

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Evaluación de emisiones de ruido en la fuente y casos  
concretos de mitigación en una cementera ecuatoriana**

**Sistematización de Experiencias prácticas de investigación y/o intervención**

**Edison Humberto Maldonado Males**

**Ingeniería Industrial**

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Industrial

Profesor Mentor: Pablo F. Dávila, PH.D. Profesor de Ingeniería Industrial /  
Ingeniería Ambiental

Apoyo externo: Xavier Bonhommeau, Gerente de Seguridad Industrial  
Cementera Ecuatoriana

Quito, 18 de diciembre de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Evaluación de emisiones de ruido en la fuente y casos concretos de  
mitigación en una cementera ecuatoriana**

**Edison Humberto Maldonado Males**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Pablo F. Dávila, PH.D

Firma del profesor

---

Quito, 18 de diciembre de 2017

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

---

Nombres y apellidos:

Edison Humberto Maldonado Males

Código:

00100268

Cédula de Identidad:

1002822458

Lugar y fecha:

Quito, 18 de diciembre de 2017

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO**

Este trabajo realizado va dedicado en primer lugar a Dios nuestro creador, por darme la suficiente paciencia, salud y vida para llegar a cumplir una promesa realizada a mis padres, sobre todo a mi madre que en paz descanse, en especial a mi esposa y a mi hija. Es lo que quise y cuando se quiere no hay obstáculo difícil por superar. También dedico este proyecto a toda la familia Maldonado Males, quienes creyeron en mí y mostraron sinceros deseos de éxito en mi vida.

Agradezco a mi tutor principal Pablo Dávila por la motivación y guía en el transcurso de este periodo de preparación y desarrollo haciéndome reconocer que puedo llegar a ser cada vez mejor y que no hace falta ser un estudiante estrella para llegar a sorprender. También agradezco al departamento de ingeniería industrial por su tiempo prestado para aclaración de dudas y sobre todo por la sincera amistad otorgada en toda mi época universitaria.

Las oportunidades nunca faltan y por ello agradezco a la empresa y al Programa de Diversidad Étnica por permitirme realizar este proyecto junto al gerente de seguridad industrial Xavier Bonhommeau que con su experiencia refinaba mis conocimientos aplicándolo al campo de trabajo en la ingeniería y me guiaba en todas las fases del proyecto con un buen direccionamiento.

La carrera no fue fácil pero tampoco fue complicada, era fácil decir “No, ya no más” pero el deseo de superarse siempre era mayor a ese sentimiento de derrota y gracias al respaldo legal de la familia Córdova Santellán esto se hizo realidad.

## RESUMEN

El presente estudio realizado en una empresa cementera ecuatoriana se centró en proponer alternativas para reducir los niveles de ruido encontrando soluciones ingenieriles de mitigación a las fuentes provenientes de las diferentes maquinarias usadas en los procesos industriales. El control del riesgo para la salud de los trabajadores de la empresa se gestiona vía medidas de control al receptor (equipo de protección personal). Sin embargo, la mitigación directa a la fuente del ruido constituye una mejor jerarquía de control para la empresa. Para esto se midió el ruido emitido en 88 máquinas previamente seleccionadas en el área de producción, para posteriormente clasificar a las fuentes de ruido en función de su impacto para los trabajadores y/o el medio ambiente. En base a esta clasificación, una máquina fue seleccionada para proponer una solución de aislamiento contra el ruido. Por otro lado, para 6 familias de máquinas representativas de la industria cementera, se recopiló en un manual buenas prácticas de diseño que permiten controlar el nivel de ruido desde la adquisición de una nueva máquina.

**Palabras clave:** seguridad, ruido, riesgo, aislamiento, fuente, cementera.

## ABSTRACT

The present study realized in an Ecuadorian cement company focused on proposing alternatives to reduce noise levels by finding engineering mitigation solutions to the sources coming from the different machineries used in the industrial processes. The risk control for the health of the workers of the company is managed through control measures to the receiver (personal protection equipment). However, direct mitigation to the noise source is a better control hierarchy for the company. For this, the noise emitted in 88 selected machines in the production area was measured, and then the noise sources were classified according to their impact for the workers and / or the environment. Based on this classification, one machine was selected in order to propose an isolation solution against the noise. On the other hand, for 6 representative machine families of the cement industry, a good design practices manual was compiled which allowed noise level control starting from the acquisition of a new machine.

*Key words:* security, noise, risk, isolation, source, cement

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>Contexto histórico legal</b> .....	<b>11</b>
<b>Antecedentes</b> .....	<b>12</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>12</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>12</b>
<b>Marco teórico</b> .....	<b>12</b>
<b>Metodología</b> .....	<b>13</b>
<b>Desarrollo del estudio</b> .....	<b>15</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>20</b>
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	<b>22</b>
<b>Anexo 1: Flujograma de producción</b> .....	<b>23</b>
<b>Anexo 2: Selección de áreas de trabajo</b> .....	<b>24</b>
<b>Anexo 3: Ficha de registro (página 1)</b> .....	<b>25</b>
<b>Anexo 4: Ficha de registro (página 2)</b> .....	<b>26</b>
<b>Anexo 5: Estudio de variabilidad</b> .....	<b>27</b>
<b>Anexo 6: Tipo de sonido de cada máquina</b> .....	<b>31</b>
<b>Anexo 7: Ranking de máquinas con mayor presión sonora</b> .....	<b>32</b>
<b>Anexo 8: Simulación de aislamiento</b> .....	<b>33</b>
<b>Anexo 9: Análisis de costos</b> .....	<b>34</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1 – Especificaciones técnicas del sonómetro .....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 2 - Especificaciones técnicas del calibrador .....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 3. Número de máquinas identificadas en cada área de trabajo.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 4 - Frecuencias .....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 5 - Máquina seleccionada para mitigación de ruido.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 6 - Resultados de simulación de fuente de ruido con cabina acústica .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 7 - Requerimiento de materiales .....</b>	<b>19</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1 - Etapas del estudio realizadas .....</b>	<b>13</b>
<b>Fig. 2 - Máxima presión sonora (dBA) por familias de máquinas Condición ambiental: Abierta .....</b>	<b>16</b>
<b>Fig. 3 - Máxima presión sonora (dBA) por familias de máquinas Condición ambiental: Cerrada .....</b>	<b>17</b>
<b>Fig. 4 - Ranking de máquinas con mayor presión sonora, 15 equipos más ruidosos .....</b>	<b>17</b>
<b>Fig. 5 - Esquema para la realización de la maqueta .....</b>	<b>19</b>
<b>Fig. 6 - Propuesta para diseño de cabina .....</b>	<b>19</b>

## Sistematización de Experiencias prácticas de investigación y/o intervención

# Evaluación de emisiones de ruido en la fuente y casos concretos de mitigación en una cementera ecuatoriana

*Maldonado Edison\*, Dávila Pablo, y Bonhommeau Xavier*

*Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad San Francisco de Quito  
edisonmaldonadomales@gmail.com*

---

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo  
Recibido el 18 de diciembre  
2017  
Recibido y revisado 18 de  
diciembre 2017

---

### Palabras clave:

Seguridad  
Ruido  
Riesgo  
Aislamiento  
Fuente  
Cementera

---

### Resumen

El presente estudio realizado en una empresa cementera ecuatoriana se centró en proponer alternativas para reducir los niveles de ruido encontrando soluciones ingenieriles de mitigación a las fuentes provenientes de las diferentes maquinarias usadas en los procesos industriales. El control del riesgo para la salud de los trabajadores de la empresa se gestiona vía medidas de control al receptor (equipo de protección personal). Sin embargo, la mitigación directa a la fuente del ruido constituye una mejor jerarquía de control para la empresa. Para esto se midió el ruido emitido en 88 máquinas previamente seleccionadas en el área de producción, para posteriormente clasificar a las fuentes de ruido en función de su impacto para los trabajadores y/o el medio ambiente. En base a esta clasificación, una máquina fue seleccionada para proponer una solución de aislamiento contra el ruido. Por otro lado, para 6 familias de máquinas representativas de la industria cementera, se recopiló en un manual buenas prácticas de diseño que permiten controlar el nivel de ruido desde la adquisición de una nueva máquina.

## 1. Introducción

El nivel máximo de ruido (presión sonora) permitido para una exposición de 8 horas en el ambiente laboral es de 85 (dBA) de acuerdo al decreto ejecutivo 2393 (Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo) de la República del Ecuador, mencionándose, específicamente, en el Art. 55. punto 6 de Ruido y

Vibraciones (DE 2393, 1986). El propósito del presente estudio es buscar soluciones para reducir los niveles de ruido provocados por la maquinaria usada para la fabricación de cemento. Si bien la empresa logra un nivel de exposición de ruido aceptable por debajo de los 85 (dBA), gracias a su programa de gestión de los equipos de protección individual a los trabajadores (protectores auriculares), el presente estudio buscó soluciones ingenieriles que permitan

mitigar la emisión de ruido directa en la fuente.

El libro de las técnicas de prevención de riesgos laborales de Creus (2012), indica que “el aumento de la mecanización en los puestos de trabajo y la incorporación de nuevas tecnologías ha provocado una mayor contaminación sonora en el ambiente laboral. Esto implica un aumento del riesgo de pérdida de la capacidad auditiva”, por lo tanto, es importante proponer medidas preventivas con el fin de crear un ambiente de trabajo adecuado sin sobrepasar los niveles de ruido permitidos y con ello obtener también una mejora en la productividad satisfaciendo las condiciones laborales para los trabajadores (García, 2016).

La matriz general de evaluación de riesgos laborales de la empresa, por procesos, indica que el ruido es uno de los factores de mayor riesgo en la empresa debido al número de trabajadores expuestos y los altos niveles de ruido emitidos, motivo por el cual se busca implementar medidas de control a la fuente. El primer paso consiste en completar y actualizar el inventario de las distintas máquinas de la empresa. El alcance del presente proyecto se da para las cinco áreas de mayor impacto e interés como fuentes de generación de ruidos: materias primas, crudo, horno, cemento y combustibles sólidos, correspondientes al flujo de producción de cemento (ver Anexo 1).

La determinación de los niveles de ruido, a través de la presión sonora, fue realizada con la ayuda de un sonómetro tipo II. Por medio de una serie de mediciones en distintos puntos y máquinas de la empresa, se determinó la máquina que, debido a sus características particulares (nivel de ruido, ubicación, facilidad de acceso, bajo riesgo de accidente durante la actividad, entre otros) se realizó un estudio piloto de mitigación de ruido a la fuente. Adicionalmente, se copiló en un catálogo algunas técnicas disponibles de diseño y de encapsulamiento para mitigar ruido en las principales familias de maquinaria utilizadas en la

industria cementera de tal forma que permita controlar los aspectos de diseño importantes para la adquisición de una nueva máquina. En dicho catálogo se copilaron las familias de maquinarias de la empresa que presentaban mayores presiones sonoras y por ende niveles de ruidos altos superiores a (85dBA).

---

## 2. Contexto histórico legal

La higiene industrial, tiene técnicas basadas en el estudio del “medio ambiente físico, químico o biológico del trabajo” (Creus, 2012), mismo que procura prevenir el desarrollo de enfermedades profesionales por ejemplo aquellas causadas por la exposición inadecuada al ruido, como problemas auditivos. Es por ello que existe una relación con la medicina del trabajo ya que en la edad media se comenzó a regular el trabajo con la finalidad de prevenir los accidentes, en ese entonces, de oficio y para el siglo XIV iniciar con lo que se conoce como Seguridad e Higiene del Trabajo, dictándose normas reguladoras de protección a sus profesiones (Creus, 2012).

