

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ANÁLISIS DE SEÑALES ACÚSTICAS DE AVISO Y ALARMA PARA TRABAJADORES EN LA INDUSTRIA

Luis Fernando Hermida Cadena⁽¹⁾; Alexander Ortega⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de San Buenaventura

Facultad de Ingeniería

Carrera 8H 172-20

Bogotá, Colombia

lhermida@usbbog.edu.co, aortega@usbbog.edu.co

RESUMEN

Las señales acústicas de aviso y alarma usadas en la industria y la construcción presentan una gran ventaja respecto a las señales visuales, puesto que estas últimas limitan su grado de acción al campo visual, mientras que las señales acústicas pueden ser percibidas por un sistema auditivo diseñado para abarcar 360° de cobertura. Generalmente las normas relacionadas con señales de peligro para lugares públicos y lugares de trabajo o evaluación de la comunicación verbal (ISO 7731:2008 e ISO 9921:2003) dan las pautas para el diseño y la evaluación de este tipo de señales, enfocándose en la percepción que tiene el trabajador a partir de la naturaleza propia de la señal y de las condiciones acústicas del lugar donde se genera. Por lo anterior en este trabajo se desarrolló un sistema tipo software que permite estimar la percepción de señales de aviso y alarma por parte de los trabajadores teniendo en cuenta cuatro variables: el tipo de señal acústica, las condiciones de la sala, la pérdida auditiva del trabajador y la atenuación de los protectores auditivos, aplicado esto a empresas del sector.

Palabras clave: Señal acústica, aviso, alarma, inteligibilidad, audibilidad.

1. Introducción

Como bien se conoce, los largos periodos de exposición al ruido y sus altos niveles pueden generar pérdida auditiva, además de diversas afecciones como dolores de cabeza, tensión muscular y problemas cardiacos entre otras.

Por otra parte, es importante mencionar que la pérdida auditiva no solo se genera debido a la exposición al ruido, sino que también se da debido al deterioro del sistema auditivo por la edad. En relación a esto, diversos estudios estadísticos como los de Robinson-Sutton proponen niveles comparativos de pérdida auditiva relacionados con la edad, los cuales son acogidos por organizaciones como la ISO y UNE como punto de partida para estimar la pérdida auditiva teniendo en cuenta la edad.

Si bien es cierto que siempre es preferible atacar los problemas de ruido directamente en la fuente generadora o en el camino en el que se propaga (control de ruido a nivel de emisor y

medio), los protectores auditivos de tipo activo y pasivo son usados frecuentemente bien sea como acción principal de protección al ruido o como complemento a las medidas preventivas tomadas, esto debido a su facilidad de uso y a su bajo costo. Por lo anterior, se han desarrollado diferentes sistemas que buscan generar atenuaciones cada vez mayores, intentando brindarle una mayor protección a los trabajadores, esto en detrimento de la inteligibilidad de mensajes hablados o sonido que den alerta de eventos específicos como señales de reversa, evacuación y otras, pues precisamente el rango en frecuencia de voz (1KHz-4KHz) y el sonido de avisos y sirenas (700Hz a 2,5KHz dependiendo del tipo de sirena), coincide con el rango donde por defecto se empieza a perder el sentido de la audición.

Las señales acústicas de aviso y alarma usadas en la industria y la construcción presentan una gran ventaja respecto a las señales visuales, puesto que estas últimas limitan su grado de acción al campo visual, mientras que las señales acústicas pueden ser percibidas por un sistema auditivo diseñado para abarcar 360° de cobertura [1]. La gran mayoría de normas relacionadas con señales de peligro para lugares públicos y lugares de trabajo o evaluación de la comunicación verbal (ISO 7731:2008 e ISO 9921:2003) dan las pautas para el diseño y la evaluación de este tipo de señales, enfocándose en la percepción que tiene el trabajador a partir de la naturaleza propia de la señal y de las condiciones acústicas del lugar donde se genera. Sin embargo, estas normas no tienen en cuenta la percepción real que puede tener el trabajador luego de la exposición prolongada y continua al ruido (generando una pérdida considerable principalmente entre 1 y 4KHz), la pérdida auditiva relacionada con la edad, ni la atenuación que generan los diferentes protectores auditivos que constantemente deben usar los trabajadores.

2. Normativa ISO 7731, ISO 9921 e ISO 1999.

A continuación se presenta un breve resumen y conceptos generales tratados en las normas base de esta propuesta.

ISO 7731:2008 Señales de peligro para lugares públicos y lugares de trabajo. Señales acústicas.

Esta norma especifica los principios físicos de diseño, y los métodos de ensayo de las señales correspondientes para las señales de peligro destinadas a lugares públicos y de trabajo. Proporciona orientaciones acerca de las características de las señales en uso. Dentro de los principales requerimientos se tiene que la señal debe ser claramente audible y para que esto suceda se debe verificar el cumplimiento de las siguientes consideraciones: a) La diferencia entre el nivel de presión sonora ponderada A entre el ruido ambiente (L_{NA}) y la señal de peligro (L_{SA}) debe ser mayor a 15 dB, b) Para las mediciones de nivel de presión sonora realizadas en una o más bandas de octava la señal de peligro debe superar en al menos 10 dB el nivel efectivo de enmascaramiento en la banda considerada y c) Para las mediciones de nivel de presión sonora realizadas en una o más bandas de 1/3 de octava la señal de peligro debe superar en al menos 13 dB el nivel efectivo de enmascaramiento en la banda considerada. Para lo anterior se hace necesario el cálculo de nivel de enmascaramiento por bandas de octava y de 1/3 de octava, lo cual se presenta a continuación:

Cálculo de nivel de enmascaramiento por bandas de octava: Para el cálculo de nivel de enmascaramiento por bandas de octavas se debe usar la siguiente expresión:

Para

$$i = 1$$
$$L_{T1,oct} = L_{N1,oct}$$

para

$$i > 1$$

$$L_{Ti,oct} = \max.(L_{Ni,oct}, L_{T(i-1)} - 7,5dB)$$

Repetir el paso i para i=2... hasta la banda de octava superior.

Cálculo de nivel de enmascaramiento por bandas de 1/3 de octava:

$$i = 1$$

$$L_{T1,1/3oct} = L_{N1,1/3oct}$$

para

$$i > 1$$

$$L_{Ti,1/3oct} = \max.(L_{Ni,1/3oct}, L_{T(i-1)1/3oct} - 2,5dB)$$

Repetir el paso i para i=2... hasta la banda de 1/3 de octava superior.

