



**INFORME DE SIMULACIÓN DE RUIDO ACÚSTICO EN LA  
SUBESTACIÓN OCCIDENTE  
Bogotá D.C.**



Departamento de Ingeniería Eléctrica y electrónica  
Laboratorio de innovación en alta tensión y energías renovables LIAT-ER  
Carrera 30 No. 45 – 03  
Edificio 411. Oficina 102C Bogotá, Colombia  
[liater\\_fibog@unal.edu.co](mailto:liater_fibog@unal.edu.co)

*Patrimonio  
de todos  
los colombianos*

**Laboratorio de Innovación en Alta Tensión y Energías Renovables (LIAT-ER)**  
**Universidad Nacional de Colombia**

**Bogotá D.C., 26 de junio de 2021**

## Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	OBJETIVOS	5
2.1.	Objetivo general	5
2.2.	Objetivos específicos	5
3.	GENERALIDADES	5
3.1.	Normas aplicables	5
3.2.	Descripción del dominio físico de la simulación	6
3.3.	Definición de materiales	6
4.	PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN	7
4.1.	Discretización empleada y modelo de cálculo	7
4.2.	Caracterización de la fuente	7
5.	RESULTADOS OBTENIDOS	8
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	11
7.	CONCLUSIONES	12
8.	REFERENCIAS	12
9.	INFORMACIÓN ADICIONAL DEL INFORME	12
10.	RESPONSABLES	12
	ANEXO A: Caracterización fuentes.	13
	ANEXO B: Cambio de materiales	17

## INFORME DE SIMULACIÓN DE RUIDO ACÚSTICO EN LA SUBESTACIÓN OCCIDENTE

### 1. INTRODUCCIÓN

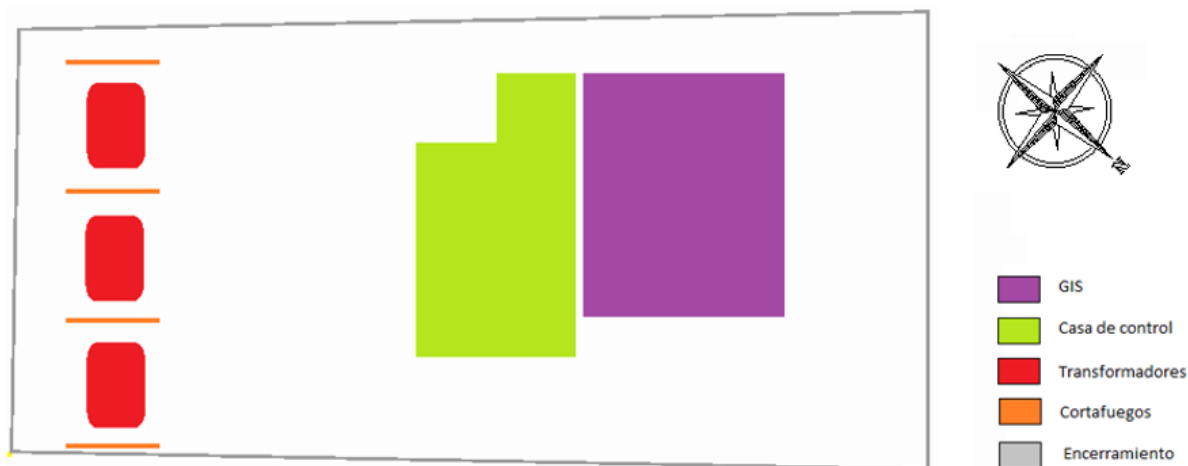
Como parte del estudio ambiental que CODENSA S.A. E.S.P. está realizando para la construcción de la Subestación Occidente sobre la carrera 9 en el municipio de Funza, el Laboratorio de Innovación en Alta Tensión y Energías Renovables (LIAT-ER), realizó la evaluación de ruido ambiental de acuerdo a la solicitud realizada por ENEL CODENSA S.A. E.S.P. Este estudio busca caracterizar los niveles de presión sonora en la periferia de la subestación para verificar el cumplimiento de las exigencias establecidas en la Resolución 627 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible [1].

En el presente documento se mencionan los objetivos del estudio, la normatividad usada, la metodología del estudio, los resultados con su respectivo análisis y conclusiones. Como anexo se presenta la caracterización de la fuente y los resultados del ruido acústico a las afueras de la subestación al cambiar los materiales de los muros de la casa de control y GIS.

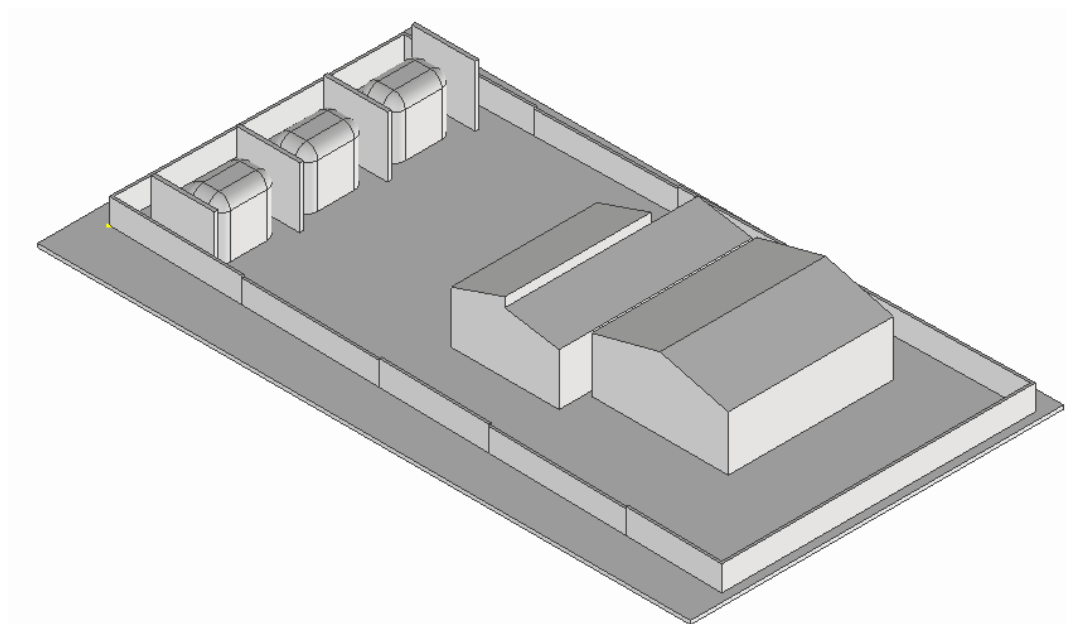
En la Figura 1 (a) se presenta una vista satelital con la ubicación de la Subestación Occidente. En la Figura (b) se presenta una vista de planta de la distribución de los elementos más importantes de la subestación (transformadores, muros cortafuegos, casa de control, encerramiento, etc.). Adicionalmente en la Figura 1 (c) se muestra una vista espacial de la distribución de los elementos y construcciones principales previstas para la subestación. La subestación proyectada colinda con la carrera 9 (antigua carrera 5 este) por el noroccidente; la planta Colanta por el nororiente, la cancha de fútbol por el costado suroriente y con la calle 9, la cual separa la SE con el colegio y el conjunto residencial, por el suroccidente.



