



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

**ELABORACIÓN DE UN MAPA DE RUIDO LABORAL EN UNA
EMPRESA SIDERÚRGICA UBICADA EN LA PARROQUIA DE ALÓAG,
QUE SIRVA COMO HERRAMIENTA PARA EVALUAR LA EXPOSICIÓN DE
RUIDO DE LOS TRABAJADORES.**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
Establecidos para obtener el título de Ingeniero de Sonido y Acústica

Profesor guía

Ing. Miguel Angel Chávez Avilés

Autor

David Alejandro Pérez Espinel

Año

2016

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Miguel Angel Chávez Avilés
Ingeniero Acústico
C.I: 1710724848

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que se protegen los derechos de autor vigentes.”

David Alejandro Pérez Espinel
C.I: 1721595591

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero a todos mis amigos que me han apoyado durante todo esta hermosa experiencia universitaria, en especial a los que me han ayudado para culminar esta meta propuesta. No puedo olvidar a Dani y Stefy, gracias por las largas horas de ayuda para culminar este trabajo. A mi familia: Angy, Susi, Sofi, Luis Miguel, Mamá Berita y a mis padres Paty y Wilson, pues todos ellos me han convertido en lo que soy y siempre me han apoyado en todos mis proyectos. Especialmente a mi hermano, que me inspira siempre a ser mejor persona y a llegar más lejos.

DEDICATORIA

Dedicado para todos los futuros colegas de trabajo, para aquellos que están temerosos de estudiar esta carrera nueva, para los que están a punto de rendirse porque cada vez se hace más difícil. Sigán adelante, cuesta un poco, pero es posible.

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta la elaboración de un mapa estratégico de ruido y cómo este puede ser utilizado para evaluar la dosis de ruido diaria en los trabajadores según el decreto ejecutivo 2393.

Se ha utilizado una metodología basada en la geo estadística, que consistió en escoger puntos de medición dentro de una malla que se traza sobre la zona a evaluar, para posteriormente ingresar los datos en el ArcMap, que es una de las aplicaciones del software ArcGis, el cual puede alimentar un sistema de información geográfica (SIG), el cual realizará la interpolación y obtención de curvas de nivel.

Con el mapa ha sido posible localizar aquellas zonas donde existen niveles altos de ruido, y mediante el tiempo que permanece el trabajador en dichas zonas se obtuvo la dosis diaria, según determina el decreto ejecutivo 2393.

El cálculo de la dosis sirvió para establecer el tiempo máximo de exposición, para que los trabajadores no sufran daños auditivos, en las zonas con mayor nivel de ruido. Además, de determinar el cumplimiento de la normativa ecuatoriana por parte de la empresa.

ABSTRACT

The following titling project presents the creation of a strategically designed noise map, and how it could be used in the evaluation by “Decreto Ejecutivo 2393” of daily noise exposure dosing in working craft.

The method used was based on geographical statistics, which consists in picking random measuring spots within a precise network drawn over the evaluating zone. The data obtained will later be processed by “ArcMap”, one of the many applications in “ArcGis” software, which feeds a geographical information system that will interpolate our results into noise level curves.

With the mapping done correctly, it has been possible to locate the higher noise level zones. With this, the daily noise exposure dose was obtained based on how much time the worker spends on that zone specifically, by “Decreto Ejecutivo 2393”

The daily noise exposure dose calculation was used to establish maximum exposure time for workers in order to avoid hearing damage, and determine the Ecuadorian normative fulfillment by the analyzed company.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes.....	1
Alcance.....	3
Justificación	3
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos	5
1. CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	6
1.1. Mapa de Ruido	6
1.2. Mapa Estratégico de Ruido.....	6
1.3. Plan de Acción.....	6
1.4. Metodologías para la Realización de Mapas de Ruido	6
1.5. Datos de Entrada Necesarios para una Simulación Acústica.....	10
1.5.1. Datos Relacionados con la Fuente de Ruido.....	11
1.5.2. Datos Relacionados con la Propagación del Sonido	11
1.5.3. Datos Relacionados con el Receptor del Ruido	12
1.6. Utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Realización de Mapas de Ruido	12
1.7. Incertidumbre en Mapas de Ruido.....	13
1.7.1. Incertidumbre.....	14
1.7.2. Fuentes de Incertidumbre en Mapas de Ruido.....	15
1.8. Interpolación	15
1.8.1. Métodos de Interpolación	16
1.8.1.1. Inverse Distance Weighting (IDW)	17
1.8.1.2. Kriging Ordinario	17
1.9. Exposición al Ruido	17
1.9.1. Dosis de Ruido	18
2. CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	21
2.1. Planteamiento.....	21
2.2. Elaboración del Mapa de Ruido.....	22
2.2.3. Ubicación de los Puntos de Medición	25

2.2.4. Instrumentación	27
2.2.5. Mediciones	28
2.2.6. Ingreso de Datos en Software GIS	31
2.3. Cálculo de la Dosis	35
3. CAPÍTULO 3: RESULTADOS	37
3.1. Mediciones	37
3.2. Mapa de Ruido	38
3.3. Dosis	39
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
4.1. Conclusiones	42
4.2. Recomendaciones	43
REFERENCIAS	44
ANEXOS	46

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El ruido, en las actividades laborales del ser humano, se encuentra presente desde que se tiene conocimiento de la historia misma. Actividades tales como la agricultura, el descubrimiento del fuego, entre otras, poseían un daño ambiental que en esos tiempos aún estaba sin identificar. (Espíritu, 2015).

Gracias a la revolución industrial que sufre la humanidad, y gracias a todas las nuevas maquinarias que trae consigo esta revolución, se puede identificar un impacto ambiental, en el cual se encuentra el impacto causado por el ruido. Sin embargo, este impacto de ruido no se encontraba entre los problemas primordiales de los dueños de las industrias, haciendo que no existieran medidas para poder controlarlo. (Espíritu, 2015).

Luego de varios años, se puede notar una evolución en la protección del medio ambiente, en lo cual entra esta lucha constante para controlar la contaminación acústica. Durante mucho tiempo atrás, en las normativas de protección laboral, el ruido no era considerado como contaminante ambiental, pero debido a un crecimiento en la industrialización en todas las ciudades del mundo, ya se han creado distintas normativas encargadas de controlar el exceso de ruido. (Girón, 2005)

Las comunidades internacionales han hecho un gran esfuerzo por contrarrestar este problema del ruido, y este esfuerzo queda plasmado en la realización de distintos estudios para obtener un mayor conocimiento sobre las fuentes que generan este daño ambiental. Además se han creado distintas políticas de prevención y control del ruido dentro de las industrias. (Simarro, 2015)

En la actualidad, varios organismos, científicos y expertos en la salud han llegado a la conclusión que el ruido es perjudicial para la salud de las personas,

causando problemas fisiológicos como la pérdida de la audición y trastornos psicológicos como: cansancio y estrés. Recientemente al ruido se lo reconoce como un efecto peligroso que ha pasado a ser un tema de mayor importancia con el tiempo (Gonzales, 2015).

El ruido laboral es uno de los grandes problemas a los que se encuentran expuestas las personas, debido a que los niveles de ruido en un puesto de trabajo pueden prolongarse de forma regular durante varias horas y durante varios años (Velandia, 2006). Según la Dirección de Riesgos de Trabajo del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS): “Se ha demostrado que la exposición constante a altos niveles de ruido no sólo trae como consecuencia la pérdida auditiva, sino también reduce la capacidad de concentración, incrementa el costo de realizar una actividad específica, y a la vez pone al trabajador en un estado irritable luego de la actividad laboral, impidiendo un descanso y recuperación adecuados” (Alberto, 2005). El sector industrial es uno de los mayores causantes de ambientes ruidosos (Simarro, 2015).

La contaminación acústica ha llegado a ser parte de las peores molestias que sufre la ciudadanía, por lo que existen un gran número de denuncias, esto debido a que el ruido no permite crear un ambiente de relajación y tranquilidad. Entre las competencias municipales se encuentra el precautelar la salud y el bienestar de la población que está siendo afectada por la contaminación ambiental producida por la emisión de ruido; previniendo, evaluando y controlando la emisión de ruido, evitando las consecuencias adversas que el ruido produce. (MDMQ, 2004).

La empresa donde se realiza el estudio (cuyo nombre se va a mantener en anonimato por disposición de la misma), es una siderúrgica ubicada en la parroquia de Alóag. Esta cuenta con procesos de producción de laminados y de trefilados, además de una planta fundidora. Logrando así productos como: alambre de púas, alambre galvanizado, alambre recocado, alambre trefilado, varilla trefilada, varilla sismo resistente, malla de cerramiento, entre otras.

Alcance

El sector industrial es catalogado como el causante de la mayor cantidad de contaminación acústica en la actualidad (Gonzales, 2015), debido al gran número de maquinaria en el interior. Por lo que es necesario realizar el mapa de ruido dentro de la empresa, para conocer las zonas donde los trabajadores podrían estar expuestos a un nivel alto de ruido.

En este trabajo se realizará un mapa de ruido laboral en la planta de trefilados de la empresa, en la cual trabajan 30 empleados. Se utilizará el mapa como herramienta para conocer las zonas con altos niveles de ruido.

Una vez conocidas estas zonas, se realizará una entrevista con el jefe de seguridad para conocer el número de empleados que trabajan en dichas zonas, además del tiempo de trabajo de cada uno de ellos y finalmente si se realizan rotación de personal u horas extras.

Con los datos obtenidos, se calcula la dosis diaria de los empleados, según lo que dicta el decreto ejecutivo 2393. Y así, poder determinar el cumplimiento de la normativa ecuatoriano en los empleados dentro de esta planta.

Justificación

Existe una preocupación por las personas en realizar sus actividades de una manera eficiente y eficaz, sin embargo, esto puede lograrse si se encuentran en un ambiente tranquilo, haciendo necesario un estudio del nivel de ruido en los distintos lugares de trabajo.

Es algo reciente para los diseñadores y constructores incorporar la evaluación y control de la seguridad y salud en los trabajadores, sin embargo, es necesario identificar y valorar los distintos impactos potenciales dentro de las empresas, por lo que empiezan a realizar estudios de salud en los puestos de trabajo.

Las empresas deben velar por la salud de sus trabajadores, ya que si no se encuentran en un ambiente adecuado para realizar sus actividades, estas serán completadas sin el resultado esperado y consumiendo más del tiempo necesario. El ruido es una de las causas de estos problemas psicológicos, por lo que es adecuado realizar un estudio en el cual se pueda ver gráficamente los lugares que necesitan de tratamiento acústico para que sus empleados no sufran daños a corto y largo plazo.

La Organización Panamericana de la Salud dispone que un trabajador en una jornada laboral de 8 horas no debería superar un nivel máximo de 85 dBA de exposición, y las empresas tienen la obligación de dar protección auditiva a los trabajadores que se encuentren a un nivel superior al mencionado. (OPS, 2005).

El Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP) establece en la ley orgánica de la salud pública y seguridad en el trabajo dentro de su artículo 118: “Los empleadores protegerán la salud de sus trabajadores, dotándolos de información suficiente, equipos de protección, vestimenta apropiada, ambientes seguros de trabajo, a fin de prevenir, disminuir o eliminar los riesgos, accidentes y aparición de enfermedades laborales” (RO, 2006).

El mapa de ruido que se desarrolló en el presente trabajo permite ver de una manera gráfica los lugares con mayor nivel de ruido dentro de la empresa. Es decir, los lugares donde la exposición de los trabajadores al ruido puede ser significativa. Además es posible identificar las distintas fuentes causantes de estos problemas de ruido.

Este estudio quedará en manos de la empresa, para que ellos puedan conocer los niveles de exposición de ruido en los que se encuentran sus empleados en su jornada laboral, de esta forma determinar si debe realizarse algún control para encontrarse dentro de la normativa ecuatoriana y evitar daños auditivos en sus empleados.

Objetivo General

Elaborar un mapa de ruido laboral en una empresa siderúrgica ubicada en la parroquia de Alóag que sirva como herramienta para evaluar la exposición de ruido de los trabajadores de acuerdo a la normativa ecuatoriana 2393.

Objetivos Específicos

Identificar una metodología adecuada que sirva como guía para la realización del mapa de ruido laboral en la empresa.

Analizar diferentes normativas que se aplican para determinar la exposición de ruido en trabajadores.

Escoger una muestra representativa de los trabajadores de la empresa para realizar la evaluación de exposición sonora.