Las enfermedades ocupacionales en relación al ruido, han sido catalogadas por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de España, en el documento RD 1299/2006 del 10 de noviembre de 2006 a enfermedades tales como: Hipoacusia o sordera profesional de tipo neurosensorial, provocado en personas que se encontraban sometidos a frecuencias de kHz, bilateral simétrica e irreversible (Creus, 2012). La pérdida de la capacidad auditiva se encuentra dentro de las diez enfermedades más frecuentes de difícil seguimiento, por ser difícilmente identificable por parte de los trabajadores.

En el Ecuador, el Consejo Directivo del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, resolución CD 513 Art. 28, indica que una incapacidad permanente parcial puede producirse cuando el trabajador, a causa de una enfermedad ocupacional, presenta una secuela

que le impide ejercer su profesión u ocupación habitual perjudicando también a su rendimiento. Las enfermedades que se catalogan en esta resolución, en relación al ruido, son causadas por agentes físicos, mismos que deterioran la audición y provocan enfermedades auditivas como: pérdida auditiva (hipoacusias), sordera completa unilateral/bilateral, sordera incompleta unilateral/bilateral, sordera completa de un lado e incompleta de otro, vértigo laberíntico traumático, debidamente comprobado y pérdida o deformación excesiva del pabellón de la oreja, unilateral/bilateral.

---

### 3. Antecedentes

El ruido es un factor de alto riesgo en la industria cementera tanto por los niveles emitidos por la maquinaria, como por el número de trabajadores expuestos dentro de la fábrica.

El riesgo está relativamente bien controlado al receptor, a través del programa de gestión de los equipos de protección personal, sin embargo, existe la posibilidad de mejorar aún más las medidas de control y mitigación en la fuente.

Las principales fuentes de ruido en la industria cementera se dan desde equipos como: ventiladores, sopladores, molinos, motores, cribas, trituradoras, lubricadoras, compresores, ensacadoras, paletizadoras, entre otros. Algunas fuentes están en espacios abierto (por ejemplo ventiladores), otras en espacios cerrados (por ejemplo compresores), por lo que se tiene distintos impactos en los trabajadores.

---

### 4. Justificación

Buscar medidas adecuadas que permitan regular, mitigar o eliminar el nivel de ruido en la fuente, tanto para las máquinas actualmente operativas, como para las máquinas a ser adquiridas a futuro.

El levantamiento de información y, la creación de una base de datos del nivel de presión sonora de las principales máquinas de las distintas áreas seleccionadas, permiten caracterizar las máquinas en función de su impacto en relación al ruido.

Los resultados ayudarán a la toma de decisiones en cuanto a la priorización de las fuentes sobre las cuales una intervención directamente en la fuente es recomendable definiendo soluciones de ingeniería para cierto tipo de máquina.

---

## 5. Objetivos

### 5.1 Diagnóstico de fuentes de ruido en cementera

*5.1.1 Identificar y caracterizar fuentes de ruido por el tipo de equipo*

*5.1.2 Identificar y caracterizar fuentes de ruido por impacto*

### 5.2 Soluciones de mitigación de ruido

*5.2.1 Caso concreto sobre una fuente existente de impacto relevante, piloto*

*5.2.2 Catálogo por tipo de equipo en base a técnicas disponibles en el mercado para mitigación de ruido*

---

## 6. Marco teórico

En el libro “Ruido”, de Juan Gimenes (2012), se indica que el sistema auditivo del ser humano, otológicamente normal, percibe sonidos con frecuencias aproximadas entre los 20 y 20 000 Hz. La edad contribuye a disminuir la percepción por el efecto natural conocido como la presbiacusia con igual incidencia en hombres y mujeres. A esto también se le agrega como agente externo la agresión sonora

originado por ruidos, produciendo efectos indirectos sobre las personas, entre ellos, molestia o incomodidad.

El decibelio es la unidad de medición de ruido (presentado como dB), que denota la relación entre dos cantidades proporcionales a las potencias (Harris, 1997), el decibel es la décima parte del bel y se cuantifica como una magnitud logarítmica que se conoce como nivel sonoro (Harris, 1997).

El ruido, en los niveles de presión sonora que es de interés para el presente estudio (audible para el humano), se puede dividir en 10 bandas llamadas bandas de octava.

Las bandas de octava se las conoce por sus frecuencias centrales (31Hz, 63Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz, 16000 Hz). Para estudios de mayor precisión, se utiliza bandas con menor ancho, denominadas tercios de octava (Vaca, 2015). Se denomina octava al intervalo de ocho grados entre dos notas de la escala musical (ANSI, 2004).

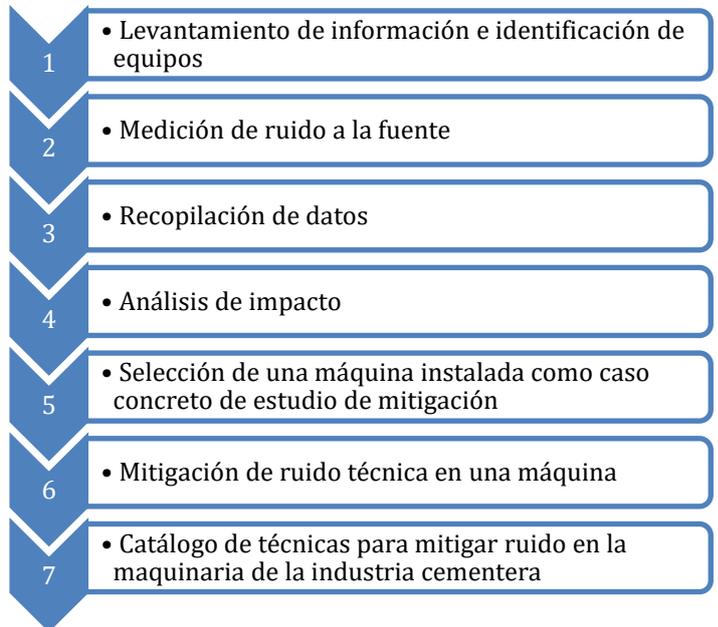
Al fin de traducir la sensibilidad del oído humano, según Rougeron (1977), existen diferentes ponderaciones para medir la presión sonora (ponderación A, B, C, o D) siendo la que más se adapta para el estudio de la salud de los trabajadores la ponderación A (denotado como dBA).

Adicionalmente, se debe considerar que el ruido producido es de origen aéreo, por lo que existen distintas formas de mitigar el ruido aplicado en diversos sitios de trabajo dando resultados satisfactorios (SWEF, 1973), entre ellas a:

- Cambios en maquinaria y equipos
- Encerramiento de máquinas
- Amortiguación con absorbentes
- Mantenimiento
- Planeamiento del control del ruido

## 7. Metodología

El proyecto fue desglosado en siete etapas (ver Fig. 1).



**Fig. 1** - Etapas del estudio realizadas

### 7.1 Levantamiento de información e identificación de equipos

Con la finalidad de escoger las áreas de interés para el estudio, se usó el flujograma de producción de cemento otorgado por la empresa (Anexo 1)

Los equipos de interés para el presente trabajo se identificaron, con la ayuda del responsable de cada área de producción, por categorías y, en cada categoría, por máquina individual con su código único de identificación en la planta.

### 7.2 Mediciones de ruido a la fuente

Todos los ruidos emitidos por estas máquinas son de tipo “estable”, debido a lo indicado en la guía de buenas prácticas de la INSHT, NTP 270 (1991). Los instrumentos de medición que se usaron fueron un sonómetro y un calibrador, para nivelar los valores

estándares del equipo en cuanto a la medición antes de cada grabación, con las siguientes especificaciones:

**Tabla 1** – Especificaciones técnicas del sonómetro

Marca	Modelo	# de serial	Tipo	Fecha última de calibración
Cirrus	CR:822B	C19667FB	II	26 de octubre 2016

**Tabla 2** - Especificaciones técnicas del calibrador

Marca	Modelo	# de serial	Fecha última de calibración
Cirrus	CR:514	44724	26 de octubre 2016

Se realizó una ficha de medición considerando los requerimientos mínimos que la INSHT propone y lo que la empresa usó para realizar un reporte de las evaluaciones de higiene industrial (ver referencia [8]) obteniendo de esa manera un reporte individual por cada medición.

Debido a que el ruido se estima como “estable”, se realizó las mediciones en las fuentes durante un tiempo estándar de 5min. Adicionalmente, se realizó también un estudio de fiabilidad de los resultados con tiempos de grabación de: 1min, 5min y 10min sobre 2 máquinas diferentes con un tamaño de muestra mínimo de 3 que sugiere la INSHT en su NTP 950 (1991) en bandas de octava dándonos un total de 9 mediciones para el cálculo de la variabilidad en cada máquina.

Usando la información de la NTP 951 (1991), para el cálculo de dicha variabilidad, por el tiempo usado de grabación, se usó una calculadora que dispuso en la página web de la INSHT en el 2011, para calcular la incertidumbre de medida del ruido considerando las contribuciones en función del número de mediciones, esta calculadora evitó realizar los cálculos manuales siendo los resultados más confiables.

### 7.3 Recopilación de datos

Los datos del sonómetro usado pueden ser exportados al programa Deaf Defier 3.2, permitiendo procesar las mediciones por bandas de octava dando la opción de realizar reportes por cada medición que se juntó con la ficha correspondiente a la grabación. Estos datos se exportaron a una hoja Excel con la finalidad de explorarlos para luego en la siguiente fase realizar un análisis de impacto.

A esta información se juntaron los datos históricos disponibles en los estudios anteriores contratados por la empresa (ver referencia [4] [8]) para ver el cambio de los niveles de presión sonora en las máquinas analizadas en ese entonces.

### 7.4 Análisis de impacto

Los criterios utilizados son:

- Nivel de presión sonora (dBA) de cada equipo
- Caracterización de frecuencias por niveles graves y agudos.
- Condiciones del lugar: abierto/cerrado (influye en la propagación del ruido).
- Altura relativa donde se ubica la máquina: piso/intermedio/alto (influye en la propagación del ruido).

Con la información se tomó una decisión sobre cuáles máquinas considerar para estudios concretos que faciliten el minimizar el ruido generado.

### 7.5 Selección de una máquina instalada como caso concreto de estudio de mitigación

Para ello fue necesario realizar diversas tabulaciones a los datos, representaciones gráficas con la finalidad de realizar una reunión con la gerencia de la planta para escoger una máquina que se convierta en el caso concreto de mitigación y se tomó en cuenta el

impacto en una máquina ya instalada por su nivel de impacto relevante.

### 7.6 Mitigación de ruido técnica en una máquina

En esta fase se tomó en cuenta la nota técnica NTP 960 que trata sobre el “Programa de Medidas, Técnicas o de Organización” conocida como PMTO la nota técnica habla sobre la reducción técnica de ruido modificando al equipo o al área de trabajo así como también técnicas para la asignación de los recursos necesarios para la ejecución del programa.

Adicionalmente, se determinó los costos asociados a las soluciones más adecuadas considerando el nivel de reducción en los decibeles usando distintos materiales en caso de utilizarse un encerramiento de la fuente de ruido.

