

13-7-2020

Modelo de propagación y atenuación de ruido

PROYECTO MINERO LOMA LARGO

INVTM
METALS

Ing. Byron Arregui Gallegos, M.Sc.
BAG ENVIRONMENTAL ENGINEERING

TABLA DE CONTENIDO

1.0 ANTECEDENTES.....	3
2.0 MARCO LEGAL	3
3.0 OBJETIVOS	3
3.1 OBJETIVOS	3
4.0 CONSIDERACIONES GENERALES.....	4
4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS QUE INTERVIENEN EN LA PROPAGACIÓN DEL RUIDO.....	4
4.1.1 HUMEDAD RELATIVA	4
4.2 NIVELES DE RUIDO EMITIDOS POR FASE Y POR ÁREA DEL PROYECTO	4
4.3 DETERMIANCIÓN DE RUIDO MÁXIMO POR ÁREA.....	7
4.4 CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN	9
4.4.1 <i>Calculo de la atenuación en las cabinas de insonorización</i>	<i>9</i>
4.4.2 <i>Calculo de la atenuación por bermas y topografía</i>	<i>10</i>
4.5 CÁLCULO DE LA PROPAGACIÓN	14
4.5.1 <i>Determinación de las curvas de Atenuación.....</i>	<i>14</i>
4.5.2 <i>SUPERFICIES CONTÍNUAS DE CONCENTRACIÓN</i>	<i>18</i>
5.0 RESULTADOS.....	18
6.0 RESPONSABILIDAD.....	23
7.0 BIBLIOGRAFÍA	24
8.0 ANEXOS	25
8.1 ANEXO 1: CATALOGOS DE LOS EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN Y GENERADORE ELÉCTRICO	25
8.2 ANEXO 2: CARTOGRAFÍA.....	25

Página en blanco

1.0 ANTECEDENTES

INV Metals Inc. (INV) es una empresa canadiense de recursos minerales con sede en Toronto, su representante en Ecuador se enfoca en la adquisición, exploración y desarrollo del “Proyecto de oro, cobre y plata Loma Larga” y sus propiedades de exploración regional.

EL Proyecto Minero Loma Larga (PMLL) se encuentra ubicada entre la falla Gañarín al noroeste y la falla Girón al sureste, 30 km al sudoeste de la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay, Ecuador.

Como parte de la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental y, en cumplimiento de lo solicitado por el Ministerio de Ambiente Ecuador (MAE), INV Metals Inc. pone a consideración de la Autoridad Ambiental el presente informe correspondiente al modelo matemático de propagación y atenuación de ruido.

2.0 MARCO LEGAL

El Acuerdo Ministerial No. 097-A, ANEXO 5 NIVELES MAXIMOS DE EMISIÓN DE SUIDO Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES MÓVILES Y NIVELES MÁXIMOS DE VIBRACIÓN Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN, emitido el miércoles 4 de noviembre de 2015 y publicado en Registro Oficial Edición Especial No. 387, establece:

Art. 3 CONSIDERACIONES GENERALES

“b) El Plan de Relaciones Comunitarias del plan de manejo ambiental, debe considerar encuestas de percepción y perturbación por ruido.

c) Es deber fundamental del regulado reportar ante la entidad ambiental competente los resultados de los monitoreos correspondientes a sus emisiones de ruido de acuerdo con lo establecido en su plan de manejo ambiental aprobado al menos una vez al año.

d) Para la aprobación de estudios ambientales de aquellas actividades que involucren FER se tomará en cuenta la evaluación ambiental de ruido y las medidas de control de ruido propuestas para mitigar su impacto.

e) El regulado deberá demostrar documentada y técnicamente la eficacia de las medidas de control de ruido propuestas cuando estas fueran requeridas.”

3.0 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS

- Calcular los niveles de ruido potencialmente presentes en las diferentes fases del Proyecto Minero Loma Larga.
 1. Fase de construcción diurna

2. Fase de construcción nocturna
 3. Fase de operación o explotación de mina
 4. Voladuras en bocamina
- Preparar los insumos técnicos para la determinación del Área de Influencia de Ruido, la cual será llevada a cabo como parte del Estudio de Impacto Ambiental por parte de la Consultora Ambiental responsable de su elaboración.

4.0 CONSIDERACIONES GENERALES

4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS QUE INTERVIENEN EN LA PROPAGACIÓN DEL RUIDO.

4.1.1 HUMEDAD RELATIVA

De la información descrita en la línea base del EsIA, se tiene los siguientes datos de humedad relativa para las estaciones más cercanas al área del PMLL:

TABLA 1: CONDICIONES DE HUMEDAD RELATIVA EN EL ÁREA DEL PROYECTO

Estación	Labrado M0141 (1963 - 2014)	Zhurucay PMLL003 (2005 -2019*)	Quimsacocha1 PMLL009 (2005 -2015*)	Calluancay PMLL010 (2012 -2016)	Multinodal
ENE	88.54	91.77	92.97	93.48	
FEB	89.72	92.6	93.41	94.27	
MAR	89.76	92.58	92.69	95.13	
ABR	90.24	92.48	92.96	93.59	
MAY	90.7	92.63	93.22	95.2	
JUN	91.41	92.89	94.3	95.97	
JUL	91.64	93.26	94.16	95.59	
AGO	90.2	90.7	91.51	93.4	
SEP	89.64	89.36	90.57	91.28	
OCT	87.39	87.9	89.04	92.24	
NOV	86.45	85.43	86.64	87.98	
DIC	87.8	89.83	88.45	89.6	
Promedio mensual multianual	89.45	90.95	91.66	93.14	91.30

4.2 NIVELES DE RUIDO EMITIDOS POR FASE Y POR ÁREA DEL PROYECTO

Se plantea cuatro escenarios para el modelo de ruido: a) durante la fase de construcción de facilidades en horario diurno; b) durante la fase constructiva de las facilidades en horario nocturno, c) Durante las voladuras en la bocamina o portal, y b) Durante la fase de explotación. En función de estas fases se escogerá, para cada una de ellas las fuentes a modelar.

Hay que recordar que, el ruido expresado en dB(A), es una representación logarítmica del nivel de intensidad del sonido; es igual a 10 veces la razón entre la intensidad de un sonido (I) y la intensidad sonora de referencia (I₀):

$$L (dB) = 10 * \log (I/ I_0).$$

Donde,

$$I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$$

Es decir, al añadir varias fuentes de ruido, su acumulación en dB no es aritmética, pues responde a una función logarítmica de las intensidades. Por tanto, será necesario conocer el nivel de ruido generado por cada tipo de fuente:

TABLA 2: NIVEL DE RUIDO ESTIMADO PARA EL PEOR ESCENARIO POSIBLE

Cantidad de fuentes	Fase de construcción	Ruido específico de cada tipo de maquinaria
Road Construction		@ 50 feet or otherwise stated
2	Track Drills	85
2	Excavators - 1 cm (cubic meter)	85
4	40t All Terrain 6 Wheel Trucks	72
1	Water Truck	84
1	D7 Dozer	85
1	Grader	85
Portal Construction		@ 50 feet or otherwise stated
1	Track Drill	85
1	Excavator - 1cm	85
1	Bolter	85-106
1	Jumbo - 2 boom	105
1	40t All Terrain 6 wheel Trucks	72
2	Light Towers	-
1	Generator	110
Process Plant Construction		@ 50 feet or otherwise stated
<i>Earth Work & Rockwork</i>		
2	Track Drills	85
2	Excavators - 1 cm	85
4	40t All Terrain 6 wheel Trucks	72
1	Water Truck	84
1	D7 Dozer	85
1	Compactor	90-112
4	Light Towers	-
<i>Concrete Foundations</i>		
1	Concrete Plant	83
1	Concrete pump Truck	82
2	60 ton All Terrain Cranes	83
1	120 to 150 ton crane for Ball Mill and Crusher installation	88
4	Light Towers	-
<i>Steel Erection</i>		
2	60 ton All Terrain Cranes	83
2	Light Towers	-
<i>Equipment Installations</i>		
2	60 ton All Terrain Cranes	83
1	120 to 150 ton crane for Ball Mill and Crusher installation	88
4	Light Towers	-
4	Small temporary generators for tools, offices etc.	70
TSF Construction		@ 50 feet or otherwise stated
<i>Earthwork and Rockwork</i>		
2	Track Drills (Phase 1 & 2 only)	110
2	Excavators - 1 cm	85
4	40t All Terrain 6 wheel Trucks	72
1	Water Truck	84
1	D7 Dozer	85
1	Compactor	80
Voladura		Spec. 721.560 Lmax @ 50 feet (dBA, slow)
1	Voladura	116.9
1	Excavator	85
1	D7 Dozer	85
1	40t All Terrain 6 wheel Trucks	99
Fase de operación		
Operations Phase - Process Plant		Spec. 721.560 Lmax @ 50 feet (dBA, slow)
1	Crusher	124
1	Ball Mill	118
1	Filters	85
4	Ventilation Fans	105
1	Pneumatic percussion tools	117
75	Haul Trucks	95