Determinar la exposición sonora de los trabajadores a partir del mapa de ruido generado.

1. CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1. Mapa de Ruido

Un mapa de ruido puede ser definido como una representación gráfica de distintos datos, que pueden ser de una situación acústica existente o pronosticada, en función de un indicador de ruido, en el cual se debe indicar si se sobrepasa un valor límite que se encuentre permitido, además del número de personas que se encuentran afectadas en una zona específica o el número de viviendas que se encuentran expuestas a los diferentes valores de ruido (Directiva Europea sobre Evaluación y Gestión de Ruido Ambiental, 2002).

1.2. Mapa Estratégico de Ruido

Un mapa estratégico de ruido es aquel diseñado con la intención de poder evaluar, de una manera global la exposición al ruido que sufre una zona determinada, esta puede ser causada por distintas fuentes de ruido. De igual manera, con un mapa estratégico de ruido también se pueden realizar predicciones globales de tal zona (Directiva Europea sobre Evaluación y Gestión de Ruido Ambiental, 2002).

1.3. Plan de Acción

Es un tipo de plan, que toma la iniciativa más importante y la prioriza para cumplir con objetivos y metas específicos. Por lo que llega a constituirse como una guía para brindar un marco o una estructura a la hora de realizar un proyecto. Un plan de acción propone una forma de alcanzar los objetivos estratégicos propuestos con anterioridad (Pérez, Merino, 2009).

1.4. Metodologías para la Realización de Mapas de Ruido

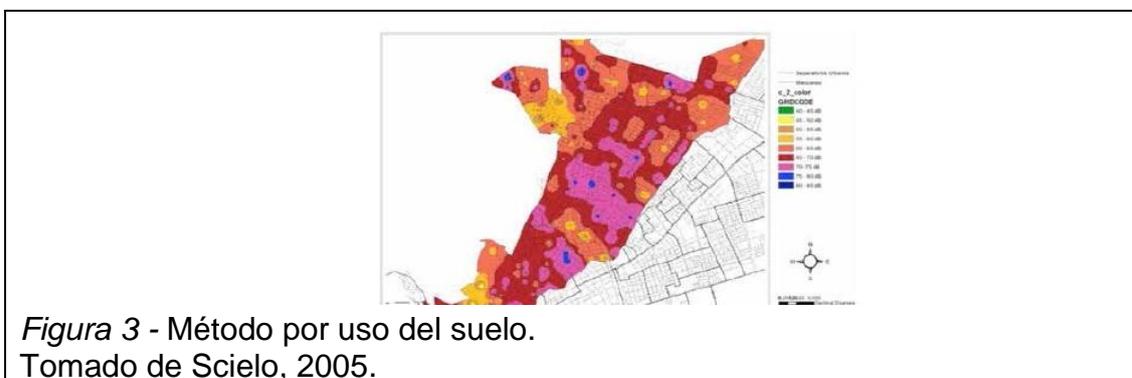
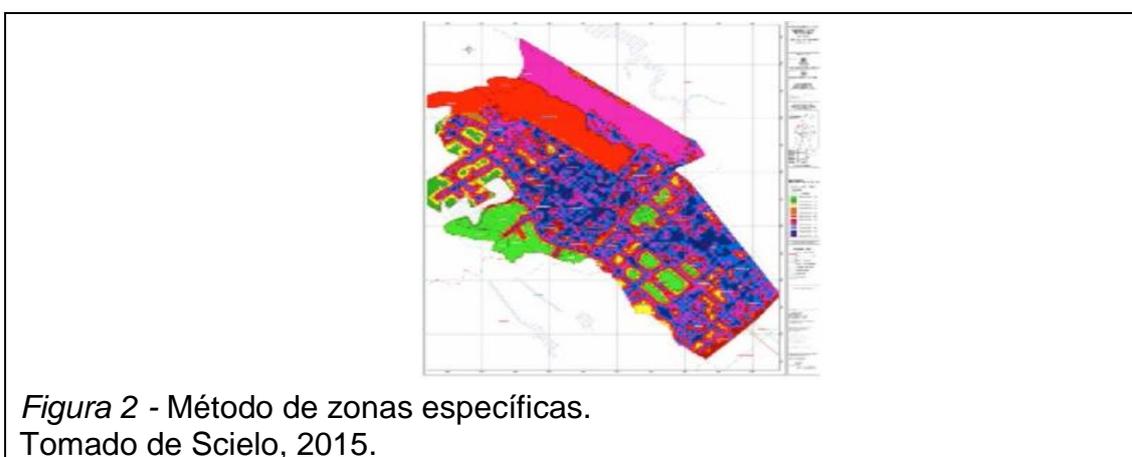
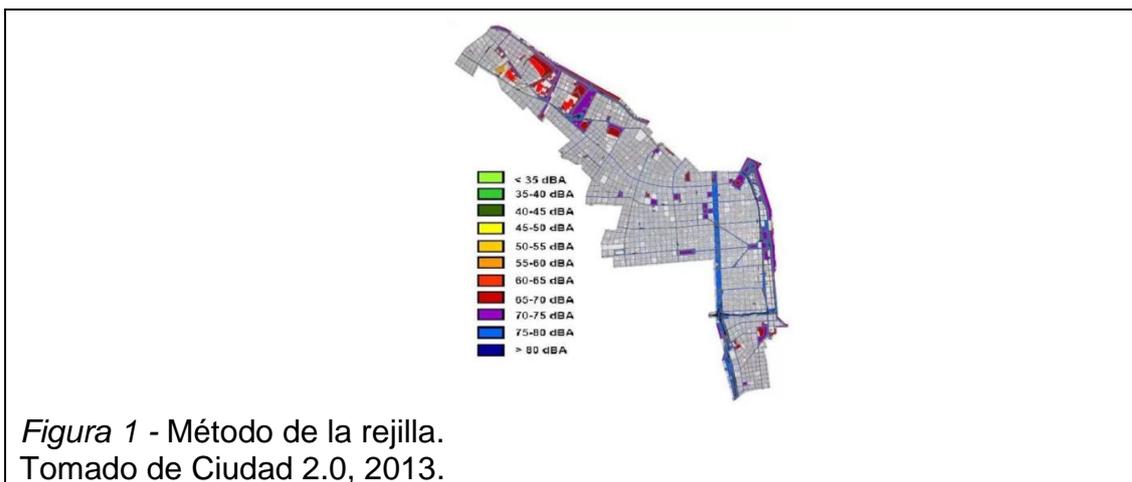
Debido a la carencia de una guía que explique la forma en la que se debe realizar un mapa de ruido, los primeros de estos utilizaron una metodología

experimental. Los primeros mapas de ruido datan de los años 80 y 90 y para su elaboración se utilizó un plan de muestreo (Sommerhoff, 2004).

Los métodos experimentales que se han utilizado en gran parte de la realización de los mapas de ruido son los siguientes:

- i) Metodología de la rejilla: Este método consiste en dividir la zona que se encuentra bajo estudio con una rejilla de una distancia fija y realizar las mediciones en los nodos de dicha rejilla (Romeu, 2006). La distancia que se maneja en la rejilla va a depender del área sobre la cual se está realizando el estudio (figura 1). Dentro de esta malla, existirán puntos cuya medición será imposible. Este método permite eliminar dichos puntos, por lo que se recomienda utilizar una malla cuya distancia entre punto y punto no posea una gran dimensión, para que no exista problemas en los resultados al momento de eliminar puntos.
- ii) Muestreo en zonas específicas: Esta es una técnica utilizada cuando el método de la rejilla no logra cubrir una zona que puede aportar mucha información al mapa de ruido, por lo que también se hacen mediciones en dicha zona específica, un ejemplo de esto es el ruido de ocio nocturno (figura 2).
- iii) Muestreo en función del uso del suelo: El método utiliza las características del suelo, es decir, las categorías de planificación territorial de la aglomeración, por ejemplo: zonas de uso residencial, uso comercial, etc. (Romeu, 2006). Se realizan mediciones en cada una de estas zonas, y estas serán representativas para toda la zona (figura 3). En este método se debe tomar en cuenta el D.E. de cada país, ya que en cada una de las zonas existen niveles de ruido máximos permitidos. Estos niveles son distintos en el día y en la noche, dependiendo de la zona, por lo que se recomienda realizar un mapa de ruido diurno y nocturno al utilizar este método.
- iv) Metodología de zonas aleatorias: Esta metodología es utilizada cuando no se puede trazar una rejilla a una distancia fija sobre la

zona de estudio (Pavón, 2006), o porque dicha zona no se encuentra clasificada en función de su uso de suelo (figura 4). Por lo que se procede a tomar puntos aleatorios sobre la zona de estudio, tomando en cuenta las zonas que aporten una mayor información al momento de realizar el mapa de ruido.



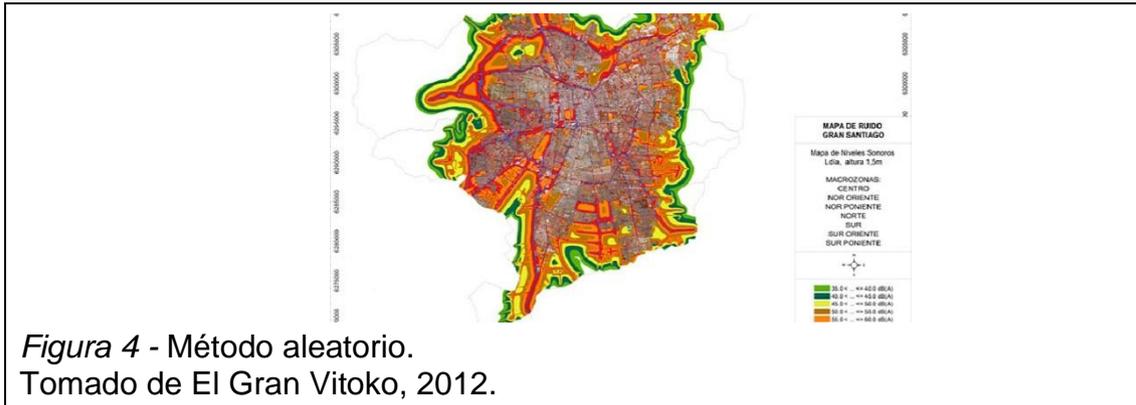


Figura 4 - Método aleatorio.
Tomado de El Gran Vitoko, 2012.

Para elegir el método que se utilizará al momento de realizar un mapa de ruido se deben tomar en cuenta muchos factores, además los métodos pueden mezclarse entre sí para obtener un método que sea factible para hacer el mapa, entre los factores que pueden afectar a la metodología se encuentran: optimización del tiempo, costo disponible, etc. (Romeu, 2006).

Con el paso de los años, se ha visto un crecimiento en el tráfico rodado, y con esto se ha podido llegar a la conclusión que en las ciudades, el mayor nivel de ruido que se tiene en los mapas de ruido, muchas de las veces es causado por las vías por las cuales transitan los vehículos. Esto ha llevado a que exista de igual manera un crecimiento en los modelos de predicción de ruido mediante ecuaciones matemáticas (Steele, 2001). Desde entonces, se siguen desarrollando varios modelos que toman en cuenta los distintos fenómenos físicos que pueden afectar al momento de hacer una predicción, como el clima. Además se toma en cuenta otras fuentes como: ferrocarriles, aviones, industrias, etc. (EC, 2003).

Estos modelos de predicción, basados en ecuaciones para ruidos en exteriores, también funcionan para la realización de mapas de ruido. Las ecuaciones utilizadas en estos modelos pueden ser simplificadas, pero también pueden desarrollar modelos para que sean aplicados en todo un ámbito nacional, esto ocurrió en varios países europeos (Steele, 2001).

Gracias al avance de estos modelos de predicción y al avance de la tecnología, se desarrollaron diferentes softwares que son capaces de simular el comportamiento del ruido en ambientes externos. Para la utilización de estos softwares se debe tomar en cuenta que la Directiva Europea de ruido ambiental (END) establece que la metodología para la realización de mapas de ruido debe partir de mediciones o métodos de cálculo. Ahora es muy común que en la realización de mapas de ruido se encuentren basadas en técnicas de simulación, utilizando medidas experimentales para validar los resultados obtenidos (Manvel, 2005). La END establece los siguientes métodos de cálculo para las distintas fuentes de ruido que existen (EC, 2002):

- i) Ruido industrial: ISO 9613 - 1, aunque se recomienda la recolección de datos mediante normas internacionales.
- ii) Ruido de aviones: ECAC.CEAC 1997.
- iii) Ruido de tráfico rodado: método francés NMPB-Routes-96.
- iv) Ruido de trenes: método holandés RMR 1996.