Finalmente el anexo C de dicha norma también se dice que se pueden llegar a hacer pruebas no programadas sobre la percepción de dichas señales en las condiciones más adversas posibles. Si bien es cierto que la norma da los lineamientos para el desarrollo de señales de aviso y alarma y las condiciones necesarias para la percepción de dichas señales, y además sugiere la inclusión de las variables de pérdida auditiva y atenuación de los protectores auditivos, no aparece de forma clara y contundente una posición respecto a estas variables y tampoco ofrece alternativas diferentes a la de los ensayos de audición para la verificación de la percepción de dichas señales. [2]

ISO 9921:2001. Evaluación de comunicación verbal.

La ISO 9921 especifica los requisitos de rendimiento de la comunicación verbal para señales de alerta, peligro, mensajes informativos y comunicación verbal en general. De forma específica se realiza una descripción de las comunicaciones verbales, del rendimiento de las mismas y además presenta un rango de valores de inteligibilidad dependiendo de las aplicaciones. Describe los elementos necesarios para la evaluación y estimación objetiva de la inteligibilidad verbal, dentro de los que se destaca el espectro de la señal verbal, el espectro del ruido ambiental, la distribución espacial de los campos sonoros y la reverberación, lo que permite obtener la evaluación del nivel de inteligibilidad resultante [3]. Finalmente cita como métodos usados generalmente al SIL, STI, y el SII descritos en el CEI 60268-16. A continuación se presenta el método de estimación según el STI:

Relación señal ruido S/N: con los niveles registrados de ruido de fondo y de las señales para cada una de las condiciones de operación, se debe realizar una resta aritmética entre los mismos, obteniendo un valor característico S/N para cada banda de octava entre las frecuencias de 63[Hz] y 8[KHz]. El calculo se desarrolla según $S/N=S-N$, donde S corresponde al nivel equivalente con la señal de aviso o alarma encendida, y N corresponde con el nivel de ruido de fondo registrado en determinada condición de operación.

Factor de modulación $m'(k, f)$: De acuerdo al procedimiento descrito en detalle en la norma UNE EN 60268-16:2004, el calculo del factor STI requiere conocer un factor de modulación que relaciona unas frecuencias de modulación particulares, la relación señal ruido entre las señales y el tiempo de reverberación por banda de octava. Este factor se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$m'(f, k) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{2\pi F_m(f) F_o(k)}{13,8}\right)\right]^{\frac{1}{2}}} * \frac{1}{1 + 10^{\left(\frac{S}{N}(k)\right)/10}}$$

donde:

- F_m corresponde con cada uno de los f factores de modulación que toman los siguientes 14 valores: 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,00; 2,50; 3,15; 4,00; 5,00; 6,30; 8,00; 10,0 y 12,5 [Hz].
- F_o corresponde con el tiempo de reverberación medido en la ubicación del receptor para cada una de las k bandas de octava entre las frecuencias de 63[Hz] y 8[KHz].
- S/N corresponde con la relación señal ruido en la ubicación del receptor para cada una de las bandas de octava entre las frecuencias de 63[Hz] y 8[KHz].

Así el Factor de modulación $m'(k,f)$ corresponde con una matriz de 14 filas relacionadas con cada una de las k frecuencias de modulación y 7 columnas relacionadas con cada una de las f bandas de octava para los cuales se midieron todos los parámetros acústicos.

Relación efectiva señal ruido SNR: se calcula de acuerdo a la norma UNE EN 60268-16:2004 según la ecuación:

$$SNR(k, f) = 10 \log \left(\frac{m'(k, f)}{1 - m'(k, f)} \right) [dB]$$

Índice de transferencia de modulación MTI(k): a partir de la relación efectiva señal ruido puede calcularse el factor de modulación, particular para cada banda de octava k , de acuerdo a la norma UNE EN 60268-16:2004 según la ecuación:

$$MTI(k) = \frac{1}{14} \sum_{f=1}^{14} SNR(k, f)$$

Índice de transmisión del habla STI: de acuerdo a la norma UNE EN 60268-16:2004 el índice STI, que tiene en cuenta el enmascaramiento auditivo y el umbral auditivo de audición, se obtiene a partir de la suma ponderada de los índices de transferencia de modulación para las siete bandas de octavas con las correspondientes correcciones según la siguiente ecuación:

$$STI = \sum_{k=1}^7 \alpha * MTI(k) - \sum_{f=1}^6 \beta * \sqrt{MTI(k) * MTI(k-1)}$$

De esta manera se calcula un único factor relacionado con la inteligibilidad que presenta la transmisión de un aviso al interior de la industria. [3], [4]

ISO 1999 Determinación de la exposición al ruido en el trabajo y estimación de las pérdidas auditivas inducidas por el ruido

Esta norma consta de dos partes principales. La primera da los lineamientos generales para la descripción y medición de la exposición sonora. La segunda parte expresa en términos estadísticos la relación entre la exposición al ruido y el desplazamiento permanente del umbral de audición inducido por el ruido (NIPTS) en personas de distintos grupos de edad. Se dan métodos para estimar la pérdida auditiva causada por la exposición al ruido (teniendo en cuenta también la pérdida auditiva por la edad) o en grupos no seleccionados cuyas capacidades auditivas han sido medidas o estimadas.

El método de predicción se basa en datos recogidos para ruido esencialmente sin contenido tonal continuo y de banda ancha. Ciertos usuarios pueden juzgar que un ruido con componente tonal es tan nocivo como un ruido estable sin componentes tonales 5dB mas alto.

Para calcular los NIPTS es preciso conocer el umbral de audición de una población de edad comparable y no expuesta al ruido. Esta norma ofrece dos posibilidades representadas por dos

bases de datos diferentes: a) Una población otológicamente normal (es decir una población muy bien seleccionada Norma UNE 74-152) b)Cualquier otra población que el usuario haya elegido por considerarla apropiada.

Predicción de los efectos del ruido sobre el umbral de audición.

Nivel umbral de audición de una población expuesta al ruido (HTLAN)

$$H' = H + N - \frac{HN}{120}$$

Siendo H el nivel umbral de audición asociado con la edad (HTLA)

N es el desplazamiento permanente potencial o real del umbral ocasionado por el ruido (NIPTS).

Bases de datos para los niveles umbrales de audición relacionados con la edad (HTLA)

El HTLA puede variar dependiendo del grado en que otros factores se incluyan por inadvertencia. Enfermedades, medicamentos y exposición al ruido laboral o no laboral pueden modificar el HTLA. La norma presenta dos bases de datos para la estimación del HTLA. La base de datos tipo A está totalmente determinada y la tipo B se deja a discreción del usuario de la norma.

Base de datos tipo A

Deriva de personas normales, libre de enfermedades ni tapones de cera. La UNE 74-152 especifica entre hombres y mujeres.