### 7.7 Catálogo de técnicas para mitigar ruido en la maquinaria de la industria cementera

Por cada categoría de equipos identificada en la etapa 1 se buscó de distintas fuentes y se seleccionó, de manera parcial, técnicas para la mitigación de ruido directo en las fuentes/maquinaria usadas para la producción de cemento. La finalidad del catálogo es usar las recomendaciones de diseño para la adquisición de nuevas máquinas. Además se detalla información de diferentes materiales que se usan para un aislamiento acústico y que podrían usarse en caso de requerirse.

**Tabla 3.** Número de máquinas identificadas en cada área de trabajo

Área de trabajo	# de máquinas
Envase	29
Horno 1	10
Horno 2	14
Molino de carbón	7
Molino de cemento 1	10
Molino de cemento 2	8
Molino de crudo 1	3
Molino de crudo 2	4
Silo de clinker	1
Pre trituración	2

Se identificaron un total de 88 máquinas que pertenecen a las categorías siguientes: ventilador, soplador, molino, motor de gran tamaño, criba, triturador, lubricador, compresor, ensacadora, paletizadora, banda transportadora y secador.

### 8.2 Medición de ruido a la fuente y recopilación de datos

Una vez identificadas las áreas y máquinas objeto de este estudio, se procedió a levantar la información individual de cada máquina: fecha de registro, ubicación del equipo, detalles del equipo, descripción de actividades, condición ambiental (ambiente abierto o cerrado). La ficha de registro presenta un resumen de la medición incluyendo fotografía y los niveles de presión sonora (dBA) medidos en el equipo, la ficha generada se puede ver en el Anexo 3.

Como se dijo anteriormente, la medición se realizó con un sonómetro de clase II con un tiempo de

## 8. Desarrollo del estudio

### 8.1 Levantamiento de información e identificación de equipos

Utilizando el mapa de distribución de la planta (Anexo 2), se eligió las áreas a ser estudiadas. Los equipos de interés se identificaron por categorías y en cada categoría por máquina individual con su código único de identificación en la planta, en la Tabla 3 se detalla el número de máquinas.

grabación de 5 minutos. Las actividades realizadas para la toma de mediciones de ruido en cada máquina se realizaron con la siguiente configuración idéntica:

- Distancia del sonómetro: 1 m de la fuente
- Altura del sonómetro: nivel de la cabeza
- Localización de manera que no haya obstáculo entre el sonómetro y la fuente

Se siguió el protocolo sugerido por el instituto de salud pública de Chile (2015) para la ubicación del micrófono del instrumento de medición colocándolo en la posición que ocupa la cabeza del trabajador manteniendo siempre a la altura y orientación a la que se encuentra el oído mayormente expuesto, para esto, el sonómetro se montó en un trípode, manteniéndolo a un metro de distancia desde el instrumento hasta la fuente. Como información adicional, se realizó este procedimiento repetitivo para mantener los niveles de incertidumbre estándar propiamente del instrumento con los siguientes valores: 1.5 (dB) por usar un sonómetro de clase II y 1 (dB) debida a la posición del micrófono (NTP 951, 1991).

Se obtuvo un total de 88 datos, mismos que posteriormente se procesan con el programa Deaf Defier 3.2 y se adjuntan para cada equipo en el registro del mismo (ver Anexo 4).

En vista de la cantidad de tiempo requerida para medir todos los equipos y, debido al riesgo físico que representa el realizar las mediciones in situ para el autor del presente trabajo, se realizó un estudio de variabilidad para determinar la necesidad de hacer una única medición o varias mediciones en todos los equipos. Para dicho estudio se asignó 2 áreas de trabajo, correspondientes al molino de cemento 1 y molino de cemento 2 encontrándose máquinas de tipo lubricador y compresor respectivamente. El análisis dio como resultado que el tiempo empleado para la toma de datos no variaba en gran escala para 1, 5 y 10 minutos, dada la suma de la contribución a la

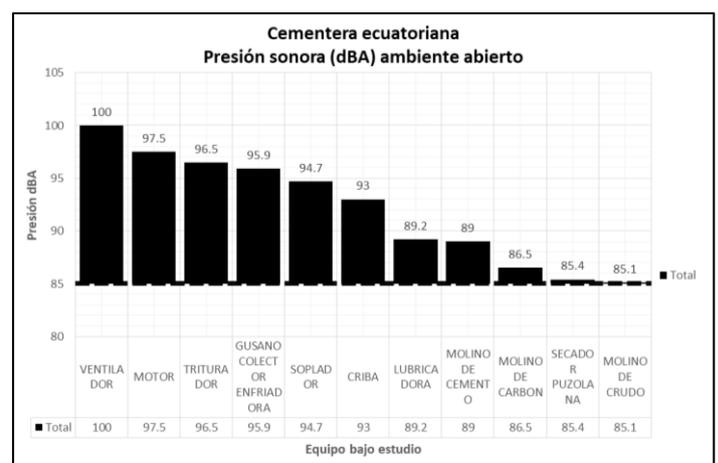
incertidumbre para cada tiempo de grabación, de esa manera se llegó a la conclusión que una toma de datos de 5 minutos sería la mejor opción para el tiempo empleado de grabación. Cabe señalar que las muestras tomadas se encontraban dentro del intervalo de la incertidumbre expandida permitida de menos de 3dB propuesta por la NTP 951 (ver Anexo 5), la cual garantiza la confiabilidad de los datos tomados obtenidos.

### 8.3 Análisis de impacto y selección de una máquina para prueba piloto

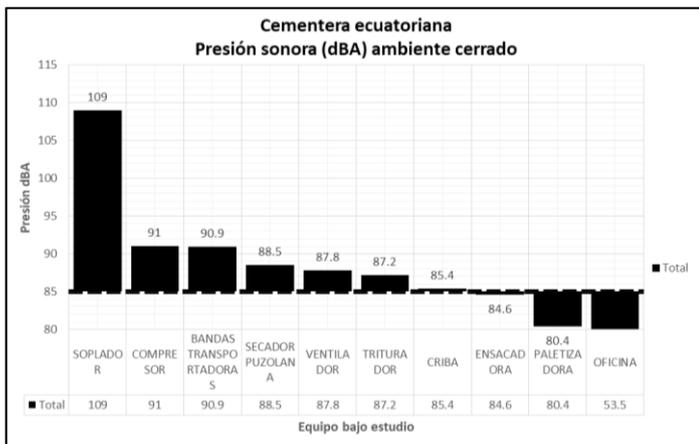
Utilizando el programa Deaf Defier 3.2, se exportó los datos a una hoja electrónica para elaborar tablas dinámicas y aplicar filtros que permitan encontrar criterios de elección de la máquina más apta para la prueba piloto, dados los siguientes parámetros:

- Nivel de ruido (dBA)
- Altura relativa
- Categoría de equipo
- Predominancia de frecuencias agudas o graves
- Ambiente cerrado/abierto

Las figuras 2 y 3 muestran los niveles máximos de presión sonora para cada tipo de familia de equipos.



**Fig. 2 - Máxima presión sonora (dBA) por familias de máquinas**  
Condición ambiental: Abierta



**Fig. 3 -** Máxima presión sonora (dBA) por familias de máquinas  
Condición ambiental: Cerrada

Las figuras muestran que la familia de ventiladores y sopladores son las que emiten mayor nivel de ruido en la planta cementera.

Además, se añadió a la misma tabla información de su altura relativa de ubicación de la fuente categorizándolo por su altura en baja, intermedia o alta, representándose en colores verde, amarillo y rojo respectivamente, de esta forma se puede determinar aquellas máquinas que se encuentran en una altura que incida en la propagación del ruido hacia los sectores aledaños de la empresa.

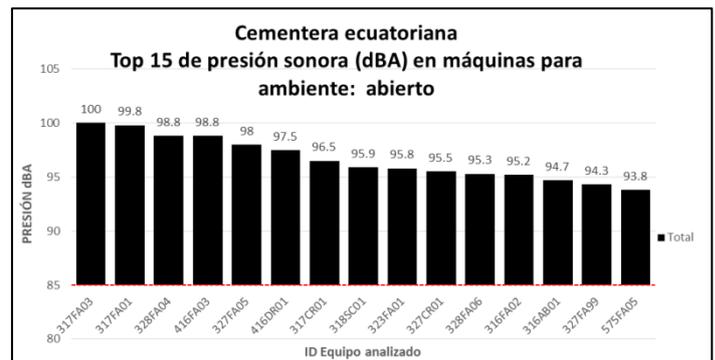
Para mejorar el criterio de selección de la máquina se añadió información sobre el tipo de ruido que generaba la fuente considerando que a frecuencias altas el tipo de sonido es agudo y a frecuencias bajas el tipo de sonido es grave, en la Tabla 4 se detalla el tipo de frecuencia para un determinado rango de Hz (ESSAM, 2013).

**Tabla 4 -** Frecuencias

Frecuencia	Rango (Hz)
Baja	16 – 250
Media	500 – 1000
Alta	2000 – 16000

La finalidad fue saber si el sonido tiene más frecuencias altas que frecuencias bajas o viceversa. Una parte de los resultados se presenta en el anexo 6, donde se puede visualizar el tipo de sonido que cada máquina emite.

Para el criterio de elección de la máquina más ruidosa se realizó también un ranking de las máquinas más ruidosas considerando los niveles de presión sonora de cada registro. La figura 4 presenta un ranking de los 15 equipos con mayores niveles de ruido y en el Anexo 7 se presenta una tabla general con un mayor ranking de un número de máquinas para un ambiente abierto. Se realizó el ranking para aquellas máquinas que se encuentren en condición ambiental abierta ya que para el departamento de seguridad de la empresa resulta de mayor relevancia por el hecho de propagación de ruido antes mencionada.



**Fig. 4 -** Ranking de máquinas con mayor presión sonora, 15 equipos más ruidosos

Se puede ver que el grupo de ventiladores (FA) son los que se encuentran ocupando los primeros lugares en el ranking y la máquina seleccionada para el estudio del caso concreto de mitigación fue el equipo que se detalla en la Tabla 5.

**Tabla 5** - Máquina seleccionada para mitigación de ruido

<i>Código de registro</i>	CE-MCE1-061
<i>ID máquina</i>	416FA03
<i>Nombre</i>	Ventilador centrífugo
<i>Presión (dBA)</i>	98.8
<i>Ambiente</i>	Abierto
<i>Tipo de sonido</i>	Grave
<i>Posición en el ranking</i>	3
<i>Altura relativa</i>	Intermedio

#### **8.4 Solución de mitigación de ruido, prueba piloto en máquina seleccionada**

Para realizar la prueba piloto en una máquina, misma que servirá de referencia para otros casos, se consideró una máquina en operación y, donde la propuesta de solución aplicada fue el encerramiento acústico, tomando en cuenta los ductos de entrada y salida, adicionalmente, en el ducto de salida debió ser instalado un silenciador. El siguiente procedimiento resume lo que se realizó para la prueba piloto:

- Reconocimiento del lugar donde se encuentra el equipo para determinar un diseño para el aislamiento acústico.
- Considerar ductos de entrada y salida de aire.
- Realizar bocetos con programas informáticos.
- Realizar pruebas de aislamiento con diferentes materiales, probando alternativas de aislamiento.

Se definió las dimensiones requeridas de la cabina acústica con una dimensión de 6m para ancho, largo y alto. La empresa planteó lineamientos para el aislamiento acústico con las siguientes características:

- Fácil armado
- Material no pesado
- Resistente a la humedad
- Evitar que el ruido se propague al exterior.

