

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE POSGRADO

DIPLOMADO EN GEOTERMIA PARA AMERICA LATINA

EDICION 2016



TEMA: Modelación de dispersión de H₂S y Ruido en un
campo Geotérmico

PRESENTAN:

Ricardo Ernesto Beltranena Martínez

Emerson Alberto Hernández Cruz

ASESOR:

Ing. Luis Alberto Franco Nolasco

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2016

INDICE

1. Introducción.....	6
2. Planteamiento del problema.....	7
3. Justificación del estudio	8
3.1. Propósito del proyecto	8
3.2. Justificación	8
4. Objetivos.....	9
4.1. Objetivo general.....	9
4.2. Objetivos específicos.....	9
5. Marco teórico.....	10
5.1. Sulfuro de Hidrogeno	10
5.1.1. Propiedades físicas y químicas del Sulfuro de Hidrogeno.....	10
5.1.2. Estándares de calidad ambiental del aire para Sulfuro de Hidrogeno. .	11
5.1.3. Sulfuro de Hidrogeno	11
5.1.4. Evaluación del riesgo a la salud.....	12
Tabla 1: Efectos del Sulfuro de Hidrogeno de acuerdo a la concentración	12
5.2. Ruido	14
5.2.1. Generalidades	14
5.2.2. Normativa aplicable	15
Ilustración 1: Estándar de Calidad Ambiental de Ruido.....	15
5.2.3. Impactos asociados a la emisión de ruido en un proyecto geotérmico	15
6. Metodología	17
6.1. Modelación de dispersión de Sulfuro de Hidrogeno	17
6.1.1. Modelación de Dispersión de contaminantes	17
Ilustración 2: Representación esquemática de datos de entrada y salida de un modelo de dispersión	18
6.1.2. Modelo de dispersión gaussiana para una pluma de fuente puntual	18
Ilustración 3: Representación gráfica de una distribución gaussiana doble en una pluma de fuente puntual.....	20

6.1.3.	Modelo de dispersión SCREEN 3	20
6.1.4.	Modelación de dispersión de H2S	21
6.1.4.1.	Datos meteorológicos de la zona de estudio	21
	Gráfica 1: Rosa de los vientos de la zona en estudio.	22
6.1.4.2.	Puntos específicos a cierta distancia de la fuente y sus elevaciones corregidas con respecto a esta	23
6.1.4.2.1.	Determinación de puntos en estudio	23
	Ilustración 4: Cálculo de parámetros geométricos entre la fuente y los receptores Microsoft Excel.	23
6.1.4.2.2.	Modelo de elevación corregido	23
6.1.4.3.	Datos de la fuente emisora de Sulfuro de Hidrogeno.	24
	Tabla 2: Datos de entrada para modelamiento en SCREEN3.....	24
6.2.	Metodología para modelación de dispersión de ruido	24
6.2.1.	PASO 1: Recolección de línea base.	24
6.2.1.1.	Selección de los puntos de monitoreo	25
	Tabla 3: tabla de comunidades y su distancia con respecto a la planta geotérmica.	25
6.2.1.2.	Calibración en campo	25
	Fotografía 1: calibración de sonómetro en campo.	26
6.2.1.3.	Mediciones	26
6.2.2.	PASO 2 :Modelado de atenuación de ruido e incremento	27
6.2.2.1.	Preparar una red de puntos a predecir	27
	Ilustración 5: Red de puntos a predecir	28
6.2.2.2.	Elaboración del modelo de elevación corregido	28
6.2.3.	PASÓ 3. Uso de las metodologías modelo de predicción	29
6.2.3.1.	ISO 9613-1:1993	29
6.2.3.2.	ISO 9613-2:1996	32
6.2.4.	PASO 4 Uso de programa en línea	34
	Ilustración 6: Interactive Sound Level Calculator MAS ENVIROMENTAL.....	34
6.3.	PASO 5: Elaboración de mapas de atenuación e incremento de ruido	35

6.3.1. Uso de Surfer para elaborar los mapas de Ruido.....	35
Ilustración 7: Elabora la Grid del mapa	35
6.4. Uso de ISO 1996-1, ISO 1996-2.	36
7. Interpretación de resultados.	37
7.1. Resultados de la modelación de dispersión de Sulfuro de Hidrogeno	37
Mapa 1: modelo de predicción de dispersión de Sulfuro de Hidrogeno	38
7.1.1. Verificación del modelo	38
7.1.2. Equipo de medición de Sulfuro de Hidrogeno	39
Fotografía 2: Equipo de medición de Sulfuro Hidrogeno Jerome 631 [Diplomado, 2016].	39
7.2. Resultados de la modelación de propagación de ruido	40
7.2.1. Resultados de la predicción de modelado Atenuación, significancia ...	41
Mapa 2: Nivel de Ruido	41
Mapa 3: Significancia de ruido	42
8. Conclusiones.....	43
9. Recomendaciones.....	44
10. Agradecimientos	45
11. Referencias	46
12. ANEXOS	48
12.1. Anexo1	49

Resumen

En el presente trabajo se muestran los resultados del modelamiento de Sulfuro de Hidrogeno y dispersión de ruido para una planta geotérmica en El Salvador. Para obtener el modelamiento de Sulfuro de Hidrogeno se utilizó un modelo de pluma gaussiana de fuente puntual, esto fue simulado por medio del Software SCREEN3, cuyos datos necesarios fueron obtenidos de datos históricos de la planta en estudio así como datos topográficos y meteorológicos de la zona. Al final del modelamiento se puede apreciar satisfactoriamente que ninguna de las comunidades aledañas a la planta geotérmica, es afectada por el aspecto ambiental de las emisiones de Sulfuro de Hidrogeno. En lo que a la dispersión de ruido se refiere los datos necesarios para llevar a cabo este estudio fueron tomados en campo, se utilizaron también datos topográficos de la zona y un software en línea distribuido por MAS ENVIRONMENTAL. Al igual que con el análisis de Sulfuro de Hidrogeno el resultado fue satisfactorio puesto que ninguna de las comunidades aledañas a la planta geotérmica, es afectada por el aspecto ambiental de la generación de ruido. Sin embargo este estudio puede ser muy útil para replicar las metodologías utilizadas en otros proyectos geotérmicos donde se deseen evaluar los mismos aspectos ambientales.

1. Introducción

Dos de los principales aspectos ambientales de la explotación geotérmica son las emisiones de gases no condensables y la generación de ruido. Entre los gases no condensables que se encuentran en mayor proporción en el vapor geotérmico durante una explotación geotérmica, se encuentra el Sulfuro de Hidrogeno H_2S . Debido al particular olor del H_2S (Huevos podridos) y a que es toxico e incluso mortal a altas concentraciones, lo convierte en uno de los principales focos de atención a la hora de los estudios ambientales en proyectos geotérmicos.

Por su parte la generación de ruido no es un aspecto a dejar de lado puesto que aunque es de naturaleza completamente distinta a las emisiones de H_2S , altos niveles de exposición en tiempos prolongados pueden causar daños a la salud, que pueden ir desde daño al sistema auditivo e incluso alteraciones al sistema nervioso y problemas cardiovasculares.

Con herramientas actuales que hacen uso de la tecnología, se puede modelar la dispersión de H_2S para predecir propiedades físicas en la atmosfera como transporte, dispersión, deposición y reacciones químicas y así poder estimar concentraciones que un a lo largo de distintas distancias, herramientas similares pueden ser muy útiles para modelar la propagación de ruido y proponer medidas para su atenuación.

El presente trabajo plantea el uso de herramientas informáticas para el modelamiento de H_2S así como para la atenuación de ruido, utilizando datos de una plata geotérmica en El Salvador. Esto será útil para proponer medidas ambientales que permitan reducir los impactos de los dos aspectos ambientales (emisión H_2S y ruido) analizados en este estudio.

2. Planteamiento del problema

Dos de los principales aspectos ambientales que afectan la calidad del aire durante la explotación geotérmica son las emisiones de gases no condensables y la generación de ruido. Entre los gases no condensables que se encuentran en mayor proporción en el vapor geotérmico y pueden afectar la salud de las personas expuestas durante una explotación geotérmica, se encuentra el Sulfuro de Hidrogeno H_2S . Debido al particular olor del H_2S (Huevos podridos) y a que es toxico e incluso mortal a altas concentraciones, lo convierte en uno de los principales focos de atención a la hora de los estudios ambientales en proyectos geotérmicos.

Por su parte la generación de ruido no es un aspecto a dejar de lado puesto que aunque es de naturaleza completamente distinta a las emisiones de H_2S , altos niveles de ruido en tiempos prolongados pueden causar daños a la salud, que pueden ir desde interferencia en la comunicación, daño al sistema auditivo e incluso alteraciones al sistema nervioso y problemas cardiovasculares.

Existen herramientas actuales que pueden modelar la dispersión de H_2S y atenuación de ruido.

3. Justificación del estudio

3.1. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar una metodología para la modelación de H₂S y atenuación de ruido, que permita predecir potenciales impactos ambientales generados por estos dos aspectos ambientales y así proponer medidas para mitigar, atenuar o eliminarlos potenciales impactos negativos del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) y emisión de ruido presente en la actividades de generación eléctrica de una planta geotérmica.

3.2. Justificación

Actualmente en El Salvador el aprovechamiento geotérmico analiza el comportamiento del sonido y concentraciones de H₂S esto debido a que son aspectos ambientales significativos en la actividad geotérmica, representado en un área determinada su comportamiento en cierto periodo de tiempo, como parte del proceso de evaluación ambiental de los proyectos específicamente en el componente de calidad de aire, además en las posteriores etapas de los proyectos geotérmicos se debe monitorear estos parámetros con respecto a la línea base y dar cumplimiento a las medidas que se pudieron haber propuesto para mitigar los potenciales impactos negativos de los aspectos ambientales concentración de H₂S y ruido. Es por ello que es necesario definir metodologías para la modelación de estos aspectos ambientales y poder tener una guía a seguir para dar cumplimiento a las diferentes normativas nacionales e internacionales para evitar posibles afectaciones a las poblaciones que están en el radio de influencia de los proyectos geotérmico, esta metodología podría arrojar una visualización de los sectores donde se puede intervenir para mitigar los niveles de presión sonora nocivos así como las concentraciones nocivas de H₂S.

Así mismos estas metodologías para atenuación de ruido pueden aplicarse entre los campos: industrias, minería, fábricas, empresas, actividad construcción, aeropuertos, líneas de ferrocarriles, carreteras, lugares de esparcimiento y finalmente en el análisis del comportamiento acústico de centros urbanos. Para H₂S podría aplicar para emisiones en volcanes, fumarolas, pantanos, cuerpos estancados de agua, y también es encontrado en lugares donde hay presencia de petróleo y gas natural, alcantarillados, plantas de tratamientos de aguas residuales y procesos asociados a fabricación de papel.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Desarrollar una metodología de modelación de dispersión de H₂S y atenuación de ruido para una planta geotérmica, identificar sus impactos y proponer medidas ambientales.

