

# SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DEL CAMPO SONORO PRODUCIDO POR GRUPO ELECTRÓGENO DE ALTA POTENCIA

HORACIO H. CONTRERA<sup>1,2</sup> y JULIO A. VILCA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC), Maestro López Esq. Cruz Roja Argentina. CP X5016ZAA. Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Asociada al CONICET, Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Facultad Regional Córdoba (FRC). Maestro López Esq. Cruz Roja Argentina. CP X5016ZAA. Córdoba, Argentina.  
hernan\_c47@hotmail.com, julio.xt225@gmail.com

**Resumen** – Una frecuente problemática en acústica ambiental es la ocasionada por grupos electrógenos de alta potencia. El ruido producido por estos equipos industriales se caracteriza principalmente por el alto nivel de presión sonora, su componente espectral de banda ancha y régimen continuo. Habitualmente el ruido producido por estos equipos supera los límites máximos establecidos por diferentes normativas vigentes tanto nacionales como internacionales. Una poderosa y eficiente herramienta para el estudio de diferentes problemáticas acústicas ambientales es la simulación computacional, que a través de diversos modelos físico-matemáticos, permite predecir el campo sonoro para las condiciones específicas preestablecidas. En este trabajo se presentan resultados de simulaciones computacionales, en las cuales se han modificado diferentes elementos para controlar el campo sonoro producido por un grupo electrógeno de 1,1 MW, con el objetivo de evaluar la variación de niveles de presión sonora en diferentes posiciones espaciales. Las simulaciones son realizadas con el software Computer Aided Noise Abatement (CadnaA), de la empresa Datakustic, el cual aplica diferentes normativas internacionales.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente un eficaz método para predecir el campo sonoro en espacio abierto es mediante la simulación computacional. Debido a la complejidad del gran conjunto de ecuaciones que permiten la predicción del comportamiento del sonido en espacios abiertos, los cálculos que se realizan mediante simulación computacional se basan en simplificaciones actualmente estandarizadas permitiendo obtener una aproximación aceptable [1].

El objetivo del trabajo es verificar la exactitud del método simplificado cuando se lo aplica en un caso real, en el cual se realizaron mediciones de nivel de presión sonora con instrumentación calibrada a un grupo electrógeno 1,1 MW de potencia equipado con un motor turbo diesel de doce cilindros. En primer lugar, se analiza el modelado de la fuente sonora (grupo electrógeno), el medio (aire) el ambiente donde la fuente se localiza (recinto) y la configuración del software. En segundo lugar, se comparan los resultados de la simulación y medición. Por último, y partir de dichos datos, se simula y evalúa una posible solución acústica para el control del ruido.

## 2. ANALISIS DE LAS CONFIGURACIONES DEL SOFTWARE CADNA-A

### 2.1 Propagación y absorción de ondas sonoras

Los cálculos realizados por el software para la propagación y la absorción de ondas sonoras se basan

de diferentes normas, en este trabajo se aplica la norma ISO 9613 [2] [3].

### 2.2 Parámetros de la fuente

El software CADNA-A dispone de distintos tipos de fuentes sonora, de las cuales se hará uso únicamente del emisor superficial y emisor superficial vertical.

En la configuración de los parámetros de estas fuentes superficiales los de mayor relevancia son la forma geométrica y la presión sonora ó potencia sonora, esta última puede expresarse como: nivel de potencia sonora (sound power level: PWL ó  $L_w$ ), nivel de potencia sonora por unidad de área (sound power level per unit area: PWL") o nivel de presión sonora (sound pressure level: SPL ó  $L_p$ ) interior más índice ponderado de reducción sonora ( $R_w$ ).

#### 2.2.1 Nivel interior

Permite caracterizar la fuente mediante el espectro de niveles de potencia o presión sonora por octava, además permite aplicar algún filtro de ponderación.

Si no se dispone del nivel de potencia sonora de la fuente el software nos facilita el cálculo de la misma a partir del nivel de presión sonora y el área de medición [4] [5].