Debido a la existencia de varios softwares de predicción de niveles de ruido, ha existido una competencia entre las empresas que las diseñan, por lo que las empresas empiezan a crear entornos SIG para la realización de mapas de ruido (Stapelfeldt, 2006). En la actualidad existe una necesidad de crear mapas de ruido a grandes escalas, y para esto es necesario una gran cantidad de datos de entrada, esto ha impulsado a un gran número de investigadores a crear sus propios softwares de predicción (King, 2009).

1.5. Datos de Entrada Necesarios para una Simulación Acústica

Es importante recordar que no existe una normativa que de una guía sobre los pasos que se deben seguir para realizar un mapa de ruido, sin embargo, existen varias recomendaciones que se pueden encontrar en muchas publicaciones.

Un Grupo de Trabajo Europeo crea una guía para la correcta elaboración de mapas de ruido. Entre las cosas que se pueden encontrar en esta guía son: valores que se establecen por defecto, soluciones alternativas para la obtención de datos, etc. (WG-AEN, 2007). Esta guía plantea que se puede dividir los datos en tres grandes grupos:

- i) Datos relacionados con la fuente de ruido.
- ii) Datos relacionados con la propagación del sonido.
- iii) Datos relacionados con el receptor del ruido.

1.5.1. Datos Relacionados con la Fuente de Ruido

Los datos que se menciona a continuación están relacionados con las máquinas que pueden encontrarse dentro de las industrias:

- (a) Potencia acústica de las fuentes de ruido industriales.

1.5.2. Datos Relacionados con la Propagación del Sonido

Estos datos se refieren a los obstáculos y a las distintas condiciones que sufre el sonido al momento de su propagación.

- (a) Elevación del terreno en las cercanías de la fuente.
- (b) Zanjas, terraplenes y desniveles.
- (c) Tipo de superficie del terreno.
- (d) Altura de los edificios.
- (e) Coeficiente de absorción sonora de edificios y barreras.
- (f) Frecuencia de condiciones de propagación sonora favorables.
- (g) Humedad y temperatura.

1.5.3. Datos Relacionados con el Receptor del Ruido

Estos datos sirven como referencia para conocer la población expuesta a los niveles de ruido de las zonas bajo estudio.

- (a) Número de empleados expuestos a altos niveles de ruido.
- (b) Tiempo de exposición a dichos niveles de ruido.

1.6. Utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Realización de Mapas de Ruido

El SIG es un sistema que puede representar, mediante un conjunto de datos, una realidad geográfica, así como su gestión y análisis. Estos sistemas SIG incluyen modelos geográficos, mapas, procesamientos geográficos, metodologías y flujos de trabajo (ESRI, 2006).

Los SIG resultan de mucha utilidad al momento de realizar modelos acústicos (Vallet, 2004). En el mundo del modelamiento acústico los SIG facilitan labores de post-procesado de la geometría de los datos como:

- i) Reconstrucción de la topografía.
- ii) Adecuación de geometrías adecuadas para ser tratadas posteriormente por los programas de simulación acústica.
- iii) Comprobación de la integridad de la geometría.
- iv) Combinación de elementos de diferentes atributos.
- v) Conversión de modelos de dos dimensiones en tres dimensiones.
- vi) Tareas de simplificación como: Realización de cálculos de interpolación, cálculos estadísticos, entre otros.

En la actualidad, la gran mayoría de los SIG ya traen consigo la opción de visualizar un modelamiento en tres dimensiones, sin embargo, también se han desarrollado un gran número de aplicaciones que permiten visualizar un modelamiento acústico en tres dimensiones (Hoar, 2007).

Gracias a los SIG se complementan las funciones de tratamiento geográfico de los programas de simulación acústica, además facilitan la creación del modelamiento acústico por las herramientas específicas de tratamiento geográfico que poseen, esto complementa la exportación e importación al software de cálculo (Imagine, 2007). Ahora es común encontrar que los softwares de cálculo acústicos ya se encuentran integrados en SIG comerciales, pero la metodología convencional siempre consistirá en la utilización de los SIG como herramienta complementaria a los programas de predicción de ruido (Stapelfeldt, 2006).

En los SIG se crea todo el modelo acústico para posteriormente exportarlo al motor de cálculo, es decir, funcionan como el centro de gestión de los datos de entrada. Se debe tener en cuenta que los SIG y el motor de cálculo deben tener formatos compatibles, en caso contrario, puede existir problemas al momento de la exportación e importación de los datos (WG-AEN, 2007).

Los SIG además facilitan las labores de agrupación, maquetación y edición de mapas, por lo que la utilización de un SIG puede considerarse la fase final de la realización de un mapa de ruido, además se ajustan a recomendaciones, normativas y documentos legislativos sobre mapas de ruido (MF, 2007).

1.7. Incertidumbre en Mapas de Ruido

Con el crecimiento de la demanda de mapas de ruido gracias a las diferentes normas y leyes que aparecen poco a poco, se encuentra un problema en el control de calidad en la realización de mapas de ruido (EC, 2002). Los mapas de ruido están pensados para tener un plan de acción sobre las zonas que se encuentran afectadas con un gran nivel de ruido, sin embargo, la falta de precisión al realizarlos crea un gran problema en los planes de acción (Shilton, 2006). Esta falta de precisión trae consigo problemas reales como el cálculo de la población expuesta, al basarse en estos errores de niveles de ruido y

población expuesta se toman planes de acción erróneos y se los ejecuta, esto representó una gran pérdida de dinero (Paviotti, 2009).

En la actualidad, no existen requisitos que cumplir sobre la calidad que deben tener los mapas de ruido, esto se debe a la falta de precisión para determinar la cantidad de incertidumbre asociada a las mediciones. (WG-AEN, 2007).

1.7.1. Incertidumbre

Una medición o una simulación tiene como propósito entregar información de una cantidad que es de interés, sin embargo, ninguna medición es exacta, pues estas mediciones van a depender del sistema de medición, del procedimiento, del operador, del entorno, y de varios otros elementos. Aunque se lograra medir en repetidas ocasiones bajo las mismas circunstancias, se obtendrán valores diferentes, esto asumiendo que el sistema de medición que se está utilizando puede tener una gran resolución para notar estos pequeños cambios entre las mediciones. Para lograr obtener un acercamiento hacia el valor real que se necesita, se debe calcular la media entre las distintas mediciones. Esta estimación puede ser considerada como el valor real, mientras que su dispersión indicará la bondad de la medición realizada (Hanson, 1999).

El sistema de medida puede arrojar un dato disperso, sin embargo, este dato puede ser erróneo, esto se debe a la medida. Existen dos tipos de errores en la medida:

- (a) El error sistemático: Es cuando la medida presenta un error constante, este es conocido como "offset".
- (b) El error aleatorio: Es aquel que aparece en diferentes medidas y en diferentes valores, este error no se puede predecir.

1.7.2. Fuentes de Incertidumbre en Mapas de Ruido

Los mapas de ruido traen consigo una gran cantidad de incertidumbre del resultado final, esto se debe a que, un mapa de ruido es realizado a partir de técnicas de simulación y validado mediante medidas experimentales. Las principales fuentes de incertidumbre en la realización de mapas de ruido se los puede dividir en los siguientes grupos (WG-AEN, 2007):

- (a) Medidas experimentales.
- (b) Método de cálculo.
- (c) Software.
- (d) Creación del modelo acústico.

Para complementar esta lista de las fuentes de incertidumbre se pueden añadir: los resultados finales, el cálculo de la población expuesta al ruido y la representación gráfica de los mapas. Sin embargo, estas fuentes de incertidumbre nacen una vez que se realiza la interpolación, que sirve para tener una representación gráfica con líneas isofónicas (Arana, 2009).

Por último, es importante mencionar que en la elaboración de mapas de ruido también pueden existir errores humanos. Estos errores se pueden dar en el manejo de los datos, debido a la gran cantidad con los que se está trabajando, además de constantes cambios en los formatos, conversiones e incluso los orígenes de los mismos (Popp, 2009).

1.8. Interpolación

La interpolación es un proceso utilizado en gran medida en la creación de mapas de ruido. Esta interpolación es a partir de puntos y es conocido también como interpolación espacial. Consiste en la estimación de valores que se encuentran en una variable Z y nacen a partir de puntos definidos por las coordenadas (X, Y) . Partiendo de los valores de la variable Z , que son valores

medidos en los puntos situados sobre el área de estudio, se obtiene la estimación de los valores que se encuentran fuera de esta área de estudio. A este proceso se lo denomina extrapolación. Esta área de estudio se encontrará definida por el entorno de los puntos en los que sí se tienen datos, aunque no sea de forma clara (SIGMUR, 2006).

La interpolación también trabaja con SIG y cuando lo hace, esta interpolación se utiliza para obtener capas que representan a la variable a interpolar. Para estos casos, el área que se encuentra entre los puntos de los nodos de la rejilla constituye un punto sobre el que hay que realizar la interpolación.

La forma más común de trabajar con interpolación, es partir de medidas puntuales, esto en el caso de mapas de ruido. También es posible partir de isolíneas, pero estas son más utilizadas al momento de crear mapas de isotermas, isobaras, isoyetas, etc. Los métodos que se usan en cada uno de estos casos son muy diferentes, sin embargo, todos los métodos de interpolación se encuentran basados en la presunción lógica de que los valores que no tienen valor y se encuentran dentro de los puntos medidos, serán más parecidos a los puntos que se encuentren cercanos a ellos. Dicho en forma técnica, las variables espaciales muestran auto correlación espacial (SIGMUR, 2006).

1.8.1. Métodos de Interpolación

Actualmente, para la realización de mapas de ruido existen dos métodos que son los más utilizados: Kriging e IDW (Inverse Distance Weighting). Estos dos métodos se basan en el auto correlación espacial de los puntos para predicción y la generación de superficies continuas. Al ser capaces de crear superficies continuas, estos dos métodos facilitan el análisis de la situación acústica del área en estudio (USBMed, 2012).

1.8.1.1. Inverse Distance Weighting (IDW)

Este método de interpolación utiliza una función inversa de la distancia. Utiliza una simple suposición: las cosas que se encuentran más cerca son más parecidas, debido a esto, existe un gran peso e influencia sobre el punto a estimar.

1.8.1.2. Kriging Ordinario

Este método está basado en la auto correlación espacial de las variables, es decir, es un estimador lineal insesgado que genera superficies continuas a partir de puntos discretos. Aunque la media entre dos puntos sea desconocida, este método asume que es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias. Es un método que permite la transformación de los datos, eliminación de tendencias y puede proporcionar una medida de error.

1.9. Exposición al Ruido

El concepto de Exposición al Ruido lleva consigo dos grandes variables: Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (NPSeq) y el tiempo de exposición (en horas) a ese nivel. Este es un término que permite determinar el nivel de ruido al que se encuentra expuesto un trabajador en su lugar de trabajo. Gracias a esto es posible conocer si el tiempo al que el trabajador se encuentra expuesto a ese ruido es mayor, menor o igual al tiempo al que ese trabajador debería estar expuesto a ese ruido, por lo que se obtienen dos indicadores (DRD, 2014): tiempo de exposición al ruido (T_e) y tiempo permitido (T_p). Este T_p se encontrará regulado por la normativa de cada uno de los países, en el Ecuador, el T_p a un nivel de 85 dB es de ocho horas.

Al realizar una comparación directa entre el T_e y el T_p , es posible llegar a conclusiones inmediatas sobre el riesgo a una alta exposición de ruido en el puesto de trabajo (DRD, 2014), ya que:

- i) $T_e > T_p$, indica que el trabajador se encuentra expuesto a un nivel de ruido por más tiempo del permitido. Cuando esto ocurre se tiene una exposición con riesgo de pérdida auditiva.
- ii) $T_e = T_p$, indica que el trabajador está expuesto a un nivel de ruido tanto tiempo como se le es posible. Esto se le conoce como: exposición en el límite legal, y en este caso se debe calificar si existe o no un riesgo de pérdida auditiva.
- iii) $T_e < T_p$, el trabajador se encuentra expuesto a un determinado ruido menos tiempo que el permitido. En este caso se tiene una exposición sin riesgo de pérdida auditiva.