4.2. Objetivos específicos

- Desarrollar una metodología para la modelación de dispersión H₂S y atenuación de Ruido en una planta geotérmica, con el fin de que este método sea de utilidad para futuras evaluaciones de impacto ambiental.
- Utilizar los datos obtenidos de la modelación de dispersión de H₂S y atenuación ruido en una planta geotérmica con el fin determinar la magnitud los impactos potenciales producidos por estos dos aspectos ambientales dependiendo de las zonas más afectadas.
- Proponer medidas ambientales para los impactos ambientales predichos

5. Marco teórico

5.1. Sulfuro de Hidrogeno

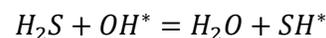
5.1.1. Propiedades físicas y químicas del Sulfuro de Hidrogeno

El sulfuro de hidrogeno es inflamable e incoloro a temperatura y presión ambiental y con un olor muy característico a huevos podridos. Usualmente los niveles de sulfuro de hidrogeno son muy bajos en el aire. La cantidad de sulfuro de hidrogeno típicamente encontrada en el aire ha sido estimada entre 0.11 y 0.33 ppb ($0.15-0.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

El sulfuro de Hidrogeno no absorbe la radiación solar a nivel de la troposfera por lo que se cataloga como químicamente estable. El tiempo atmosférico de vida del H_2S es afectado por la temperatura del ambiente y otros factores como humedad, luz solar y la presencia de otros contaminantes. También se conoce que las temperaturas bajas, la luz solar, así como los bajos niveles de radicales hidróxido en las regiones del norte durante el invierno, incrementan el tiempo atmosférico de residencia del H_2S .

Después de descargado al aire, el H_2S se dispersa y con el tiempo es removido. Su tiempo de residencia en la atmosfera puede ir desde un día hasta cuarenta días, dependiendo de la estación, latitud y condiciones atmosféricas.

El H_2S liberado a la atmosfera es oxidado al reaccionar con radicales OH. El mecanismo más probable de absorción de hidrogeno es el siguiente



Con la constante de reacción de $k_{298} = (4.5 \pm 1.0)10^{-12} \text{ cm}^3\text{molecula}/\text{segundo}$

La dependencia de la temperatura de la constante (K), sigue la ecuación de Arrhenius:

$$K = Ae^{-E/RT}$$

Donde A, E y R son las constante de Arrhenius (factor de frecuencia), energía de activación y constante universal de los gases respectivamente.

El radical SH es oxidado a una molécula transitoria de HSO_3 y luego a ácido sulfúrico (H_2SO_4) como producto final. Otras reacciones paralelas de H_2S con otros oxidantes tales como NO_2 , O_2 y O_3 no son importantes al ser mucho más lentas que la reacción de oxidación con radicales OH.

El sulfuro de hidrogeno es encontrado en casi todos los fluidos geotérmicos de alta temperatura ($T > 150^\circ C$) y es formado posiblemente por uno o más de los siguientes mecanismos

- Reacción del sulfuro presente en rocas del reservorio y el agua caliente
- Exhalación magmática
- Metamorfismo termal de rocas marinas sedimentarias

5.1.2. Estándares de calidad ambiental del aire para Sulfuro de Hidrogeno.

Para el caso de el Salvador no hay un estándar de calidad del aire que regule las emisiones de H_2S , sin embargo las directrices establecidas por la Organización Mundial de la Salud han sido adoptadas.

Las guías de calidad del aire, segunda edición en su sección de contaminantes Inorgánicos, reserva un apartado para el Sulfuro de Hidrogeno el cual dicta lo siguiente:

5.1.3. Sulfuro de Hidrogeno

Los típicos síntomas de intoxicación por Sulfuro de Hidrogeno son en su mayoría causados por concentraciones relativamente altas que se dan en lugares de trabajo. Hay muchas ocupaciones donde hay un riesgo potencial de intoxicación por Sulfuro de Hidrogeno y de acuerdo al instituto nacional de seguridad y salud ocupacional de los

Estados Unidos, solamente en los Estados Unidos, aproximadamente 125,000 trabajadores están potencialmente expuestos al Sulfuro de Hidrogeno. Concentraciones bajas puede que ocurran de forma continua en ciertas industrias como la producción de seda, producción de papel, refinerías de petróleo plantas de energía geotérmica.

En las áreas geotérmicas hay un riesgo de exposición al sulfuro de Hidrogeno para la población en general. La biodegradación de desechos industriales ha sido reportada como causa de enfermedades en la población en general. Una descarga accidental de Sulfuro de Hidrogeno en los alrededores de instalaciones industriales, puede causar efectos severos como fue el caso de Poza Rica, México donde 320 personas fueron hospitalizadas y 22 murieron. La existencia de bajas concentraciones de Sulfuro de Hidrogeno alrededor de ciertas instalaciones industriales es un hecho bastante conocida.

5.1.4. Evaluación del riesgo a la salud

El primer efecto notable del Sulfuro de Hidrogeno a bajas concentraciones es su particular nada agradable olor. La irritación ocular es el siguiente síntoma y causa ojos llorosos a concentraciones entre 70-140 mg/m³ la Tabla 1: muestra los efectos de diferentes concentraciones de Sulfuro de Hidrogeno al ser expuesta una persona.

Concentración de Sulfuro de Hidrogeno		Efecto
mg/m ³	ppm	
1400-2800	1000-2000	Colapso Inmediato con parálisis a la respiración
750-1400	530-1000	Fuerte estimulación al sistema nervioso central, hiperpnea seguida de paro respiratorio.
450-750	320-530	Edema pulmonar con riesgo de muerte
210-350	150-250	Pérdida del sentido olfativo
70-140	50-100	Daño ocular severo
15-30	10-20	Umbral de irritación ocular

Tabla 1: Efectos del Sulfuro de Hidrogeno de acuerdo a la concentración

Los peligros que causa la exposición a concentraciones altas de Sulfuro de hidrogeno, son relativamente bien conocidos, pero información en lo que se refiere a la exposición a concentraciones bajas es aún muy escasa. Se ha reportado que los trabajadores expuestos a concentraciones de Sulfuro de Hidrogeno de menos de 30 mg/m^3 , tienen efectos neurológicos y síntomas mentales y no muestran diferencias significativas estadísticamente hablando cuando se comparan con un grupo de control. Por otro lado se han reportado cambios en la hemossíntesis a concentraciones de Sulfuro de Hidrogeno de menos de 7.8 mg/m^3 ($1.5\text{-}3 \text{ mg/m}^3$ en promedio), no se sabe si la inhibición es causada por las bajas concentraciones o por los efectos acumulados de picos altos ocasionales en la concentración. Es muy probable que a concentraciones debajo de 1.5 mg/m^3 (1ppm), incluso con exposiciones prolongadas no hay muchos peligros de salud detectables en el sentido toxicológico.

El mal olor del Sulfuro de Hidrogeno, es razón de molestia para una gran proporción de la población en general, a concentraciones debajo de los 1.5 mg/m^3 , pero al menos basándose en los datos existentes, no se puede concluir si hay efectos sobre la salud. Es obvia la necesidad de estudios epidemiológicos de los posibles efectos de la exposición prolongada a bajos niveles de Sulfuro de Hidrogeno, como también es necesario un indicador satisfactorio de exposición biológica.

El nivel más bajo observado que produce efectos adversos (LOAEL por sus siglas en inglés) es de 15 mg/m^3 , que es cuando hay irritación ocular. En vista del rápido ascenso en los efectos producidos dependiendo de la concentración, basándose en los reportes se sabe que existe un serio daño ocular a 70 mg/m^3 . Un factor de incertidumbre de 100 es recomendado, lo que lleva a un valor de referencia de 0.15 mg/m^3 ($150 \mu\text{g/m}^3$) en un tiempo promedio de 24 horas. Se debe tener en cuenta que hay una pequeña variación en la hemossíntesis a concentraciones de Sulfuro de Hidrogeno de 0.15 mg/m^3 .

Para evitar quejas substanciales por el olor en la población que tiene exposición a este gas, las concentraciones de Sulfuro de Hidrogeno no deberían exceder los 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un tiempo promedio de 30 minutos.

Cuando se desea establecer un límite para el aire, se debe tener en cuenta que en muchos lugares el Sulfuro de Hidrogeno es producido a partir de fuentes naturales.

5.2. Ruido

5.2.1. Generalidades

El ruido se encuentra en cualquier ambiente, pero dependiendo de su intensidad y tiempo de exposición puede causar daños al sistema auditivo de las personas. La Organización Mundial de la Salud (Guidelines for Community Noise, 1999) establece que un ruido emitido a partir de un valor de 30 dB puede ya causar dificultad para conciliar el sueño, e influye en la pérdida de su calidad. Con 40 dB en el ambiente se produce ya dificultad en la comunicación verbal. El sueño puede ser interrumpido con valores superiores a 45 dB; y el ruido entre valores de 50 y 55 puede causar malestar diurno entre moderado y fuerte para las personas expuestas. A partir de 65 dB la comunicación verbal se hace extremadamente difícil; y finalmente valores de ruido entre 75 y 140 dB pueden causar pérdida de oído (a largo, medio o corto plazo, en función de la duración del sonido y del número de exposiciones al mismo). En otros estudios, se han observado efectos sobre el sistema nervioso central, como la modificación del ritmo cardíaco. En estos mismos

estudios también se señala, que entre los 95 y 105 dB(A) se producen afecciones en el riego cerebral; alteraciones en el proceso digestivo, las que acarrearán úlceras duodenales, cólicos y otros trastornos intestinales; aumento de la tensión muscular y presión arterial; cambios de pulso en el electroencefalograma; dilatación de la pupila, alterando la visión nocturna, además de estrechamiento del campo visual. El ruido es, pues, un agente perturbador del sosiego público que no solo acarrea

problemas sociales, sino efectos negativos sobre la salud y el comportamiento de los individuos.

5.2.2. Normativa aplicable

Para este trabajo de investigación se utilizará como Estándar de Calidad Ambiental de Ruido (en las comunidades) el valor de 55 dB(A) propuesto por la OMS (Organización Mundial de la Salud) en la Guía para el ruido urbano publicada 1995. Para comprender mejor los niveles de ruido, los tipos de ambientes respecto al ruido y su relación con el estándar a utilizar se muestran la *Ilustración 1*

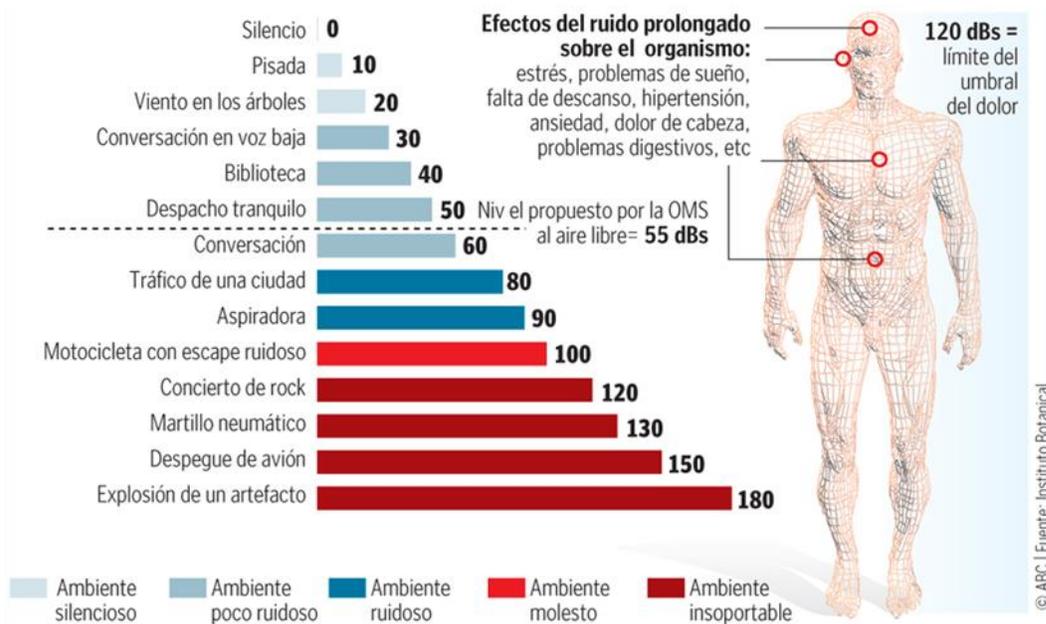


Ilustración 1: Estándar de Calidad Ambiental de Ruido

5.2.3. Impactos asociados a la emisión de ruido en un proyecto geotérmico

El ruido que ocurre en un proyecto geotérmico durante la exploración, construcción y producción, algunas veces superan el umbral del dolor (140 dB(A)). Dentro del lugar, los trabajadores deben protegerse los oídos o colocar silenciadores a las máquinas. El ruido

fuera del lugar puede ser reducido, restringiendo las operaciones ruidosas a las horas del día y construyendo pantallas de material que absorba el ruido (como por ejemplo, vegetación). Durante la operación normal, es posible mantener niveles de ruido bajo, de manera que a un kilómetro el ruido sea prácticamente indistinguible del ruido ambiental

Las principales fuentes de ruido en las instalaciones de generación de energía geotérmica son: los equipos relacionados con la conducción y manejo del vapor, turbinas, si tema de condensadores, bombas y torres de enfriamiento. Los niveles temporales de ruido pueden exceder los 100 dB(A) durante los disparos de las plantas y la tecnología de reducción del ruido incluye el uso de amortiguadores de piedra, aislamiento sonoro y barreras para esos eventos. Las guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad contienen recomendaciones adicionales para el manejo del ruido y las vibraciones en el trabajo, como por ejemplo el uso de equipo de protección adecuado.