Los proveedores locales NOVOPAN del Ecuador S.A e Industrias Verton fueron contactados para revisión de materiales aislantes apropiados.

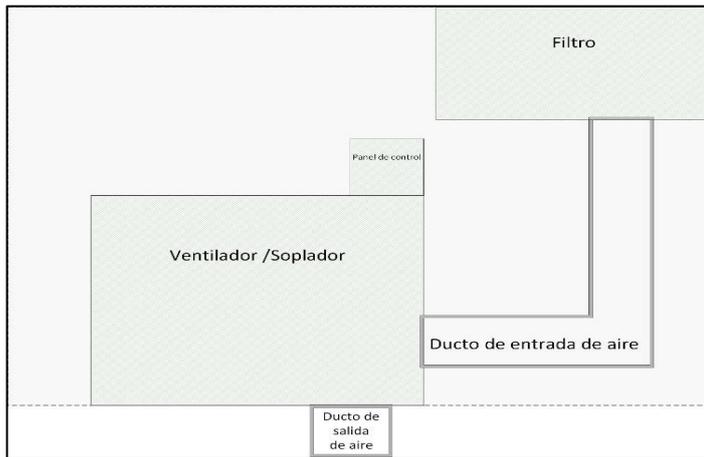
Gracias a una visita técnica que se realizó a la planta industrial de NOVOPAN del Ecuador S.A se evidenció que usaron una Plancha de Densidad Media (MDP) “Formaleta RH” como solución para el problema de propagación de ruido hacia las casas aledañas a la planta siendo instalada en la intemperie en forma de paneles.

Este tablero tiene una resistencia a la humedad de 12% (max) con resina melamínica en sus caras presentando un coeficiente de absorción acústica que permite su uso para disminuir la transmisión de ondas sonoras a su alrededor (Novopan).

En Industrias Verton ofrecen un panel tipo “sándwich” de poliuretano de alta densidad recubierta con aluminio en distintos espesores, cumpliendo en la mayoría de los requerimientos solicitados por la empresa.

El panel tipo sándwich de poliuretano, según el catálogo de técnicas disponibles realizado conjuntamente con este proyecto, indica que es un aislante de estructura celular y además de ser un aislante acústico también cumple con la cualidad de ser un aislante térmico que dependiendo del espesor se lograría conseguir aislamientos fónicos de más de 50 decibelios (Payá, 1967).

Se realizó una simulación para medir la eficacia en la reducción de propagación de ruido para cada material propuesto, para tal efecto se construyó una maqueta con un soplador/aspirador pequeño que generaba alrededor de 96 dB montando el equipo con el esquema que se presenta en la Figura 5.



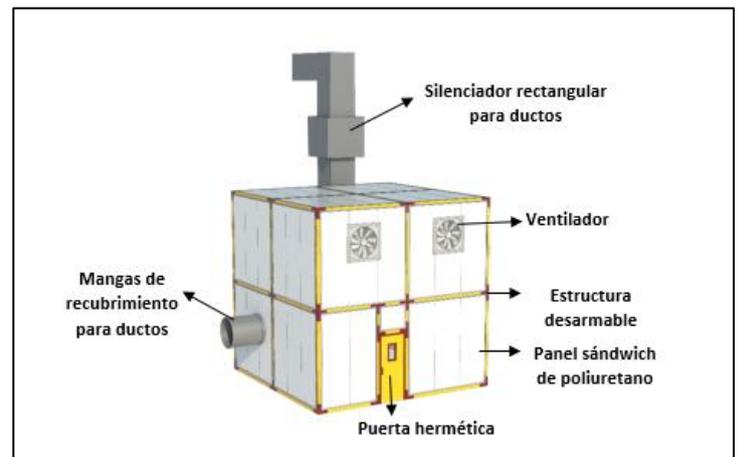
**Fig. 5** - Esquema para la realización de la maqueta

Siguiendo este esquema de la Figura 5 se realizó pruebas de la cabina acústica utilizando ambos materiales propuestos, tomando en cuenta que el “sándwich” de poliuretano será usado sin recubrimiento por motivo de pruebas, adecuando también a los ductos de entrada y salida con elementos que simule a mangas de recubrimiento. Adicionalmente se simuló un silenciador rectangular para el ducto de salida (ver Anexo 8). Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 6:

**Tabla 6** - Resultados de simulación de fuente de ruido con cabina acústica

Material	Presión sonora (dB)
Estado sin aislamiento acústico	96
MDP Formaleta RH	84
Poliuretano sin recubrimiento	83

Es importante destacar que esta cabina debe ser de fácil ensamble y desensamble ya que en cualquier momento se verá la necesidad de sacar el mismo ventilador o partes para su debido mantenimiento. Por lo tanto, se eligió el material tipo “sándwich” de poliuretano como el más apropiado de acuerdo a todos los requerimientos anteriormente señalados.



**Fig. 6** - Propuesta para diseño de cabina

Luego de la evaluación y prueba de materiales, así como el diseño computacional de la cabina acústica, se planteó una lista de materiales, que se presenta en la Tabla 7.

**Tabla 7** - Requerimiento de materiales

Materiales	Cantidad
Estructura metálica desarmable	Largo: 6m Ancho: 6m Alto: 6m
Área de aislamiento	180m <sup>2</sup>
Silenciador rectangular	Largo: 1.20 m Ancho: 1.20 m Alto: 2.40 m
Mangas de revestimiento	20 m
Ventiladores de Pared	2 unidades

Para la estructura metálica es necesario juntas de neopreno para cortar el puente de transmisión fónico y acústico entre las superficies de acabado. El costo de

los paneles acústicos varía dependiendo el espesor siendo recomendable como mínimo 8cm y como medida estándar de alto 3 metros y ancho 1 metro útil. En caso de decidirse por elementos más básicos para reducir los costos, se sugiere considerar invertir en la cabina acústica, el silenciador rectangular y un único ventilador. En el Anexo 9 se presenta un análisis de costos para cada propuesta mencionada.

### 8.5 Catálogo de técnicas disponibles para mitigar ruido en algunas familias de maquinaria de la industria cementera

Por otro lado el catálogo de técnicas disponibles realizado para uso del departamento de seguridad se puede encontrar posibles soluciones tanto de aislamiento, diseño y mantenimiento preventivo, además de ser de gran ayuda para nuestro estudio también sirve para el departamento de adquisiciones para no olvidar ciertos aspectos importantes en el diseño al momento de realizar una compra de un equipo. Dentro de este catálogo se encuentra información de las siguientes familias de equipos que fueron escogidas bajo juicio de expertos:

- Familia I. Ventiladores
- Familia II. Cribas
- Familia III. Trituradoras
- Familia IV. Molinos de bola
- Familia V. Motores de gran tamaño
- Familia VI. Compresores

El catálogo incluye información parcial sobre las mejores prácticas que se deben tomar en cuenta para la adquisición de nuevos equipos recurriendo a fuentes que posteriormente se detalla. El formato para el mismo tiene la siguiente estructura:

- *Descripción/antecedes del equipo.*- dentro de esta sección se agregó toda la información técnica que se encuentre ya que dentro de la familia a describir existen diversos tipos, el cual

es importante dar una descripción para saberlo diferenciar.

- *Rango de ruido medido (max-min).*- esta información ayuda a tener una idea del rango de ruido que puede generar esta familia.
- La fotografía del equipo.
- *Soluciones de diseño del equipo.*- Las soluciones de diseño ofrecen recomendaciones de ingenieros mecánicos para reducir los niveles de ruido.
- *Mantenimiento preventivo.*- Son recomendaciones de mantenimiento para que la máquina no llegue a ser ruidoso por un descuido.
- *Productos en el mercado.*- Este tipo de información muestra algunas de las soluciones encontradas para reducir el ruido como aislamientos, equipos nuevos, etc.

---

Las fuentes a las cuales se recurrió para la elaboración de este catálogo son las siguientes:

- Best Available Techniques (bat) / Mejores Técnicas Disponibles (MTD)
- Entrevistas ingenieros mecánicos
- Proveedores nacionales & internacionales
- Literatura, doc. web

Se incluye un capítulo inicial donde se aborda información sobre técnicas de aislamiento que se aplican directamente al diseño de la máquina o para un encerramiento que se debe realizar para ciertos tipos de máquinas, es importante investigar sobre los materiales que hay en el mercado y reconocer los beneficios de cada producto de tal manera que se haga una elección del material adecuado para el propósito que se busca.

---

## 9. Conclusiones

Las conclusiones principales que engloban al proyecto realizado son las siguientes:

- Se encontró propuestas de soluciones para mitigar el ruido en una fuente de tipo ventilador usando materiales disponibles en el mercado ecuatoriano con resultados probados en la prueba piloto (maqueta).
- Con las recomendaciones del catálogo de técnicas disponibles en el mercado, realizado juntamente con este proyecto, se sugiere que es preferible contemplarlas desde la adquisición ya que mitigar el ruido sobre una instalación existente resulta más difícil.
- Las recomendaciones externas de expertos y también la teoría encontrada sugerían que la solución de mitigación de ruido en máquinas ya instaladas es el uso de cabinas insonoras.

Los potenciales beneficios de la implementación de sistemas de reducción de niveles acústicos están asociados a la reducción del consumo de EPI, la reducción de los días de ausencia de trabajadores y a la eliminación de la necesidad de indemnización/pensión en caso de discapacidad permanente parcial o completa. Los ahorros monetarios para ello representarían un beneficio para la empresa y para el trabajador un beneficio no monetario relacionándose con el confort en el puesto de trabajo. En efecto, al no necesitar EPI de protección contra ruido, se elimina una molestia para el trabajador

y adicionalmente se mejora las condiciones de comunicación entre personas.

Los problemas de salud en los trabajadores se verían reducidos en cuestión del estrés laboral causado por la exposición al ruido tanto para corto plazo como para largo plazo. A pesar que no se ve la necesidad de crear verdaderas cámaras sordas, reducirlo hace que tenga un efecto positivo en la salud del trabajador. Es importante considerar que el ruido, de cierta manera, también es importante ya que nos ayuda a detectar ciertos problemas que una máquina presenta direccionando al mantenimiento preventivo del mismo o un posible reemplazo.

El catálogo de técnicas disponibles para mitigar ruido en máquinas de la industria cementera es dirigido para que el usuario industrial que genera un pedido de adquisición de un nuevo equipo pueda incluir recomendaciones de mitigación de ruido en sus requisitos técnicos que, si bien podría ser más costosa al mismo tiempo puede venir de fábrica con sistemas de reducción de ruido, que a la larga resulta beneficioso y económico para la empresa al no requerirse sistemas adicionales con inversiones adicionales posteriores para la mitigación de ruido.

