

Ruido: Agente contaminante que provoca alteraciones en el ritmo cardíaco, analizado en diferentes horarios.

ING. YERAB VIDAURRÁZAGA LÓPEZ

Maestro de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Mexicali y de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de Baja California.

yerabvidaurrazaga@uabc.mx

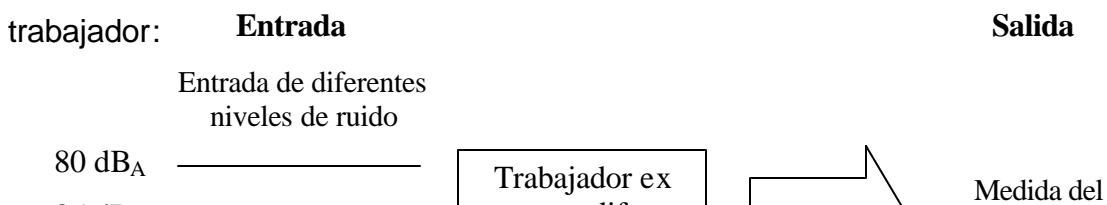
RESUMEN.

En un ambiente de trabajo donde se labora con diferentes equipos, herramientas y otros accesorios que son generadores de vibraciones que dependiendo de su acústica y frecuencia pueden ser un factor de estrés, de aquí la importancia de un estudio que demuestre que el diseño del lugar de trabajo es adecuado y seguro para el desempeño de las actividades a realizar. Por lo que en esta investigación se analizara el comportamiento del ritmo cardíaco expuesto en diferentes niveles de ruido y horarios distintos de una jornada laboral. Usando el diseño de experimentos para observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida del proceso.

INTRODUCCIÓN.

El ruido industrial es considerado un factor que perturba el trabajo, el sueño y la comunicación de los seres humanos, provocando daños en la audición y reacciones psicológicas, fisiológicas y patológicas. Técnicamente, el ruido es un tipo de energía de los procesos o actividades, que se propaga en el ambiente en forma de ondulatoria compleja, desde el origen productor hasta el receptor, a una velocidad determinada y disminuyendo su intensidad con la distancia y entorno físico, pero cualquier sonido que sea desagradable, es ruido.

En México la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), es la dependencia que regula a las empresas para el cumplimiento de los niveles de ruido emitidos en base a las normas oficiales mexicanas NOM-011-STPS-2001 y NOM-080-STPS-1993, encargándose de mantener y mejorar las condiciones laborales. En esta investigación se busca analizar si la exposición del ruido a diferentes niveles de ruido y horarios genera alteraciones en el ritmo cardíaco del



Actualmente existe una mayor importancia por regular el ruido en los centros de trabajo, desafortunadamente existe desconocimiento y falta de instituciones que ayuden a los empresarios a regular esta situación.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

El objetivo del proyecto es analizar el comportamiento del ritmo cardíaco, al variar los niveles de ruido a los que está expuesto un trabajador en una línea de producción a diferentes horarios, por medio del análisis estadístico. La hipótesis planteada, es hipótesis nula (H_0), misma para los dos trabajadores y se representa: **$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$**

Esto indica que las medias de las muestras son iguales en los diferentes horarios, la hipótesis alternativa será **$H_1: \text{Al menos una } \mu \text{ es diferente.}$**

MARCO TEORICO.

Dentro de ergonomía se define al ruido como el sonido no deseado y los tipos de ruidos pueden ser constantes o intermitentes, así como de diferente magnitud, dependiendo de esto pueden ser los riesgos de trabajo que incluyen estrés y monotonía laboral, cargas de trabajo, horas de trabajo, entre las más importantes. El ruido como el sonido se expresa en decibeles y se miden con instrumentos llamados sonómetros. El sonido se considera una perturbación en un medio elástico, como puede ser un líquido, sólido o gas y que es percibido por el oído humano, y una vibración es un movimiento periódico o desplazamiento en un medio de estado sólido. Existe una relación entre el sonido y la vibración. El sonido es originado por vibraciones de partículas en el aire, que chocan entre sí, creando ondas acústicas que viajan a través del aire y llegan a nuestros oídos. El ruido no solamente hace daño al oído, sino que mucho ruido puede hacer sentir al ser humano cansado y nervioso. Existiendo la posibilidad de que eleve la presión sanguínea y ocasione una enfermedad cardíaca. Además el nivel de molestia depende no solo de la calidad del sonido sino también de nuestra actitud hacia estos, pero el sonido no necesariamente debe ser fuente para molestar, el criterio de intensidad de un ruido también puede depender de la hora en que se produzca. El ruido presenta grandes diferencias con respecto a otros contaminantes ya que