1.9.1. Dosis de Ruido

La exposición de ruido presentaba un grave problema al querer comparar dos lugares de trabajo, ya sean iguales o diferentes, los cuales poseen niveles de ruido NPSeq y tiempo de exposición distintos (DRD, 2014). El problema realmente se sentía cuando se quería comparar el nivel de exposición de dos trabajadores distintos, que pasan en dos puestos de trabajo diferentes, a un nivel de ruido distinto y en tiempos diferentes, era imposible conocer cuál de los dos podría encontrarse en mayor riesgo de pérdida auditiva.

Este problema puede resolverse utilizando un descriptor, el cual sea capaz de relacionar el nivel de ruido NPSeq y el tiempo de exposición, de esta forma se logra convertir la exposición del trabajador en un parámetro que sea comparable con otros puestos de trabajo. Este parámetro es conocido como Dosis, y gracias a este se puede relacionar nivel de ruido, tiempo de exposición y tiempo permitido. La dosis es la energía que recibe una persona en su puesto de trabajo durante su jornada laboral (DRD, 2014).

En el Decreto Ejecutivo 2393 “Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo”, se especifica

que la Dosis de Ruido Diaria (D) no debe ser mayor a 1. Para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$D = \frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \dots + \frac{Cn}{Tn} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde: C = Tiempo total de exposición a un nivel sonoro específico.

T = Tiempo total permitido a ese nivel.

Para lo cual se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 1. Niveles de exposición relacionados con el tiempo de exposición permitidos. Tomado del Decreto Ejecutivo 2393.

Nivel Sonoro / dBA (Lento)	Tiempo de Exposición por jornada / hora
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0.25
115	0.125

Se define (ti) como el tiempo máximo permitido a un determinado nivel de presión sonora (Leq). Dicho tiempo, se puede estimar de acuerdo a la siguiente expresión:

$$ti = T' 2^{\frac{L-Leq}{q}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde (L) es el nivel máximo permitido para una jornada de duración (T') y (q) representa el incremento del nivel permitido para que el tiempo de exposición se reduzca a la mitad. En el caso del decreto ejecutivo 2393, L = 85 dB; y T' = 8 horas, q = 5 (ver tabla 1).

Finalmente, la dosis se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = \sum_i \frac{Ti}{ti} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dónde T_i , es el tiempo de exposición al nivel L.

Cabe indicar que en el D.E. 2393 no se incluye la fórmula para calcular t_i , lo que seguramente genera un vacío técnico relacionado a su aplicación.

2. CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

2.1. Planteamiento

Este trabajo plantea la elaboración de un mapa de ruido laboral estratégico, una fábrica de acero ubicada en la parroquia de Alóag, que sirva como herramienta para la estimación y evaluación de la dosis de ruido al que están expuestos los empleados en las zonas con mayor nivel de ruido, de conformidad con la normativa ecuatoriana 2393.

El lugar escogido para la realización del mapa de ruido fue la planta de trefilados, que se encuentra dentro de la fábrica (figura 6).



La planta de trefilados consta de tres naves con un área aproximada de 8,198.96 m².



Figura 6 - Planta Trefilados.
Tomado de Google Earth, 2016.

2.2. Elaboración del Mapa de Ruido

Para realizar el mapa de ruido de la planta de trefilados dentro de la empresa siderúrgica, se escogió el método de la rejilla. Este método es muy utilizado a la hora de elaborar mapas de ruido, como el caso del paper publicado en el año 2008 por Doral L. Yopez, Miryam Gómez, Luis Sánchez y Ana C. Jaramillo titulado: “Metodología de Elaboración de Mapas de Acústicos como Herramienta de Gestión de Ruido Urbano - Caso Medellín”.

El caso que se ha mencionado, y muchos casos más, se refieren a la creación de mapas de ruido ambientales, sin embargo, es necesario recordar que en este estudio se desea implementar un mapa de ruido laboral, es decir, un mapa de ruido en el que se vea los niveles a los que se encuentran trabajando las personas en las diferentes zonas, para posteriormente conocer si pueden sufrir daños de pérdida de la audición. Se toma la referencia de mapas de ruidos ambientales debido a que no existe mucha información sobre la metodología para utilizarse en mapas de ruido laborales.

2.2.1. Datos de las Fuentes

Dentro de las tres naves se encuentran las siguientes máquinas:

- (1) Dentro de la primera nave, la máquina galvanizadora, encargada del proceso de galvanizado. En este proceso se cubre al hierro con una capa de zinc para protegerlo.
- (2) En la segunda nave, la máquina trefiladora (figura 7) y la malla electro soldadora. La primera encargada del proceso de trefilado, el cual reduce el diámetro del alambón para obtener el alambre grueso. La segunda máquina, suelda distintas varillas cruzadas entre sí, hasta obtener una malla de varilla.
- (3) La tercera nave, consta de dos máquinas: Trefiladora DEM y la figuradora. La Trefiladora DEM se encarga de convertir el alambón en un alambre delgado. La figuradora, se encarga de realizar figuras específicas con la varilla.

Debido a la metodología que se utilizará, no es necesario conocer las potencias acústicas de cada una de las máquinas que se encuentran dentro de las naves. Sin embargo, existen datos que son de mucha importancia en este trabajo:

- (1) Las máquinas se encuentran encendidas las 24 horas del día de lunes a viernes.
- (2) Las máquinas no trabajan los días sábados y domingos.
- (3) Todo el proceso realizado por las máquinas es en frío.
- (4) Las máquinas funcionan a fase constante, menos la malla electro soldadora, la cual lanza un sonido de impacto cada 10 segundos.



Figura 7 - Máquina Trefiladora

2.2.2. Datos de la Propagación del Sonido

Se determinó que la superficie en la que se realizó el estudio es totalmente plano, es decir, no existen desniveles. El piso sobre las que posan las naves es de cemento, en su exterior es de adoquín. Las paredes y techo de las mismas son de zinc.

La altura de las tres naves es de 15 metros en su punto más alto. La temperatura en el interior de las naves es igual a la que existe en el exterior, pues todas las máquinas y procesos en el interior trabajan en frío, tampoco existe humedad. La temperatura normal en el sector es de 10 grados centígrados.

Existen carreteras que rodean las tres naves, utilizadas por los cargueros para transportar la materia prima y el material. Las mediciones en el exterior de las naves se realizaron sin la presencia de transporte de carga pesada, es decir, ante la presencia de un carguero las mediciones se suspendían.

2.2.3. Ubicación de los Puntos de Medición

Para escoger los puntos de medición, se ha tomado en cuenta que las mediciones van a realizarse tanto en ambientes externos y en el interior de las naves. Esto trae varias complicaciones al momento de escoger los puntos de medición, pues se tendrá un ruido que procede de muchas fuentes, además de existir limitantes para la obtención de información en el área de estudio. Estos problemas se solucionan con la utilización de geo estadística como herramienta para la obtención de los valores representativos de ruido, posteriormente con estos datos se harán estimaciones, predicciones y simulaciones sobre el comportamiento del ruido en esta área (Dyna, 2009).

Al momento de determinar el número de puntos necesarios para la realización del mapa de ruido, se toman en cuenta los siguientes criterios (Dyna, 2009):

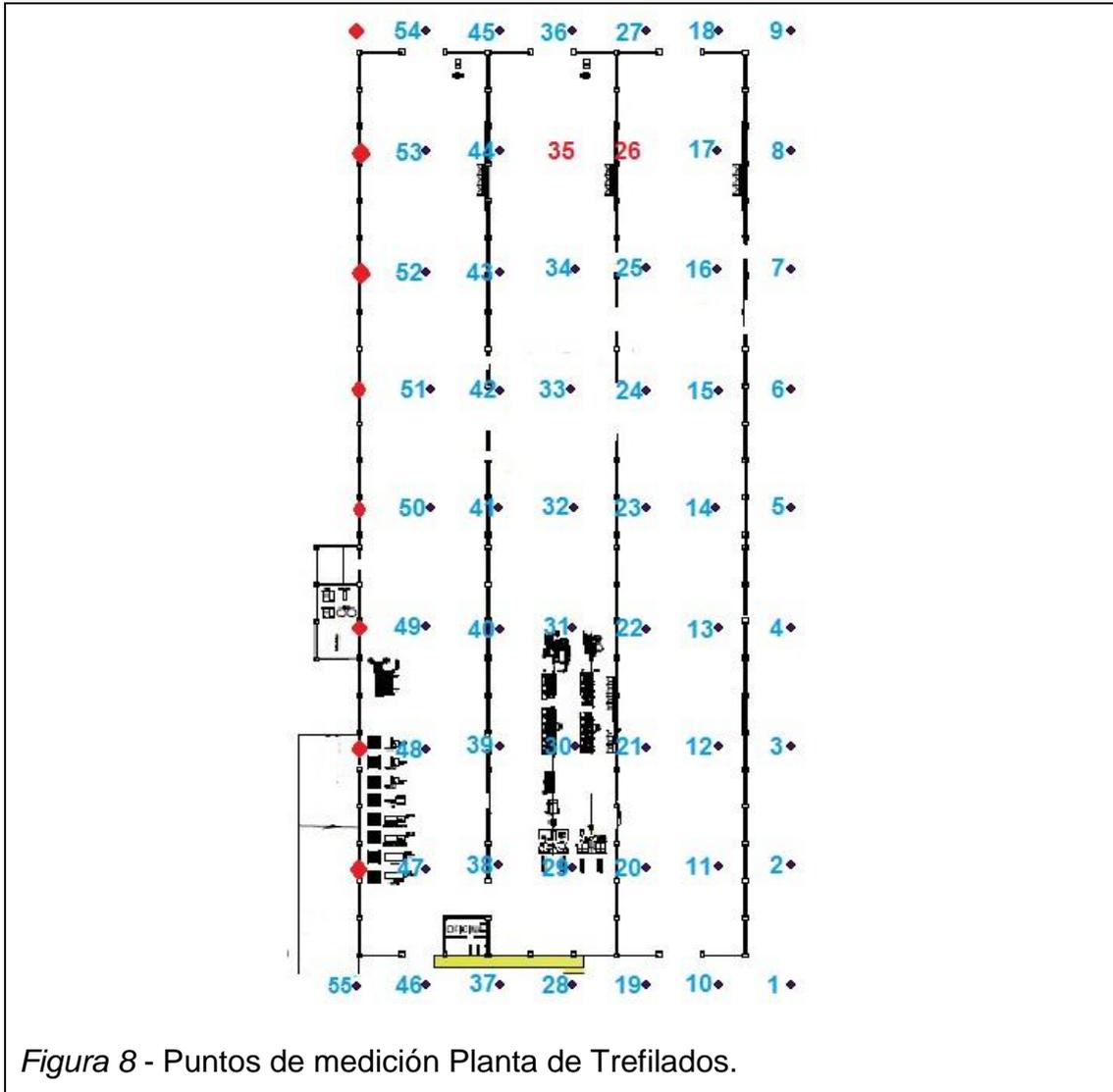
El primer criterio es técnico, y se basa en la experiencia al momento de realizar modelos geo estadísticos. Este criterio considera un número mínimo que son necesarios para tener una buena representación espacial de cualquier variable a determinar. El número que se recomienda es de 50, sin embargo, puede variar dependiendo de las dimensiones del área sobre la cual se realizará el estudio. En este caso, se considera conveniente los 50 puntos mínimos, ya que existe una distancia corta entre los puntos dentro de la malla que se crea.

El segundo criterio dependerá de la limitación geográfica del área de estudio, pues a partir de la magnitud que posea dicha área se definirá un número adecuado de cuadrículas regulares y a continuación se realizará la evaluación en cada una de estas. Es importante recordar que al momento de trazar la

cuadrícula sobre el área de estudio, van a existir puntos ubicados sobre lugares donde es imposible realizar la medición, por ejemplo sobre una máquina muy grande.

Tomando en cuenta estos criterios y con un área de estudio de aproximadamente 8198.96 metros cuadrados, se traza una cuadrícula, con bloques de 9 metros por 14 metros. Esta cuadrícula nos da como resultado un total de 63 puntos de medición. Sin embargo, los puntos al extremo sur de la planta se eliminan ya que su medición no era posible realizarse. Además los puntos 26 y 35 también se eliminan ya que caen sobre dos grandes máquinas (figura 8). Al eliminar estos puntos, existen un total de 53 puntos de medición que se pueden realizar sin ningún inconveniente. Cumpliendo así los criterios anteriormente mencionados.