Los parámetros que se pueden ingresar son:

- Nivel de potencia sonora ( $L_w$ ).

- Nivel de presión sonora ( $L_p$ ) y el área de la superficie cerrada que contiene a la fuente [3] [4].

$$L_w = L_p + \text{Log} \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (1)$$

donde  $L_p$ : nivel de presión sonora.

$S$ : área total en  $\text{m}^2$ .

$S_0$ : área de referencia  $1 \text{ m}^2$ .

- Nivel de presión sonora ( $L_p$ ),  $r$  radio y porcentaje de la esfera. Particularidad de la ecuación 1.

$$L_w = L_p + \text{Log} \left( \pi r^2 \right) + \text{Log} \left( \frac{\eta\%}{100\%} \right) \quad (2)$$

donde  $L_p$ : nivel de presión sonora.

$r$ : radio de la esfera en m.

$\eta$ : porcentaje de área de la esfera utiliza para medir.

### 2.2.2 Índice de reducción sonora

El software permite ingresar los índices de reducción sonora por banda de octava. Calculando con ellos el índice ponderado de reducción sonora ( $R_w$ ), que se obtendrá a partir del promedio ponderado [6].

### 2.3 Parámetros de los obstáculos

Para definir un obstáculo es importante su forma geométrica así como también el coeficiente de absorción sonora,  $\alpha$ . El software permite definir la pérdida por reflexión de los objetos de dos maneras:

*Pérdida por reflexión*: el número en decibeles de presión sonora que se pierde por cada reflexión en la superficie.

*Coficiente de absorción ( $\alpha$ )*: este valor se ingresa de manera global o por banda de octava.

## 3. MODELO COMPUTACIONAL

En este punto se busca modelar los elementos que contiene el espacio de análisis en cuestión, y que influyen en el cálculo del campo sonoro que realiza el software.

### 3.1 Modelado de la fuente

Como el espacio de análisis es externo al recinto que contiene en su interior la fuente sonora, una forma simplificada y conveniente es tratar al conjunto recinto y fuente sonora, como una nueva fuente sonora.

¿Cómo se realiza?. Una forma para modelar esta nueva fuente sonora en el software es [7]:

- Realizar el recinto, de acuerdo a las medidas de las dimensiones del mismo.
- Cubrir al recinto con emisores superficiales, según sea el caso (horizontal o vertical).

– Introducir parámetros en los emisores superficiales, según las características que corresponda (nivel interno,  $R_w$ ).

En la Figura 1 se observa la vista en 3D del recinto simulado, donde la superficie sombreada corresponde a los emisores superficiales, nótese que se debe cubrir todas las superficies del recinto.

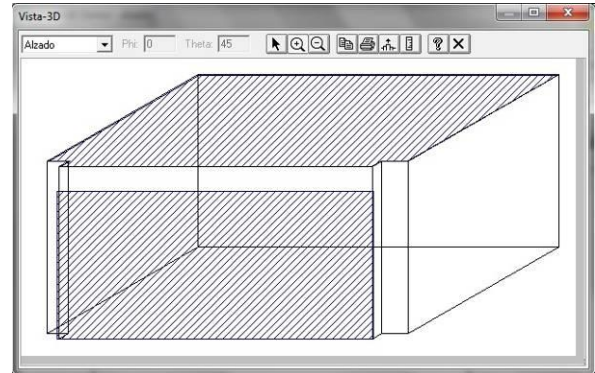


Figura 1: Vista 3D del recinto, ventana de CADNA-A.

### 3.2 Modelado del entorno

En general en todo espacio de análisis se encuentran obstáculos que contribuyen a la formación del campo sonoro, principalmente mediante la absorción y reflexión de las ondas sonoras. Otros factores que contribuyen en menor proporción a la formación del campo sonoro son la absorción del terreno y las condiciones climáticas. En el software se dispone de un grupo de herramientas para la simulación de los mismos. Para el caso de estudio presentado se deja la absorción del terreno y condiciones climática por defecto.