es barato producirlo y necesita poca energía para ser emitido, es complejo de medir y cuantificar, no deja residuo, no tiene un efecto acumulativo en el medio, tiene un radio de acción mucho menor que otros contaminantes, se percibe solo por el sentido del oído y no se traslada a través de los sistemas naturales. El estudio del sonido es llamado acústica y cubre todos los campos de la producción, propagación y recepción del sonido. El ruido es una parte inevitable de nuestra vida diaria y el desarrollo tecnológico a resultado en un incremento de los niveles de ruido en maquinas y fabricas.

El diseño de experimentos es una prueba o serie de pruebas, en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida, los que nos lleva a definir un proceso como la combinación de maquinas, métodos, personas y otros recursos que transforman alguna entrada en una salida que tiene una o mas respuestas observables. El ritmo cardíaco es un signo vital, en la gente que es físicamente apta y tiene una actividad rutinaria el corazón golpea normalmente entre 60 y 100 veces por minuto, esta será la variación de salida con la cual se podrá analizar si el trabajador expuesto a diferentes niveles de ruido en horarios distintos es afectado mediante el incremento del numero de palpitaciones por minuto.

Las Normas Oficiales Mexicanas tienen como objetivo regular toda actividad realizada en el país. La NOM-011-STPS-2001 es la Norma relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido, niveles y tiempo de acción sean capaces de alterar la salud de los trabajadores, así como la correlación entre los niveles máximos permisibles de ruido y los tiempos máximos permisibles de exposición por jornada de trabajo. La NOM-080-STPS-1993 se aplica en aquellos centros de trabajo donde se requiera determinar el nivel sonoro continuo equivalente, al que se exponen los trabajadores por motivo o en ejercicio de su trabajo. Estas dos normas serán utilizadas como guía a seguir para desarrollar la investigación en base a la reglamentación del país.

El sonómetro es un instrumento diseñado para responder a un sonido en aproximadamente la misma forma en que lo hace el oído humano, un sonómetro consiste en cinco bloques que son: Micrófono el cual convierte las señales acústicas en eléctricas, un preamplificador el cual amplifica las señales muy pequeñas que genera el micrófono, un detector el cual convierte la señal de forma AC a DC, un circuito de tiempo para seleccionar la forma en que el instrumento responderá a las señales de ruido. Un indicador que muestra las lecturas de los niveles de ruido medidos. El sonómetro usado en el proyecto es de marca "Quest" tipo 2 con numero de serie CD4050007, el cual esta certificado según lo especificado en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-080-STPS-1993 y NOM-011-STPS-2001.

DESARROLLO.

