



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL ADOLFO LÓPEZ MATEOS.

“CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME”

PROYECTO DE TITULACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA.

CON ESPECIALIDAD EN ACÚSTICA

P R E S E N T A:

**ALCANTARA MONTOYA LESLIE RUBI
ENCARNACIÓN JIMÉNEZ TANIA ANGÉLICA
MARTINEZ PIMENTEL NDIANDI RODOLFO**

ASESORES:

DR. GARCÍA BERISTAÍN SERGIO
DR. LIZANA PAULIN PABLO ROBERTO

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN
DEBERA(N) DESARROLLAR

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
C. LESLIE RUBI ALCANTARA MONTOYA
C. TANIA ANGELICA ENCARNACION JIMENEZ
C. NDIANDI RODOLFO MARTINEZ PIMENTEL

"CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PYME"

DISEÑAR LA SOLUCIÓN PARA EL PROBLEMA DE RUIDO EN EL ÁREA DE ESPUMADO EN LA FÁBRICA
R.U.V.A. ESPUMA.

- CAPITULO I FUNDAMENTOS TEÓRICOS.
- CAPITULO II PLANTEAMIENTO EL PROBLEMA.
- CAPITULO III SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.
- CAPITULO IV ESTUDIO ECONÓMICO.

MÉXICO D.F. A 18 DE OCTUBRE DE 2012.

ASESORES


DR. GARCÍA BERISTAIN SERGIO


DR. LIZANA PAULIN PABLO ROBERTO


M. EN C. DAVID VAZQUEZ ALVAREZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA



AGRADECIMIENTOS

A mis padres, que gracias a su ejemplo de trabajo y dedicación me alimentaron el espíritu de superación, llevado de la mano con valores y dignidad, además de brindarme todo su cariño y toda su confianza para salir adelante.

A mi gran familia, que sin duda ha sido mi pilar fundamental; a cada uno de ellos, que dedicaron gran parte de su tiempo para cuidarme, educarme, brindarme consejos y darme la fuerza necesaria para salir adelante; a ellos, con quienes he formado mi carácter y siempre han creído en mí.

A mis profesores, Doctor Sergio Beristain y Doctor Pablo Lizana Paulin, quienes me han otorgado su conocimiento en pro de mi crecimiento académico; gracias a su apoyo y dedicación, pues han sido un impulso para la culminación de mi formación profesional. De igual manera, a todos aquellos profesores que han dejado huella en mi vida estudiantil.

A mis amigos, por todas las alegrías compartidas, el apoyo en aquellos momentos difíciles y la ayuda mutua en nuestra formación. Sin ellos, mi etapa estudiantil no hubiera sido la misma.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi abuelo Jesús Montoya García (q. e. p. d.), quien ha sido el mayor ejemplo de toda una vida digna, llena de principios y valores; quien recorrió conmigo todo este camino; quien me alentó para corregir mis errores y me congratuló cada uno mis éxitos. Porque gracias a su firmeza, su entrega, su valor, sus consejos, su enseñarme a no rendirme, pero, sobre todo, su amor, he concluido mi carrera profesional.

Leslie Rubi Alcántara Montoya

Agradecimientos

A mis padres

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles, pero más que nada, por su amor, por todo esto les estaré eternamente agradecida.

A mi familia

Porque nunca dejaron de creer en mí, les agradezco su gran apoyo y motivación que me dieron en todo momento, siempre me dieron mucha fuerza para superar cualquier obstáculo, por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida, gracias por todo familia.

A mis maestros

Doctor Sergio García Beristain por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis; al Doctor Pablo Lizana Paulin por su apoyo ofrecido en este trabajo por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

A mis amigos

Por su sincera amistad y apoyo que me brindaron para culminar mis estudios, sin ustedes mi estancia en la universidad no hubiese sido la misma, gracias por todo amigos.

“Cuando quieres algo, todo el universo conspira para que realices tu deseo.”

ÍNDICE

Objetivo General.....	4
Objetivos Particulares.....	4
Justificación.....	4

CAPÍTULO I FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Sonido.....	6
1.2 Ruido.....	6
1.3 Transmisión del ruido.....	6
1.4 Nivel de ruido.....	7
1.5 Frecuencia.....	7
1.6 Espectro frecuencial.....	7
1.7 Velocidad de propagación del sonido (c).....	7
1.8 Longitud de onda.....	7
1.9 Propiedades de las ondas sonoras.....	8
1.10 Nivel de presión sonora.....	8
1.11 Sonómetro.....	9
1.12 Acústica fisiológica.....	10
1.13 Umbrales auditivos.....	11
1.14 Efectos adversos del ruido sobre la salud.....	12
1.15 Historia del ruido.....	13
1.16 Control de ruido.....	14
1.17 Noise Criterion (NC).....	14
1.18 Algunas soluciones para el problema de ruido.....	16
1.18.1 Barreras.....	16
1.18.2 Encapsulado acústico.....	17
1.18.3 Protectores auditivos.....	18
1.18.4 Tipos de protectores auditivos.....	18

CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción del área de espumado.....	21
2.2 Ubicación de las fuentes de ruido.....	23
2.3 Encuestas a los trabajadores.....	26
2.4 Mediciones realizadas en el área de espumado.....	28

CAPÍTULO III SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Barrera Acústica.....	33
3.2 Silenciadores para los ventiladores de la espumadora.....	36
3.3 Encapsulado del motor de la máquina cortadora.....	39
3.4 Protectores auditivos.....	48

CAPÍTULO IV ESTUDIO ECONÓMICO

4.1 Estudio económico.....	66
----------------------------	----

CONCLUSIONES.....	67
-------------------	----

BIBLIOGRAFÍA.....	69
-------------------	----

ANEXOS.....	70
-------------	----

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Objetivo general.

Diseñar la solución para el problema de ruido en el área de espumado de la fábrica R.u.v.a. Espuma.

Objetivos particulares.

-Medir el nivel de presión sonora dentro de la fábrica y determinar si se encuentran dentro de los límites establecidos, tomando como apoyo la norma NOM-011 y NOM-081.

-Aplicar los conocimientos de ingeniería utilizando los conceptos de acústica para la solución del problema.

Justificación

Los altos niveles de ruido en las fábricas pueden ser causa de esfuerzo y fatiga en los trabajadores debido a que al llevarse a cabo la comunicación verbal es muy difícil de que ésta sea entendible y clara. Por otra parte los operadores son a menudo incapaces de dar instrucciones simples a sus trabajadores en ambientes muy ruidosos o lo que es peor incapaces de oír advertencias de seguridad de sus colaboradores, es por eso que es importante el estudio del control de ruido.

La extensión del daño auditivo depende tanto de la intensidad del ruido como del tiempo de exposición al mismo. Exposiciones de larga duración a ruidos superiores a 80 dB pueden provocar lesiones en el oído. Al principio el daño afecta al rango de frecuencias en las que se encuentra el habla. Consecuentemente hay problemas de comunicación y ningún medicamento o cirugía puede remediar el daño producido por el ruido ya que es incurable.

En este caso se llevará a cabo el control de ruido para la fábrica R.u.v.a. Espuma, debido a que la maquinaria que se encuentra en el área de espumado genera niveles que son perjudiciales para los trabajadores que laboran en esta zona.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

1.1 Sonido

El sonido se genera a partir de la vibración de un cuerpo. Cuando un objeto es excitado de alguna manera ya sea golpeado, rasgueado, soplado etc. las moléculas de aire que se encuentran en contacto con la fuente se ponen en movimiento al mismo tiempo y con la misma amplitud y fase que las superficies de dicha fuente. A partir de este movimiento se desarrolla una onda sonora cuando al moverse las moléculas que están en contacto con la fuente ponen en movimiento a las que se encuentran a continuación, y éstas a su vez a las siguientes, produciendo una reacción en cadena y que continúa de acuerdo al movimiento de la fuente en ambas direcciones generando aumento y disminución de presión, haciendo que su efecto se propague en todas direcciones. Este fenómeno es posible gracias a las características elásticas del aire que obligan a que cada molécula desplazada regrese a su posición de reposo. Al llegar este efecto al oído se produce la sensación auditiva a partir de la cual se obtiene una gran cantidad de información respecto a la fuente que lo produjo así como de las características acústicas del sitio en donde se generó.

1.2 Ruido

El ruido se puede definir como un sonido desagradable o indeseado.

1.3 Transmisión del ruido

El ruido puede llegar al oyente a través de diferentes vías. Ya sea que el ruido de la fuente sea transmitido de manera directa o que llegue por medio de reflexiones al oyente.

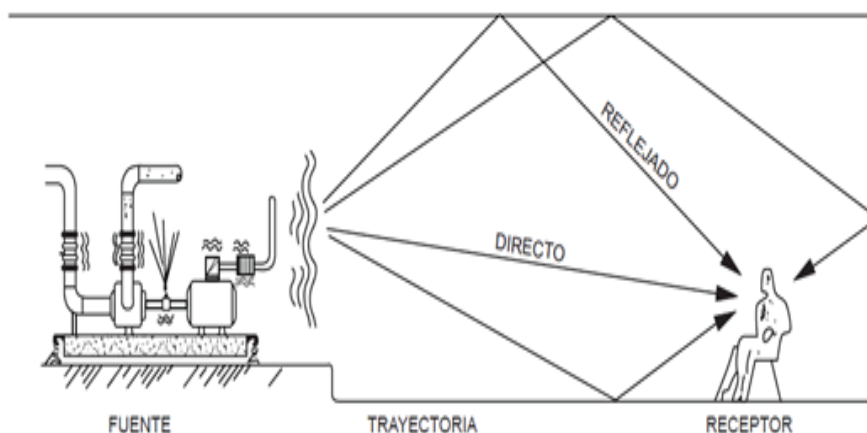


Figura 1.1. Ejemplo de la trayectoria del ruido hasta llegar al receptor.

1.4 Nivel de ruido

El nivel del ruido se define generalmente como la amplitud de sonidos diferentes que se están produciendo dentro de un área determinada.

1.5 Frecuencia

La frecuencia de un fenómeno periódico, como una onda sonora, es el número de veces que este fenómeno se repite a sí mismo en un segundo (el número de ciclos por segundo). Habitualmente la frecuencia se designa mediante un número seguido de la unidad Hertz.

1.6 Espectro frecuencial

La gran mayoría de los sonidos que percibimos no constan únicamente de una sola frecuencia, sino que están constituidos por múltiples frecuencias superpuestas.

Se puede conocer qué frecuencias componen un sonido observando el denominado espectro frecuencial del mismo, entendiendo por tal la representación gráfica de las frecuencias que lo integran junto con su correspondiente nivel de presión sonora.

1.7 Velocidad de propagación del sonido (c)

La velocidad de propagación del sonido (c) es función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. En el aire la velocidad de propagación del sonido es de 343 m/s.

Si bien el aire constituye el medio habitual de propagación de las ondas sonoras, conviene tener presente que el sonido puede propagarse a través de cualquier otro medio elástico y denso. Cuanto más denso y elástico sea el medio, mayor será la velocidad del sonido a través de él.

1.8 Longitud de onda

La longitud de onda de un sonido es la distancia perpendicular entre dos frentes de onda que tienen la misma fase. Esta longitud es la misma distancia que la

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

recorrida por la onda sonora en un ciclo completo de vibración. La longitud de onda, que se designa mediante la letra griega lambda, λ , está relacionada con la frecuencia f (Hertz) y la velocidad del sonido c (metros por segundo) mediante la ecuación 1.1.

$$\lambda f = c \dots\dots\dots(1.1)$$

1.9 Propiedades de las ondas sonoras

- ❖ **Reflexión:** Al inducir una onda sonora sobre una superficie, una parte de su energía será reflejada y el resto absorbida o transmitida. Toda onda que incida con un ángulo sobre una superficie reflectora, será reflejada con el mismo ángulo.
- ❖ **Absorción:** Al incidir una onda sonora sobre un material, parte de la energía de la onda será disipada dentro del material debido a pérdidas producidas por rugosidades, porosidades. La energía perdida por la onda se transforma en calor.
- ❖ **Transmisión:** Cuando al incidir una onda sonora sobre una superficie, parte de la energía de esta onda pasa al otro lado de esta superficie.
- ❖ **Difracción:** Cuando una onda sonora se propaga y encuentra un obstáculo en su dirección, la onda seguirá propagándose casi como si el obstáculo no existiera siempre y cuando la longitud de onda sea grande comparada con las dimensiones del obstáculo, de lo contrario se formará una zona de sombra (ruido disminuido).

1.10 Nivel de presión sonora

El nivel de presión sonora o NPS determina la intensidad del sonido que genera una presión sonora instantánea (es decir, del sonido que alcanza a una persona en un momento dado), se mide en dB y varía entre 0 dB umbral de audición y 140 dB umbral de dolor.

Para medir el nivel de presión sonora no se suele utilizar el Pascal, por el amplio margen que hay entre la sonoridad más intensa y la más débil (entre 200 Pa y 20 μ Pa).

Normalmente se adopta una escala logarítmica y se utiliza como unidad el decibelio. Como el decibelio es adimensional y relativo, para medir valores absolutos se necesita especificar a qué unidades está referida. En el caso del nivel de presión sonora (el NPS toma como unidad de referencia 20 μ Pa).

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Para medir el nivel de presión sonora se utiliza la ecuación 1.2

$$NPS = 20 \log (P_1 / P_0) \dots \dots \dots (1.2)$$

en donde:

- P_1 es la presión sonora instantánea.
- P_0 es la presión de referencia y se toma como referencia la presión sonora en el umbral de audición, que son 20 microPa.
- log es un logaritmo decimal.

Es decir, el nivel de presión acústica se expresa como 20 veces el logaritmo de la relación entre una presión acústica y una de presión de referencia determinada.

1.11 Sonómetro

El Sonómetro es un instrumento de medición que responde al sonido de forma aproximadamente igual que el oído humano, dando medidas objetivas y reproducibles de su nivel, es capaz de medir en forma sencilla y directa, el ruido generado en oficinas, fabricas, etc. además alarma en aquellos niveles que sean dañinos al ser humano.



Figura 1.2. Ejemplo de un Sonómetro.

La medición de los sonidos sirven como una herramienta de diagnóstico para prevenir daños en el oído humano. La medida más corriente en el ruido comunal, es el nivel en dB(A) y se realiza con un sonómetro provisto con un filtro con

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

ponderación tipo A, que simula la respuesta del oído. El nivel en dB(A) se usa para describir los ruidos ambientales e intrusos.

En la medición del sonido deben considerarse los criterios para ruidos de régimen permanente, que son aplicables a la persona, como por ejemplo: obreros expuestos durante toda la jornada de trabajo a los mismos niveles en dB(A). La medida del ruido permanente se suele realizar con sonómetros provistos de ponderación tipo A.

Hay diferentes sistemas para medir el sonido para medir el sonido. Pero en general todas consisten de un micrófono, una sección de procesamiento y una de lectura, para los datos de salida.

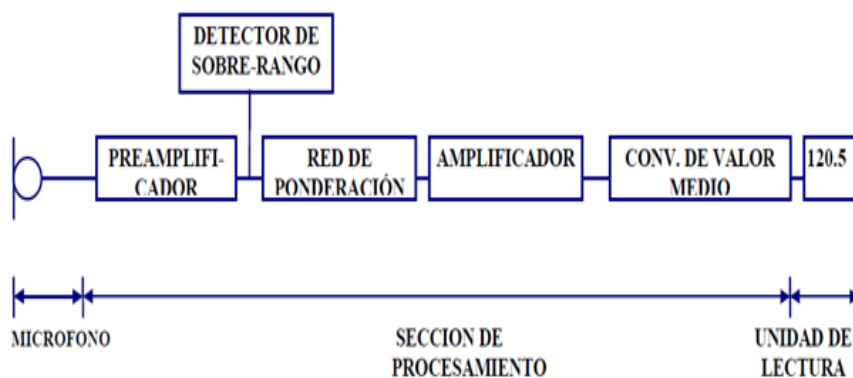


Figura 1.3. Diagrama general a bloques de un sonómetro.

1.12 Acústica fisiológica

El sistema auditivo humano se compone de un órgano de toma de datos, un órgano de conversión analógico – digital y un sistema de memorias u computadora central (cerebro). El oído humano es una estructura mecánica muy intrincada y delicada, consta de tres partes: oído externo, oído medio y oído interno.

La onda acústica que incide sobre el pabellón auditivo penetra por el canal auditivo externo hasta llegar al tímpano al cual lo pone en vibración, ésta se transmite al oído interno por medio del movimiento de una cadena de huesecillos, el oído interno transforma los impulsos mecánicos en impulsos eléctricos que llegan al cerebro, el cuál reconoce la información recibida en función de las referencias previas de la memoria del cerebro.

El rango de presiones acústicas que puede percibir el oído humano es de $20\mu\text{Pa}$ a 20 Pa , respecto a frecuencia la respuesta del oído humano abarca desde 20 Hz hasta 20000 Hz .

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Puede decirse que el oído humano funciona mejor que un micrófono extremadamente sensible, además de ser un analizador de frecuencias de considerable selectividad.

El oído, el sistema nervioso y el cerebro trabajan juntos detectando sonidos de determinadas frecuencias, aún en presencia de ruido de banda ancha de alto nivel, o sea que opera como un conjunto de filtros pasa – banda.

Un sonido puro se caracteriza físicamente por la frecuencia y amplitud de las variaciones de presión acústica, a esas magnitudes físicas corresponden sensaciones distintas:

-Tono: es propio de la frecuencia, de modo que un sonido parece más agudo cuanto mayor sea su frecuencia.

-Sonoridad: es propia de la presión acústica, cuanto más alta es la presión, más intenso parece el sonido.