Base de datos tipo B

Se recomienda usar una población de control, no expuesta laboralmente al ruido. Se debe hacer diferencia entre hombres y mujeres. En esta base de datos el usuario debe tomar una población, extraer los resultados y presentarlos según su criterio.

Elección de una base de datos

Para escoger la base de datos se debe tener en cuenta el problema. Por ejemplo si se trata de analizar la indemnización de una persona por exposición al ruido y si dicha indemnización no tiene en cuenta las enfermedades otológicas, se deberá usar la base de datos tipo B.

Cálculo del desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido.

Cálculo de $N_{0,50}$. Los valores potenciales de desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido NIPTS son función de la frecuencia audiométrica, del tiempo de exposición, de la relación t/t_0 , y del nivel de exposición al ruido referido a una jornada laboral de 8 horas. Para tiempos de exposición entre 10 y 40 años la mediana de los valores potenciales NIPTS, $N_{0,50}$ viene dada para ambos sexos por la siguiente ecuación:

$$N_{0,50} = \left[u + v \log \left(\frac{t}{t_0} \right) \right] (L_{EX,8h} - L_0)^2$$

Siendo L_0 el nivel límite de presión acústica definido, en función de la frecuencia,

t es el tiempo de exposición en años,

t_0 es un año,

u y v se dan en función de la frecuencia,

La ecuación se aplica si $L_{EX,8H}$ es superior a L_0 . Si el nivel de exposición es inferior a L_0 , se pondrá $L_{EX,8H}=L_0$ de manera que $N_{0,50}$ es igual a 0.

Para exposiciones menores a 10 años se deberá extrapolar de la siguiente forma:

$$N_{0,50}; t < 10 = \frac{\log(t+1)}{\log 11} N_{0,50} = 10$$

Las ecuaciones se pueden aplicar para un oído, para el promedio de los dos o para el promedio ponderado.

Para fines de indemnización se exige que se mida el umbral de audición de ambos oídos a 0.5, 1, 1.5, 2, 3 y 4KHZ.

Proceso de cálculo

Primero se debe saber el tiempo de exposición (en años) y el nivel de exposición.

Se debe encontrar el nivel de pérdida por la edad (H) según los fractiles que se quieran analizar. Es importante determinar la base de datos que se quiere usar (Tipo A o tipo B). Se pueden tener valores promediados, por bandas específicas o valores totales.

Posteriormente se deben encontrar los niveles de pérdida por exposición al ruido N según los fractiles que se quieran analizar, para encontrar N se debe hallar d_u y d_1 . Se pueden tener valores promediados, por bandas específicas o valores totales. [5]

3. DESARROLLO DEL SISTEMA DE SEÑALES DE AVISO Y ALARMA

Para el desarrollo del sistema de análisis de percepción de señales acústicas de aviso y alarma se hace necesario analizar la problemática desde dos puntos de vista: la *audibilidad de señales de peligro* y la *inteligibilidad de mensajes*. Por lo anterior, para el desarrollo del sistema de percepción de señales acústicas de aviso y alarma se requiere de dos grandes subsistemas que permitan estimar la audibilidad y la inteligibilidad, para lo cual establecieron con claridad los requerimientos del sistema, las variables de entrada y las salidas del sistema. A continuación se presenta dicho proceso.

Requerimientos del sistema

Siguiendo los objetivos propuesto desde el inicio del proyecto, se hace necesario que el sistema permita estimar:

- La audibilidad de la señal de peligro.
- La inteligibilidad de la señal de aviso.
- El desplazamiento del umbral auditivo debido al ruido y la edad.
- Atenuación de los protectores auditivos.

Entradas del sistema

Las entradas del sistema del sistema son:

- Nivel de ruido de fondo (SN)
- Nivel de señal de aviso o alarma (SS)
- Tiempo de reverberación.
- Edad del trabajador
- Nivel de presión sonora del ruido al que está expuesto.
- Tiempo de exposición.
- Atenuación de los protectores auditivos.

Diagrama esquemático del sistema

De forma general el sistema propuesto analiza la percepción de señales acústicas de aviso y alarma según la audibilidad y la inteligibilidad, por lo que se requiere de dos subsistemas que permitan realizar las estimaciones respectivas.

Percepción de señales acústicas de aviso y alarma según inteligibilidad.

La figura 1 describe cualitativamente el procedimiento que sigue el algoritmo desarrollado para calcular el parámetro STI a partir de las mediciones de parámetros propios del lugar en el cual el trabajador esta expuesto, tales como el ruido de fondo, el nivel de la señal y el tiempo de reverberación.

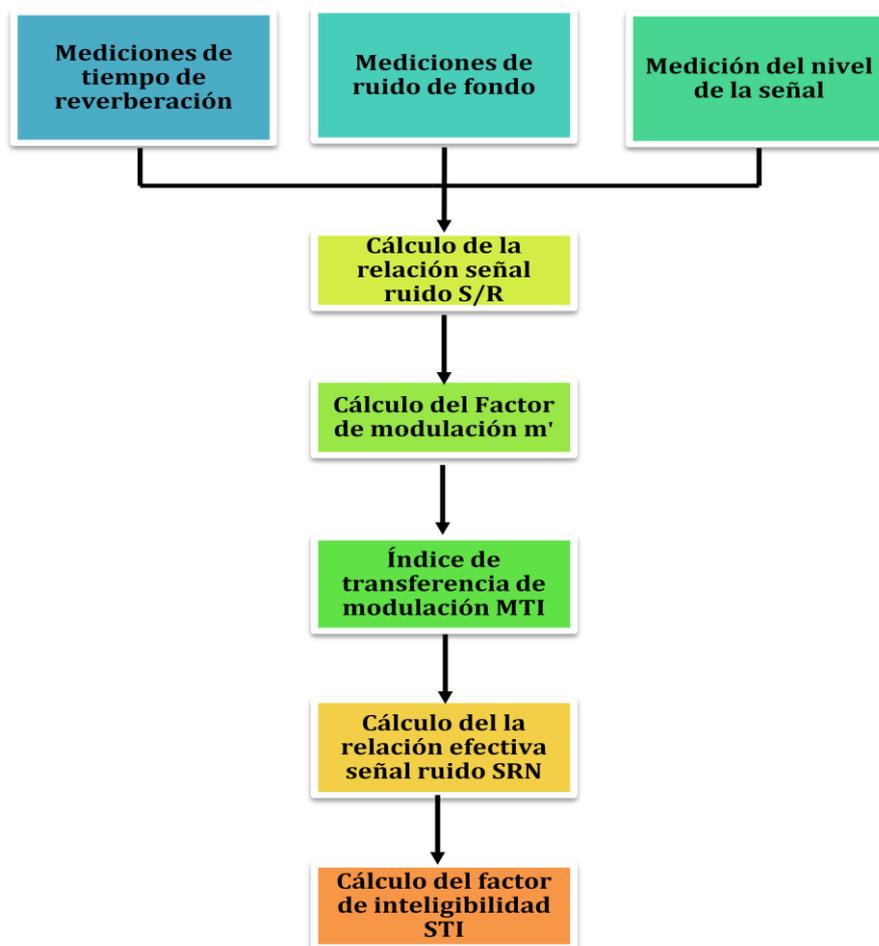


FIGURA 1. Diagrama de bloque para la construcción del sistema de análisis de señales acústicas según Inteligibilidad