(a)



(b)



(c)

**Figura 1. Ubicación y distribución de la S/E Occidente**

La subestación Occidente está diseñada para contar con tres transformadores marca WEG de 40 MVA cada uno; dos de ellos con nivel de tensión de 115/11.4kV y uno de 115/34.5kV. Como se observa en la Figura 1 los transformadores se encuentran distribuidos linealmente y separados por medio de muros cortafuegos. El área de la subestación se encuentra delimitada por un encerramiento de 2,7m de altura y tiene 3 puertas de acceso, cada una cuenta con 2,5m de altura.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Evaluar los niveles de presión sonora en el marco de estudio del impacto ambiental para la construcción de la subestación Terminal propiedad de CODENSA S.A. E.S.P. por medio de simulaciones acústicas realizadas empleando el software COMSOL Multiphysics®.

### 2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los transformadores definidos para la subestación como fuentes de ruido acústico.
- Comparar los niveles de presión sonora en la periferia de la subestación con los valores de referencia establecidos en la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

## 3. GENERALIDADES

### 3.1. Normas aplicables

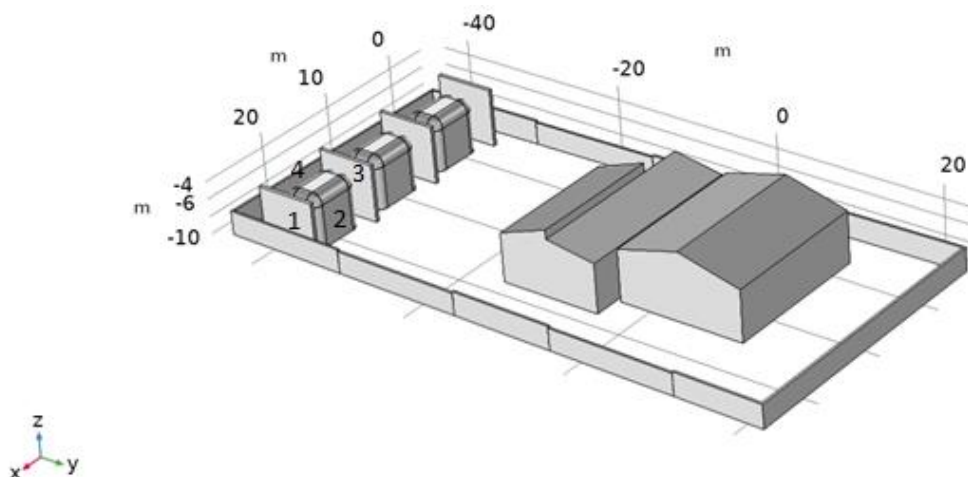
Los resultados de la simulación se deben comparar con los valores de referencia establecidos en la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, estos valores de referencia están definidos en Capítulo III, Tabla 1. De acuerdo con esta norma, la zona estudiada tiene una clasificación de “*Sector B. Tranquilidad y ruido moderado*”, dentro del subsector “*Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para el desarrollo habitacional, hotelería y hospedaje*”. En la Tabla 1 se especifican los valores aplicables.

**Tabla 1.** Estándares máximos permisibles de emisión de ruido en dB(A)

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de emisión de ruido en dB(A)	
		Día	Noche
<b>Sector B. Tranquilidad y silencio</b>	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para el desarrollo habitacional, hotelería y hospedaje	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación		

### 3.2. Descripción del dominio físico de la simulación

La simulación se realizará sobre un dominio infinito alrededor de la subestación Occidente (ver Figura 2). Este dominio permite la simulación del comportamiento de la presión acústica tanto en el interior de la subestación, como en los alrededores de esta. En este dominio se han incluido algunos detalles relevantes de la distribución de los elementos de la subestación, tales, como transformadores, muros cortafuegos, encerramiento, puertas de acceso, etc. Resulta importante la consideración de estos detalles geométricos en la forma como se difunde la energía acústica desde la fuente hasta el exterior de la subestación. Así mismo, es necesario la consideración de los tipos de material, y particularmente la impedancia acústica, de los diferentes componentes que hacen parte de la subestación considerada.



*Figura 2. Representación del dominio físico a simular.*

### 3.3. Definición de materiales

Para la realización de la simulación se usaron los materiales mostrados en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Materiales definidos en los bloques de simulación

Bloque	Material
Celda de control	Ladrillo
Muros cortafuegos	Concreto
Encerramiento	Ladrillo
Puerta de ingreso a la subestación	Aluminio
GIS	Ladrillo

#### 4. PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN

##### 4.1. Discretización empleada y modelo de cálculo

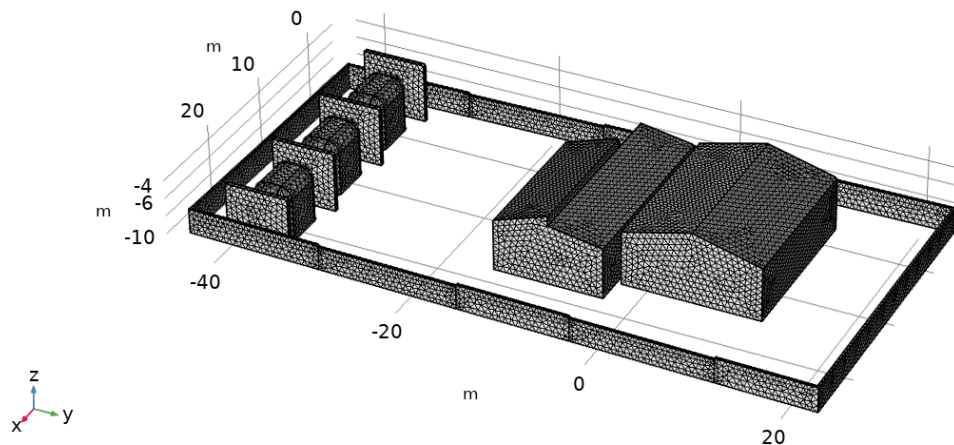
La simulación se planteó sobre el modelo definido por la ecuación de Helmholtz, la cual permite determinar la distribución de presión sonora en el dominio numérico construido. Este dominio numérico fue discretizado empleando la técnica de los elementos de contorno.

Para la simulación se construyó una malla conformada por elementos triangulares de segundo orden, considerando un tamaño promedio de 4 elementos por longitud de onda analizada. Tal como se menciona en la siguiente sección, se consideró un ruido emitido compuesto por frecuencias de 120 Hz y 240Hz, de modo que al realizar la discretización se obtuvieron 20591 y 66016 elementos, respectivamente para cada frecuencia simulada (Ver Figura 3).

##### 4.2. Caracterización de la fuente

Un paso fundamental en la construcción del modelo es la caracterización en intensidad y frecuencia de la fuente acústica. Para ello se hace necesario realizar un estudio de las fuentes asociada a cada uno de los tres transformadores eléctricos de la subestación.

