



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO PARA EVALUAR
CUMPLIMIENTO DE VALORES GUÍA DE IFC, UTILIZANDO EL SOFTWARE
SOUNDPLAN, EN LA FASE CONSTRUCTIVA DEL PROYECTO SAN GABRIEL**

Alan Humberto Rodríguez Alas

Asesorado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO PARA EVALUAR
CUMPLIMIENTO DE VALORES GUÍA DE IFC, UTILIZANDO EL SOFTWARE
SOUNDPLAN, EN LA FASE CONSTRUCTIVA DEL PROYECTO SAN GABRIEL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALAN HUMBERTO RODRÍGUEZ ALAS

ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADORA	Inga. María Alejandra Ma Villatoro
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO PARA EVALUAR CUMPLIMIENTO DE VALORES GUÍA DE IFC, UTILIZANDO EL SOFTWARE SOUNDPLAN, EN LA FASE CONSTRUCTIVA DEL PROYECTO SAN GABRIEL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 5 de marzo de 2015.


Alan Humberto Rodríguez Alas

MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA
INGENIERO CIVIL - HIDROGEOLOGO

Guatemala,
22 de octubre de 2015


Ingeniero
Víctor Monzón Valdez.
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Monzón

Por este medio remito la presente para hacer de su conocimiento que he revisado, como asesor, el Informe Final del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) titulado "ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO PARA EVALUAR CUMPLIMIENTO DE VALORES GUÍA DE IFC, UTILIZANDO EL SOFTWARE SOUNDPLAN, EN LA FASE CONSTRUCTIVA DEL PROYECTO SAN GABRIEL.", proyecto que realizó el estudiante universitario ALAN HUMBERTO RODRÍGUEZ ALAS, de la carrera ingeniería Ambiental, carné No. 2010-20799, para lo cual el suscrito aprueba el contenido del mismo, por lo que agradecería realizar los trámites que correspondan.

Sin otro particular quedo de usted.

Atentamente.


Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
Ingeniero Civil
Colegiado 2473





Guatemala, 11 de septiembre de 2015.
Ref.EPS.DOC.615.09.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Rodríguez Serrano:

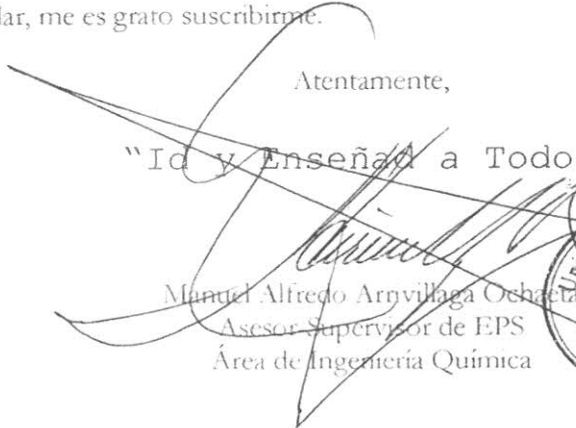
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Alan Humberto Rodríguez Alas** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **201020799**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO PARA EVALUAR CUMPLIMIENTO DE VALORES GUÍA DE IFC, UTILIZANDO EL SOFTWARE SOUNDPLAN, EN LA FASE CONSTRUCTIVA DEL PROYECTO SAN GABRIEL"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Manuel Alfredo Arrivillaga Ochoeta
Asesor Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo
MAAO/ra



Guatemala, 11 de septiembre de 2015.
Ref.EPS.D.459.09.15.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Monzón Valdéz.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO PARA EVALUAR CUMPLIMIENTO DE VALORES GUÍA DE IFC, UTILIZANDO EL SOFTWARE SOUNDPLAN, EN LA FASE CONSTRUCTIVA DEL PROYECTO SAN GABRIEL"** que fue desarrollado por el estudiante universitario Alan Humberto Rodríguez Alas, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

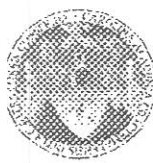
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



Guatemala, 28 de octubre de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.074.2015.

Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **011-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado-

Solicitado por el estudiante universitario: **Alan Humberto Rodríguez Alas.**
Identificado con número de carné: **2010-20799.**
Previo a optar al título de **INGENIERO AMBIENTAL.**


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO PARA EVALUAR CUMPLIMIENTO DE VALORES GUÍA DE IFC, UTILIZANDO EL SOFTWARE SOUNDPLAN, EN LA FASE CONSTRUCTIVA DEL PROYECTO SAN GABRIEL

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Civil: **Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Nicolás Guzmán
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.161.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) del estudiante **ALAN HUMBERTO RODRÍGUEZ ALAS** titulado: **"ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO PARA EVALUAR CUMPLIMIENTO DE VALORES GUÍA DE IFC, UTILIZANDO EL SOFTWARE SOUNDPLAN, EN LA FASE CONSTRUCTIVA DEL PROYECTO SAN GABRIEL"** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez

DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre de 2015

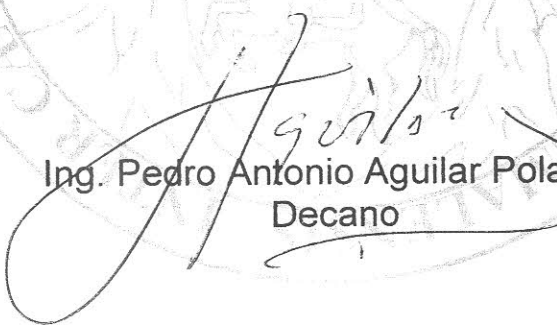
Cc: Archivo
VMMV/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ELABORACIÓN DE MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO PARA EVALUAR CUMPLIMIENTO DE VALORES GUÍA DE IFC, UTILIZANDO EL SOFTWARE SOUNDPLAN, EN LA FASE CONSTRUCTIVA DEL PROYECTO SAN GABRIEL**, presentado por el estudiante universitario: **Alan Humberto Rodríguez Alas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, noviembre de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por permitir los éxitos y fracasos en este camino.
Mis padres	Por su tiempo, dedicación, paciencia y apoyo en todo momento, gracias.
Mis hermano	Por ser un ejemplo tan importante y por su apoyo incondicional.
Mi tía	Anabella Alas, por su apoyo incondicional.
Mi familia	Por estar siempre presentes.
Mis amigos	Por ser parte importante de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS A:

**Equipo de gestión
ambiental**

Por abrir sus puertas y permitirme aprender tanto de cada uno de ustedes.

Facultad de Ingeniería

Por ser el medio que hizo posible este recorrido.

**Docentes de Facultad de
Ingeniería**

Por hacer posible el aprendizaje durante estos años.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Sonido.....	3
2.1.1. Propagación del sonido.....	3
2.1.1.1. Propiedades de propagación del sonido.....	4
2.1.2. Sonoridad.....	7
2.1.2.1. Bandas de octava.....	9
2.1.2.2. Curvas de ponderación.....	11
2.2. Ruido.....	14
2.2.1. Los efectos del ruido.....	14
2.2.2. Instrumentos de medición de ruido.....	14
2.2.2.1. Funcionamiento del sonómetro.....	15
2.2.2.2. Tipos de sonómetros según modo de operación.....	17
2.2.3. Métodos de medición.....	17
2.2.4. Indicadores de ruido.....	18

2.2.5.	Identificación de las fuentes emisoras.....	19
2.2.6.	Valores guía de ruido	20
2.3.	Mapas de ruido	22
2.3.1.	Utilidad de los modelos acústicos	23
2.3.2.	Tipos de modelos	23
2.3.3.	Variables para elaboración de modelos acústicos ..	24
2.3.3.1.	Modelo digital del terreno (MDT)	25
2.3.3.2.	Fuente	26
2.3.3.3.	Factores que influyen en la propagación.....	26
2.3.3.4.	Receptores	28
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
3.1.	Variables	29
3.1.1.	Independientes.....	29
3.1.2.	Dependientes	29
3.2.	Delimitación de campo de estudio	30
3.3.	Recursos humanos disponibles	31
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	32
3.4.1.	Equipo	32
3.4.2.	Equipo de protección personal	32
3.4.3.	Software	32
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	33
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	34
3.7.	Plan de análisis de los resultados	36
3.7.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	36
3.7.2.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	37

4.	RESULTADOS	39
4.1.	Comunidades en el área de influencia	39
4.2.	Caracterización del área de estudio	40
4.3.	Mapas estratégicos de ruido.....	43
4.3.1.	Escenario crítico	44
4.3.2.	Escenario real.....	44
4.3.3.	Escenario mínimo	45
4.3.4.	Medios de comprobación.....	46
4.3.4.1.	Comprobación por comparación de mapas.....	46
4.3.4.2.	Comprobación por punto de control.....	47
4.4.	Modelajes y propuesta de medidas de mitigación	49
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	51
5.1.	Comunidades en el área de influencia	51
5.2.	Caracterización del área de estudio	52
5.3.	Mapas estratégicos de ruido.....	53
5.4.	Modelajes y propuesta de medidas de mitigación	57
6.	LOGROS OBTENIDOS	59
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
	ANEXO	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Representación de la propagación del sonido	6
2.	Curvas de Fletcher y Munson	8
3.	Composición de una onda.....	9
4.	Bandas de octava frecuencia lineal.....	10
5.	Curvas de ponderación	13
6.	Funcionamiento general del sonómetro	16
7.	Ubicación del proyecto	31
8.	Área de influencia	40
9.	Relieve área de estudio.....	41
10.	Focos emisores en planta San Gabriel	42
11.	Foco emisor en trituradora	42
12.	Escenario crítico.....	44
13.	Escenario real	45
14.	Escenario mínimo	45
15.	Comprobación por foco promedio	47
16.	Comprobación por punto de control	48

TABLAS

I.	Frecuencias de octavos y tercios de banda	11
II.	Tiempos de respuesta del sonómetro	16
III.	Valores guía para ruido urbano en ambientes específicos.....	21
IV.	Tabulación de campo.....	35

V.	Formato para procesamiento de datos	35
VI.	Promedio de mediciones	36
VII.	Hoja de cálculo Leq	37
VIII.	Resumen de valores generados por foco	43
IX.	Resumen de cumplimiento valor guía IFC	43
X.	Resumen de comprobación	46
XI.	Resultados de punto de control	48
XII.	Resumen de modelajes y medidas de mitigación	49

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dB	Decibel
dB-A	Decibel con filtro A
DMS	Detection Management Software
EPA	Environmental Protection Agency
Hz	Herzio
Leq	Nivel de presión sonora equivalente
Lmáx	Nivel de presión sonora máximo
Lmin	Nivel de presión sonora mínimo
Lpeak	Nivel de presión sonora pico
MDT	Modelo digital del terreno
Pa	Pascales
SG	San Gabriel

GLOSARIO

Decibelio	Es la unidad utilizada para medir el nivel de presión sonora, consiste en expresar la relación entre dos potencias eléctricas o acústicas, la magnitud es igual a veinte veces el logaritmo decimal de su relación numérica. El nivel óptimo para el oído humano se encuentra entre 15 y 30 decibeles.
Emisión de ruido	Se refiere a las características sonoras que presenta una fuente determinada, independientemente del entorno y tiempo de emisión.
Escenario crítico	Se refiere a un escenario generado a partir de los valores máximos de presión sonora medidos durante un período determinado.
Escenario representativo	Se refiere al escenario construido a partir de los valores equivalentes de sonido generados por las fuentes dentro del área de estudio, este representa con mayor precisión las condiciones de ruido a las que estaba expuesta el área en el período de mediciones.

Frecuencia	Se refiere al número de ciclos que completa una onda en un segundo, la unidad de medida es el Herzio (Hz). “El oído capta frecuencias entre 20 y 20 000 Hz. Dentro de esta escala, se entienden como sonidos graves los que poseen una frecuencia inferior a los 250 Hz; entre 500 y 1 000 Hz los sonidos son medianos y, más allá de 1 000 Hz, los sonidos son agudos.
Impacto ambiental	Se define como cualquier alteración positiva o negativa sobre el medio ya sea de origen antrópico o natural.
Inmisión de ruido	Se refiere al impacto por ruido que recibe un receptor determinado por influencia de una o varias fuentes generadoras, es decir que la inmisión se presenta como función del entorno, características de las fuentes y tiempo de emisión.
IFC	International Finance Corporation.
Nivel de presión sonora	Debido a que el rango de presión sonora que puede detectar el hombre es muy amplio, se adopta una escala logarítmica cuya unidad es el decibel y se obtiene multiplicando por veinte el logaritmo base diez de la relación entre la presión sonora medida y la presión de referencia ($P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa).

OMS	Organización Mundial de la Salud.
Presión sonora	Al referirse a una presión es conocido que la unidad es compuesta por la fuerza ejercida sobre una unidad de área, en este caso es la fuerza ejercida por las partículas de aire al vibrar. “El valor mínimo de presión sonora asimilable por el sistema auditivo humano es de $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa, que determina el umbral de audición. Más allá de los 20 Pa se provoca una sensación de dolor (umbral del dolor).
Ruido ambiente	Es el ruido total en un área estudiada.
Ruido de fondo	Es el nivel de ruido ambiente sobre el que se deben medir las fuentes de ruido.
Sonido	Es una percepción sensorial que puede ser agradable o no, pero sin llegar a ser indeseable. Sin embargo, una definición más técnica indica que es una alteración de la presión atmosférica en un medio gaseoso, líquido o sólido ocasionada por el desplazamiento de una onda sonora.

RESUMEN

El siguiente informe final sobre elaboración de mapas estratégicos de ruido inicia con una breve referencia de los antecedentes nacionales, trabajos en esta rama en Sudamérica así como normativa de la Unión Europea para gestión y evaluación del ruido ambiental. Posteriormente se desarrolla el marco teórico que proporciona el fundamento a todo el proyecto, al utilizar un enfoque didáctico y gráfico se describen los temas esenciales que llevan no solo a la fundamentación del proyecto si no a los resultados obtenidos y el análisis de los mismos.

En la siguiente sección se describen las diversas variables dependientes e independientes que influyeron en la ejecución del proyecto, así como la delimitación del campo de estudio, es decir, el área industrial de la finca San Gabriel Buena Vista ubicada en San Juan Sacatepéquez. Luego, en la misma sección, se describen los recursos humanos y equipos utilizados para la ejecución del proyecto, donde se menciona desde los profesionales y áreas de la empresa que dieron apoyo al proyecto pasando por los software y el equipo de protección personal que se utilizó dentro del área industrial. Posteriormente, se desarrolla la técnica de ejecución del proyecto desde la forma de recolección de datos, es decir las mediciones de niveles de presión sonora en el área industrial, hasta el procesamiento y análisis de los datos obtenidos para la generación de los mapas estratégicos de ruido.

En la sección resultados se muestra una versión simple de los planos que se presentan con mayor detalle en la sección anexos, donde se representó con código de colores la dispersión de los niveles de presión sonora generados por

la actividad constructiva en el área industrial, el análisis de dichos planos se llevó a cabo de forma extensa en la sección 5, considerando los valores guía IFC como límites máximos.

A partir de los escenarios generados para los mapas estratégicos de ruido se menciona el principal logro obtenido acompañado de los logros secundarios, que fortalecen la gestión ambiental del proyecto dentro y fuera de la finca.

Finalmente se generan las conclusiones del trabajo ejecutado y una serie de recomendaciones que abarcan consideraciones clave para la construcción de los mapas estratégicos de ruido, así como recomendaciones al proyecto para fortalecer el carácter preventivo de la herramienta generada.

OBJETIVOS

General

Elaborar mapas estratégicos de ruido para evaluar cumplimiento de valores guía de IFC, utilizando el software SoundPLAN, en la fase constructiva del Proyecto San Gabriel.

Específicos

1. Identificar las comunidades cercanas que podrían ser afectadas por el ruido generado.
2. Caracterizar el área de estudio así como las fuentes y receptores de ruido para generar datos de entrada al software.
3. Construir y comprobar un mapa estratégico de ruido crítico utilizando el software SoundPLAN para la fase de construcción del Proyecto San Gabriel.
4. Interpretar los modelajes y en el caso de ser necesario proponer medidas de mitigación viables para reducir los niveles que excedan la normativa establecida.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y económico generan una mayor demanda de bienes y servicios que garanticen condiciones dignas de vida a la población, dentro de lo cual se considera fundamental los materiales de construcción de buena calidad que utilizados apropiadamente promueven el bienestar físico, económico y psicológico de la población que los utilice, permitiéndoles un desarrollo integral. Sin embargo, los proyectos para la obtención de la materia prima generan impactos al medio, positivos y negativos.

Por lo tanto, dichos proyectos deben considerar la gestión ambiental desde la etapa de planificación con la elaboración del instrumento ambiental, etapa de construcción, operación y cierre. La función es la de minimizar los impactos negativos para potenciar los impactos positivos sobre el medio socioeconómico sin comprometer al medio natural.

Al considerar la etapa de construcción, el impacto generado por el ruido podría considerarse como temporal y en ocasiones incluso podría ignorarse el manejo que se le debe dar, sin embargo, para los proyectos de mayor nivel cuyas fases de construcción y área cubierta suelen ser extensas, no queda duda de la necesidad de llevar un manejo adecuado de dicho aspecto para minimizar el impacto generado en las cercanías del proyecto. Dicho manejo debe fundamentarse en datos confiables, puntuales y procesados de forma apropiada que sustenten la toma de decisiones en cuanto a la mitigación del impacto.