Fuente: Diseño de ingeniería del Proyecto Minero Loma Larga

4.3 DETERMINACIÓN DE RUIDO MÁXIMO POR ÁREA

Para el cálculo del ruido máximo se debe calcular la acumulación de las intensidades del ruido producido por cada fuente o grupo de fuentes similares en una misma ubicación de acuerdo con la siguiente ecuación; una vez añadidas las intensidades, de cada elemento, se vuelve a calcular el ruido en decibelios.

$$dB(A) = 10 \times \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Donde $I_0 = 1$ (Intensidad acústica de referencia)

En la siguiente tabla, se presentan las emisiones características del generador:

TABLA 3: RUIDO MÁXIMO POR ÁREA DE CONSTRUCCIÓN Y POR FASE DEL PROYECTO

Cantidad de fuentes	Fase de construcción	Ruido específico de cada tipo de maquinaria	Ruido total en dB(A)
Road Construction			@ 50 feet or otherwise stated
			93.4
2	Track Drills	85	88.0
2	Excavators - 1 cm (cubic meter)	85	88.0
4	40t All Terrain 6 Wheel Trucks	72	78.0
1	Water Truck	84	84.0
1	D7 Dozer	85	85.0
1	Grader	85	85.0
Portal Construction			@ 50 feet or otherwise stated
			126.2
1	Track Drill	85	85.0
1	Excavator - 1cm	85	85.0
1	Bolter	85-106	106.0
1	Jumbo - 2 boom	105	126.0
1	40t All Terrain 6 wheel Trucks	72	88.0
2	Light Towers	-	
1	Generador	110	110.0
Process Plant Construction			@ 50 feet or otherwise stated
			112.2
Earth Work & Rockwork			112.1
2	Track Drills	85	88.0
2	Excavators - 1 cm	85	88.0
4	40t All Terrain 6 wheel Trucks	72	78.0
1	Water Truck	84	84.0
1	D7 Dozer	85	85.0
1	Compactor	90-112	112.0
4	Light Towers	-	
Concrete Foundations			91.4
1	Concrete Plant	83	83.0
1	Concrete pump Truck	82	82.0
2	60 ton All Terrain Cranes	83	86.0
1	120 to 150 ton crane for Ball Mill and Crusher installation	88	88.0
4	Light Towers	-	
Steel Erection			93.5
2	60 ton All Terrain Cranes	83	85.0
2	Light Towers	-	
Equipment Installations			89.9
2	60 ton All Terrain Cranes	83	85.0
1	120 to 150 ton crane for Ball Mill and Crusher installation	88	88.0
4	Light Towers	-	
4	Small temporary generators for tools, offices	70	76.0

TSF Construction		@ 50 feet or otherwise stated	113.0
<i>Earthwork and Rockwork</i>			113.0
2	Track Drills (Phase 1 & 2 only)	110	113.0
2	Excavators - 1 cm	85	88.0
4	40t All Terrain 6 wheel Trucks	72	88.0
1	Water Truck	84	84.0
1	D7 Dozer	85	85.0
1	Compactor	80	80.0
Voladura		Spec. 721.560 Lmax @ 50 feet (dBA, slow)	118.8
1	Voladura	116.9	110.0
1	Excavator	85	118.0
1	D7 Dozer	85	85.0
1	40t All Terrain 6 wheel Trucks	99	105.0
Fase de operación			Total
Operations Phase - Process Plant		Spec. 721.560 Lmax @ 50 feet (dBA, slow)	125.7
1	Crusher	124	124.0
1	Ball Mill	118	118.0
1	Filters	85	85.0
4	Ventilation Fans	105	105.0
1	Pneumatic percussion tools	117	117.0
75	Haul Trucks	95	98.0

Fuente: Diseño de ingeniería del Proyecto Minero Loma Larga
Elaboración: BAG, mayo 2020

Si bien la tabla anterior refleja las fuentes previstas para cada fase, es necesario, indicar que existen condiciones constructivas y operativas que necesitan de una composición de fuentes para etapa. Así por ejemplo para la fase operativa, será también necesaria maquinaria de construcción en el TSF para la colocación y adecuación del material; así como de vehículos y maquinaria en las vías transportando el material de mina hacia la planta de procesos, y desde ella hasta el TSF u otras facilidades.

A continuación, se presenta un resumen de las fuentes -agrupadas- que intervendrán en cada fase del proyecto. Es necesario indicar que se ha previsto que durante las noches se utilice de manera reducida a penas una cargadora y dos camiones en cada frente de trabajo, para reducir el nivel de ruido emitido en cada uno de ellos a máximo 85 dB(A). A continuación, se presenta un resumen de las fuentes agrupadas del proyecto, por cada fase y sus niveles máximos.

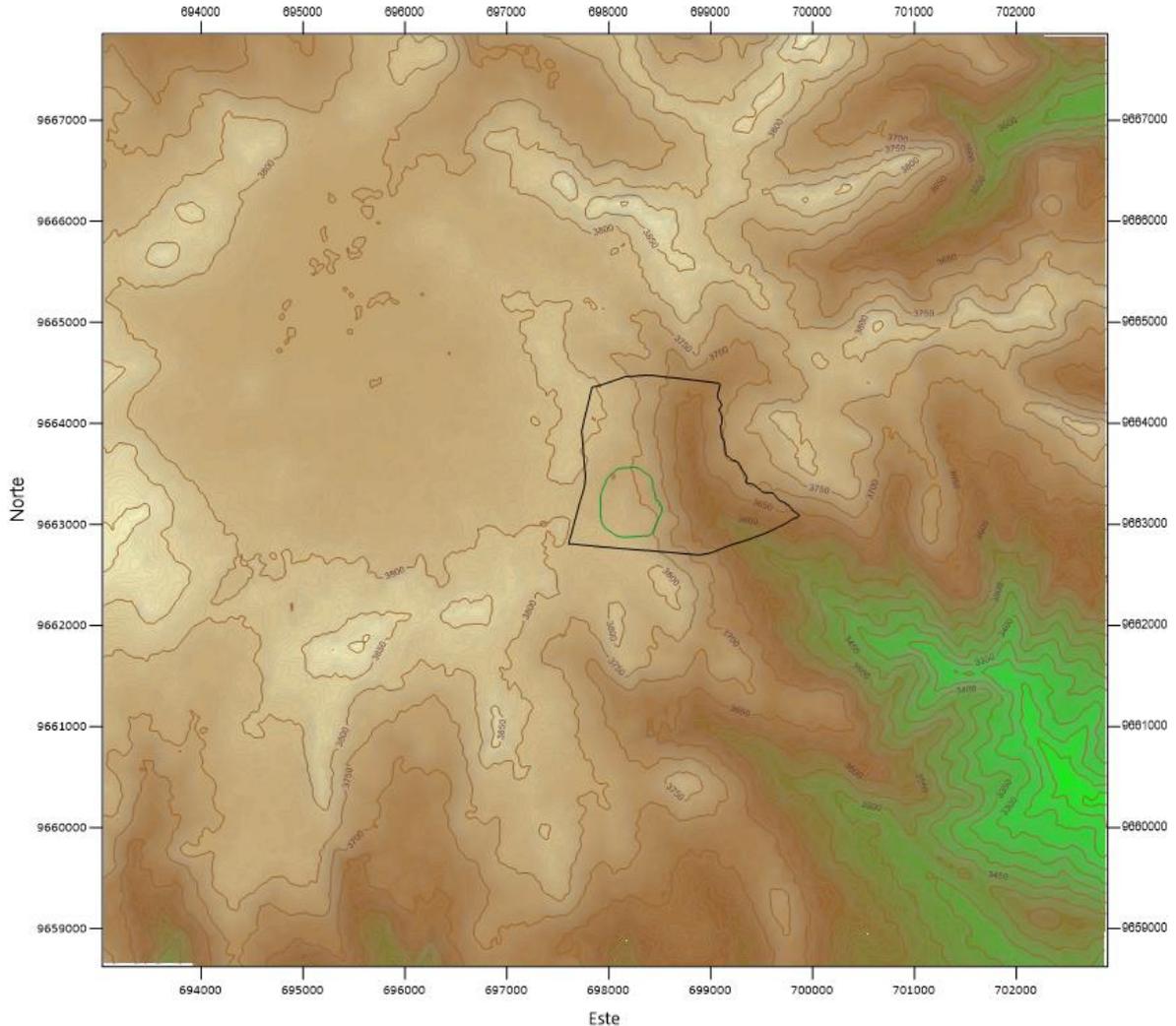
TABLA 4: RESUMEN DE FUENTES AGRUPADAS (POR FASE Y ÁREA DEL PMLL)