Esta caracterización consistió en asignar una presión sonora emitida por cada una de las caras externas del hexaedro que representa el contorno de un transformador, de tal manera que el nivel de presión sonora (NPS) a 2 metros del transformador cumpla con la información suministrada por ENEL-CODENSA S.A. E.S.P. en el documento “Prueba Ruido Transformador WEG”. Como se puede identificar en dicho documento en condiciones ONAF2 (carga de 40 kVA y un nivel de tensión de 123 kV), el nivel de presión sonora medido frente a las caras 1,2, 3 y 4, debe corresponder a 59.5 dB(A), 59.8 dB(A), 59.8 dB(A) y 59.3 dB(A), respectivamente (ver Figura 2). Ver Anexo A.



**Figura 3.** Discretización con elementos de contorno empleada para la frecuencia de 120Hz.

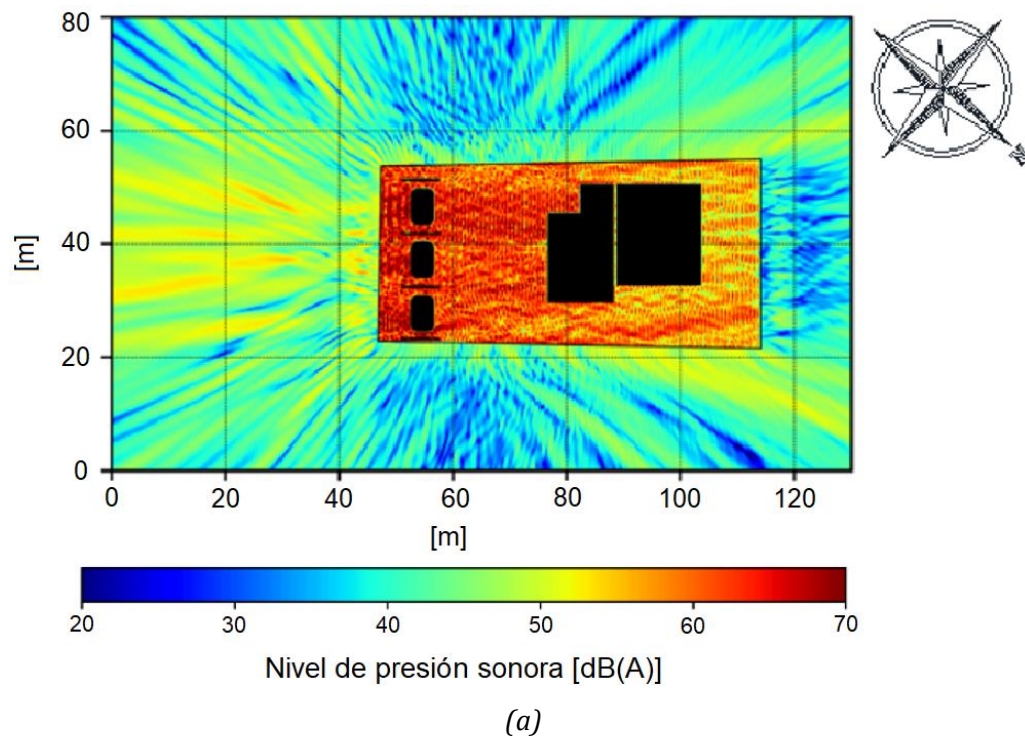


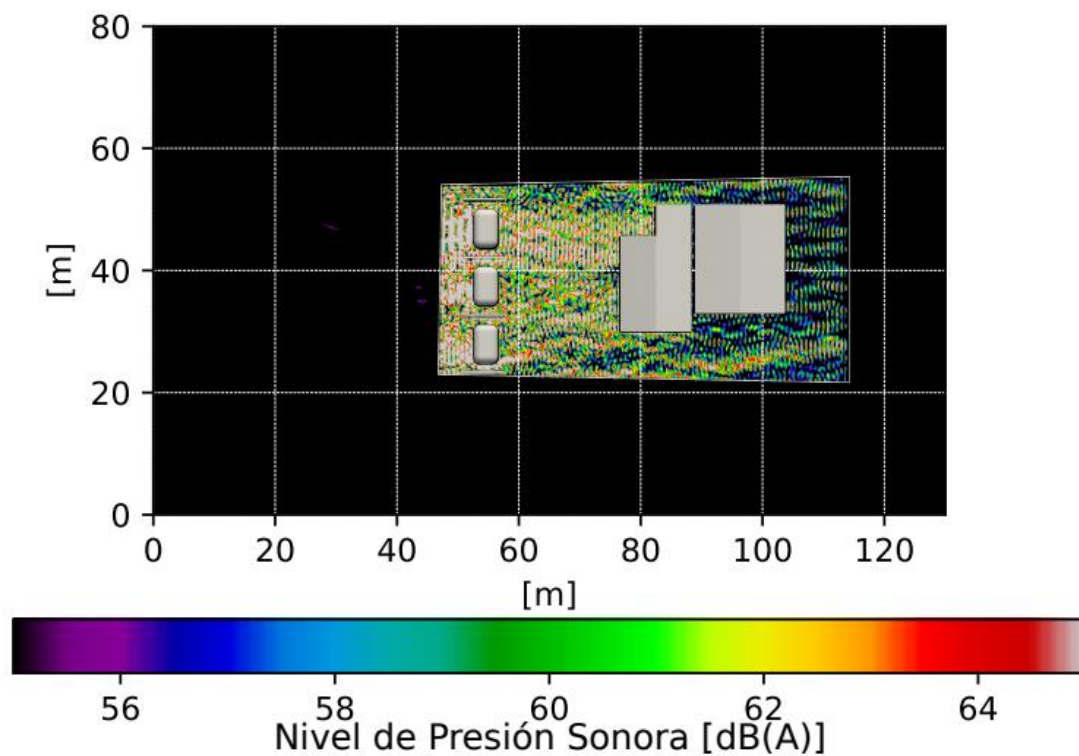
## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

En la Figura 4 (a) se pueden observar los resultados obtenidos para el nivel de presión sonora medido sobre un plano horizontal ubicado a una altura de 1,2 m del suelo, de acuerdo con los parámetros dados en la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [1]. En la Figura 4 (b) se presentan los resultados de la Figura 4 (a) filtrados de tal manera que las zonas de color negro muestran un nivel de presión sonora menor o igual a 55dB(A).

Como información adicional en la Figura 6 (a) se puede observar los valores de nivel de presión sonora obtenidos sobre un plano vertical (correspondiente con el corte A de la Figura 5). De forma análoga a la Figura 5 (b), en la Figura 6 (b) se puede observar de color negro las zonas en las que el nivel de presión sonora es menor o igual a 55dB(A). Cabe aclarar que la parte izquierda de la Figura 6 limita con el colegio y la zona residencial.