1. ANTECEDENTES

La legislación guatemalteca en cuanto a ruido es poco específica, sin embargo, en febrero 2015, entró en vigencia el Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, Acuerdo Gubernativo 229-2014. En cuyo título IV, capítulo I, se especifican los niveles de presión sonora a los que se permite la permanencia de los trabajadores en función de las horas de exposición. Sin embargo, en cuanto a ruido ambiental solo existen algunos reglamentos que cubren a algunos municipios específicos. Por lo tanto en los proyectos en los que, como responsabilidad social, se busca reducir los impactos negativos al medio, suelen utilizarse los valores guía preparados por la Organización Mundial de la Salud entre 1995 - 1998, en el documento *Guías para el ruido urbano*.

En 1996, el ingeniero Oscar Cruz, en su trabajo para optar al grado de maestro en ingeniería sanitaria, presentó el trabajo titulado *Evaluación de la contaminación ambiental por ruido y aire de la avenida Bolívar, ciudad de Guatemala*. En dicho trabajo llevó a cabo una evaluación rápida de las fuentes de contaminación del aire, llevando a cabo monitoreos en diferentes calles y avenidas para concluir en las calles con mayor contaminación acústica, sin embargo, reconoce que el método genera ciertas deficiencias por no considerar las diversas variables que afectan los resultados.

De la misma forma se han llevado a cabo diversos estudios que evalúan ruido en diferentes localidades, principalmente de la capital, para los cuales se presenta el mismo inconveniente ya que únicamente se genera una tendencia de las localidades en las que se genera mayor ruido, sin considerar la forma en que este se propaga y hasta qué punto.

Actualmente en Guatemala no se ha dado a conocer un proyecto para construcción de mapas de ruido. Aunque existen iniciativas en la municipalidad de la ciudad capital, aún no se ha llevado a cabo. Sin embargo, a nivel global las aplicaciones de los modelajes acústicos se han llevado más que todo al tráfico en ciudades, trenes y aeropuertos. Dentro de lo que cabe notar que la Unión Europea se destaca en la elaboración de dichos modelajes ya que cuenta, desde el 2002, con la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, en la cual se establecen, entre otros, los parámetros generales para la elaboración de modelajes acústicos y su representación en mapas.

Los modelajes acústicos se pueden construir con diversas metodologías, dependiendo del software utilizado, los más utilizados en Europa, Colombia, Uruguay y Argentina son SoundPLAN y CadnaA.

Dentro de los países sudamericanos en los que se efectúan estudios de modelajes acústicos se destaca Argentina, ya que los ingenieros Federico Miyaras y Ernesto Accolti han publicado diversos estudios sobre mapas de ruido, principalmente como herramienta para control del ruido urbano. Dentro de lo que cabe destacar que en una ponencia 2011, presentaron como conclusión que “Los mapas de ruido por bandas de octava resultan más adecuados para la visualización en comparación con los de tercios de octava ya que permiten una primera evaluación más rápida que aquellos que tienen de mayor grado de detalle”¹.

¹ ACCOLTI, Ernesto; MIYARAS, Federico; MARENGO, Fernando; MIECHI, Pablo; PASCH, Vivian; MIGNINI, Ezequiel; YANIETELLI, Marta; CABANELLAS, Susana. *Los Mapas espectrales geo-referenciados como herramientas para el control y la gestión del ruido urbano*. Universidad Nacional de Rosario. 7 p.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sonido

Generalizando el concepto se puede decir que el sonido es una percepción sensorial que puede ser agradable o no. Sin embargo, una definición más técnica indica que es una alteración de la presión atmosférica en un medio gaseoso, líquido o sólido, ocasionada por el desplazamiento de una onda sonora. El sonido se comportará de diferentes maneras dependiendo de la fuente generadora, presión sonora, frecuencia y longitud de onda, asimismo, depende de las características del medio y obstáculos, dichas variables son las que definen la forma en que se propagará el sonido en una determinada situación.

2.1.1. Propagación del sonido

Al considerar una fuente emisora en un área sin obstáculos se tendrá una propagación esférica desde el punto emisor cuya presión sonora disminuirá mientras se aleja del origen. Dicha pérdida de presión se debe a diferentes características; de la onda según la frecuencia; atmosféricas según la temperatura, presión y humedad del aire; finalmente del entorno físico ya sea por obstáculos naturales debido a la topografía o por construcciones cuyos materiales serán variables importantes para determinar el comportamiento que tendrán las ondas sonoras al chocar con los mismos.

2.1.1.1. Propiedades de propagación del sonido

- Reflexión

Esta es una propiedad característica de las ondas sonoras al chocar con un obstáculo y por consiguiente cambiar de dirección sin modificar su frecuencia, velocidad de propagación ni el ángulo de reflexión con la normal respecto al de la incidencia. Sin embargo, la reflexión de una onda no es total, ya que una porción de la misma es absorbida por el medio en mayor o menor proporción en función del ángulo de incidencia, coeficiente de absorción de la superficie, longitud de onda, propiedades físicas de la superficie, densidad y viscosidad del medio.

- Refracción

Esta se identifica cuando una onda atraviesa una superficie para propagarse por un medio diferente del que fue emitida, la dirección de la onda cambia al tener propiedades diferentes que el medio, lo que ocasiona un cambio en su ángulo respecto al ángulo de incidencia respecto a la normal, por lo tanto en este caso su velocidad variará en función de la densidad, a mayor densidad del medio mayor velocidad.

- Difracción

Esta es una propiedad característica de todos los tipos de ondas, se le puede describir como “fenómeno mediante el cual la onda sonora es capaz de propagarse por aberturas o rodear obstáculos”². Este depende principalmente de la longitud de onda y altura del obstáculo. Es decir que mientras la longitud de onda sea mayor a la altura del obstáculo no existirán zonas de sombra o a las que no llegue la onda, sin embargo, al reducir la longitud de onda y por lo tanto aumentar la frecuencia con

² PAREJO, Maricruz. *Curso técnico en contaminación acústica*. p. 1-12.

sonidos más agudos se crean las condiciones para la aparición de zonas de sombra o zonas a las que no llegan las ondas sonoras.

- Reverberación

Este es una variante de la reflexión, ya que se identifica al existir una prolongación de un sonido luego de que su fuente emisora desapareció. Su definición se lleva a la práctica por medio del período de reverberación que es la medida del tiempo necesario para que el nivel de presión sonora de la fuente disminuya en 60 dB. El concepto suele confundirse con el eco, sin embargo, el eco se ocasiona por la reflexión de una onda en una superficie en espacios abiertos, mientras que la reverberación será más frecuente en espacios cerrados.

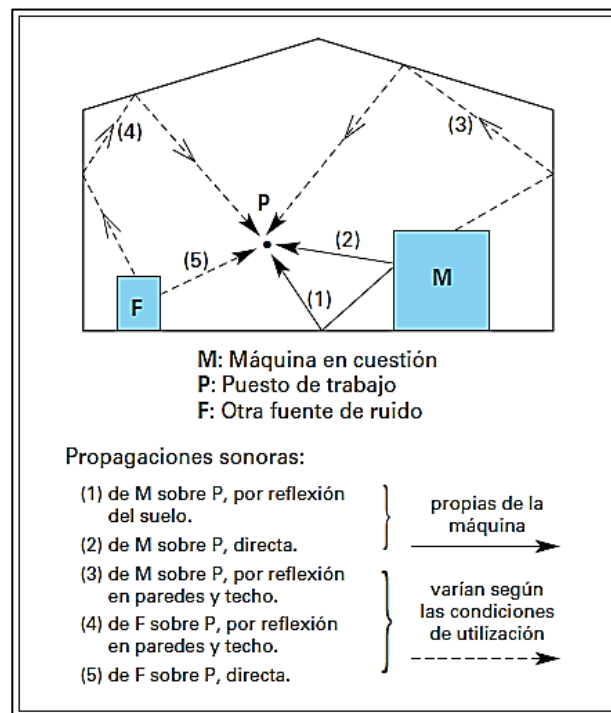
- Absorción

Esta se da cuando una onda choca con una superficie que absorbe la energía sonora de la onda dependiendo de su coeficiente de absorción que oscila entre cero para superficies que no absorben absolutamente nada de energía es decir que reflejan todas las ondas. Mientras que el mayor valor para dicho coeficiente es uno y se refiere a una superficie que absorbe toda la energía de las ondas que inciden en ella. El coeficiente de absorción depende principalmente de la frecuencia de la onda, ya que hay materiales que son más eficientes para determinado rango de frecuencias, asimismo, las características del material como su ubicación y espesor serán determinantes para definir si la absorción será mayor o menor.

En la figura 1, se muestra una representación de las propiedades esenciales de la propagación del ruido, que tienen mayor relación con el trabajo a realizar. En este caso se ilustra un la sección transversal de un escenario

industrial cerrado, donde una máquina (M) y una fuente (F) emiten ruido hacia el punto receptor (P). En línea continua se indica la dirección de las ondas sonoras que dependen únicamente de las características de la máquina, mientras que en línea punteada se indica el posible comportamiento de las ondas sonoras por la reflexión y absorción que pueden tener las paredes y techo del recinto, como es de notar si las paredes estuviesen cubiertas por un material absorbente la energía sonora que recibiría el receptor disminuye en gran proporción.

Figura 1. **Representación de la propagación del sonido**



Fuente: AYO, Felicísimo. *Ruido emitido por las máquinas*. p. 5.

2.1.2. Sonoridad

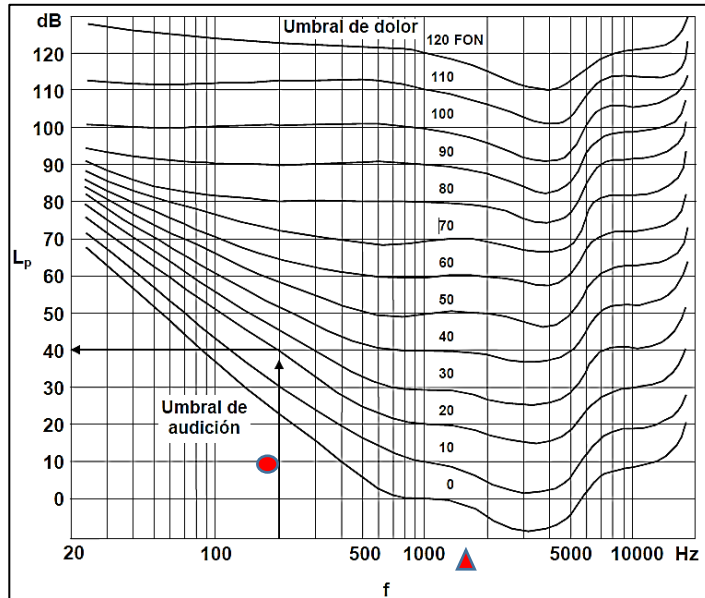
La forma en que se percibe el sonido depende de varios factores como la longitud de onda y su amplitud, frecuencia y nivel de presión sonora. Por ejemplo si un sonido es grave se puede decir que su frecuencia es baja, mientras que los sonidos agudos son de frecuencias mayores, de la misma forma la percepción que se tiene de los diferentes sonidos con misma presión sonora pero diferente frecuencia cambiará, no será la misma ya que “un sonido cuyo nivel de presión sonora es de 80 dB, por ejemplo, sonará bastante débil si su frecuencia es de 30 Hz y en cambio sumamente intenso si es de 3 000 Hz.”³

Enfocados en la importancia de determinar las frecuencias y niveles de presión sonora que ocasionan la sensación de sonoridad para los humanos, los investigadores Fletcher y Munson (1933) llevaron a cabo experimentos y pruebas con diversos grupos de personas, para generar un conjunto de curvas que presentan el mismo nivel de sonoridad, figura 2. Dichas curvas son el fundamento de la sonoridad ya que permiten “definir el nivel de sonoridad, NS de un tono como el nivel de presión sonora de un tono de 1 kHz igualmente sonoro que el primero.”⁴

³ MIYARAS, Federico. *Control de ruido*. p. 1-30.

⁴ *Ibíd.*

Figura 2. **Curvas de Fletcher y Munson**



Fuente: MIYARAS, Federico. *Control de ruido*. p. 1-30.

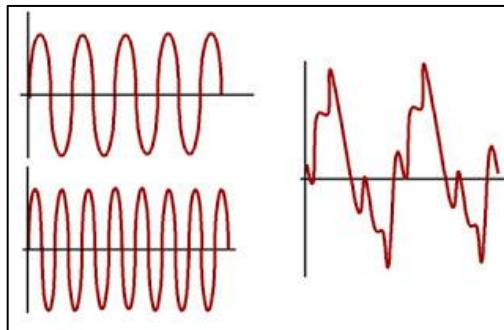
“La intensidad o sonoridad de un sonido percibida subjetivamente por un individuo se denomina “fon”. Las curvas que unen puntos de igual sonoridad se denominan isofónicas.”⁵ Es decir, que si se observa la figura 2, con un círculo se muestra el punto correspondiente a 40 dB y 200 Hz, al seguir el recorrido de la iso línea y llegar a la frecuencia 1 kHz (que es la frecuencia a la que se toma la lectura de sonoridad), indicada por un triángulo se toma la lectura de decibeles en dicho punto que tendrá la misma magnitud que la sonoridad pero su dimensional es el fon, por lo tanto un sonido cuyo nivel de presión sonora es de 40 dB y su frecuencia es 200 Hz tendrá una sonoridad de 20 fon.

⁵ VIRO, G.; BONELLO, O.; GAVINOWICH, D.; RUFFA, F. *Protocolo de mediciones para trazado de mapas de ruido normalizados*. p. 10.

2.1.2.1. Bandas de octava

Cuando el oído humano percibe un sonido o ruido, no está recibiendo una única onda sonora sino la suma de un conjunto de ondas tal como se muestra en la figura 3. Las gráficas del lado izquierdo representan el comportamiento de dos ondas a dos frecuencias diferentes que en conjunto forman la onda sonora del lado derecho. Es decir que los componentes de una onda sonora suelen ser menos complejos que la misma al analizarlos en un rango específico de frecuencia, siendo posible la caracterización independiente de cada onda según por rangos de frecuencia.

Figura 3. Composición de una onda



Fuente: *Composición de ondas*. <http://www.master-medioambiente.com/2013/03/acustica-amplitud-y-frecuencia.html>. Consulta: 30 de marzo de 2013.

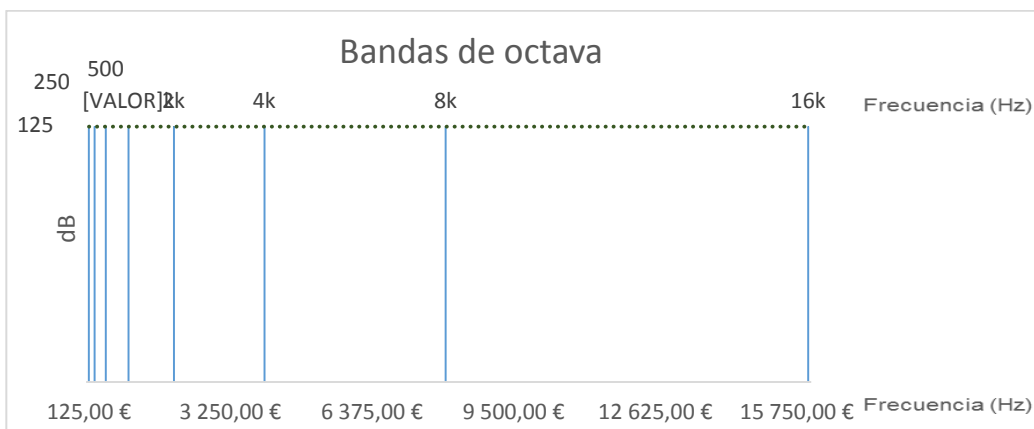
Los análisis acústicos involucran la separación de las ondas por rangos de frecuencia, dicho procedimiento se lleva a cabo en la región del espectro audible, es decir entre 20 y 20 000 Hz.

Las bandas de octava se definen como el valor central (calculado como la media geométrica de los límites) de dos frecuencias que conservan una relación

de dos a uno entre el límite superior y el inferior, es decir, que la banda de 1 000 Hz tiene como límites las frecuencias 707 Hz y 1 414 Hz. Asimismo, la frecuencia central de cada banda conserva la misma relación de dos a uno.

Para la obtención de las bandas de octava se divide en diez partes el espectro audible quedando definidas como el valor central de cada división, es decir las frecuencias: 31,5, 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000, 8 000, 16 000 Hz. Destacando que cada valor conserva una relación de 2 a 1 con el valor anterior. Tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4. **Bandas de octava frecuencia lineal**



Fuente: elaboración propia.

El estudio de una onda por bandas de octava proporciona mayor detalle ya que se tiene una perspectiva más completa de su composición, sin embargo, se puede tener mayor conocimiento de la composición de una onda al dividir las bandas de octava en tres partes, lo cual genera tercios de octava, con valores de frecuencia central que conservan una relación de aproximadamente 25 % mayor que el valor anterior, es decir que los tercios de octava son

representados con las siguientes frecuencias centrales: 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 800, 1 000, 1 250, 1 600, 2 000, 2 500, 3 150, 4 000, 5 000, 6 300, 8 000, 10 000, 12 500, 16 000, 20 000.

En la tabla I se muestran con una “x” las frecuencias centrales correspondientes las bandas de octava, representadas con un número 1 y a los tercios de octavas representadas con un “1/3”.

Tabla I. **Frecuencias de octavos y tercios de banda**

f (Hz)	1	1/3	f (Hz)	1	1/3	f (Hz)	1	1/3
20		x	250	x	x	3 150		x
25		x	315		x	4 000	x	x
31.5	x	x	400		x	5 000		x
40		x	500	x	x	6 300		x
50		x	630		x	8 000	x	x
63	x	x	800		x	10 000		x
80		x	1 000	x	x	12 500		x
100		x	1 250		x	16 000	x	x
125	x	x	1 600		x	20 000		x
160		x	2 000	x	x			
200		x	2 500		x			

Fuente: elaboración propia.