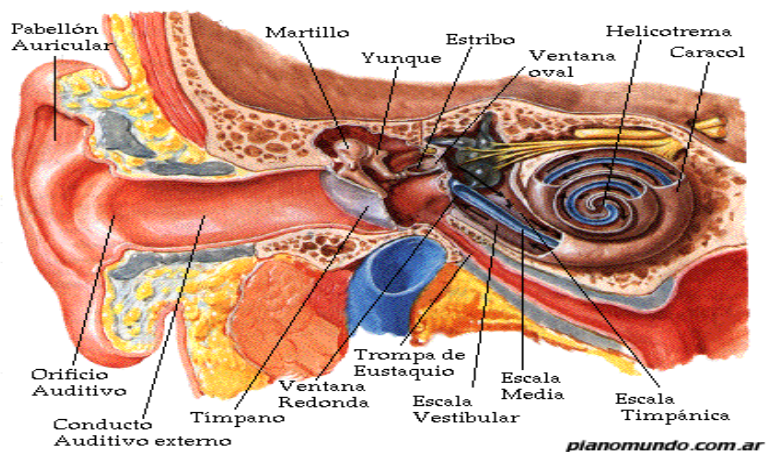


Figura 1.4. Sistema auditivo.

1.13 Umbrales auditivos

La presión acústica mínima que el oído puede detectar se denomina umbral de audición, éste varía con la frecuencia y con el individuo.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

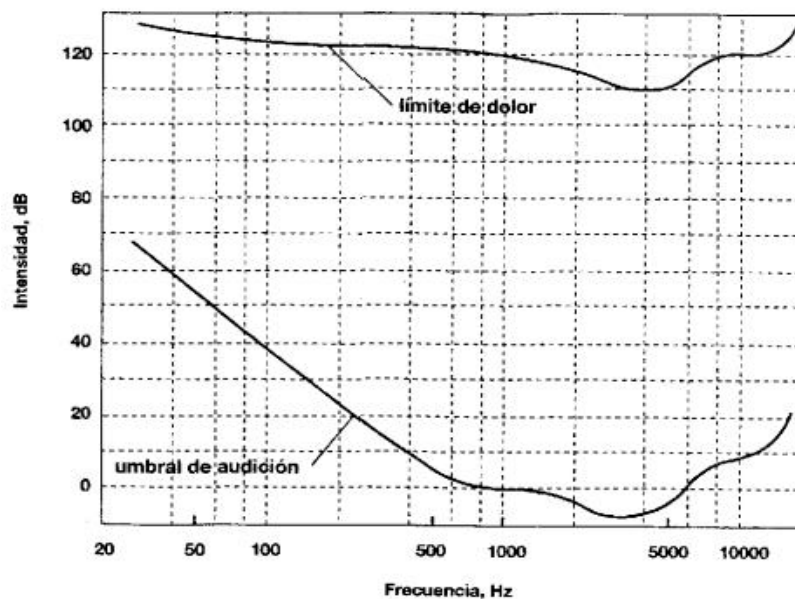


Figura 1.5. Umbral de audición y límite de dolor para tonos puros

De la anterior gráfica cabe destacar la dependencia existente entre la sensibilidad del oído y la frecuencia. La frecuencia de máxima sensibilidad se encuentra próxima a los 3000 Hz. En la zona de frecuencias superiores a 5000 Hz el crecimiento del umbral es mucho más brusco. Ésta pendiente es mucho más acentuada conforme se incrementa la edad de la persona, es decir se pierde sensibilidad sobre todo en las frecuencias altas. La zona de frecuencias donde es más sensible el oído humano es la comprendida entre 2000 y 5000 Hz.

Cuando las presiones sonoras crecen, la sonoridad crece hasta producir una sensación de molestia, a éste nivel se le denomina umbral del dolor y se encuentra próximo a los 120 dB. Es prácticamente independiente de la frecuencia aunque varía dependiendo de las personas. Cuando se llega a 140 dB se produce sensación de dolor pudiendo ocasionar daño permanente en la audición si la exposición es prolongada. Cuando se alcanzan los 160 dB los daños son inmediatos y permanentes.

1.14 Efectos adversos del ruido sobre la salud

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) las consecuencias del ruido sobre la salud se describen según sus efectos específicos:

- Deficiencia auditiva causada por el ruido
- Interferencia en la comunicación oral
- Trastorno del sueño y reposo
- Efectos psicofisiológicos sobre la salud mental y el rendimiento
- Efectos sobre el comportamiento

1.15 Historia del ruido

Aunque el ruido ha sido reconocido desde tiempos remotos como un estímulo perjudicial para el ser humano, durante muchos siglos fue considerado un subproducto inevitable de la actividad humana, y, como tal, eran relativamente escasas las iniciativas para combatirlo sistemáticamente.

Con la introducción(a partir de la Revolución Industrial) de las tecnologías de producción mecanizada en gran escala se incrementó, sin duda, el ruido en las otrora artesanales plantas manufactureras. Por otra parte, la mayor concentración poblacional en las ciudades en esa etapa iba a tener como consecuencia un incremento sostenido del ruido comunitario.

En el siglo XX, probablemente como consecuencia del nivel excesivo de la contaminación sonora, se consolida la preocupación por dar una respuesta sistemática y científicamente fundamentada al problema del control de ruido y a otras cuestiones anexas (acústica arquitectónica, efectos del ruido en el hombre, criterios psicoacústicos). La investigación aplicada se multiplica y comienzan a publicarse trabajos notables, tales como los de Sabine relativos a acústica de ambientes, o los de Fletcher sobre la audición y el habla. La demanda de soluciones a problemas específicos de ruido conduce a la aparición de nuevas especialidades, como la ingeniería acústica y de control de ruido, así como al desarrollo de la industria de los materiales acústicos y el surgimiento de importantes empresas de consultoría acústica.

Así mismo, se hacen grandes progresos en materia de las mediciones acústicas, lo cual se refleja no sólo en la posibilidad de impulsar aún más la investigación aplicada y la tecnología sino también en la legislación, que dispone entonces de recursos para determinar y evaluar en forma objetiva los límites permitidos para el nivel de ruido.

El indudable avance que en materia de control de ruido se ha venido operando desde entonces se ve superado, no obstante, por un crecimiento cada vez más vertiginoso de la población, especialmente en las grandes ciudades, y por la consecuente necesidad de multiplicar los bienes y servicios requeridos según el modo de vida prevaleciente en las sociedades contemporáneas.

En los países en desarrollo la cuestión se agrava debido a que la preocupación primaria de grandes sectores de la sociedad es la de solucionar problemas más acuciantes como el de una aceptable estabilidad social y económica, o el del acceso a los sistemas de salud y educación. Problemas como el cuidado ambiental pasan así a un plano secundario, y más aún en el caso del ruido, uno de los últimos contaminantes en ser aceptados como tales.

Un elemento importante es ir logrando una paulatina toma de conciencia por parte de la población acerca de los inconvenientes de toda índole que trae aparejado el ruido excesivo, y de la responsabilidad individual de cada uno de los miembros de la sociedad en el logro de un ambiente acústico más saludable. Pequeñas actitudes como el exigir que se baje el volumen de la música de fondo

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

en un lugar público, o como el evitar levantar la voz, sólo son posibles después de haberse informado adecuadamente.

1.16 Control de ruido

El término control del ruido se utiliza para designar el conjunto de técnicas y métodos tendentes a reducirlo hasta niveles inocuos para el hombre. Una gran parte del ruido puede ser atenuado o eliminado y, en muchos casos, pueden ser eficaces ciertas medidas preventivas muy sencillas.

En general las medidas de control de ruido se pueden clasificar en tres categorías:

- 1-. Control de ruido en la fuente
- 2-. Control de ruido en la vía de transmisión
- 3-. Uso de medidas protectoras contra el ruido en el receptor

El método o combinación de ellos que se emplee depende de la magnitud de la reducción de ruido requerida y de las consideraciones económicas y operativas.

1-. Control de ruido en la fuente

Un método importante para controlar el ruido en la fuente es reducir la amplitud de las fuerzas que dan como resultado la generación del ruido.

2-. Control de ruido en la vía de transmisión

- Emplazamiento
- Disposición de la edificación
- Barreras

- Absorción
- Desajuste

3-. Medidas protectoras en el receptor

- Aparatos de protección del oído
- Cabinas
- Programas de conservación de la audición y formación
- Control de la exposición

1.17 Noise Criterion (NC)

El NC (Noise Criterion) en español Criterio de Ruido es un índice numérico único establecido en Estados Unidos comúnmente utilizado para definir el ruido máximo permitido en un espacio dado.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Comúnmente se aplica principalmente al ruido producido por un sistema de ventilación, pero se puede aplicar a otras fuentes de ruido.

El NC consiste en una familia de curvas que definen el sonido máximo permisible en bandas de octavas del nivel de presión que corresponde a un objetivo de diseño elegido. Aunque existen otras alternativas que se hayan propuesto (en particular el criterio de habitación o curvas RC), el NC sigue siendo el más utilizado.

El método consiste en un conjunto de curvas críticas (figura 1.6) que se extienden desde 63 hasta 8000 Hz, y un procedimiento tangencial de cálculo. Los criterios de las curvas definen los límites de los espectros de banda de octava que no se deben exceder para cumplir con la aceptación de los ocupantes en determinados espacios. El NC se puede obtener mediante el trazado de los niveles de banda de octava para un espectro de ruido dado las curvas NC. El espectro de ruido se especifica para tener un valor NC, mismo que la curva más baja NC que no es superado por el espectro.

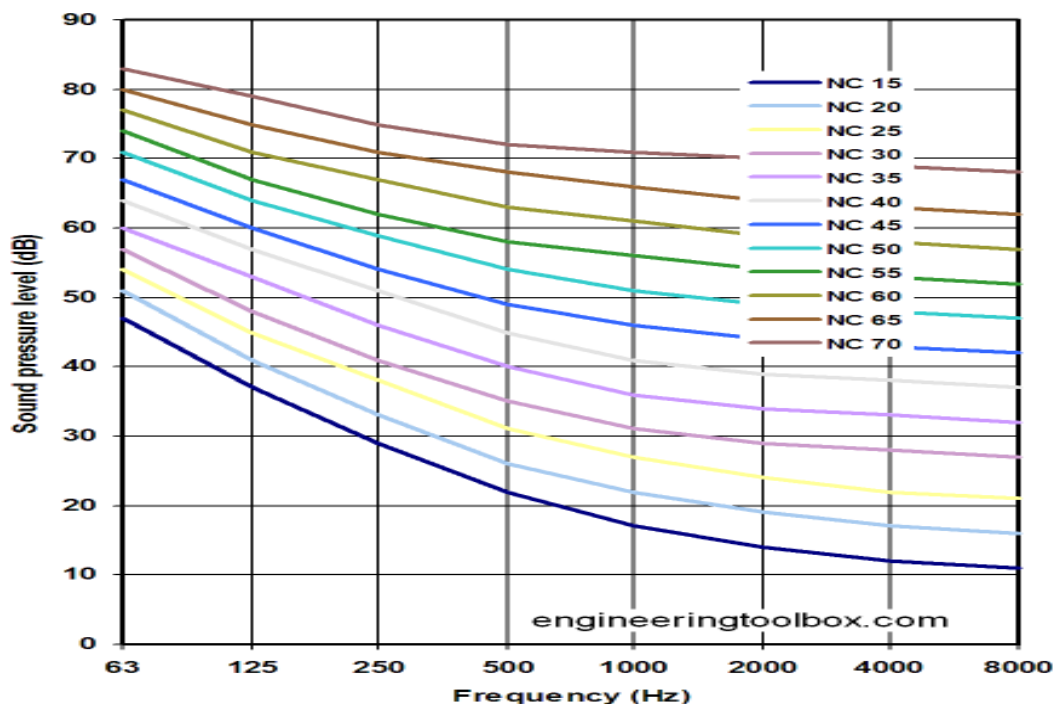


Figura 1.6. Curvas críticas pertenecientes a NC.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

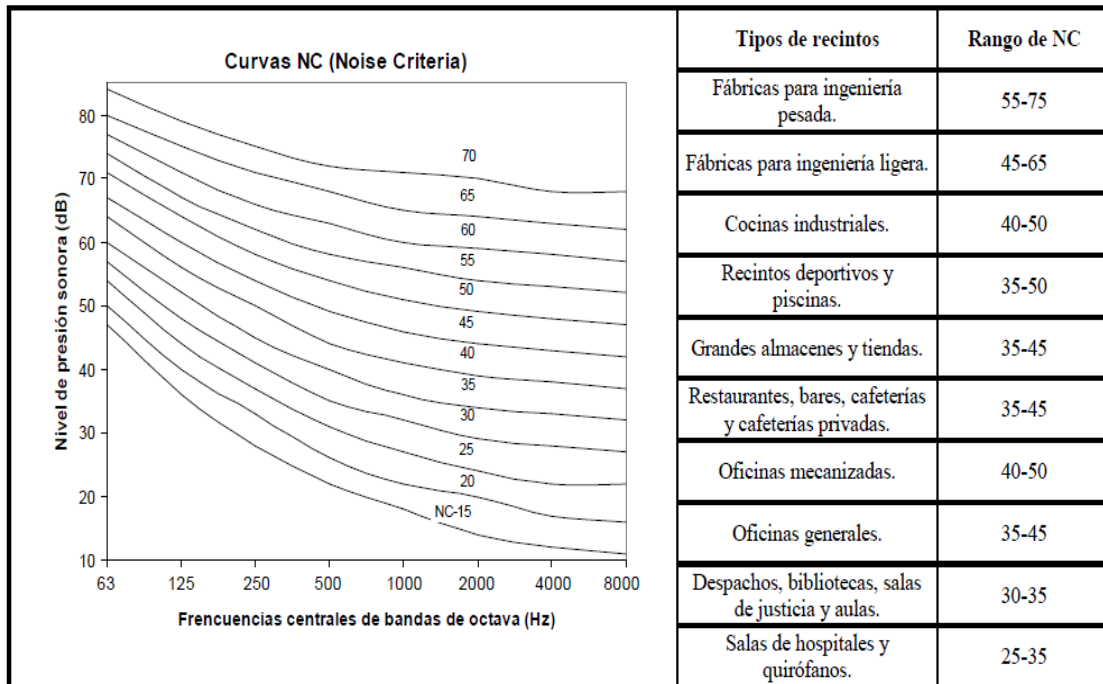


Figura 1.7. Representación gráfica de las curvas NC y valores recomendados del índice NC para diferentes locales.

1.18 Algunas soluciones a considerar para el problema de ruido

1.18.1 Barreras

Una barrera acústica es cualquier obstáculo sólido relativamente opaco al sonido que bloquea al receptor la línea de visión de la fuente sonora. Las barreras pueden instalarse específicamente para reducir el ruido, por ejemplo vallas sólidas o diques de tierra y pueden producirse naturalmente por otras razones, como edificios y muros aislados. Las barreras pueden usarse en exteriores para apantallar áreas residenciales que requieran silencio frente al ruido del tráfico, industrial, etc. El uso de una barrera es sobre todo adecuado cuando no es posible reducir la emisión de ruido de la fuente molesta.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.



Figura 1.8. Ejemplo del uso de barreras acústicas.

1.18.2 Encapsulado Acústico

El diseño en instalación de encapsulados acústicos tiene como objetivo confinar elementos generadores de ruido, aislándolos del entorno para evitar que el ruido o las vibraciones producidas en su funcionamiento afecten negativamente a los trabajadores o a otros elementos industriales.

Los encapsulados acústicos se diseñan adaptándose a las necesidades de cada caso y a cada máquina o equipo generador de ruido.

En la figura 1.9. Se muestra un encapsulado acústico usado en equipos de climatización.



Figura 1.9. Ejemplo de un encapsulado acústico de Equipos de Climatización.

1.18.3 Protectores auditivos

En muchos ambientes ruidosos, no resulta práctico, económico o factible reducir el ruido hasta un nivel aceptable para los oídos de las personas expuestas, salvo mediante el empleo de aparatos individualizados de protección auditiva. Un aparato de protección auditiva, también denominado protector auditivo, es un aparato personal (por ejemplo, un tapón para los oídos, un auricular o un casco) que se utiliza para reducir la audición peligrosa y/o los efectos subjetivos molestos del sonido.

1.18.4 Tipos de protectores auditivos

✚ Tapones para oídos

Un tapón para los oídos es un aparato de protección auditiva que se coloca en el canal externo del oído (se denomina tapón auditivo insertado). Los tapones premoldeados se fabrican en uno o más tamaños normalizados, diseñados para adaptarse a los oídos de la mayoría de las personas. Un tapón auditivo moldeable por el usuario está hecho de un material flexible y es moldeado por el usuario para ajustarse dentro de su canal auditivo, en donde forma un sello

acústico. Los tapones para los oídos se realizan con materiales que incluyen vinilos, siliconas, fórmulas elásticas, algodón, cera y lana de fibra de vidrio.

Un tapón auditivo semiinsertado se coloca contra la abertura del canal auditivo externo (como cuando nos tapamos el oído con el dedo). El tapón auditivo semiinsertado está diseñado con un tamaño que se ajusta a la mayoría de los oídos; se mantiene en posición, contra la apertura del canal auditivo, mediante una banda de poco peso que se ajusta a la cabeza.



Figura 1.10. Ejemplo de tapones auditivos.

✚ Tipo orejera

Los protectores auditivos tipo orejera son un aparato de protección auditiva compuesto de una banda para la cabeza y de dos cascos circunaurales, habitualmente de plástico moldeado.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Un casco circunaural es el que cierra completamente el oído externo (el pabellón auditivo) y se sella contra el costado de la cabeza con una almohadilla de espuma o llena de fluido. Las bandas para la cabeza pueden funcionar en una sola posición o ajustarse para la colocación sobre la cabeza, detrás de ella y debajo de la barbilla. El ensamblaje de la banda para la cabeza está realizado en plástico y/o metal. Los auriculares también pueden acoplarse a cascos u otros protectores de la cabeza mediante unos cortos brazos flexibles de plástico. Sin embargo, los protectores auditivos tipo orejera acoplados a cascos son más difíciles de orientar y de ajustar adecuadamente, ya que los brazos acoplados no son tan adaptables, ni aportan una gama tan amplia de tamaños para la cabeza como las versiones con banda de ajuste incorporada.



Figura 1.11. Ejemplo de un protector auditivo tipo orejera.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Una vez mencionado lo nocivo que es para la salud la exposición a largas jornadas laborales y con un alto nivel de ruido, se procederá a describir el área de espumado y a plantear el problema de ruido.