Relacionando estos tres datos de entrada se calculan distintos parámetros tales como la relación señal-ruido, el factor de modulación, el índice de transferencia de modulación, etc, y a partir de los mismos, se calcula el parámetro del factor de inteligibilidad STI.

Percepción de señales de aviso y alarma según audibilidad

La figura 2 presenta el proceso de estimación de percepción de señales de aviso y alarma por audibilidad. Las variables de entrada son tanto los niveles de ruido de fondo, como los niveles de las señales de aviso y alarma. El sistema permite tener en cuenta o no el desplazamiento

del umbral auditivo del trabajador (bien sea estimándolo según ISO 1999 o realizando el ingreso del desplazamiento de forma manual). Posterior a esto, el usuario puede asignar los niveles de protección auditiva, bien sea de forma manual o por medio de una base de datos de protectores que se encuentran en el mercado. A partir de todas estas variables se puede calcular el enmascaramiento y la audibilidad teniendo dos salidas finales: una que no incluye las atenuaciones de los protectores auditivos ni el desplazamiento ni el desplazamiento del umbral auditivo y otra que tiene si las tiene.

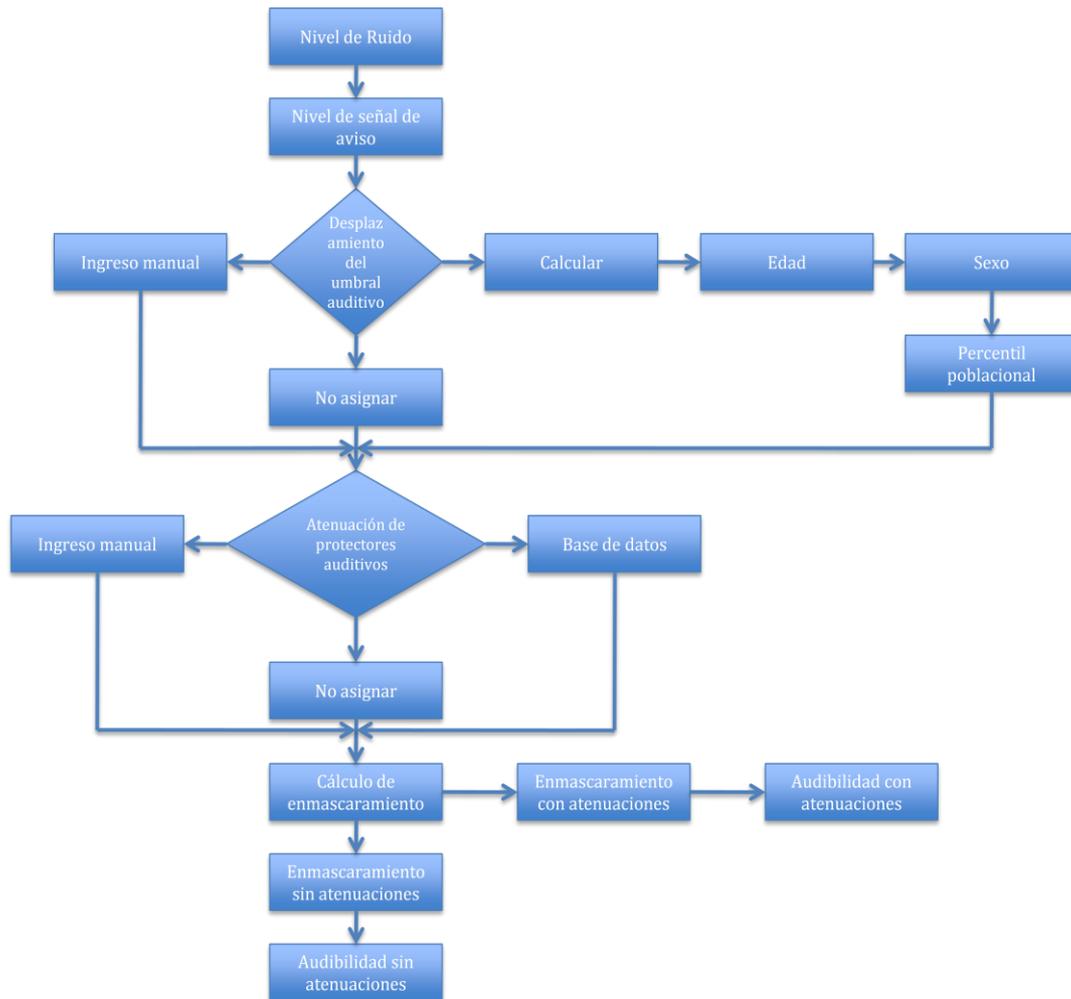


FIGURA 2. Diagrama de bloque para la construcción del sistema de análisis de señales acústicas según Audibilidad.

4. ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ALARMA EN EL SECTOR INDUSTRIAL.

Con el fin de aplicar el funcionamiento del sistema de señales de aviso y alarma diseñada se realiza el análisis de cinco empresas con sistemas de alarma instalados y en funcionamiento. Lo anterior se realizó a partir del siguiente proceso:

a. Reconocimiento de las áreas de trabajo dentro de cada empresa. Esta primera etapa busca realizar una identificación de las principales fuentes de ruido encontradas, la cantidad de

trabajadores expuestos al ruido en la zona, información respecto al uso y tipo de protectores auditivos, además de los tiempos de trabajo.

b. Medición del ruido de fondo en mínimo tres áreas de trabajo. Para la medición del ruido de fondo se realizaron tres repeticiones por cada posición para su posterior promediación energética para cada posición.

c. Medición del nivel de señal de alarma: Después de la medición de ruido de fondo se procedió a medir los niveles de presión sonora generados por los sistemas de alarma acústica siguiendo el mismo procedimiento anterior, es decir, se midieron niveles de presión sonora en cada área de trabajo, se realizaron tres mediciones por punto y se hicieron las respectivas promediaciones energéticas.

d. Análisis de la percepción de señales de aviso y alarma: Finalmente con los datos e información recolectada se seleccionó el área de mayor ruido dentro de la empresa y se procedió a alimentar el sistema de análisis a fin de concluir si la señal acústica en caso de emergencia será percibida.

