en el local.

### 3. Uso de Capsulas

Cuando el ruido no puede ser controlado en su origen en ocasiones resulta conveniente aislarlo o confinarlo en recintos cerrados para evitar la propagación de su energía a otras áreas, donde laboran los obreros. Dentro de este recinto cerrado, cuyas dimensiones dependerán de las características del ruido, existirá un



altísimo NPS, por lo que se tratará de evitar, por todos los medios la entrada de personas.

Si tal situación fuera imprescindible como en los ventiladores de tiro forzado de las termoeléctricas, se deberán extremar las medidas de protección individual y controlar los tiempos de exposición.

La metodología de cálculo se presenta a continuación.

**Paso 1.** Evaluación del ruido existente en el local

Se realiza de manera similar al paso 1 de la metodología de tratamiento acústico.

**Paso 2:** Determinar el nivel de reducción que deberá lograr la cápsula diseñada.

$$\Delta L_{CR} = NPS_E - NPS_R$$

**Donde:**

$\Delta L_{cr}$ : Atenuación que deberá lograr la cápsula, (dB)

**NPS<sub>E</sub>**: Nivel de presión sonora existente, (dB)

**NPS<sub>R</sub>**: Nivel de presión sonora recomendado, (dB).

$$\Delta L_{CR} = NPS_E - NPS_R$$

**Paso 3.** Determinación de la distancia mínima (D) entre el equipo y la superficie interior de la cápsula.

$$D = \frac{\lambda}{4} \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

**Donde:**

**D:** Distancia de los bordes o superficies externas del objeto o equipo ruidoso a la superficie interna de la cápsula proyectada, (m).

**c:** Velocidad del sonido (343 m/s).

**$\lambda$ :** Longitud de onda del sonido, (m).

**f:** Mínima frecuencia que excede al límite permitido, (Hz).

**m:** masa del material con que se va a fabricar la cápsula, (Kg/m<sup>3</sup>).

Para conocer si es posible utilizar el material con que se dispone, debe cumplirse la condición que se muestra a continuación:

$$D > \frac{10^7}{m(f_1)^2}$$

Por lo tanto, de cumplirse esta relación, es posible utilizar el material (plancha de acero), para la fabricación de la cápsula.

**Paso 4.** Determinar el tamaño de la cápsula.

$$L_C = 2D + L_E \quad A_C = 2D + A_E \quad H_C = D + H_E$$

**Donde:**

**L<sub>c</sub>, A<sub>c</sub>, H<sub>c</sub>:** Largo, Ancho y Altura de la cápsula, (m).

**L<sub>E</sub>, A<sub>E</sub>, H<sub>E</sub>:** Largo, Ancho y Altura del equipo, (m).

**Paso 5.** Determinar las superficies de la cápsula.

$$S_c = 2(L_c \cdot H_c) + 2(A_c \cdot H_c) + (L_c \cdot A_c)$$

**Nota:** Si el ancho del material que se va a utilizar para el diseño de la cápsula es menor de 10 mm, no hay que considerar la superficie interior de la cápsula, por lo que se asume que la superficie interior y exterior es la misma. En caso contrario hay que calcularla, de la misma forma que la anterior pero con las dimensiones que le corresponde.

**Paso 6:** Cálculo de la atenuación que logrará la cápsula. ( $\Delta L_{c0}$ ).

$$\Delta L_{c0} = R_{RES} - 10 \text{Log}(S_c/A_c) \quad A_c = \alpha \cdot S_c$$

**Donde:**

$\Delta L_{c0}$ : Atenuación que logrará la cápsula, (dB).

**R<sub>RES</sub>:** Coeficiente de aislamiento resultante, Tabla 2.2.

**S<sub>c</sub>:** Superficie exterior de la cápsula, (m<sup>2</sup>).

**A<sub>c</sub>:** Absorción equivalente de la cápsula, (m<sup>2</sup>).

Por tanto, si hasta este momento la cápsula atenúa más de lo que debe (Nr), se puede decir que es eficiente.