Cantidad de fuentes	Ruido total en dB(A)
Fase de Construcción diurna	
Construcción de vías	93.4
Construcción del Portal	126.2
Construcción de la Planta de procesos	112.2
Ventilación fase construcción de mina	105.0
Construcción del TSF	113.0
Fase de Construcción nocturna	
Construcción de vías	85
Construcción del Portal	85
Construcción de la Planta de procesos	85
Construcción del TSF	85
Fase de voladuras	
Construcción y voladuras en Portal	118.8
Fase de operación	

Cantidad de fuentes	Ruido total en dB(A)
Operación de la Planta de procesos	125.7
Operación de vías	93.4
Ventilaciones	112.2
Operaciones en el TSF	113.0
Ventilaciones fase operativa	105.0

Fuente: Diseño de ingeniería del PMLL
Elaboración: BAG, julio 2020.

FIGURA 1: MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA



Fuente: Modelo Digital de Elevación
Elaboración: BAG, 2020

4.4 CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN

4.4.1 CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN EN LAS CABINAS DE INSONORIZACIÓN

De acuerdo con la información de diseño del proyecto, las fuentes principales de la planta de procesos serán insonorizadas dentro de cabinas de acero galvanizado de 1.2 mm de espesor.

Para la determinación de la insonorización en cada una de las fuentes se recurrió, nuevamente al uso del SPM9613, donde se introducen los datos de las fuentes de ruido, pero esta vez reducidos los valores característicos. Las cantidades para reducir en cada rango de bandas de octava han sido tomadas de la bibliografía especializada, la cual se reproduce a continuación:

TABLA 5: AISLAMIENTO ASUMIDO AÉREO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS dB(A)

Descripción	Espesor (mm)	Masa unitaria (kg/m ²)	Frecuencias centrales de banda (Hz)						Aislamiento medio	
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	dB	dB(A)
Lámina de acero galvanizado	1.2	9.5	13	20	24	29	23	39	26.3	27.9

Fuente: Recuero López, M. (2000). Ingeniería acústica (1st ed., p. 630). Madrid: Paraninfo.

En la siguiente tabla se puede observar el nivel de ruido atenuado, para las tres fuentes insonorizadas:

TABLA 6: CÁLCULO DE LOS NIVELES DE RUIDO ATENUADOS

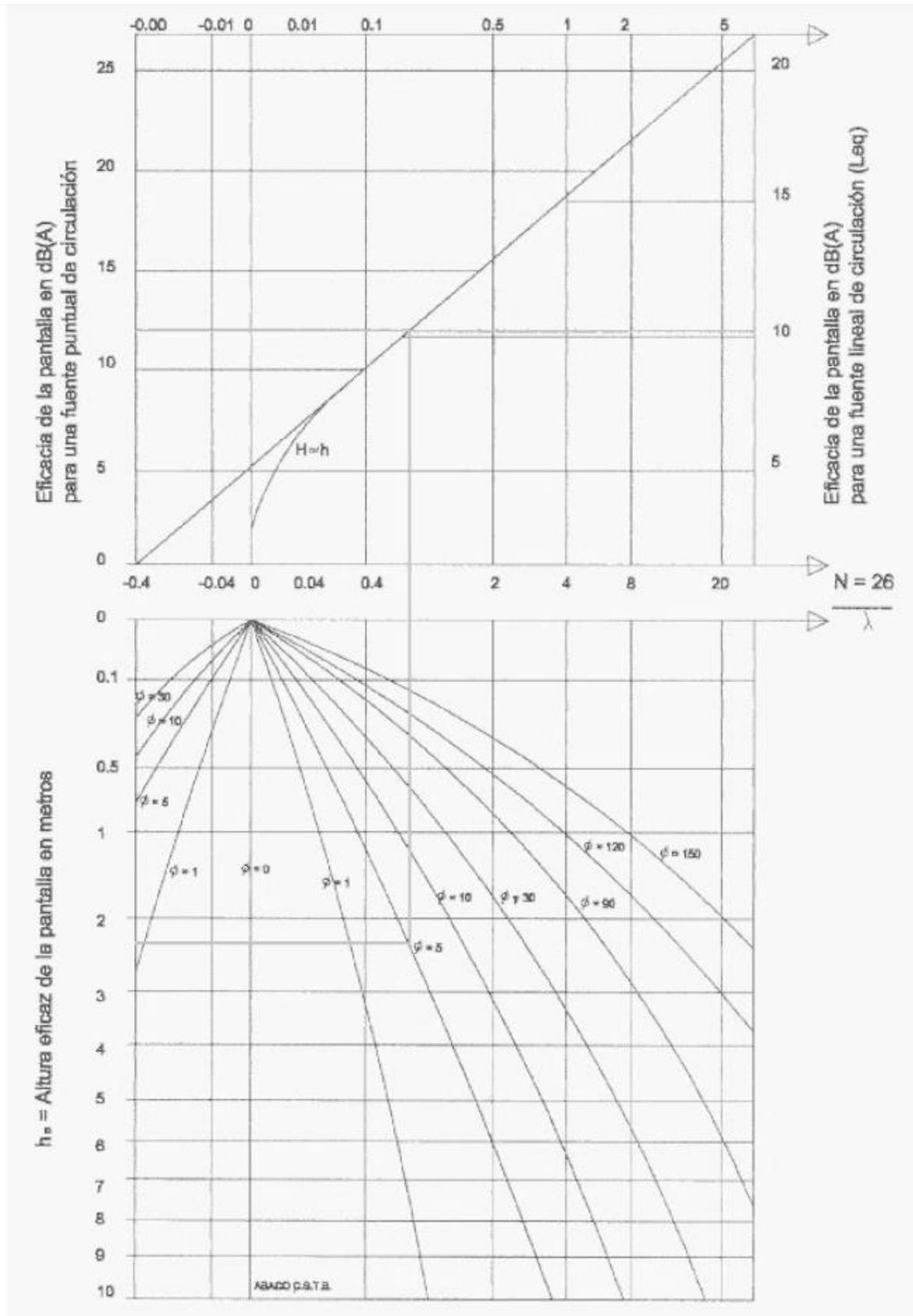
Cálculo de los valores representativos para cada rango de frecuencia y cada fuente	Rango de Frecuencia (Hz)	16	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)
		Valores prácticos de respuesta relativa -dB(A)	-56	-39.4	-26.22	-16.19	-8.67	-3.25	0	1.2	0.96	-1.15
	Fuente de Ruido											
	Filter insonorizado	13.4	29.2	40.8	48.8	49.3	50.8	49.0	56.2	40.0	21.5	59.0
	Ball Mill insonorizado	46.4	62.2	73.8	81.8	82.3	83.8	82.0	89.2	73.0	54.5	92.0
	Crush insonorizado	52.4	68.2	79.8	87.8	88.3	89.8	88.0	95.2	79.0	60.5	98.0
Cálculo de intensidades de ruido	Filter insonorizado	2.18E+01	8.30E+02	1.21E+04	7.60E+04	8.57E+04	1.19E+05	7.94E+04	4.17E+05	9.91E+03	1.42E+02	
	Ball Mill insonorizado	4.35E+04	1.66E+06	2.40E+07	1.52E+08	1.71E+08	2.37E+08	1.58E+08	8.32E+08	1.98E+07	2.83E+05	
	Crush insonorizado	1.73E+05	6.58E+06	9.57E+07	6.04E+08	6.81E+08	9.44E+08	6.31E+08	3.31E+09	7.87E+07	1.13E+06	
	L. Manuel, 2000) Lámina de acero galvanizada de 1.2 mm de espesor	8.61	9.41	10.97	13.00	20.00	24.00	29.00	23.00	39.00	55.33	