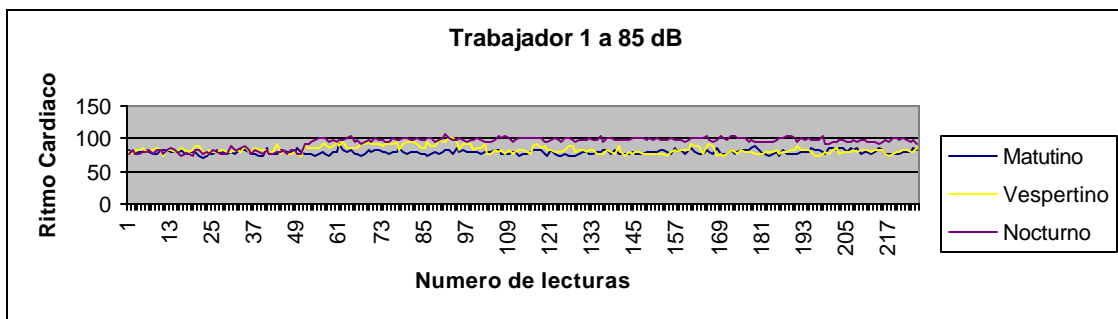
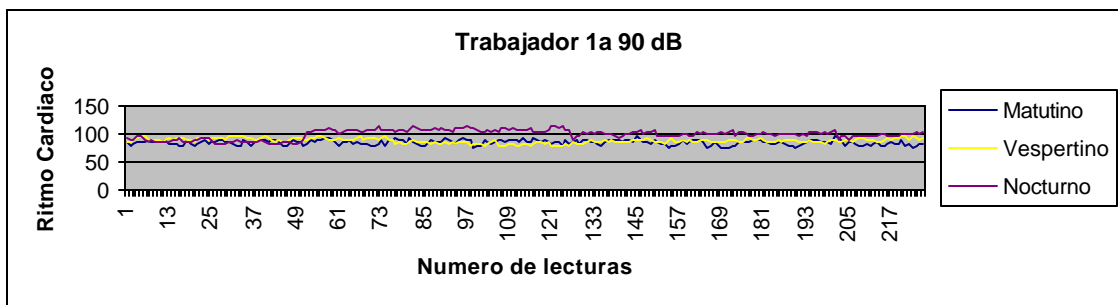
Esta investigación plantea la hipótesis de que no existe variación en el ritmo cardíaco del trabajador, cuando está expuesto a los niveles de ruido de 80, 85 y 90 dB durante una jornada laboral, se selecciono el laboratorio de ergonomía de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California para la realización de la investigación, se eligió este lugar para poder controlar los factores externos que pueden alterar el estudio de ruido e influir en la información del mismo. La fuente de ruido será un sonido grabado en una empresa, el cual tendrá una sola frecuencia y se incrementara según los requerimientos de la investigación. El monitoreo de ruido se realizo de acuerdo a los métodos establecidos en la NOM-080-STPS-1993, apegándose el ruido a los niveles de decibeles antes mencionados. El estudio de ruido se realizó con un sonómetro Quest tipo II, serie CDA050007 y certificado de calibración del 1 de junio del 2001. La fuente generadora de ruido se colocó entre las dos estaciones de trabajo, para que los trabajadores estuvieran expuestos a los diferentes niveles de ruido requeridos por la investigación y a un costado de ellos se ubicó el sonómetro para monitorear el nivel sonoro continuo equivalente en el área de trabajo. Se coloca un cinturón al trabajador el cual no afectara en el desempeño de sus actividades, este cinturón tendrá la función de estar midiendo el ritmo cardíaco a los diferentes niveles de ruido en que desempeñan sus actividades, aplicando los diferentes

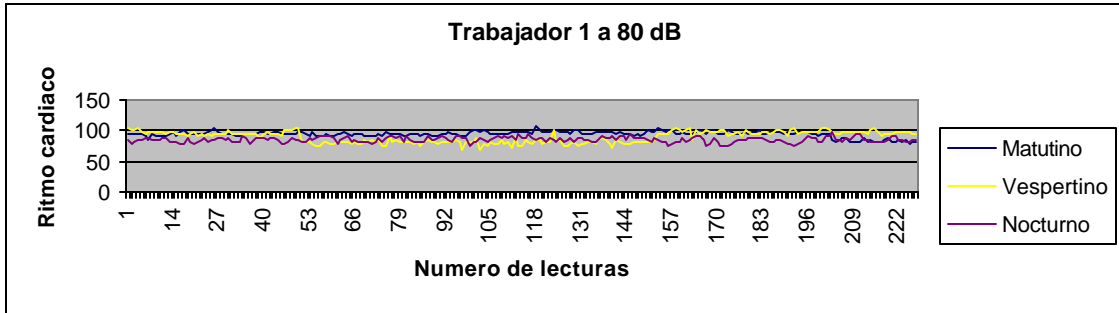
niveles de ruidos en diferentes horarios de tal forma que se cubra totalmente la jornada laboral, determinando a través de una matriz la reacción que presenta el trabajador en su ritmo cardíaco con los diferentes niveles de ruido (80, 85 y 90 dB), midiendo el desempeño de los trabajadores y determinando la influencia del ruido en la actividad durante los distintos horarios. Es importante hacer notar que cuando un sonido es producido por una fuente sonora con una cierta potencia acústica, se realiza una transferencia de energía desde la fuente a las moléculas que se encuentran alrededor, así la energía se dispersa en diferentes direcciones tomando a las moléculas como portadoras, de aquí que se debe considerar para el estudio la distancia de la fuente, densidad del aire y velocidad del sonido, entendiéndose que la intensidad de una señal decrece con la distancia, que depende de la densidad del medio de propagación (el aire) y la misma velocidad del sonido. Una vez que se controla el nivel de ruido deseado, se verifica el ritmo cardíaco del trabajador, por medio del sensor colocado en el pecho del trabajador y que registra las pulsaciones del corazón. Este sensor convierte la variable física, considerada como ritmo cardíaco en una variable electrónica, que es leída e interpretada por un dispositivo receptor y refleja la medida de la variable ritmo cardíaco, en un monitor de fácil lectura para el analista que recolecta los datos. Para el diseño de las estaciones se tomaron en cuenta las dimensiones anatómicas de cada trabajador, con la finalidad de realizar un diseño ergonómico de la estación de trabajo, que no afecte al trabajador en su desempeño, si existieran condiciones no ergonómicas, se estaría expuesto a posiciones corporales que incrementarían la fatiga y por ende disminuiría su actividad física.