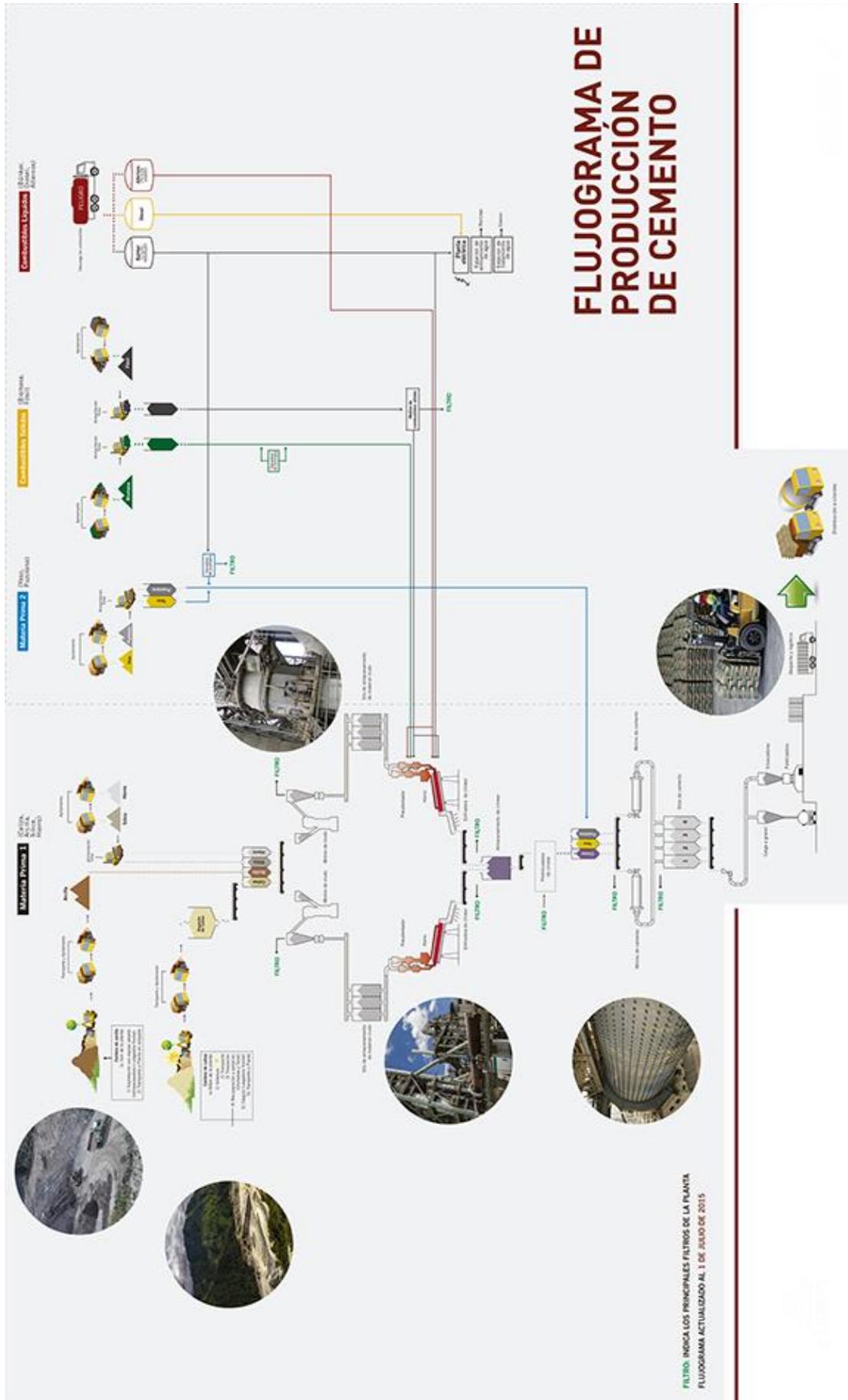
---

## 10 Referencias bibliográficas

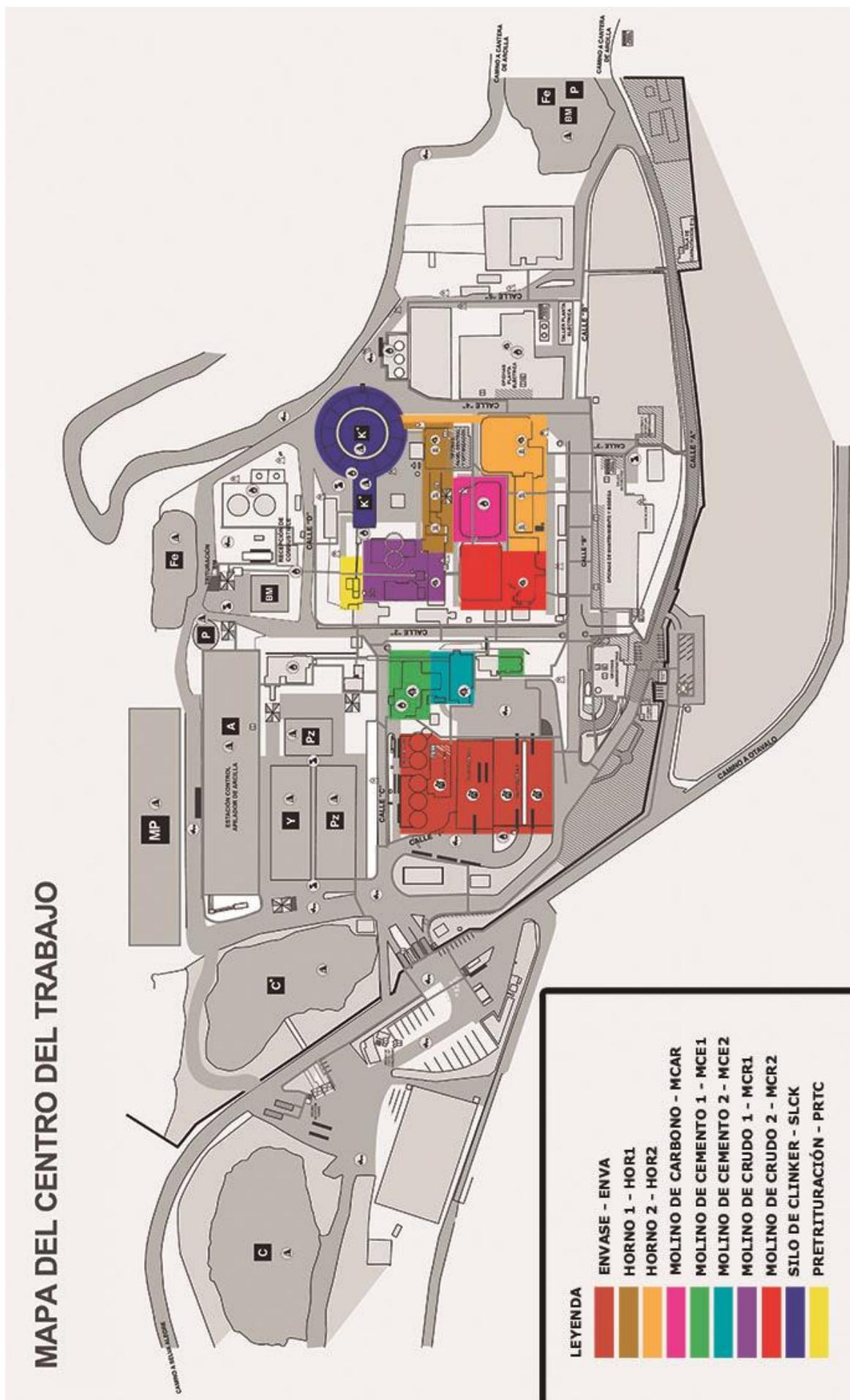
- American National Standard Institute. (2004). *ANSI S1.11 Specification for octaveband and fractional-octave-band analog and digital filters*. New York: Acoustical Society of America
- Antonio Creus Sole. (2012). *Higiene Industrial*. En Técnicas Para la Prevención de Riesgos Laborales(522-580). México: Luxus.
- Decreto Ejecutivo 2393 Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. Quito. RO565, 17/11/1986.
- ESSAM (agosto 2013) *Monitoreo de Ruido Ambiental*. Reporte técnico. Lugar Ecuador
- Gimenes, J. (2012). *Ruido*. (E. d. U, Ed.) Bogotá: Editorial Nobuko S.A.
- Gracia, D. (15 de enero 2016). *DETERMINAR POR MÉTODOS CUALITATIVOS EL NIVEL DE RIESGOS A LOS QUE ESTÁN EXPUESTOS LOS TRABAJADORES DE LA HORMIGONERA DE LA “UNIÓN CEMENTERA NACIONAL UCEM – CEM” PLANTA INDUSTRIAS GUAPÁN*. (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Lugar Cuenca-Ecuador.
- Harris, C. (1997). *Manual para el control del Ruido* (Vol. 2). Madrid: McGraw-Hill.
- INRISKA (abril 2011) *Registro individual de la muestra*. Reporte de las Evaluaciones de Higiene Industrial. Lugar Cumbayá -Ecuador
- Instituto de Salud Pública de Chile (2012) *Protocolo para la medición del ruido impulsivo en los lugares de trabajo*. Departamento de salud ocupacional. Versión 1
- IESS (marzo 2016) *Reglamento del seguro general de riesgos del trabajo*. Resolución CD 513. Ecuador
- Rougeron, C. (1977). *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. Barcelona, España: Editores técnicos asociados S.A
- Swedish Work Environment Fund. (1993). *Control del Ruido*. (C. I. (CIAS), Trad.) Suecia: Englewood N.J. 07631, E.U.A.
- Vaca, D. (2015). *Desarrollo de un software para análisis de bandas de octava, que permita calcular los niveles efectivos de presión sonora ponderados A. aplicado a la selección de protectores auditivos*. Tesis (Maestría en Seguridad, Salud y Ambiente, con mención en: Seguridad en el Trabajo e Higiene Industrial), Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Postgrados; Quito, Ecuador, 2015
- Payá, M. (1967) *Aislamiento térmico y acústico*. Barcelona, España: Editores CEAS.
- NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos - Año 1991
- NTP 950: Estrategias de medición y valoración de la exposición al ruido (I): incertidumbre de la medición.
- NTP 951: Estrategias de medición y valoración de la exposición al ruido (II): tipos de estrategias.
- NTP 960: Ruido: control de la exposición (I). Programa de medidas técnicas o de organización.