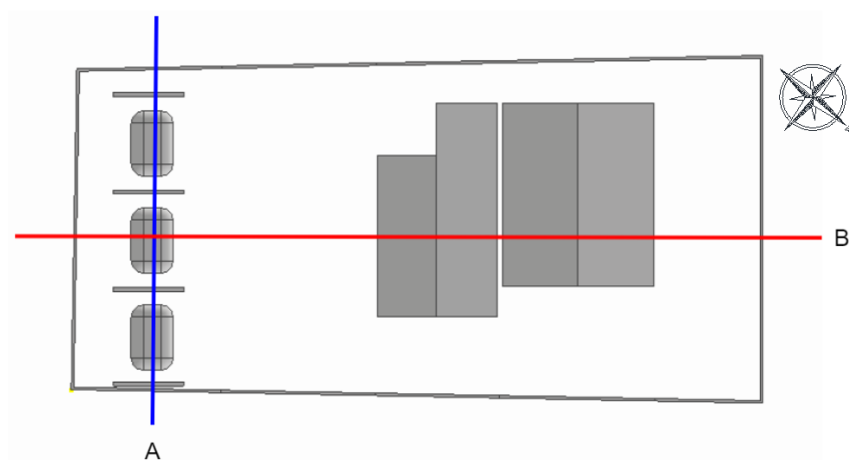
Así mismo, en la Figura 7 (a) se muestra el nivel de presión sonora obtenido sobre un plano vertical (correspondiente con el corte B de la Figura 5), y en la Figura 7 (b) se puede observar una distribución de niveles de presión sonora, filtrados de tal manera que el color negro muestra las zonas con un nivel de presión sonora menor o igual a 55dB(A).



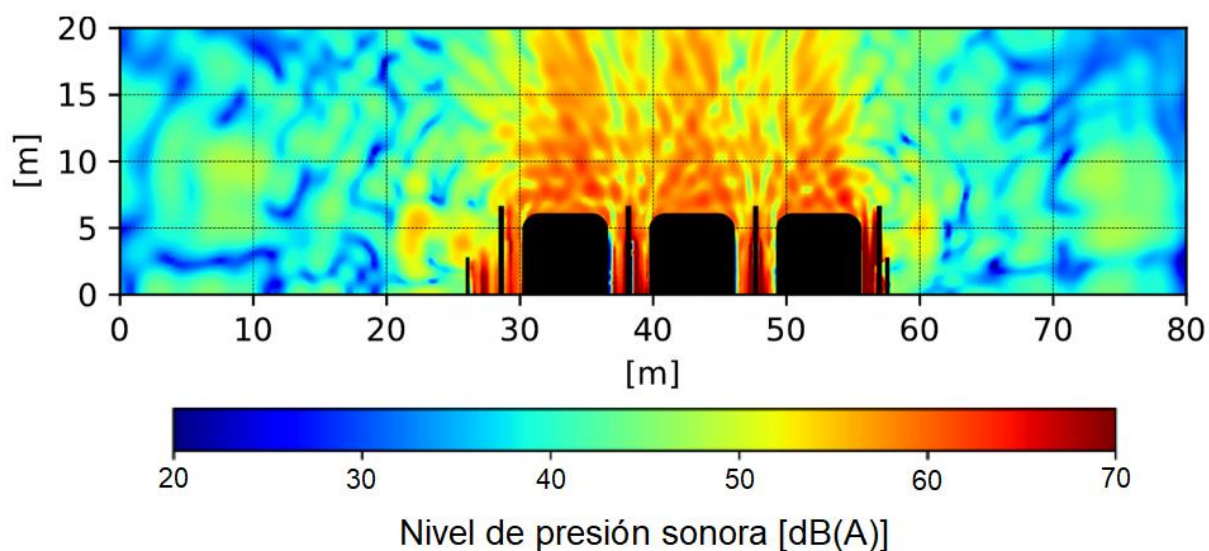


(b)

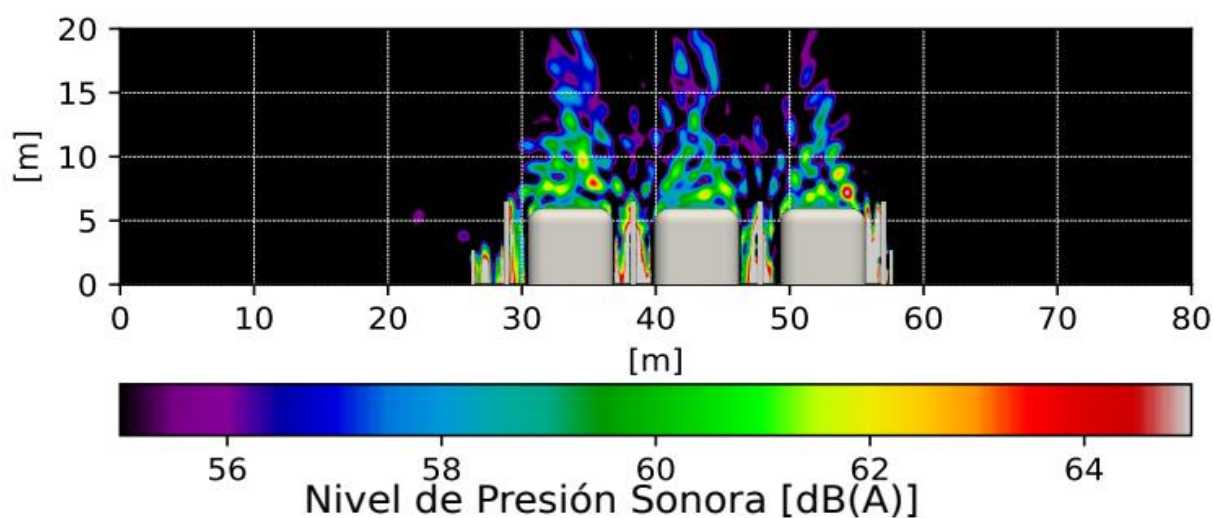
**Figura 4.** (a) Nivel de presión sonora obtenida en un plano horizontal ubicado a 1.2m del suelo. (b) Zonas con nivel de presión sonora superior a 55 dB(A).