Características	Trabajador 1	Trabajador 2
Edad	21	22
Sexo	Masculino	Masculino
Estatura	1.61 m	1.81 m
Índice de Masa Corporal	26.5	33.4
Presión Arterial	110 – 70	120 - 80
Ritmo cardíaco en reposo	66	68

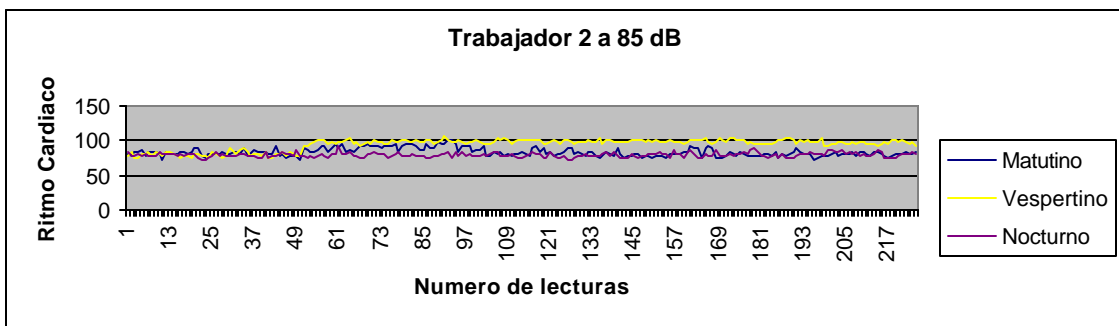
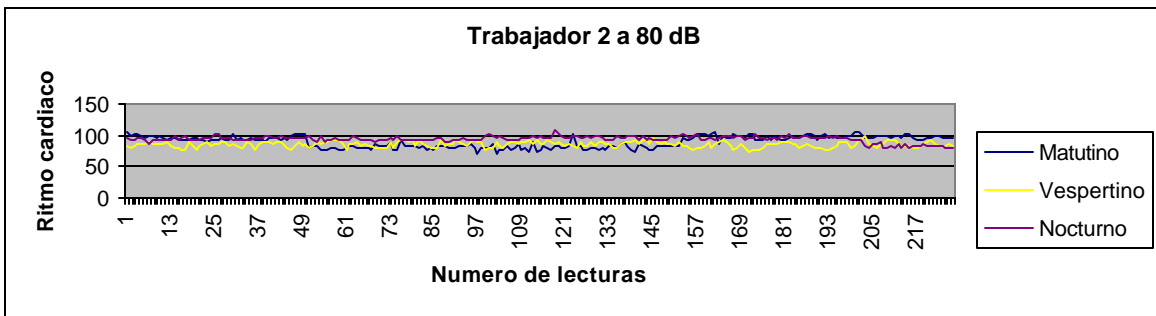
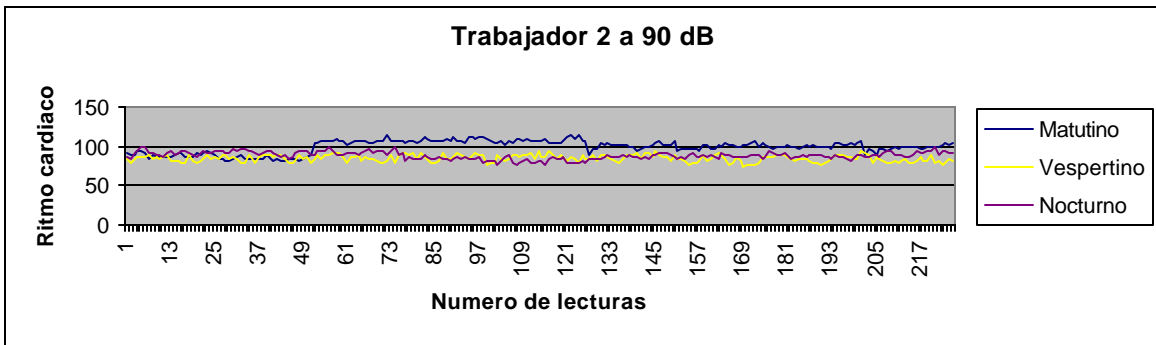
Los trabajadores realizan su actividad y son monitoreadas en tiempo real las pulsaciones del corazón, teniendo un nivel de ruido el cual se monitorea como se menciono anteriormente. Para evitar un sesgo en los cambios de nivel de ruido, se