6. Metodología

6.1. Modelación de dispersión de Sulfuro de Hidrogeno

6.1.1. Modelación de Dispersión de contaminantes

El modelamiento de dispersión, hace uso de ecuaciones matemáticas para describir tanto la atmosfera, dispersión química y procesos físicos que influyen en un contaminante cuando este es descargado desde fuentes con una geometría conocida y así calcular las concentraciones en los receptores de interés. Los modelos de dispersión pueden proveer de valores de concentraciones o deposiciones estimadas a partir de una cuadrícula casi ilimitada, cuya locación es especificada por quien está modelando y puede ser usada para evaluar diferentes escenarios de emisión. Dado lo anterior se puede decir que el modelamiento de dispersión es una herramienta muy útil a la hora de evaluar los impactos en la calidad del aire asociados con la existencia de una fuente específica de emisión. El resultado de analizar el modelamiento de dispersión puede contribuir al desarrollo de estrategias para asegurar el cumplimiento de los criterios evaluados.

Los modelos requieren información de la fuente o fuentes involucradas, incluyendo las tasas de emisión del contaminante y datos meteorológicos, además es necesaria también información topográfica del área de estudio. Con toda esta información los modelos sirven para modelar matemáticamente el transporte de los contaminantes y su dispersión. Los

resultados obtenidos son entonces las concentraciones del contaminante en estudio para un determinado periodo de tiempo y un receptor o receptores específicos.

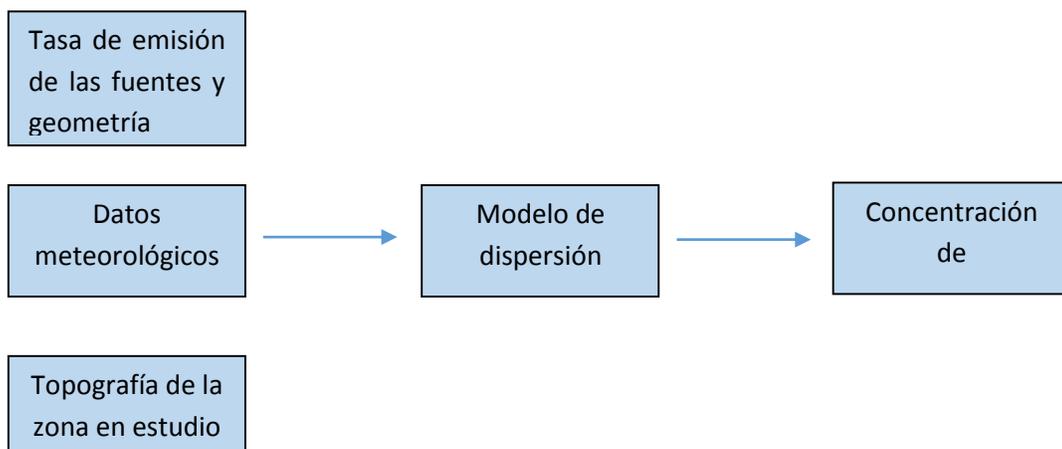


Ilustración 2: Representación esquemática de datos de entrada y salida de un modelo de dispersión

6.1.2. Modelo de dispersión gaussiana para una pluma de fuente puntual

Este tipo de modelo asume que el contaminante se dispersa de acuerdo a una distribución estadística normal. En el punto de descarga la concentración del contaminante es máxima y esta decrece tanto lateral como verticalmente siguiendo una distribución normal. La forma más general de la ecuación gaussiana de dispersión que es usada para una pluma de fuente puntual en estado estacionario es la siguiente:

$$C(x, y, z; H) = \frac{Q}{2\pi U_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left[\exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right]$$

Donde:

- C =Concentración del contaminante horaria en el punto (x,y,z) en $\mu g/m^3$
- Q =Tasa de contaminante (g/s)
- U_s =Velocidad media (m/s) del viento a la altura de la chimenea
- σ_y =Desviación estándar de la dispersión lateral
- σ_z =Desviación estándar de la dispersión vertical
- H =Altura de la fuente emisora sobre el nivel del suelo más la elevación del penacho (m)
- Y = Distancia lateral
- Z = Distancia vertical

El primer y segundo término exponencial representan las dispersiones lateral y vertical respectivamente. La distribución gaussiana determina el tamaño de la pluma en dirección del viento partiendo desde la fuente. El tamaño de la pluma depende de la estabilidad atmosférica y la dispersión de la pluma en las direcciones vertical y horizontal. Los coeficientes de dispersión horizontal y vertical (σ_y y σ_z respectivamente) no son más que la desviación estándar a partir de una curva de distribución gaussiana en las direcciones y y z . Los coeficientes de dispersión están en función de la velocidad del viento, nubosidad y la superficie calentada por el sol. La distribución gaussiana también requiere que el material en la pluma sea mantenido, en otras palabras, el borde de la pluma debe ser capaz de reflejarse en el suelo sin perder ninguna propiedad original del contaminante.

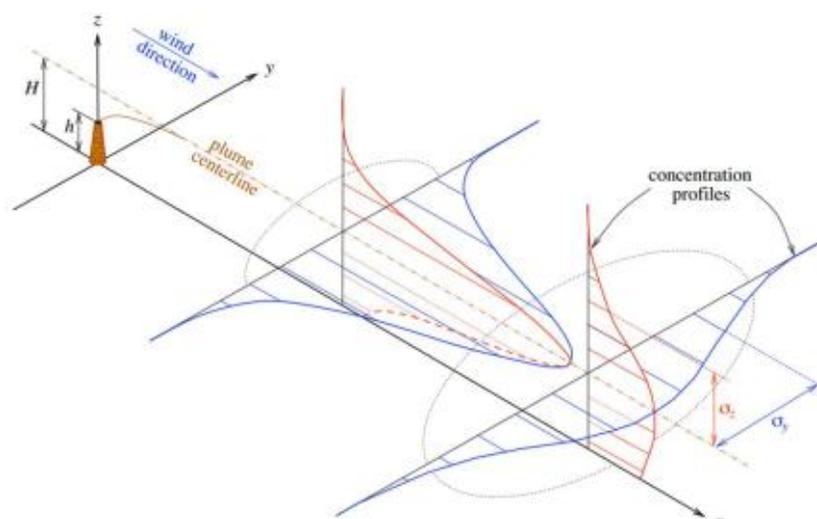


Ilustración 3: Representación gráfica de una distribución gaussiana doble en una pluma de fuente puntual

Además la distribución gaussiana y el alto de la pluma dependen de que el suelo sea relativamente plano a lo largo de la pluma. Dado que la topografía afecta el flujo del viento y su estabilidad, los terrenos irregulares afectaran la dispersión de la pluma al grado que la dispersión gaussiana deberá ser modificada.

6.1.3. Modelo de dispersión SCREEN 3

El modelo utilizado para este proyecto de investigación será SCREEN3 que es un modelo de cribado muy conservador ya que en su simplificación supone el peor caso para algunos parámetros que afectan a la dispersión de contaminantes. Es rápida y fácil de usar pues es un modelo estacionario, es decir, considera que las condiciones atmosféricas no varían durante el tiempo que dura la emisión. Es distribuido de forma gratuita por la compañía estadounidense Lakes Environmental, la cual es una compañía estadounidense que desde 1995 ha sido reconocida internacionalmente por su gran experiencia en desarrollo de software avanzado para el área de las ciencias ambientales.

Los datos de entrada que se necesitan para el modelo SCREEN3 son:

- Tipo de fuente
- Tasa de emisión de H₂S (g/s)
- Altura de la chimenea (m)
- Diámetro interior de la chimenea (m)
- Flujo de vapor a la salida (m³/s)
- Temperatura de vapor a la salida (°K)
- Temperatura ambiente (K)
- Altura de receptor sobre el suelo (m)
- Coeficiente de dispersión
- Tipo de terreno

- Distancia cercana (m)
- Distancia lejana (m)

6.1.4. Modelación de dispersión de H₂S

Para la modelación del H₂S dentro del Software SCREEN3 se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

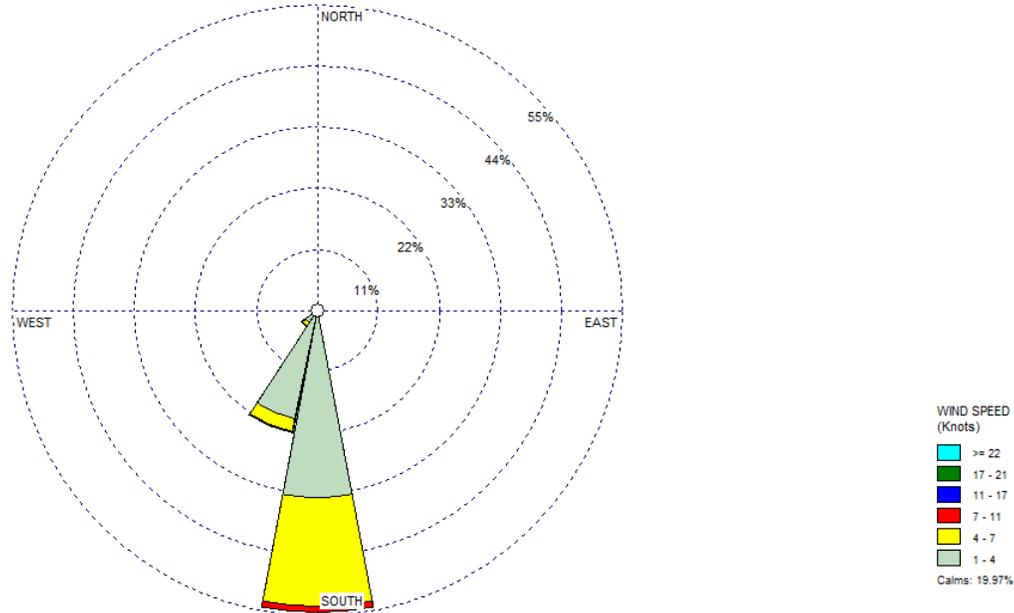
- Datos meteorológicos de la zona de estudio. (**Medio**)
- Puntos específicos a cierta distancia de la fuente y sus elevaciones corregidas con respecto a esta, que servirán para estimar la concentración de sulfuro de hidrogeno en dichos puntos. (**Receptor**)
- Datos de la fuente emisora de Sulfuro de Hidrogeno. (**Fuente**)

6.1.4.1. Datos meteorológicos de la zona de estudio

Más de 35,000 datos correspondientes a dirección y velocidad de los vientos monitoreados cada 10 minutos desde enero a octubre de 2016 fueron utilizados. Estos datos fueron obtenidos de una estación meteorológica cercana a la fuente de Sulfuro de Hidrogeno en estudio. Esta estación es administrada por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) de El Salvador.