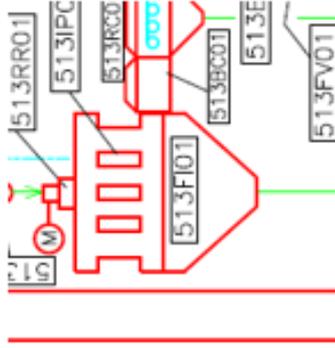
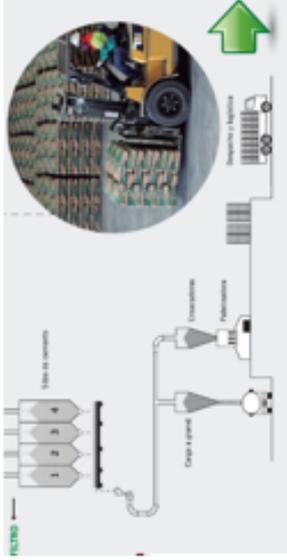
11 Anexos

Anexo 1: Flujograma de producción (Cementera Ecuatoriana)



## Anexo 2: Selección de áreas de trabajo



ID PROYECTO:	CE-TT-001	NOMBRE RESPONSABLE DE MEDICIÓN:	XAVIER BONHOMMEAU (Gerente Seguridad)
FECHA:	24/02/2017	HORA:	09h34
UBICACIÓN DEL SITIO		ÁREA DE MEDICIÓN:	Envase
Ensacadora		GPS PSAD56	CÓDIGO DEL EQUIPO FUENTE DE RUIDO:
DETALLE DE LA FUENTE DE RUIDO:		X(ESTE-UTM)= SIN SEÑAL Y(NORTE-UTM)= SIN SEÑAL	513FI01
FOTOGRAFÍA:		DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES, TAREAS, TIEMPO EN LA TAREA, etc.	
Ensacadora #1			
RUIDO AMBIENTAL	Operador de ensacadora alimenta fundas y controla funcionamiento las 8 horas de su turno		
Bandas transportadoras	<p>CONDICIONES AMBIENTALES</p> <p>PROTECCIÓN AUDITIVA OBSERVADA</p> <p><input type="checkbox"/> OREJERA PELTOR 105</p> <p><input type="checkbox"/> OREJERA PELTOR 98</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> OREJERA OPTIME 1</p> <p><input type="checkbox"/> OREJERA OPTIME 2</p> <p><input type="checkbox"/> TAPONES DE CORDÓN</p> <p><input type="checkbox"/> TAPONES DE GOMA</p>		
DATOS DE CALIBRACIÓN		TIEMPO TRANSCURRIDO:	LIMITE LEGISLACIÓN:
ID CALIBRADOR:	44724	HORA INICIO	9:36
ID SONÓMETRO:	CR:822B	HORA FINAL:	9:41
FECHA DE CALIBRACIÓN:	26/10/2016	TIEMPO TRANSCURRIDO:	4:46 min
RESULTADOS DE LA MEDICIÓN:		DECRETO/NIVEL(dBA)	2393
ID MUESTRA:	CE-ENVA-001	FLUJOGRAMA DE PLANTA:	
PROMEDIO [dBA]:	83.0 dBA		
COMENTARIO NOTAS:			
REGISTRO CIRRUS: MEMORIA: #63		ÁREA DE MEDICIÓN:	
			

## Anexo 4: Ficha de registro (página 2)

## Measurement Report

## Measurement Details

Date and Time: 24/02/2017 9:36  
 Sound Level Meter: Cirrus Research plc  
 Recalibration Due: 30/06/2008  
 Run Duration: 00:04:46 hh:mm:ss  
 Range: 50-120 dB

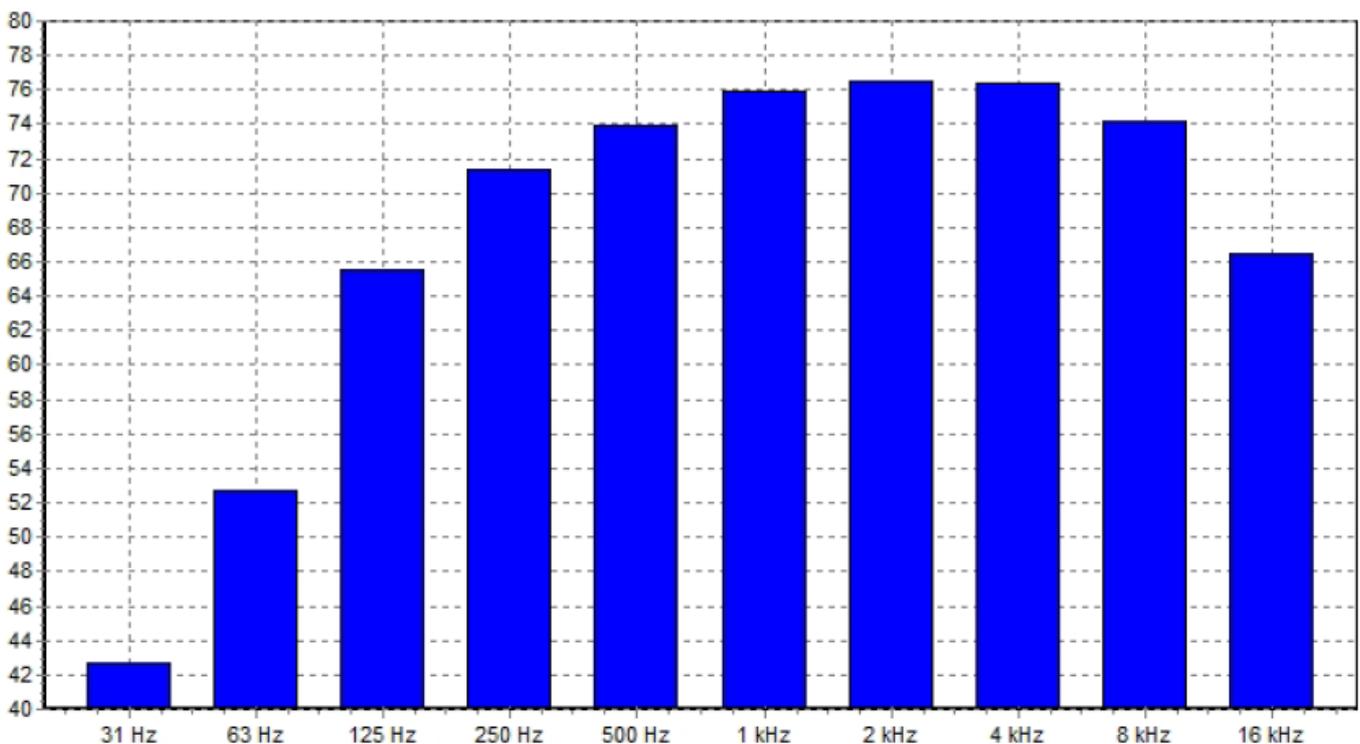
## Data

Band	Leq,t	Time s	Overload	Band	Leq,t	Time s	Overload
31 Hz	42.6 dBA	22		1 kHz	75.9 dBA	22	
63 Hz	52.7 dBA	22		2 kHz	76.5 dBA	22	
125 Hz	65.5 dBA	22		4 kHz	76.3 dBA	22	
250 Hz	71.4 dBA	22		8 kHz	74.2 dBA	22	
500 Hz	74.0 dBA	22		16 kHz	66.5 dBA	22	

Band	Leq,t	Time s	Overload
LAeq	83.0 dBA	22	
LCeq	88.0 dBC	22	
LZeq	90.8 dBZ	22	

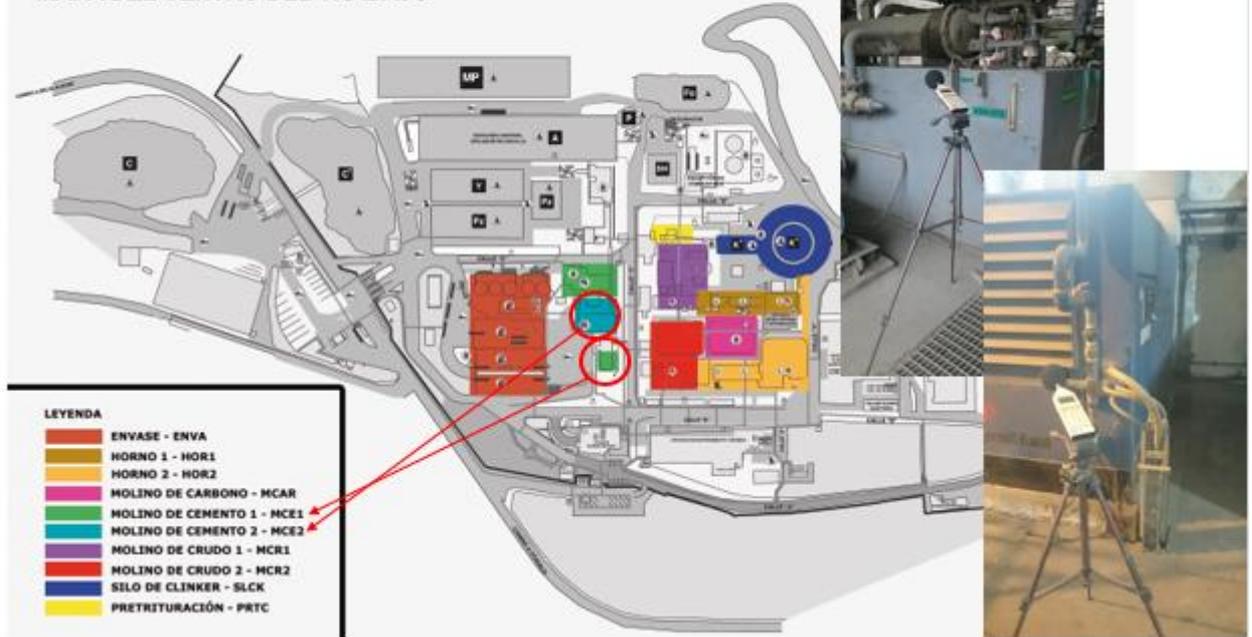
NR value: B2

NC value: 70

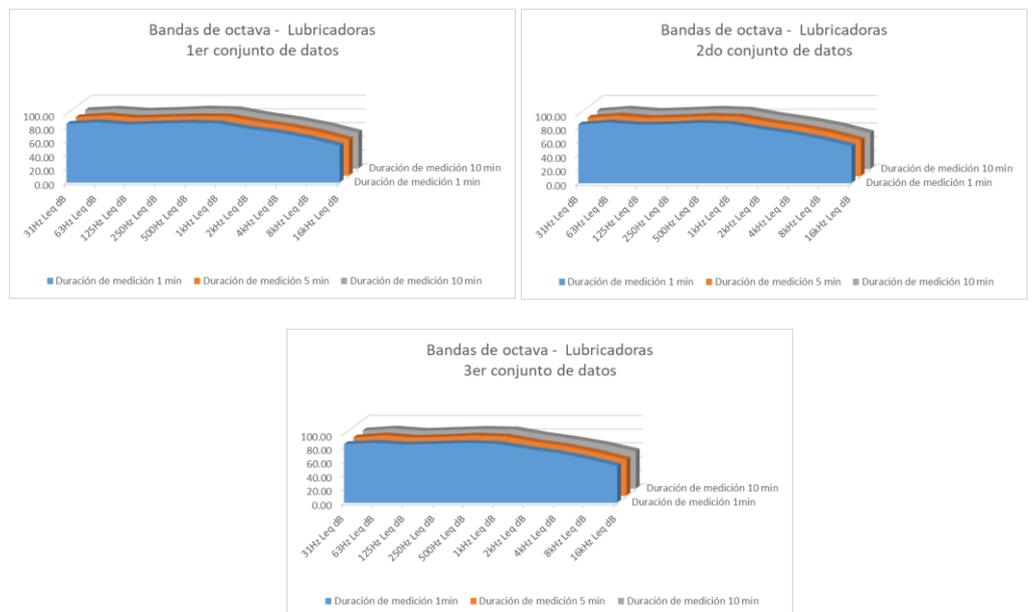


### Anexo 5: Estudio de variabilidad

MAPA DEL CENTRO DEL TRABAJO



### Análisis variabilidad máquina: lubricador



1min

**Incertidumbre asociada a las mediciones de ruido**

Resultados

Nivel de exposición al ruido diario ponderado A:	<b>88,7 dB(A)</b>
Incertidumbre expandida:	<b>3,0 dB</b>
Número de valores medidos:	<b>3</b>

Resultados	Símbolos, relaciones	Valor (dB)
Nivel de ruido	$(C_1 + u_1)^2$	0,08
Instrumentos de medición	$(u_2)^2$	2,25
Posición de la medición	$(u_3)^2$	1,00
Suma	$u^2 (LEX, 8h)$	3,33