Para todas las mediciones se utilizó el sonómetro Svan 943, calibrado a 94 dB a 1000 Hz, con detector RMS SLOW, filtro de ponderación A y tiempo de integración de 5 minutos.

A continuación se presenta el análisis de las cinco empresas estudiadas.

Empresa metalurgia 1

Áreas, proceso y/o equipo evaluados:

Zona de corte (P1): Un trabajador, uso de protectores tipo orejeras marca 3M, tiempo de trabajo intermitente (1 hora aproximado).

Zona de Pulido (P2): Un trabajador, uso de protectores tipo orejeras marca 3M, tiempo de trabajo intermitente (1 hora aproximado).

Zona de soldadura (P3): Un trabajador, no usa protectores auditivos, tiempo de trabajo intermitente (1 hora aproximado).

Zona de ensamble (P4): Dos trabajadores, no usan protectores auditivos.

Medición de niveles de ruido de fondo y Medición de nivel de señal acústica.

Se realizaron 3 repeticiones en las áreas de estudio y los resultados después de la promediación fueron los presentados en la gráfica 1.

El SPL de la alarma en el punto 1 es el que se contrasta, pues fue el punto 1 el que presentó el mayor nivel de presión sonora.

Análisis de la percepción de señales de aviso y alarma

En la gráfica anterior se puede ver claramente como en la región audible de las señales acústicas de aviso y alarma (bandas de 500 Hz a 4000Hz) el SPL de la señal supera ampliamente los niveles de ruido de fondo.

Sin embargo es importante verificar que el nivel de audibilidad en las bandas de sintonización de la señal de aviso y alarma supere en 15 dBA global al ruido de fondo, la señal tenga mínimo 65 dBA de valor global y los niveles por banda de octava sean superados por al menos 10 dBA. Los resultados obtenidos después de alimentar el sistema diseñado fueron:

Nivel global fuente (Ls) - Nivel global ruido de fondo(Ln)=22,81 dB.

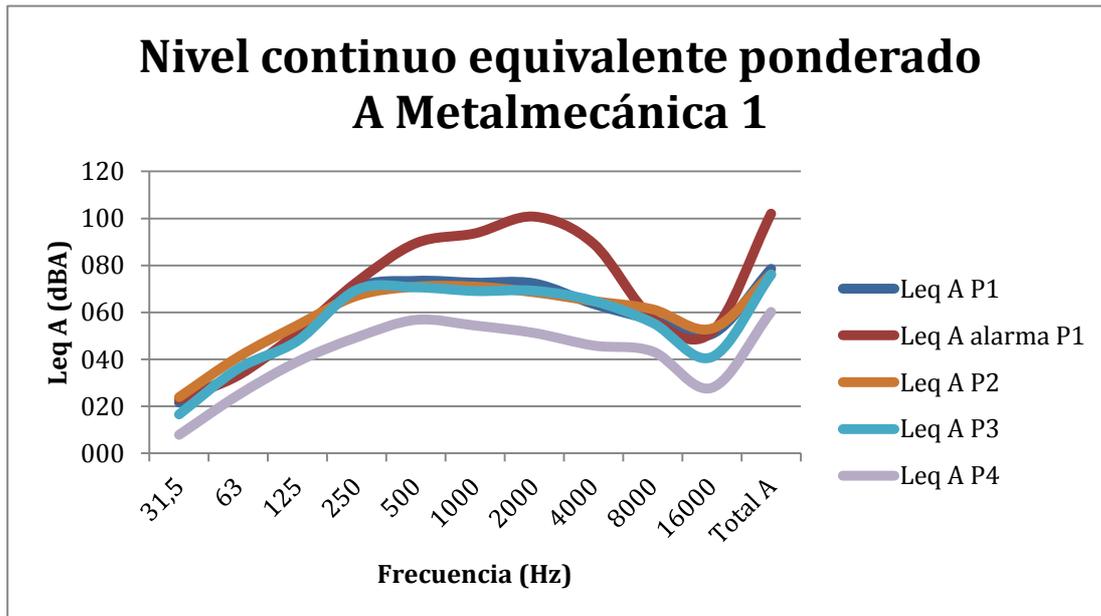
Audibilidad en 500 Hz = 16

Audibilidad en 1000 Hz = 28,1

Audibilidad en 2000 Hz = 16,9

Audibilidad en 4000 Hz = -7,4

Gráfica 1. Nivel continuo equivalente ponderado A empresa metalmecánica 1.



Lo anterior indica que las señales serán claramente audibles en las bandas de 500, 1000 y 2000 Hz, sin embargo en la banda de 4000 Hz no será claramente audible.

Al evaluar el valor global de la señal de alarma incluyendo el tipo de protectores 3M tipo orejeras se tiene un nivel global de 74 dBA, lo que supera los 65 dBA mínimos necesarios.

Por lo tanto se concluye que la señal será audible con y sin protectores auditivos.

Empresa metalurgia 2

Áreas, proceso y/o equipo evaluados:

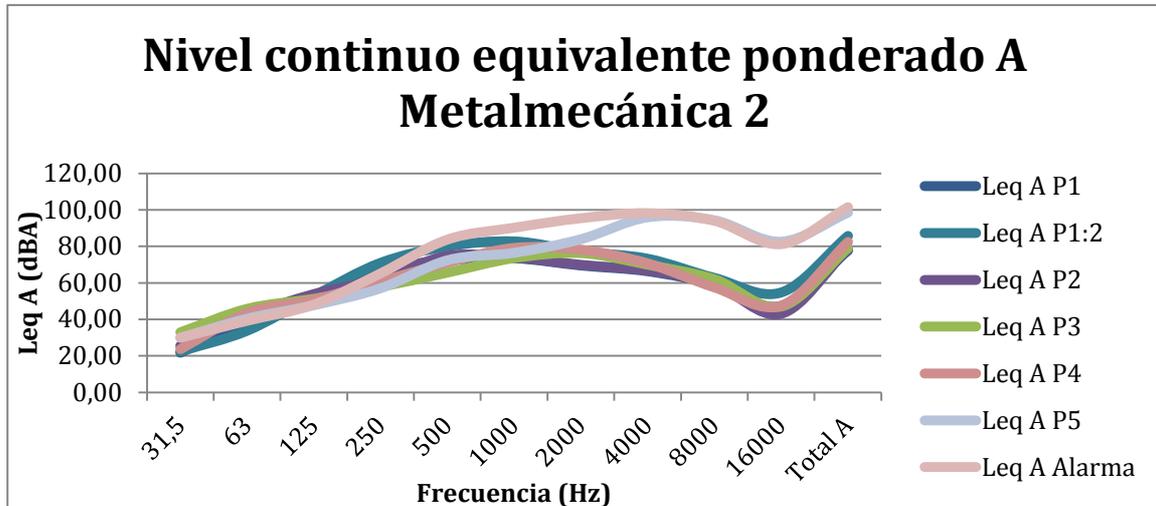
Fresa alta revolución (P1): Un trabajador, uso de protectores tipo orejeras marca Bilson, tiempo de trabajo intermitente.