2.1.2.2. **Curvas de ponderación**

Para el oído humano los sonidos graves, es decir de baja frecuencia resultan menos molestos que los de frecuencia alta (sonidos agudos), ya que las frecuencias bajas son filtradas de forma natural. Por lo tanto para la medición de sonido se han establecido ciertos parámetros de corrección para que la obtención de los datos de campo pueda ser comparada con la sensibilidad que tiene el oído humano. Dicha corrección, se lleva a cabo por

medio de diferentes curvas de ponderación que establecen los parámetros de los filtros.

Actualmente existen filtros A, B, C y D. El más utilizado es el A, sin embargo, las características de los otros filtros son utilizados en aplicaciones específicas pero de menor escala que la mencionada. La forma más usual para representar una medición de nivel de presión sonora que se lleva a cabo utilizando un filtro específico, es la siguiente: colocar la unidad de medición, es decir decibelios, acompañado de un paréntesis conteniendo la letra mayúscula de la ponderación utilizada, en ocasiones suele ponerse un guion en lugar del paréntesis.

- Ponderación A

Filtro utilizado con mayor amplitud en la actualidad ya que su curva de ponderación corrige la medición de nivel de presión sonora con frecuencia inferior a los 1 000 Hz, de forma muy similar a la que el oído filtra los sonidos. Por lo tanto su aplicación es indispensable en estudios de seguridad ocupacional, daños auditivos y aplicaciones urbanas en general. Razón por la cual es la ponderación por referencia utilizada en las normativas nacionales e internacionales.

- Ponderación B

Su objetivo es corregir las mediciones para representar los niveles sonoros que procesa el oído humano ante intensidades medias, sin embargo, su uso actual es prácticamente nulo.

- Ponderación C

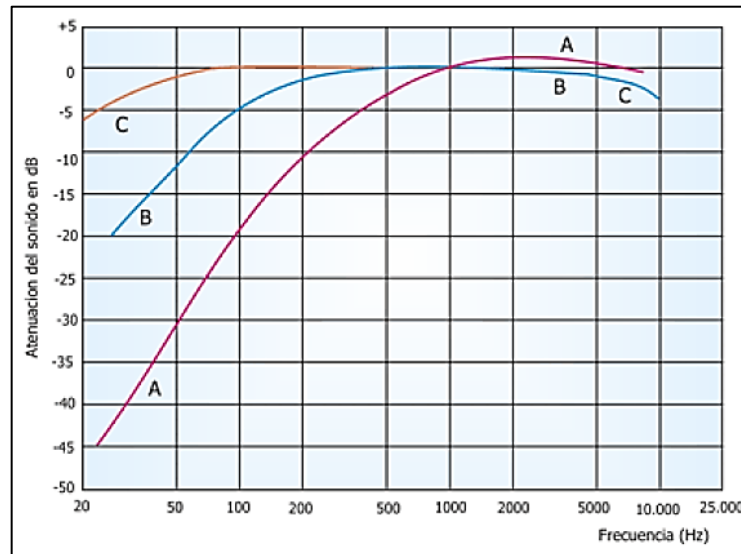
Su objetivo principal es el de estudiar sonidos de gran intensidad. Como se muestra en la figura 5 está basada en la curva que presenta la menor

corrección para frecuencias inferiores a los 500 Hz, por lo tanto al efectuar mediciones con ponderación C, se tendrán valores más altos que al utilizar los otros filtros. En la actualidad se utiliza para evaluar ruidos de baja frecuencia principalmente.

- Ponderación D

Esta se utiliza para analizar escenarios de ruido provocado por aviones, por lo que su uso es muy específico y poco utilizado en la actualidad.

Figura 5. **Curvas de ponderación**



Fuente: PAREJO, Maricruz. *Curso técnico contaminación acústica*. p. 1-24.

Como se puede observar en la figura 5, la curva de ponderación A, es la que presenta una mayor corrección a los niveles de presión con frecuencias inferiores a los 1 000 Hz, por lo tanto es esencial conocer la ponderación con la que se efectúan mediciones, ya que las leyes y normativas internacionales se

basan en dicha ponderación por su proximidad al comportamiento del oído humano.

2.2. Ruido

Hay varias definiciones de ruido, sin embargo, la OMS le define como todo sonido indeseable que moleste o perjudique el bienestar fisiológico y psicológico de las personas.

2.2.1. Los efectos del ruido

El efecto más conocido es la pérdida de la capacidad auditiva, el cual puede ser gradual con el paso de los años o también puede ocurrir de forma puntual por la exposición a un nivel muy alto. Estos efectos suelen derivar a la interferencia en la comunicación de las personas o bien en la percepción de las señales de alarma lo cual podría poner el riesgo la vida de varias personas.

2.2.2. Instrumentos de medición de ruido

- **Sonómetro**
Instrumento electrónico que contiene un micrófono, amplificador, filtros, circuitos y un medidor en decibelios (dB). Estos se suelen clasificar por precisión, desde el más preciso (tipo 0) hasta el menos preciso (tipo 3). Cabe destacar que el tipo 3 no está recomendado para uso industrial. Mientras que el tipo 1 y 2 son los más utilizados en la industria y el más preciso, tipo 0, se utiliza en laboratorios de acústica.

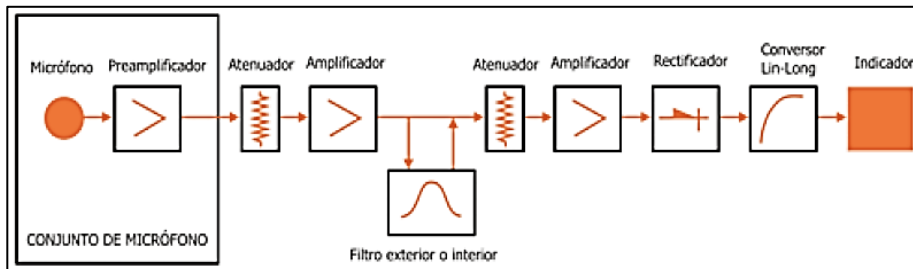
- **Dosímetro**
Se considera como una variante del sonómetro que puede llevarse en el bolsillo de la camisa o sujeto a la ropa del trabajador. Sus datos reflejan la exposición a la que estuvo sometido un individuo durante una jornada completa de trabajo o bien en períodos establecidos previamente por la unidad de seguridad industrial para elaborar la medición.

2.2.2.1. Funcionamiento del sonómetro

- El micrófono capta la variación de presión sonora ocasionada por el desplazamiento de una onda sonora y efectúa una conversión a señal eléctrica.
- El preamplificador recibe la señal y la envía a los filtros (A, B, C o D), donde se efectúa la corrección según el tipo de filtro.
- La señal pasa por un nuevo amplificador que la envía a un rectificador que la transforma en continua.
- Finalmente se mide dicha señal continua y se transforma a decibeles según el indicador del dispositivo.

En la figura 6 se muestra un esquema del funcionamiento general de un sonómetro, dentro de lo que cabe mencionar que los atenuadores son equivalentes a los filtros que corrigen la medición, según la curva de ponderación elegida para la medición. Aunque existen varios tipos de sonómetros este es el procedimiento generalizado según las piezas que tienen los mismos, la variante se genera por la precisión que tiene cada pieza iniciando desde el micrófono hasta el conversor que envía la señal para ser mostrada al usuario.

Figura 6. **Funcionamiento general del sonómetro**



Fuente: PAREJO, Maricruz. *Curso técnico contaminación acústica*. p. 2-19.

Todas las piezas y operaciones internas que se llevan a cabo en el sonómetro son de importancia para que el resultado sea el apropiado, sin embargo, una pieza que determina una característica variable de la medición es el rectificador, ya que es la pieza a cargo de definir el intervalo dentro del cual se obtendrá el promedio de la medición. En la tabla II se muestran los tipos de intervalos y su tiempo de respuesta así como las características generales para cada uno.

Tabla II. **Tiempos de respuesta del sonómetro**

Tipo de intervalo	Tiempo de respuesta (s)	Características
Lento	1	Genera un detalle básico. Adecuado para monitoreo de control ambiental.
Rápido	0,125	Generando un detalle similar al del oído humano.
Impulso	0,035	Utilizado para estudiar la influencia de intensidades de corta duración.
Pico	0,00005	Rango más pequeño que presenta mayor detalle sobre la presión máxima alcanzada, ya sea por el funcionamiento de un equipo o una explosión controlada por ejemplo.

Fuente: RIPOLL, Sara. *Evolución de la contaminación acústica provocada por el tráfico de la N-332 en Altea*. p. 36.

2.2.2.2. Tipos de sonómetros según modo de operación

- **Sonómetro básico**
Este tipo de sonómetro genera la medida exacta del nivel de presión sonora cada cierto tiempo. El rectificador únicamente posee los intervalos rápido y lento, aunque en algunos ya se incluye impulso.
- **Sonómetro integrador**
Como su nombre lo indica, integra las variaciones de presión sonora para presentar un valor promedio en un rango determinado, por lo general 1 minuto.
- **Sonómetro estadístico**
Este tipo de sonómetro genera mayor detalle de las mediciones haciendo posible los estudios específicos de las fuentes emisoras, ya que genera percentiles estadísticos de tiempo en función de los valores excedidos por los niveles de presión sonora medidos.

2.2.3. Métodos de medición

Se mencionan los dos métodos esenciales.

- **Control**
Consiste en la medición con sonómetro en un número limitado de puntos de monitoreo, no se realiza un análisis detallado de la acústica, sin embargo, si se consideran los factores temporales, como la periodicidad y tiempo de exposición al ruido.

- Ingeniería
Método más específico y preciso para la elaboración de estudios dentro de un área determinada, se aumenta el número de puntos de medición en función de las fuentes y frecuencias. Es fundamental registrar factores temporales. Es muy utilizado como punto de partida para programas de seguridad industrial, mientras que el método control se lleva a cabo luego de montado el programa.

2.2.4. Indicadores de ruido

Las mediciones de ruido suelen variar dependiendo del carácter fijo o intermitente del emisor así como por el entorno, por lo tanto se tienen diferentes indicadores en función del tiempo para poder obtener datos más homogéneos en las mediciones que incluyan todas las fuentes emisoras.

- Generales
 - L_{max} y L_{min} : se refiere al nivel máximo y mínimo, respectivamente, de presión sonora alcanzado en un determinado período de tiempo.
 - L_{peak} : se refiere al valor máximo alcanzado durante un período de medición sin tomar en cuenta ningún filtro.
 - L_{eq} : indica el nivel de presión acústica equivalente durante un período de tiempo.
 - SEL: por sus siglas en inglés (Sound Exposure Level) se refiere al nivel de exposición al sonido en un intervalo de 1 segundo.
- Tiempo de medición
 - L_d : presión sonora media de las 12 horas diurnas (7:00- 19:00)

- L_e : presión sonora media de las 4 horas vespertinas (19:00-23:00)
- L_n : presión sonora media de las 8 horas nocturnas (23:00-7:00)
- L_{24h} : presión sonora media de un día entero (24 h)
- Estadísticos
 - L_n : nivel de presión media sobrepasado el n % del tiempo de medición, los percentiles más utilizados son n= 5, 10, 50 y 90.

2.2.5. Identificación de las fuentes emisoras

En un ambiente industrial suele haber muchas fuentes emisoras de ruido en funcionamiento, por lo que se dificulta la identificación del ruido generado por cada unidad. Utilizando un sonómetro estándar se obtendría un resultado de presión sonora de todas las fuentes cercanas. Para evitar un resultado muy general del área se debe emplear un procedimiento sistemático para la identificación de las fuentes:

- Medir el espectro de frecuencias y representar los datos gráficamente.
- Medir el nivel sonoro, en dBA, en función del tiempo.
- Comparar los datos de frecuencias con equipos o líneas de producción similares.
- Aislar componentes con controles temporales o conectar y desconectar un equipo tras otro, siempre que sea posible.⁶

⁶ OIT. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. p. 47.

2.2.6. Valores guía de ruido

Las diferentes variables que se pueden generar al efectuar mediciones surgen por la necesidad de caracterizar las fuentes de ruido y garantizar que se resguardará la salud humana. Es por ello que los países que ratificaron el convenio C148 sobre el medio ambiente de trabajo (contaminación del aire, ruido y vibraciones), 1977 Organización Internacional del Trabajo. Están comprometidos a la elaboración de leyes y reglamentos nacionales para establecer los valores límites permitidos por tipo de trabajo y tiempo de exposición al ruido.

Actualmente en Guatemala no se encuentra en vigencia ningún normativo específico que regule los límites máximos permisibles y tiempo de exposición enfocado en la salud ocupacional, sin embargo, a inicios de febrero 2015, entraron en vigencia el Acuerdo Gubernativo 229-2014, Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, en el cual se establecen límites de presión sonora en función del tiempo de exposición. Dentro de lo cual es obvio que a mayor nivel de presión sonora menor es el tiempo permitido de exposición.

Paralelamente existen reglamentos municipales que regulan en cierta forma el ruido urbano, a pesar de ello no son aplicados como se debería, por lo tanto en el país suelen utilizarse los parámetros que han establecido organizaciones internacionales, por ejemplo la US EPA, Agencia para Protección del Ambiente de Estados Unidos (por sus siglas en inglés), o bien los parámetros de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En ocasiones la normativa nacional puede ser más permisible que los límites establecidos por las normas internacionales, por lo tanto dependiendo del tipo de actividad o proyecto que requiere monitoreo de ruido se suelen

considerar los límites internacionales como indicador para su desempeño ambiental. De esta forma se muestran los valores guía de niveles de presión sonora según la OMS, en la tabla III.

Tabla III. **Valores guía para ruido urbano en ambientes específicos**

Ambiente Específico	Efecto(s) crítico(s) sobre la salud	L Aeq [dB(A)]	Tiempo [horas]	Lmax fast [dB]
Exteriores	Molestia grave en el día y al anochecer Molestia moderada en el día y al anochecer.	55 50	16 16	
Interior de la vivienda, dormitorios.	Interferencia en la comunicación oral y molestia moderada en el día y al anochecer. Trastorno del sueño durante la noche.	35 30	16 8	45
Fuera de los dormitorios.	Trastorno del sueño, ventana abierta (valores en exteriores).	45	8	60
Salas de clase e interiores de centros preescolares.	Interferencia en la comunicación oral, disturbio en el análisis de información y comunicación del mensaje.	35	Durante clases	
Dormitorios de centros preescolares, interiores.	Trastorno del sueño, ventana abierta (valores en exteriores).	30	Durante el Descanso	45
Escuelas, áreas exteriores de juego.	Molestia (fuente externa).	55	Durante el juego	
Hospitales, pabellones, interiores.	Trastorno del sueño durante la noche Trastorno del sueño durante el día y al anochecer.	30 30	8 16	40
Hospitales, salas de tratamiento, interiores.	Interferencia en el descanso y la recuperación.	#1		
Áreas industriales, comerciales y de tránsito, interiores y exteriores.	Deficiencia auditiva.	70	24	110
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento.	Deficiencia auditiva (patrones: < 5 veces/año).	100	4	110
Discursos públicos, interiores y exteriores.	Deficiencia auditiva.	85	1	110
Música y otros sonidos a través de audífonos o parlantes.	Deficiencia auditiva, (valor de campo libre.	85 #4	1	110

Continuación de la tabla III.

Sonido de impulso de juguetes, fuegos artificiales y armas.	Deficiencia auditiva (adultos) Deficiencia auditiva (niños)			140 #2 120#2
Exteriores de parques de diversión y áreas de conservación.	Interrupción de la tranquilidad	#3		

#1: Lo más bajo posible.

#2: Presión sonora máxima (no LAF, máx) medida a 100 mm del oído.

#3: Se debe preservar la tranquilidad de los parques y áreas de conservación y se debe mantener baja relación entre ruido intruso y el sonido natural de fondo.

#4: Con audífonos, adaptado a valores de campo libre.

Fuente: OMS. *Guías para el ruido urbano*. p. 12.

2.3. Mapas de ruido

Básicamente consisten en la representación gráfica del comportamiento de los niveles sonoros en un área específica por fuentes específicas. Las fuentes pueden ser vehículos, maquinaria pesada, actividades humanas cotidianas o bien actividades industriales.

Los modelajes se presentan en mapas de ruido, los cuales son definidos por la Unión Europea como: “la presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indicará el rebasamiento de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica”⁷

⁷ Directiva 2002/49/CE del parlamento Europeo y del Consejo. Sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. 3 p.

Es decir que los mapas de ruido se utilizan para indicar regiones donde se excede un valor límite establecido por la legislación nacional, normativa interna de una institución o normativas internacionales. Asimismo, identificar que tanta población está afectada por dichos valores.

Existe otra variante, que es el mapa estratégico de ruido, que presenta los resultados de forma más general, definido por la unión Europea como “un mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona.”⁸

2.3.1. Utilidad de los modelos acústicos

Tiene un potencial enorme para aplicarlo a la gestión de una ciudad o proyecto ya que permite predecir diferentes escenarios como al agregar barreras acústicas de diferentes materiales, movilizar fuentes o receptores. Con ello se puede llevar a cabo la planificación o bien verificar que la planificación cumpla con los requerimientos de niveles de presión sonora en el área de trabajo.

2.3.2. Tipos de modelos

Por el área que ocupan los modelos se pueden identificar diferentes tipos:

- Regional
Se genera cuando una misma fuente de ruido afecta a más de un municipio, depende completamente del ordenamiento político del área de estudio.