genero un experimento con números aleatorios y una distribución de probabilidad uniforme discreta, obteniendo los niveles de ruido con los que se debe trabajar en las estaciones durante la etapa experimental. De tal forma que los tres niveles estuvieran en el estudio el mismo número de veces y la misma cantidad de tiempo. La aleatorización consistía en obtener valores exactos de 0,1 y 2, donde 0 representaba 80 dB, 1 a 85 dB y 2 a 90 dB. El experimento se desarrolló de la siguiente forma. El trabajador ensambla los pasadores para chapas a un determinado nivel de ruido y se registra su ritmo cardíaco por unidad ensamblada. El nivel de ruido varia de acuerdo con lo establecido anteriormente, con el fin de realizar un experimento aleatorio y minimizar el efecto de la transición de los niveles. En esta parte del estudio se observa que existe un periodo trasciente a las variaciones del ritmo cardíaco con respecto a los diferentes niveles de ruido a que esta expuesto en este estudio, una vez concluido este periodo prosigue al periodo de inicio (estable). Hecho el cambio en el nivel de ruido se continuaba con la lectura de pulsaciones, obteniendo una muestra de observaciones para los diferentes niveles de ruido de cada uno de los trabajadores.





En el análisis de datos, se analizarán los datos del trabajador 1, durante la fase experimental. Se observa que en cada nivel de ruido del experimento, el ritmo cardíaco se comporta de manera senoidal y se observa una variación en el promedio del ritmo cardíaco con respecto a cada nivel de ruido. Posteriormente analizan los datos del trabajador 2, bajo las mismas condiciones, se observa un comportamiento similar al trabajador 1, encontrándose la misma variación.



Para comprobar si la variación es originada al azar o generada por los diferentes niveles de ruido en horarios diferentes, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA). Esta herramienta se utiliza para analizar el comportamiento de los datos, usada con la finalidad de comparar la significación de diferencias debidas al azar o no entre medias de dos o más grupos. La cifra estadística obtenida con el ANOVA es la razón F. Cuando se analizan 2 grupos, el ANOVA analiza las variaciones entre los grupos (inter-grupal) y compara con la variación dentro de cada grupo (intra-grupal), para obtener mediante una suma de cuadrados el valor de F. Si las diferencias de varianza entre cada grupo son mayores que las intra-grupales, seguramente existen diferencias significativas entre los grupos que no son debidas al azar. En esta investigación se tienen los datos del ritmo cardíaco a tres diferentes niveles de ruido en tres horarios distintos, por lo tanto se cuenta con tres grupos, que permite utilizar el ANOVA para corroborar nuestra investigación.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
80 dB	678	60822	80.7079	54.3222
85 dB	678	58147	85.7625	75.4871
90 dB	678	61546	90.7758	73.1993

Análisis de varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	9455.753	2	4727.877	69.8671	3.000
Dentro de los gpos.	137436.9	2031	67.6695		
Total	146892.6	2033			