Al momento de crear la malla y obtener los puntos en exteriores, se obtiene una distancia de 5 metros aproximadamente de la pared de las naves. Además, los puntos en exteriores tienen mucha influencia del ruido que proviene del interior de las naves, pues existen grandes puertas en cada nave que permanecen abiertas durante toda la jornada de trabajo.



2.2.4. Instrumentación

Para realizar las mediciones del Nivel de Presión Sonora Equivalente (NPSeq), se utilizó un sonómetro Optimus Red de la compañía Cirrus, el cual posee un micrófono de clase 2 pre polarizado y viene con su certificado de calibración. Además, antes de realizar las mediciones se utilizó un calibrador CR: 514 de clase 2 que viene en el kit junto al sonómetro.



Para la generación del mapa estratégico de ruido se utilizó el software ArcMap 10.4 que es una de las herramientas pertenecientes al ArcGIS 10.4 de la empresa ESRI. Esta versión del software es la más reciente que salió en el mercado. Este software tiene la capacidad de realizar interpolaciones, pues posee técnicas de modelación geo estadística puntual como: Kriging e IDW, por lo que se escogió el mismo.

2.2.5. Mediciones

Para realizar las mediciones en cada uno de los puntos, se tomó como referencia a la Norma ISO 9612:2009 “Determinación de la exposición al ruido en el trabajo, Método de ingeniería”. Tomando en cuenta que no existe una normativa para la creación de mapas de ruido laboral, se ha considerado tomar la estrategia: “Medición de una jornada completa”.

En este apartado, la norma indica que se deben tomar mediciones representativas de una jornada completa de trabajo, ya que por razones prácticas no es posible realizar mediciones durante la jornada laboral completa.

La norma también resalta que los días escogidos para realizar las mediciones deben ser representativos a lo que se define como la situación de trabajo significativa.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones, se estableció que el nivel de ruido en cada una de las máquinas difiere en más de 3 dB, por lo que se tomaron cinco muestras en cada uno de los puntos. Cada una de las muestras fue medida durante un periodo de tiempo de un minuto. Al obtener un total de 53 puntos de medición y cinco muestras por cada uno de los puntos, se obtuvieron un total de 265 mediciones. Es decir, se midió un total de aproximadamente cuatro horas con 45 minutos, las cuales fueron repartidas en un periodo de cuatro días.

Se determinó que las máquinas dentro de la planta funcionan las 24 horas de lunes a viernes, mientras que los fines de semana la planta no funciona, por lo que las máquinas se apagan y no existen trabajadores en ella. Por lo cual no realiza un mapa de ruido nocturno, pues tendría los mismos resultados que el mapa de ruido diurno. Además, no se realizaron mediciones fines de semana ya que no existen trabajadores durante esas jornadas.



Figura 10 - Mediciones Exteriores de la Planta

Finalmente, una vez obtenidas las mediciones de NPSeq ponderado A en cada uno de los puntos, se procede a sacar el promedio logarítmico ponderado A en cada uno de los puntos, por lo que se utiliza la siguiente fórmula:

$$Promedio = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^N 10^{\frac{Li}{10}}}{N} \quad (Ecuación 3)$$

Este promedio logarítmico será el valor representativo del nivel de ruido ponderado A que existe en cada uno de los puntos, por lo tanto, este es el valor que se ingresará en el GIS.



Figura 11 - Mediciones en el Interior de la Planta

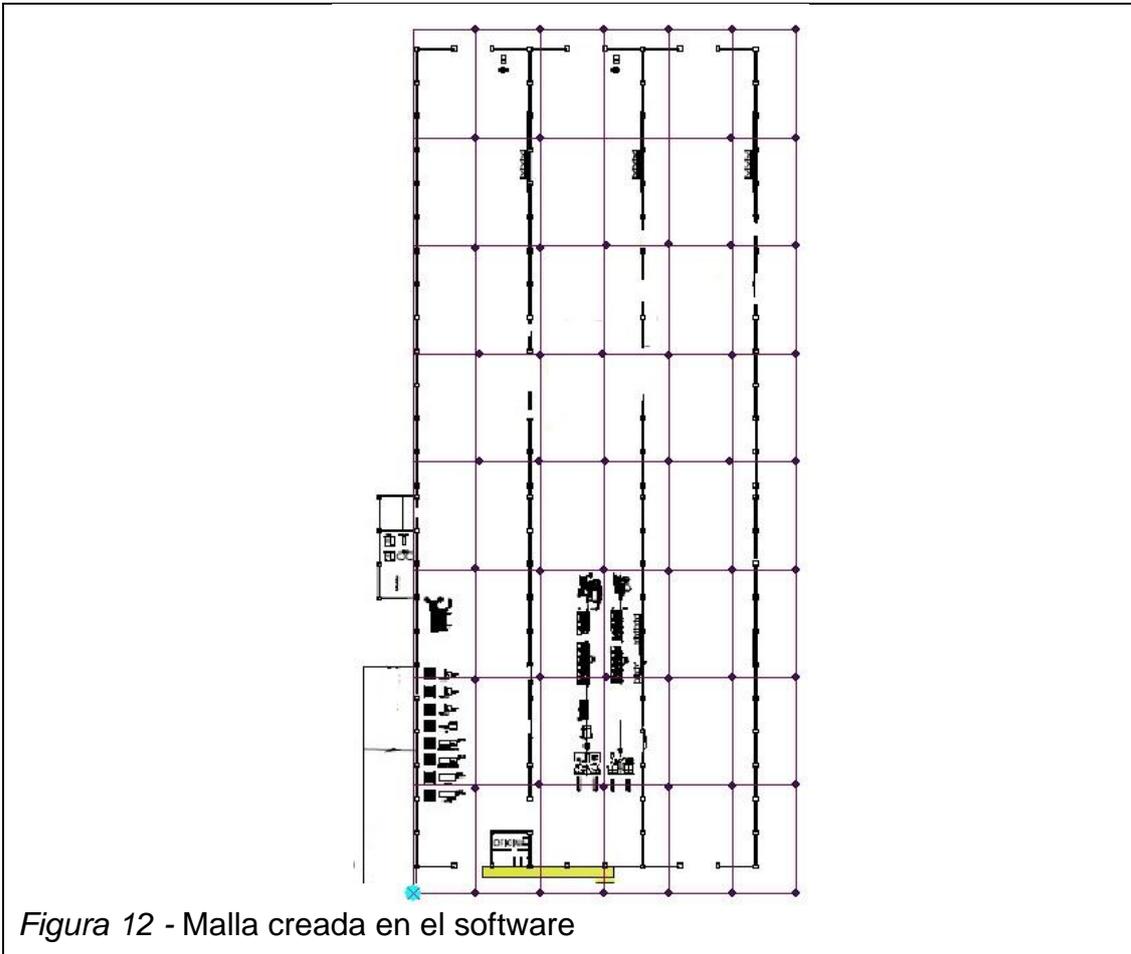
2.2.6. Ingreso de Datos en Software GIS

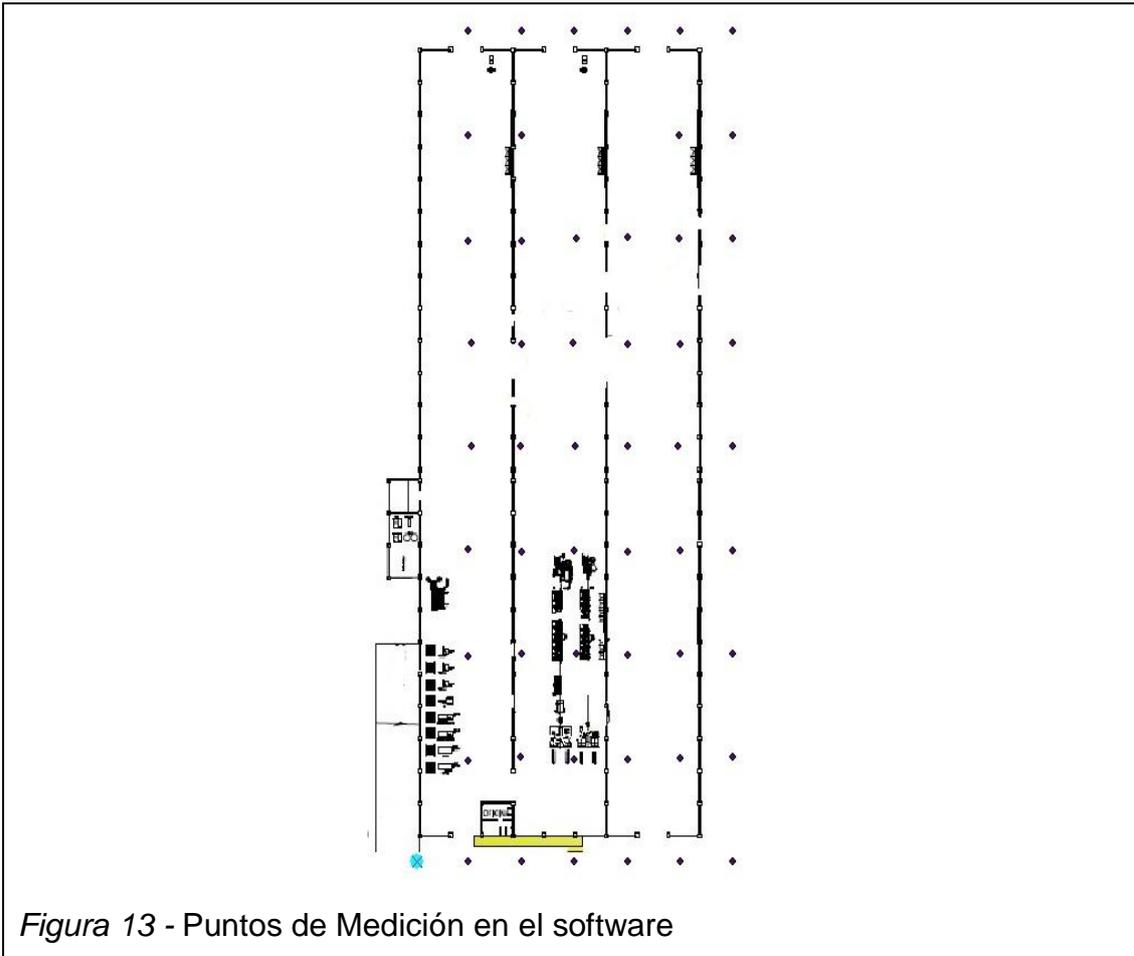
Para empezar, es importante recordar que el resultado deseado es un mapa estratégico de ruido laboral. Para esto, se utilizará el plano de la planta de trefilados que fue entregado por la empresa. Este plano es de gran importancia, ya que al exportarlo dentro del software y crear la capa del mismo, este no necesita ser geo referenciado.

Una vez exportado el esquema dentro del software como una capa, se procede a crear una segunda capa que contenga líneas. Esto con el fin de crear la malla sobre el esquema de la planta. Creando así la malla de 8x6 (figura 12).

Con la malla elaborada, se crea una tercera capa, que va a contener puntos. Los puntos van a ser colocados sobre las intersecciones de la malla,

representando los lugares en los cuales se realizaron las mediciones (figura 13). Para finalizar este paso, es necesario crear el criterio de "Nivel" en puntos. En este criterio es donde se ingresarán los resultados de las mediciones realizadas.





Para realizar la interpolación de los puntos y obtener finalmente las curvas de nivel del mapa de ruido, se eligió el método Kriging debido a que tiene una mejor correlación con la estadística de los puntos medidos y su desviación estándar es menor que la IDW (Murillo et. Al, 2012).

Para realizar la interpolación kriging se necesitan los siguientes datos estadísticos:

- Este método posee tres tipos de transformaciones: ninguna, logarítmica y Box - Cox. Para elegir la adecuada, se necesita encontrar todos los datos estadísticos. Estos datos son calculados por el mismo software. Se crea un histograma (figura 14), el cual indica que se debe trabajar con una transformación logarítmica, pues la diferencia entre la

media y la mediana es menor que con las demás transformaciones. Así se evita que el mapa se encuentre sesgado (Calleros, 1980).