⁸ Directiva 2002/49/CE del parlamento Europeo y del Consejo. *Gestión ambiental*. 3 p.

- **Municipal**
Comprende el casco urbano de una población y su aplicación va orientada a dar sustento a proyectos municipales de ordenamiento territorial con base en el ruido y control del mismo.
- **Urbanización**
Similar al municipal, sin embargo, no tiene que abarcar todo el municipio sino un área específica donde exista conflictividad por ruido o se desee una herramienta para planificación. Su principal característica es que el nivel de detalle se aumenta por los puntos de monitoreo externos e internos en las edificaciones.
- **Estudios de detalle**
Similar a los de urbanización, sin embargo, el grado de detalle se aumenta al efectuar monitoreos a diferentes alturas.

2.3.3. Variables para elaboración de modelos acústicos

El procedimiento para la elaboración de los modelajes acústicos involucra una gran cantidad de cálculos, por lo tanto se debe llevar a cabo por medio de un software que toma como punto de partida un modelo digital del terreno (MDT), variable inicial que aportará mayor o menor certeza según su forma de elaboración y datos que lo originan.

Sin embargo, la elaboración de un modelaje que refleje a cabalidad las condiciones de campo será bastante compleja ya que se deben considerar muchos factores que ocasionan incerteza en el resultado, a pesar de ello existen procedimientos de calibración del modelo para tener la seguridad que el resultado es lo más apegado a la realidad.

Las variables que influyen en la construcción de los modelajes acústicos son múltiples y en ocasiones dependen de la metodología utilizada y el tipo de modelaje ya sea carretera, aeropuerto, ciudad o área industrial, sin embargo, a continuación se muestran las variables generales independientemente del tipo de área y software a utilizar.

- Modelo digital del terreno (MDT)
 - Precisión topográfica
 - Propiedades acústicas de cada terreno y material de barreras

- Fuente
 - Tipo de actividad que genera ruido
 - Movilidad de fuentes
 - Ritmo e intensidad de emisión

- Propagación
 - Condiciones meteorológicas (temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento).
 - Tipo de reflexión y difracción.

- Receptores
 - Ubicación
 - Densidad poblacional

2.3.3.1. Modelo digital del terreno (MDT)

Básicamente consiste en la digitalización de las curvas de nivel de un área para formar una superficie sobre la cual se establecerán las características de edificios, caminos, carreteras y fuentes. Dicho modelo del terreno define desde

el inicio parte de la precisión que tendrá todo el modelaje, ya que mientras mayor precisión se tenga de los aspectos topográficos y tipos de materiales mayor proximidad tendrá el modelaje a los valores reales de presión sonora en el área estudiada.

El MDT se puede obtener a partir de las curvas de nivel en el software ArcGis, o bien directamente en SoundPLAN. Sin embargo, también existe la posibilidad de importar el relieve desde google earth, para lo cual se tendrá una referencia de las condiciones topográficas pero con precisión baja a comparación de las curvas de nivel que pueden ser obtenidas por topografía fina en el área a estudiar.

2.3.3.2. Fuente

Los modelajes se pueden llevar a cabo para diferentes áreas y tipos de actividades, cuyas fuentes tendrán características sonoras diferentes dependiendo del tipo de actividad, lo cual define el tipo de metodología que se seguirá para la construcción del modelaje.

2.3.3.3. Factores que influyen en la propagación

La propagación del ruido se ve modelada por diferentes factores, ya sea para disminuir su nivel de presión, propagarlo o cambiar su dirección conforme se aleja de la fuente emisora. A continuación se mencionan los principales factores que influyen y que según la metodología y software utilizado pueden o no ser tomados en cuenta para la elaboración de los modelos acústicos.

- **Divergencia geométrica**
Este es el factor de reducción de sonoridad al alejarse de la fuente.

- Absorción atmosférica

Este factor describe la transformación de energía acústica a energía calorífica en la atmosfera, esto se traduce como pérdida de energía acústica. “La absorción atmosférica resultante es significativa para elevadas frecuencias y largas distancias, hecho que la convierte en un filtro de paso bajo a largas distancias”⁹.

- Efecto del suelo

El efecto que tiene el suelo sobre la propagación se conoce en algunos textos como interferencia, ya que es ocasionado por la porción de onda que es reflejada por el suelo hacia la onda que se desplaza hacia un receptor ocasionando cambio en las propiedades de las ondas principales.

Para ello se pueden considerar las superficies acústicamente duras, tales como: asfalto y concreto en las que la presión sonora aumenta en una proporción de aproximadamente 2:1 en un rango amplio de frecuencias audibles. En contraste con ello se tienen las superficies acústicamente suaves, tales como: tierra, arena y vegetación en las que el aumento de presión se genera en frecuencias bajas, sin embargo, también pueden presentar cambios en las propiedades de la onda principal debido a la reflexión de las frecuencias más altas.

- Reflexiones

Estas son un componente del factor suelo, cuando se consideran reflexiones en elementos verticales, se utiliza una corrección en el nivel

⁹ PUJADÓ, Simona; SÁNCHEZ, Josep; MULET, Juan. *Comparativa de nuevos modelos europeos de predicción de niveles de ruido de tráfico rodado*. p. 5.

de emisión de la fuente, en función del coeficiente de absorción de la superficie.

- **Condiciones meteorológicas**

Los factores meteorológicos que se relacionan con la propagación del ruido entre la fuente y el receptor son: temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento. Para llevar dichos factores a los modelajes acústicos existen software que los resumen únicamente como condiciones homogéneas neutras o desfavorables a la propagación del sonido. Sin embargo, otros software no toman en cuenta dichos factores meteorológicos por considerarlos de poca influencia sobre los resultados.

2.3.3.4. Receptores

Estos influyen principalmente en la elaboración de los mapas de ruido, ya que en estos se indican las regiones en las que los niveles de presión sonora rebasan un valor guía determinado y la población a la que afectan. Un modelaje detallado indicará viviendas y cantidad de personas afectadas. Por lo tanto dependiendo del objetivo del estudio se requerirá mayor detalle de cantidad y ubicación de los receptores.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación se muestran las variables.

3.1.1. Independientes

- **Actividad constructiva en cada área**
Esta es una variable cualitativa ya que únicamente establece que tipo de actividad se lleva a cabo en el área estudiada, ya sea fundición, montaje de maquinaria y equipo, limpieza, entre otros.
- **Clima**
Variable cuantitativa sobre las condiciones de presión atmosférica (atm), humedad por ciento, dirección grados centígrados y velocidad de viento kilómetros por hora en el área del proyecto.

3.1.2. Dependientes

- **Horas de trabajo**
Variable cuantitativa medida en horas para cada actividad llevada a cabo en el área estudiada.

- Intensidad y nivel de presión sonora:
Variables cuantitativas medidas con los sonómetros en campo, que se encuentran directamente relacionadas con las 3 variables independientes.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El proyecto se llevó a cabo en:

- Lugar
Área industrial del Proyecto San Gabriel. Finca San Gabriel Buena Vista, San Juan Sacatepéquez, Guatemala.
- Fecha
A partir de noviembre 2014 hasta el mes de mayo 2015. En jornada laboral de 7:00 – 16:00 de lunes a jueves y viernes de 7:00 – 15:00.
- Ubicación
Se muestra una imagen de Google Earth, donde se delimita en verde el contorno de la finca San Gabriel Buena Vista. En el anexo 4 se presenta mayor detalle del área de estudio.

Figura 7. **Ubicación del proyecto**



Fuente: Google Earth.

3.3. Recursos humanos disponibles

A continuación se muestran los recursos humanos disponibles.

- Asesor: Ing. Juan Ramon Aguilar
Gerente de Gestión Ambiental.
- Ingeniero Bayron Ibañez
Coordinador de Gestión Ambiental, Proyecto San Gabriel.
- Departamento Ingeniería & Proyectos, Proyecto San Gabriel.
- Asesor supervisor de EPS: Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga.

- Revisor de EPS, Escuela de Ingeniería Química: Ing. Nicolás Guzmán.
- Epesista: Alan Rodríguez Alas
Estudiante de Ingeniería Ambiental

3.4. Recursos materiales disponibles

A continuación se muestran los recursos materiales disponibles.

3.4.1. Equipo

- Sonómetros + kit exteriores
- Vehículo para movilización dentro del proyecto
- Computadora

3.4.2. Equipo de protección personal

- Botas punta de acero
- Chaleco de seguridad
- Mangas
- Lentes de seguridad
- Tapones para oídos
- Casco

3.4.3. Software

- Microsoft Office
- Detection Management Software
- ArcGis

- SoundPLAN

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

- Gabinete (preparación de MDT)
Se utilizaron las curvas de nivel a partir del estudio topográfico del Departamento de Ingeniería & Proyectos y se unió con las curvas de nivel a partir de hojas cartográficas para para generar un modelo digital del terreno (MDT) del área de cálculo.
- Medición directa
Luego de configurar y calibrar los sonómetros para medir octavos de banda, respuesta *fast* y un tiempo mínimo 6 horas con filtro “A” se procedió a ubicarlos a una distancia conocida de cada fuente emisora identificada.
- Promedio de mediciones
Las mediciones que excedieron las 6 horas de duración se promediaron para unificar períodos de monitoreo iguales, incluyendo los valores medidos de L_{eq} , $L_{máx}$ y L_{min} para cada banda de octava.
- Gabinete (construcción de variables para correr modelo)
Se agregó en el MDT las variables del terreno, geo ubicación y extensión de emisores y receptores, asignación de potencia sonora a emisores y demás variables para poder correr el modelaje. Luego de correr el modelaje se exportó desde el software SoundPlan para la elaboración del mapa estratégico de ruido y la presentación estética del resultado obtenido.

- **Comprobación de los mapas**
Se llevó a cabo por dos medios, el primero con la construcción de dos modelajes acústicos del escenario crítico, uno que considera los focos puntuales y el otro que considera todo el proyecto como una única fuente a partir de la unificación de los valores máximos utilizados para el primer modelaje mencionado. Al tener los dos mapas se establecieron algunos puntos de control para comprobar si los resultados del escenario crítico con focos individuales y con un único foco presentaron similitudes.

El segundo medio de verificación se llevó a cabo por la medición de un punto de control en el área del helipuerto. Con el cual se relacionó el L_{90} del helipuerto (este garantiza dejar fuera la influencia directa que pudo tener el equipo por alguna actividad cercana y no representativa del ruido ambiente) con el valor obtenido en esa área en el mapa estratégico del escenario real.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

- Las curvas de nivel fueron proporcionadas por el Departamento de Ingeniería & Proyectos, los cuales fueron transformados a un MDT.
- Durante el trabajo de campo únicamente se recolectaron los datos contenidos en la tabla IV, Tabulación de campo, para cada foco emisor de ruido.

Tabla IV. **Tabulación de campo**

Id. de sonómetro	
Fecha y hora de inicio	
Hora programada de finalización	
Ubicación	
Distancia de fuente	
Tipo de actividad llevada a cabo	

Fuente: elaboración propia.

- Los datos obtenidos por cada medición fueron tabulados tal como se muestra en la tabla V, en el cual se pueden identificar los niveles de presión sonora por bandas de octava, ya que es la forma en que se debe caracterizar el ruido captado por el sonómetro para que el software sea capaz de procesarlo.

Tabla V. **Formato para procesamiento de datos**

Hora	Leq/ Lmáx/ Lmin	Leq 16 Hz	Leq 31.5 Hz	Leq 63 Hz	Leq 125 Hz	Leq 250 Hz	Leq 500 Hz	Leq 1 kHz	Leq 2 kHz	Leq 4 kHz	Leq 8 kHz	Leq 16 kHz
1:00												
..												
..												
6:00												
Promedio												
Fecha y hora												
Ubicación												
Distancia de fuente												
Tipo de actividad												

Fuente: elaboración propia.

- Luego de efectuar las mediciones en cada fuente se calculó el Leq de las mediciones por bandas de octava, detalladas en un resumen tal como se muestra en la tabla VI, lo cual es el resultado final de las mediciones que se introdujo al software para cada fuente. Es decir que se generó un cuadro similar para el escenario real, crítico y mínimo.

Tabla VI. **Promedio de mediciones**

Valor	Leq	Leq 16 Hz	Leq 31.5 Hz	Leq 63 Hz	Leq 125 Hz	Leq 250 Hz	Leq 500 Hz	Leq 1 kHz	Leq 2 kHz	Leq 4 kHz	Leq 8 kHz	Leq 16 kHz
Promedio												

Fuente: elaboración propia.

3.7. Plan de análisis de los resultados

A continuación se muestra el plan de análisis de los resultados.

3.7.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

Dentro de las mediciones obtenidas de los niveles de presión sonora se seleccionaron los valores máximos de energía equivalente en el intervalo de medición seleccionado. De esa forma se modeló el escenario crítico con los niveles de presión máximos obtenidos, asimismo, se utilizó el nivel de presión sonora equivalente y mínimo para el período total de medición por cada fuente emisora.

3.7.2. Programas a utilizar para análisis de datos

Se utilizó el Detection Management Software para el procesamiento de la información de los sonómetros, elaboración de gráficas directas y obtención de datos generales directos. Adicionalmente se identificaron puntos máximos y mínimos durante el período de tiempo analizado en Excel.

En el caso que las mediciones no tenían una duración uniforme, se calculó de nuevo el Leq para un mismo rango de tiempo, lo cual se trabajó en una hoja de cálculo como se muestra en la tabla VII. En este los únicos datos de entrada son los niveles de presión sonora por cada intervalo y las formulas generan automáticamente el valor de Leq para una serie de mediciones.

Tabla VII. Hoja de cálculo Leq

Muestras	Nivel	Intensidad	Suma	Media Int	Nivel Equiv
i	Li (dBA)	$10^{Li/10}$	$t_i \cdot 10^{Li/10}$	$t_i \cdot 10^{Li/10} / T$	Leq (dBA)
1					
2					
3					
4					
5					

Fuente: MONROY, Manuel. *Manual del ruido*. Anexo 3. "Cálculo-Leq-V02".

Donde

- Muestras: se refiere al número de dato medido por el sonómetro.
- Nivel: se refiere al Leq obtenido por el sonómetro para el período de medición seleccionado que genera el dato para cada "muestra".
- Intensidad: fórmula automática para obtención de la intensidad sonora.
- Suma: sumatoria de las intensidades anteriores.
- Media int.: obtención del promedio.

- Nivel Equiv: aplicación del logaritmo base 10 y multiplicación por el factor 10 al valor obtenido en la columna “Media int.” Con lo cual se genera el valor Leq para los valores anteriores.

4. RESULTADOS

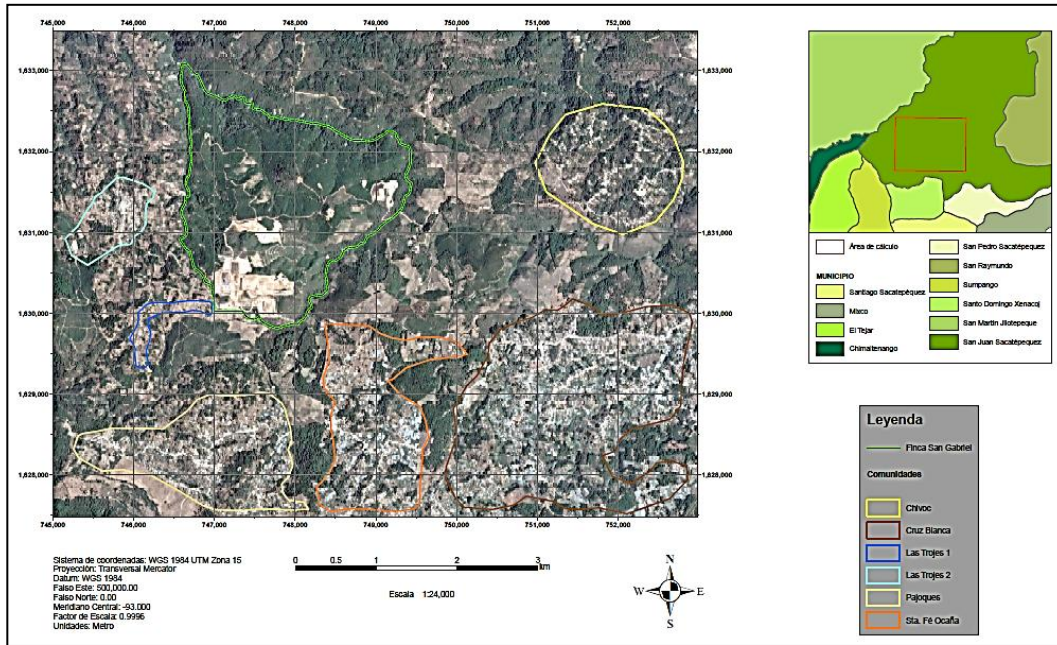
4.1. Comunidades en el área de influencia

Las comunidades que se encuentran en el área de influencia del proyecto son:

- Las Trojes 1
- Las Trojes 2
- Pajoques
- Santa Fe Ocaña
- Chivoc
- Cruz Blanca

Su ubicación se muestra en la figura 8 y con mayor detalle en el plano 1 y 2 del anexo 4.