Datos de partida

Incertidumbre típica de los instrumentos:	<b>1,5 dB</b> (Sonómetro de clase 2, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002)								
Duración efectiva de la jornada laboral:	<b>420 minutos</b>								
Muestras:	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>dB(A)</td> </tr> <tr> <td>Muestra 1</td> <td>89,5</td> </tr> <tr> <td>Muestra 2</td> <td>89</td> </tr> <tr> <td>Muestra 3</td> <td>89,3</td> </tr> </table>		dB(A)	Muestra 1	89,5	Muestra 2	89	Muestra 3	89,3
	dB(A)								
Muestra 1	89,5								
Muestra 2	89								
Muestra 3	89,3								

5 min

**Incertidumbre asociada a las mediciones de ruido**

Resultados

Nivel de exposición al ruido diario ponderado A:	<b>88,4 dB(A)</b>
Incertidumbre expandida:	<b>3,0 dB</b>
Número de valores medidos:	<b>3</b>

Resultados	Símbolos, relaciones	Valor (dB)
Nivel de ruido	$(C_1 + u_1)^2$	0,01
Instrumentos de medición	$(u_2)^2$	2,25
Posición de la medición	$(u_3)^2$	1,00
Suma	$u^2 (LEX, 8h)$	3,26

Datos de partida

Incertidumbre típica de los instrumentos:	<b>1,5 dB</b> (Sonómetro de clase 2, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002)								
Duración efectiva de la jornada laboral:	<b>420 minutos</b>								
Muestras:	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>dB(A)</td> </tr> <tr> <td>Muestra 1</td> <td>88,8</td> </tr> <tr> <td>Muestra 2</td> <td>89</td> </tr> <tr> <td>Muestra 3</td> <td>89</td> </tr> </table>		dB(A)	Muestra 1	88,8	Muestra 2	89	Muestra 3	89
	dB(A)								
Muestra 1	88,8								
Muestra 2	89								
Muestra 3	89								

10 min

**Incertidumbre asociada a las mediciones de ruido**

Resultados

Nivel de exposición al ruido diario ponderado A:	<b>88,3 dB(A)</b>
Incertidumbre expandida:	<b>3,0 dB</b>
Número de valores medidos:	<b>3</b>

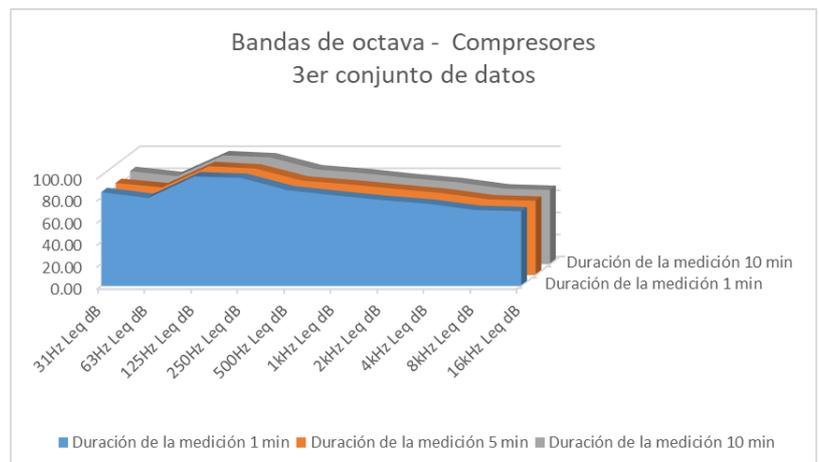
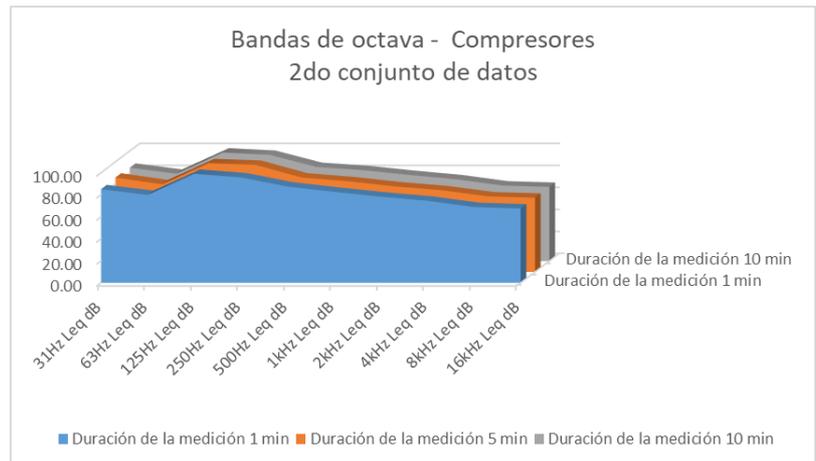
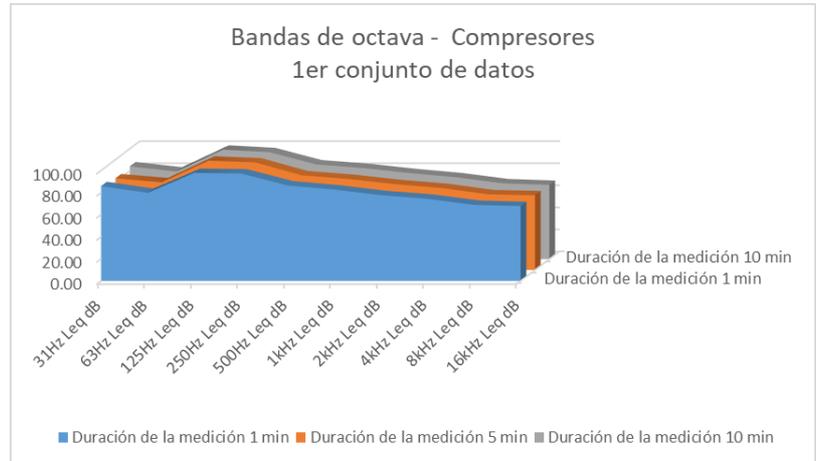
Resultados	Símbolos, relaciones	Valor (dB)
Nivel de ruido	$(C_1 + u_1)^2$	0,00
Instrumentos de medición	$(u_2)^2$	2,25
Posición de la medición	$(u_3)^2$	1,00
Suma	$u^2 (LEX, 8h)$	3,25

Datos de partida

Incertidumbre típica de los instrumentos:	<b>1,5 dB</b> (Sonómetro de clase 2, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002)								
Duración efectiva de la jornada laboral:	<b>420 minutos</b>								
Muestras:	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>dB(A)</td> </tr> <tr> <td>Muestra 1</td> <td>88,8</td> </tr> <tr> <td>Muestra 2</td> <td>88,8</td> </tr> <tr> <td>Muestra 3</td> <td>88,9</td> </tr> </table>		dB(A)	Muestra 1	88,8	Muestra 2	88,8	Muestra 3	88,9
	dB(A)								
Muestra 1	88,8								
Muestra 2	88,8								
Muestra 3	88,9								

Tiempo de grabación (min)	Suma contribución a la incertidumbre
<b>1</b>	<b>3.33</b>
<b>5</b>	<b>3.26</b>
<b>10</b>	<b>3.25</b>

### Análisis variabilidad máquina: compresor



# 1min

## Incertidumbre asociada a las mediciones de ruido

Resultados

Nivel de exposición al ruido diario ponderado A:	<b>90,4 dB(A)</b>
Incertidumbre expandida:	<b>3,2 dB</b>
Número de valores medidos:	<b>3</b>

Resultados		Símbolos, relaciones	Valor (dB)
Contribución a la incertidumbre	Nivel de ruido	$(C_1 + u_1)^2$	0,48
	Instrumentos de medición	$(u_2)^2$	2,25
	Posición de la medición	$(u_3)^2$	1,00
	Suma	$u^2 (LEX, 8h)$	3,73

Datos de partida

Incertidumbre típica de los instrumentos:	<b>1,5 dB</b> (Sonómetro de clase 2, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002)								
Duración efectiva de la jornada laboral:	<b>420 minutos</b>								
Muestras:	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>dB(A)</td> </tr> <tr> <td>Muestra 1</td> <td>91,3</td> </tr> <tr> <td>Muestra 2</td> <td>91,5</td> </tr> <tr> <td>Muestra 3</td> <td>90,4</td> </tr> </table>		dB(A)	Muestra 1	91,3	Muestra 2	91,5	Muestra 3	90,4
	dB(A)								
Muestra 1	91,3								
Muestra 2	91,5								
Muestra 3	90,4								

# 5 min

## Incertidumbre asociada a las mediciones de ruido

Resultados

Nivel de exposición al ruido diario ponderado A:	<b>90,3 dB(A)</b>
Incertidumbre expandida:	<b>3,0 dB</b>
Número de valores medidos:	<b>3</b>

Resultados		Símbolos, relaciones	Valor (dB)
Contribución a la incertidumbre	Nivel de ruido	$(C_1 + u_1)^2$	0,01
	Instrumentos de medición	$(u_2)^2$	2,25
	Posición de la medición	$(u_3)^2$	1,00
	Suma	$u^2 (LEX, 8h)$	3,26

Datos de partida

Incertidumbre típica de los instrumentos:	<b>1,5 dB</b> (Sonómetro de clase 2, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002)								
Duración efectiva de la jornada laboral:	<b>420 minutos</b>								
Muestras:	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>dB(A)</td> </tr> <tr> <td>Muestra 1</td> <td>90,8</td> </tr> <tr> <td>Muestra 2</td> <td>90,8</td> </tr> <tr> <td>Muestra 3</td> <td>91</td> </tr> </table>		dB(A)	Muestra 1	90,8	Muestra 2	90,8	Muestra 3	91
	dB(A)								
Muestra 1	90,8								
Muestra 2	90,8								
Muestra 3	91								

# 10 min

## Incertidumbre asociada a las mediciones de ruido

Resultados

Nivel de exposición al ruido diario ponderado A:	<b>90,5 dB(A)</b>
Incertidumbre expandida:	<b>3,0 dB</b>
Número de valores medidos:	<b>3</b>

Resultados		Símbolos, relaciones	Valor (dB)
Contribución a la incertidumbre	Nivel de ruido	$(C_1 + u_1)^2$	0,08
	Instrumentos de medición	$(u_2)^2$	2,25
	Posición de la medición	$(u_3)^2$	1,00
	Suma	$u^2 (LEX, 8h)$	3,33

Datos de partida

Incertidumbre típica de los instrumentos:	<b>1,5 dB</b> (Sonómetro de clase 2, según se especifica en la Norma IEC 61672-1:2002)								
Duración efectiva de la jornada laboral:	<b>420 minutos</b>								
Muestras:	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>dB(A)</td> </tr> <tr> <td>Muestra 1</td> <td>91</td> </tr> <tr> <td>Muestra 2</td> <td>90,8</td> </tr> <tr> <td>Muestra 3</td> <td>91,3</td> </tr> </table>		dB(A)	Muestra 1	91	Muestra 2	90,8	Muestra 3	91,3
	dB(A)								
Muestra 1	91								
Muestra 2	90,8								
Muestra 3	91,3								

Tiempo de grabación (min)	Suma contribución a la incertidumbre
1	3.73
5	3.26
10	3.33