Para simplificar y entender mejor estos datos en su totalidad se hace uso de un tipo de grafico conocido como Rosa de los vientos donde se presentan los vientos dominantes distribuidos por orientación a partir de su velocidad y frecuencia.

Para el caso de la zona en estudio, el grafico de rosa de los vientos es el siguiente:



Gráfica 1: Rosa de los vientos de la zona en estudio.

El software para generar el gráfico de rosa de los vientos fue WRPLOT distribuido gratuitamente por la compañía Lakes Environmental Software.

Como puede observarse la mayoría de los vientos van hacia el sur. De la tabla de datos para generar el gráfico pudo obtenerse que la velocidad promedio del viento durante el tiempo de estudio fue de 1.35 m/s.

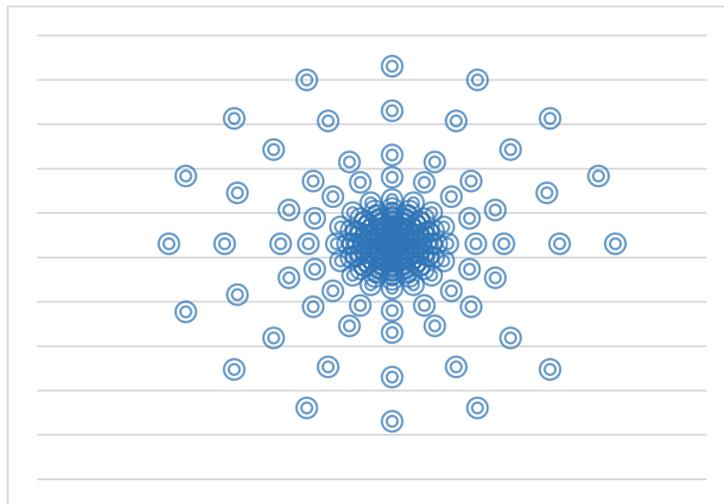
A pesar de tener una clara dirección del viento dentro de la zona en estudio, para nuestro modelamiento se considerará una velocidad del viento igual en todas las direcciones (1.35 m/s), puesto que se evaluará el peor de los casos como lo hace SCREEN3.

6.1.4.2. Puntos específicos a cierta distancia de la fuente y sus elevaciones corregidas con respecto a esta.

6.1.4.2.1. Determinación de puntos en estudio

Para este estudio, se ubica la fuente como centro de una circunferencia imaginaria de 2000 metros de radio, luego se dividió la circunferencia entre la cantidad de sectores a analizar, 16 sectores ($360^\circ/16=22.5^\circ$) y a lo largo de cada uno de los 16 radios se ubican distribuidas 12 distancias distintas (50, 100, 200,300, 350, 400, 500, 750, 1000,1500 y 2000), el resultado es como se muestra en la **Ilustración 4**.

Ilustración 4: Cálculo de parámetros geométricos entre la fuente y los receptores Microsoft Excel.



Este cálculo se realizó con Microsoft Excel para encontrar 226 puntos que servirán como receptores

6.1.4.2.2. Modelo de elevación corregido

Mediante un Modelo de Elevación Digital del área de estudio, se atribuyó a cada punto generado la elevación correspondiente con base a la topografía de la zona. A partir de

ello, estableciendo como cero la altura de la fuente, se pudo definir el grado de elevación (positivo o negativo) de cada uno de los puntos de cálculo respecto a la Planta, considerando una altura de 1.5m de receptor (altura promedio de una persona) en cada uno de estos puntos.

Se exporto el archivo a Microsoft Excel y se eliminan las pendientes negativas ajustando los datos de modo que al encontrar una pendiente negativa en el terreno, esta se considera igual a la anterior, simplificando estas zonas de pendiente negativa a un terreno plano. Esto no se hace con las zonas de pendiente positiva.

6.1.4.3. Datos de la fuente emisora de Sulfuro de Hidrogeno.

Los parámetros de la fuente con que alimentar el programa SCREEN3 fueron los siguientes:

Datos de entrada para programa Screen 3	Valor
TIPO DE FUENTE	PUNTUAL
TASA DE EMISION (G/S)	10
ALTURA DE LA CHIMENEA (M)	10
DIAMETRO DE LA CHIMENEA (M)	5
VELOCIDAD DE LA CHIMENEA (M/S)	7
TEMPERATURA DE CHIMENEA (K)	325
TEMPERATURA DEL AIRE (K)	295
ALTURA DEL RECEPTOR (M)	0
OPCION DE TERRENO RURAL/URBANO	RURAL

Tabla 2: Datos de entrada para modelamiento en SCREEN3

6.2. Metodología para modelación de dispersión de ruido

6.2.1. PASO 1: Recolección de línea base.

6.2.1.1. Selección de los puntos de monitoreo.

En este estudio se seleccionaron 5 comunidades para recolectar línea base, el criterio de sección se debe a que estas 5 comunidades están dentro de radio de influencia del este estudio 2000 m. Las comunidades son las siguientes: además se tomaron mediciones de ruido en 12 puntos del perímetro de la Planta Geotérmica para caracterizar a la misma.

Punto de Monitoreo	Distancia de La Planta Geotérmica(m)
Comunidad El Rayo	245
Comunidad de Empleados	987
Comunidad San Juan	864
Comunidad Los Amorcitos	1053
Comunidad Buena Hermosa	1513

Tabla 3: tabla de comunidades y su distancia con respecto a la planta geotérmica.

6.2.1.2. Calibración en campo

Siempre se calibro en terreno antes de iniciar la medición, de acuerdo a las instrucciones entregadas por el fabricante.

Antes de salir a campo como parte de protocolo a seguir se verifican las baterías o pilas de los instrumentos, calibrador y sonómetro, se verifico antes de la calibración en terreno. Se llevó un par de baterías extras por cualquier eventualidad en terreno de manera que la medición no se vea interrumpida por esta causa.

Las condiciones ambientales como temperatura, presión y humedad relativa, presentes en el lugar de la evaluación, pueden afectar parcialmente la respuesta del instrumento, por lo cual es necesario validar la medición realizada. Para esto, al finalizar la jornada en terreno y antes de apagar definitivamente el sonómetro, se deberá realizar una verificación de la calibración, es decir una comparación entre el valor de la calibración obtenido al inicio y el



Fotografía 1: calibración de sonómetro en campo.

Valor que esté midiendo el instrumento al finalizar la jornada. Este proceso final es similar al de calibración inicial pero en lugar de calibrar el instrumento, se debe medir el Nivel de Presión Sonora emitido por el calibrador verificando el valor que indica la pantalla del instrumento.

Cuando los resultados de la calibración inicial en terreno y de la verificación final difieran entre sí en más de 1 dB, se deberá descartar la medición realizada, debiéndose registrar los resultados obtenidos. Si esta situación se observa en más de una oportunidad se recomienda el envío del instrumento al servicio técnico correspondiente.

6.2.1.3. Mediciones

Posterior a la calibración se configura el sonómetro y se escoge ponderado (A) (muy importante pues el ponderado (A) solo idea ruidos de fuentes continuas .Octavas son las frecuencias en que encontraremos el ruido (Hz). Un oído sano y joven es sensible a las

frecuencias comprendidas entre los 20 Hz y los 20 kHz. No obstante, este margen varía según cada persona y se reduce con la edad.

Este rango equivale muy aproximadamente a diez octavas completas (210=1024). Frecuencias más graves incluso de hasta 4 ciclos por segundo son perceptibles a través del tacto, cuando la amplitud del sonido genera una presión suficiente.

En este caso de estudio se programaron mediciones 12 mediciones de periodos de 5 minutos cada una con las cuales durante la ejecución de éstas se realizó la medición de forma de tener certeza que se caracterizó la fuente de ruido en este caso la planta geotérmica. Adicional se midieron 5 puntos correspondientes a las comunidades que fueron definidas para el estudio.

6.2.2. PASO 2 :Modelado de atenuación de ruido e incremento

6.2.2.1. Preparar una red de puntos a predecir

Cálculo de parámetros geométricos entre la fuente y los receptores. En el modelado de propagación de ruido se consideraron diferentes puntos del cálculo de atenuación entre la fuente y los receptores, para el radio de 2,000m que abarca el Área de Influencia Indirecta. Para ello se generaron 16 sectores equidistantes en el área de trabajo alrededor de la fuente, en los cuales se establecieron las distancias puntuales a las que se realizaría el cálculo de atenuación para cada sector. Se Ubicó la coordenada de la Fuente en proyección Lambert - [X, Y]. La atenuación de sonido a partir de fuentes puntuales. Extensiones de fuentes de ruido, deberían ser representadas por un conjunto de secciones, cada una teniendo un cierto nivel de potencia sonora y directividad. Una línea puede ser dividida en secciones de líneas, cada una representada por una fuente puntual en el centro. En el caso de este trabajo se dividió en una circunferencia entre la cantidad de sectores a analizar, 16 sectores ($360^{\circ}/16=22.5^{\circ}$) - [D] Para una fuente puntual la Corrección por directivita (Dc, DI) en este caso se usaron las distancias de 50, 100, 200,300, 350, 400, 500, 750, 1000,1500 y 2000 metros que corresponden el alcance del modelado de ruido y H2S. Donde:

- X1, y1= Origen (punto concéntrico)

- D= Distancia
- Θ = Angulo

Con estos tres datos se define las distancias a las que se van a establecer los puntos de análisis de cada sector con las siguientes formula:

- $X2= X1+D*\text{Cos}\Theta$
- $Y2=Y1+D*\text{Sen}\Theta$

Este cálculo se realizó con Microsoft Excel para encontrar 226 coordenadas donde se corrió el modelo de predicción de ruido y H₂S.