Fresa baja revolución (P1:2): Un trabajador, uso de protectores tipo orejeras marca Bilson, tiempo de trabajo intermitente.

Compresor (P2): Fuente de ruido que afecta a los 12 trabajadores de la empresa, tiempo de trabajo intermitente.

Torno Nardini (P3): Un trabajador, uso de protectores tipo orejeras marca Bilson, tiempo de trabajo intermitente.

Gráfica 2. Nivel continuo equivalente ponderado A empresa metalmecánica 2.



Torno Shenyong (P4): Un trabajador, uso de protectores tipo orejeras marca Bilson, tiempo de trabajo intermitente.

Pulidora (P5): Un trabajador, uso de protectores tipo orejeras marca Bilson, tiempo de trabajo intermitente.

Medición de niveles de ruido de fondo y Medición de nivel de señal acústica.

Se realizaron 3 mediciones en las áreas de estudio y los resultados después de la promediación fueron los presentados en la gráfica 2.

El SPL de la alarma en el punto 5 (P5) donde se encuentra la pulidora, pues este fue el sector con mayor nivel de ruido.

Análisis de la percepción de señales de aviso y alarma

En la gráfica anterior se puede ver región audible de las señales acústicas de aviso y alarma (bandas de 500 Hz a 4000Hz) el SPL de la señal no supera ampliamente los niveles de ruido generados por la pulidora. Sin embargo es importante verificar que la diferencia de niveles globales entre la alarma y el ruido de fondo supere en 15 dBA global al ruido de fondo, la señal tenga mínimo 65 dBA de valor global y los niveles de audibilidad por banda de octava sean superados por al menos 10 dBA. Los resultados obtenidos, después de alimentar el sistema diseñado fueron:

Nivel global fuente (Ls) - Nivel global ruido de fondo(Ln)= 3,2 dB.

Audibilidad en 500 Hz = 11,5

Audibilidad en 1000 Hz = 13,8

Audibilidad en 2000 Hz = 11,6

Audibilidad en 4000 Hz = 2,5

Lo anterior indica que las señales acústicas de aviso y alarma serán audibles en las bandas de 500, 1000 y 2000 Hz. La banda de 4000 Hz no será claramente audible. Sin embargo, la diferencia entre el nivel global de la fuente y el nivel global de ruido no supera los 15 dB requeridos.

Al evaluar el valor global de la señal de alarma incluyendo el tipo de protectores Bilson tipo orejeras se tiene un nivel global de 74,7 dBA, lo que supera los 65 dBA mínimos necesarios.

Por lo tanto se concluye que la señal será audible con y sin protectores auditivos en las bandas de interés.

Empresa procesadora de alimentos

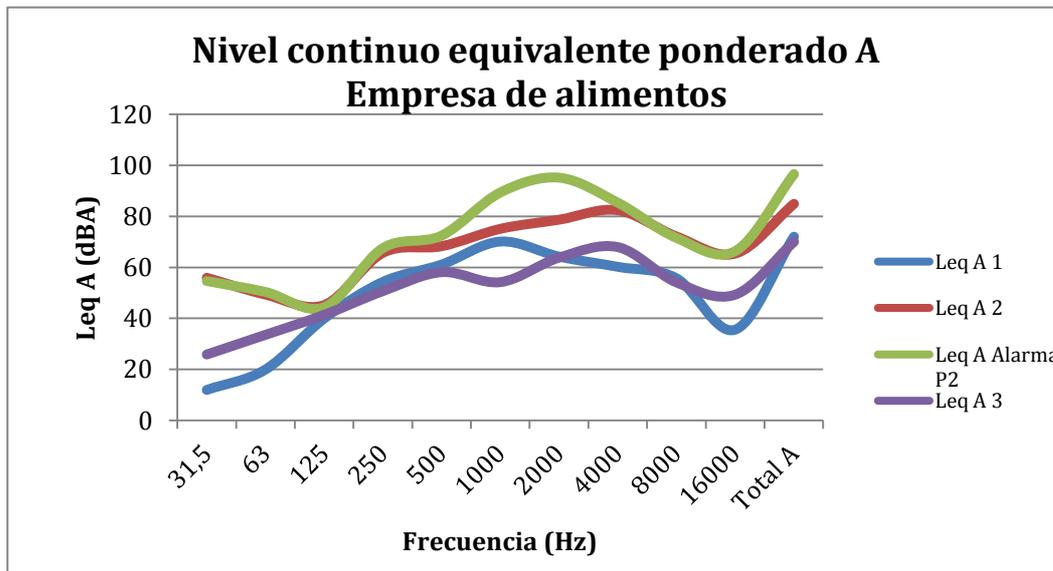
Áreas, proceso y/o equipo evaluados:

Área de amasado de ingredientes (P1): Dos trabajadores, no usan protectores auditivos, tiempo de trabajo 8 horas.

Horneado (P2): Un trabajador, no usa protectores auditivos, tiempo de trabajo intermitente.

Embolsado (P3): Tres trabajadores, no usan protectores auditivos, tiempo de trabajo 8 horas.

Gráfica 3. Nivel continuo equivalente ponderado A empresa de alimentos.



Medición de niveles de ruido de fondo y Medición de nivel de señal acústica.

Se realizaron 3 mediciones en las áreas de estudio y los resultados después de la promediación fueron los presentados en la gráfica 3.

El SPL de la alarma en el punto 2 (P2) donde se encuentra la zona de horneado, pues este fue el sector con mayor nivel de ruido.

Análisis de la percepción de señales de aviso y alarma

En la gráfica 3 se puede ver región audible de las señales acústicas de aviso y alarma (bandas de 500 Hz a 4000Hz) el SPL de la señal supera ampliamente los niveles de ruido generados por la pulidora. Sin embargo es importante verificar que la diferencia de niveles globales entre la alarma y el ruido de fondo supere en 15 dBA global al ruido de fondo, la señal tenga mínimo 65 dBA de valor global y los niveles de audibilidad por banda de octava sean superados por al menos 10 dBA. Los resultados obtenidos, después de alimentar el sistema diseñado fueron:

Nivel global fuente (Ls) - Nivel global ruido de fondo(Ln)= 11,6 dBA.