**Tabla 2.** Coeficientes de aislamiento.

Superficies	125	250	500	1000	2000	4000
Muro de 10 cm de bloque de hormigón	31	39	43	47	54	50
Muro de piedra de 30 cm	47	51	57	61	67	70
Pared de ladrillo macizo revocado por ambas partes	40	47	37	49	59	59
Yeso de 1.2 cm de espesor sobre listones de madera	27	36	41	50	55	60
Plomo de 3.2 mm	-	31	27	38	44	33
Plancha de yeso de 1 cm.	-	13	27	35	44	42
Yeso de 2 cm de espesor con tela metálica embebida	20	41	44	52	56	58
Plancha de acero CT – 3, de 3.5 mm de espesor.	35	37	39	40	42	46

**Paso 7.** Análisis de la influencia del orificio.

$$\Delta L_T = 10 \text{Log} \left( \frac{1}{10^{-\Delta L_{co}/10}} \right) + 10^{\Delta L_0/10} \quad \Delta L_0 = 10 \text{Log} (A_c + S_0) / S_0 \quad S_0 = L \cdot A$$

**Donde:**

$\Delta L_T$ : Atenuación que logra la cápsula, teniendo en cuenta la influencia del orificio, (dB).

$\Delta L_0$ : Cantidad de decibeles que se pierden por estar el orificio, (dB).

$S_0$ : Superficie del orificio, (m<sup>2</sup>).

En este momento se realiza una última comparación, para saber si los niveles que atenúa la cápsula son mayores que los necesarios.

Si esta condición no hubiera sido cumplida, se podría buscar un material con un aislamiento sonoro mayor, o se pudiera revestir la cápsula con un material absorbente.

#### 4. Uso de Cabinas

En ocasiones, el ruido proviene de diversas fuentes, dispersas por toda el área, por lo que lograr que el obrero no lo reciba se vuelve complejo.

Una posible solución para este caso, es aislar al obrero del entorno, es decir, confinarlo en una cabina que impida o limite que las ondas penetren al interior.

Desde el punto de vista práctico esta técnica, para aplicarla requiere de determinadas características del puesto de trabajo, como son: no requieran de desplazamiento (o muy limitado), procurar beneficiar el intercambio térmico, puesto que la **cabina** incrementa el calor, uso de cristales para dejar pasar la visión. En los operadores de tandem de los centrales azucareros ha sido utilizado.

**Paso 1.** Realizar un análisis por frecuencia del ruido determinando la mínima frecuencia que excede el valor máximo admitido.

**Paso 2.** Seleccionar las dimensiones de la cabina, sus características y materiales.

**Paso 3.** Calcular el coeficiente de aislamiento resultante ( $R_{res}$ ).

$$R_{res} = 10 \text{Log} \left[ 1 + (S_2/S_1) 10^{(R_1 - R_2)/10} - 1 \right]$$

**Donde:**

$S_1$ : Superficie interna de la cabina, (m<sup>2</sup>).

$S_2$ : Superficie externa de la cabina, (m<sup>2</sup>).

$R_1$ : Pérdidas de transmisión interior, (Kg/m<sup>2</sup>).

$R_2$ : Pérdidas de transmisión exterior, (Kg/m<sup>2</sup>).

**Paso 4.** Determinar el área equivalente de absorción en función de la frecuencia.

$$A = \sum_{i=1}^n (\alpha \cdot S_i)$$

**Donde:**

$A$ : Área equivalente de absorción, (m<sup>2</sup>).

$\alpha$ : Coeficiente de absorción interna, (sab/m<sup>2</sup>).

**S<sub>i</sub>**: Superficie interna de la cabina, (m<sup>2</sup>)

**Paso 5.** Atenuación que logrará la cabina ( $\Delta L_f$ ), (dB).

$$\Delta L_f = R_{res} - 10 \log(S_i/A)$$

**Paso 6.** Cálculo del NPS dentro de la cabina.

$$L_c = L - \Delta L_f$$

**Donde:**

**L<sub>c</sub>**: NPS en el interior de la cabina, (dB).

**L**: NPS en el exterior de la cabina, (dB).

$\Delta L_f$ : Atenuación lograda, (dB).