2.1 Descripción del área de espumado

La fábrica se divide en varias áreas, un área de descarga, dos áreas de carga, tres áreas de corte y un área de espumado como se muestra en la figura 2.1.

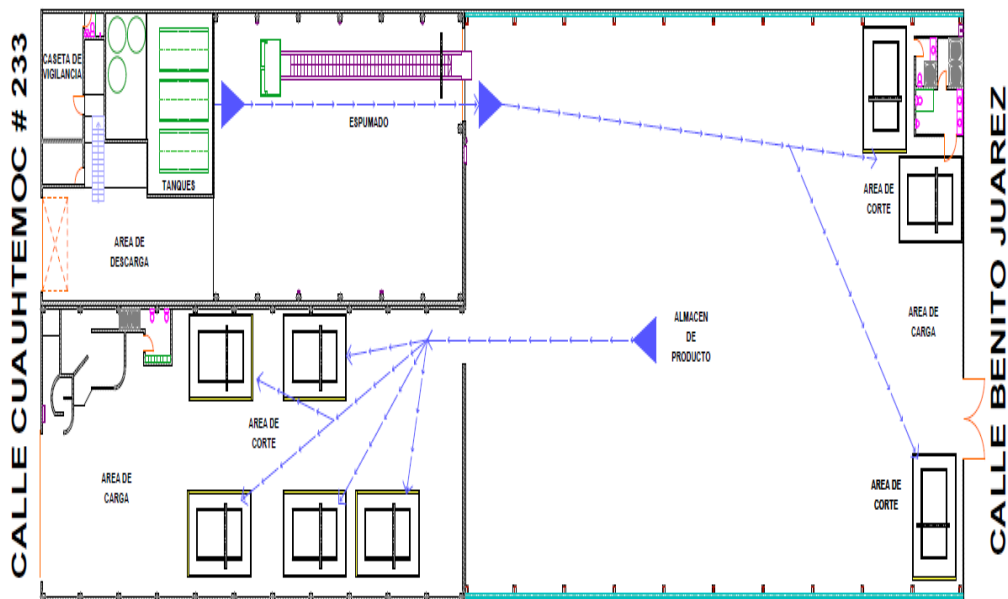


Figura 2.1. Áreas de la Fábrica R.u.v.a. Espuma.

El área en donde se encontró mayor nivel de ruido fue en la zona de espumado, en ella se registraron valores de hasta 88 dB (A), mientras que en las otras secciones de la fábrica los niveles no llegaban a los 80 dB(A).

A continuación se muestran las dimensiones del área de espumado en la figura 2.2.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

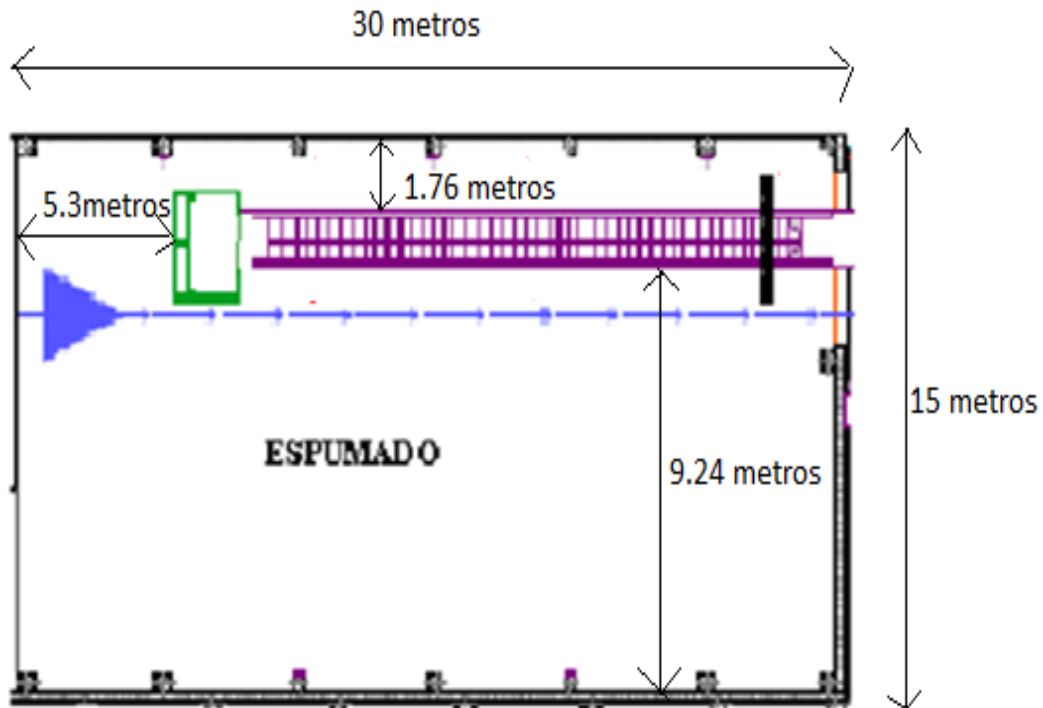


Figura 2.2. Dimensiones del área de espumado.

En el área de espumado de la fábrica laboran cuatro personas, una es la encargada de operar la máquina espumadora y las tres personas restantes se encuentran cerca de la cortadora para acomodar la espuma y proceder a cortarla.

Se debe considerar que los empleados operan las máquinas en esta zona en un horario de ocho de la mañana a ocho de la noche incluyendo una hora de comida, este horario lo mantienen de lunes a viernes. Por lo que los empleados tienen una exposición al ruido de once horas diarias de lunes a viernes.

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) niveles de ruido por encima de los 75dB(A) son nocivos para la salud y más aún si es en una jornada laboral mayor a ocho horas diarias.

Por otra parte en la norma oficial mexicana NOM 011 se recomienda no exponer al trabajador a niveles de ruido superiores a 85 dB (A), en caso de ser así tomar medidas para protección del trabajador por ejemplo el uso de protectores auditivos.

2.2 Ubicación de las fuentes de ruido

En el área de espumado se encuentra una máquina de espumado y delante de ella una máquina cortadora. En la figura 2.3 se muestra una fotografía del área de espumado.



Figura 2.3. Fotografía del área de espumado.

La máquina de espumado se encarga de mezclar las sustancias, procesarlas y enfriarlas para obtener la espuma con la consistencia que se requiera, ya sea más flexible, más compacta o de un color determinado.



Figura 2.4. Fotografía de la máquina de espumado en color verde con dos ventiladores tubulares en la parte superior del lado izquierdo.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

La máquina espumadora tiene las siguientes dimensiones mostradas en la figura 2.5.

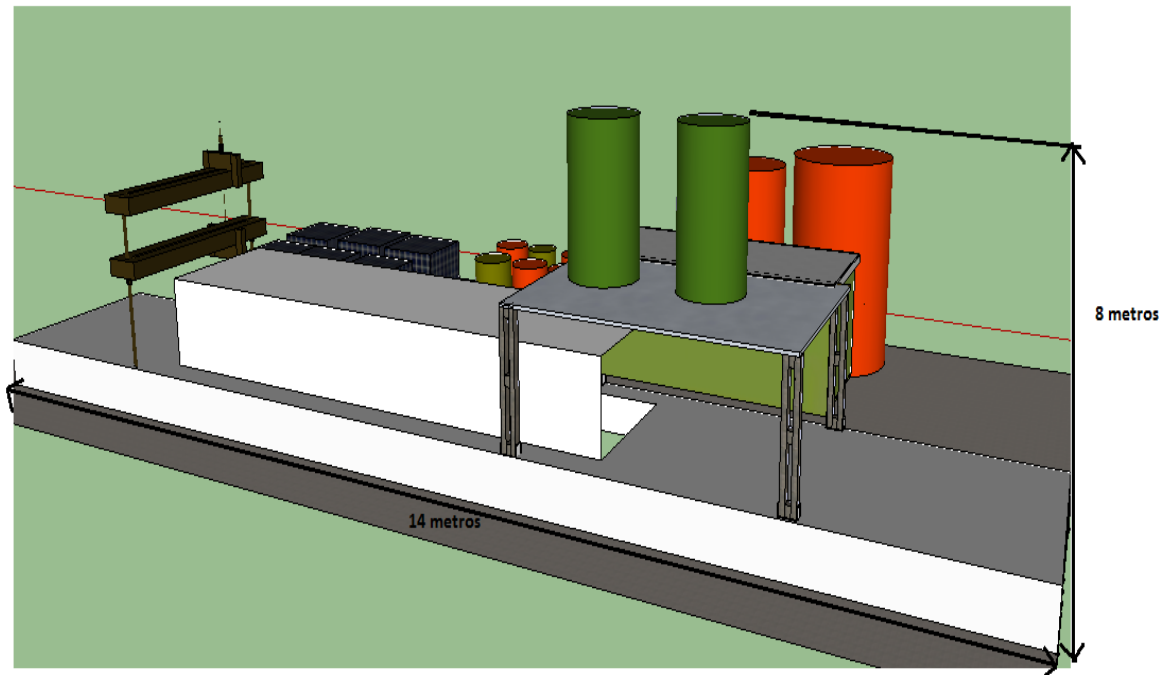


Figura 2.5. Dimensiones de la máquina de espumado.

El primer problema se encontró en la máquina espumadora, en donde las fuentes generadoras de los más altos niveles de ruido fueron los dos ventiladores que se encuentran en la parte superior de dicha máquina. Los ventiladores tienen las siguientes dimensiones mostrados en la figura 2.6.

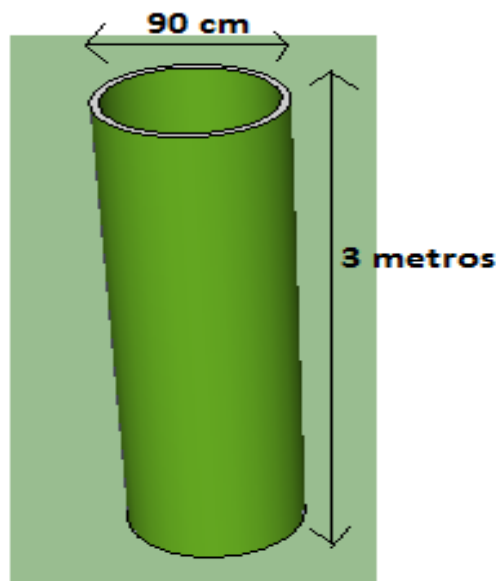


Figura 2.6 Dimensiones de un ventilador de la máquina de espumado.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

El segundo problema que se detectó, fue en la máquina cortadora que se ubica delante de la espumadora. La máquina cortadora tiene un pequeño motor el cual es el que genera niveles de ruido por encima de los 87 dB(A).



Figura 2.7. La máquina cortadora en color gris se muestra con dos líneas paralelas por encima de la barra de espuma en blanco.

A continuación se muestran las dimensiones del motor de la máquina cortadora en la figura 2.8.

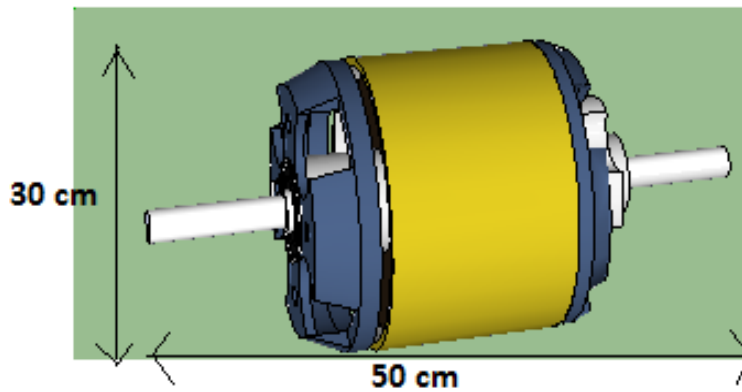


Figura 2.8 Dimensiones del motor de la máquina cortadora.

2.3 Resultados de encuestas a los trabajadores

Realizando una serie de encuestas al personal que labora en la fábrica se encontró una cantidad considerable de ellos presentan síntomas severos a consecuencia de los niveles de ruido en el área de espumado. Estos se enlistan a continuación:

- Dolor de cabeza
- Estrés
- Fatiga
- Zumbidos durante y después de su jornada laboral
- Presentan pérdida auditiva
- Irritabilidad

En la figura 2.9 se muestran los resultados de la encuesta realizada a los cuatro trabajadores que laboran en el área de espumado.

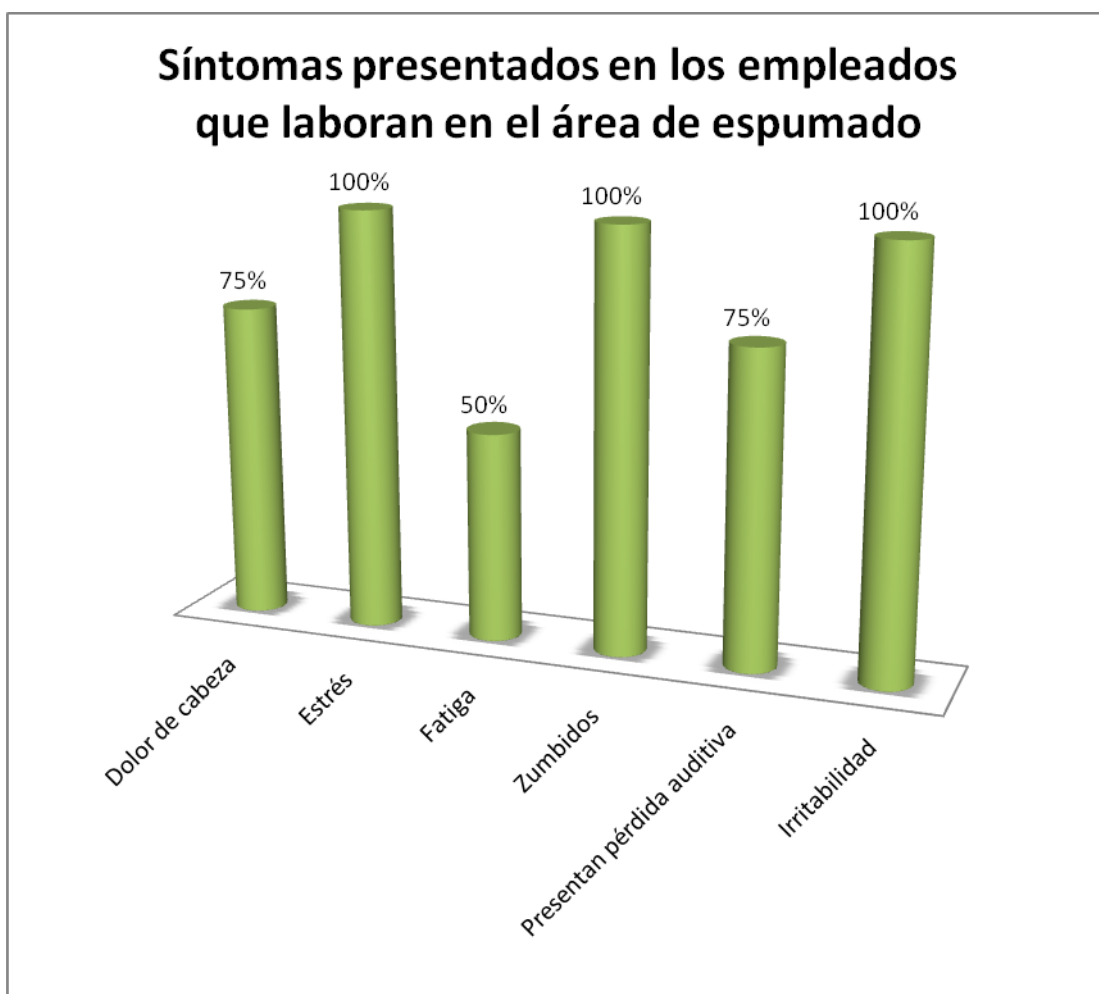


Figura 2.9. Representación gráfica de los resultados de la encuesta a los trabajadores que laboran en el área de espumado.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

También se realizó la encuesta a los trabajadores que laboran en otras áreas de la fábrica, con el fin de constatar que el problema de ruido que afecta a los trabajadores se halla en el área de espumado.

Cabe mencionar que los empleados que laboran en otras áreas son quince.

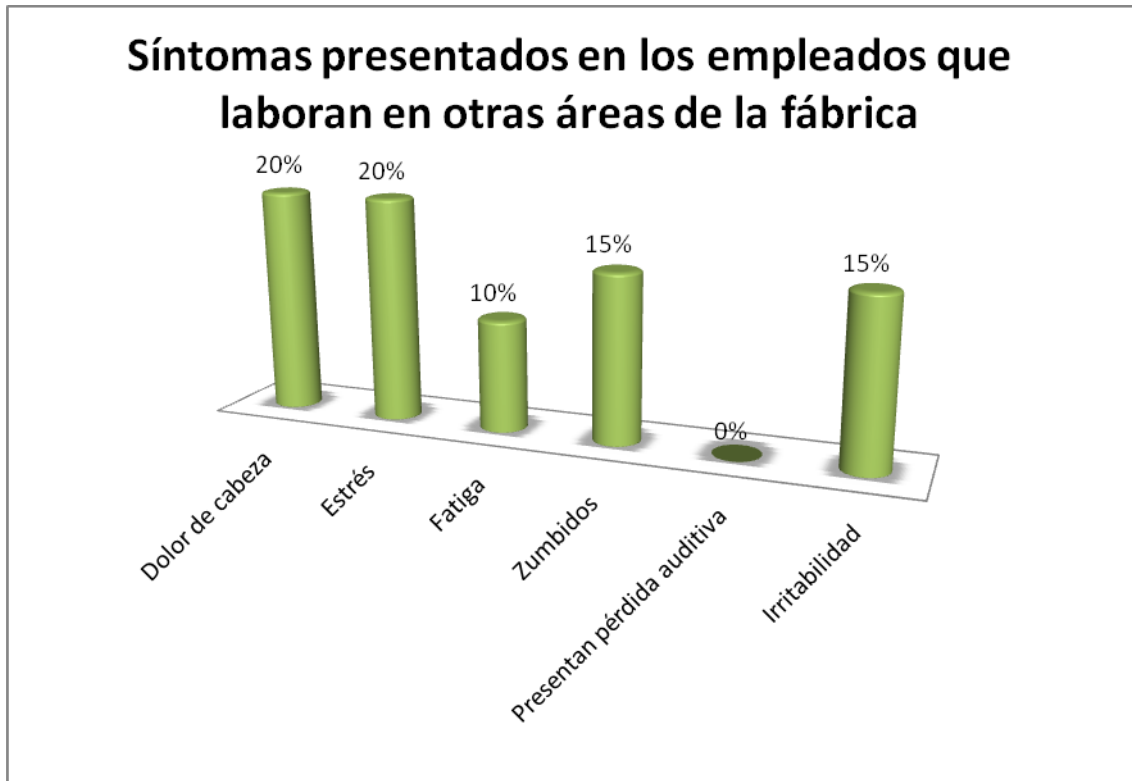


Figura 2.10. Representación gráfica de los resultados de la encuesta a los trabajadores que laboran en otras áreas de la fábrica.