**Figura 5.** Cortes en plano de planta empleados para las gráficas de las Figuras 6 y 7.

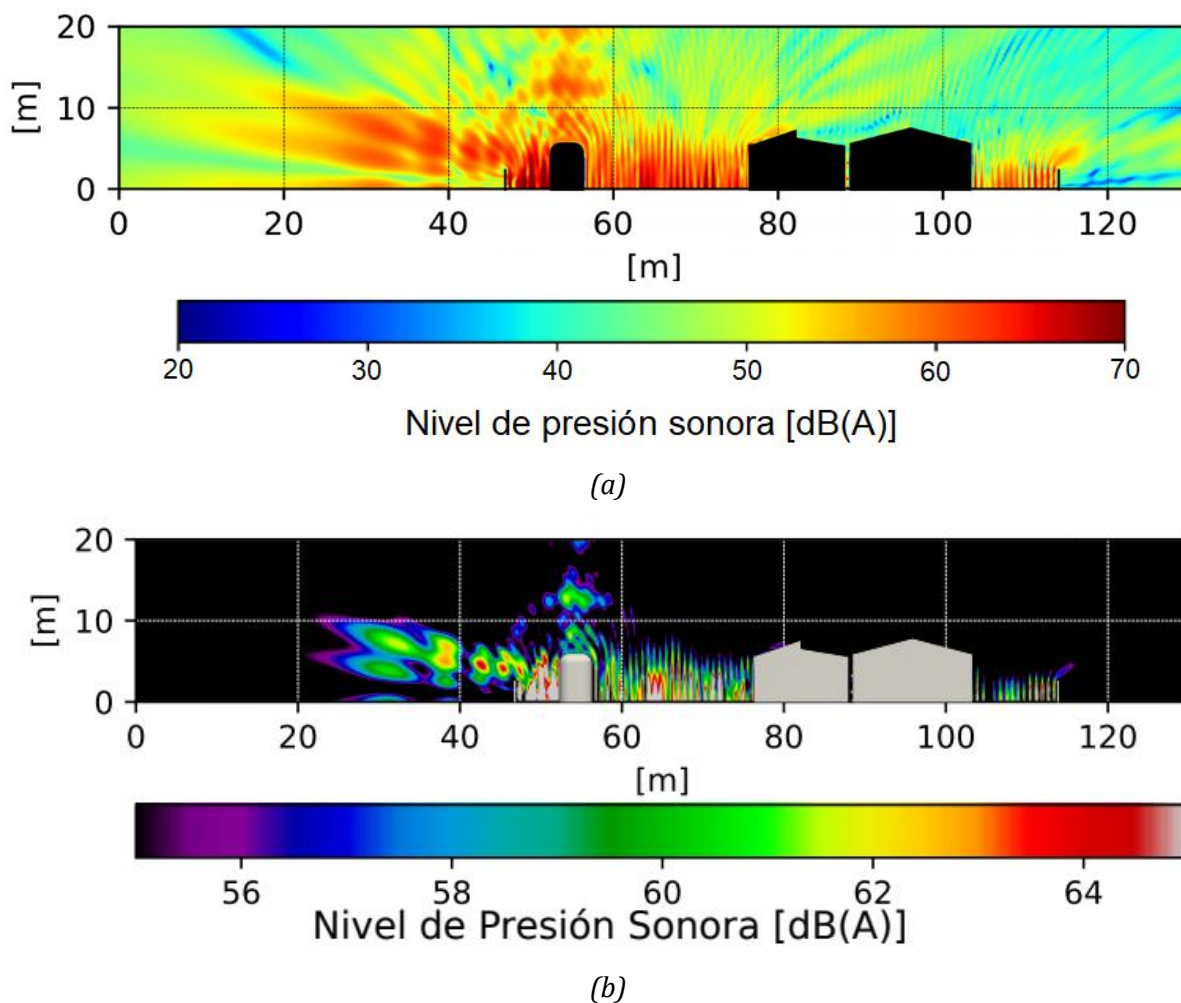


(a)



(b)

**Figura 6.** (a) Nivel de presión sonora sobre el plano del corte A. (b) Zonas con nivel de presión sonora superior a 55 dB(A).



**Figura 7.** (a) Nivel de presión sonora sobre el plano del corte B. (b) Zonas con nivel de presión sonora superior a 55 dB(A).

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se aprecia en la Figura 4, en la zona posterior de la subestación (zona aledaña a la cancha de fútbol) los resultados de la simulación muestran pequeñas áreas en con un nivel de presión sonora mayor a 55dB(A). Se observan picos máximos de hasta 64 dB(A) a 5 metros del muro suroccidental del encerramiento, Además, se observan zonas con niveles entre 55 y 62 dB(A) a 5 metros de altura y a una distancia de hasta 20 metros del muro mencionado (ver Figura 7). De acuerdo con los resultados, el resto de las zonas exteriores al encerramiento, a una altura de 1.2 m sobre el suelo, cumplen con los estándares de máximos permisibles en los niveles de emisión sonora (ver la Tabla 1).



Sin embargo, tal como se observa en la Figura 6, la zona de la subestación que delimita con el colegio muestra zonas donde el nivel de presión sonora es mayor a 55dB (A). De la misma forma en la Figura 7 se puede observar que, debido a la diferencia de altura entre los transformadores y el encerramiento, la emisión de ruido hacia las canchas de fútbol supera en algunas áreas los 55dB(A).

## **7. CONCLUSIONES**

El uso de simulación acústica, basada en elementos de contorno, para determinar la emisión de ruido acústico en la Subestación Occidente, propiedad de CODENSA S.A. E.S.P., permitió estimar que los niveles de presión sonora en buena parte de las zonas periféricas de la subestación se encuentran dentro de los valores máximos permisibles definidos en la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con un valor menor a 55 dB(A) en la noche para una clasificación de Sector B: Tranquilidad y Ruido moderado – Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.

No obstante, la zona posterior de la subestación que colinda con la cancha de fútbol, e incluso en la zona del colegio, se alcanzan niveles de presión sonora superiores a 55 dB(A).

## **8. REFERENCIAS**

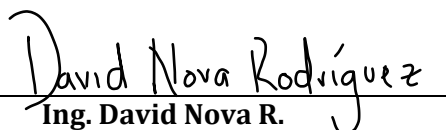
1. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *Resolución número 627 07 de abril de 2006*, 2006.
2. IEC 551, *Determination of transformer and reactor sound levels*, 1987.
3. J. Ramírez, *Caracterización del Ruido y vibraciones del chiller SIC-5A-P de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle*, 2017.

## **9. INFORMACIÓN ADICIONAL DEL INFORME**

**Cotización:** LIAT-ER 01C205V3

**Estudiante auxiliar:** Nicolle Contreras Alejo  
Jairo Alberto Murillo Rincón

## **10. RESPONSABLES**



Ing. David Nova R.

Ingeniero de proyectos  
Universidad Nacional de Colombia



Ing. Carlos H. Galeano U.

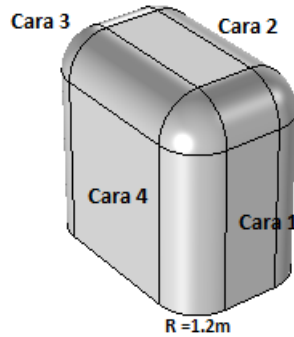
Jefe Técnico de Ensayos  
Universidad Nacional de Colombia

### ANEXO A: Caracterización fuentes.

A partir de la información suministrada por CODENSA S.A. E.S.P. en el documento “Prueba Ruido Transformador WEG” se caracterizó la emisión acústica del transformador de forma que el nivel de presión sonora (NPS) simulado, a 2 metros del transformador en cada cara, cumpla con la información reportada en el informe mencionado en ONAF2, con valores de 59.5 dB(A), 59.8 dB(A), 59.8 dB(A), 59.3 dB(A) para las caras 1, 2, 3 y 4, respectivamente (ver Figura A1 y A2). Para la calibración de la intensidad del flujo de energía se tomaron 2 valores de presión sonora, uno para cada valor de frecuencia utilizada en la simulación (120 Hz y 240 Hz). Dichos datos fueron calculados con referencia al valor de 59.8 dB (A) (ver Tabla A1).