Fuente: Resultado de proceso de modelación, julio 2020.

4.4.2 CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN POR BERMAS Y TOPOGRAFÍA

El cálculo de la atenuación sonora se realiza según ábacos de difracción de una pantalla de longitud infinita del C.S.T.B. (Centre Scientifique el Techniques du Bâtiment). Estos abacos, permiten utilizar los parámetros representados en las figuras 4.4-1 y 4.4.2. que posee una corrección en el caso de pantallas de pequeña altura. También este ábaco refleja los resultados de una integración aproximada.

FIGURA 2: ÁBACOS DE DIFRACCIÓN DE UNA PANTALLA DE LONGITUD INFINITA DEL C.S.T.B.



Fuente: Centre Scientifique el Techniques du Bâtiment

El ábaco tiene dos posibilidades para la elección de los parámetros que permiten evaluar la atenuación:

- La parte superior del ábaco nos introduce directamente relacionando la diferencia de distancias $S = A + B - d$ con la eficacia de la pantalla. La diferencia de la distancia está situada en la parte superior del ábaco. La atenuación en difracción, para una fuente puntual, está situada en la ordenada izquierda de éste. La atenuación en difracción para fuente lineal está situada en la ordenada derecha. La escala situada sobre el eje de abscisas, en el centro del ábaco, tiene en cuenta el valor del número de FRESNEL; $N = 2 \delta / \alpha$ siendo α la longitud de onda del ruido y $\delta = A - B - d$ que representa la diferencia de distancias debidas a la pantalla.

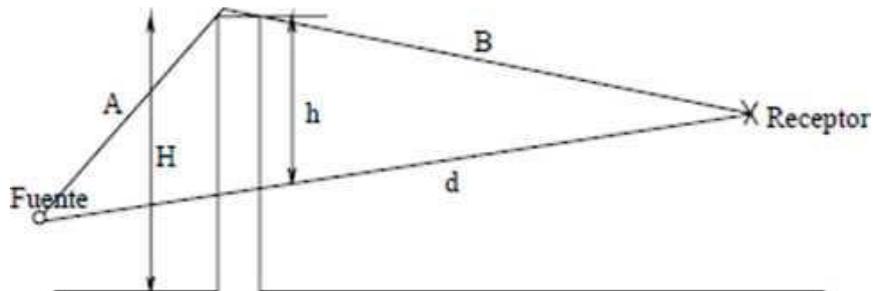


FIGURA 4.4-1.- CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS INTRODUCIDOS EN LA PARTE SUPERIOR DEL ABACO DE DIFRACCIÓN

La parte inferior del ábaco permite la entrada de parámetros según la figura 4.4.-2 para la evaluación de la atenuación por difracción:

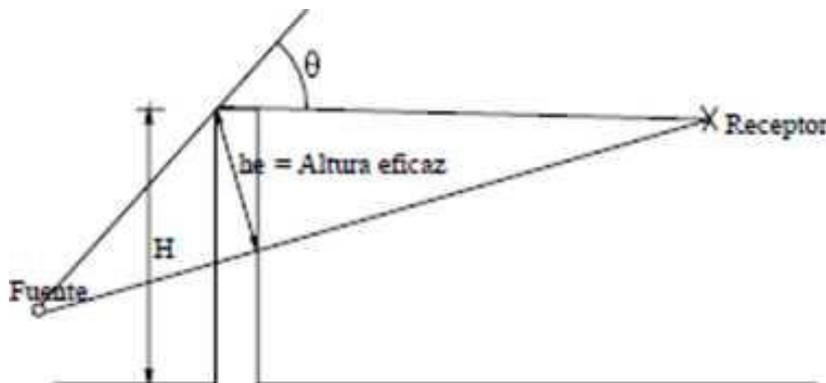


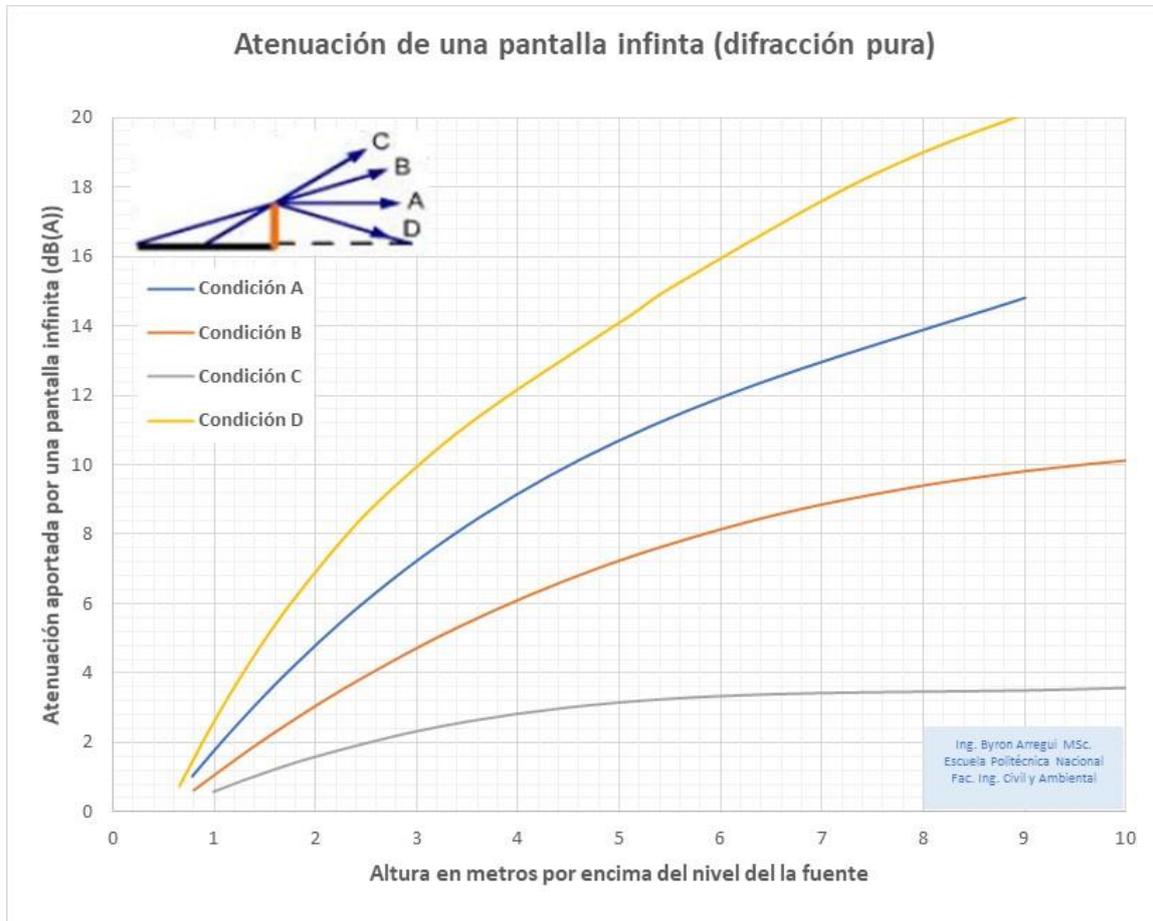
FIGURA 4.4-2.- CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS INTRODUCIDOS EN LA PARTE INFERIOR DEL ABACO DE DIFRACCIÓN.