## 5. Uso de silenciadores (mofles o silenciosos).

Estos son útiles para ubicarlos a la salida de equipos que emitan gases o vapores, como motores de combustión interna, calderas, etc.

Su principio es colocar un dispositivo en la salida o escape que disminuya su energía bruscamente, reduciendo así el NPS. Su uso más generalizado es en los automóviles.

Existen diferentes tipos de silenciadores, que se diferencian por el uso que tienen, los mismos son descritos a continuación, los mismos pueden encontrarse en: (*Calidad Total en Silenciadores*).

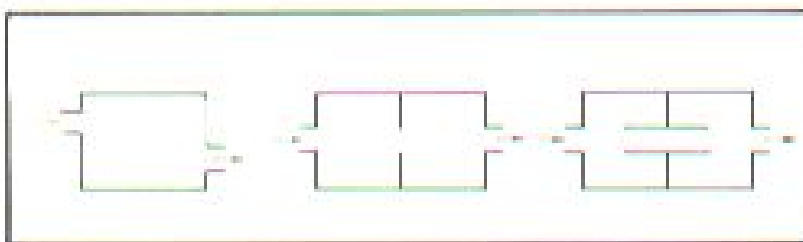
### Tipos de silenciadores

1. **Silenciador Reactivo:** Su forma más simple es la cámara de expansión que se inserta en el conducto que lleva el flujo de gas. Cada cambio de sección produce una variación de la impedancia que provoca una reflexión de la onda acústica. La combinación o las interferencias entre las ondas incidentes y las reflejadas se traducen en una disminución del nivel sonoro. (figura 5).

Los factores que intervienen en el nivel de atenuación son:

- El vacío de la sección de la cámara respecto a la sección de la entrada.
- La longitud.
- La velocidad del sonido.
- Las frecuencias.

Estos tipos de silenciadores son eficaces para reducir frecuencias discretas del espectro en bajas o medianas frecuencias.



**Figura 5.** Silenciador Reactivo.

2. **Silenciadores de absorción:** Se utilizan básicamente para la atenuación de ruidos de altas frecuencias, entre los 500 y 8000 Hz, permitiendo atenuaciones de 20 a 45 dB, dan una eficacia en una banda de frecuencia más amplia que la de los silenciadores reactivos.

Su construcción se hace a partir de un producto absorbente: lana de roca, de vidrio, espuma, etc, protegido por una chapa perforada. (Figura 6).

Los parámetros que permiten lograr las características acústicas de este silenciador son:

- El diámetro de los agujeros de la chapa perforada.
- La densidad de huecos o la proporción del área abierta de la perforación.
- La naturaleza del producto absorbente, su densidad y espesor.
- Longitud y diámetro del paso del flujo de gas.

#### **Aplicación de los silenciadores de absorción**

- Entrada de soplantes de tamaño mediano.
- Entrada o descarga de soplantes centrífugos.
- Descarga de bomba de vacío seco de tamaño intermedio.
- Entrada de turbinas de gas.
- Entrada de compresores de husillo de alta velocidad.
- Cualquier fuente de ruido de alta frecuencia.
- Entrada y salida de ventiladores industriales.



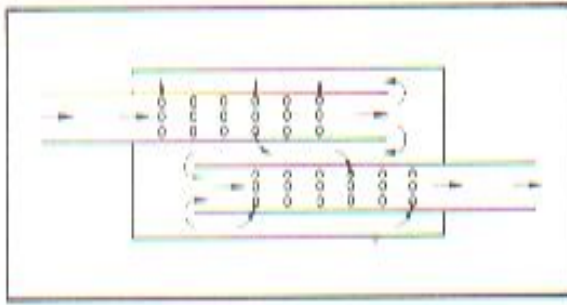
**Figura 6.** Silenciador de absorción.

3. **Silenciadores de descarga a la atmósfera:** Se diseñan individualmente para reducir el ruido excesivo producido por la descarga a la atmósfera de gas y vapor.