Audibilidad en 500 Hz = 4,1

Audibilidad en 1000 Hz = 14,2

Audibilidad en 2000 Hz = 16,4

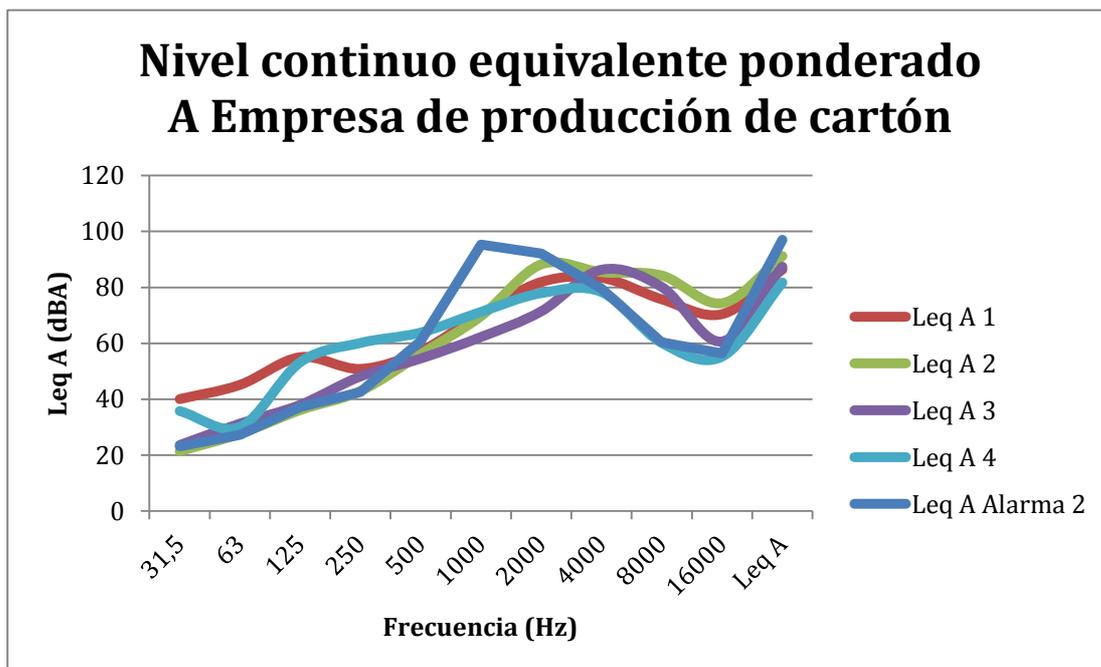
Audibilidad en 4000 Hz = 2,9

Lo anterior indica que las señales acústicas de aviso y alarma serán audibles en las bandas de 1000 y 2000 Hz. Las bandas de 500 y 4000 Hz no son claramente audibles. Sin embargo, la diferencia entre el nivel global de la fuente y el nivel global de ruido supera ampliamente los 15 dB requeridos.

Corrugador (P2): Dos trabajadores, no usa protectores auditivos, tiempo de trabajo intermitente.

Ciclón (P3): Un trabajador, usa protector auditivo tipo orejera 3M, tiempo de trabajo 8 horas.

Gráfica 4. Nivel continuo equivalente ponderado A empresa productora de Cartón.



Área de compresión (P4): Un trabajador, no usa protector auditivo, tiempo de trabajo 8 horas.

Medición de niveles de ruido de fondo y Medición de nivel de señal acústica.

Se realizaron 3 mediciones en las áreas de estudio y los resultados después de la promediación fueron los presentados en la gráfica 4.

El SPL de la alarma en el punto 2 (P2) donde se encuentra la zona de corrugado, pues este fue el sector con mayor nivel de ruido.

Análisis de la percepción de señales de aviso y alarma

En la gráfica 4 se puede ver la región audible de las señales de alarma (bandas de 500 Hz a 4000Hz) el SPL de la señal de alarma supera solo en dos bandas los niveles de ruido generados en la zona de corrugado. Por lo tanto es importante verificar que la diferencia de niveles globales entre la alarma y el ruido de fondo supere en 15 dBA global al ruido de fondo, la señal tenga mínimo 65 dBA de valor global y los niveles de audibilidad por banda de octava sean superados por al menos 10 dBA. Los resultados obtenidos, después de alimentar el sistema diseñado fueron:

Nivel global fuente (Ls) - Nivel global ruido de fondo(Ln)= 6 dBA.

Audibilidad en 500 Hz = 4,6

Audibilidad en 1000 Hz = 25,6

Audibilidad en 2000 Hz = 3,9

Audibilidad en 4000 Hz = -5,9

Lo anterior indica que la señal acústica de aviso y alarma será audible solo en la banda de 1000 Hz. Las bandas de 500, 2000 y 4000 Hz no son claramente audibles. Además, la diferencia entre el nivel global de la fuente y el nivel global de ruido no supera ampliamente los 15 dB requeridos.

Por lo tanto se concluye que la señal no será audible en el área de Corrugado con y sin protectores auditivos.

Empresa de producción de plástico

Áreas, proceso y/o equipo evaluados:

Área de troquelado (P1): Dos trabajadores, usan protectores auditivos tipo orejera marca Moldex, tiempo de trabajo intermitente.

Molino (P2): Un trabajador, usa protectores auditivos tipo orejera marca Moldex, tiempo de trabajo intermitente.