En los perfiles transversales de los puntos donde se sitúan hipotéticamente las pantallas sonoras, fuente y receptor se obtienen los valores del ángulo θ . Conociendo la altura eficaz (h_e) y conociendo el ángulo θ se entrará en el ábaco por la parte inferior hasta el corte con la correspondiente línea del ángulo θ .

Este proceso puede resultar efectivo cuando se trata de pocas pantallas o barreras y ubicaciones discretas de los receptores y las fuentes; lo cual para el caso del Proyecto Minero Loma Larga resultaría poco aplicable.

Para este tipo de casos, (Segués Hechazarreta, 2009), propone el uso de ábacos simplificados en función de la altura de la barrera y la posición del receptor detrás de la barrera; el cual se puede observar en la siguiente gráfica:

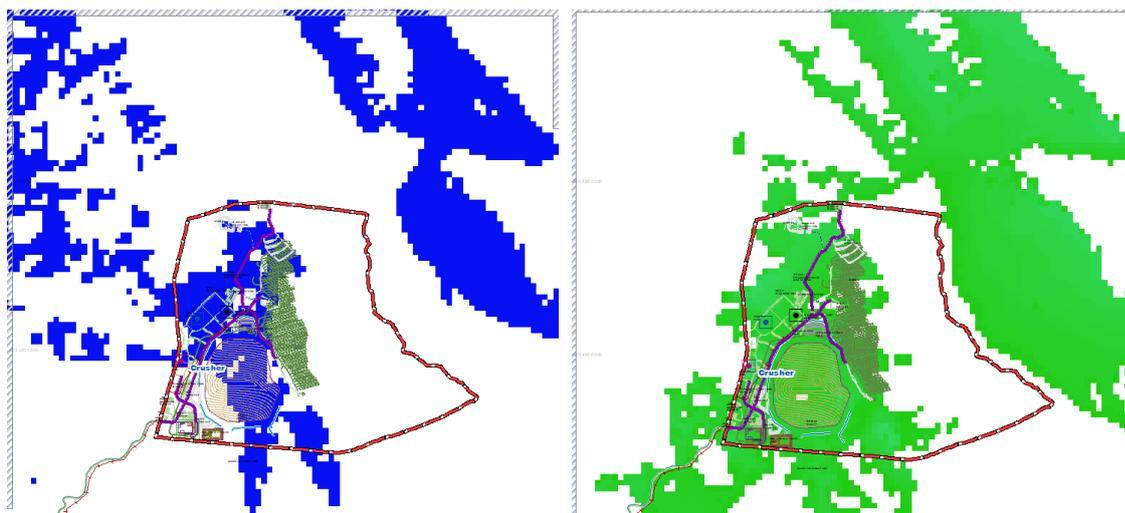
FIGURA 3: ATENUACIÓN DE RUIDO DE UNA PANTALLA INFINITA (DIFRACCIÓN PURA)



Fuente: Segués Echazarreta Fernando, 2009. Cálculo de Pantallas Acústicas.
Elaboración: BAG, julio 2020.

Para la determinación de la posición del receptor respecto de la fuente de generación de ruido en el Proyecto Minero Loma Larga, se recurrió al uso de un sistema de información geográfica. Mediante un análisis tridimensional se identificó las áreas desde las que se puede “observar” cada una de las fuentes de ruido... Las que no pueden observar la fuente, resultarían “detrás” de las barreras naturales; y por tanto obedecerían a la condición A o D; Para el presente caso, se sumió todas como condición A, desde un punto de vista conservador; las posiciones en condición D tendrían una atenuación mayor a la utilizada.

En las siguientes gráficas, se esquematiza el proceso de determinación de las áreas donde las barreras naturales permiten tener o no vista (propagación directa) a las fuentes de ruido. El proceso se repite para cada una de las fuentes emisoras.



Ilustraciones a) Áreas desde donde existe propagación directa del ruido generado en la trituradora insonorizada, e **Ilustración b)** Áreas desde donde existe propagación directa del ruido generado en las vías.

4.5 CÁLCULO DE LA PROPAGACIÓN

4.5.1 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE ATENUACIÓN

El modelo matemático aplicado en el presente estudio está basado en las normas ISO 9613 Parte 1 (Atenuación Atmosférica, 1993). Para el desarrollo del estudio, se utilizó la ayuda del software SPM9613, que aplica de manera efectiva las normas ISO 9613 Parte 1 y Parte 2. En la siguiente tabla se pueden observar -a manera de ejemplo- los valores de ruido característico para cada fuente estudiada y para cada rango de frecuencias de octava de banda juntamente con el NPSeq resultante de su integración, para la fase de operación del proyecto.

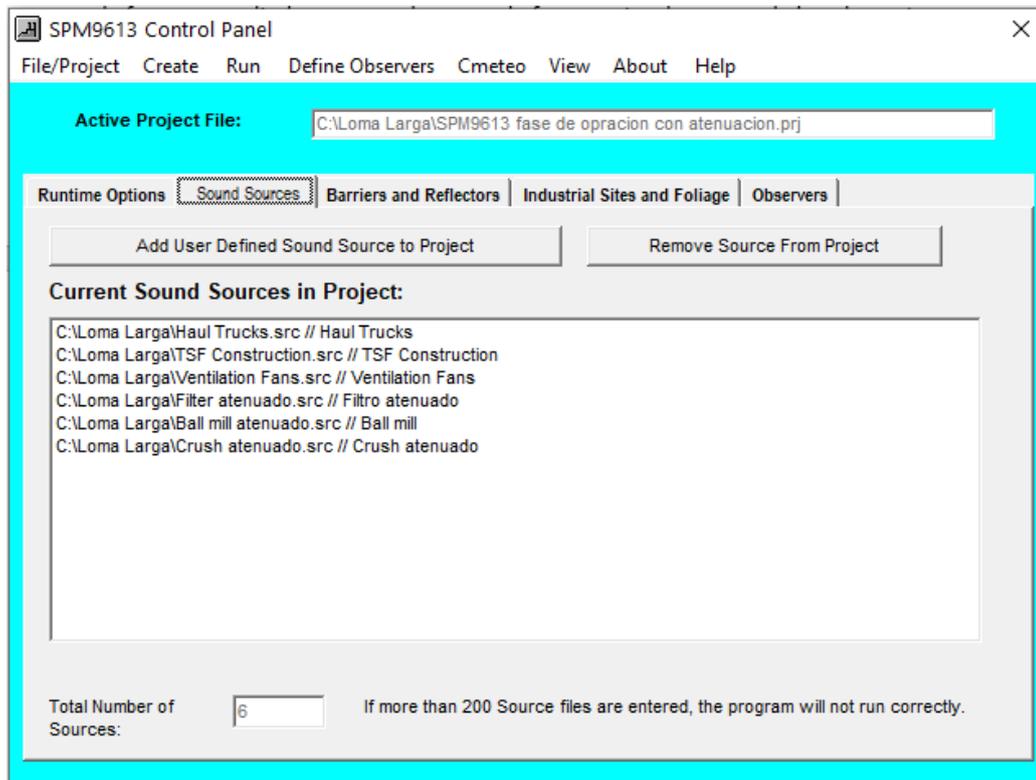
TABLA 7: VALORES DE RUIDO PARA LAS FUENTES ESTUDIADAS