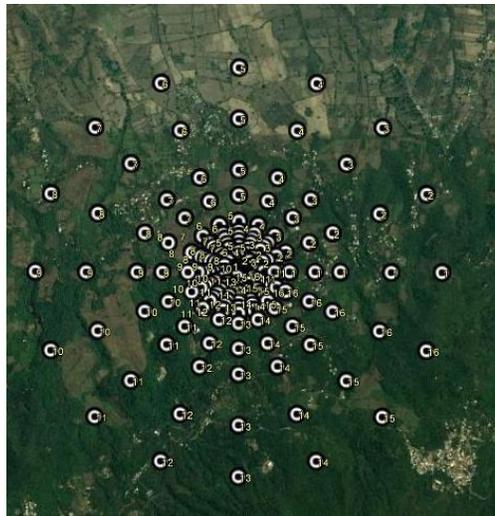


Ilustración 5: Red de puntos a predecir

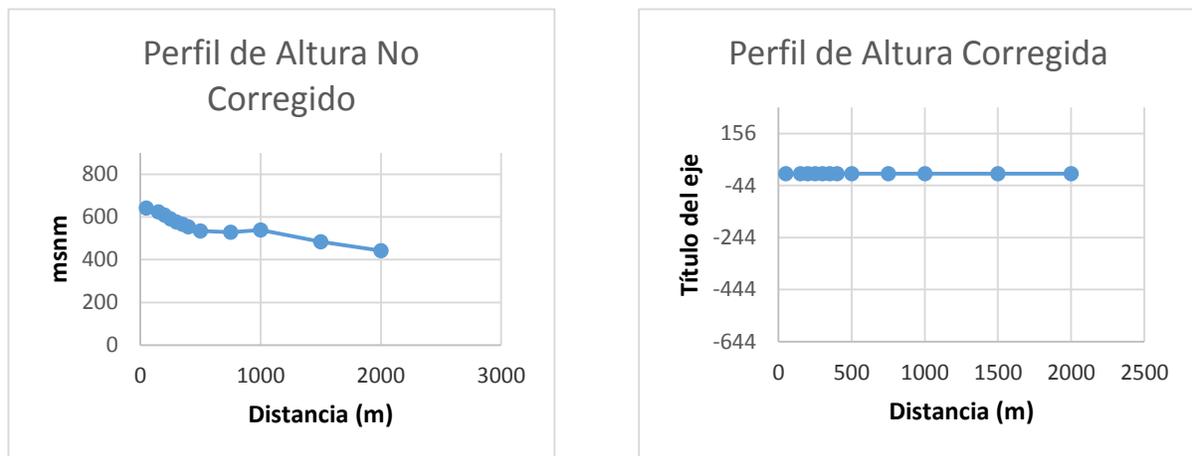
6.2.2.2. Elaboración del modelo de elevación corregido

Mediante un Modelo de Elevación Digital del área de estudio, se atribuyó a cada punto generado la elevación correspondiente con base a la topografía de la zona. A partir de ello, estableciendo como cero la altura de la fuente, se pudo definir el grado de elevación (positivo o negativo) de cada uno de los puntos de cálculo respecto a la Planta, considerando una altura de 1.5m de receptor (altura promedio de una persona) en cada uno de estos puntos.

A partir de esto se obtienen los pares de datos “Distancia del Receptor” y “Altura del Receptor”, los cuales se evalúan en el simulador de atenuación de ruido para cada uno de los puntos generados por sector. El resto de los parámetros de trabajo que se manejan como constantes en el simulador.

Establecido cada uno de los puntos de los sectores, se calculó la altura con base a un DEM del área de análisis, para ello se hace uso de la herramienta: ArcToolBox – Spatial Analysis Tools – Extration – Extration by Multi Values Points. – [dem] Se exporto el archivo a Microsoft Excel

Se calculó la diferencia de alturas respecto a la fuente [H] en Micros



Gráfica 2: pasos para elaboración de Modelo de elevación.

En caso el análisis excluya las diferencias negativas de altura (pendiente descendente), se asume como cero el valor negativo de la diferencia de alturas [H_corregid]

6.2.3. PASÓ 3. Uso de las metodologías modelo de predicción

6.2.3.1. ISO 9613-1:1993

Para dar valides a la metodología de este trabajo de investigación se tomó como referencia la Parte 1 para el cálculo de absorción del sonido por la atmosfera que

corresponde a la ISO 9613: que es la guía para Atenuación del sonido durante la propagación en exteriores.

Esta parte de ISO 9613 especifica un método analítico para calcular la atenuación de sonido como resultado de la absorción atmosférica para diversas condiciones meteorológicas donde el sonido desde cualquier fuente se propaga a través de la atmósfera exterior. Para tonos puros de sonido, la atenuación debido a la absorción atmosférica es especificada en términos de un coeficiente de atenuación como función de cuatro variables: frecuencia de sonido, temperatura, humedad y presión del aire. Calculados los coeficientes de atenuación son mostrados en forma de tablas para rangos de variables comúnmente encontrados en la predicción de propagación de sonido en exteriores:

- Frecuencia desde 50Hz hasta 10 kHz.
- Temperatura desde -20 °C a 50 °C
- Humedad relativa desde 10% hasta 100% y
- Presión de 101,325 kPa (una atmósfera)

Las fórmulas además proporcionan un rango adecuado para usos particulares, por ejemplo, a frecuencias ultrasónicas para modelación a escala, y a bajas presiones para grandes altitudes hacia el suelo.

Para sonidos de banda ancha analizados con filtros de bandas de tercios de octava, se especifica un método para calcular la atenuación por efecto de la absorción atmosférica a partir de estas especificaciones para tonos puros en las frecuencias centrales. El espectro de sonido puede ser de banda ancha sin componentes de frecuencias discretas significantes o puede ser la combinación de sonidos de frecuencia discreta o de banda ancha.

Esta parte de ISO 9613 está aplicada a una atmósfera con condiciones meteorológicas uniformes. Puede además ser usada para determinar ajustes aplicables a mediciones de niveles de presión sonora donde existen diferencias entre pérdidas de absorción atmosférica bajo diferentes condiciones meteorológicas. La extensión del método a

atmósferas no homogéneas, en particular condiciones meteorológicas que varían con la altura sobre el suelo. Además, esta parte de ISO 9613 considera (calcula) para los principales mecanismos de absorción presentes en una atmósfera desprovista de humo o contaminantes.

- ✓ Paso 1: Separar el espectro medido, basándose en los niveles de presión rms, en componentes de tonos puros y de banda ancha. Para componentes de tonos puros, la frecuencia del tono puede ser determinada por análisis de espectro con un filtro de banda angosta, con un conocimiento previo de los tonos de la fuente o definiendo un protocolo de estimación de la presencia y nivel de un tono basado solamente en cambios relativos en el nivel de presión sonora de la banda de octava (o tercio de octava) adyacente. Para casos posteriores, la frecuencia del tono puede ser asumida como la frecuencia central exacta del filtro de banda. Sin embargo, si el método de aproximación para tonos puros dado en 8.2 es usado para el elemento de banda ancha, y si la frecuencia del tono es asumida como la frecuencia central del filtro de banda, entonces el procedimiento de separar los componentes espectrales no es necesario porque la misma atenuación para tono-puro podría aplicarse a ambos casos de componentes de banda ancha y frecuencias discretas.
- ✓ Paso 2: Calcular la atenuación sobre la longitud del camino especificado para cada componente espectral separadamente.
- ✓ Paso 3: Si el espectro inicial es del sonido de la fuente en el punto de ubicación de la fuente, reste las atenuaciones de la absorción atmosférica calculada de las frecuencias discretas separada y componentes de banda ancha, para obtener estimaciones de los niveles de presión sonora de los componentes separados del espectro en la posición del receptor, tomando en cuenta solamente pérdidas por absorción atmosféricas. Si el espectro inicial es el de un sonido en la ubicación del receptor las atenuaciones calculadas de la absorción atmosférica para obtener estimaciones de los Nivel de Presión Sonora (NPS) correspondientes a la posición de la fuente. Además reste (sume) estimaciones para atenuación debido a otros

mecanismos (divergencia de ondas, etc.) al nivel de presión de las bandas de frecuencia del espectro inicial.

- ✓ Paso4: Combine las estimaciones para las presiones de sonido rms de los componentes por separados del espectro para obtener los NPS de las bandas del espectro compuesto en la posición del receptor o fuente.

6.2.3.2. ISO 9613-2:1996

La metodología de este trabajo de investigación se tomó como referencia la Parte 2. **"Método general de cálculo"** ISO 9613: que es la guía para Atenuación del sonido durante la propagación en exteriores.

Esta parte de la ISO 9613 especifica un método ingenieril para calcular la atenuación de sonido durante la propagación en exteriores para predecir los niveles de ruido ambiental a una distancia de una variedad de fuentes. El método. El método predice el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A (como se describe en las partes 1 a la 3 de ISO 1996) bajo condiciones meteorológicas favorables para la propagación a partir de fuentes de emisión de sonido conocido.

Estas condiciones son para propagación con bajo viento, equivalentemente propagación, tal como ocurre comúnmente ocurre en la noche. Las condiciones de inversión sobre superficies de agua no son cubiertas y pueden resultar en niveles de presión sonora más altos como se predice en esta parte de ISO 9613.

EL método además predice un promedio de nivel de presión sonora ponderado A como se especifica en ISO 1996-1 e ISO 1996-2. El promedio de nivel de presión sonora ponderado A abarca niveles para una amplia variedad de condiciones meteorológicas.

EL método especificado en esta parte de ISO 9613 consiste específicamente de algoritmos de banda de octava (con frecuencias centrales nominales a partir de 63 Hz y hasta 8 kHz) para calcular la atenuación de sonido el cual se origina a partir de una fuente puntual o un grupo de fuentes puntuales. La fuente (o fuentes) pueden estar en movimiento o estacionarias.

Los términos específicos son proporcionados en los algoritmos para los siguientes efectos físicos:

- Divergencia geométrica
- Absorción atmosférica
- Efecto del suelo
- Reflexiones de superficies
- Apantallamiento por obstáculos.

Atenuación del sonido debido a la propagación también conocido como **La divergencia geométrica**, Las ondas sonoras se propagan como una esfera y siguen la ley del cuadrado inverso de la reducción del nivel. Una regla general es que el nivel se reduce en 6 dB por duplicación de la distancia.

Atenuación por absorción atmosférica (absorción del aire) la cual tiene como referencia la ISO 9613-1: 1993 atenuación considerada en función de la temperatura y humedad relativa promedio del área de estudio. Para el caso se consideran ambos parámetros Temperatura media anual: 22 – 24°C Humedad relativa anual: 72 – 74 % Asumiendo un escenario conservador, se consideró la temperatura (23°C) y humedad (70%).

Atenuación por absorción del suelo (reflexión del suelo). ISO 9613-2: 1996. Con base al tipo de suelo que se ubica en el área circundante a la fuente y los receptores y en la mayoría, se puede determinar que existe una mezcla entre vegetación y suelo duro debido al concreto y rocas de caminos, asfalto de calles, etc. de forma que se define un Factor de Suelo **G** igual a **0** para establecer un escenario conservador.

Atenuación por barreras. ISO 9613-2 No se identifican barreras entre la fuente y los receptores, sean estas de tipo natural o artificial, por lo que se determina que este coeficiente es igual a cero. La topografía del área pudiera en ciertos puntos definirse como una barrera natural, sin embargo se asume un escenario conservador en el que se evaluará el peor escenario libre de barreras.

6.2.4. PASO 4 Uso de programa en línea

En el simulador Interactive Sound Level Calculator MAS ENVIROMENTAL basado en la metodología de la ISO 9613-2:1996. Se definió los parámetros que se trabajaron como constantes: Temperatura, Humedad, Factor de Suelo G, altura de la fuente, altura y distancia de barreras, frecuencia y Nivel de Ruido de la fuente.

Se Elige entre Frecuencia única para las fuentes tonales.

Se introducen los valores de las distancias y los niveles de sonido o hacer clic y arrastrar los elementos en el diagrama de modificar su posición. Se da clic en relación de escala para restablecer el diagrama para una mejor visualización.

Mueve la barrera de la parte superior para cambiar su posición, en este caso la barrera se encontraba a 1.5 metros de distancia se da clic en la barrera del cuerpo para activar / desactivar.

En el modo Single Frequency clic Σ un desglose de los pasos de cálculo. Puede marcar o enlazar directamente a los resultados haciendo clic en Enlace a este cálculo.