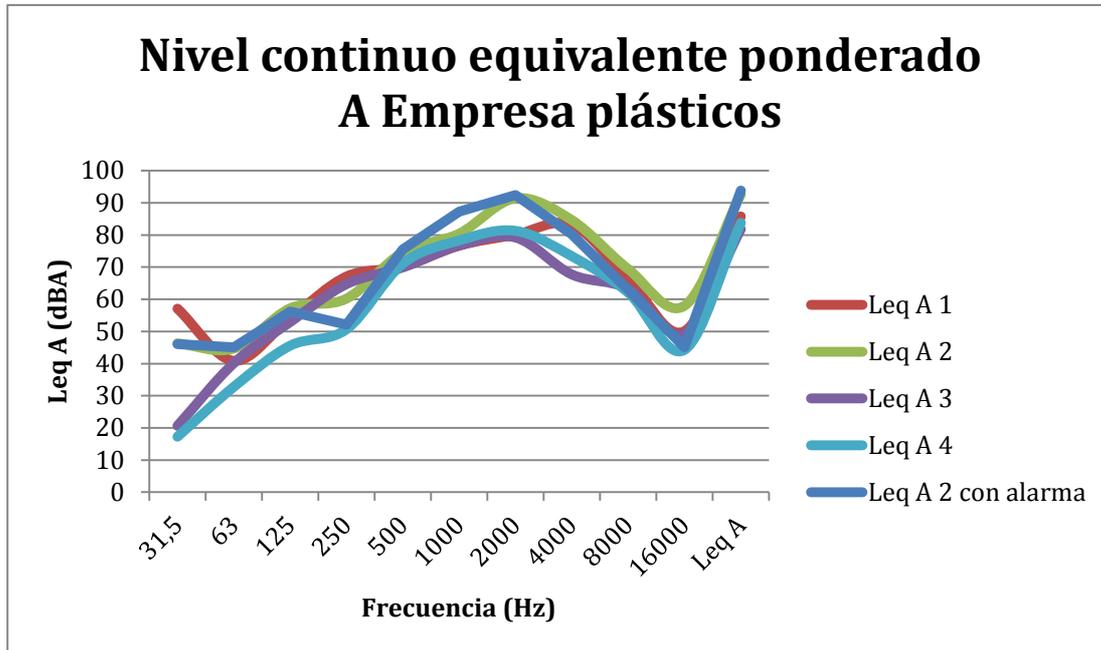
Prensa (P3): Un trabajador, usan protectores auditivos tipo orejera marca Moldex, tiempo de trabajo intermitente.

Pulidora (P4): Un trabajador, no usa protector auditivo, tiempo de trabajo intermitente.

Medición de niveles de ruido de fondo y Medición de nivel de señal acústica.

Se realizaron 3 mediciones en las áreas de estudio y los resultados después de la promediación fueron los presentados en la gráfica 5. El SPL de la alarma en el punto 2 (P2) donde se encuentra la zona de molino, pues este fue el sector con mayor nivel de ruido.

Gráfica 5. Nivel continuo equivalente ponderado A empresa de plásticos.



Análisis de la percepción de señales de aviso y alarma

En la gráfica anterior se puede ver que en la región audible de las señales de alarma (bandas de 500 Hz a 4000Hz) el SPL de la señal de alarma no supera ruido generados en la zona de molino. Por lo tanto es importante verificar que la diferencia de niveles globales entre la alarma y el ruido de fondo supere en 15 dBA global al ruido de fondo, la señal tenga mínimo 65 dBA de valor global y los niveles de audibilidad por banda de octava sean superados por al menos 10 dBA. Los resultados obtenidos, después de alimentar el sistema diseñado fueron:

Nivel global fuente (Ls) - Nivel global ruido de fondo(Ln)= 1.2 dBA.

Audibilidad en 500 Hz = 1

Audibilidad en 1000 Hz = 6,6

Audibilidad en 2000 Hz = 1

Audibilidad en 4000 Hz = -4,4

Lo anterior indica que la señal acústica de aviso y alarma no será audible en ninguna de las bandas de estudio. Además, la diferencia entre el nivel global de la fuente y el nivel global de ruido no supera los 15 dB requeridos.

Por lo tanto se concluye que la señal no será audible en el área de molino con y sin protectores auditivos.

5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

* Al momento de evaluar la percepción e inteligibilidad de señales de aviso y alarma no es suficiente emplear un único tipo de norma técnica que se remita a un parámetro acústico en particular, sino que es importante incluir el conjunto de normas que se consideren pertinentes para abarcar todas las variables que puedan influir en dicha percepción.

* El presente proyecto desarrolló una propuesta metodológica que permitió evaluar la percepción e inteligibilidad de señales de aviso y alarma en la industria por parte del trabajador, vinculando distintas normas que hacen referencia de manera independiente a parámetros particulares: condiciones auditivas del trabajador (ISO 7731), tipo de protección auditiva que emplea, y condiciones acústicas del ambiente laboral al que está expuesto (ISO 9921 e ISO 61310, ISO 3382). Como resultado de ello la metodología presenta una descripción clara y concreta de cuál es la percepción real que presenta un trabajador al interior de la industria como resultado de la interacción de dichos parámetros.

* La revisión y análisis de las normas técnicas internacionales relacionadas con la percepción de señales acústicas de aviso y alarma permitió determinar que si bien algunas tenían en cuenta la atenuación producto de los protectores auditivos como variable en la percepción de señales de aviso y alarma, no se le da gran importancia al desplazamiento del umbral auditivo, variables que combinadas pueden dar grandes atenuaciones en las bandas de interés para la percepción de señales acústicas.

* En relación a las mediciones realizadas se puede concluir que en la mayoría de áreas estudiadas en las industrias se cumplen los niveles máximos establecidos por la legislación colombiana respecto a la exposición al ruido, sin embargo, siempre se encontró al menos una zona de trabajo ruidosa, la cual superaba los niveles máximos permitidos.

* Las pulidoras son principalmente las mayores causantes de los altos niveles de ruido, aunque por lo general los trabajadores usan protectores auditivos y los tiempos de exposición son cortos.

* La empresa de plásticos fue la que peores resultados generó respecto a la audibilidad de las señales acústicas de aviso y alarma en el área de molino, esto ya que ni el valor global ni los valores de audibilidad por banda de octava cumplieron con los niveles mínimos requeridos para la percepción de señales acústicas de aviso y alarma.

* Los ruidos generados por la pulidora, los molinos y la zona de corrugado son de banda ancha y presentan gran cantidad de energía en todo el espectro de frecuencia, lo que genera que los niveles globales sean muy altos.

* Finalmente también debe quedar la discusión abierta en lo que se refiere a generación de ruido en bajas frecuencias, su control y su impacto sobre el ser humano, esto ya que como se mencionaba anteriormente, los ruidos encontrados son de banda ancha y, a pesar que los niveles globales no superan en muchos casos lo establecido por la legislación colombiana, también es importante recordar que dichos valores tienen ponderación A, lo que hace que en gran medida se ignore el aporte energético de las frecuencias bajas.

BIBLIOGRAFÍA.

[1] ARANA, M and IZQUIERDO, J. *Evaluación de señales acústicas utilizadas en la industria y la construcción* partes 1, 2 y 3, <http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=2128>.

[2] AENOR. ISO 7731:2008 Señales de peligro para lugares públicos y lugares de trabajo. Señales acústicas. 2008

[3] AENOR. ISO 9921:2001. Evaluación de comunicación verbal. 2001

[4] CEI 60268-16:2003 Equipos para sistemas electroacústicos. Parte 16: Evaluación objetiva de la inteligibilidad del habla mediante el índice de transmisión del habla. 2003