Frecuencias (Hz)	Valores prácticos de la respuesta relativa		Valor Teórico Escala A
	A	B	
	< 55 dB	55-85 dB	
16	-56		-56
31.5	-39	-17	-39.4
63	-26	-9	-26.22
125	-16	-4	-16.19
250	-9	-1	-8.67
500	-3	0	-3.25
1000	0	0	0
2000	1	0	1.2
4000	1	-1	0.96
8000	-1	-3	-1.15

Cálculo de los valores representativos para cada rango de frecuencia y cada fuente	Rangos de Frecuencia en Bandas de Octava										
	16	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	LEQ
Valores prácticos de respuesta relativa -dB(A)	-56	-39.4	-26.22	-16.19	-8.67	-3.25	0	1.2	0.96	-1.15	
Fuente de Ruido											
Filter insonorizado	13.4	29.2	40.8	48.8	49.3	50.8	49.0	56.2	40.0	21.5	59.0
Ventilation fans	39.2	55.8	69.0	79.0	86.5	92.0	95.2	96.4	96.2	94.1	102.2
TSF insonorizado	50.3	66.9	80.1	90.2	97.7	103.1	106.3	107.5	107.3	105.2	113.3
Ball Mill insonorizado	46.4	62.2	73.8	81.8	82.3	83.8	82.0	89.2	73.0	54.5	92.0
Crush insonorizado	52.4	68.2	79.8	87.8	88.3	89.8	88.0	95.2	79.0	60.5	98.0
Filter insonorizado	21.82	830.26	12050.57	76032.63	85703.78	118850.22	79432.82	416869.38	9908.32	142.07	
Ventilation fans	8317.64	380189.40	7906786.28	79615935.04	449779854.89	1566751070.11	3311311214.83	4365158322.40	4130475019.90	2540972705.55	
TSF insonorizado	108143.40	4943106.87	102801629.81	1035142166.68	5847900841.44	20370420777.06	43052661049.17	56754660540.86	53703179637.03	33036954103.68	
Ball Mill insonorizado	43542.15	1656581.64	24044044.79	151705036.75	171001531.51	237137370.57	158489319.25	831763771.10	19769696.40	283465.36	
Crush insonorizado	173344.84	6394970.28	95721086.40	603948629.38	680769358.69	944060876.29	630957344.48	3311311214.83	78704578.97	1128495.94	

Elaboración: BAG environmental engineering, julio 2020

Estos valores son llevados al modelo SPM9613 para determinar la propagación del ruido provocado por el grupo de fuentes a diferentes distancias de análisis.

TABLA 8: INCLUSIÓN DE TODAS LAS FUENTES ANALIZADAS EN EL MODELO SPM9613

Elaboración: BAG environmental engineering, julio 2020

En función de los niveles de ruido y las condiciones climáticas de la zona del proyecto, se aplicaron ecuaciones de atenuación para cada una de las fuentes representativas.

Una vez ingresados los valores de ruido al programa, se complementa con la información de barreras físicas, tipo de superficie, existencia de reflectores y condiciones climáticas. Los resultados se obtienen en una matriz para cada fuente a modelar.

TABLA 9: RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA PROPAGACIÓN DEL RUIDO EN EL SPM9613

Results... ✕

File Edit Return (Project) View

Observer Location
(X, Y, Z)

(3.0, 0.0, 1.5) ▼

Observer No:
1 of 12

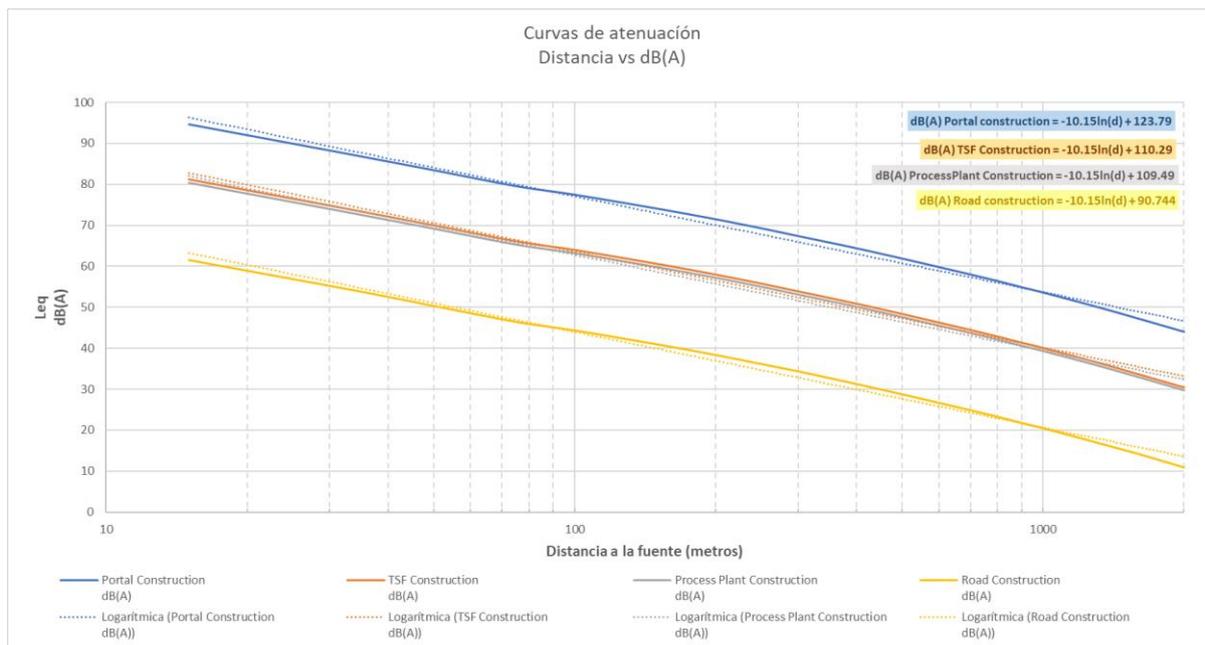
Octave Band Center Frequency, Hertz

Sources	16	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)	dB(C)
Total of Sources	37.5	53.9	65.9	75.0	81.0	86.1	89.2	90.6	90.0	87.7	96.3	95.6
TSF Construction	32.3	48.9	62.1	72.1	79.7	85.1	88.3	89.5	89.2	86.9	95.3	94.6
Ventilation Fans	24.7	41.3	54.5	64.5	72.1	77.5	80.7	81.9	81.6	79.3	87.7	87.0
Haul Trucks	17.3	33.9	47.1	57.1	64.7	70.1	73.3	74.5	74.2	71.9	80.3	79.6
Crush atenuado	34.5	50.9	61.9	69.9	70.4	71.9	70.1	77.3	61.0	42.3	79.5	80.0
Ball mill atenuado	28.5	44.3	55.9	63.9	64.4	65.9	64.1	71.3	55.0	36.3	73.5	74.0
Filtro atenuado	00.0	10.7	22.3	30.3	30.8	32.3	30.5	37.7	21.4	02.6	39.9	40.4

Elaboración: BAG environmental engineering, julio 2020
Elaboración: BAG environmental engineering, noviembre 2019