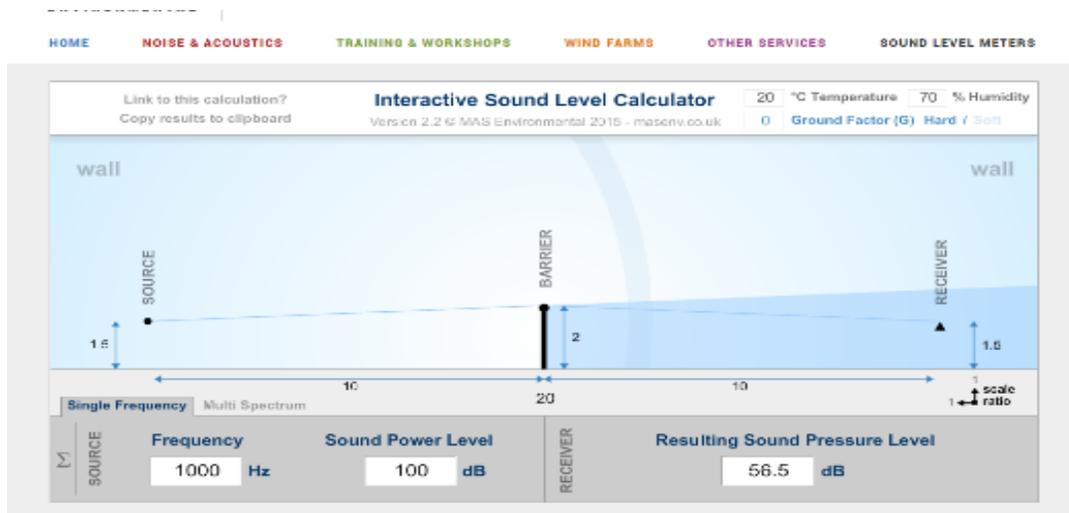


Ilustración 6: Interactive Sound Level Calculator MAS ENVIROMENTAL

6.3. PASO 5: Elaboración de mapas de atenuación e incremento de ruido.

6.3.1. Uso de Surfer para elaborar los mapas de Ruido

- Se elabora la Grid del mapa con los puntos X, Y, At_dBA e Incremento de ruido.

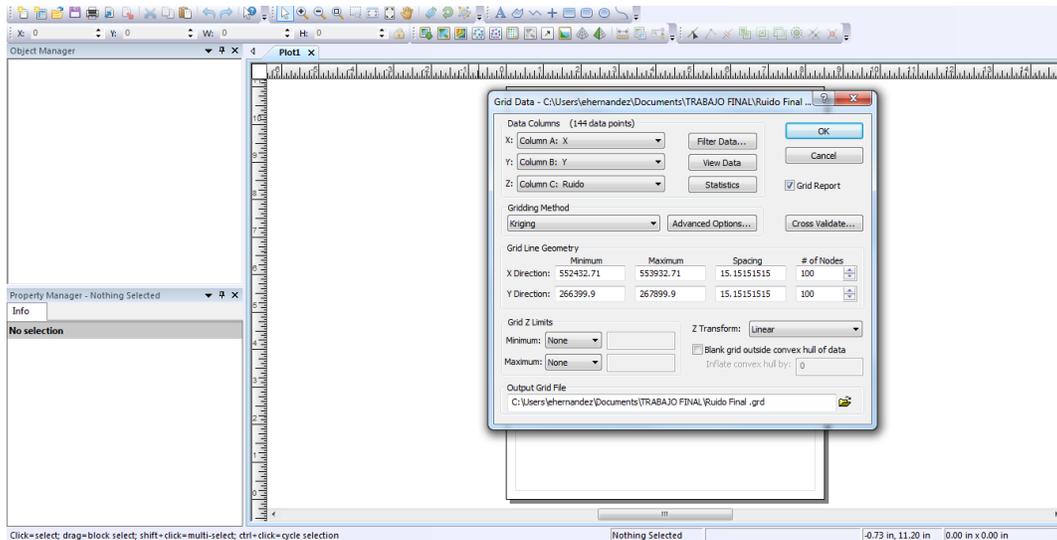


Ilustración 7: Elabora la Grid del mapa

- Se utiliza el formato de color para el mapa base de ruido de la ISO 1996-2

Zona de ruido dB	Color
Debajo de 35 dB	Verde claro
35 a 40	Verde
40 a 45	Verde oscuro
45 a 50	Amarillo
50 a 55	Ocre
55 a 60	Naranja
60 a 65	Cinabrio
65 a 70	Carmin
70 a 75	Rojo lila
75 a 80	Azul
80 a 85	Azul oscuro

Ilustración 8: Escala de colores para mapa de ruido

- Se estableció el sistema de coordenadas en Coordinate System

- Se puede exportar a Google Earth archivos con formato KMZ, para este caso de estudio no se ha realizado este paso todo se ha elaborado con Surfer.
- En Microsoft Excel se estableció un filtro por cada eje, en el mismo se manejaron las variables distancia entre la fuente y el receptor y la altura del receptor. Ambos datos se combinaron en pares en el Simulador y se toma el dato del Nivel de Ruido en el receptor en Microsoft Excel [At_dBA] (Atenuación)
- Interpolación de resultados A partir de los resultados de atenuación de ruido obtenidos en cada punto, se realiza la interpolación de los niveles de ruido mediante el método geo estadístico Kriging, el cual genera el cálculo de los niveles de ruido que se esperan obtener en toda el área de trabajo a partir de una predicción lineal. Los resultados obtenidos son georeferenciados y presentados en un mapa del área de trabajo, donde se aprecia los niveles de ruido en un radio de 2,000m, poniendo especial énfasis en los receptores de interés para el estudio.

6.4. Uso de ISO 1996-1, ISO 1996-2.

Acústica. Descripción y medición del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y procedimientos. Define los índices básicos para ser utilizados para describir ruido en los ambientes comunitarios y describe los procedimientos de evaluación básicos. También especifica los métodos para evaluar el ruido ambiental y proporcionar orientación en la predicción de las respuestas de una comunidad a la molestia potencial de la exposición a largo plazo de varios tipos de ruido.

Descripción y medición del ruido ambiental – Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental. Describe como los niveles de presión sonora pueden ser determinados por mediciones directas, por extrapolación de los resultados de medición por medio de cálculos, previstos como básicos para la evaluación de ruido ambiental. Las recomendaciones están dadas en relación con condiciones referibles para la medición por cálculo para ser aplicados en casos o en donde otras regulaciones no aplican. Se toma para este trabajo los niveles de ruido dados por esta norma y así se aplicó la escala en los mapas elaborados.

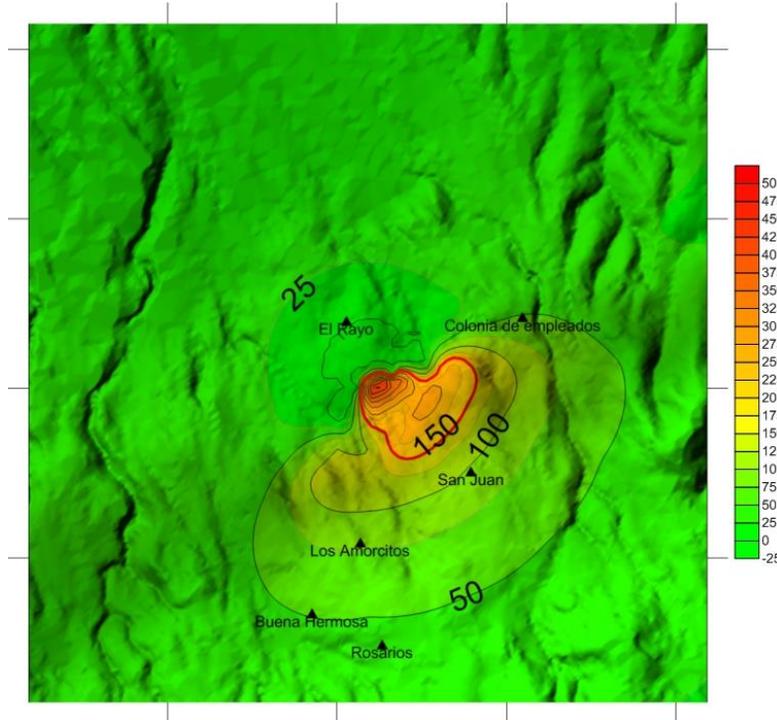
Descripción y medición del ruido ambiental - Parte 3: Aplicación a límites de ruido: Coloca las pautas para la especificación de los límites del ruido y describe los métodos para la adquisición de antecedentes que permiten que a las situación de ruido específicas sean examinados en busca del cumplimiento con los límites especificados del ruido.

7. Interpretación de resultados.

7.1. Resultados de la modelación de dispersión de Sulfuro de Hidrogeno

El software SCREEN3 se corre individualmente para cada uno de los 16 ejes, alimentado con los datos anteriormente mencionados. Los resultados salen crudos del software como se muestran en el Anexo 1. Estos datos de concentración de H₂S se copian a una última tabla donde cada punto tiene sus coordenadas geográficas, los cuales por razones de confidencialidad no se pueden mostrar en este informe.

Finalmente se utiliza el software SURFER con el fin de generar un diagrama de isocontornos, este diagrama se exporta a un mapa de la zona de estudio, respetando la posición de la fuente emisora y las direcciones originales evaluadas, de este modo se puede ver cómo se comporta el Sulfuro de Hidrogeno sobre el área de estudio lo cual permitirá obtener conclusiones al respecto. Mapa 1 muestra lo anteriormente descrito.



Mapa 1: modelo de predicción de dispersión de Sulfuro de Hidrogeno

Como se puede observar a pesar de evaluar para velocidades del viento igual en todas las direcciones, en última instancia es la topografía la que más influye en la dispersión del contaminante, aun para el peor de los casos que es el valuado por SCREEN3.

7.1.1. Verificación del modelo

Como puede observarse en la *Mapa 1* hay cinco comunidades alrededor del proyecto geotérmico en estudio y de acuerdo al modelo ninguna de ellas está dentro del umbral establecido por la Organización mundial de la Salud de $150\mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo el modelo debe ser verificado con la realidad.

7.1.2. Equipo de medición de Sulfuro de Hidrogeno

Para la medición de las concentraciones de Sulfuro de Hidrogeno en las comunidades cercanas se utilizó un equipo de medición a corto tiempo marca Arizona Instrument LLC y modelo Jerome 631 (*Fotografía 1: calibración de sonómetro en campo.*). Las mediciones se hicieron por triplicado



Fotografía 2: Equipo de medición de Sulfuro Hidrogeno Jerome 631 [Diplomado, 2016].

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Comunidad	Inmisión registrada (ppm)			Promedio
	M1	M2	M3	
Colonia de empleados	0.002	0.002	0.003	0.002
El Rayo	0.001	0.002	0.001	0.001
San Juan	0.001	0.002	0.002	0.002
Los Amorcitos	0.002	0.002	0.002	0.002
Buena Hermosa	0.001	0.001	0.005	0.002
Rosarios	0.001	0.001	0.002	0.001

Tabla 4: resultados obtenidos medición H₂S

Para el caso del Sulfuro de Hidrogeno 150µg/m³ equivale a aproximadamente 0.11ppm, por lo que se puede ver que tal como el modelo lo respalda, a partir de los resultados medidos en campo, todas las comunidades están fuera de cualquier peligro debida al aspecto ambiental de las inmisiones de Sulfuro de Hidrogeno.