La atenuación de ruido se consigue por medio de difusores y de productos absorbentes. Los difusores modifican el espectro de ruido transformando las bajas frecuencias en frecuencias más altas que serán más eficientemente atenuadas por los productos absorbentes. (Figura 7).

La longitud y el diámetro de los tubos insertados en los productos absorbentes se seleccionan para conseguir una mayor atenuación de ruido en las bandas donde más se necesiten.

Los productos absorbentes se eligen en función de las características del gas que atraviesa el silenciador (composición química, velocidad, temperatura).



**Figura 7.** Silenciador de descarga a la atmósfera.

4. **Silenciadores de Escape:** Se utilizan para los escapes de ruido en los motores Diesel.

La selección del tipo de silenciador tiene en cuenta la curva de atenuación que se debe alcanzar y la contrapresión que no se debe sobrepasar.

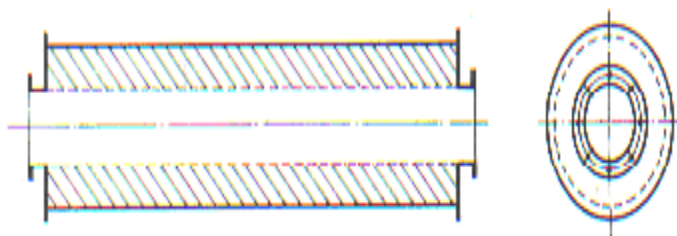
Las dimensiones del silenciador vienen definidas por la potencia del motor, por el caudal de gases de salida, la temperatura y el espacio disponible.

5. **Silenciadores para turbinas de gas:** El espectro de ruido se parece al de una tubería de vapor: los dos puntos de más alto nivel son el canal de aspiración y la salida de la chimenea de evacuación de los gases. Tal espectro se presenta rico en altas frecuencias, y requiere, por eso, un silenciador de absorción que se colocará detrás de los filtros de entrada de la turbina. (Figura 8).

Las precauciones que se deben tener en cuenta en el diseño son:

- La pérdida de carga.
- Protección de productos absorbentes frente a la alta velocidad de los gases.

Si en la salida de la turbina, se calcula un nivel de ruido de bajas frecuencias, demasiado elevado se deberá también colocar un silenciador de absorción de mayor espesor, de capa absorbente y estudiar en profundidad los riesgos de corrosión debidos al punto de rocío del ácido sulfuroso o sulfúrico.



**Figura 8.** Silenciador para turbinas de gas

6. **Silenciadores para ventiladores:** Pueden ser colocado a la entrada o salida de un ventilador. Para ello pueden usarse sistemas de absorción de ruido (por fibras absorbentes o espuma).

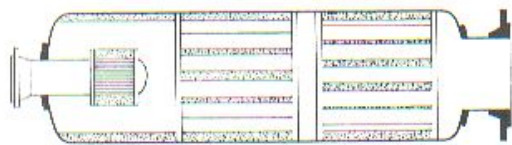
Se debe tener en cuenta la pérdida de carga del silenciador que afecta al rendimiento del ventilador, es decir, su caudal, además del nivel de ruido del

ventilador en sus precedentes condiciones de operación, así como el ruido regenerado por el silenciador debido al caudal de aire que lo atraviesa, para prever el ruido resultante en la salida del silenciador.

7. **Silenciadores en línea:** Las válvulas de despresurización son fuentes de ruido que pueden ser de tres tipos:

- Las vibraciones mecánicas de los diferentes componentes de la válvula.
- La cavitación del fluido.
- El ruido del fluido.