Figura 8. Área de influencia

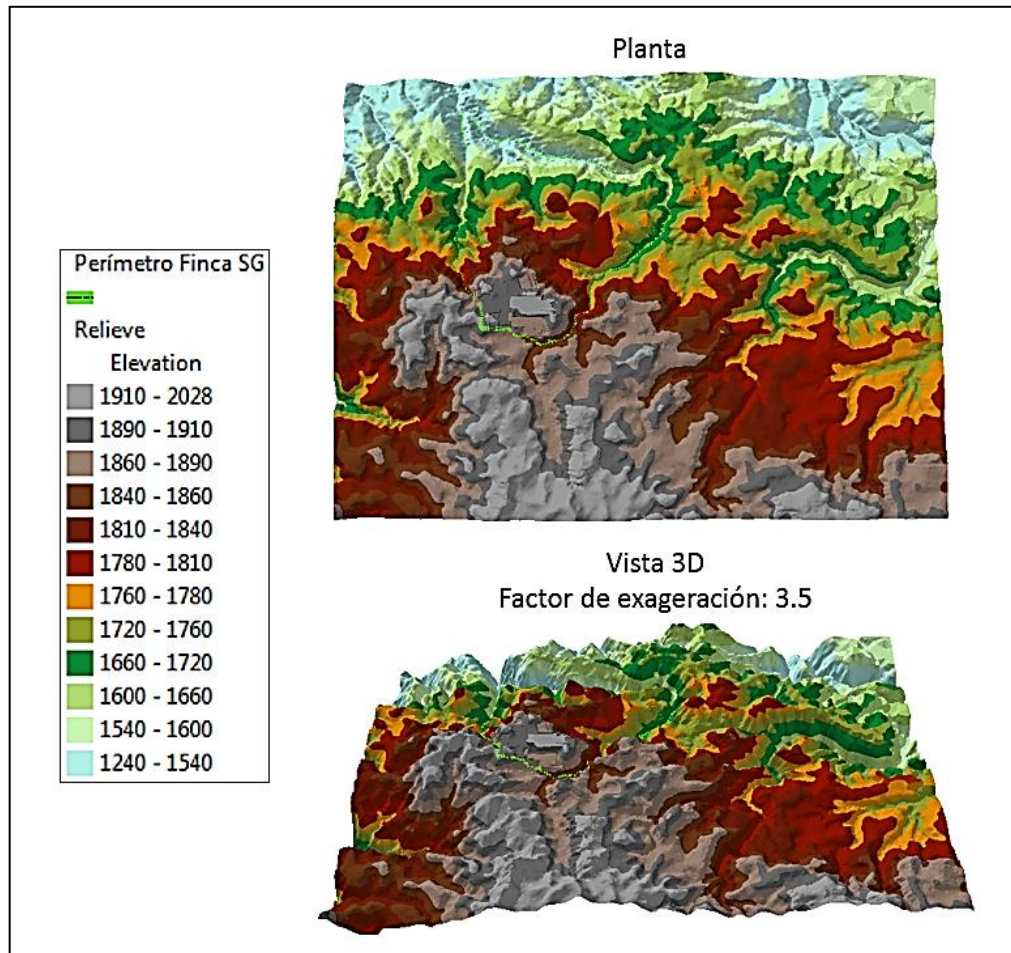


Fuente: Google Earth.

4.2. Caracterización del área de estudio

En la figura 9 se muestra el relieve en planta y vista 3D lateral del área de cálculo utilizada para la construcción de los modelajes acústicos.

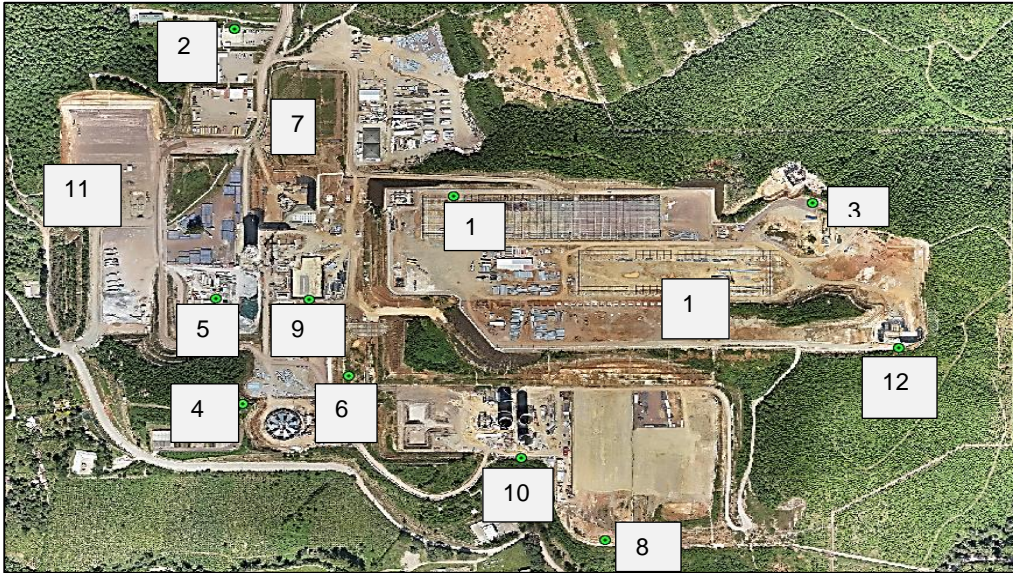
Figura 9. **Relieve área de estudio**



Fuente: elaboración propia, Civil 3D.

A continuación se presentan las figuras 10 y 11 con la ubicación de los focos emisores y en la tabla VIII se presenta el resumen de los valores obtenidos para cada foco identificado.

Figura 10. **Focos emisores en planta San Gabriel**



Fuente: Google Earth.

Figura 11. **Foco emisor en trituradora**



Fuente: Google Earth.

Tabla VIII. **Resumen de valores generados por foco**

#	Punto de monitoreo	Leq (6h)	Lmin		Lmáx	
			Leq (5min)	Lmin	Leq (5min)	Lmáx
1	Almacenes de materia prima	68,70	51,40	43,40	79,50	90,20
2	Área administrativa	57,20	44,00	30,90	67,60	97,00
3	Estación de transferencia	57,20	54,70	35,40	60,50	89,70
4	Mirador silo de clínker	62,00	49,80	35,50	64,50	85,30
5	Mixto Listo	70,41	72,70	33,10	73,30	10,10
6	Molinos de cemento	69,00	44,20	34,80	78,60	92,70
7	Patio mecánico	60,60	50,60	36,80	59,10	83,30
8	Plataforma 6	54,70	54,10	33,70	61,40	74,80
9	Silo de homo - enfriadora	63,90	50,40	41,70	65,00	88,70
10	Silos de cemento	69,20	54,20	37,70	71,50	93,90
11	Subestación	61,50	48,70	37,50	72,20	94,20
12	Trituradora de aditivos	57,20	53,00	32,10	55,50	76,10
13	Trituradora	63,60	61,50	48,30	68,90	88,70

Fuente: elaboración propia.

4.3. Mapas estratégicos de ruido

En la tabla IX se muestra el resumen de cumplimiento de los valores guía IFC según uso de suelo del área de estudio.

Tabla IX. **Resumen de cumplimiento valor guía IFC**

Período	Uso de suelo	Valor Guía IFC	Cumplimiento		Área con incumplimiento
			Si	Parcial	
Área industrial Día y noche	Industrial	70 dB-A	✓		No aplica
Día (7:00 - 22:00)	Residencial, institucional, educativo	55 dB-A	✓		No aplica
Noche (22:00-7:00)	Residencial, institucional, educativo	45 dB-A	✓		No aplica

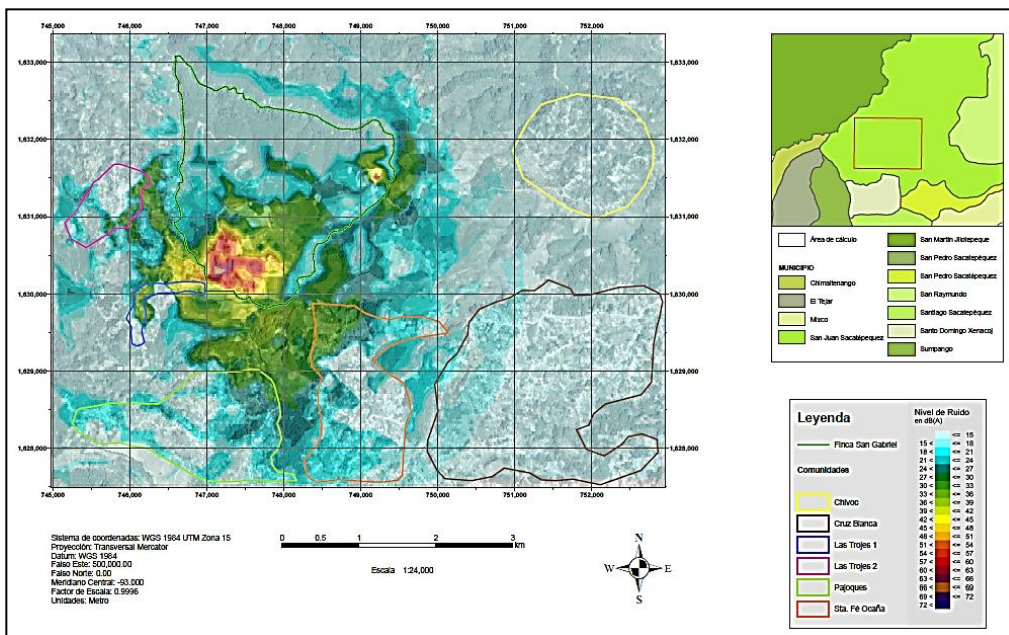
Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta una vista previa de los diferentes mapas estratégicos de ruido construidos según el escenario que representan. Estos se encuentran con mayor detalle en el anexo 5.

4.3.1. Escenario crítico

A continuación en la figura 12 se muestra el escenario crítico.

Figura 12. Escenario crítico

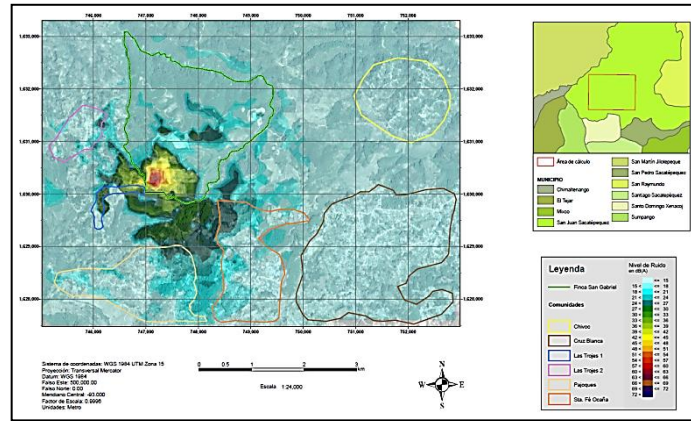


Fuente: Google Earth.

4.3.2. Escenario real

A continuación en la figura 13 se muestra el escenario real.

Figura 13. Escenario real

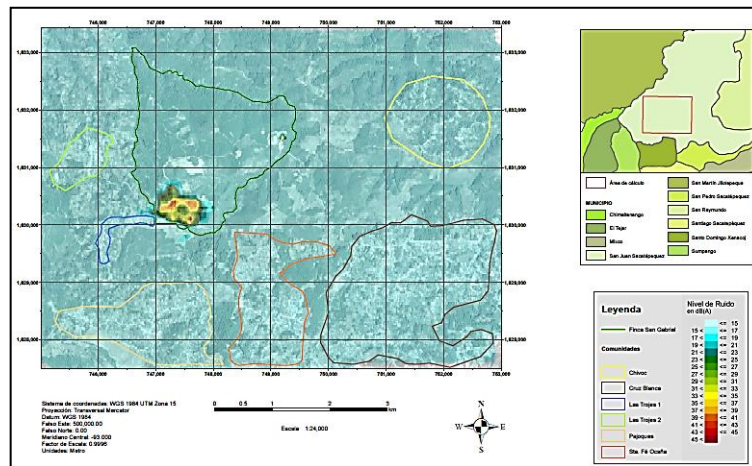


Fuente: Google Earth.

4.3.3. Escenario mínimo

A continuación en la figura 14 se muestra el escenario mínimo.

Figura 14. Escenario mínimo



Fuente: Google Earth.

4.3.4. Medios de comprobación

En la tabla X se muestran los resultados de los dos métodos de comprobación utilizados.

Tabla X. Resumen de comprobación

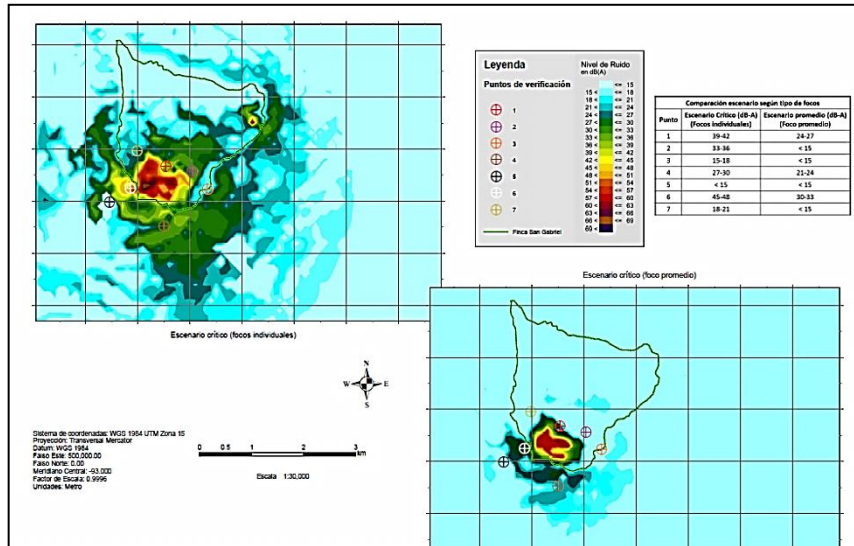
Núm.	Método de comprobación	Escenario utilizado	Resultado de comprobación
1	Comparación de mapas con puntos clave (focos puntuales - foco promedio)	Crítico	Parcialmente satisfactorio
2	Punto de control	Real	Satisfactorio

Fuente: elaboración propia.

4.3.4.1. Comprobación por comparación de mapas

En la figura 15 se muestra la comprobación a partir de comparar el mapa estratégico del escenario crítico, construido a partir de la caracterización de los focos emisores y a partir de la unificación de los focos para generar un único foco emisor. En el anexo 6 se muestra el plano con mayor detalle.

Figura 15. Comprobación por foco promedio

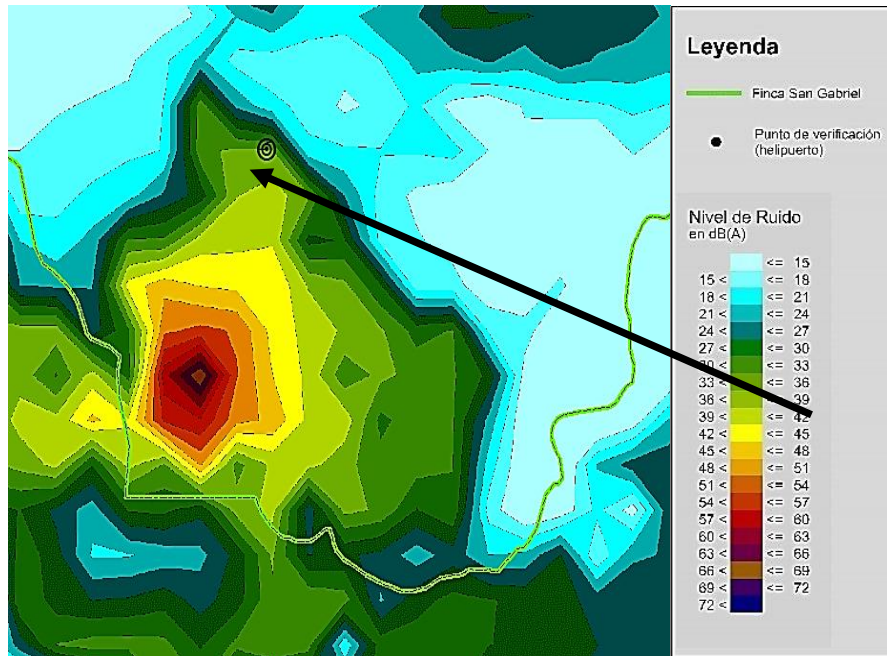


Fuente: Google Earth.

4.3.4.2. Comprobación por punto de control

En la figura 16 se presenta una sección ampliada del mapa estratégico del escenario real, en este se ubica el punto de control del helipuerto con una flecha de referencia al rango de niveles de presión sonora del área según el escenario real, mientras que en la tabla XI se muestra el resultado puntual del monitoreo en dicho punto y el valor que debe ser considerado para la comprobación.

Figura 16. **Comprobación por punto de control**



Fuente: Google Earth.

Tabla XI. **Resultados de punto de control**

Parámetro	Resultado (dB-A)	Observaciones
Leq	53,80	Valor de energía equivalente durante el período de medición.
L90	33,80	Parámetro utilizado para comprobación ya que garantiza la eliminación de perturbaciones puntuales no representativas del ruido ambiente que se deseaba capturar para la comparación.

Fuente: elaboración propia.

4.4. Modelajes y propuesta de medidas de mitigación

En el anexo 5 se presentan los mapas estratégicos de ruido para los tres escenarios construidos, sin embargo, para evaluar el cumplimiento respecto al valor guía establecido por las normas del IFC, se utilizó el resultado presentado en el mapa del escenario crítico, ya que a pesar de surgir a partir de la condición de máxima emisión de ruido durante el período de muestreo, es notable que la influencia del área industrial sobre las comunidades se encuentra en cumplimiento de los límites establecidos, asimismo, la presión sonora generada dentro del área industrial cumple con el valor guía, por lo tanto no fue necesaria la evaluación de nuevas medidas mitigación. Sin embargo, es recomendable colocar puntos de control en las comunidades para comprobar los modelajes. En la tabla XII se muestra un resumen de los valores más altos de presión sonora por escenario así como las condiciones que representa.