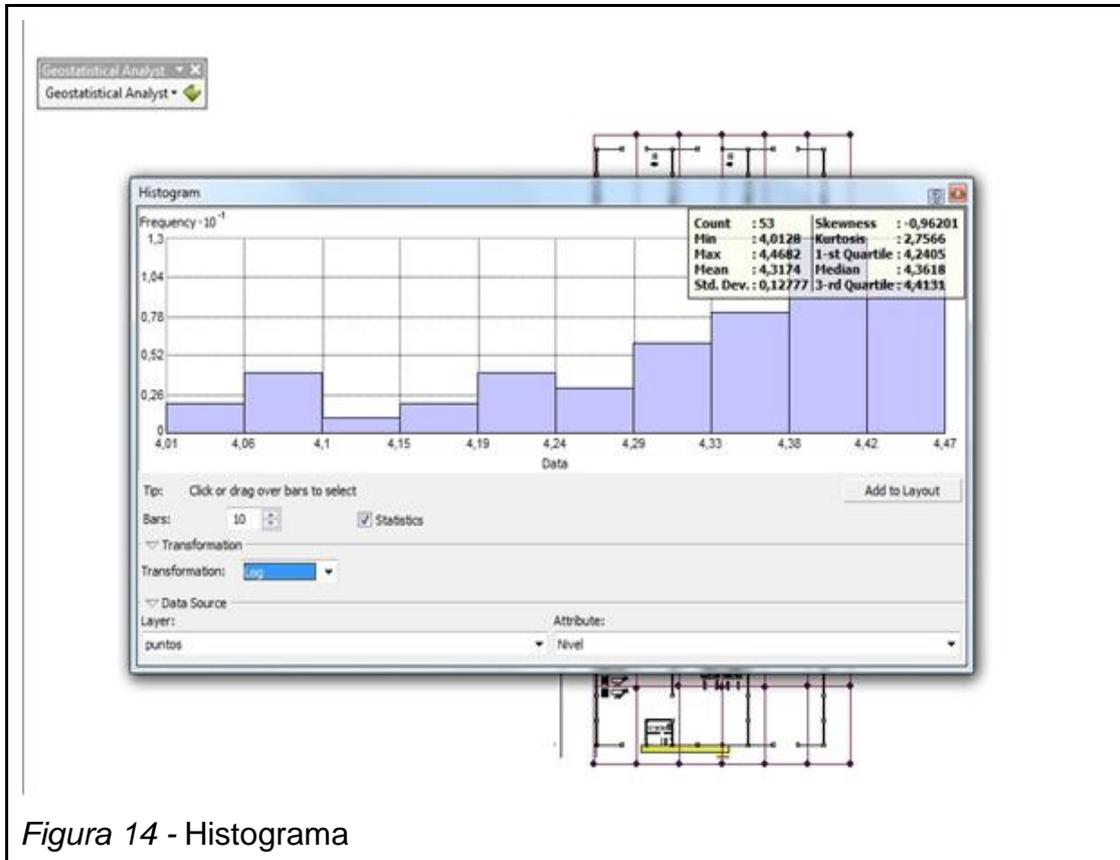


Figura 14 - Histograma

Con esta consideración, se procede a realizar la interpolación kriging. Como resultado de este proceso, se obtiene la validación de cruce (figura 15), la cual indica si los datos y las consideraciones para realizar la interpolación son correctas. En este caso se puede observar, en el comportamiento de la gráfica, que las muestras provienen de una distribución de probabilidad normal, pues las líneas se encuentran muy cercanas. Es decir, el supuesto normalidad es válido.

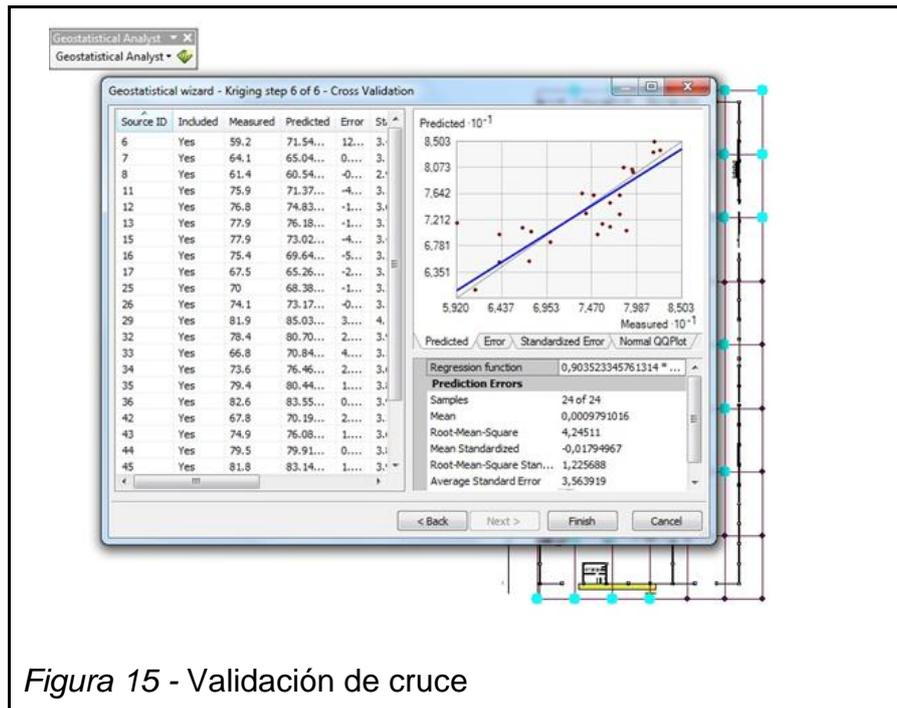


Figura 15 - Validación de cruce

2.3. Cálculo de la Dosis

Para el cálculo de la dosis se debe recordar que se partirá de los datos obtenidos en el mapa de ruido estratégico elaborado, obteniendo de esta forma el nivel de ruido al cual están expuestos los trabajadores de esta planta.

En este caso se calculará las exposiciones de ruido de cada una de las zonas sobre las que existen trabajadores, en este caso se puede observar 4 zonas distintas, una de ellas con un nivel mayor a 85 dBA. Esta zona es importante, pues excede el nivel de exposición máximo de ruido en una jornada laboral de 8 horas según el D.E. 2393.

Para este cálculo se tomará el mayor nivel de cada uno de los rangos, además, a partir de la información entregada por el jefe de seguridad industrial de la planta, se logra determinar que en la planta de trefilados trabajan un total de 30 obreros, quienes se encuentran en sus puestos de trabajo durante 8 horas diarias, de lunes a viernes. También se identificó que no existe rotación en los puestos de trabajo ni personas que hagan horas extras.

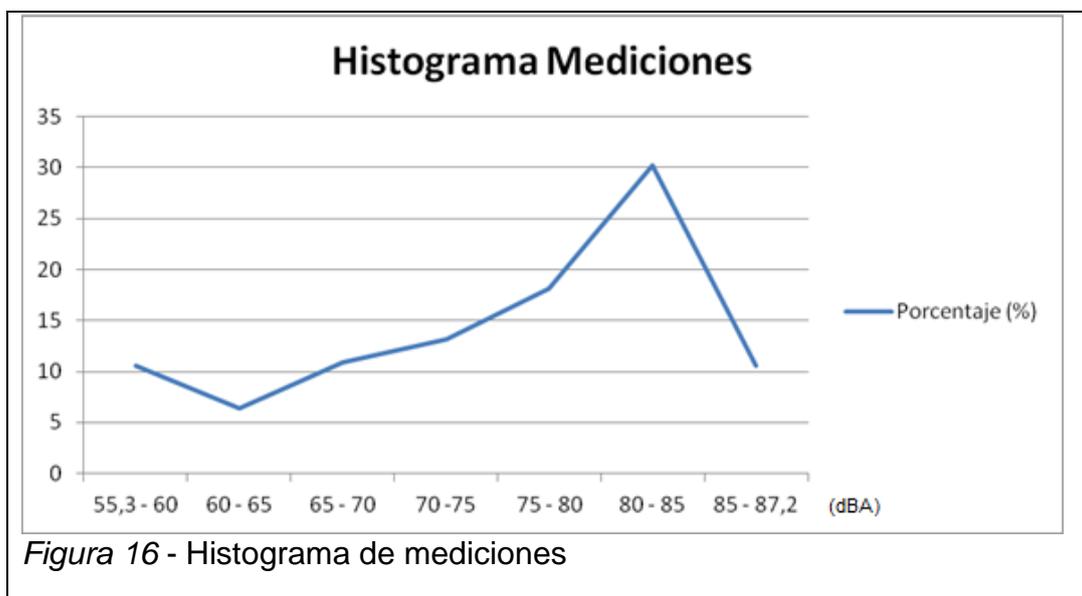
Finalmente, obtenido todos los datos necesarios se procede a ingresar los mismos dentro de una hoja de cálculo para determinar la dosis de ruido diaria de los trabajadores y así conocer si se cumple o no con el decreto ejecutivo 2393.

3. CAPÍTULO 3: RESULTADOS

3.1. Mediciones

En las 255 mediciones que se realizaron en la planta de trefilados dentro de la empresa siderúrgica se obtuvo como resultado un valor mínimo de 53.2 dBA, este nivel se lo encontró en uno de los exteriores de las tres naves sobre las que se hicieron los estudios. Es importante mencionar que las mediciones se realizaron tanto en exteriores como en interiores de las naves. Como valor máximo que se obtuvo un nivel de 87.5 dBA, este valor se encuentra dentro de las naves 1 y 2.

Los niveles medidos, en algunos de los puntos, tenían una diferencia mayor a 3 dB entre ellas, por lo que se decidió realizar cinco mediciones en cada uno de los puntos. Finalmente se obtuvo el promedio energético en cada uno de los puntos, resultando un nivel mínimo de 55.3 dBA y un nivel máximo de 87.5 dBA. Estos niveles son los que ingresaron posteriormente en el software para el cálculo del mapa de ruido.



3.2. Mapa de Ruido

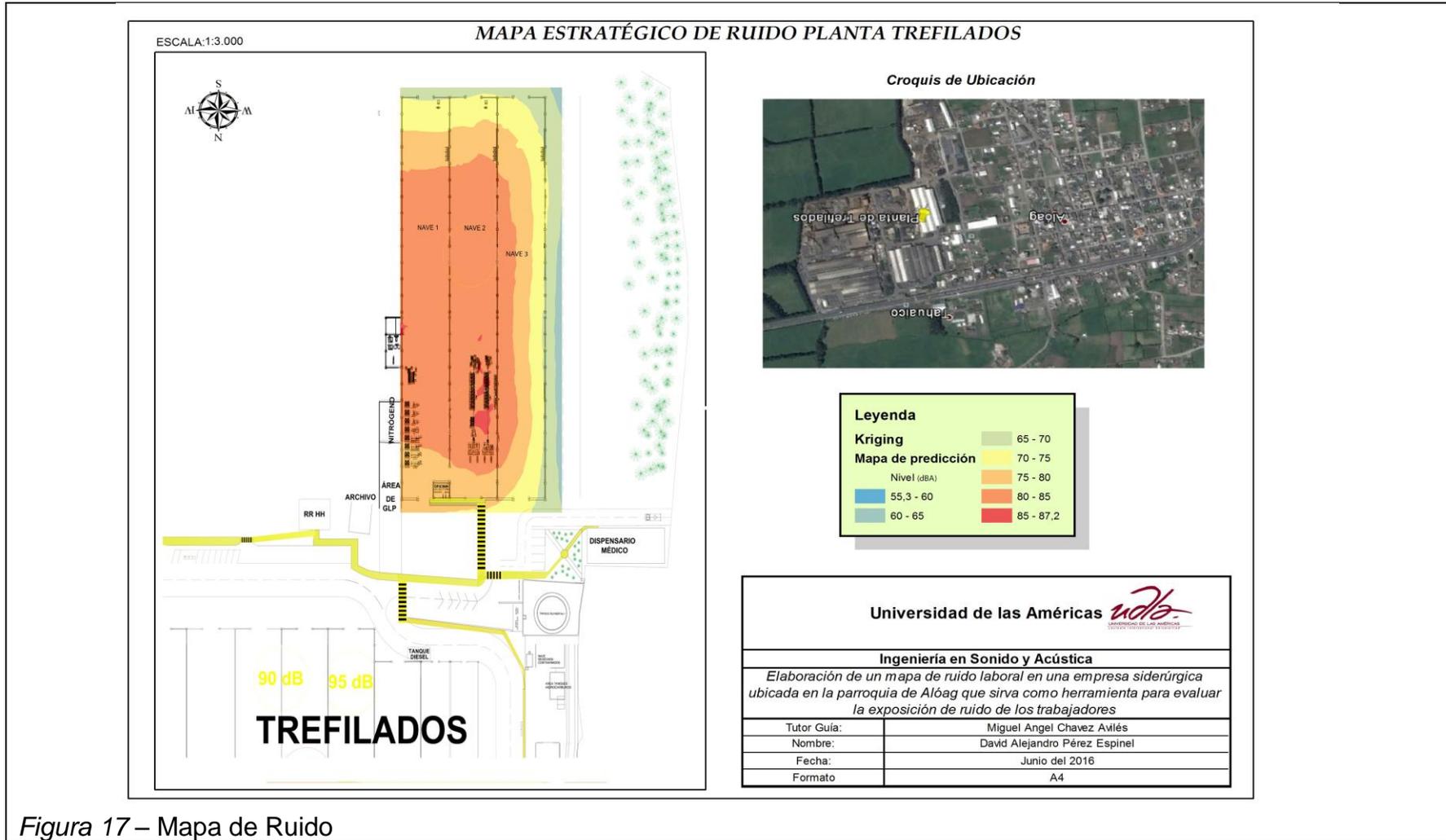


Figura 17 – Mapa de Ruido

3.3. Dosis

Gracias al mapa estratégico de ruido se puede observar que existe una gran zona en la cual los trabajadores se encuentran expuestos a un nivel de ruido de entre 80 y 85 dBA. Además se puede observar que existen unas pequeñas zonas con niveles de 87.5 dBA.