Con los resultados de las encuestas queda claro que los trabajadores más afectados son los que operan en el área de espumado, estos empleados incluso presentan pérdidas auditivas y tienen un alto grado de incomodidad al realizar sus labores diarias en la fábrica.

2.4 Mediciones realizadas en el área de espumado

Para tener conocimiento de las frecuencias en las que se genera un mayor nivel de ruido se realizaron medidas con el analizador de espectro (mostrado en la figura 2.11), tomando las mediciones en los puntos donde se detectaba mayor nivel de ruido.

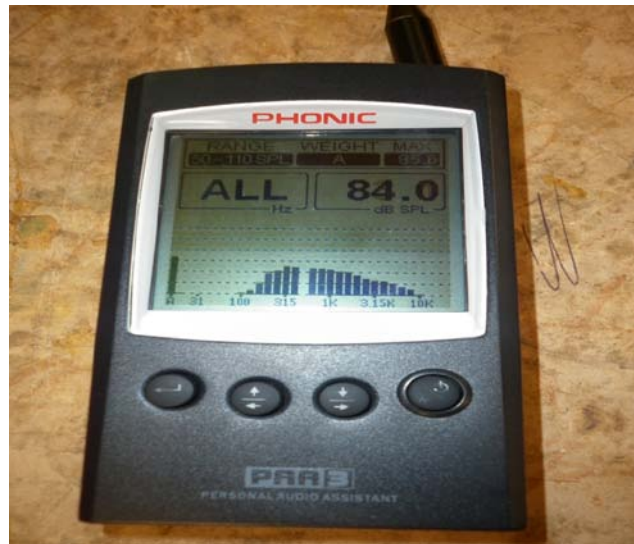


Figura 2.11. Analizador de espectro tipo 2 Phonic modelo PAA3.

Mediante el analizador de espectro se localizaron los puntos generadores de mayor nivel de ruido y se procedió a realizar las lecturas en 6 puntos de medición tomando como apoyo a la norma oficial mexicana NOM 011.



Figura 2.12. Se muestran los puntos de medición en color rojo

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Resultados de las mediciones en cada punto:

PUNTO 1								
Frecuencias	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)	NPS dB(A)
Medición 1	79,2	78,6	79,2	87,5	88,2	85,7	85,4	87,1
Medición 2	78,4	77,7	80,1	85,2	86,4	84,5	85,3	87,3
Medición 3	77,3	76,7	83,2	85,7	87,7	87,3	84,1	85,6
Medición 4	75,9	78,1	81,1	86,8	88,6	86,3	83,5	88,8
Medición 5	79,1	79,2	79,7	88,2	88,1	88,5	84,7	87,5
Promedios	77,98	78,06	80,66	86,68	87,8	86,46	84,6	87,26

Tabla 2.1. Resultados por banda de octava y nivel de presión sonora del punto de medición uno.

PUNTO 2								
Frecuencias	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)	NPS dB(A)
Medición 1	78,2	77,8	75,8	86,3	87,6	88,1	86,1	88,4
Medición 2	76,4	79,2	79,3	87,3	88,4	87,6	85,3	87,7
Medición 3	75,1	78,6	80,2	86,3	87,5	85,3	86,2	86,3
Medición 4	78,7	77,1	82,1	88,1	86,2	85,2	85,2	86,8
Medición 5	79,6	78,8	81,5	88,8	88,7	86,3	84,4	85,8
Promedios	77,6	78,3	79,78	87,36	87,68	86,5	85,44	87

Tabla 2.2. Resultados por banda de octava y nivel de presión sonora del punto de medición dos.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

PUNTO 3								
Frecuencias	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)	NPS dB(A)
Medición 1	74,6	75	75,8	84,7	88,1	86,6	86,2	85,6
Medición 2	72,8	77,5	77,9	85,1	87,9	86,5	87,1	87,4
Medición 3	73,2	76,8	78,5	86,3	87,5	87,8	85,4	86,9
Medición 4	76,5	74,5	79,2	85,8	88,6	87,4	86,8	88,9
Medición 5	76,4	75,4	78,9	83,9	85,4	86,2	87,4	89,4
Promedios	74,7	75,84	78,06	85,16	87,5	86,9	86,58	87,64

Tabla 2.3. Resultados por banda de octava y nivel de presión sonora del punto de medición tres.

PUNTO 4								
Frecuencias	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)	NPS dB(A)
Medición 1	78,2	78,8	78,2	85,2	88,1	88,8	86,8	87,4
Medición 2	76,7	76,3	78,9	85,9	88,2	86,3	88,7	86,6
Medición 3	78,8	78,5	76,6	84,5	89,7	87,3	82,9	85,1
Medición 4	77,8	79,6	77,6	87,3	89,8	87,8	85,1	88,3
Medición 5	76,7	78,7	78,8	88,4	86,3	88,7	86,7	87,3
Promedios	77,64	78,38	78,02	86,26	88,42	87,78	86,04	86,94

Tabla 2.4. Resultados por banda de octava y nivel de presión sonora del punto de medición cuatro.

PUNTO 5								
Frecuencias	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)	NPS dB(A)
Medición 1	75,4	77,2	79,8	85,6	87,8	87,1	86,9	88,2
Medición 2	78,3	74,9	78,3	85,9	87,3	87,3	87	86,9
Medición 3	76	76,5	78,5	84,9	88,1	86,9	86,5	87,7
Medición 4	78,7	75,6	79,3	86,1	88,8	87	86,8	86,4
Medición 5	77,5	78,4	80,9	86,9	88,9	87,4	86,2	87,1
Promedios	77,18	76,52	79,36	85,88	88,18	87,14	86,68	87,26

Tabla 2.5. Resultados por banda de octava y nivel de presión sonora del punto de medición cinco.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

	PUNTO 6							
Frecuencias	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)	NPS dB(A)
Medición 1	74,5	76,1	79,5	87,9	87,1	83,8	85,7	88,3
Medición 2	77,4	76,5	79,7	86,1	88,9	85,6	85,3	87,6
Medición 3	76,1	76,7	76,4	89,5	89,5	87,7	86,3	88,9
Medición 4	78,5	77,1	77,8	88,3	87,4	85,5	87,7	89,1
Medición 5	75,4	76,9	79,1	87,9	88,8	86,8	84,2	87,2
Promedios	76,38	76,66	78,5	87,94	88,34	85,88	85,84	88,22

Tabla 2.6. Resultados por banda de octava y nivel de presión sonora del punto de medición seis.

Analizando las tablas obtenidas se tiene la certeza que el problema de ruido está en las frecuencias altas.

Considerando las mediciones anteriores se indagará sobre cuatro métodos para la solución al problema de ruido. Los cuales son:

- ❖ Barrera acústica
- ❖ Encapsulado acústico
- ❖ Silenciadores para ventiladores
- ❖ Protectores auditivos

CAPÍTULO III

SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Como soluciones y medidas para el control de ruido se deben considerar las siguientes alternativas.

- Insonorización de recintos
- Encapsulados acústicos
- Pantallas acústicas
- Barreras acústicas
- Cambio en rutina de operación
- Medidas alternativas
- Diseño de filtros acústicos
- Uso de protectores auditivos

Se evaluó la efectividad de la solución según proyecciones de nivel de ruido, previo a realizar cualquier modificación. Para esto fue importante estimar el grado de atenuación que se lograría, para elegir una solución acústica.

También se debe tomar en cuenta que la solución no perjudique las labores diarias de la fábrica, que el material no sea difícil de conseguir y de implementar.

Tomando en cuenta lo anterior y las mediciones realizadas se decidió llevar a cabo soluciones las cuales serán descritas a continuación.

- ✚ Barrera acústica.
- ✚ Encapsulado.
- ✚ Silenciadores para ventiladores.
- ✚ Protectores auditivos.

3.1 Barrera acústica

La barrera acústica es una solución que se realizará para amortiguar el ruido proveniente del sistema de ventilación ubicado por encima de la banda transportadora de la máquina. Lo que se busca con la barrera acústica es aislar el ruido únicamente en el cuarto de control de la máquina, debido a que afecta a la persona encargada de manejar la máquina.

Se tomará como referencia la curva NC-65 y se ocupará de material madera maciza de una densidad de 24 kg/m², las medidas propuestas son 3m de largo por 2m de alto y 4.25 cm de ancho.

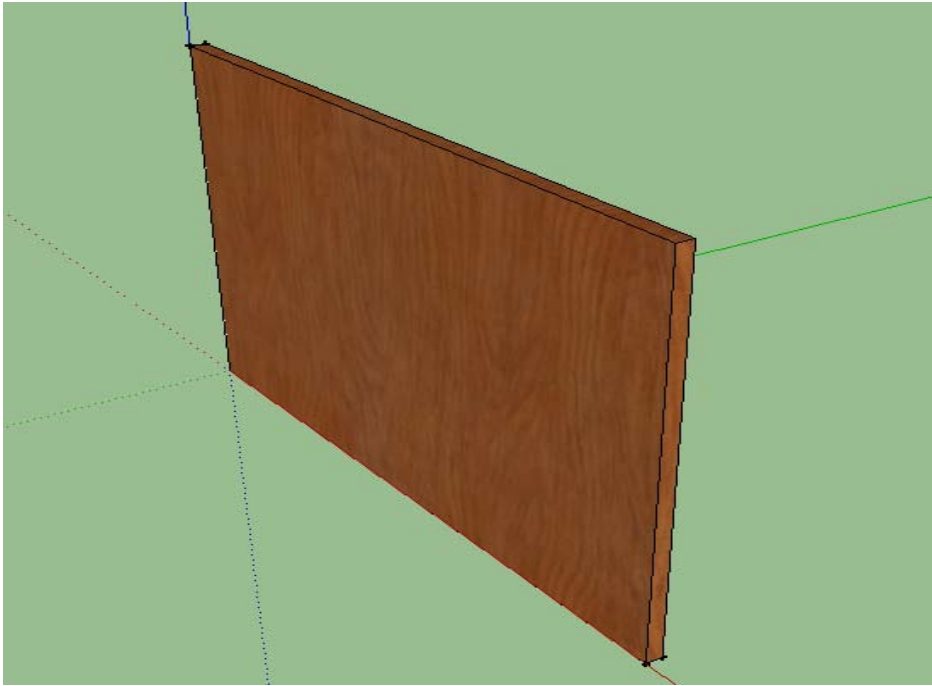


Figura 3.1. Modelo propuesto para la barrera acústica.

Para calcular el ancho de la madera se tomó en cuenta lo siguiente:

La longitud de onda para una máxima absorción (despejando a λ de la ec. 1.1) es:

$$\lambda = \frac{340}{f}$$

donde:

λ = Longitud de onda (m)

f = frecuencia donde se registró mayor nivel de ruido (dB)

Por lo tanto:

$$\lambda = \frac{340}{2 \text{ Khz}} = 0.17 \text{ m}$$

Una vez obtenida la longitud de onda se procede a calcular el ancho de la madera.

Utilizando la siguiente ecuación:

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

$$d = \frac{\lambda}{4} \dots\dots\dots (3.1)$$

Por lo tanto:

$$d = \frac{0.17 \text{ m}}{4} = 0.0425 \text{ m}$$

Lo obtenido anteriormente es el ancho de la madera y convertido en cm son 4.25 cm.

A continuación se calcula cuánto atenúa en dB la madera con respecto a las mediciones hechas en el punto 6 de medición que es correspondiente al cuarto de control.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000Hz	4000Hz
MEDICIONES [dB]	76.38	76.66	78.5	87.94	88.34	85.88
MADERA SÓLIDA [dB]	20	22	25	31	38	43
VALOR OBTENIDO [dB]	56.38	54.66	53.5	56.94	50.34	42.88

Tabla 3.1. Resultados de la atenuación por bandas de octava del punto 6 de medición utilizando la barrera.

Frecuencia	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
NC-70	79	75	72	71	70	69

Tabla 3.2. Valores recomendados por banda de octava del NC 70.

Gráfica obtenida de los valores obtenidos con respecto de la curva NC-65

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

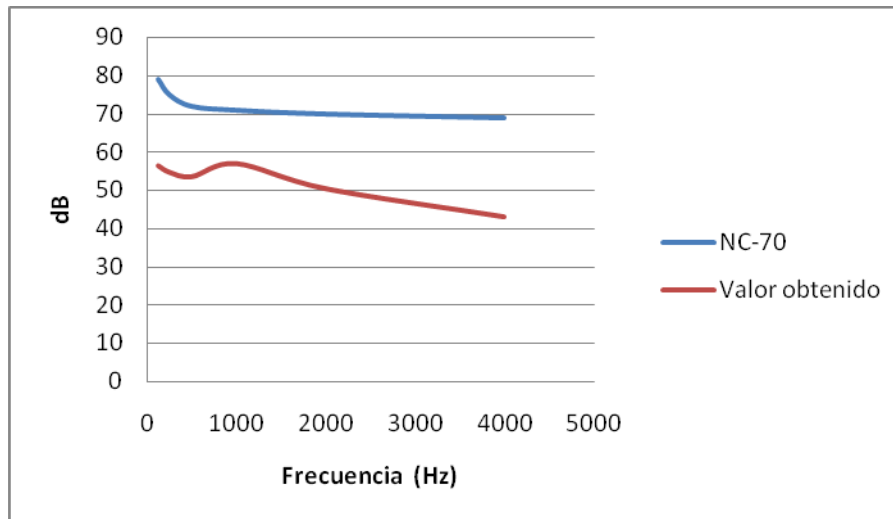


Figura 3.2. Resultados de la atenuación obtenida utilizando la barrera acústica en comparación de la curva NC-65.

Con los resultados obtenidos se visualiza que los niveles de ruido son reducidos en el punto seis, mediante la barrera acústica que se diseñó.

Como se ilustra en la figura 3.2 el valor obtenido no está totalmente por debajo de la curva NC-65, pero si se reducen los niveles de manera que ningún valor es superior a 70 dB.

Estos resultados son favorables porque se encuentran dentro de los niveles recomendados por la norma oficial mexicana NOM 011 y por la Organización Mundial de la Salud.

3.2 Silenciadores para ventiladores

Como se señaló en el planteamiento del problema una fuente de ruido son los ventiladores que se encuentran por encima de la máquina espumadora.

Los ventiladores se encuentran en diversas aplicaciones. Un ventilador puede utilizarse en funciones industriales y de procesamiento. Sin embargo, en todo dispositivo mecánico que requiere componentes para rotar a altas velocidades y el ruido puede ser un problema.

Si se precisan niveles de potencia sonora más bajos que los generados por ventiladores con un diseño adecuado es necesario añadir atenuación al sistema. Esto se puede conseguir gracias a silenciadores (llamados también atenuadores de sonido) instalados como unidades separadas del sistema o como parte integrante del ensamblaje de ventilación.

No existe ninguna regla preestablecida para seleccionar un silenciador, debido a que este debe ser elegido de acuerdo a criterios reales de dependiendo de cada tipo de ventilador. El silenciador en el sistema de entrada del ventilador que se

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

muestra en la figura se utiliza para reducir niveles de ruido emitido en la boca de entrada del ventilador.

La mayoría de los silenciadores para ventiladores son de tipo absorbente, ya que este modelo posee características de atenuación de banda ancha.

Los ventiladores de la máquina espumadora son de tipo axial, estos tipos de ventiladores transmiten la energía al aire por medio de un movimiento de giro como se muestra en la figura 3.3.

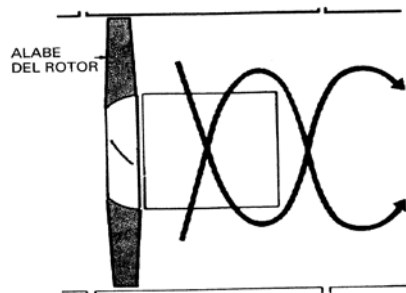


Figura 3.3. Movimiento en remolino de la corriente de aire provocado por el rotor de un ventilador axial.

Este flujo de aire en remolino no es el más apropiado para un flujo eficaz de aire a través del conducto adyacente; con el fin de mejorar su eficacia es necesario añadir álabes guías que enderecen el flujo, como se ilustra en la figura

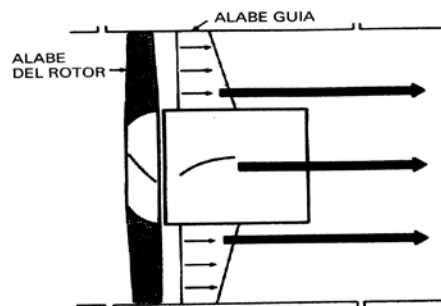


Figura 3.4. Los álabes guía enderezan el flujo en remolino aumentando la eficacia del ventilador, causando menores niveles de ruido como resultado.

Por otra parte como se muestra en la figura el ventilador tiene por delante material absorbente, pero dicho material se encuentra bastante deteriorado.



Figura 3.5. Fotografía de un ventilador de la máquina de espumado.

El diseño propuesto para el silenciador del ventilador se realizó de madera ya que es un material que sirve para atenuar las frecuencias altas, no es difícil de conseguir y no tiene un costo elevado.