Tabla XII. **Resumen de modelajes y medidas de mitigación**

Modelaje según escenario	Condiciones representadas y observaciones Áreas con mayor presión sonora / Valor guía IFC	Medidas de mitigación
Crítico	Condiciones extremas en los 14 focos emisores identificados, es decir la presión sonora máxima generada en un intervalo de 0,125s así como su dispersión en el área de cálculo. Las Trojes 1: 39-45 dB-A / Valor guía: 55 dB-A (día) 45 dB-A (noche). Área industrial: 66-69 dB-A / Valor guía: 70dB-A.	No aplica
Real	Condiciones promedio de los focos emisores durante el período de medición. Sus resultados son representativos y comparables de forma directa con los valores guía. Las Trojes 1: 27-39 dB-A / Valor guía: 55 dB-A (día) 45 dB-A (noche). Área industrial: 66-69 dB-A / Valor guía: 70dB-A.	No aplica
Mínimo	Representa el ruido de fondo que se tiene en el área ya que estos valores se obtuvieron cuando las actividades en cada foco emisor eran nulas o prácticamente nulas. Área industrial: 43-45 dB-A / Valor guía: 70dB-A.	No aplica

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Comunidades en el área de influencia

El área de influencia que tiene la fase constructiva del Proyecto San Gabriel, en cuanto a ruido, se definió al trazar círculos de 2 kilómetros de radio a partir de las áreas en construcción ya que se consideró que la influencia del ruido generado no excedería dicho radio de dispersión, tal como se muestra en el plano núm. 1 del anexo 4. Dentro del radio de influencia se ubican las comunidades: Trojes 1 y 2, parcialmente: Chivoc, Pajoques y Santa Fe Ocaña. Asimismo, se tomó en cuenta Cruz Blanca, aunque se encuentra fuera de los círculos trazados, se consideró porque su límite está aproximadamente a 2 kilómetros del área de trituradora y de esa forma se podría comprobar el criterio del área de influencia definida. Con ello se determinó el área de cálculo para los modelajes acústicos, plano núm. 2 del anexo 4.

Los mapas estratégicos de ruido presentados en el anexo 5 validan el criterio utilizado para establecer el área de cálculo, principalmente el escenario crítico, ya que de forma gráfica y sencilla se puede comprobar que la influencia que tiene el proyecto queda contenida en el área descrita en el párrafo anterior, a lo cual cabe destacar que los niveles de presión sonora inferiores a 15 dB-A son considerados como de impacto nulo ya que según OMS dicho valor de presión sonora se encuentra entre el sonido generado por la respiración tranquila (10 dB) y una habitación muy silenciosa o rumor suave de las hojas de un árbol (20 dB).

5.2. Caracterización del área de estudio

Al tener definida el área de cálculo se procedió a la caracterización de la misma. En cuanto a relieve se muestra en la figura 9, que la planta se encuentra en la parte más alta de la finca y del área de cálculo definida, mientras que el área de trituradora, que en fase de construcción presenta menor emisión de ruido, se encuentra en un nivel entre 150 y 200 metros menor que la planta. Respecto a la caracterización de los focos emisores de ruido, que involucró el monitoreo en 14 puntos dentro del proyecto, se obtuvo un nivel de presión sonora equivalente para cada punto, asimismo, se obtuvieron los datos de nivel de presión sonora máximo y mínimo, cada dato con su respectivo detalle de octavos de banda que describe los niveles de las diferentes frecuencias que formaron la onda sonora medida para ser ingresada al software SoundPlan.

En la tabla VIII se muestra el resumen de los datos extraídos de las mediciones directas de niveles de presión sonora para los focos identificados en las figuras 10 y 11. Para lo cual fueron generados valores Leq cada 5 minutos, que luego son integrados para generar el valor Leq del período total de medición. Por lo tanto cada valor máximo y mínimo obtenido del período total de medición está enlazado a un valor Leq (5 min).

Estos datos se indican en la tabla VIII y presentan una tendencia definida por el comportamiento del Leq (5 min), que contiene el valor $L_{m\acute{a}x}$. Este es superior al Leq (6 h), lo cual es apegado a la realidad, ya que dicho resultado indica que la serie de mediciones durante esos 5 minutos mantuvieron niveles superiores a la media del período total de tiempo, dentro de ello destaca que en dicho periodo también se encuentra el valor máximo de una serie de casi 173 000 datos medidos. Esto se debe a que en la configuración del equipo se

estableció la respuesta rápida que significa que se efectúa una medición cada 0,125 segundos. La misma situación se aplica para los datos Lmin, con la diferencia que el Leq (5 min) al que se relacionan mantiene una tendencia menor al dato Leq (6 h).

Dicha tendencia en los datos extraídos, para la construcción de los modelajes acústicos, en conjunto con el modelo digital del terreno, generado a partir del relieve del área de cálculo y la ubicación estratégica de los puntos de monitoreo, para caracterizar los principales focos emisores de ruido, presentaron información de calidad para ser ingresada al software SoundPlan.

5.3. Mapas estratégicos de ruido

Los mapas estratégicos de ruido, presentados en el anexo 5, surgen a partir de los tres escenarios propuestos para el estudio, construidos en función de mediciones de 6 horas que abarcaron rangos entre las 7:30 AM y las 3:30 PM. Con ello se garantizó el muestreo de las horas pico de generación de ruido, así como un período más bajo debido al horario de almuerzo de las diferentes áreas.

El escenario crítico fue de gran importancia, ya que es una herramienta que consideró las condiciones de ruido más elevadas con un tiempo de respuesta igual a 0,125 segundos, es decir que durante las 6 horas se muestrearon poco más de 170 000 datos, dentro de los cuales se eligió el más elevado para cada punto de medición. De esa forma el mapa estratégico de ruido presenta la distribución espacial que tiene el ruido emitido, en función de los datos máximos medidos en cada fuente, sin embargo, dicho escenario surge de datos con una representatividad de 0,125 segundos, mientras que la

normativa IFC (2007) adoptada abarca dos períodos, de día (7:00 – 22:00) y noche (22:00 – 7:00).

Por lo tanto, el fundamento del escenario crítico fue suponer que dichos niveles de presión sonora máximos, medidos en cada fuente, se conservarán constantes durante el período de día y noche. De esa forma fue posible la comparación de los niveles presentados en el mapa con el valor guía de la Corporación Financiera Internacional según el uso de suelo. Presentando un completo cumplimiento de la normativa, ya que el rango máximo alcanzado dentro del área industrial fue entre 66 y 69 dB-A, mientras que el valor guía es de 70 dB-A (para día y noche).

Los valores guías para las comunidades según período de día (55 dB-A) y noche (45 dB-A), se cumplieron, aunque es de notar que la comunidad Trojes 1 presentó niveles máximos entre 39 y 45 dB-A, lo cual sería una alerta para el período de noche por encontrarse cercano al límite. Mientras que el resto de comunidades presentó valores más bajos, por ejemplo Pajoques y Santa Fe Ocaña, en su extremo norte así como Trojes 2 en su extremo este, tienen una influencia entre 27 y 33 dB-A, pero en su mayoría tienen una influencia nula. Las comunidades Cruz Blanca y Chivoc presentan pequeñas regiones entre 15 y 18 dB-A, en su mayoría menores a 15 dB-A lo cual se considera como impacto nulo.

El hecho que el escenario crítico presente cumplimiento de los valores guía para área industrial y exteriores, en período de día y noche es un indicador que los otros dos escenarios presentarán cumplimiento, sin embargo, se analizarán brevemente.

El escenario real consideró el valor de energía equivalente durante las 6 horas de medición para cada foco emisor identificado. Dicho tiempo de medición no es comparable con los valores guía, sin embargo, al tomar mediciones en horario de trabajo constante durante el día, se puede afirmar que el resultado generado es mayor al que se obtendría si se monitoreara para el período completo del día (15 horas), ya que la jornada de trabajo es de 7:00 AM a 5:00 PM, a excepción de algunas áreas cuando se tiene alguna actividad específica que requiere horas extras de trabajo. Es decir, que al monitorear durante las 6 horas en la jornada normal de trabajo se generaron valores mayores a los reales durante el período de día, lo cual se puede considerar como un factor de seguridad para evaluar el cumplimiento del valor guía.

Los resultados máximos a considerar para el escenario real incluyen una pequeña región del área industrial entre 66 y 69 dB-A, a la comunidad Trojes 1, en la cual se presenta una influencia entre 27 y 39 dB-A en el extremo cercano al área industrial. Las Trojes 2 presentó en su extremo sureste una influencia entre 21 y 27 dB-A. Mientras que Pajoques y Santa Fe Ocaña presentaron una influencia máxima de 27 dB-A en sus extremos este y noroeste respectivamente. Finalmente las comunidades Chivoc y Cruz Blanca no presentaron influencia alguna.

El tercer y último escenario conserva el mismo principio de creación que el escenario crítico, con la diferencia que en lugar de utilizar el valor máximo de la serie de datos utiliza el valor mínimo, por ello se le nombró escenario mínimo. Los valores que caracterizaron cada foco emisor fueron obtenidos principalmente en el horario de almuerzo, ya que las actividades constructivas en ese período son prácticamente nulas, demostrando en cierta parte el ruido de fondo que se presenta en el área industrial, con un valor máximo entre 43 y 45 dB-A y una influencia nula en las comunidades.

El proceso de comprobación de los modelajes se llevó a cabo por dos medios. Al primero se hace referencia como focos promedio, lo que significa que se comparó el escenario crítico, construido a partir de los focos individuales con el construido a partir del promedio logarítmico de los focos. En el anexo 6 se presenta el plano con los 7 puntos de verificación considerados, para lo cual únicamente 1 punto cumplió a cabalidad y 3 puntos mantuvieron la tendencia, por lo cual a partir de dicha metodología se determinó que cumple parcialmente, asimismo, el hecho que los mapas comparados sean diferentes fortalece, en cierta parte, el criterio utilizado para caracterizar los focos, ya que el ruido generado en el área industrial, por la gran extensión que abarca, no puede ser promediado porque genera una situación que no es tan representativa de la situación real en comparación con la situación representada por la caracterización de los focos.

El segundo método de comprobación se llevó a cabo por medio de un punto de control ubicado en el área del helipuerto y su comparación con el escenario real. El punto de control se ubicó al día siguiente que se efectuara el monitoreo en el área de almacenes de materia prima (área más cercana al punto de control), sin embargo, se podrán relacionar los resultados por la constancia en las actividades de los almacenes.

El punto de control presentó un valor $L_{90} = 33,8$ dB-A el cual debe ser utilizado para la comprobación ya que representa el valor equivalente superado el 90 % del periodo de medición, garantizando que dicho valor es el representativo del ruido ambiente en dicha área. Mientras que el rango resultante en dicho punto según el escenario real fue entre 33 y 36 dB-A. Con ello se considera satisfactoria la comprobación por dicho medio y le da soporte técnico a la metodología utilizada para la construcción de los modelajes acústicos.

5.4. Modelajes y propuesta de medidas de mitigación

Como se ha mencionado anteriormente, el escenario crítico presenta las condiciones extremas y aun considerando el caso hipotético que dichas condiciones se conserven durante 24 horas se mantiene el cumplimiento de los valores guía del IFC para períodos de día y noche en uso de suelo industrial y de las comunidades. Por lo tanto para el período de muestreo del presente estudio no se generó la necesidad de plantear medidas de mitigación nuevas a las ya implementadas en el proyecto.

6. LOGROS OBTENIDOS

Se identificó y georeferenció, con base cartográfica y con un criterio de un área de 4 km de diámetro a partir de los principales focos emisores de ruido, a las comunidades susceptibles a impacto por posible ruido así como la influencia en decibeles que tiene la construcción de planta sobre dichas comunidades.

Se caracterizaron los principales focos emisores de ruido con base en mediciones con lo que se generaron datos máximos, promedio y mínimos con detalle de octavas de banda para cada foco emisor dentro del área industrial del proyecto.

Se introdujo el escenario crítico como una herramienta preventiva que apoya a la gestión ambiental para identificación de áreas vulnerables y de esa forma prevenir un posible incidente ambiental por el ruido generado, el principio sobre el cual se fundamenta este escenario podrá ser aplicado para la fase de montaje mecánico así como en etapa de operación de la planta.

Se fundamentó técnicamente la influencia en decibeles máxima que tuvo la fase constructiva del proyecto durante el período de muestreo, y aún en dicho escenario crítico se demuestra el cumplimiento de los valores establecidos por la Corporación Financiera Internacional (IFC) para área industrial y para las comunidades cercanas, con lo que es posible garantizar, en cuanto a ruido, el buen desempeño ambiental del proyecto así como la no afectación a la salud humana de los trabajadores y personas en el área de influencia.

CONCLUSIONES

1. Las comunidades en el área directa de influencia, es decir dentro de un radio de 2 km desde los focos emisores de ruido son: Pajoques, Santa Fe Ocaña, Las Trojes 1 y 2. Mientras que Chivoc y Cruz Blanca que se encuentran cercanas a los 2 km no son influenciadas por la fase constructiva del proyecto.
2. Se identificaron dos fuentes principales de ruido, en el extremo sur de la finca a una altura entre 1 890 y 2 028 msnm: planta con 13 focos individuales y valores de energía equivalente entre 54,70 y 70,41 dB-A. En el extremo noreste a una altura entre 1 720 y 1 760: msnm trituradora con un foco identificado y valor de energía equivalente de 63,60 dB-A.
3. Se crearon 3 mapas estratégicos de ruido a partir de los escenarios representativos de la situación crítica, real y mínima de generación de ruido, los cuales fueron comprobados por dos medios diferentes, siendo posible afirmar que a partir de la comprobación por medio de punto de control; los resultados presentados son apegados a la verdadera dispersión que tiene el ruido emitido por las actividades de construcción en el Proyecto San Gabriel.
4. Se evaluó el cumplimiento de los valores guía de la Corporación Financiera Internacional en el mapa estratégico del escenario crítico, siendo aceptable el cumplimiento en área industrial y comunidades para períodos de día y noche, por lo tanto los escenarios real y mínimo

presentan cumplimiento, lo cual genera la no necesidad de medidas de mitigación extras durante la etapa de construcción del proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Continuar el monitoreo de niveles de presión sonora en el perímetro del proyecto y dentro de lo posible en las comunidades, en caso de obtener resultados cercanos a exceder los valores guía tomar acciones de forma preventiva, asimismo, se recomienda continuar las medidas implementadas en la actualidad y dentro de lo posible encontrar medidas que reduzcan aún más la influencia de ruido que tiene el proyecto y de esa forma mejorar la percepción que puedan tener las personas en las comunidades.
2. Actualizar constantemente el modelo digital del terreno al tener variaciones importantes en el mismo, lo cual funcionará como punto de partida para la generación de nuevos modelajes en la etapa de montaje mecánico, con lo que se busca fortalecer la gestión ambiental y la metodología de construcción de los modelajes para que en el futuro, cuando la planta se encuentre en operación, se puedan generar modelajes con mayor precisión y evaluar la posibilidad de generar modelajes dinámicos a partir de las nuevas estaciones de monitoreo continuo SV200.
3. Construir otra serie de modelajes acústicos durante la fase de montaje mecánico, con la variante de utilizar varios equipos de monitoreo al mismo tiempo, durante 24 horas, para caracterizar los focos emisores así como los puntos de control.

4. Continuar con las medidas de mitigación de ruido implementadas actualmente dentro del proyecto, con los monitoreos de control periódicos ejecutados por el coordinador ambiental y cuando exista un cambio considerable en el tipo de actividades que se están llevando a cabo, elaborar otra serie de mapas estratégicos de ruido que ilustren las condiciones a partir de los nuevos focos emisores caracterizados y con ello determinar las áreas con riesgo de incumplimiento de los valores guía de la Corporación Financiera Internacional (IFC).