**Figura A1.** Vista satelital de la vecindad

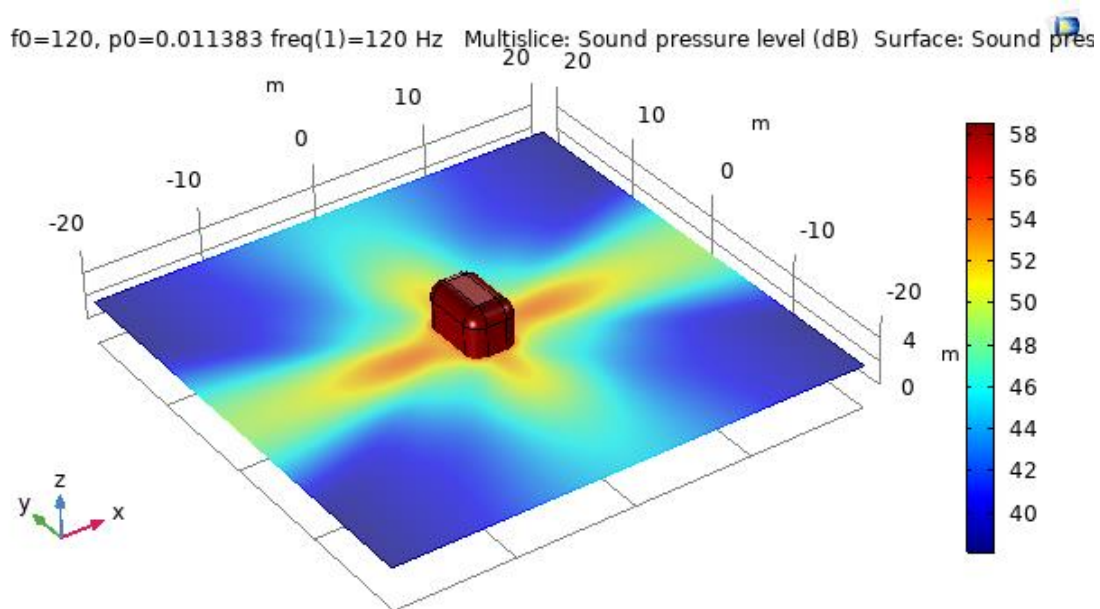


**Figura A2.** Modelado del transformador con sus respectivas caras laterales.

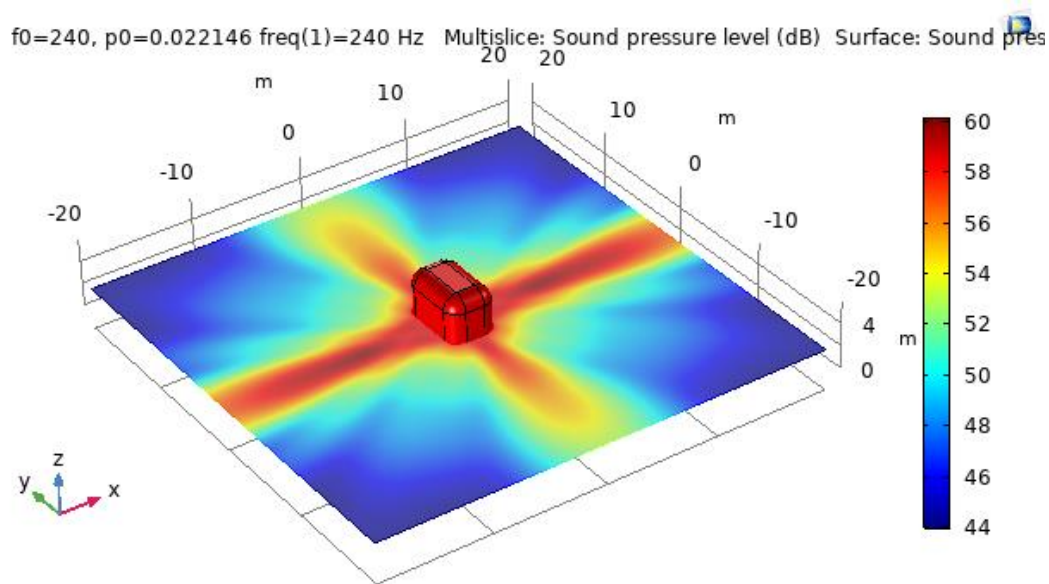
**Tabla A1.** Valores usados para la caracterización de la fuente

Banda de frecuencias	Presión sonora (Pa)
120[Hz]	0.0113832
240[Hz]	0.0221457

Usando los valores mencionados en la Tabla A1 se obtuvo la distribución de nivel de presión sonora, en las Figuras A3 y A4 se muestra la gráfica para ambas frecuencias utilizadas.

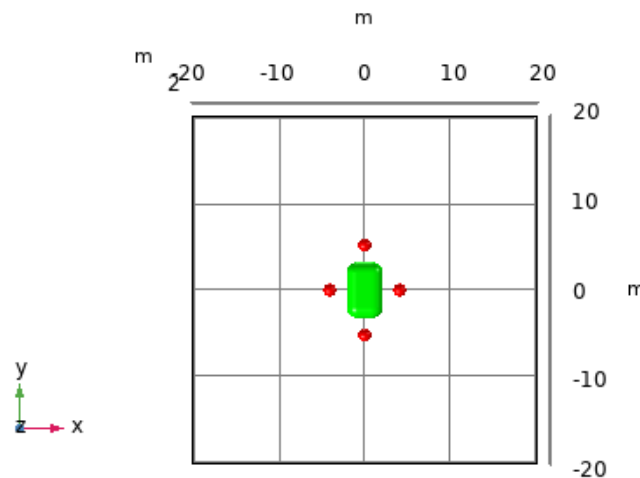


**Figura A3.** Gráfica de nivel de presión sonora del transformador a 120 Hz



**Figura A4.** Gráfica de nivel de presión sonora del transformador a 240 Hz

En la Figura A4 se pueden observar los puntos utilizados para medir el valor emitido por cada cara a 2 metros del transformador (en verde) y en la Tabla A2 se evidencia el valor obtenido por cada cara correspondiente a el rango de puntos simulados con cada frecuencia, teniendo en cuenta que la simulación aunque fue referenciada al valor de 59.8 dB, fue analizada por los 12 puntos consignados en el informe de prueba antes mencionado y el valor evaluado en cada cara correspondiente a un rango de 3 puntos por cara.



**Figura A4.** Puntos de medición a 2 metros del transformador.



**Tabla A2.** Nivel de presión sonora por frecuencia

Valor de Frecuencia [Hz]	Cara 1 [dB(A)]	Cara 2 [dB(A)]	Cara 3 [dB(A)]	Cara 4 [dB(A)]
120	52.158	53.612	52.159	53.612
240	58.583	58.396	58.583	58.396

Finalmente, en la Tabla A3 se evidencia la comparación entre los datos obtenidos en la simulación y los datos suministrados por CODENSA S.A. E.S.P.