Además de que se realizó el diseño de los alabes los cuales enderezan el flujo de aire en remolino, también se propuso colocar nuevo material absorbente a 40 cm de distancia del motor del ventilador.

Los álabes se diseñaron de madera con un grosor de 2cm y un largo de 20 cm. El material absorbente que se encuentra debajo del ventilador es también de madera, salvo que este se forrará de tela para que se logre una mayor atenuación.

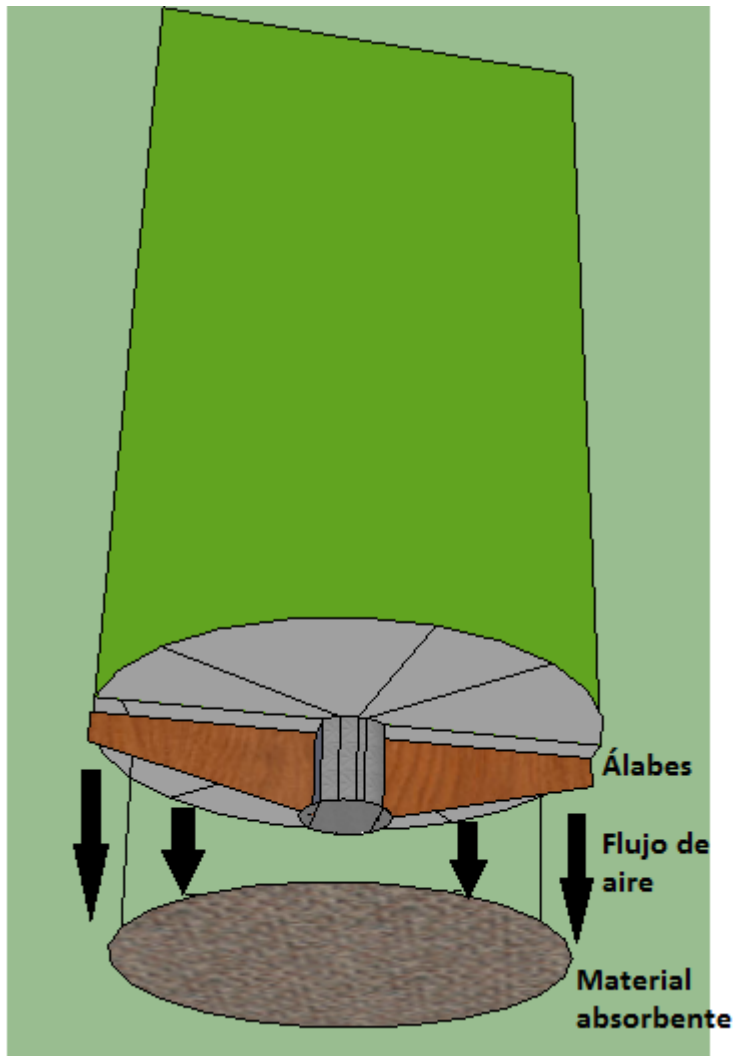


Figura 3.6 Modelo del silenciador (álabes) y el material absorbente para el ventilador, visto desde la parte inferior.

3.3 Encapsulado del motor de la máquina cortadora

El encapsulado acústico tiene como objetivo confinar elementos generadores de ruido, aislándolos acústicamente del entorno para evitar que el ruido o las vibraciones producidas en su funcionamiento afecten negativamente a los trabajadores o a otros elementos industriales.

En este caso el motor de la máquina cortadora genera ruido por lo cual se diseñará un encapsulado para reducir los niveles de ruido registrados.

Las mediciones propuestas para el encapsulado son 50cm de largo, por 30cm de ancho y 30cm de altura.

Se debe cumplir la siguiente condición por cada banda de octavas:

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

$$\frac{fV_0^{\frac{1}{3}}}{c} \geq 1$$

Donde:

f= frecuencia [Hz]

V₀= volumen del encapsulado

c = velocidad del sonido [340 m/s]

$$V_0 = 0.5\text{m} \times 0.3\text{m} \times 0.3\text{m} = 0.045 \text{ m}^3$$

✚ 125 Hz:

$$\frac{(125 \text{ Hz}) (0.045 \text{ m}^3)^{\frac{1}{3}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \geq 1$$

$$0.13 \geq 1$$

No cumple la condición

✚ 250 Hz:

$$\frac{(250 \text{ Hz}) (0.045 \text{ m}^3)^{\frac{1}{3}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \geq 1$$

$$0.26 \geq 1$$

No cumple la condición

✚ 500 Hz:

$$\frac{(500 \text{ Hz}) (0.045 \text{ m}^3)^{\frac{1}{3}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \geq 1$$

No cumple la condición

$$0.52 \geq 1$$

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

✚ 1000 Hz:

$$\frac{(1000 \text{ Hz})(0.045 \text{ m}^2)^{\frac{1}{3}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \geq 1$$

$$1.04 \geq 1$$

Cumple la condición

✚ 2000 Hz:

$$\frac{(2000 \text{ Hz})(0.045 \text{ m}^2)^{\frac{1}{3}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \geq 1$$

$$2.09 \geq 1$$

Cumple la condición

✚ 4000 Hz:

$$\frac{(4000 \text{ Hz})(0.045 \text{ m}^2)^{\frac{1}{3}}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \geq 1$$

$$4.18 \geq 1$$

Cumple la condición

De acuerdo con lo anterior la expresión se cumple en las frecuencias de 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz que justamente es en las que se encuentra mayor problema.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

El cuarto donde se encuentra la máquina cortadora mide 30 m de largo por 15 m de ancho y su altura es 5 m de una pared de concreto, más 3 m de un domo de aluminio.

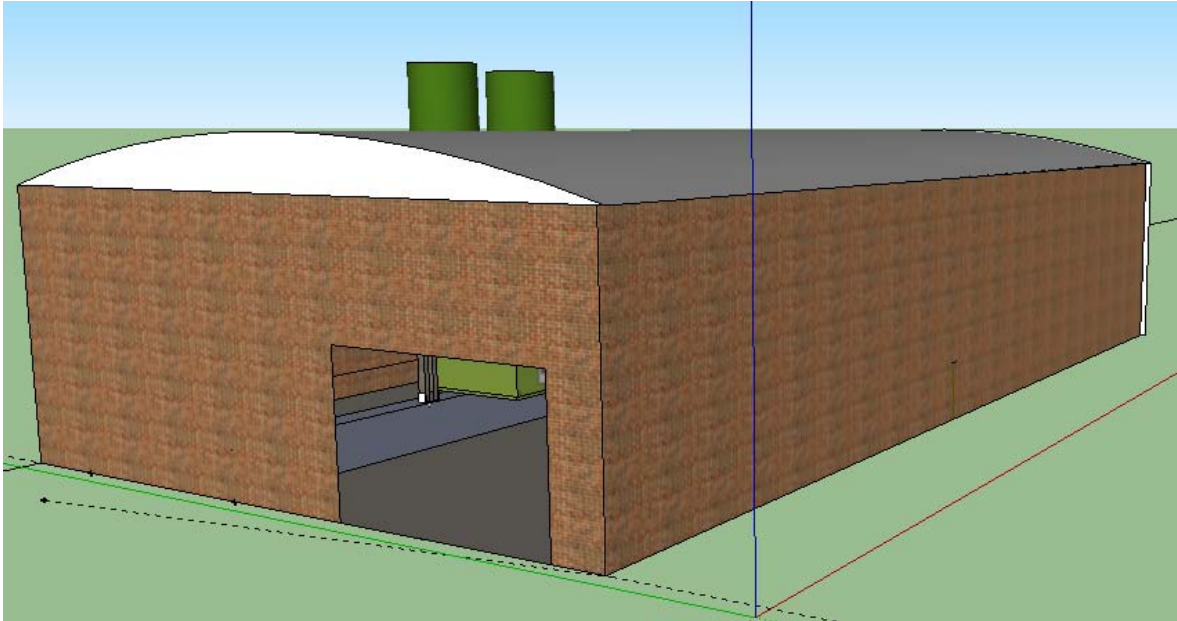


Figura 3.7. Vista frontal de la fábrica.

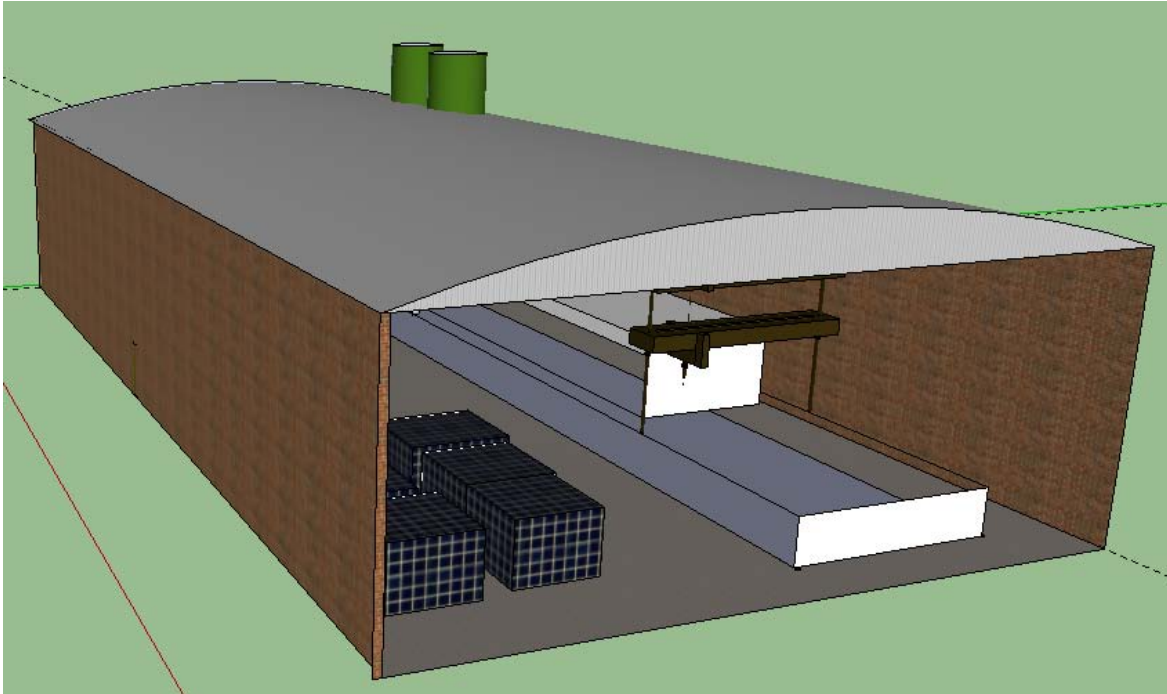


Figura 3.8. Vista trasera que se comunica con siguiente cuarto.

Las superficies de cada pared del cuarto son:

$$S_1 (\text{concreto}) = (30 \text{ m} \times 15 \text{ m}) = 450 \text{ m}^2$$

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

$$S2 \text{ (ladrillo)} = (30\text{m} \times 5\text{m}) = 150 \text{ m}^2$$

$$\text{Puerta} = 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 9 \text{ m}^2$$

$$S3 \text{ (ladrillo)} = (15 \text{ m} \times 5 \text{ m}) - 9 \text{ m}^2 = 66 \text{ m}^2$$

$$S4 \text{ (ladrillo)} = (30\text{m} \times 5\text{m}) = 150 \text{ m}^2$$

S5 = 0 En ésta parte del cuarto no hay muro.

Techo de lámina:

$$S6 = 31.5 \text{ m}^2$$

$$S7 = 31.5 \text{ m}^2$$

$$S8 = 600 \text{ m}^2$$

$$St = 1479 \text{ m}^2$$

✚ Para 1KHz:

Constante de absorción del cuarto.

Las constantes de absorción del concreto y ladrillo para cada banda de octava se encuentran en el apéndice C.

$$\alpha(\text{ladrillo}) = 0.02$$

$$\alpha(\text{concreto}) = 0.29$$

$$\alpha = \frac{(0.29)(450\text{m}^2) + (0.02)(150\text{m}^2) + (0.02)(66\text{m}^2) + (0.02)(150\text{m}^2)}{1479 \text{ m}^2} = 0.09$$

Constante del cuarto.

$$R = \frac{\alpha St}{1 - \alpha}$$

$$R = \frac{(0.09)(1479 \text{ m}^2)}{1 - 0.09} = 146.27 \text{ m}^2$$

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

El nivel de presión sonora para el motor sin encapsulado.

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) + 0.1$$

Q es el factor de directividad para la fuente de sonido, en éste caso es igual a 1

r es la distancia entre el motor y la persona afectada

$$L_p = 85.16 + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{146} \cdot 27m^2 + \frac{1}{4\pi(1.30m)^2} \right) + 0.1 = 84.13 \text{ dB}$$

$$\text{dB (A)} = 84.13 - 0 = 84.13 \text{ dB(A)}$$

Coefficiente de transmisión del sonido en un material.

$$\alpha_t = \frac{4z_1z_2}{(z_1 + z_2)^2}$$

La impedancia característica del aire y la madera se encuentra en el apéndice B.

$$z_1(\text{aire}) = 409.8 \text{ rayl}$$

$$z_2(\text{madera}) = 3.31 \times 10^6 \text{ rayl}$$

$$\alpha_t = \frac{4(409.8 \text{ rayl})(3.31 \times 10^6 \text{ rayl})}{(409.8 \text{ rayl} + 3.31 \times 10^6 \text{ rayl})^2} = 4.95 \times 10^{-4}$$

Pérdida de transmisión.

$$TL = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\alpha_t} \right)$$

$$TL = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{4.95 \times 10^{-4}} \right) = 33.05 \text{ dB}$$

Coefficiente de transmisión del sonido.

$$\alpha_{tl} = 10^{-\frac{TL}{10}}$$

$$\alpha_{tl} = 10^{-\frac{33.05}{10}} = 0.00049$$

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Suma de los coeficientes de transmisión.

La suma de superficies del encapsulado es de 0.758 m²

$$\sum S a_{ti} = (0.758 \text{ m}^2)(0.00049) + (0.022 \text{ m}^2)(1/3) = 0.0077 \text{ m}^2$$

Coefficiente de absorción del encapsulado.

$$\alpha(\text{madera}) = 0.04$$

$$\alpha_j = \frac{(0.758 \text{ m}^2)(0.04)}{1479 \text{ m}^2} = 0.04$$

Suma de los coeficientes de absorción.

$$\sum S \alpha_j = (0.758 \text{ m}^2)(0.04) + (0.022 \text{ m}^2)(1) = 0.05 \text{ m}^2$$

Relación de potencia del sonido para el encapsulado.

$$\frac{w}{w_{out}} = 1 + \frac{\sum S \alpha_j}{\sum S a_{ti}}$$
$$\frac{W}{W_{out}} = 1 + \frac{0.05 \text{ m}^2}{0.0077 \text{ m}^2} = 7.49$$

Pérdida de inserción.

$$IL = 10 \log_{10} (W/W_{out})$$

$$IL = 10 \log_{10} (7.49) = 8.7 \text{ dB}$$

$$L_{wout} = 85.16 - 8.7 = 76.46 \text{ dB}$$

El nivel de presión sonora para el motor con encapsulado.

$$L_p = 76.46 + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{146} \cdot 27 \text{ m}^2 + \frac{1}{4\pi(1.30 \text{ m})^2} \right) + 0.1 = 75.43 \text{ dB}$$

$$\text{dB (A)} = 75.43 - 0 = 75.43 \text{ dB (A)}$$

✚ Para 2KHz:

$$\alpha = 0.12$$

$$\mathbf{R} = 201.68 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{Lp} = 86.47 \text{ dB}$$

$$\text{dB (A)} = 86.47 + 1 = 87.47 \text{ dB (A)}$$

$$a_t = 4.95 \times 10^{-4}$$

$$TL = 33.05 \text{ dB}$$

$$a_{tl} = 0.00049$$

$$\sum S a_{tl} = 0.0077 \text{ m}^2$$

$$L_{wout} = 87.5 - 8.7 = 78.8 \text{ dB}$$

$$\mathbf{Lp} = 77.77 \text{ dB}$$

$$\text{dB (A)} = 77.77 + 1 = \mathbf{78.7 \text{ dB (A)}}$$

✚ Para 4KHz:

$$\alpha = 0.08$$

$$\mathbf{R} = 128.6 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{Lp} = 85.87 \text{ dB}$$

$$\text{dB (A)} = 85.87 + 1 = 86.87 \text{ dB (A)}$$

$$a_t = 4.95 \times 10^{-4}$$

$$TL = 33.05 \text{ dB}$$

$$a_{tl} = 0.00049$$

$$\sum S a_{tl} = 0.0077 \text{ m}^2$$

$$L_{wout} = 87.5 - 8.7 = 78.8 \text{ dB}$$

$$\mathbf{Lp} = 77.17 \text{ dB}$$

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

$$\text{dBA} = 77.17 + 1 = \mathbf{78.17 \text{ dBA}}$$

Los cálculos se realizaron para 1 KHz, 2 KHz y 4 KHz que es donde se cumplía

la expresión $\frac{fV_0^{\frac{1}{3}}}{c} \geq$, estos cálculos fueron de gran ayuda ya que justamente son estas frecuencias en las que se encuentra el problema de ruido.

Analizando los resultados obtenidos se observa que ésta solución es útil para el problema de ruido, debido a que en las frecuencias altas atenúa lo suficiente para que no rebase el límite permitido por la norma oficial mexicana NOM 011 y la norma oficial mexicana NOM 081.