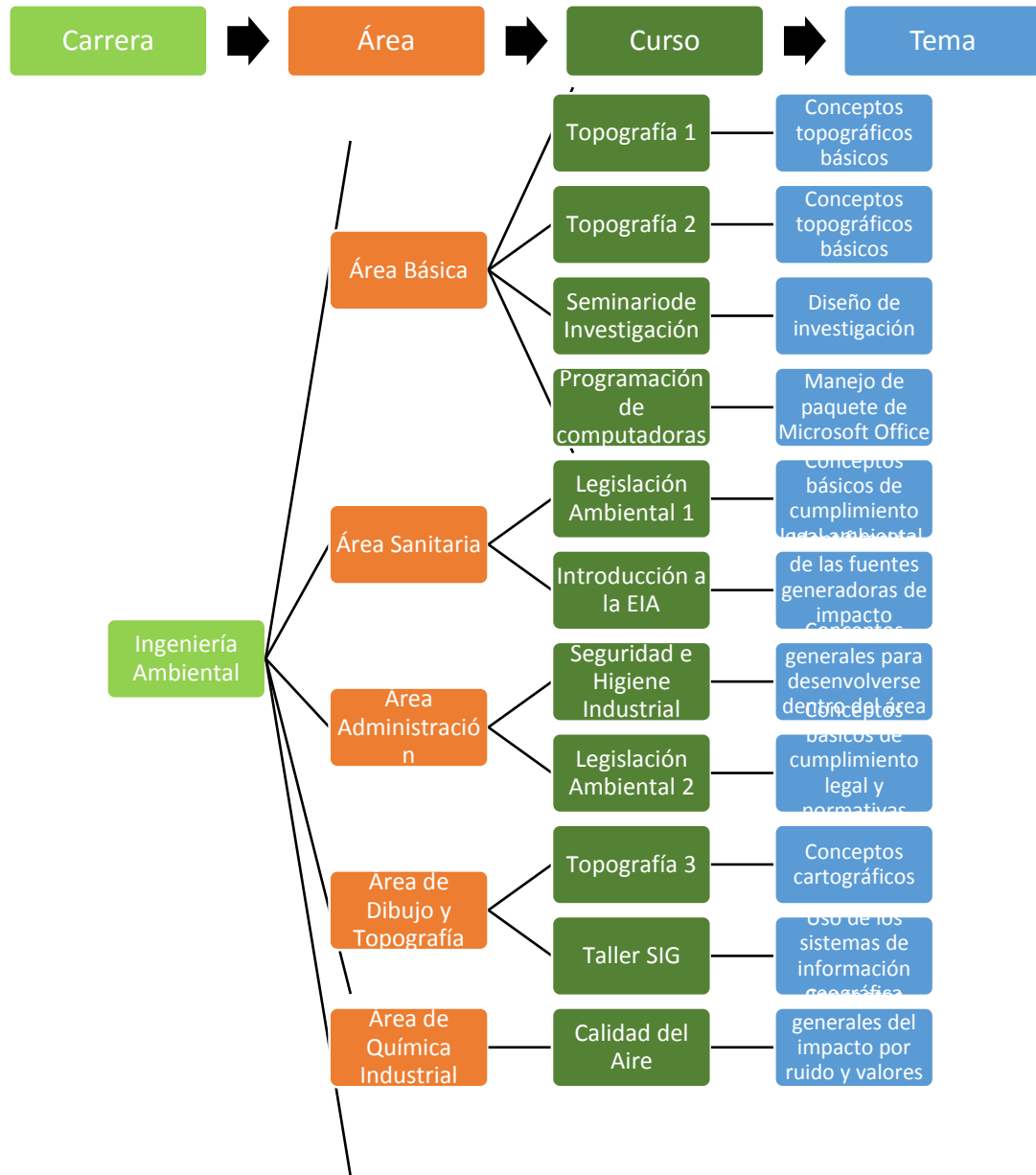
BIBLIOGRAFÍA

1. ARELLANO, Javier. *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. México D.F.: Alfaomega, 2006. 127 p. ISBN: 970-18-7961-9.
2. AYO, Felicísimo. *Ruido emitido por las máquinas*. Madrid: INSHT, 2013. 11 p. NIPO: 272-13-014-9.
3. BERGLUND, Birgitta; LINDVALL, Thomas; SCHWELA, Dietrich. *Guías para el ruido urbano*. Londres: OMS, 1995. 20 p.
4. BERGLUND, Birgitta. LINDVALL, Thomas. *Community Noise*. Estocolmo: OMS, 1995. 233 p.
5. ECHEVERRI, Carlos. “Construcción de modelos acústicos”. En: Tercer encuentro empresarial: Líderes en Ambiente, (Ecoquimsa 6 de octubre 2014), 3°. Guatemala 2014.
6. LLORENTE, Jimena; PETERS, Jens. *Contaminación acústica y ruido*. Madrid: Ecologistas en Acción, 2013. 16 p.
7. MESA SILVA, Miguel. “Propagación de ruido, Mapas de Grilla. Gauss Industry (TA-Luft)”. En: Capacitación en el uso del software de Modelación SOUNDPLAN con sus módulos para aire y ruido, (SM Tecnología, 21 y 22 de noviembre 2014), Guatemala, 2014.

8. MIYARA, Federico. *Control de ruido*. Rosario: Asolofal, 2000. 520 p. ISBN 987-98438-0-0.
9. MONROY, Manuel. *Manual del ruido*. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, 2006. 124 p. ISBN 84-690-0893-5.
10. RIPOLL GIMENO, Sara. *Evolución de la contaminación acústica provocada por el tráfico de la N-332 en Altea*. Trabajo final de carrera. Director: Joan Martínez Mora. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Politécnica Superior de Gandia, 2010. 90 p.
11. SUTER, Alice. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo: capítulo 47. *Ruido*. 3a ed. Madrid: Chantal Dufresne, 1998. 20 p.
12. SAMPIERI, Roberto; COLLADO, Carlos; BAPTISTA, Pilar. *Metodología de la investigación*. 5a ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2010. 613 p. ISBN: 978-607-15-0291-9.
13. VIRO, G.; BONELLO, O.; GAVINOWICH, D.; RUFFA, F. *Protocolo de mediciones para trazado de mapas de ruido normalizados*. Universidad de Buenos Aires, Laboratorio de Acústica y electroacústica. 2002. Trabajo profesional. 61 p.

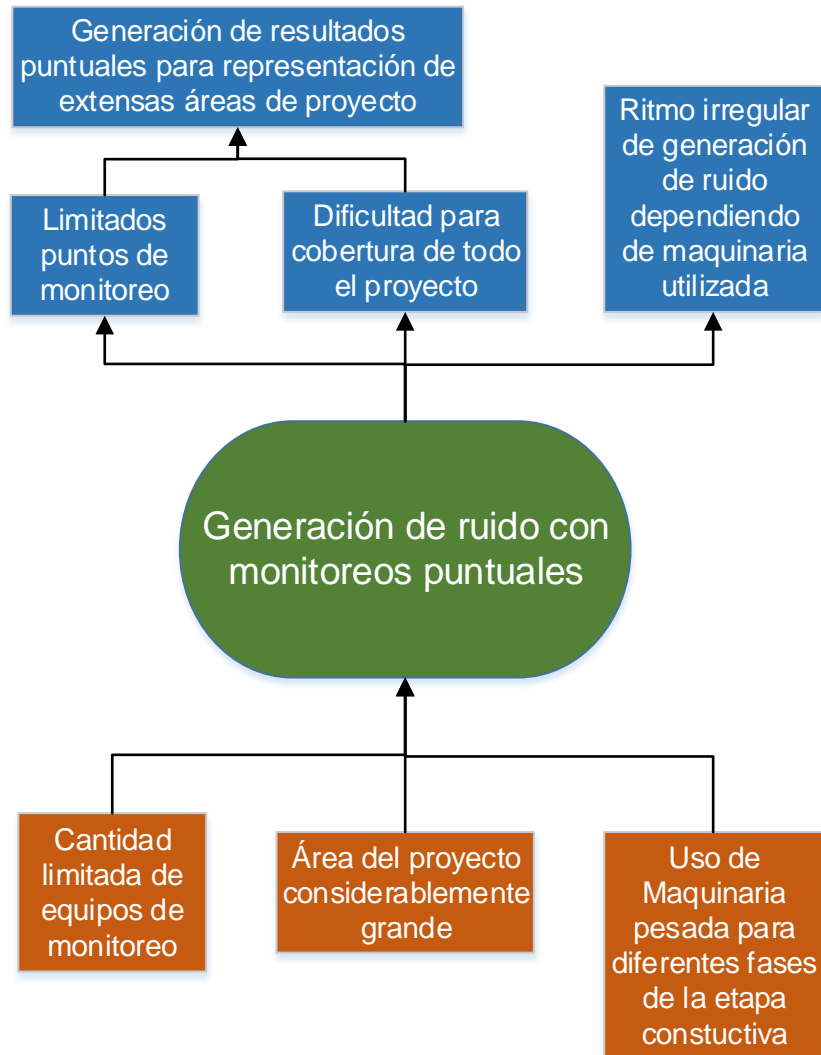
ANEXO

Anexo 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: 3M SoundPro Outdoor Kit Instructions. p. 3 / Monitoreo de ruido proyecto SG.

Anexo 2. Árbol de problema



Fuente: 3M SoundPro Outdoor Kit Instructions. p. 3 / Monitoreo de ruido proyecto SG.

Anexo 3. **Montaje de kit para exteriores**

Montaje de kit de exteriores.

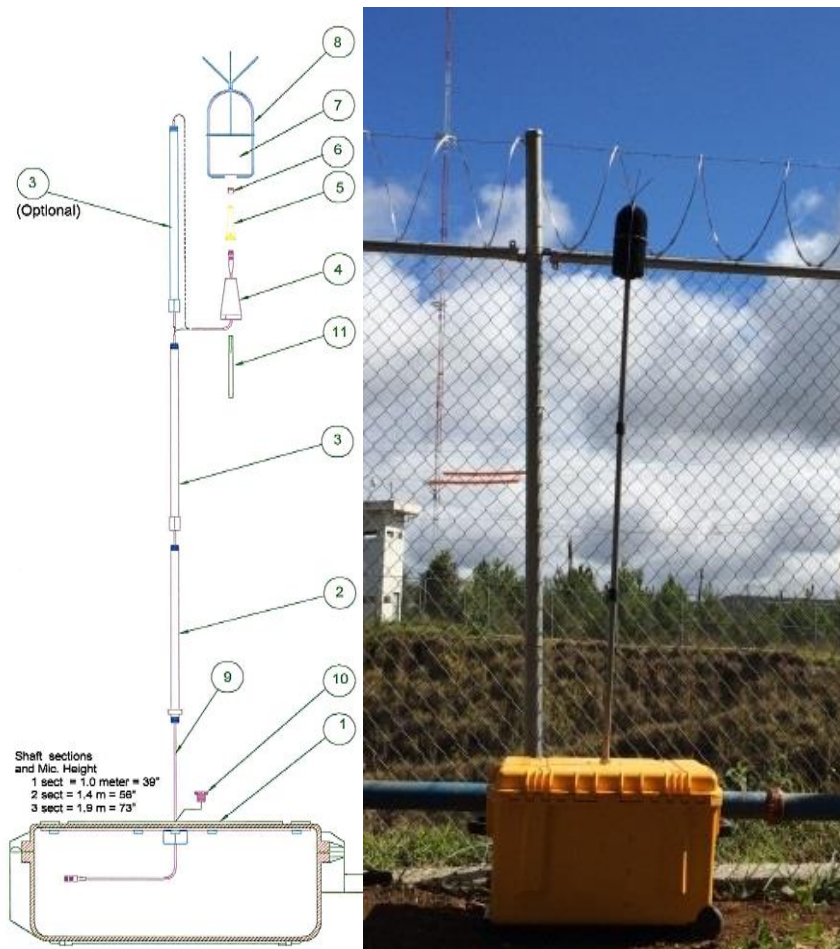
Instrucciones de campo

Montaje del micrófono de exteriores, mástil y kit de exteriores.

- a) Ensamblaje de las piezas del mástil: atornillar pieza 2 con pieza 3. Es posible agregar otra pieza por si la medición se efectuará a mayor altura ya que el final de la pieza 3 conecta con el micrófono.
- b) Desde el interior del kit de exteriores, pieza 1, introducir la hembra del cable de ensamblaje, pieza 9, a través de la abertura del kit de exteriores.
- c) Para facilitar la inserción se puede lubricar el conector con aceite. Luego insertar la terminación hembra a través del mástil y luego en el adaptador preamplificador, pieza 4. La herramienta para insertar, pieza 11, será necesaria para empujar el conector a través del adaptador preamplificador.
- d) Ensamblar el adaptador preamplificador, pieza 4, al mástil y luego el mástil al kit de exteriores atornillando las dos piezas.
- e) Atornillar el micrófono, pieza 6, en el preamplificador, pieza 5, conectar el preamplificador correctamente a la terminación hembra del cable al orientar y conectar apropiadamente el conector.
- f) Tomar el preamplificador y empujar el empaque de hule hacia adentro hasta que se encuentre fijamente colocado.
- g) Insertar la pantalla para viento, pieza 7, dentro de la estructura para alejar aves (bird spikes), pieza 8, luego se coloca sobre el micrófono preamplificador. Abrir suavemente la estructura e insertar en los agujeros del adaptador.

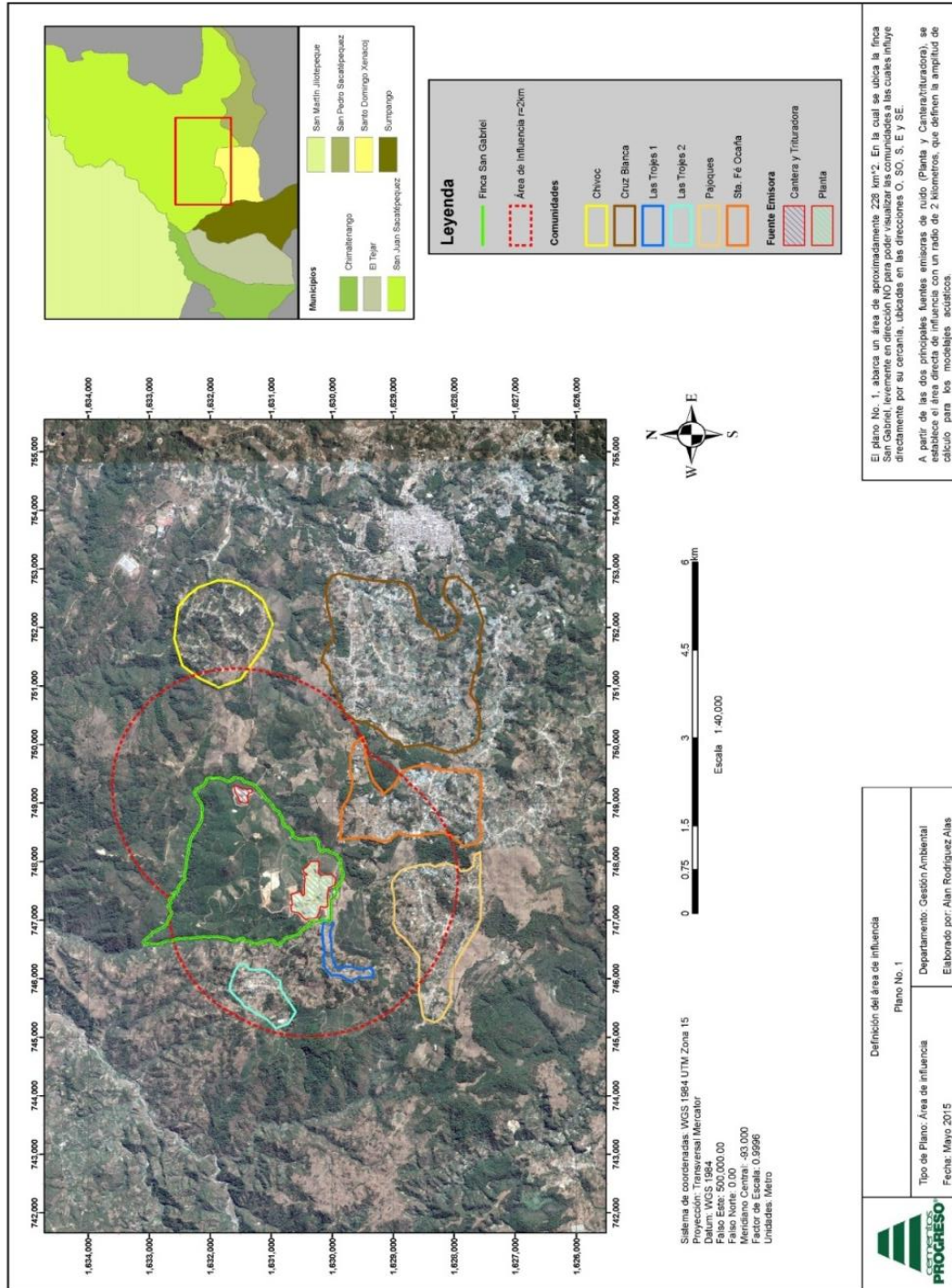
En la figura 1 (Izquierda) se muestra la referencia a las piezas descritas en los incisos anteriores para el montaje y (derecha) una fotografía del kit listo para efectuar las mediciones.