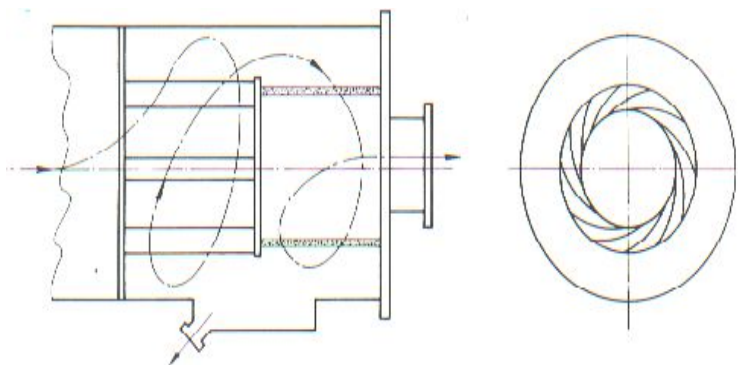
Cuando el nivel de ruido de la válvula supera al nivel admisible y no hay posibilidad de modificar la válvula, su abertura o las condiciones dinámicas de flujo, una solución consistente es insertar un silenciador en el circuito de la tubería o debajo de la válvula. (Figura 2.9).



**Figura 9.** Silenciadores en línea.

8. **Apagachispas:** En casos particulares los silenciadores deben ir equipados con un dispositivo llamado apagachispas, su papel es evitar la salida al aire libre de partículas incandescentes. (Figura 10).

Los dispositivos pueden ser más o menos sofisticados, consisten en dar a los gases un movimiento rotativo para eliminar las partículas pesadas por efecto centrífugo y recogerlas en un depósito adecuado.

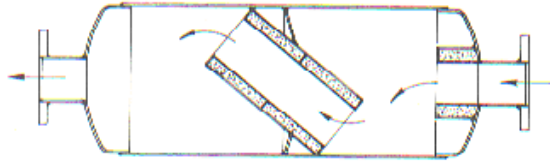


**Figura 10.** Apagachispas.

9. **Silenciadores para compresores alternativos:** El ruido de los compresores puede alcanzar altos niveles peligrosos.

El ruido predominante procede de un compresor que viene de las grandes variaciones de presión o pulsaciones, cuando el gas entra en el compresor. Así el ruido se trasmite por vía aérea, directamente desde la boca de aspiración del compresor. (Figura 11).

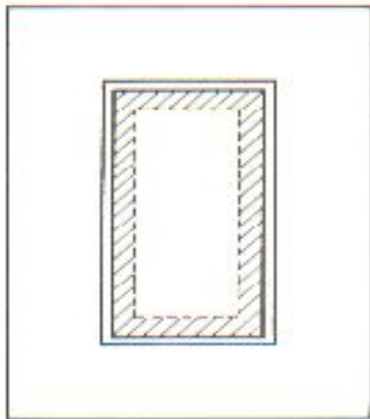
El problema básico de los compresores se sitúa en las bajas frecuencias (menos de 250 Hz).



**Figura 11.** Silenciadores para compresores alternativos.

10. **Silenciadores de elementos paralelos:** Se utilizan principalmente en ventilación y climatización. Consisten en una estructura metálica de chapa lisa, conteniendo en su interior una serie de paneles absorbentes paralelos. (Figura 12).

La atenuación acústica, que puede ser de 15 a 40 dB, depende de las frecuencias del ruido, del espesor de los paneles, de la longitud del silenciador y de la naturaleza del producto absorbente.



**Figura 12.** Silenciadores de elementos paralelos.

11. **Silenciadores para Escape de Gases de Combustión:** Son silenciadores de gran porte y fabricados con materiales de alta densidad para controlar en forma definitiva los ruidos producidos por el escape de gases de motores de combustión y otras diversas aplicaciones. Soportan altas temperaturas a intemperie.
12. **Silenciadores Filtros de Aire para Admisión:** Diseñados para reducir los niveles de ruido de las venas de aire de aspiración de compresores y motores en general, proporcionando un sistema con elemento filtrante de alto rendimiento.

Las carcasas se fabrican en chapas de hierro de diferente espesor, tratadas con anti - óxido y pintura a la laca acrílica. El caño de admisión se provee roscado, de acuerdo a los modelos más adecuados para su necesidad de trabajo y presión. Para una mayor protección en la interperie o ambientes polvorientos, una tapa cubre el elemento filtrante, el mismo es de manto de tela de poliéster al 100%, no tejida, absolutamente uniforme en cuanto a densidad y espesor.