**Tabla A2.** Comparación de datos teóricos y experimentales

Punto	Valor dado por CODENSA S.A. E.S.P. dB(A)	Valor obtenido en COMSOL Multiphysics® dB(A)	Diferencia entre valor simulado y el experimental dB(A)
1	59.50	59.47	-0.023
2	59.80	59.64	-0.156
3	59.80	59.47	-0.326
4	59.30	59.64	0.342

## ANEXO B: Cambio de materiales casa de control y GIS

Como caso complementario se realizó una simulación con los materiales mencionados en la Tabla B1

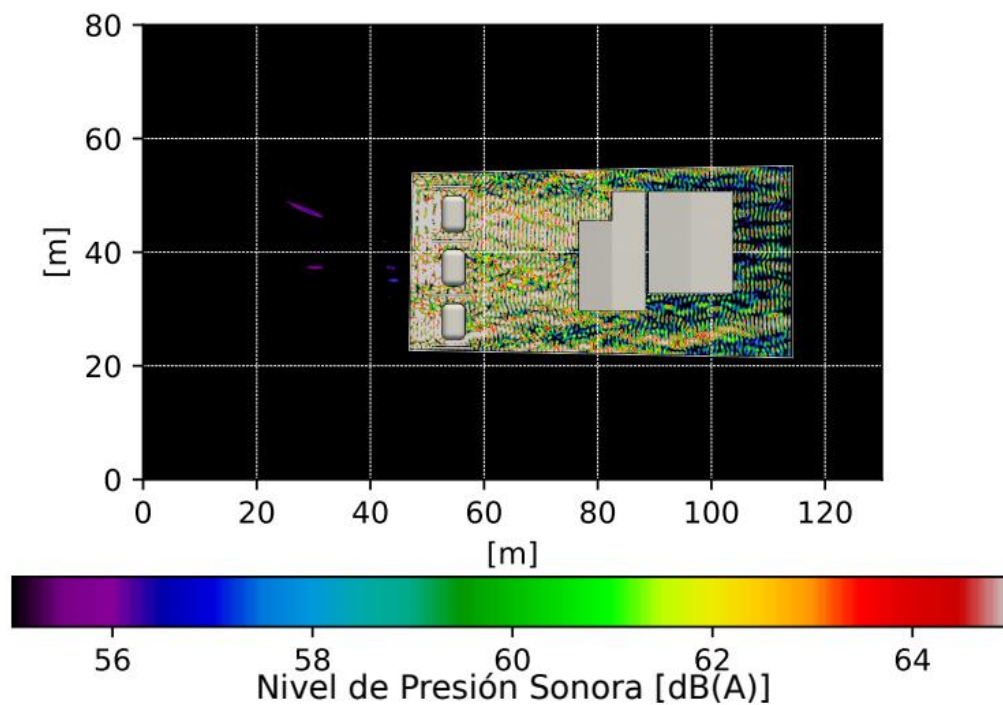
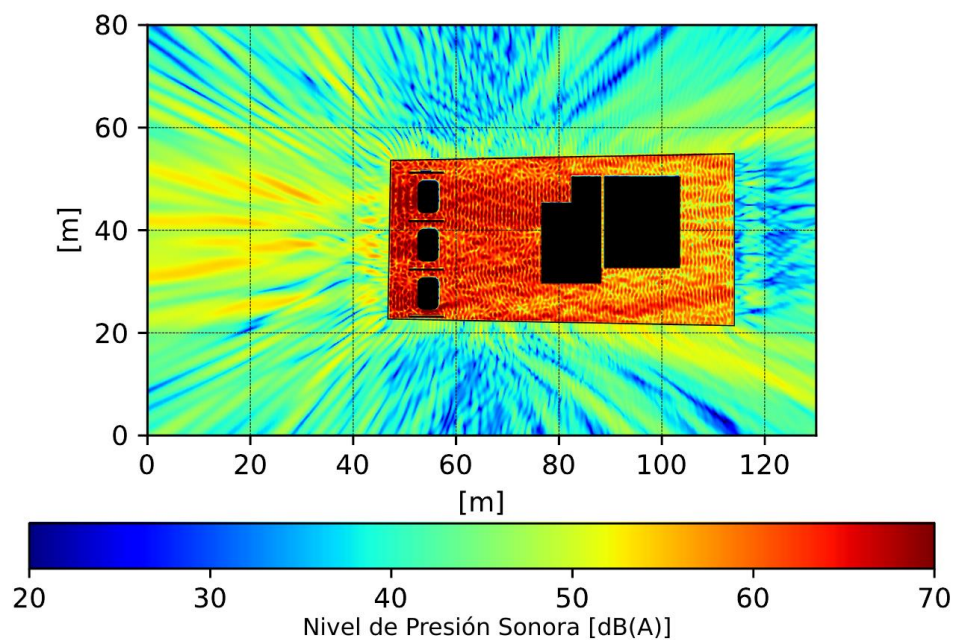
**Tabla B1:** Materiales definidos en los bloques de simulación

Bloque	Material
<b>Celda de control</b>	Acero A572 grado 50 y acero galvanizado.
<b>Muros cortafuegos</b>	Concreto
<b>Encerramiento</b>	Ladrillo
<b>Puerta de ingreso a la subestación</b>	Aluminio
<b>GIS</b>	Acero A572 grado 50 y acero galvanizado.

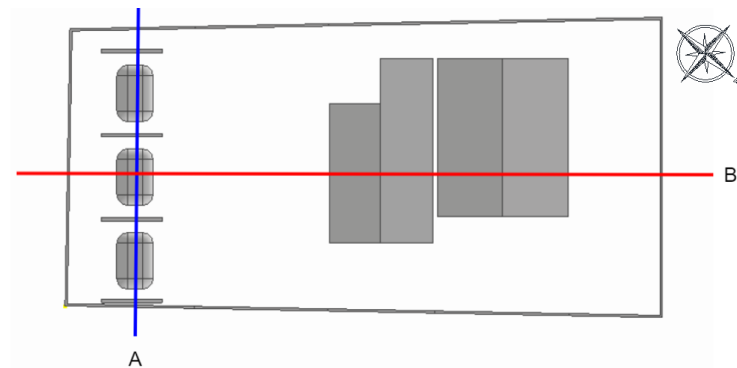
En la Figura B1 (a) se pueden observar los resultados obtenidos para el nivel de presión sonora medido sobre un plano horizontal ubicado a una altura de 1,2 m del suelo, de acuerdo con los parámetros dados en la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [1]. En la Figura B1 (b) se presentan los resultados de la Figura 4(a) filtrados de tal manera que las zonas de color negro muestran un nivel de presión sonora menor o igual a 55dB(A).

Como información adicional en la Figura B3 (a) se puede observar los valores de nivel de presión sonora obtenidos sobre un plano vertical (correspondiente con el corte A de la Figura B2). De forma análoga a la Figura B1 (b), en la Figura B3 (b) se puede observar de color negro las zonas en las que el nivel de presión sonora es menor o igual a 55dB(A). Cabe aclarar que la parte izquierda de la Figura B3 limita con el colegio y la zona residencial.