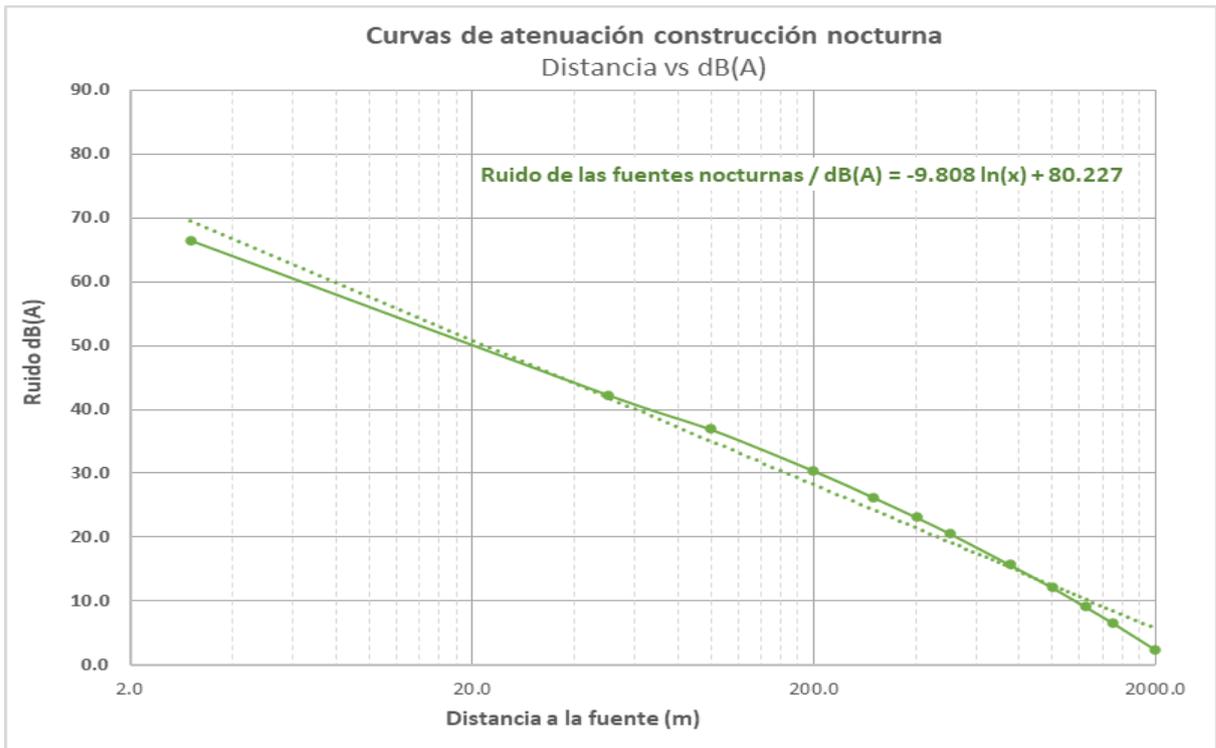
Una vez obtenidos los valores de ruido en dB(A) y dB(C), conjuntamente con la distancia desde la fuente, se ajustan estadísticamente estas variables a una ecuación logarítmica, la cual servirá para calcular la reducción del ruido, desde las fuentes hasta una distancia que alcance el valor de ruido de fondo más 10 dB(A). Para el presente caso se ha escogido el total de las fuentes como un criterio conservador.

FIGURA 4: ECUACIONES DE ATENUACIÓN DE RUIDO PARA LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DIURNA



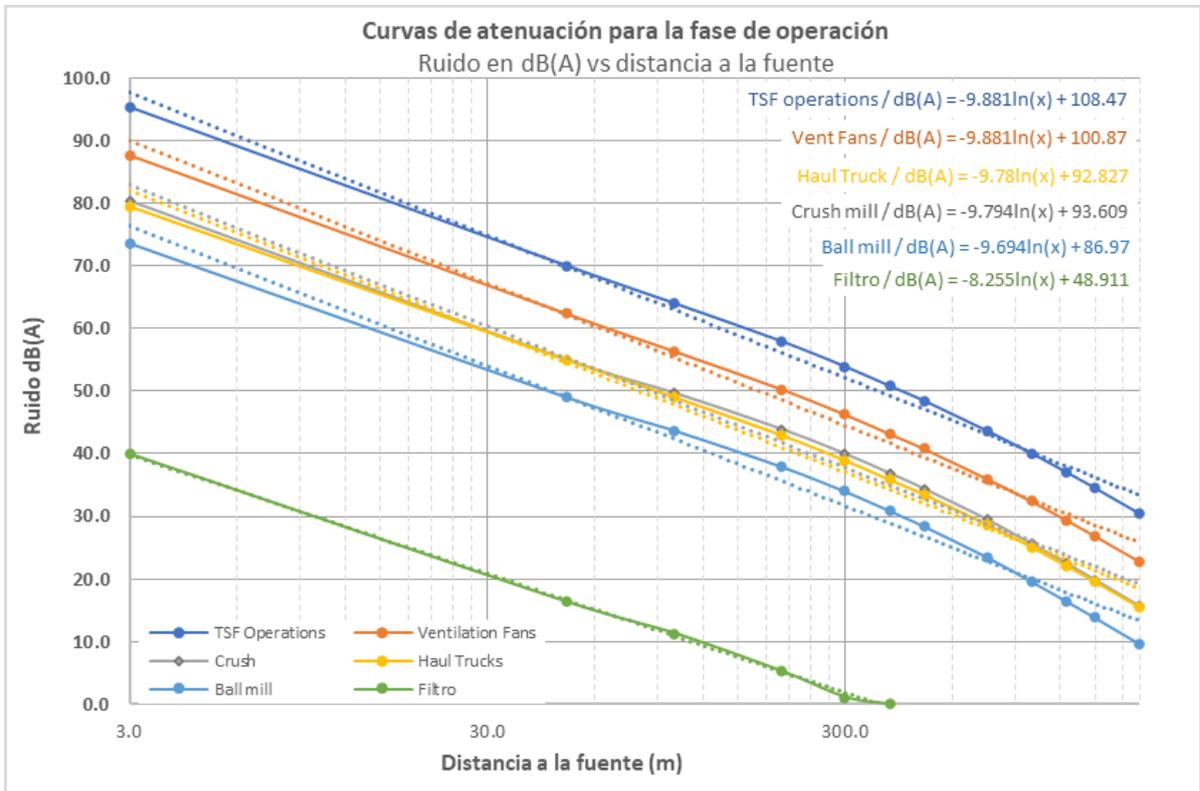
Elaboración: BAG environmental engineering, julio 2020