7.2. Resultados de la modelación de propagación de ruido

A continuación se presentan los resultados de la modelación de propagación de ruido generado por las fuentes consideradas para el presente estudio. La Tabla 5 presenta la estimación de los niveles de ruido debido a la actividad de generación de energía eléctrica en una planta geotérmica, producto de equipos como Turbinas, bombas y generadores, torres de enfriamiento, etc.

Punto de Monitoreo	Ruido en Línea Base dB(A) tomado en campo	Distancia de la La Planta Geotérmica(m)	Nivel de ruido dB(A) resultados de la modelación	Límite aplicable dB(A)
Comunidad El Rayo	47.6	245	55.6	55.0
Comunidad de Empleados	54.07	987	48.2	55.0
Comunidad San Juan	45.07	864	48.2	55.0
Comunidad Los Amorcitos	47.33	1053	48.2	55.0
Comunidad Buena Hermosa	54.33	1513	47.6	55.0

Tabla 5: Resultados de la modelación de propagación de ruido

Con respecto a lo expresado en la Tabla 5 podemos analizar que para la comunidad El Rayo los resultados de modelación para la predicción de ruido da resultados mayores a lo establecido de la norma aplicada en este caso 55 dB(A), esto se debe a que en la metodología aplicada específicamente en la corrección de terreno el modelo corrige si la altura es menor la de la fuente emisora analiza como si estuviere en línea recta con respecto a la fuente, por eso la predicción tiene un valor mayo al de la línea bese medida.

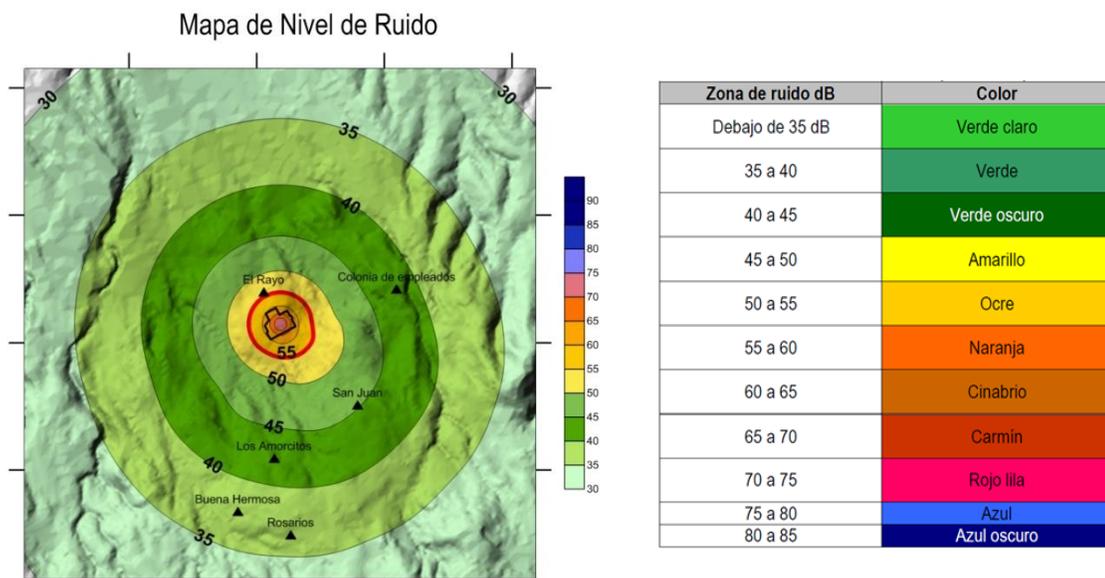
En la comunidad de empleados el valor de la línea base es mayor al de la predicción esto se debe a que al momento de tomar los datos de la línea base se vio alterada por mucho ruido de tráfico y otros factores.

Las comunidades San Juan y Los Amorcitos, tienen valores más parecidos con respecto a línea base y predicción, en estos casos colección desatase la lineabas es no se vio muy alterada.

Por ultimo en la comunidad Buena Hermosa es únala comunidad más alejada de la planta pero con valores más altos que las comunidades que están más cerca de la planta con excepción de El Rayo. Este fenómeno se debe a que el ruido tomado de la línea bases no corresponde al de la planta sino a otra fuente.

7.2.1. Resultados de la predicción de modelado Atenuación, significancia

En el Mapa 2 está la estimación de los niveles de ruido en el Área de Influencia de la planta geotérmica presenta los colores referidos en escala del Mapa1 son los que se asumen en cumplimiento de la norma ISO 1996-2

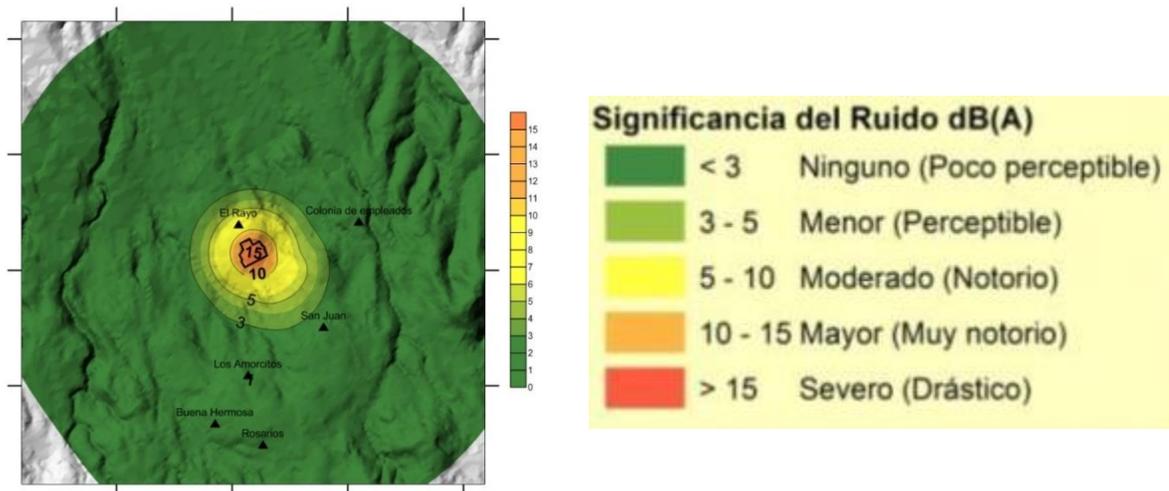


Mapa 2: Nivel de Ruido

El Mapa 2 respectivamente presenta la predicción detalle de la significancia del ruido en las comunidades aledañas a la fuente.

La modelación de la propagación de los niveles de ruido en el presente estudio, sugiere que durante las operaciones cotidianas de la planta el 83% de las comunidades de aldeañas a la Planta Geotérmica, los niveles de ruido modelado son inferiores a al límite diurno aplicable (55 dB(A)).

Mapa de Significancia de Ruido



Mapa 3: Significancia de ruido

El mapa muestra un isocontorno de color rojo correspondiente a 55 dB(A), en el Mapa 3 se aprecia que los receptores de interés se encuentran en un área con niveles de ruido por debajo de dicho límite, a excepción de una comunidad que representa el 17% de las comunidades en el radio de influencia de 2000 m con (55.6 dB (A)) esto debido a la cercanía que esta comunidad tiene con la planta geotérmica, caso contrario se tiene un escenario diferente para las demás comunidades donde no se representa niveles superiores a los permisibles de estudio.

Por su parte al evaluar la modelación de significancia de ruido durante las operaciones de la planta geotérmica, se aprecia que los receptores de interés el 83% de las comunidades se encuentran en la zona < 3 de significancia lo que quiere decir que no perciben el incremento del ruido. Y una comunidad que representa el 17% de las comunidades en el radio de influencia del estudio se encuentran en la zona de 5 a 10 lo cual indica que existe una percepción del ruido notoria.

8. Conclusiones

- Con respecto a la recolección de datos, debido al poco tiempo que se tuvo para este trabajo los datos recolectados de la línea base se vieron alterados por fuentes diferentes a la planta y las mediciones se hicieron en horarios diurnos donde existe mayor interferencias de ruidos.
- Con respecto al modelación se concluye que aunque la corrección de terreno puede afectar ciertos puntos con respecto a la realidad es muy efectivo.
- Se concluye que esta metodología es efectiva para poder aplicar las normativas nacionales e internacionales.
- Con respecto a la línea base, se aprecia que la perturbación es inferior a 10.0 db(A) en los receptores, con excepción de la Comunidad El rayo donde el aumento en los niveles de ruido está al límite 10.0 dB(A) respecto a la Línea Base.
- Otro aspecto a considerar es el hecho que la modelación de la propagación de ruido, se hace asumiendo el peor escenario es de considerar y que el modelo se ha hecho una corrección del terreno, pues las condiciones topográficas harían variar los resultados y favoreciendo a la comunidad que se ve afectada con los resultados obtenidos en este estudio. Y aun así los resultados han sido satisfactorios con respecto a la afectación de las comunidades cercanas a la Planta.
- De todos los factores, la topografía de la zona en estudio es la que más influye para la dispersión de H₂S, para las consideraciones hechas según el software de modelamiento Screen3.
- El Software Screen3 evalúa el peor de los escenarios, sin embargo aun dentro de estas condiciones, ninguna de las comunidades aledañas sufre un impacto ambiental con el aspecto ambiental H₂S, por lo que se puede inferir que con un modelo más completo o incluso en la realidad, ninguna de las comunidades es afectada.

9. Recomendaciones

- En el caso de la modelación de propagación de ruido se recomienda que este tipo de metodología para el ruido se haga para todos los casos de las actividades geotermias en el proceso como proceso de evaluación ambiental y poder predecir potenciales impactos
- Con respecto a la recolección de datos se recomienda que se escojan los lugares idóneos donde puedan recolectarse datos más objetivos y que no sean muy alterados.
- Con respecto a la línea base de los puntos de medición de ruido se recomienda tener datos de mucho más tiempo y monitoreo continuo para que estos sean más fiables.
- Con respecto a la modelación de dispersión de ruido se recomienda afinar detalles de la corrección del terreno para ser más real el modelo, comprobar los resultados con la línea base para verificar resultados.
- Con respecto a la normativa con relación a ruido se recomienda usar las normativas internacionales e para poder cumplir con estándares mundiales y poder cumplir así con las nacionales.
- Se recomienda que el personal permanente de la planta debe usar protección auditiva pues este estudio demuestra que la zona más crítica que repentinamente un impacto ambiental negativo es dentro de campo planta.
- Para el caso del modelamiento de H₂S se recomienda que aunque el estudio muestra resultados satisfactorios de que ninguna comunidad aledaña es afectada por las emisiones de H₂S, que nunca cesen los esfuerzos por mantener esto como hasta hoy o incluso reducir aún más los efectos.
- Aunque este estudio muestre que las comunidades aledañas no son dañadas, nunca se deben de detener los continuos monitoreo de las concentraciones de H₂S.

10. Agradecimientos

Queremos agradecer primeramente a Dios por la vida y por las oportunidades de aprendizaje que he tenido a lo largo del Diplomado en Geotermia para América Latina y con la realización de este trabajo final.

Agradecer a nuestro asesor el Ingeniero Luis Franco, cuyo conocimiento, experiencia, tutoría y compromiso hicieron posible la realización de este estudio, además expresarle nuestra más grande admiración por ser un gran profesional y por ser una persona que siempre busca un crecimiento holístico en su vida.

Finalmente pero no menos importante quiero agradecer a mi padre Ricardo Ernesto Beltraneja por siempre apoyarme con sus ánimos y oraciones en cualquier cosa que emprenda.

A mi esposa María Cuji, mi madre Hermenegilda Cruz y mi Hijo Emerson Rafael Hernández por apoyarme siempre en los nuevos retos que Dios y la vida nos pone.