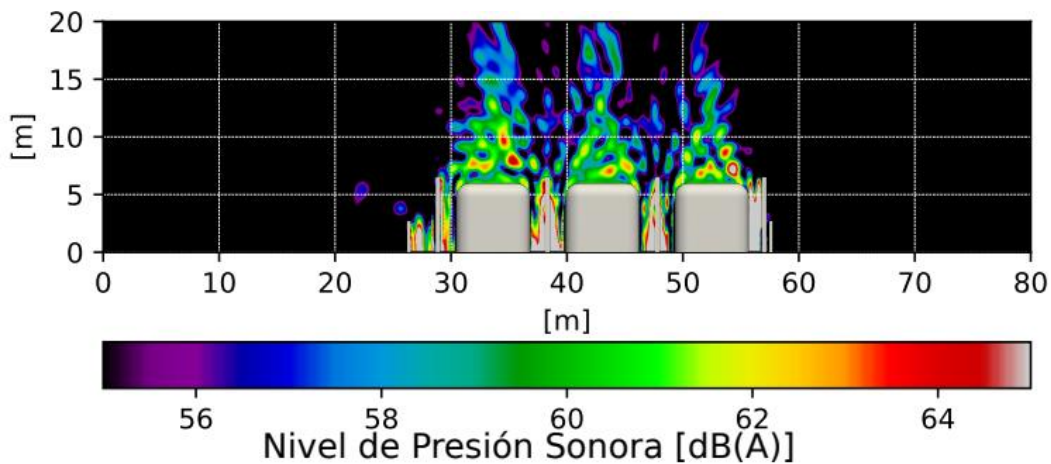
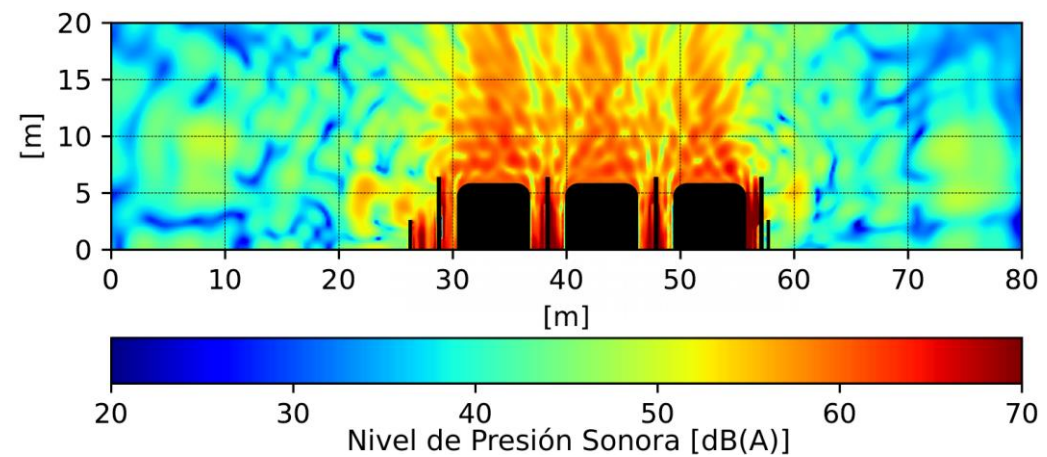
Así mismo, en la Figura B4 (a) se muestra el nivel de presión sonora obtenido sobre un plano vertical (correspondiente con el corte B de la Figura B2), y en la Figura B4 (b) se puede observar de color negro las zonas con un nivel de presión sonora menor o igual a 55dB(A).



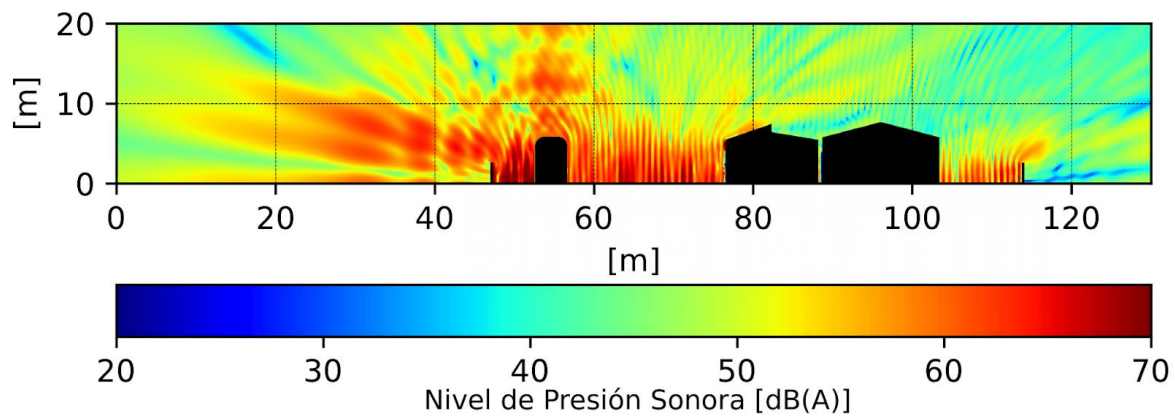
**Figura B1.** (a) Nivel de presión sonora obtenida en un plano horizontal ubicado a 1.2m del suelo. (b) Zonas con nivel de presión sonora superior a 55 dB(A).



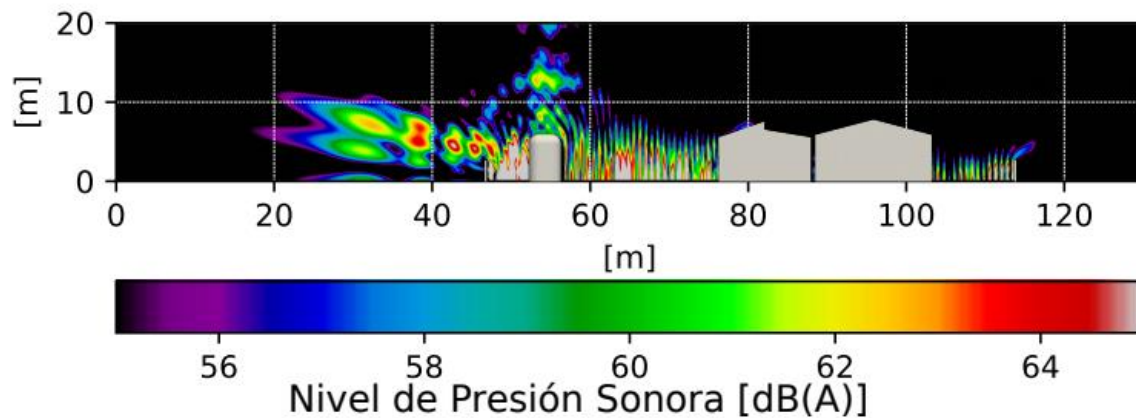
**Figura B2.** Cortes en plano de planta empleados para las gráficas de las Figuras 6 y 7.



**Figura B3.** (a) Nivel de presión sonora sobre el plano del corte A. (b) Zonas con nivel de presión sonora superior a 55 dB(A).



(a)



(b)

**Figura B4.** (a) Nivel de presión sonora sobre el plano del corte B. (b) Zonas con nivel de presión sonora superior a 55 dB(A).

Al hacer la comparación entre los resultados mostrados en las imágenes 4, 6 y 7 con las mostradas en el presente anexo se puede observar que al realizar el cambio del material la emisión de ruido en la periferia de la subestación aumentará.