Figura 1. **Montaje del kit**

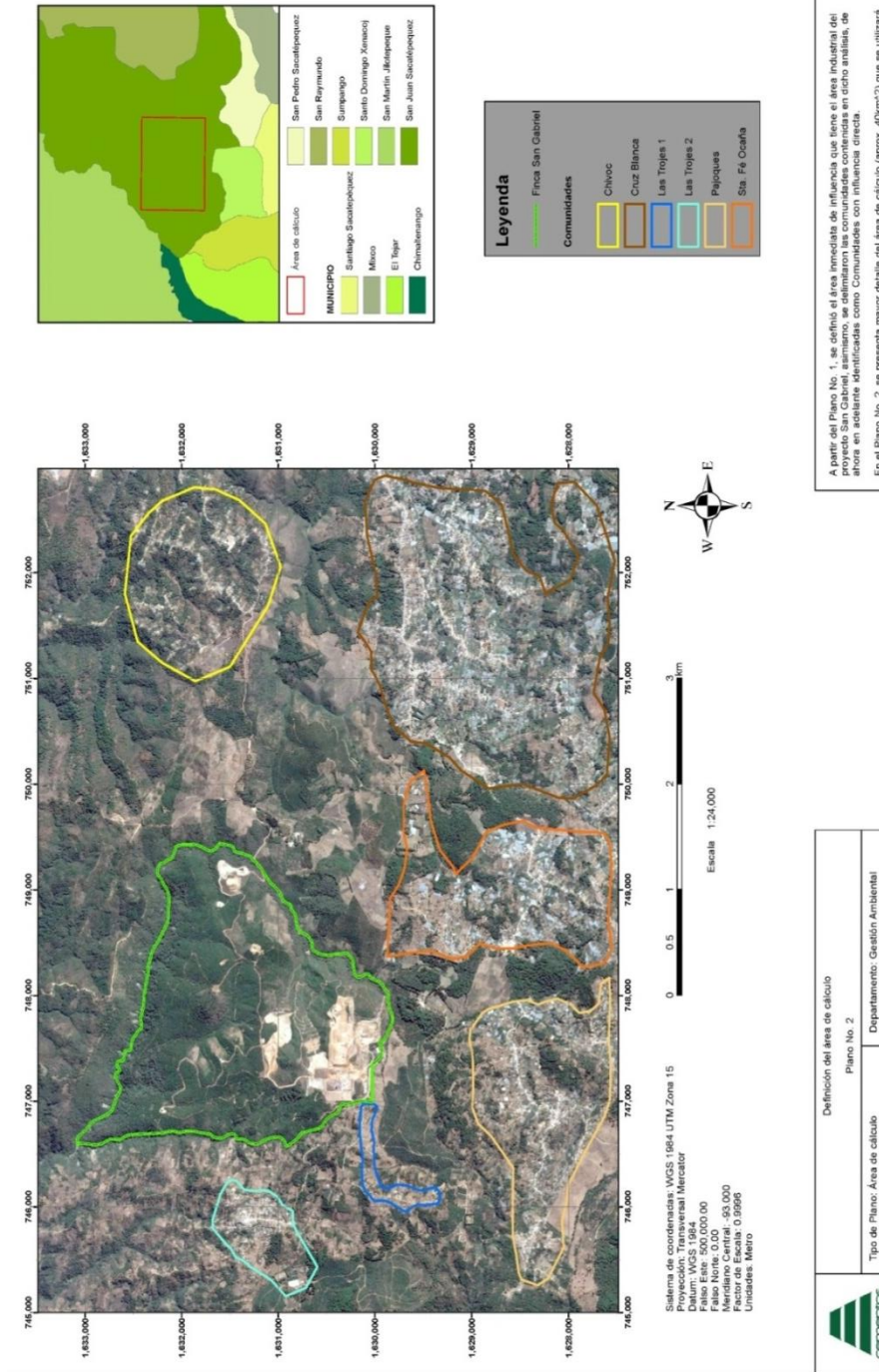


Fuente: 3M SoundPro Outdoor Kit Instructions. p. 3 / Monitoreo de ruido proyecto SG.

Anexo 4. Planos: Definición del área de influencia y cálculo

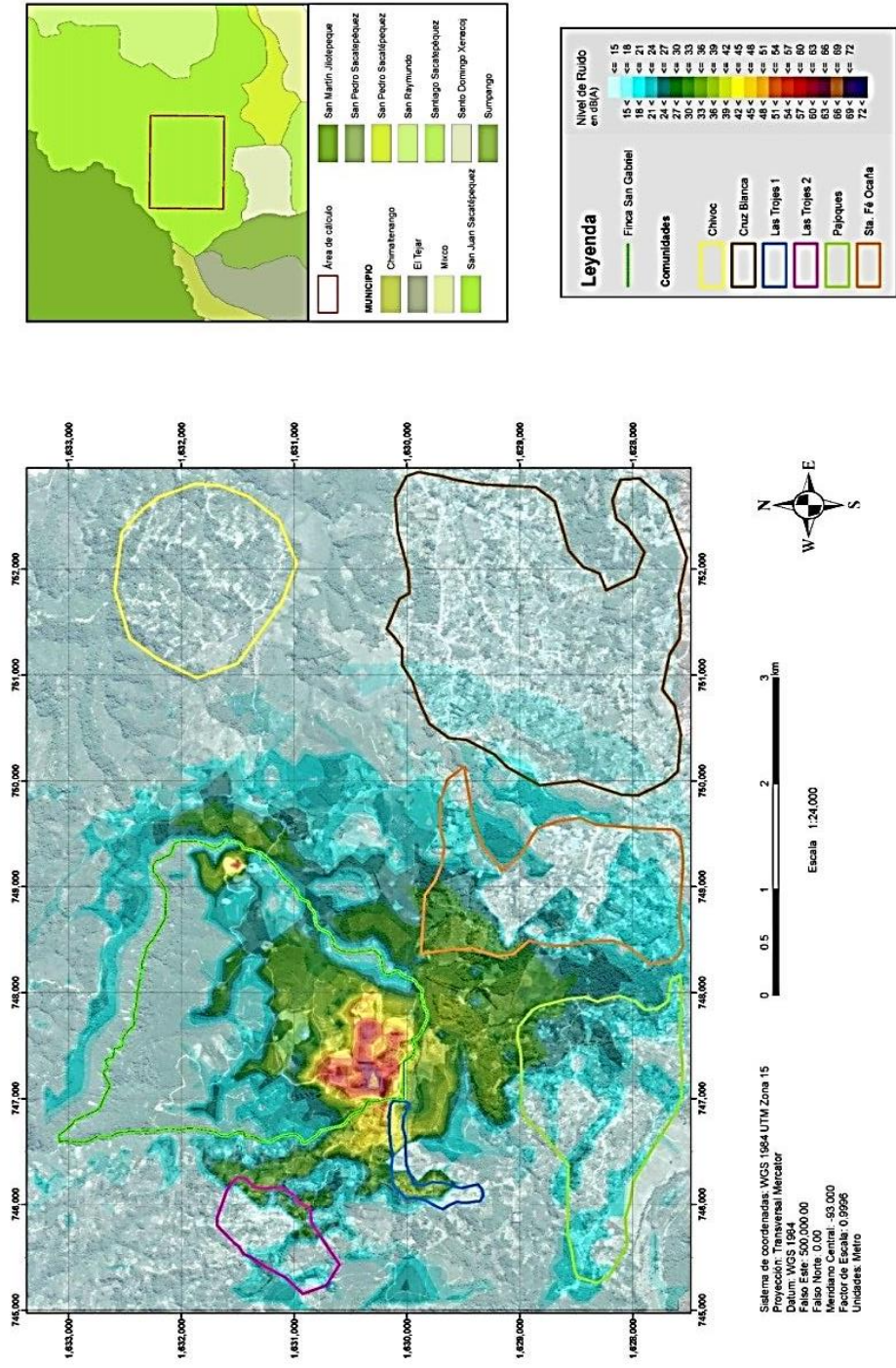


Continuación del anexo 4.



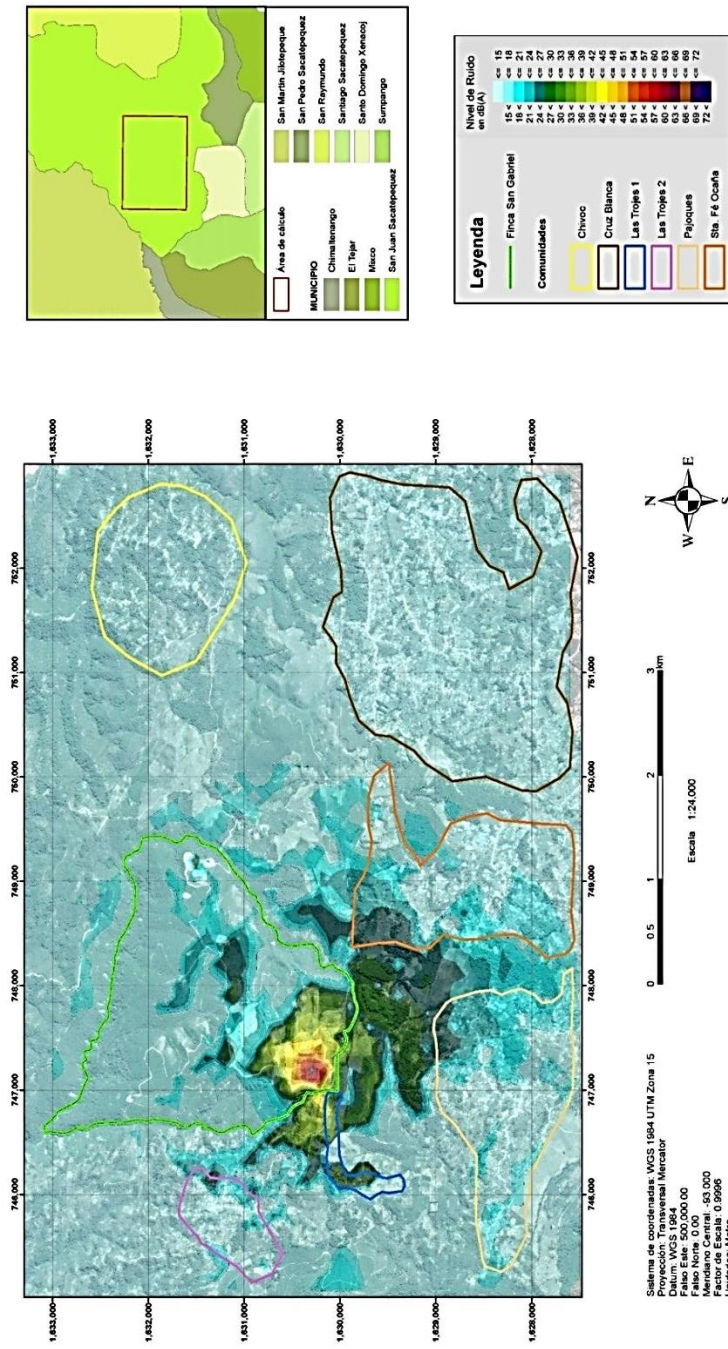
Fuente: 3M SoundPro Outdoor Kit Instructions, p. 3 / Monitoreo de ruido proyecto SG.

Anexo 5. Planos: Mapas estratégicos de ruido



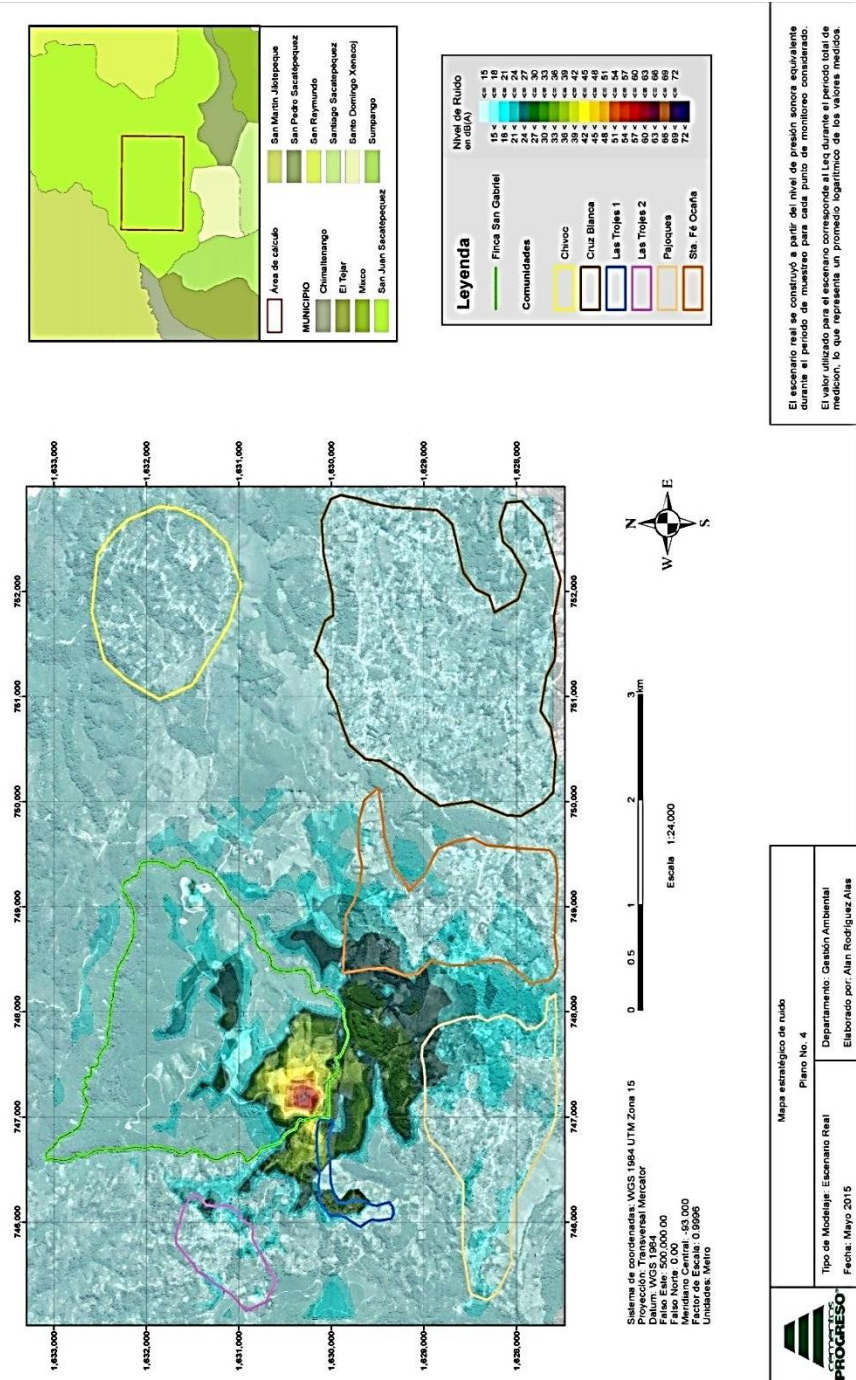
El escenario crítico se constituyó a partir del nivel de presión sonora máximo medido durante el periodo de muestreo para cada punto de monitoreo considerado. El valor máximo considerado corresponde al valor más alto de L_{max} durante el periodo de medición.

Continuación del anexo 5.



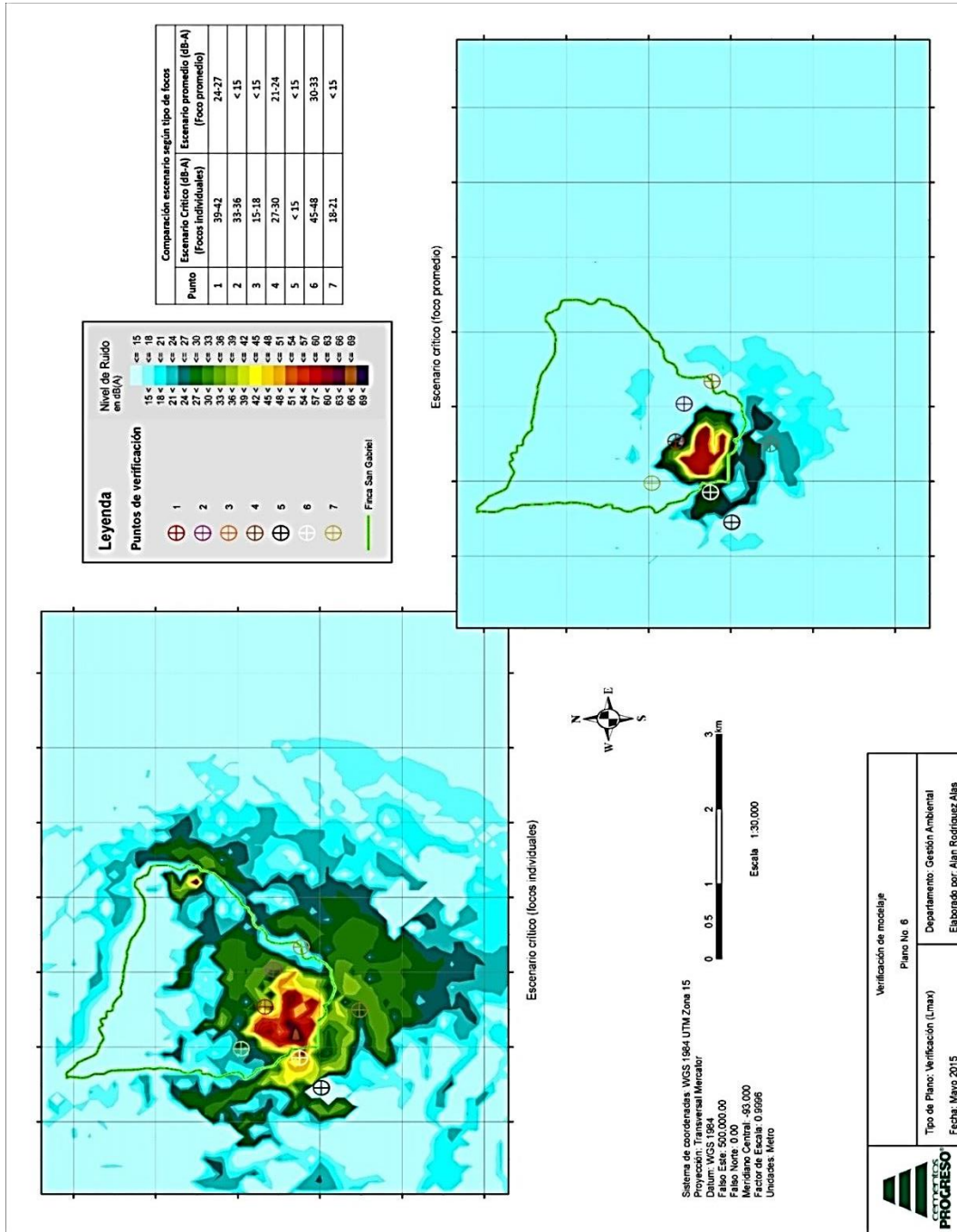
El escenario real se construyó a partir del nivel de presión sonora existente durante el periodo de muestreo para cada punto de monitoreo considerado. El valor utilizado para el escenario correspondiente a las demás el periodo total de medición, lo que representa un promedio logarítmico de los valores medidos.

Continuación del anexo 5.



Fuente: 3M SoundPro Outdoor Kit Instructions. p. 3 / Monitoreo de ruido proyecto SG.

Anexo 6. Plano: Verificación de modelaje



Fuente: 3M SoundPro Outdoor Kit Instructions. p. 3 / Monitoreo de ruido proyecto SG.