11. Referencias

Kristmannsdóttir, H., Sigurgeirsson, M., Ármannsson, H., Hjartarson, H. and Ólafsson, M., 2000: Sulfur gas emissions from geothermal power plants in Iceland. *Geothermics*, 29-4/5

Hung, N.T., 2010: *Urban air quality modelling and management in Hanoi, Vietnam*. National

Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark, PhD Thesis, 219 pp. Website: www2.dmu.dk/pub/phd_hung.pdf.

EOHP, 2006: *Ambient air guidelines for hydrogen sulphide*. EOHP - Environmental & Occupational Health Program Division of Environmental Health, Maine Center for Disease Control & Prevention, Maine Department of Health & Human Services, 15pp. Website: www.maine.gov/dep/waste/publications/documents/ambientairguidelines.pdf

Idriss, A., Foster, K.R., Yee, D., Palczynski, R., Dixon, E., Jackson, W. and Kinneburgh, C., 2004: *Assessment report on reduced sulphur compounds for developing ambient air quality objectives*. Report prepared for Alberta Environment, 165 pp. Website: environment.gov.ab.ca/info/library/6664.pdf.

MESB, 2000: *Health effects of low-level hydrogen sulfide in ambient air*. Michigan Environmental Science Board, a science report to Governor John Engler, 43 pp. Accessible at: www.michigan.gov/documents/h2srept_3700_7.pdf.

WHO, 2003: *Hydrogen sulphide: Human health aspects*. World Health Organization, concise chemical assessment document, 53, 35 pp.

DEC, 2005: *Approved methods for the modelling and assessment of air pollutants in New South Wales*. Department of Environment and Conservation, New South Wales, 63 pp. Website: www.environment.nsw.gov.au/resources/air/ammodelling05361.pdf

Vallero, D., 2008: *Fundamentals of air pollution*. Elsevier Inc., Amsterdam, 942 pp. Website: books.google.is/books?id=4AV2Wds_NZAC&pg=PA581&lpg=PA581&dq#v=onepage&q&f=false.

Macdonald, R., 2003: *Theory and objectives of air dispersion modelling*. University of Waterloo, Waterloo, 27 pp. Website: www.engga.uwo.ca/people/esavory/MME474A_Part1.pdf.

EPA, 2006: *Lesson 6: Plume Dispersion and Air Quality Modelling*. EPA, 18 pp, Website: [yosemite.epa.gov/oaqps/EOGtrain.nsf/fabbfcfe2fc93dac85256afe00483cc4/c9862a32b0eb4f9885256b6d0064ce2b/\\$FILE/Lesson%206.pdf](http://yosemite.epa.gov/oaqps/EOGtrain.nsf/fabbfcfe2fc93dac85256afe00483cc4/c9862a32b0eb4f9885256b6d0064ce2b/$FILE/Lesson%206.pdf).

Guía para el ruido urbano (1995). Organización Mundial de la Salud, Ginebra.

ISO. (1996). *ISO 9613-2. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation.*

Decreto Presidencial No. 40. (2000). *Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental.* El Salvador: Diario Oficial.

Decreto Presidencial No. 89. (2012). *Reglamento General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo.* El Salvador: Diario Oficial.



12. ANEXOS



12.1.Anexo1

DATOS CRUDOS DE PROCESAMIENTO SCREEN3

12/13/16

20:03:40

*** SCREEN3 MODEL RUN ***
*** VERSION DATED 96043 ***

C:\Lakes\Screen View\ejel.scr

COMPLEX TERRAIN INPUTS:

SOURCE TYPE = POINT
EMISSION RATE (G/S) = 10.0000
STACK HT (M) = 10.0000
STACK DIAMETER (M) = 5.0000
STACK VELOCITY (M/S) = 7.0000
STACK GAS TEMP (K) = 325.0000
AMBIENT AIR TEMP (K) = 295.0000
RECEPTOR HEIGHT (M) = 0.0000
URBAN/RURAL OPTION = RURAL

THE REGULATORY (DEFAULT) MIXING HEIGHT OPTION WAS SELECTED.
THE REGULATORY (DEFAULT) ANEMOMETER HEIGHT OF 10.0 METERS WAS ENTERED.

BUOY. FLUX = 39.602 M**4/S**3; MOM. FLUX = 277.981 M**4/S**2.

FINAL STABLE PLUME HEIGHT (M) = 72.1
DISTANCE TO FINAL RISE (M) = 151.8

TERR HT (M)	DIST (M)	*VALLEY 24-HR CALCS*			**SIMPLE TERRAIN 24-HR CALCS**				
		MAX 24-HR CONC (UG/M**3)	CONC (UG/M**3)	PLUME HT ABOVE STK BASE (M)	CONC (UG/M**3)	PLUME HT ABOVE STK HGT (M)	SC	U10M USTK (M/S)	
30.	2000.	24.44	11.41	72.1	24.44	53.1	6	4.0 4.0	
								12/13/16	20:03:40

*** SCREEN3 MODEL RUN ***
*** VERSION DATED 96043 ***

C:\Lakes\Screen View\ejel.scr

SIMPLE TERRAIN INPUTS:

SOURCE TYPE = POINT
EMISSION RATE (G/S) = 10.0000
STACK HEIGHT (M) = 10.0000
STK INSIDE DIAM (M) = 5.0000
STK EXIT VELOCITY (M/S) = 7.0000
STK GAS EXIT TEMP (K) = 325.0000
AMBIENT AIR TEMP (K) = 295.0000
RECEPTOR HEIGHT (M) = 1.5000
URBAN/RURAL OPTION = RURAL
BUILDING HEIGHT (M) = 0.0000
MIN HORIZ BLDG DIM (M) = 0.0000
MAX HORIZ BLDG DIM (M) = 0.0000

THE REGULATORY (DEFAULT) MIXING HEIGHT OPTION WAS SELECTED.
THE REGULATORY (DEFAULT) ANEMOMETER HEIGHT OF 10.0 METERS WAS ENTERED.



BUOY. FLUX = 39.602 M**4/S**3; MOM. FLUX = 277.981 M**4/S**2.

*** STABILITY CLASS 1 ONLY ***
*** ANEMOMETER HEIGHT WIND SPEED OF 1.35 M/S ONLY ***

*** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 1. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
1.	0.000	1	1.4	1.4	432.0	259.53	3.40	3.38	NO

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 1. M:
1. 0.000 0 0.0 0.0 0.0 0.00 0.00 0.00

*** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 1. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
50.	0.000	1	1.4	1.4	432.0	259.53	21.27	17.26	NO
100.	0.2565E-14	1	1.4	1.4	432.0	259.53	36.60	28.51	NO

ITERATION STOPPED AT 50 - MAX NOT FOUND!!!

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 50. M:
188. 0.1708E-03 1 1.4 1.4 432.0 259.53 60.84 46.94 NO

*** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 1. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
150.	0.2927E-06	1	1.4	1.4	432.0	259.53	50.54	38.98	NO
200.	0.6768E-03	1	1.4	1.4	432.0	259.53	63.68	49.16	NO

ITERATION STOPPED AT 50 - MAX NOT FOUND!!!

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 150. M:
338. 1.441 1 1.4 1.4 432.0 259.53 97.73 79.53 NO

*** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 1. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
150.	0.2927E-06	1	1.4	1.4	432.0	259.53	50.54	38.98	NO
200.	0.6768E-03	1	1.4	1.4	432.0	259.53	63.68	49.16	NO



200. 0.6768E-03 1 1.4 1.4 432.0 259.53 63.68 49.16 NO

ITERATION STOPPED AT 50 - MAX NOT FOUND!!!

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 200. M:
338. 1.441 1 1.4 1.4 432.0 259.53 97.73 79.53 NO

*** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 1. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
250.	0.3645E-01	1	1.4	1.4	432.0	259.53	76.28	59.31	NO
300.	0.4090	1	1.4	1.4	432.0	259.53	88.46	70.19	NO

ITERATION STOPPED AT 50 - MAX NOT FOUND!!!

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 250. M:
488. 15.82 1 1.4 1.4 432.0 259.53 131.94 123.55 NO

*** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 1. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
300.	0.4090	1	1.4	1.4	432.0	259.53	88.46	70.19	NO

ITERATION STOPPED AT 50 - MAX NOT FOUND!!!

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 300. M:
488. 15.82 1 1.4 1.4 432.0 259.53 131.94 123.55 NO

*** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 1. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
350.	1.967	1	1.4	1.4	432.0	259.53	100.32	82.23	NO
400.	5.252	1	1.4	1.4	432.0	259.53	111.90	94.82	NO

ITERATION STOPPED AT 50 - MAX NOT FOUND!!!

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 350. M:
638. 31.39 1 1.4 1.4 432.0 259.53 157.68 189.90 NO

*** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 1. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***



DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
400.	5.252	1	1.4	1.4	432.0	259.53	111.90	94.82	NO
500.	17.11	1	1.4	1.4	432.0	259.53	133.80	126.79	NO

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 400. M:
776. 34.47 1 1.4 1.4 432.0 259.53 181.73 275.52 NO

*** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 1. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
500.	17.11	1	1.4	1.4	432.0	259.53	133.80	126.79	NO
600.	28.77	1	1.4	1.4	432.0	259.53	150.93	169.77	NO
700.	33.70	1	1.4	1.4	432.0	259.53	168.29	225.02	NO

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 500. M:
776. 34.47 1 1.4 1.4 432.0 259.53 181.73 275.52 NO

*** SCREEN AUTOMATED DISTANCES ***

*** TERRAIN HEIGHT OF 1. M ABOVE STACK BASE USED FOR FOLLOWING DISTANCES ***

DIST (M)	CONC (UG/M**3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
750.	34.39	1	1.4	1.4	432.0	259.53	177.01	257.04	NO
800.	34.41	1	1.4	1.4	432.0	259.53	185.74	291.92	NO
900.	33.10	1	1.4	1.4	432.0	259.53	203.21	370.12	NO
1000.	30.93	1	1.4	1.4	432.0	259.53	220.64	459.46	NO

MAXIMUM 1-HR CONCENTRATION AT OR BEYOND 750. M:
776. 34.47 1 1.4 1.4 432.0 259.53 181.73 275.52 NO

DWASH= MEANS NO CALC MADE (CONC = 0.0)
 DWASH=NO MEANS NO BUILDING DOWNWASH USED
 DWASH=HS MEANS HUBER-SNYDER DOWNWASH USED
 DWASH=SS MEANS SCHULMAN-SCIRE DOWNWASH USED
 DWASH=NA MEANS DOWNWASH NOT APPLICABLE, X<3*LB

 * SUMMARY OF TERRAIN HEIGHTS ENTERED FOR *
 * SIMPLE ELEVATED TERRAIN PROCEDURE *

TERRAIN HT (M)	DISTANCE RANGE (M)	
	MINIMUM	MAXIMUM
1.	1.	50.
1.	50.	150.
1.	150.	200.
1.	200.	250.
1.	250.	300.
1.	300.	350.
1.	350.	400.



1.	400.	500.
1.	500.	750.
1.	750.	1000.

 *** SUMMARY OF SCREEN MODEL RESULTS ***

CALCULATION PROCEDURE	MAX CONC (UG/M**3)	DIST TO MAX (M)	TERRAIN HT (M)
-----	-----	-----	-----
SIMPLE TERRAIN	34.47	776.	1.
COMPLEX TERRAIN	24.44	2000.	30. (24-HR CONC)

 ** REMEMBER TO INCLUDE BACKGROUND CONCENTRATIONS **