Para comprobar nuestra hipótesis utilizamos la tabla F con un 99 % de confiabilidad con 5 y 678 grados de libertad obteniendo el valor de: $F_{.01, 5, 678} = 3.00$, comparando la F calculada con la F establecida se tiene: $F_c = 69.8671$ y $F_e = 3.00$, esto indica que F_c es mayor que F_e en los tres niveles de ruido a diferentes horarios, por lo que **Ho se rechaza**. Esto significa que existe una variación significativa entre las medias, por lo tanto si afectan las variaciones en el nivel sonoro continuo equivalente. En los tres horarios la hipótesis nula se

rechaza, significando que las variaciones provocadas por los diferentes niveles de ruido en distintos horarios afectan al ritmo cardíaco de los trabajadores, y que son repercusiones del nivel sonoro continuo equivalente. El análisis de varianza para validar o rechazar la hipótesis nula del trabajador 2 es el siguiente.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
80 dB	225	21184	94.15	24.37
85 dB	225	17908	75.59	11.08
90 dB	225	19164	84.79	18.40

Análisis de varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad d</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2100190	5	420038.1	19107	0	2.2
Dentro de los grupos	29545.24	1344	21.98			
Total	2129736	1349				

Con el ANOVA obtenemos que la F calculada es menor que la F de referencia, esto quiere decir que se acepta la hipótesis establecida, ya que no hay variación significativa entre las medias de los dos métodos de medición, de tal forma que el sensor de medición del ritmo cardíaco es aceptable. Para demostrar la eficiencia del sensor en cuanto a la representabilidad de la variable en el análisis, se consideraron 50 datos en donde se compara los datos del sensor usado en la investigación con el mecanismo manual de medición del ritmo cardíaco. A los datos generados por los medios antes mencionados se les aplicó el ANOVA, considerando que la hipótesis nula (H_0) que las medias de los ritmos cardíacos arrojados por el sensor son iguales que las medias obtenidas por el mecanismo normal de medición del ritmo cardíaco, expresándose: $H_0: \mu_1 = \mu_2$. Y la hipótesis alternativa (H_1) expresa que hay diferencia entre las medias: $H_0: \mu_1 \neq \mu_2$.

CONCLUSIONES

Con la investigación realizada se rechaza H_0 , determinando estadísticamente que existe una variación considerable en las medias de los ritmos cardíacos de los trabajadores y que no se puede atribuir al azar. Por tal motivo la variación encontrada en la media de los ritmos cardíacos de cada trabajador, es originada

por los diferentes niveles de ruido en diferentes horarios a que se expusieron los trabajadores en la investigación. Otra aportación es que no encontró una relación directa entre el ritmo cardiaco con respecto al ruido, ósea no por el hecho de incrementar el nivel sonoro continuo equivalente se incrementa el ritmo cardiaco, esto es que no son proporcionalmente directos. En esta investigación se obtienen recomendaciones del análisis de los datos generados, para mejorar la calidad de vida de los trabajadores:

- Realizar estudios de ruido en los centros de trabajo para encontrar los puntos donde existe mayor variación del nivel sonoro continuo equivalente (NSCE), con la finalidad de prevenir molestias y lesiones auditivas a los trabajadores.
- Regular el tiempo a que se expone un trabajador a diferentes niveles de ruido durante su jornada, para evitar problemas de sordera.
- Utilizar el equipo adecuado de protección auditiva para que el trabajador perciba una cantidad menor de decibeles mientras labora, con la finalidad de proteger su salud y mejorar sus condiciones de trabajo.
- Aislar las zonas o áreas donde el nivel sonoro continuo equivalente (NSCE) sean mas altos para evitar que las vibraciones alcancen otras áreas y repercuten en la calidad de vida de los trabajadores.

BIBLIOGRAFÍA

McCormick, Ernest James
Human Factors in engineering and design, 5th edition
McGraw-Hill, USA, 1982

Kroemer, K.H.E.
Ergonomics: how to design for ease and efficiency / By Karl Kroemer, Henrike Kroemer, Katrin Kroemer-Ebert. - 2nd ed.
Prentice Hall, USA, 2001

Sanders, Mark S.
Human Factors in Engineering and Design / mark S. Sanders, Ernest J. McCormik.
- 7th ed.
McGraw-Hill, Inc., USA, 1993.

Montgomery, Douglas C.
Design and Analysis of Experiments.
3 rd Ed. Wiley

Cyril M. Harris
Manual de med. acústicas y ctrl. de ruido
McGraw-Hill, Agosto de 2001