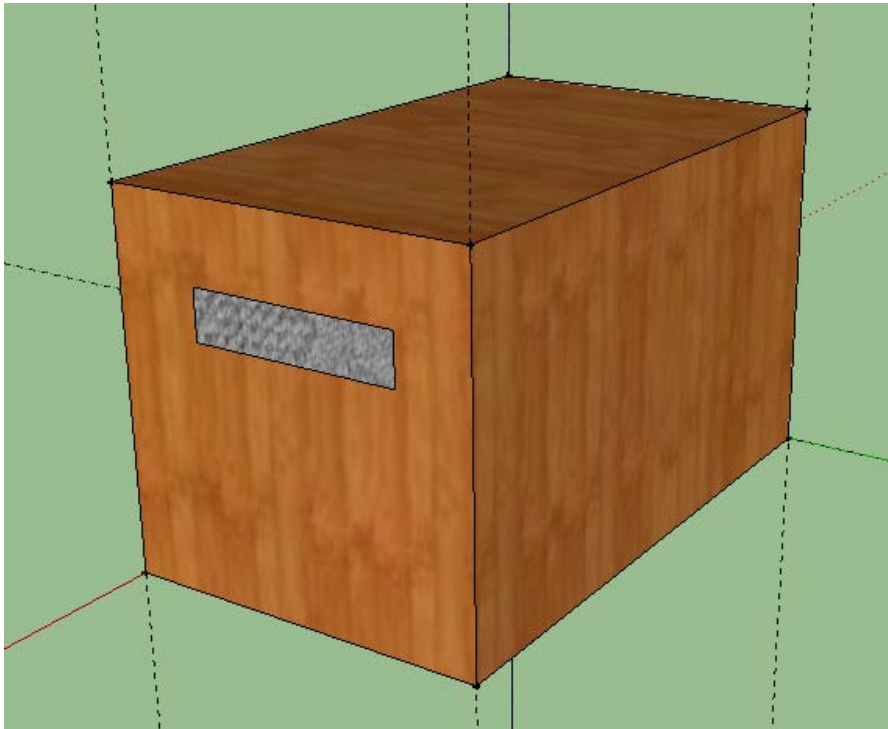


Figura 3.10. Modelo resultante del encapsulado acústico para el motor de la máquina cortadora.

3.4 Protectores Auditivos

Para elegir los protectores auditivos adecuados se debe considerar primero que frecuencias son las que dan mayor problema, en este caso el mayor nivel de ruido se detectó en las frecuencias altas.

Otro factor que se debe considerar es el precio de los protectores, debido a que el control de ruido no solo trata de encontrar la solución al problema, sino también la más viable y económica posible.

Como primer paso se busco una lista de protectores auditivos que fueran factibles para poderlos conseguir en el mercado. Los modelos se enlistan a continuación:

- 1-.Protector auditivo 3M 1435.
- 2-.Protector auditivo OPTIME 1 H510F.
- 3-.Tapón auditivo PRO SEALS.
- 4-.Tapón auditivo EAR CABOCORD.
- 5-.Protector auditivo 3M 1440.

Se obtuvieron las características de cada uno de ellos para poder realizar el análisis y elegir los más adecuados para solucionar

A continuación se ejemplificará el análisis con uno de los cinco protectores, de esta manera se realizó el mismo procedimiento para los cuatro restantes.

PROTECTOR AUDITIVO OPTIME 1 H510F

- Ref. 864
- Norma: EN 352-1
- Color: Amarillo
- Materiales: Carcasa termoplástica / Banda acero



CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Figura 3.8 Imagen del protector auditivo OPTIME 1H510F

Banda de cabeza plegable con memoria (recupera fácilmente su posición inicial tras el uso). Protector auditivo versátil y de poco peso. Almohadilla de relleno blando, cómoda incluso en uso prolongado. Excelente para entornos con ruido industrial poco intenso. Ideal para guardar en la caja de herramientas o en el bolsillo. Se despliega y pliega con facilidad y rapidez.

FRECUENCIA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuación media (dB)	12.2	18.7	27.1	32.9	35.0	36.5	34.4
Desviación estándar (dB)	3.4	3.2	3.0	2.1	4.0	2.9	3.9
Protección asumida (dB)	8.7	15.5	24.1	30.8	31.0	33.6	30.6

Tabla 3.3. Datos proporcionados por el fabricante de los protectores auditivos.

Se consideró el nivel de atenuación que proporciona cada uno de los protectores. Tomando dos veces la desviación estándar dada por el fabricante, se restó al nivel de atenuación del mismo. Esto se llevó a cabo ya que los datos que da el fabricante son resultados obtenidos de laboratorio y la situación real será en otras condiciones. Esto se muestra en la tabla número 10.

PROTECTOR AUDITIVO OPTIME I H510F							
FRECUENCIA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuación media (dB)	12.2	18.7	27.1	32.9	35	36.5	34.4
Desviación estándar (dB)	3.4	3.2	3	2.1	4	2.9	3.9
Protección asumida (dB)	8.7	15.5	24.1	30.8	31	33.6	30.6
Protección asumida 2 (dB)	5.4	12.3	21.1	28.7	27	30.7	26.6

Tabla 3.4. Datos resultantes del cálculo de la protección asumida final utilizando dos veces la desviación estándar.

Analizando los resultados obtenidos, se determinó el nivel de ruido percibido por el trabajador restando al nivel medido la atenuación del protector. De esta

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

manera se tiene el ruido percibido usando el protector auditivo en cada punto de medición de la figura 2.12.

	PROTECTOR OPTIME 1 H510F						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	77,98	78,06	80,66	86,68	87,8	86,46	84,6
ATENUACION DEL PROTECTOR	5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	72,58	65,76	59,56	57,98	60,8	55,76	58

Tabla 3.5. Nivel percibido por el trabajador en el punto uno de medición usando el protector auditivo OPTIME 1 H510F.

	PROTECTOR OPTIME 1 H510F						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	77,6	78,3	79,78	87,36	87,68	86,5	85,44
ATENUACION DEL PROTECTOR	5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	72,2	66	58,68	58,66	60,68	55,8	58,84

Tabla 3.6. Nivel percibido por el trabajador en el punto dos de medición usando el protector auditivo OPTIME 1 H510F.

	PROTECTOR OPTIME 1 H510F						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	74,7	75,84	78,06	85,16	87,5	86,9	86,58
ATENUACION DEL PROTECTOR	5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	69,3	63,54	56,96	56,46	60,5	56,2	59,98

Tabla 3.7. Nivel percibido por el trabajador en el punto tres de medición usando el protector auditivo OPTIME 1 H510F.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

		PROTECTOR OPTIME 1 H510F						
		125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO		77,64	78,38	78,02	86,26	88,42	87,78	86,04
ATENUACION DEL PROTECTOR		5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR		72,24	66,08	56,92	57,56	61,42	57,08	59,44

Tabla 3.8. Nivel percibido por el trabajador en el punto cuatro de medición usando el protector auditivo OPTIME 1 H510F.

		PROTECTOR OPTIME 1 H510F						
		125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO		77,18	76,52	79,36	85,88	88,18	87,14	86,68
ATENUACION DEL PROTECTOR		5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR		71,78	64,22	58,26	57,18	61,18	56,44	60,08

Tabla 3.9. Nivel percibido por el trabajador en el punto cinco de medición usando el protector auditivo OPTIME 1 H510F.

		PROTECTOR OPTIME 1 H510F						
		125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO		76,38	76,66	78,5	87,94	88,34	85,88	85,84
ATENUACION DEL PROTECTOR		5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR		70,98	64,36	57,4	59,24	61,34	55,18	59,24

Tabla 3.10. Nivel percibido por el trabajador en el punto seis de medición usando el protector auditivo OPTIME 1 H510F.

El resultado de esto nos permitió hacer la comparación con los NC establecidos, en este caso NC-60 a NC-70. Se utilizaron estas curvas ya que son las que recomendadas en la literatura para fábricas. Estos datos se ilustran con gráficas para un mejor entendimiento de los resultados obtenidos.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

✚ Punto 1

	PROTECTOR OPTIME 1 H510F						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	77,98	78,06	80,66	86,68	87,8	86,46	84,6
ATENUACION DEL PROTECTOR	5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	72,58	65,76	59,56	57,98	60,8	55,76	58
NC 65	75	72	68	66	65	64	63
NC60	71	66	64	61	58	57	56

Tabla 3.11. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 1.

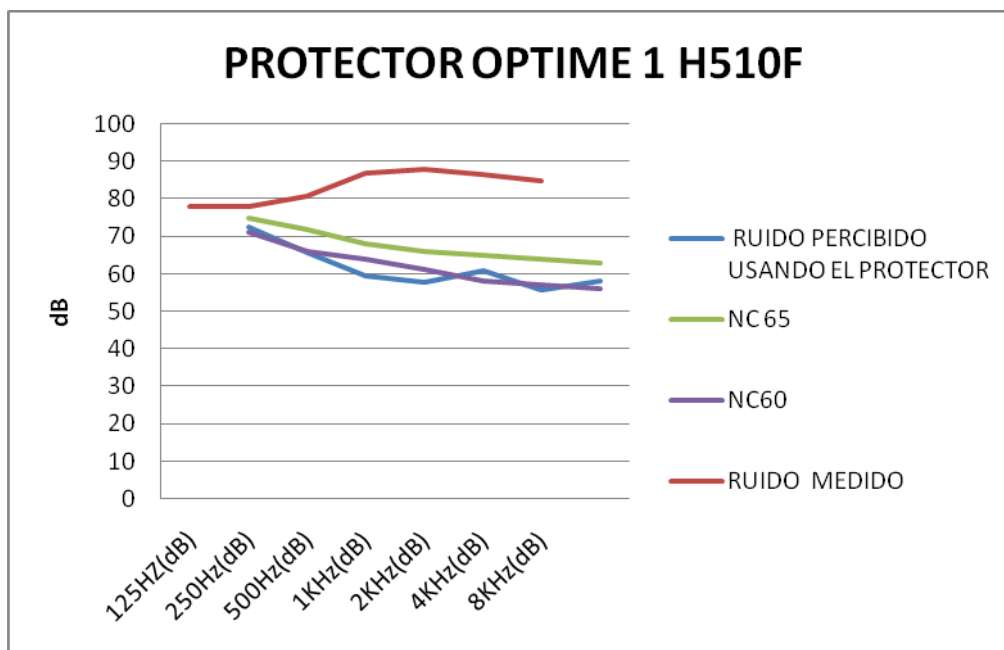


Figura 3.9. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 1

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

✚ Punto 2

PROTECTOR OPTIME 1 H510F							
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	77,6	78,3	79,78	87,36	87,68	86,5	85,44
ATENUACION DEL PROTECTOR	5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	72,2	66	58,68	58,66	60,68	55,8	58,84
NC 65	75	72	68	66	65	64	63
NC60	71	66	64	61	58	57	56

Tabla 3.12. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 2.

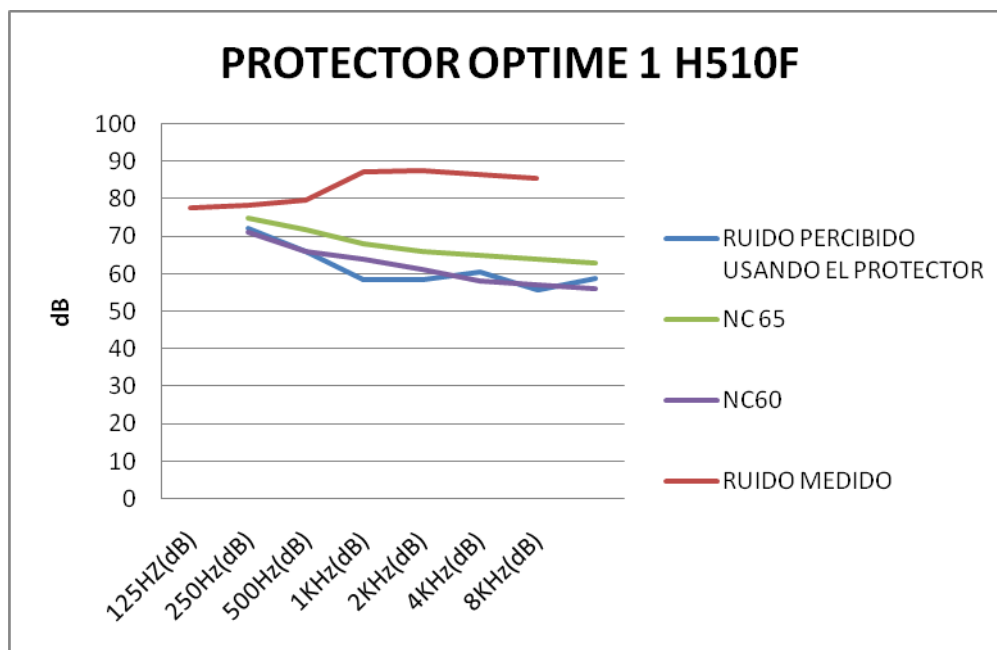


Figura 3.10. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 2

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

📍 Punto 3

	PROTECTOR OPTIME 1 H510F						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	74,7	75,84	78,06	85,16	87,5	86,9	86,58
ATENUACION DEL PROTECTOR	5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	69,3	63,54	56,96	56,46	60,5	56,2	59,98
NC 65	75	72	68	66	65	64	63
NC60	71	66	64	61	58	57	56

Tabla 3.13. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 3.

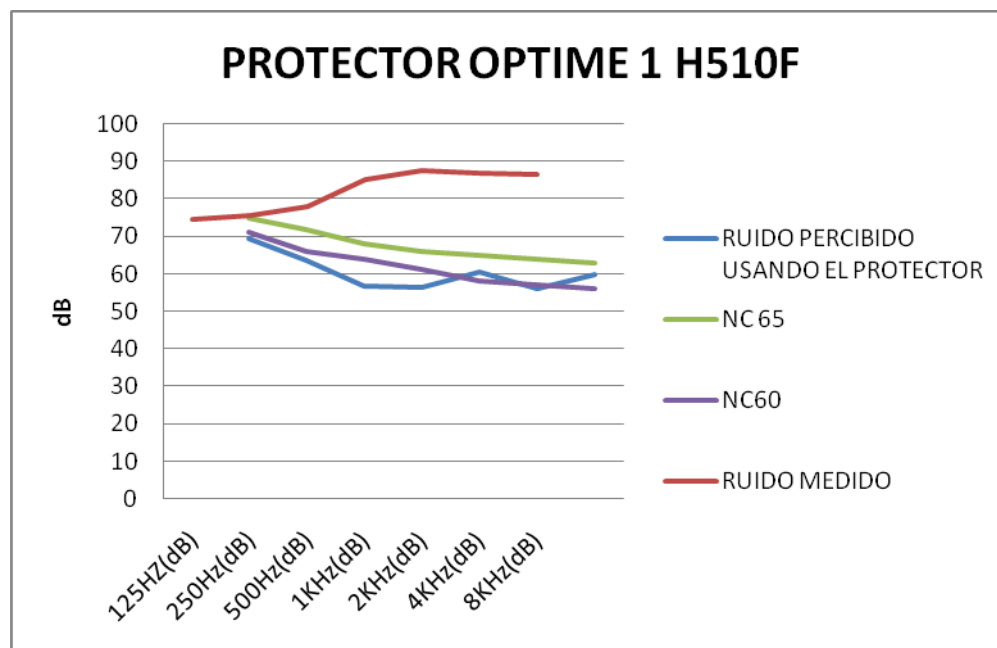


Figura 3.11. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 3.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

🚧 Punto 4

	PROTECTOR OPTIME 1 H510F						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	77,64	78,38	78,02	86,26	88,42	87,78	86,04
ATENUACION DEL PROTECTOR	5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	72,24	66,08	56,92	57,56	61,42	57,08	59,44
NC 65	75	72	68	66	65	64	63
NC60	71	66	64	61	58	57	56

Tabla 3.14. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 4.

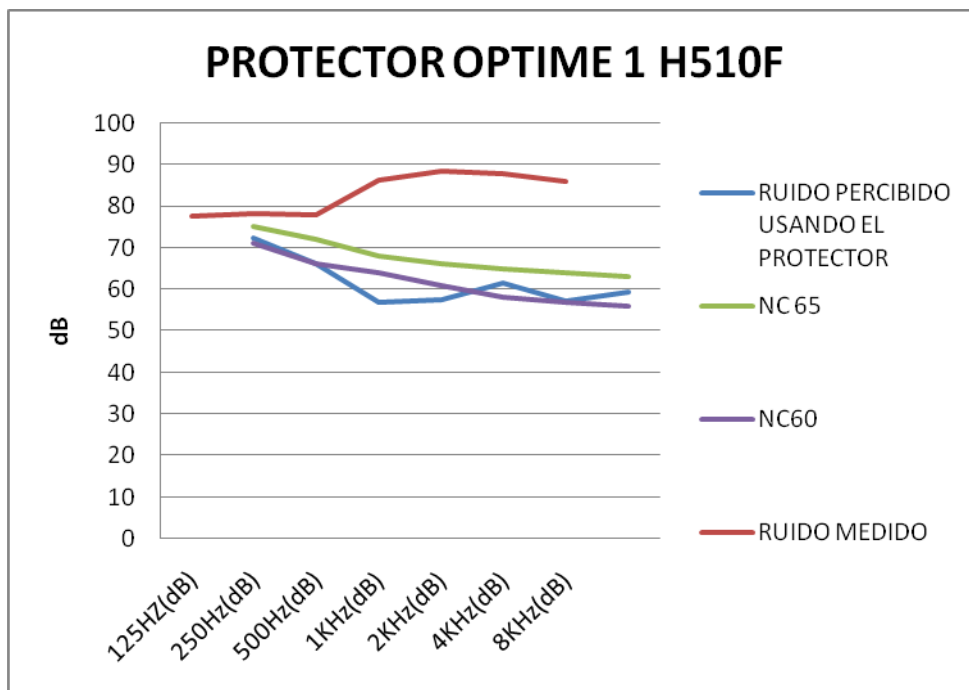


Figura 3.12. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 4.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

📍 Punto 5

	PROTECTOR OPTIME 1 H510F							
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)	
RUIDO MEDIDO	77,18	76,52	79,36	85,88	88,18	87,14	86,68	
ATENUACION DEL PROTECTOR	5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6	
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	71,78	64,22	58,26	57,18	61,18	56,44	60,08	
NC 65	75	72	68	66	65	64	63	
NC60	71	66	64	61	58	57	56	

Tabla 3.15. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 5.