Anexo 6: Tipo de sonido de cada máquina

PARKING DE RUIDO	ARRIDA	REGISTRO #	ID CÓDIGO MÁQUINA	NOMBRE EQUIPO / TIPO	CONDICIÓN AMBIENTAL	ESIÓN DBA	31Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1KHz	2KHz	4KHz	8KHz	16KHz	POSICIÓN DE NIVEL DE AGUDEZ	TIPO DE MAYOR FRECUENCIA
1	28	CI-HOR1-28	317FA03	VENTILADOR	ABIERTO	100	95.8	103	103.4	99.2	96.3	95.8	90.3	86.5	90.3	88.7	1	GRAVE
2	27	CI-HOR1-27	317FA01	VENTILADOR	ABIERTO	100	95.2	96.5	100.2	98.2	95.9	97.3	90.6	87.1	83.3	78	8	GRAVE
3	61	CI-MCE1-61	416FA03	VENTILADOR	ABIERTO	99	97.1	102	104.7	98.3	91	90.2	91.2	91.2	88.1	82.4	3	GRAVE
4	77	CI-HOR2-77	328FA04	VENTILADOR	ABIERTO	99	90.8	91.6	101	96.6	98.3	94.5	86.4	79.3	71.6	61.8	30	GRAVE
5	72	CI-HOR2-72	327FA05	VENTILADOR	ABIERTO	98	83.7	89	90.1	90.6	94.5	91.8	91.9	86.7	78.1	77.6	9	GRAVE
6	56	CI-MCE1-56	416DR01	MOTOR	ABIERTO	98	91.1	91	95.2	89.8	94	96.6	79.7	73	65.6	55.3	59	GRAVE
7	42	CI-HOR1-42	317CR01	TRITURADOR	ABIERTO	97	88	91.1	89.3	88.2	86.8	87.4	90.4	90.2	89.9	85.4	2	GRAVE
8	30	CI-HOR1-30	318SC01	GUSANO COLECTOR ENFRIADORA	ABIERTO	96	88.1	84.5	85.7	87.1	96.7	88.6	83.4	74.1	66.2	66.7	37	GRAVE
9	65	CI-HOR2-65	323FA01	VENTILADOR	ABIERTO	96	90.2	88.2	88.8	88	87.2	87.7	90.4	89.2	86.7	81.7	5	GRAVE
10	71	CI-HOR2-71	327CR01	TRITURADOR	ABIERTO	96	86.1	87.5	86.4	85.1	85	87.1	89	90	88.7	81.9	4	AGUDO
11	76	CI-HOR2-76	328FA06	VENTILADOR	ABIERTO	95	91	92.4	101.3	92.2	93.3	91.6	85.1	78.4	71.6	61.5	31	GRAVE
12	26	CI-HOR1-26	316FA02	VENTILADOR	ABIERTO	95	88	90.1	91	92.3	92.7	91.5	88	78.7	71.6	63.4	29	GRAVE
13	24	CI-HOR1-24	316AB01	SOPLADOR	ABIERTO	95	87.2	88.8	87	86.6	86.9	87.2	90.3	85.8	75.9	69.9	15	GRAVE
14	70	CI-HOR2-70	327FA99	VENTILADOR	ABIERTO	94	85	89.9	88.8	90.7	92.6	89	85.5	83	79.9	75.4	12	GRAVE
15	89	CI-ENVA-89	575FA05	VENTILADOR	ABIERTO	94	85.4	90	90.4	97.9	92.8	87.8	82.1	76.2	68	58.4	45	GRAVE
16	73	CI-HOR2-73	327FA98	VENTILADOR	ABIERTO	94	88.9	91.7	87.9	91	91.5	88.7	84.7	81	79	72.6	13	GRAVE
17	45	CI-PTRC-45	405FV01	CRIBA	ABIERTO	93	89.7	87.8	89.5	91.5	84	84.2	87.1	86.3	81.8	70.7	10	GRAVE
18	74	CI-HOR2-74	327FA06	VENTILADOR	ABIERTO	93	90.3	95.7	91.2	92.4	93.1	86.8	82.5	77.1	69.6	58.2	42	GRAVE
19	80	CI-MCAR-80	603DR01	MOTOR	ABIERTO	92	84.8	83.3	96.7	97.8	86.4	84.4	82.4	77.1	76	77.2	16	GRAVE
20	91	CI-SCLK-91	328FA03	VENTILADOR	ABIERTO	91	94.2	85	92.6	89.5	92.3	84.7	76.5	71.1	63.8	53.6	65	GRAVE
21	62	CI-MCE1-62	416FA02	VENTILADOR	ABIERTO	91	96.3	99.6	94.6	93	86	83.1	82.8	81.6	78.5	69.6	17	GRAVE
22	66	CI-HOR2-66	324FA01	VENTILADOR	ABIERTO	90	83.3	87.7	87.2	83.8	85.1	85.5	82.3	82.7	75.6	68.8	18	GRAVE
23	25	CI-HOR1-25	316AB02	SOPLADOR	ABIERTO	90	88	88.9	86.6	87.8	88.2	85.2	83.6	78.2	70.2	68	23	GRAVE
24	75	CI-HOR2-75	327FA97	VENTILADOR	ABIERTO	90	91.4	89.7	89.8	90.3	88.2	82.9	80.6	77.1	70.9	59.8	36	GRAVE

## Anexo 7: Ranking de máquinas con mayor presión sonora

Cuadro 5.3-1 Definición Frecuencias	
Frecuencia	Rango (Hz)
Baja	16 - 250
Media	500 - 1.000
Alta	2.000 - 16.000

Fuente: ESSAM, 2013



RANKING DE RUI	REGISTRO	ID CÓDIGO MAQUIN	NOMBRE EQUIPO / TIP	COND. AMB	PRESIÓN (dBA)	RANKING AGUDEZA	MAYOR FRECUENCIA
1	CI-HOR1-28	317FA03	VENTILADOR	ABIERTO	100	1	GRAVE
2	CI-HOR1-27	317FA01	VENTILADOR	ABIERTO	99.8	8	GRAVE
3	CI-MCE1-61	416FA03	VENTILADOR	ABIERTO	98.8	3	GRAVE
4	CI-HOR2-77	328FA04	VENTILADOR	ABIERTO	98.8	30	GRAVE
5	CI-HOR2-72	327FA05	VENTILADOR	ABIERTO	98	9	GRAVE
6	CI-MCE1-56	416DR01	MOTOR	ABIERTO	97.5	58	GRAVE
7	CI-HOR1-42	317CR01	TRITURADOR	ABIERTO	96.5	2	GRAVE
8	CI-HOR2-65	323FA01	VENTILADOR	ABIERTO	96.8	5	GRAVE
9	CI-HOR2-71	327CR01	TRITURADOR	ABIERTO	96.5	4	AGUDO
10	CI-HOR2-76	328FA06	VENTILADOR	ABIERTO	96.3	31	GRAVE
11	CI-HOR1-26	316FA02	VENTILADOR	ABIERTO	96.2	29	GRAVE
12	CI-HOR1-24	316AB01	SOPLADOR	ABIERTO	94.7	15	GRAVE
13	CI-HOR2-70	327FA99	VENTILADOR	ABIERTO	94.3	12	GRAVE
14	CI-ENVA-89	575FA05	VENTILADOR	ABIERTO	93.8	44	GRAVE
15	CI-HOR2-73	327FA98	VENTILADOR	ABIERTO	93.6	13	GRAVE
16	CI-PTRC-45	405FV01	CRIBA	ABIERTO	93	10	GRAVE
17	CI-HOR2-74	327FA06	VENTILADOR	ABIERTO	92.6	41	GRAVE
18	CI-MCAR-80	603DR01	MOTOR	ABIERTO	92.3	16	GRAVE
19	CI-SCLK-91	329FA03	VENTILADOR	ABIERTO	91.3	64	GRAVE
20	CI-MCE1-62	416FA02	VENTILADOR	ABIERTO	91.1	17	GRAVE
21	CI-HOR2-66	324FA01	VENTILADOR	ABIERTO	90.2	18	GRAVE
22	CI-HOR1-25	316AB02	SOPLADOR	ABIERTO	90.2	23	GRAVE
23	CI-HOR2-75	327FA97	VENTILADOR	ABIERTO	90.2	36	GRAVE
24	CI-HOR1-58	312FA05	VENTILADOR	ABIERTO	89.8	61	GRAVE
25	CI-HOR1-31	313FA01	VENTILADOR	ABIERTO	89.7	47	GRAVE
26	CI-MCE2-55	426LU03	LUBRICADORA	ABIERTO	89.2	57	GRAVE
27	CI-MCE1-57	416MB01	MOLINO DE CEMENTO	ABIERTO	89	56	GRAVE
28	CI-ENVA-23	418FA04	VENTILADOR	ABIERTO	89	65	GRAVE
29	CI-HOR2-67	322FA03	VENTILADOR	ABIERTO	88.7	40	GRAVE
30	CI-MCE1-63	416FA01	VENTILADOR	ABIERTO	88.4	37	GRAVE

**Anexo 8: Simulación de aislamiento**



**Situación actual:**

**Esquema de montaje del equipo para simulación.**

→ Ventilador / Aspirador INCCO 400W

Mangas de revestimiento para ductos	Silenciador rectangular	Ductos entrada y salida
		
<p><b>Materiales:</b> fomix + aluminio</p>	<p><b>Materiales:</b> esponja + caja de cartón + fomix + papel aluminio</p>	<p><b>Materiales:</b> tubo PVC</p>

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
<p><b>Situación actual</b></p>	<p><b>Encerramiento:</b> MDP Formaleta RH + silenciador rectangular + aislamiento de ductos</p>	<p><b>Encerramiento:</b> Poliuretano+ silenciador rectangular + aislamiento de ductos</p>
		
<p><b>Resultado: 96 dB</b></p>	<p><b>Resultado: 84 dB</b></p>	<p><b>Resultado: 83 dB</b></p>

## Anexo 9: Análisis de costos

### Opción 1

Proveedor	País	Descripción de materiales	Cantidad necesaria	Unidades	Precio unitario	Precio total
Verton Industrias	Ecuador	Panel tipo sandwich Poliuretano alta densidad 8mm	180	m <sup>2</sup>	\$ 40.56	\$ 7,300.80
Metalicas Vaca	Ecuador	Estructura metálica + mano de obra 6m *6m *6m				\$ 3,500.00
Mercado Libre	Ecuador	Ventiladores de pared	2		\$ 300.00	\$ 600.00
Aislamientos Acústicos Levante	España	Silenciador rectangular 1.20m*1.20m*2.40m	1		\$ 1,120.00	\$ 1,120.00
Grainger	Mexico	Aislante de tubería 1.21 m * 0.63m	20	m	\$ 93.00	\$ 1,860.00
					Total	\$ 14,380.80

### Opción 2

Proveedor	País	Descripción de materiales	Cantidad necesaria	Unidades	Precio unitario	Precio total
Verton Industrias	Ecuador	Panel tipo sandwich Poliuretano alta densidad 8mm	180	m <sup>2</sup>	\$ 40.56	\$ 7,300.80
Metalicas Vaca	Ecuador	Estructura metálica + mano de obra 6m *6m *6m				\$ 3,500.00
Mercado Libre	Ecuador	Ventiladores de pared	1		\$ 300.00	\$ 300.00
Aislamientos Acústicos Levante	España	Silenciador rectangular 1.20m*1.20m*2.40m	1		\$ 1,120.00	\$ 1,120.00
Grainger	Mexico	Aislante de tubería 1.21 m * 0.63m	0	m	\$ 93.00	\$ -
					Total	\$ 12,220.80