FIGURA 5: ECUACIONES DE ATENUACIÓN DE RUIDO PARA LA FASE DE CONSTRUCCIÓN NOCTURNA



Elaboración: BAG environmental engineering, julio 2020

FIGURA 6: ECUACIONES DE ATENUACIÓN DE RUIDO PARA LA FASE DE OPERACIÓN



Elaboración: BAG environmental engineering, julio 2020

4.5.2 SUPERFICIES CONTÍNUAS DE CONCENTRACIÓN

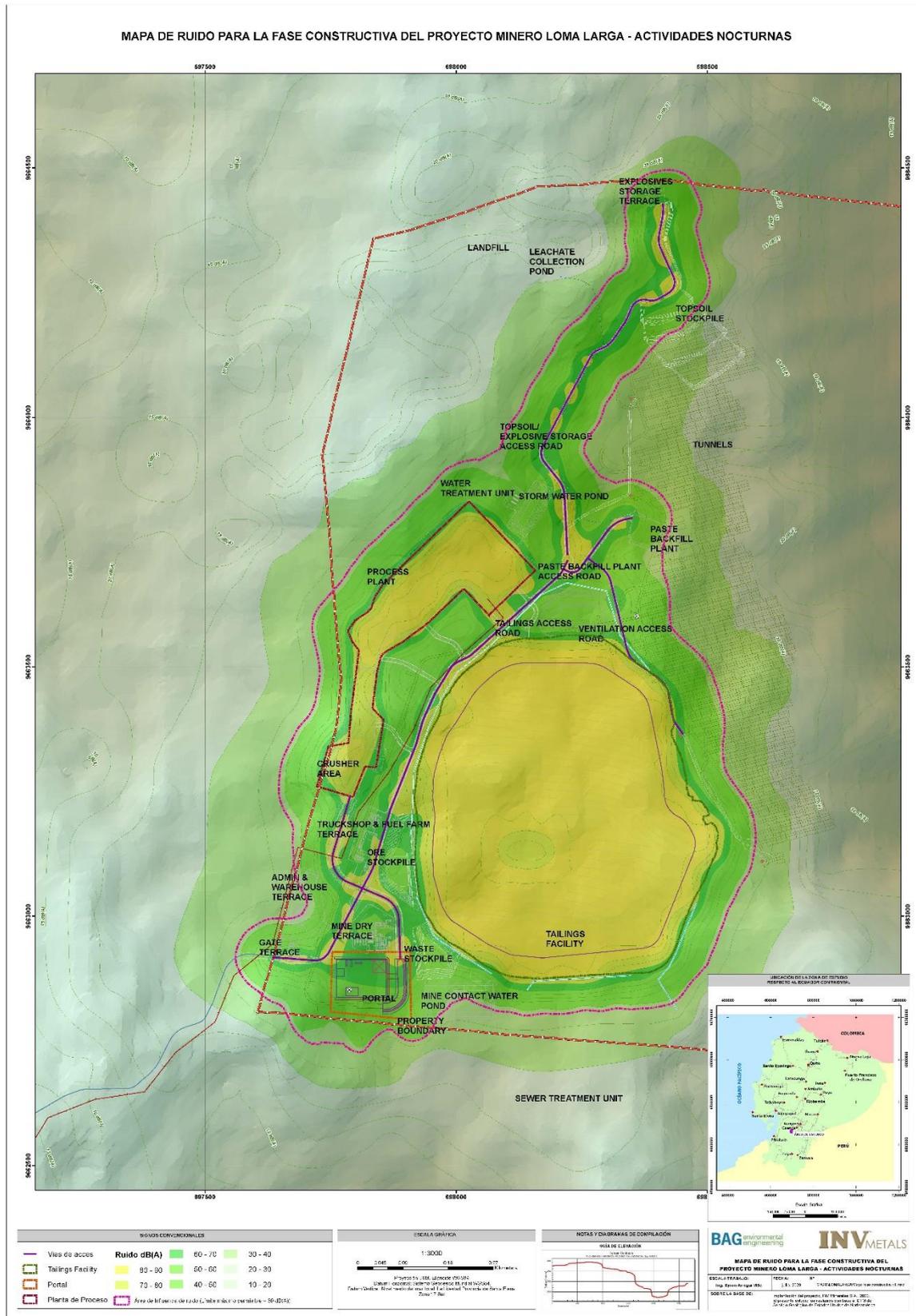
En el modelo de propagación y atenuación de ruido entrega una nube de puntos; la estructura vector de los puntos representa una superficie de observaciones discreta, es decir, que no existe continuidad en los valores de concentración para la extensión total del área de influencia, únicamente se conocen los valores para los puntos calculados.

Con el objetivo de transformar las superficies discretas a continuas, existe la interpolación que es un ajuste matemático estadístico para los cuales mediante las observaciones puntuales se puede determinar los valores intermedios entre dos puntos en función de la distancia de separación y del valor a calcularse en este caso la concentración de cada punto. Otra forma de crear continuidad a una superficie es mediante la triangulación, gracias a la cual se obtienen los TIN (Triangulated irregular network) (Arregui, 2007).

5.0 RESULTADOS

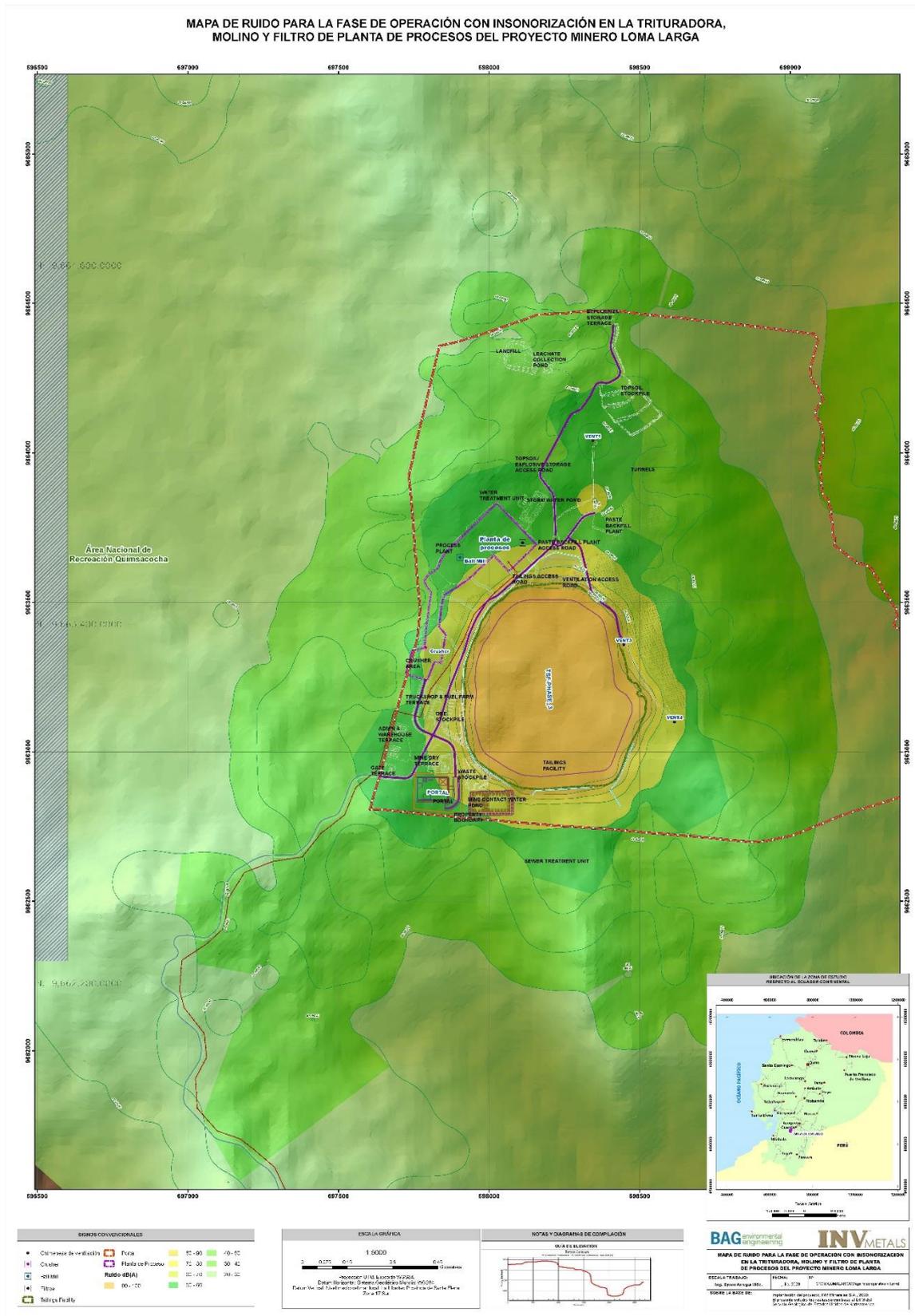
A continuación, se presentan los mapas de ruido generados para cada fase del proyecto.

FIGURA 8: MAPA DE RUIDO PARA LA FASE CONSTRUCTIVA NOCTURNA



Fuente: BAG, Resultado del proceso de modelación, julio 2020

FIGURA 10: MAPA DE RUIDO PARA LA FASE DE OPERACIÓN DEL PROYECTO



Fuente: BAG, Resultado del proceso de modelación, julio 2020

6.0 RESPONSABILIDAD

El presente estudio ha sido realizado en base a información climática, carga y tipo de maquinaria y niveles de ruido procedente de cada fuente entregada por INV Metals Inc. La información operativa de las fuentes fue proporcionada también por INV Metals Inc. al Consultor Ambiental.

La precisión de los resultados obtenidos depende de la precisión de la metodología utilizada la cual se describe a lo largo del presente documento y de la información base entregada por el proponente, la cual es de exclusiva responsabilidad de este.



Ing. Byron Arregui M.Sc.
Consultor AMBIENTAL

7.0 BIBLIOGRAFÍA

Recuero López, M. (2000). Ingeniería acústica (1st ed., p. 630). Madrid: Paraninfo.

8.0 ANEXOS

8.1 ANEXO 1: CATALOGOS DE LOS EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN Y GENERADORES ELÉCTRICO

8.2 ANEXO 2: CARTOGRAFÍA