Con la ayuda del mapa de ruido, se realizó una entrevista al jefe de seguridad industrial de la empresa, el cual otorgó los siguientes datos:

- i) Existen un total de 30 trabajadores dentro de las tres naves que conforman la planta de trefilados en la cual se realizó el estudio.
- ii) De los 30 trabajadores, existe un total de 15 trabajando en la zona que se encuentra en un nivel entre 80 y 85 dBA.
- iii) Un total de 5 trabajadores se encuentran distribuidos en las zonas sobre las cuales se excede los 85 dBA.
- iv) Los 10 trabajadores sobrantes, se encuentran trabajando a una exposición diaria de ruido de entre 70 y 80 dBA.

Para cada uno de los casos, se ha considerado el máximo nivel de exposición, por lo que para se obtienen los siguientes valores: Una zona con un nivel de 75 dBA, otra con 80 dBA, la zona más grande con 85 dBA y la zona con mayor nivel con 87,2 dBA. En todos estos casos se utiliza las ecuaciones 1, 2 y 3 para obtener la dosis de los trabajadores. Para la estimación de la dosis se han tomado las siguientes consideraciones:

- i) El tiempo total de exposición a un cierto nivel sonoro (C), en todos los casos de estudio es igual a 8 horas, pues no existe rotación entre trabajadores, por lo cual están expuestos al mismo nivel de ruido durante 8 horas diarias. Esto sin contar los 30 minutos que tienen los empleados para descanso - almuerzo y tampoco se toma en cuenta el tiempo que usan para salir al baño.

- ii) El tiempo total permitido para ese nivel (T), debe ser calculado con las respectivas ecuaciones, para cada uno de los casos mencionados.
- iii) En todos los casos, el nivel máximo permitido (L) para una jornada de trabajo (T') es de 85 dBA y de 8 horas respectivamente.
- iv) El incremento de nivel permitido para que el tiempo de exposición se reduzca a la mitad (q), en todos los casos es de cinco, según la tabla 1.
- v) El Nivel Equivalente (Leq), se lo obtiene del mapa estratégico de ruido, y ya se ha mencionado anteriormente para cada uno de los casos.
- vi) El tiempo de exposición al nivel equivalente, en todos los casos es de 8 horas.

Con estos datos, se obtiene el tiempo de exposición máximo para esos niveles, para posteriormente obtener el cálculo de la dosis en los trabajadores. Este cálculo se ve plasmado en el siguiente cuadro:

Tabla 2. Cálculo de la dosis en los trabajadores.

# de trabajadores expuestos	C	L	T'	q	Leq	ti	Ti	Dosis
6	8	85	8	5	75	32	8	0,25
4	8	85	8	5	80	16	8	0,5
15	8	85	8	5	85	8	8	1
5	8	85	8	5	87,2	5,9	8	1,4

Como resultado, existen 10 trabajadores que tienen una dosis menor a uno, mientras que en el siguiente caso, 15 trabajadores están expuestos a un nivel máximo de 85 dBA durante 8 horas diarias, se obtiene una dosis igual a 1. Este resultado indica que se debe tomar medidas de control de niveles de ruido sobre los 15 trabajadores, pues aunque cumplen con lo que dicta el D.E. se encuentran en el límite.

Finalmente, existen 5 trabajadores con una dosis igual a 1.4, es decir, se excede lo que el decreto dice. Se puede observar que los 5 trabajadores están expuestos a una dosis mayor a la permitida.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Para la elaboración del mapa estratégico de ruido laboral se escogió una metodología basada en la geo estadística, como se recomienda en mucho de los documentos que se citan. Utilizando la exportación del esquema de la planta se logró ubicar los puntos dentro del software. Se recomienda utilizar puntos geo referenciados para la elaboración de futuros mapas de ruido.

La creación de la malla para la ubicación de los puntos es una metodología que va a depender en gran parte del terreno sobre el cual se va a realizar el estudio, sin embargo, en este trabajo esta metodología funciona en gran parte gracias a las grandes áreas sin maquinaria dentro de las naves que permitieron realizar la mayor parte de los puntos. Se eliminaron solo dos puntos de la malla que cayeron sobre cierta maquinaria que hacía imposible realizar las mediciones en dichos puntos.

Al momento de realizar la interpolación en el software, se pudo comprobar que la interpolación kriging es la que se acerca con mayor exactitud a lo que sucede en la planta, pues la interpolación IDW daba como resultado un mapa de ruido sobre el cual se debían realizar varios arreglos para que se acerque de mejor manera a la realidad.

En el mapa de ruido obtenido, se puede observar que la mayor parte del interior de las naves se encuentra un valor de entre 80 y 85 dBA. Al utilizar una metodología de mediciones insitu, se puede concluir que las mediciones obtenidas reflejan la realidad de lo que sucede dentro y fuera de estas naves.

Según el mapa de ruido obtenido, si existen zonas que sobrepasan los 85 dBA que es el nivel máximo permitido para una jornada de 8 horas, por lo que se debe realizar el cálculo de la dosis diaria para los trabajadores de las zonas.

Se pudo determinar que la ecuación para el cálculo de la dosis que se presenta en el decreto ejecutivo 2393, no explica cómo se puede obtener el dato del tiempo máximo de exposición a un nivel concreto. Esto puede significar problemas de interpretación de la norma. En este trabajo, se utiliza la ecuación completa, por lo que es posible calcular que los empleados deben encontrarse máximo 5.9 horas en las zonas donde el nivel de ruido llega a 87.2 dBA. La dosis obtenida en esta zona es de 1.4, lo que significa que existe un incumplimiento de la norma para los 5 trabajadores que se encuentran en dicha zona. Se recomienda realizar un estudio para controlar los niveles de ruido en los trabajadores.

Existen un total de 15 trabajadores cuya dosis es igual a 1, a pesar de existir un cumplimiento del D.E. en estos trabajadores, se recomienda realizar un control sobre los mismos, pues se encuentran en el nivel máximo permitido. Los 10 trabajadores restantes tienen una dosis diaria menor a uno, por lo que se encuentran dentro de la normativa y realizar un control sobre ellos es opcional.

4.2.Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio de la dosis en los empleados dentro de las naves con la utilización de dosímetros y realizar la comparación con los datos obtenidos con el mapa estratégico para evaluar la precisión del mismo.

Se recomienda utilizar una metodología basada en el nivel de potencia acústica de la maquinaria que se encuentra en el interior de la planta y realizar una comparación con los resultados obtenidos en este trabajo.

REFERENCIAS

- Ausejo Prieto, M. (2009). Estudio de la validación, errores e incertidumbre en la elaboración de mapas de ruido.
- BALDERRAMA, J. D. A. (2002). Predicción de niveles de ruido generados por industrias.
- Bell, A., & World Health Organization. (1969). El ruido: riesgo para la salud de los trabajadores y molestia para el público. Recuperado el 15 de Mayo del 2016 de <http://apps.who.int/iris/handle/10665/41478>.
- Bell, L. H. (1982). Industrial noise control. Marcel Dekker, Inc.
- del Ecuador, G. (1986). Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. Decreto Ejecutivo 2393.
- ECUACUSTICA: Lucha contra la contaminación acústica (s.f.). Recuperado el 01 de Julio del 2016, de <http://www.ecuacustica.com/laboratorio-consultores-certificados-ministerio-de-ambiente-relaciones-laborables-oe-iess-municipio-quito-guayaquil-cuenca-ecuador.php?tablajb=noticias&p=12&t=Lucha-contra-la-contaminacion-acustica.com>
- Girón, P. G., Sequeira, M., Azzurro, A. P., & Cortínez, V. H. (2005). Control de ruido industrial mediante un modelo computacional: estudio de caso. Recuperado el 01 de Julio del 2016 de Girón, P. G., Sequeira, M., Azzurro, A. P., & Cortínez, V. H. (2005). Control de ruido industrial mediante un modelo computacional: estudio de caso. *Mecánica Computacional*.
- Goines, L., & Hagler, L. (2007). Noise pollution: a modern plague.
- González Jiménez, J. E. (2015). Identificación de problemas acústicos en la industria automotriz y comparación de métodos para la medición de niveles de exposición al ruido según el estándar ISO 9612 caso Ayurá Motor.
- Herranz Pascual, K., & López Barrio, I. (2000). Modelo de impacto del ruido ambiental.
- Jamatia, A., Chakraborty, S., Chakrabarti, S., & Das, M. K. (2014). Assessment of Ambient Noise Quality in Jirania Brick Industries Cluster: a Case

- Study. In *International Journal of Engineering Research and Technology* (Vol. 3, No. 9 (Septiembre-2014)).
- Latif, M. B., Islam, M. S., & Ali, M. S. (2015). A Study on Noise Pollution of Gazipur City Corporation. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*.
- Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J. D., Pardo, A., & Rendón, J. (2015). Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. Recuperado el 02 de Julio del 2016 de <http://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/265>.
- Norma, I. S. O. 9612. Guía de evaluación de aceptación de exposición ambiental en el trabajo y estadística aplicada a ruido.
- Noweir, M. H., Bafail, A. O., & Jomoah, I. M. (2014). Noise Pollution in Metalwork and Woodwork Industries in the Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. Recuperado el 25 de Junio del 2016 de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10803548.2014.11077068>.
- Raichel, D. R. (2006). *The science and applications of acoustics*. Springer Science & Business Media.
- Simarro Cemborain, A. (2015). Metodología para la evaluación del impacto del ruido ambiental producido por la maquinaria en minería a cielo abierto. Recuperado el 20 de Junio del 2016 de <http://oa.upm.es/36422/>.
- YEPES, D. L., Gómez, M., Sánchez, L., & JARAMILLO, A. C. (2009). Metodología de elaboración de mapas acústicos como herramienta de gestión del ruido urbano-caso Medellín. Recuperado el 10 de Marzo del 2016 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0012-73532009000200003.
- Zuchowicz-Wodnikowska, I. (1996). Industrial noise sources: Methods of measurement and estimation. In *International congress on noise control engineering*.