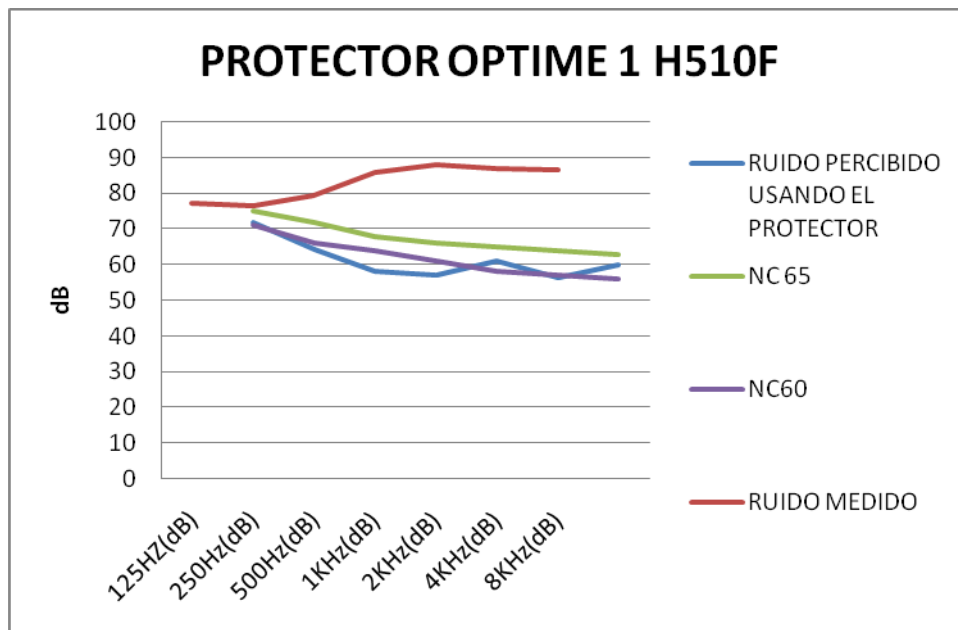


Figura 3.13. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 5.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

🚧 Punto 6

	PROTECTOR OPTIME 1 H510F							
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)	
RUIDO MEDIDO	76,38	76,66	78,5	87,94	88,34	85,88	85,84	
ATENUACION DEL PROTECTOR	5,4	12,3	21,1	28,7	27	30,7	26,6	
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	70,98	64,36	57,4	59,24	61,34	55,18	59,24	
NC 65	75	72	68	66	65	64	63	
NC60	71	66	64	61	58	57	56	

Tabla 3.16. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 6.

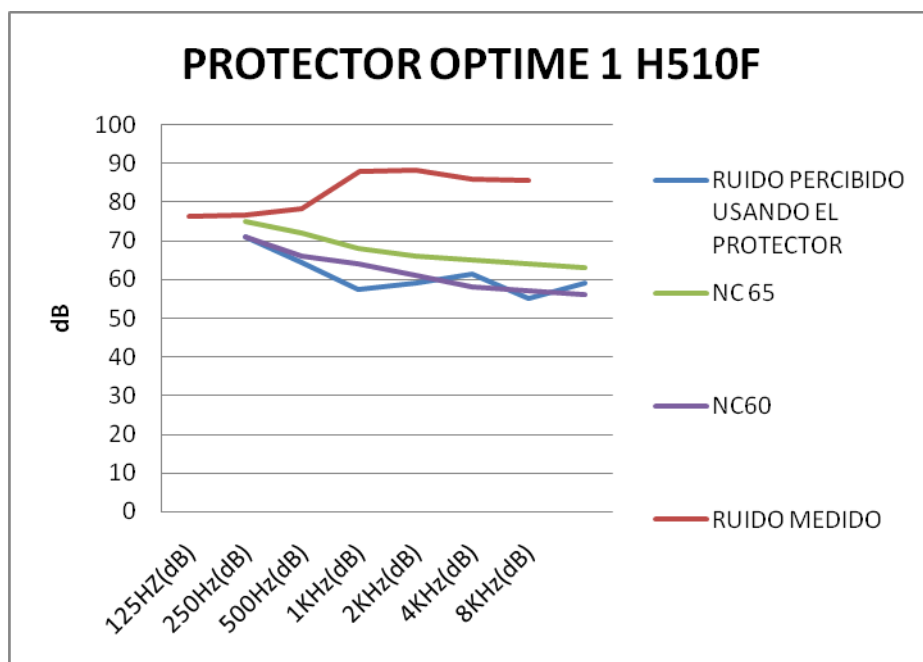


Figura 3.14. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 6.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

En las gráficas se representa de una mejor manera la comparación entre el nivel de ruido medido (línea en color rojo) y el ruido que es percibido por el trabajador en cada punto, al usar los protectores auditivos (línea en color azul). De igual manera se incluye en las gráficas las curvas NC para indicar que cumplen con el margen de NC recomendados para fábricas.

Realizando este procedimiento para los cinco protectores auditivos, se eligieron dos en particular debido a que estos se aproximan demasiado a las curvas NC recomendadas para fábricas, son económicos y cómodos.

Los protectores elegidos son:

- ❖ Protector auditivo OPTIME 1 H510F.
- ❖ Protector auditivo 3M 1440.

Protector auditivo OPTIME 1 H510F (figura 3.8)

Anteriormente se mostraron todas las gráficas del análisis de este protector auditivo, en donde se comprueba que cumple con los NC recomendados. Por lo que sólo se mostrarán las características y las gráficas del protector 3M 1440.

Protector auditivo 3M 1440

Estos protectores brindan una protección auditiva de alto confort. Incorpora arnés almohadado en su parte interior que mejora la comodidad. Ajuste de presión individualizado. Eliminación de transmisión de sonidos gracias a sus interiores moldeados que maximizan el espacio. Almohadillas suaves y con forma anatómica para mejorar el sellado.



Figura 3.15. Imagen de los protectores auditivos 3M 1440.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

PROTECTOR AUDITIVO 3M 1440								
FRECUENCIA (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuación media (dB)	13.7	11.2	19.1	25.7	29.2	32	36.8	39
Desviación estándar (dB)	3.9	3.2	2.2	2.7	3.1	2.3	2.7	3.7
Protección asumida (dB)	9.8	8	16.9	23	26.1	29.7	34.1	35.3

Tabla 3.17. Características del protector auditivo 3M1440

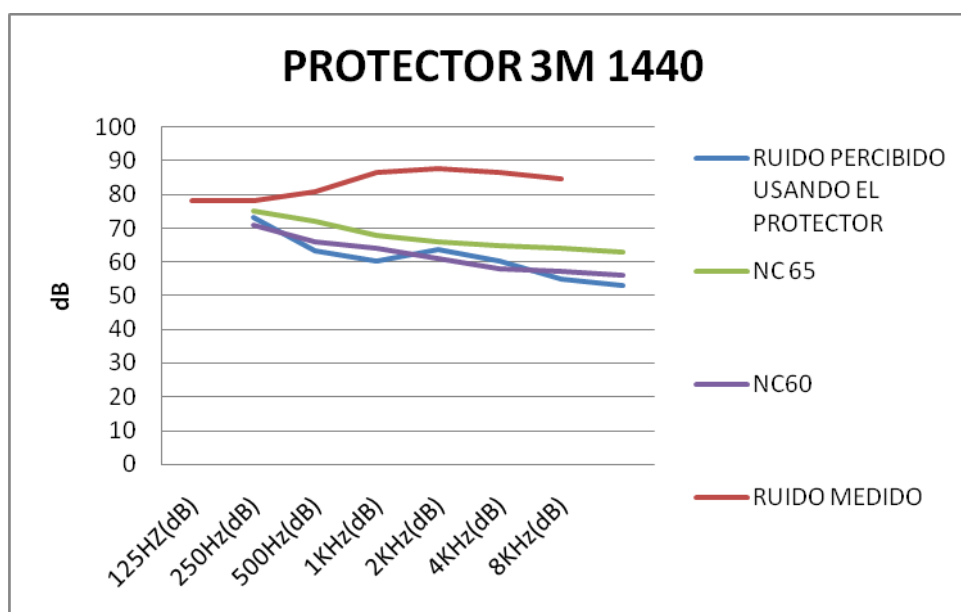
A continuación se muestran las tablas de comparación y las gráficas de la protección que brindara este protector en cada punto de medición.



Punto 1

	PROTECTOR AUDITIVO 3M 1440						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	77,98	78,06	80,66	86,68	87,8	86,46	84,6
ATENUACION DEL PROTECTOR	4,8	14,7	20,3	23	27,4	31,4	31,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	73,18	63,36	60,36	63,68	60,4	55,06	53
NC 65	75	72	68	66	65	64	63
NC60	71	66	64	61	58	57	56

Tabla 3.18. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 1



CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Figura 3.16. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 1.



Punto 2

	PROTECTOR AUDITIVO 3M 1440						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	77,6	78,3	79,78	87,36	87,68	86,5	85,44
ATENUACION DEL PROTECTOR	4,8	14,7	20,3	23	27,4	31,4	31,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	72,8	63,6	59,48	64,36	60,28	55,1	53,84
NC 65	75	72	68	66	65	64	63
NC60	71	66	64	61	58	57	56

Tabla 3.19. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 2.

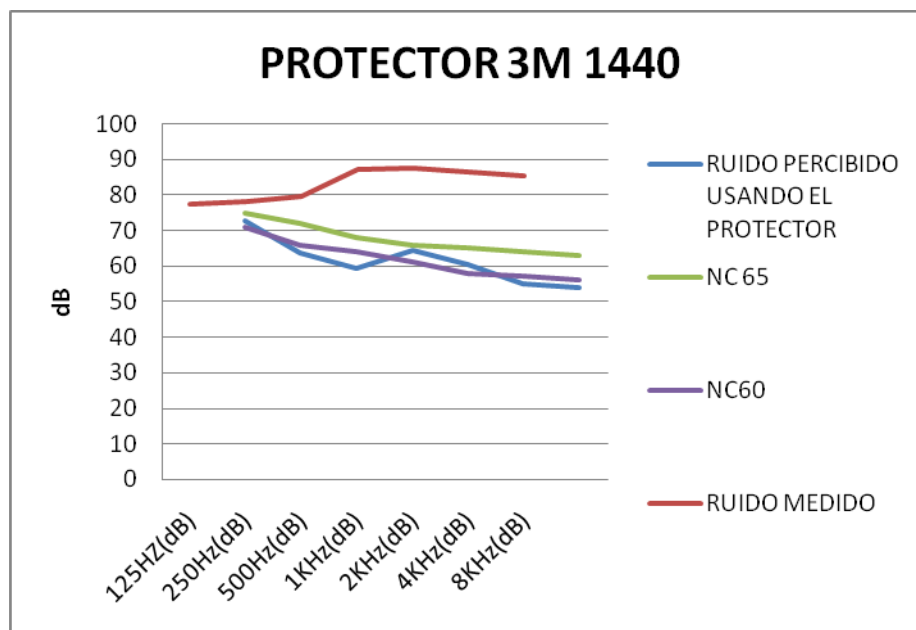


Figura 3.17. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 2.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.



Punto 3

	PROTECTOR AUDITIVO 3M 1440						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	74,7	75,84	78,06	85,16	87,5	86,9	86,58
ATENUACION DEL PROTECTOR	4,8	14,7	20,3	23	27,4	31,4	31,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	69,9	61,14	57,76	62,16	60,1	55,5	54,98
NC 65	75	72	68	66	65	64	63
NC60	71	66	64	61	58	57	56

Tabla 3.20. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 3.

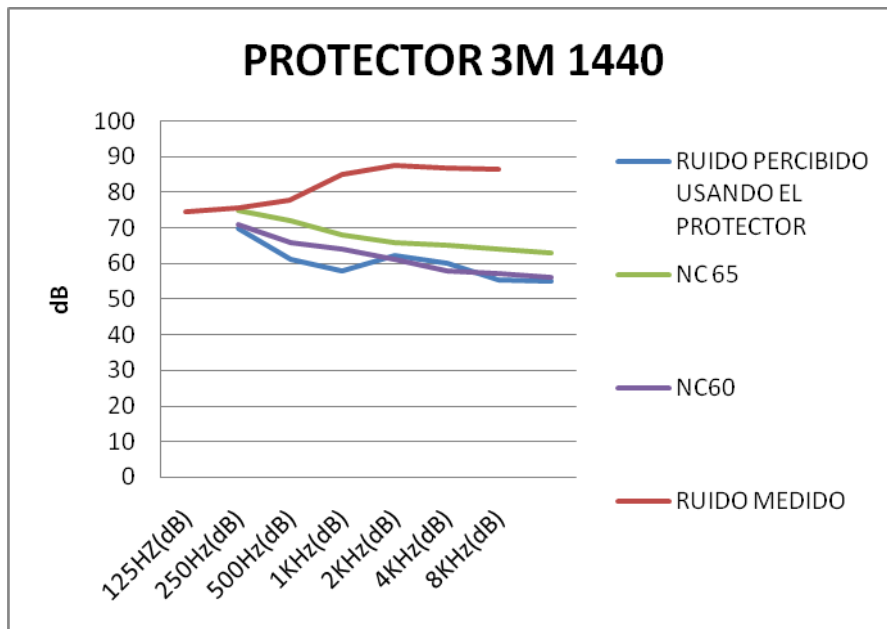


Figura 3.18. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 3.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.



Punto 4

	PROTECTOR AUDITIVO 3M 1440						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	77,64	78,38	78,02	86,26	88,42	87,78	86,04
ATENUACION DEL PROTECTOR	4,8	14,7	20,3	23	27,4	31,4	31,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	72,84	63,68	57,72	63,26	61,02	56,38	54,44
NC 65	75	72	68	66	65	64	63
NC60	71	66	64	61	58	57	56

Tabla 3.21. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 4.

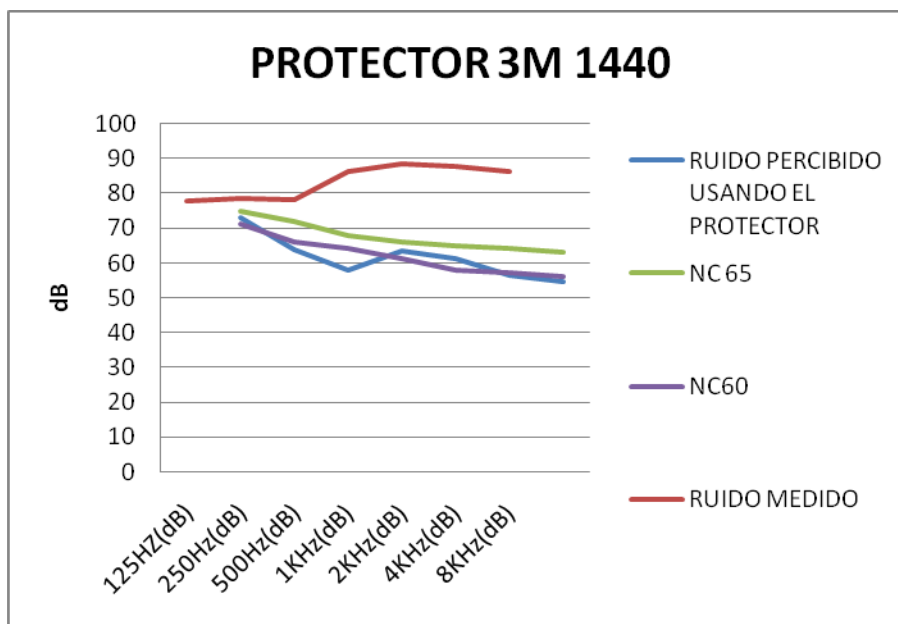


Figura 3.19. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 4.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.



Punto 5

PROTECTOR AUDITIVO 3M 1440							
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	77,18	76,52	79,36	85,88	88,18	87,14	86,68
ATENUACION DEL PROTECTOR	4,8	14,7	20,3	23	27,4	31,4	31,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	72,38	61,82	59,06	62,88	60,78	55,74	55,08
NC 65	75	72	68	66	65	64	63
NC60	71	66	64	61	58	57	56

Tabla 3.22. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 5.

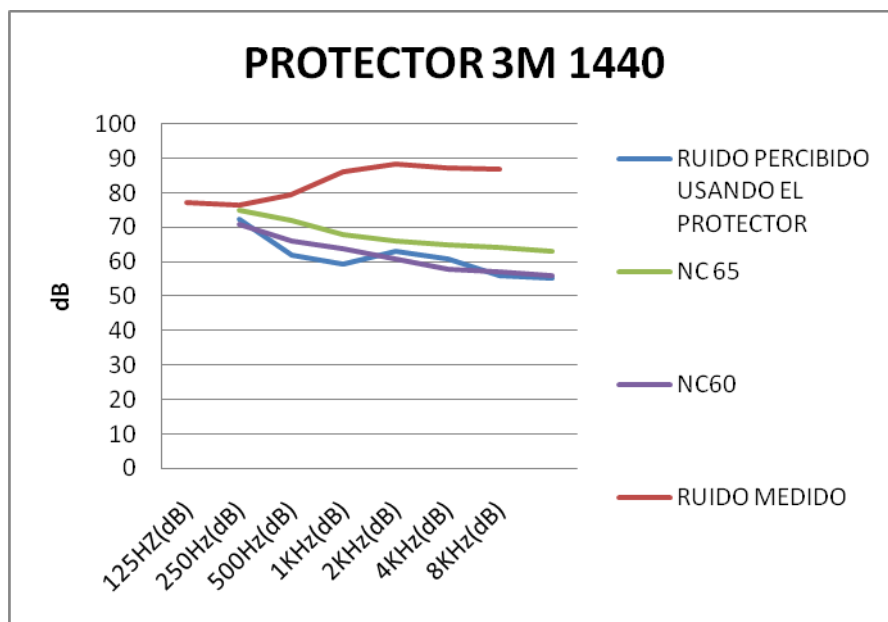


Figura 3.20. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 5.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.