13. **Silenciadores Combinados para Ductos de Ventilación & Descarga de Ventiladores:** Su diseño y construcción con materiales de alta densidad y calidad aseguran inmejorablemente su rendimiento y vida útil prolongada aún a la interperie y en ambientes de alta salinidad.



## **Pasos de la metodología de diseño de silenciadores**

**Paso 1.** Evaluación del ruido.

Se realiza de manera similar, al resto de las metodologías

**Paso 2.** Determinar la velocidad del sonido.

$$c = 20.05\sqrt{t}$$

**Donde:**

**c:** Velocidad del sonido, (m/s).

**t:** Temperatura del fluido, (K).

**Paso 3.** Determinar la longitud de onda del sonido ( $\lambda$ ).

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

**Donde:**

**f:** Mínima frecuencia de interés, (Hz).

**Paso 4.** Determinar el número de onda.

$$K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

**Donde:**

**k:** Cantidad de compresiones y depresiones de la onda.

**Paso 5.** Determinar la longitud del silenciador (L).

$$L = \frac{\pi}{2K}$$

**Paso 6.** Determinar la sección del silenciador ( $S_2$ ), ( $m^2$ ).

$$S_2 = m \cdot S_1$$

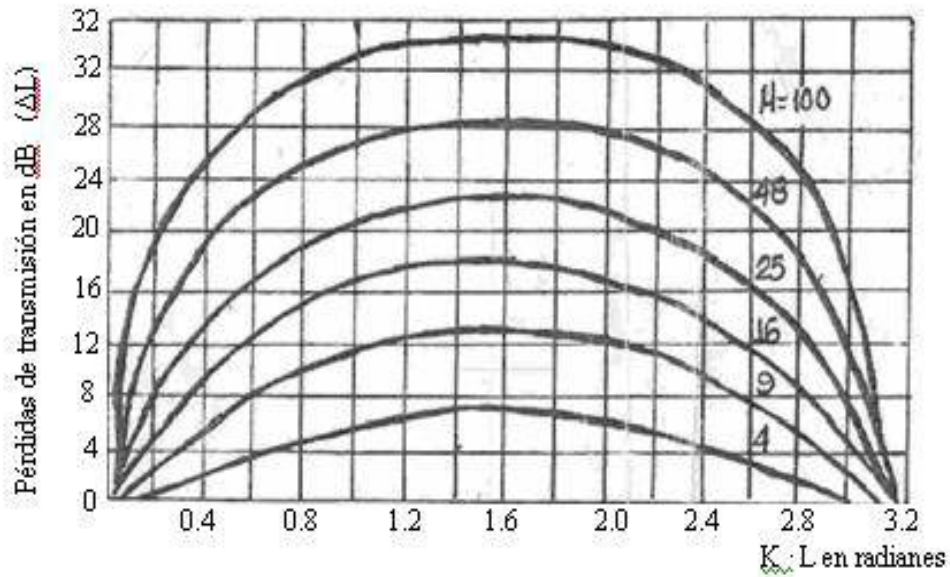
**Donde:**

**S<sub>1</sub>:** Sección del tubo por donde escapa el fluido, ( $m^2$ ).

**m:** Constante que se obtiene de la Figura 13, con las variables:

- $\Delta L_s$ : Diferencia entre el NPS real y el NPS normado para la mínima frecuencia de interés.
- $k \cdot L$ : número de onda (k) multiplicado por la longitud (L).

**r:** radio del silenciador (m).



**Figura 13.** Gráfico para el cálculo de  $m$ .

**Paso 7.** Determinar el diámetro del silenciador  $D$  (m).

Para determinar el diámetro del silenciador es necesario conocer el radio, así como las secciones que forman al mismo.

$$D = 2r \quad r = \sqrt{S_2 / \pi^2} \quad S_2 = m \cdot S_1 \quad S_1 = \pi(r)^2$$

**Donde:**

$r$ : Radio del silenciador, (m).