ANEXOS

Anexo 1: Mediciones y Promedio Energético Realizados en la Planta

Punto 1		
medición 1:	60,5	dB(A)
medición 2:	65,1	dB(A)
medición 3:	67,1	dB(A)
medición 4:	69,5	dB(A)
medición 5:	66,9	dB(A)
Total:	66,7	dB(A)

Punto 2		
medición 1:	54,8	dB(A)
medición 2:	57,2	dB(A)
medición 3:	55	dB(A)
medición 4:	55,2	dB(A)
medición 5:	57,9	dB(A)
Total:	56,2	dB(A)

Punto 3		
medición 1:	58,7	dB(A)
medición 2:	59,2	dB(A)
medición 3:	56,3	dB(A)
medición 4:	57,9	dB(A)
medición 5:	59,1	dB(A)
Total:	58,4	dB(A)

Punto 4		
medición 1:	55,6	dB(A)
medición 2:	56,7	dB(A)
medición 3:	60,9	dB(A)
medición 4:	57,4	dB(A)
medición 5:	59,5	dB(A)
Total:	58,5	dB(A)

Punto 5		
medición 1:	53,9	dB(A)
medición 2:	57,6	dB(A)
medición 3:	53,2	dB(A)
medición 4:	55,8	dB(A)
medición 5:	54,6	dB(A)
Total:	55,3	dB(A)

Punto 6		
medición 1:	57,2	dB(A)
medición 2:	56,3	dB(A)
medición 3:	57	dB(A)
medición 4:	58,2	dB(A)
medición 5:	61,1	dB(A)
Total:	58,3	dB(A)

Punto 7		
medición 1:	57,1	dB(A)
medición 2:	56,2	dB(A)
medición 3:	55,5	dB(A)
medición 4:	61,1	dB(A)
medición 5:	61,9	dB(A)
Total:	59,2	dB(A)

Punto 8		
medición 1:	61,1	dB(A)
medición 2:	66,3	dB(A)
medición 3:	61,6	dB(A)
medición 4:	60,8	dB(A)
medición 5:	66,8	dB(A)
Total:	64,1	dB(A)

Punto 9		
medición 1:	64	dB(A)
medición 2:	61,6	dB(A)
medición 3:	61	dB(A)
medición 4:	59,8	dB(A)
medición 5:	58,7	dB(A)

Punto 10		
medición 1:	69	dB(A)
medición 2:	70,1	dB(A)
medición 3:	70,4	dB(A)
medición 4:	69,1	dB(A)
medición 5:	72	dB(A)

Total:	61,4	dB(A)
---------------	-------------	--------------

Total:	70,3	dB(A)
---------------	-------------	--------------

Punto 11		
medición 1:	77,6	dB(A)
medición 2:	76,1	dB(A)
medición 3:	74,1	dB(A)
medición 4:	73,5	dB(A)
medición 5:	74,6	dB(A)
Total:	75,4	dB(A)

Punto 12		
medición 1:	78,9	dB(A)
medición 2:	77,5	dB(A)
medición 3:	72,9	dB(A)
medición 4:	74,1	dB(A)
medición 5:	72,3	dB(A)
Total:	75,9	dB(A)

Punto 13		
medición 1:	79,4	dB(A)
medición 2:	73,8	dB(A)
medición 3:	78,2	dB(A)
medición 4:	74,6	dB(A)
medición 5:	75,2	dB(A)
Total:	76,8	dB(A)

Punto 14		
medición 1:	74,6	dB(A)
medición 2:	80,6	dB(A)
medición 3:	79,9	dB(A)
medición 4:	75,6	dB(A)
medición 5:	75,2	dB(A)
Total:	77,9	dB(A)

Punto 15		
medición 1:	79,5	dB(A)
medición 2:	83	dB(A)
medición 3:	80,1	dB(A)
medición 4:	75,6	dB(A)
medición 5:	83	dB(A)
Total:	81,0	dB(A)

Punto 16		
medición 1:	81,8	dB(A)
medición 2:	73,8	dB(A)
medición 3:	79,7	dB(A)
medición 4:	72,7	dB(A)
medición 5:	73	dB(A)
Total:	77,9	dB(A)

Punto 17		
medición 1:	78	dB(A)
medición 2:	66,1	dB(A)
medición 3:	73,3	dB(A)
medición 4:	73,7	dB(A)
medición 5:	78	dB(A)
Total:	75,4	dB(A)

Punto 18		
medición 1:	67	dB(A)
medición 2:	65	dB(A)
medición 3:	63,5	dB(A)
medición 4:	69,1	dB(A)
medición 5:	69,8	dB(A)
Total:	67,5	dB(A)

Punto 19		
medición 1:	69,5	dB(A)
medición 2:	72	dB(A)
medición 3:	72,8	dB(A)
medición 4:	68,6	dB(A)
medición 5:	68,3	dB(A)

Punto 20		
medición 1:	83,9	dB(A)
medición 2:	83,7	dB(A)
medición 3:	84,1	dB(A)
medición 4:	84,1	dB(A)
medición 5:	83,7	dB(A)

Total:	70,6	dB(A)
---------------	-------------	--------------

Total:	83,9	dB(A)
---------------	-------------	--------------

Punto 21		
medición 1:	87,2	dB(A)
medición 2:	87,3	dB(A)
medición 3:	87,1	dB(A)
medición 4:	87,1	dB(A)
medición 5:	87,3	dB(A)
Total:	87,2	dB(A)

Punto 22		
medición 1:	83,1	dB(A)
medición 2:	81,1	dB(A)
medición 3:	83,3	dB(A)
medición 4:	82,8	dB(A)
medición 5:	83,4	dB(A)
Total:	82,8	dB(A)

Punto 23		
medición 1:	85,5	dB(A)
medición 2:	84,7	dB(A)
medición 3:	82	dB(A)
medición 4:	84,4	dB(A)
medición 5:	86	dB(A)
Total:	84,7	dB(A)

Punto 24		
medición 1:	83,9	dB(A)
medición 2:	79,5	dB(A)
medición 3:	79,9	dB(A)
medición 4:	77,4	dB(A)
medición 5:	84,7	dB(A)
Total:	81,9	dB(A)

Punto 25		
medición 1:	85,6	dB(A)
medición 2:	84,6	dB(A)
medición 3:	87,5	dB(A)
medición 4:	84,2	dB(A)
medición 5:	85,8	dB(A)
Total:	85,7	dB(A)

Punto 26		
medición 1:	Eliminado	
medición 2:		
medición 3:		
medición 4:		
medición 5:		
Total:		

Punto 27		
medición 1:	69,7	dB(A)
medición 2:	73	dB(A)
medición 3:	68,2	dB(A)
medición 4:	68,3	dB(A)
medición 5:	68,7	dB(A)
Total:	70,0	dB(A)

Punto 28		
medición 1:	72,7	dB(A)
medición 2:	74	dB(A)
medición 3:	74,1	dB(A)
medición 4:	73,5	dB(A)
medición 5:	75,7	dB(A)
Total:	74,1	dB(A)

Punto 29		
medición 1:	84,2	dB(A)
medición 2:	84,2	dB(A)
medición 3:	84,2	dB(A)
medición 4:	84	dB(A)
medición 5:	84,4	dB(A)
Total:	84,2	dB(A)

Punto 30		
medición 1:	85,3	dB(A)
medición 2:	85,1	dB(A)
medición 3:	85,5	dB(A)
medición 4:	85,7	dB(A)
medición 5:	85,8	dB(A)
Total:	85,5	dB(A)

Punto 31		
medición 1:	80,4	dB(A)
medición 2:	82,8	dB(A)
medición 3:	82,6	dB(A)
medición 4:	80,3	dB(A)
medición 5:	82,6	dB(A)
Total:	81,9	dB(A)

Punto 32		
medición 1:	84	dB(A)
medición 2:	87	dB(A)
medición 3:	86,4	dB(A)
medición 4:	86,4	dB(A)
medición 5:	82,3	dB(A)
Total:	85,6	dB(A)

Punto 33		
medición 1:	82,1	dB(A)
medición 2:	77,9	dB(A)
medición 3:	82,3	dB(A)
medición 4:	82,5	dB(A)
medición 5:	82,5	dB(A)
Total:	81,8	dB(A)

Punto 34		
medición 1:	78,7	dB(A)
medición 2:	78,7	dB(A)
medición 3:	76,2	dB(A)
medición 4:	78,7	dB(A)
medición 5:	79,1	dB(A)
Total:	78,4	dB(A)

Punto 35		
medición 1:	Eliminado	
medición 2:		
medición 3:		
medición 4:		
medición 5:		
Total:		

Punto 36		
medición 1:	67,2	dB(A)
medición 2:	67,3	dB(A)
medición 3:	66,9	dB(A)
medición 4:	66,2	dB(A)
medición 5:	66	dB(A)
Total:	66,8	dB(A)

Punto 37		
medición 1:	74,2	dB(A)
medición 2:	73,6	dB(A)
medición 3:	73,6	dB(A)
medición 4:	72,5	dB(A)
medición 5:	73,9	dB(A)
Total:	73,6	dB(A)

Punto 38		
medición 1:	79,9	dB(A)
medición 2:	79,1	dB(A)
medición 3:	79,8	dB(A)
medición 4:	79	dB(A)
medición 5:	79	dB(A)
Total:	79,4	dB(A)

Punto 39		
medición 1:	82,7	dB(A)
medición 2:	82,7	dB(A)
medición 3:	83	dB(A)
medición 4:	82,4	dB(A)
medición 5:	82,4	dB(A)
Total:	82,6	dB(A)

Punto 40		
medición 1:	84,6	dB(A)
medición 2:	83,4	dB(A)
medición 3:	83,2	dB(A)
medición 4:	82,9	dB(A)
medición 5:	83,4	dB(A)
Total:	83,5	dB(A)

Punto 41		
medición 1:	81,7	dB(A)
medición 2:	81,6	dB(A)
medición 3:	81,6	dB(A)
medición 4:	81,5	dB(A)
medición 5:	81,8	dB(A)
Total:	81,6	dB(A)

Punto 42		
medición 1:	82,3	dB(A)
medición 2:	82,3	dB(A)
medición 3:	82,2	dB(A)
medición 4:	82,3	dB(A)
medición 5:	82	dB(A)
Total:	82,2	dB(A)

Punto 43		
medición 1:	80,3	dB(A)
medición 2:	80,3	dB(A)
medición 3:	80,7	dB(A)
medición 4:	80,2	dB(A)
medición 5:	80,1	dB(A)
Total:	80,3	dB(A)

Punto 44		
medición 1:	78,8	dB(A)
medición 2:	79,7	dB(A)
medición 3:	80,8	dB(A)
medición 4:	80	dB(A)
medición 5:	79,9	dB(A)
Total:	79,9	dB(A)

Punto 45		
medición 1:	65,2	dB(A)
medición 2:	65,1	dB(A)
medición 3:	64,9	dB(A)
medición 4:	66	dB(A)
medición 5:	72,2	dB(A)
Total:	67,8	dB(A)

Punto 46		
medición 1:	74,5	dB(A)
medición 2:	70,8	dB(A)
medición 3:	77,8	dB(A)
medición 4:	75,8	dB(A)
medición 5:	71,8	dB(A)
Total:	74,9	dB(A)

Punto 47		
medición 1:	79,6	dB(A)
medición 2:	79,7	dB(A)
medición 3:	79,5	dB(A)
medición 4:	79,5	dB(A)
medición 5:	79,4	dB(A)
Total:	79,5	dB(A)

Punto 48		
medición 1:	81,8	dB(A)
medición 2:	81,9	dB(A)
medición 3:	82	dB(A)
medición 4:	81,7	dB(A)
medición 5:	81,8	dB(A)
Total:	81,8	dB(A)

Punto 49		
medición 1:	85,2	dB(A)
medición 2:	85,3	dB(A)
medición 3:	85,2	dB(A)
medición 4:	85,2	dB(A)
medición 5:	86,1	dB(A)
Total:	85,4	dB(A)

Punto 50		
medición 1:	86,8	dB(A)
medición 2:	86	dB(A)
medición 3:	86,3	dB(A)
medición 4:	85,9	dB(A)
medición 5:	85,8	dB(A)
Total:	86,2	dB(A)

Punto 51		
-----------------	--	--

Punto 52		
-----------------	--	--

medición 1:	83,1	dB(A)
medición 2:	83,4	dB(A)
medición 3:	82,9	dB(A)
medición 4:	83,1	dB(A)
medición 5:	83,1	dB(A)
Total:	83,1	dB(A)

medición 1:	83	dB(A)
medición 2:	82,5	dB(A)
medición 3:	82,7	dB(A)
medición 4:	82,1	dB(A)
medición 5:	81,9	dB(A)
Total:	82,5	dB(A)

Punto 53		
medición 1:	78,7	dB(A)
medición 2:	78,8	dB(A)
medición 3:	78,9	dB(A)
medición 4:	78,4	dB(A)
medición 5:	78,5	dB(A)
Total:	78,7	dB(A)

Punto 54		
medición 1:	64,5	dB(A)
medición 2:	65,8	dB(A)
medición 3:	63,6	dB(A)
medición 4:	62	dB(A)
medición 5:	63,6	dB(A)
Total:	64,1	dB(A)

Punto 55		
medición 1:	77,6	dB(A)
medición 2:	78,1	dB(A)
medición 3:	77,8	dB(A)
medición 4:	74	dB(A)
medición 5:	74,7	dB(A)
Total:	76,8	dB(A)

Anexo 2: Fotos de las mediciones realizadas