Punto 6

	PROTECTOR AUDITIVO 3M 1440						
	125Hz(dB)	250Hz(dB)	500Hz(dB)	1KHz(dB)	2KHz(dB)	4KHz(dB)	8KHz(dB)
RUIDO MEDIDO	76,38	76,66	78,5	87,94	88,34	85,88	85,84
ATENUACION DEL PROTECTOR	4,8	14,7	20,3	23	27,4	31,4	31,6
RUIDO PERCIBIDO USANDO EL PROTECTOR	71,58	61,96	58,2	64,94	60,94	54,48	54,24
NC 65	75	72	68	66	65	64	63
NC60	71	66	64	61	58	57	56

Tabla 3.23. Comparación del ruido percibido usando el protector y las curvas NC en el punto 6.

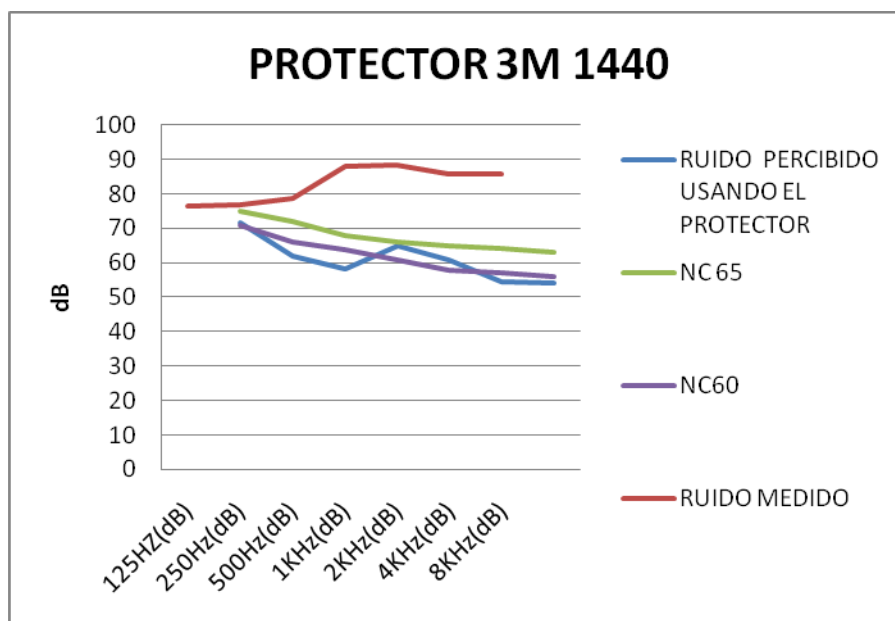


Figura 3.21. Representación gráfica del ruido medido, el ruido percibido por el trabajador usando el protector y las curvas NC en el punto 6.

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Conforme a la NOM 011 los niveles no deben rebasar 85 dB (A). Así que se hizo la conversión en dB (A) de los promedios dados en dB en cada punto.

RUIDO TOTAL dB (A)	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6
PROTECTOR 2	66,53	66,61	70,44	66,84	66,61	66,59
PROTECTOR 4	67,49	67,69	66,34	67,44	67,16	67,87

Tabla 3.24. Niveles de ruido resultantes en dB(A) a los que el trabajador está expuesto en los seis puntos de medición.

Mediante el análisis se observa que en cada punto de medición, los trabajadores están expuestos a niveles de ruido menores a los recomendados por la norma oficial mexicana NOM 011 y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

CAPÍTULO IV

ESTUDIO ECONÓMICO

	Precio	Mano de obra	Total
Madera para barrera (3mx2m)	\$1000	\$200	\$1200
Madera para alabes	\$400	\$100	\$500
Encapsulado acústico	\$350	Incluido	\$350
Protector OPTIME 1 H510F	\$150	—	\$150
Protector 3M 1440	\$160	—	\$160
Costo Total		1200	14360

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

CONCLUSIONES

En el presente proyecto se comprobó por medio de mediciones y de un análisis en las áreas de la fábrica R.u.v.a. Espuma, que los niveles de ruido en la sección de espumado no se encuentran dentro de los límites permisibles de acuerdo a las normas oficiales mexicanas NOM 011 y NOM 081.

Tomando en cuenta las mediciones realizadas en seis puntos del área de espumado, se realizaron cuatro alternativas para la solución al problema de ruido que afecta a los empleados de esta sección, y que se encuentran en peligro de tener lesiones en el oído.

La barrera acústica resulta útil para disminuir el ruido en el punto seis, en donde labora un empleado manejando los controles de la máquina espumadora, con esta propuesta se disminuye el nivel de ruido, incluso hasta llegar a niveles por debajo de la curva NC 70 que es recomendada para fábricas.

Con el encapsulado acústico que se diseñó para disminuir el ruido que emite el motor de la máquina cortadora, se consigue una atenuación en las frecuencias altas, y esto es bastante propicio debido a que en éstas frecuencias se encuentra el problema de ruido.

Los silenciadores que se diseñaron son también llamados álabes y se recomiendan para su implementación en la salida de cada ventilador, mediante el uso de ellos se evita que se generen remolinos de aire en su interior y esto es favorable porque son causantes de bastante ruido en el área de espumado.

Por última opción para la solución del problema de ruido se optó por seleccionar dos protectores auditivos, de los cuales se elaboró un análisis teórico de cada uno y mediante este determinar el más adecuado para proteger al trabajador de los niveles de ruido detectados en cada punto. La ventaja de llevar a cabo el análisis teórico que permite implementar un modelo de protector auditivo, ya que éstos ya se encuentran en el mercado y a partir de las características que proporciona cada uno de ellos por medio del fabricante son los que se pueden adquirir. A pesar de que no se llevo el análisis práctico se puede ver de manera grafica los niveles detectados por el trabajador con y sin los protectores auditivos, se muestra que con los protectores puestos el nivel se encuentra dentro de las NC 60 y NC 65, las cuales son recomendadas para la industria pesada.

Queda estipulado que los protectores auditivos son recomendados como última opción, debido a que puede interferir con la comunicación entre los

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

empleados y esto es arriesgado en una fábrica porque en caso de algún incidente el trabajador no podrá escuchar las advertencias de sus compañeros.

El control de ruido es importante hoy en día, debido a la globalización y la competitividad en el campo de la industria, se deja de lado la salud laboral y más aún la protección auditiva. Resulta importante concientizar al trabajador del problema de ruido en las empresas, pero más importante aún educarlo para que sea partícipe de los planes y proyectos que permitan, particularmente, proteger y conservar su salud auditiva.

Por otra parte buscar la solución de ruido no involucra solamente reparar la maquinaria, también se debe encontrar la manera que la solución no altere las labores diarias del lugar a tratar, porque se pueden generar pérdidas económicas, sobre todo en las grandes industrias que necesitan estar activas diariamente. Esto conlleva a buscar la mejor solución de acuerdo a las posibilidades del lugar en donde se halle algún problema de ruido.

Bibliografía

Barron Randall F.

Industrial Noise Control and Acoustics

Marcel Dekker, Inc.

534 pp.

Cyril M.Harris

Manual de medidas acústicas y control del ruido

McGRAW-HILL

Tercera edición

Beristáin Sergio

Audio

Primera edición 1998

Thomas Lindvall

Dietrich H. Schewela

Birgitta Berglund

Guía para el ruido urbano de la OMS

1995

J.LLINARES, A. LLOPIS, J. SANCHO

Acústica arquitectónica y urbanística

LIMUSA

2008

368 pp

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

ANEXO A: ENCUESTA

R.u.v.a. Espuma

Trabajadores que NO laboran en el área de espumado

1- ¿Presentas fatiga al trabajar o transitar en el área de espumado?

SI

NO

2- ¿Presentas irritabilidad al trabajar o transitar en el área de espumado?

SI

NO

3- ¿Presentas zumbidos durante y después de tu jornada laboral?

SI

NO

4- ¿Presentas estrés al trabajar o transitar en el área de espumado?

SI

NO

5- ¿Has detectado algún nivel de pérdida auditiva a partir de que laboras o transitas por el área de espumado?

SI

NO

6- ¿Presentas dolor de cabeza al trabajar o transitar en el área de espumado?

SI

NO

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Trabajadores que laboran en el área de espumado

1- ¿Presentas fatiga al trabajar o transitar en el área de espumado?

SI

NO

2- ¿Presentas irritabilidad al trabajar o transitar en el área de espumado?

SI

NO

3- ¿Presentas zumbidos durante y después de tu jornada laboral?

SI

NO

4- ¿Presentas estrés al trabajar o transitar en el área de espumado?

SI

NO

5- ¿Has detectado algún nivel de pérdida auditiva a partir de que laboras o transitas por el área de espumado?

SI

NO

6- ¿Presentas dolor de cabeza al trabajar o transitar en el área de espumado?

SI

NO

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

APÉNDICE B: PROPIEDADES DE GASES, LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

Material	Density ρ , kg/m ³	Speed of sound c , m/s	Characteristic impedance Z_0 , rayl
Gases at 25°C (77°F) and 1 atm.			
Air	1.184	346.1	409.8
Ammonia	0.696	434.5	302.4
Carbon dioxide	1.799	269.5	484.7
Helium	0.1636	1,016.1	166.2
Hydrogen	0.0824	1,316.4	108.5
Methane	0.666	448.1	293.7
Nitrogen	1.145	352.0	403.0
Oxygen	1.308	328.5	429.6
Steam at 100°C	0.5978	472.8	282.6
Liquids:			
Ethyl alcohol (25°C)	787	1,144	0.900×10^6
Ethylene glycol (25°C)	1,100	1,644	1.808×10^6
Gasoline (25°C)	700	1,171	0.820×10^6
Kerosene (25°C)	823	1,320	1.086×10^6
Sea water (20°C)	1,026	1,500	1.539×10^6
Water (15°C or 59°F)	999.1	1,462.7	1.461×10^6
Water (20°C or 68°F)	998.2	1,483.2	1.481×10^6
Water (25°C or 77°F)	997.0	1,494.5	1.490×10^6
Water (30°C or 86°F)	995.6	1,505.8	1.499×10^6
Solids:			
Aluminum (pure)	2,700	6,400	17.28×10^6
Brass	8,700	4,570	39.76×10^6
Brick (common)	1,750	4,270	7.47×10^6
Concrete	2,400	3,100	7.44×10^6
Copper	8,910	4,880	43.48×10^6
Glass (window)	2,500	6,000	15.00×10^6
Glass (Pyrex)	2,300	5,200	11.96×10^6
Ice	920	3,200	2.94×10^6
Lead	11,300	1,980	22.47×10^6
Lucite	1,200	1,800	2.16×10^6
Polyethylene	935	1,980	1.85×10^6
Steel (C1020)	7,700	5,790	44.58×10^6
Wood (oak)	770	4,300	3.31×10^6
Wood (pine)	640	4,750	3.04×10^6
Zinc	7,140	4,270	30.49×10^6

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

APÉNDICE C: COEFICIENTES DE ABSORCIÓN

Material	Octave band center frequency, Hz					
	125	250	500	1,000	2,000	4,000
<i>Walls and ceilings:</i>						
Brick, unglazed	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07
Brick, unglazed and painted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Concrete block, unpainted	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25
Concrete block, painted	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Door, solid wood panel	0.10	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04
Marble or terrazzo	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02
Plaster, gypsum or lime, on tile/brick	0.013	0.015	0.02	0.03	0.04	0.05
Plaster, smooth finish on lath	0.14	0.10	0.06	0.04	0.04	0.03
Plaster, fibrous	0.35	0.30	0.20	0.15	0.10	0.04
Plaster, on wood wool	0.40	0.30	0.20	0.15	0.10	0.10
Poured concrete, unpainted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Poured concrete, painted	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
<i>Sprayed-on cellulose fibers:</i>						
$\frac{5}{8}$ -in thick on solid backing	0.05	0.16	0.44	0.79	0.90	0.91
1-in thick on solid backing	0.08	0.29	0.75	0.98	0.93	0.76
1-in thick on metal lath with air space	0.47	0.90	0.99	0.99	0.99	0.99
<i>Open-cell polyurethane foam:</i>						
$\frac{1}{4}$ -in thick	0.05	0.16	0.66	0.99	0.99	0.92
$\frac{1}{2}$ -in thick	0.10	0.25	0.52	0.89	0.99	0.95
2-in thick	0.16	0.25	0.57	0.82	0.86	0.86
$2\frac{1}{4}$ -in thick	0.23	0.41	0.75	0.93	0.85	0.77
<i>Fiberglass formboard:</i>						
1-in thick	0.18	0.34	0.79	0.99	0.93	0.90
$1\frac{1}{2}$ -in thick	0.25	0.49	0.98	0.99	0.91	0.85
2-in thick	0.33	0.67	0.99	0.99	0.94	0.90
<i>Ceiling board, fiberglass cloth faced:</i>						
1-in linear	0.07	0.24	0.66	0.95	0.99	0.95
1-in nubby surface	0.06	0.25	0.68	0.97	0.99	0.92
1-in textured surface	0.10	0.27	0.75	0.99	0.99	0.84
<i>Plywood panels:</i>						
$\frac{1}{8}$ -in with $1\frac{1}{4}$ -in air space	0.15	0.25	0.12	0.08	0.08	0.08
$\frac{1}{8}$ -in with $2\frac{1}{4}$ -in air space	0.28	0.20	0.10	0.10	0.08	0.08
$\frac{3}{16}$ -in with 2-in air space	0.38	0.24	0.17	0.10	0.08	0.05
$\frac{3}{16}$ -in with 2-in air space filled with fibrous insulation	0.42	0.36	0.19	0.10	0.08	0.05
$\frac{1}{4}$ -in with small air space	0.30	0.25	0.15	0.10	0.10	0.10
$\frac{1}{4}$ -in with small air space	0.20	0.18	0.15	0.12	0.10	0.10
Plywood panelling, $\frac{1}{2}$ -in	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
Gypsum board, $1\frac{1}{2}$ -in on studs	0.29	0.10	0.06	0.05	0.04	0.04
<i>Sound-absorbing masonry blocks:</i>						
4-in thick, unpainted, 2 unfilled cavities	0.19	0.83	0.41	0.38	0.42	0.40
4-in, painted, 2 insulation-filled cavities	0.20	0.88	0.63	0.65	0.52	0.43
6-in, painted, 2 unfilled cavities	0.62	0.84	0.36	0.43	0.27	0.50
6-in, painted, 2 insulation-filled cavities	0.39	0.99	0.65	0.58	0.43	0.45
8-in, painted, 2 unfilled cavities	0.97	0.44	0.38	0.39	0.50	0.60
8-in, painted, 2 insulation-filled cavities	0.33	0.94	0.62	0.60	0.57	0.49
8-in, painted, 3 insulation-filled cavities	0.61	0.91	0.65	0.65	0.42	0.49
<i>Perforated acoustic ceiling tile:</i>						
$\frac{1}{2}$ -in thick, hard backing	0.08	0.17	0.55	0.73	0.72	0.67
$\frac{3}{4}$ -in thick, hard backing	0.10	0.22	0.72	0.88	0.75	0.66

CONTROL DE RUIDO EN UNA FÁBRICA PyME.

Material	Octave band center frequency, Hz					
	125	250	500	1,000	2,000	4,000
1-in thick, hard backing	0.12	0.31	0.93	0.90	0.72	0.63
$\frac{1}{4}$ -in, furring backing	0.12	0.42	0.71	0.88	0.75	0.65
$\frac{1}{2}$ -in, mech. suspension	0.30	0.51	0.80	0.85	0.78	0.66
<i>Acoustic foam:</i>						
$\frac{1}{4}$ -in thick	0.08	0.10	0.20	0.30	0.60	0.93
$\frac{1}{2}$ -in thick	0.12	0.21	0.36	0.54	0.92	0.98
$\frac{3}{4}$ -in thick	0.14	0.25	0.44	0.70	0.98	0.99
1-in thick	0.16	0.28	0.51	0.78	0.99	0.99
2-in thick	0.27	0.48	0.80	0.99	0.99	0.99
Ventilating grille	0.30	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50
<i>Floors:</i>						
<i>Carpet:</i>						
44 oz $\frac{1}{4}$ -in thick wool woven pile, uncoated backing, on 40 oz hair pad	0.17	0.35	0.66	0.71	0.70	0.65
44 oz $\frac{1}{4}$ -in thick wool woven pile, coated backing, on 40 oz pad	0.17	0.35	0.46	0.36	0.40	0.45
$\frac{1}{8}$ -in thick wool pile on concrete; no pad	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37
$\frac{5}{8}$ -in thick wool pile, with pad	0.20	0.25	0.35	0.40	0.50	0.75
Indoor-outdoor carpet	0.01	0.05	0.10	0.20	0.45	0.65
Linoleum/rubber tile on concrete	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Varnished wood joist floor	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
<i>Windows:</i>						
Large panes, plate glass	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
Small panes, ordinary glass	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
<i>Draperies:</i>						
Cotton fabric, draped to half area, 14 oz/yd ²	0.07	0.31	0.49	0.81	0.66	0.54
Velour, straight, 10 oz/yd ²	0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.35
Velour, straight, 14 oz/yd ²	0.05	0.07	0.13	0.22	0.32	0.35
Velour, straight, 18 oz/yd ²	0.05	0.12	0.35	0.48	0.38	0.36
Velour, draped to half area, 14 oz/yd ²	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60
Velour, draped to half area, 18 oz/yd ²	0.14	0.35	0.53	0.75	0.70	0.60
<i>Natural outdoor materials:</i>						
Grass, 2 in high	0.11	0.26	0.60	0.69	0.92	0.99
Gravel soil, loose and moist	0.25	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
Snow, 4 in deep	0.45	0.75	0.90	0.95	0.95	0.95
Water surface	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
<i>People and furniture: Values of (αS), m² per person or item</i>						
Person in upholstered chair	0.30	0.315	0.35	0.42	0.42	0.39
Upholstered chair, empty	0.23	0.26	0.30	0.325	0.325	0.30
Person in wood theater seat	0.23	0.28	0.325	0.35	0.37	0.35
Wood theater seat, empty	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
Adult or high school student in desk	0.20	0.28	0.31	0.37	0.41	0.42
Child or elementary school student in desk	0.17	0.21	0.26	0.30	0.325	0.37
Empty desk	0.10	0.13	0.14	0.17	0.18	0.15
Person standing	0.19	0.325	0.44	0.42	0.46	0.37