## 4. SIMULACION

Si se conoce el nivel de potencia sonora ( $L_w$ ) de la fuente, (ej: grupo electrógeno), el índice ponderado de reducción sonora del recinto ( $R_w$ ) y las dimensiones del mismo, aplicando el modelo computacional propuesto anteriormente puede obtenerse el campo sonoro exterior al recinto mediante la simulación computacional.

El resultado obtenido permite visualizar la distribución de niveles de presión sonora en el espacio, dichos datos resultan necesarios para diseñar posibles soluciones de control de ruido. Posteriormente y según el criterio de control de ruido seleccionado, se introducirán los nuevos valores de las variables modificadas para simular la ó las soluciones propuestas. Los resultados de estas nuevas simulaciones serán contrastados con los valores de diseño, lo cual permite a los ingenieros analizar ventajas y desventajas de las soluciones acústicas propuestas y evaluar costos de implementación.

A continuación se presenta las simulaciones de un caso de estudio, para ambas instancias.

#### 4.1 Niveles de presión sonora de un caso real

El nivel de potencia sonora del grupo electrógeno analizado se ingresa por banda de octava según datos provistos por el fabricante, tal que la potencia total que resulta, genera un nivel de presión sonora igual al medido a 1 m de la fuente, ver Figura 2.

Niveles Sonoros (local)																				
OK		Cancelar		Copiar...		Fuente...		Ajustar Ancho Col.		Ayuda										
Nombre		ID	Tipo	Espectro de Octava (dB)																
			Pond.	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	lin						
Grupo Electrogeno		Ge	Lw		108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	115.5	118.0						

Figura 2: Nivel de potencia sonora por banda de octava.

De la misma manera se ingresa el índice ponderado de reducción sonora por banda de octava para cada material que compone los cerramientos del recinto (paredes, techo, filtros de aire), ver Figura 3.

Índices de Reducción Sonora (local)												
OK		Cancelar		Copiar...		Fuente...		Ajustar Ancho Col.		Ayuda		
Nombre	ID		31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Rw
Ninguno	R01		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
Ladrillo hueco 115 mm	R15			34.0	37.0	42.0	49.0	55.0	65.0			47
Hoja de acero lisa 1 mm	R25				15.0	17.0	22.0	27.0	32.0	38.0		26

Figura 3: Índice ponderado de reducción sonora por banda de octava.

Con los datos ingresados al software y las dimensiones del espacio a resolver (plano horizontal ó vertical) se procede a la simulación computacional. El campo sonoro generado como resultado de la simulación computacional evidencia una gran emisión sonora sobre el sector sur del recinto. Esta última se debe principalmente al bajo valor del índice ponderado de reducción sonora ( $R_w$ ) que caracteriza al cerramiento sur (donde se localizan filtros de aire de grandes dimensiones). Por tal motivo, sobre dicho sector se evidencian altos niveles de presión sonora, ver figura 4.

Como parte del estudio de campo realizado se efectuó un relevamiento de niveles de presión sonora en diferentes posiciones del exterior del recinto, en la Figura 4, se presentan los resultados de las simulaciones para dos posiciones específicas sobre el eje axial del cerramiento sur a 21 m y 90 m del mismo. En la Tabla 1, se comparan los valores de las mediciones y simulaciones para dichas posiciones.

Distancia al recinto [m]	Nivel de Presión Sonora [dBA]	
	Resultado de mediciones	Resultado de simulación
21	93	92,2
90	78,7	77,9

Tabla 1: Niveles de presión sonora medidos y simulados a diferentes distancia de la fuente sonora.

A continuación se presenta la simulación donde el mapa tiene una dimensión de 100 m de ancho y 200 m de largo, en cuanto al recinto sus dimensiones son 13,6 m de ancho y 13,9 m de largo.

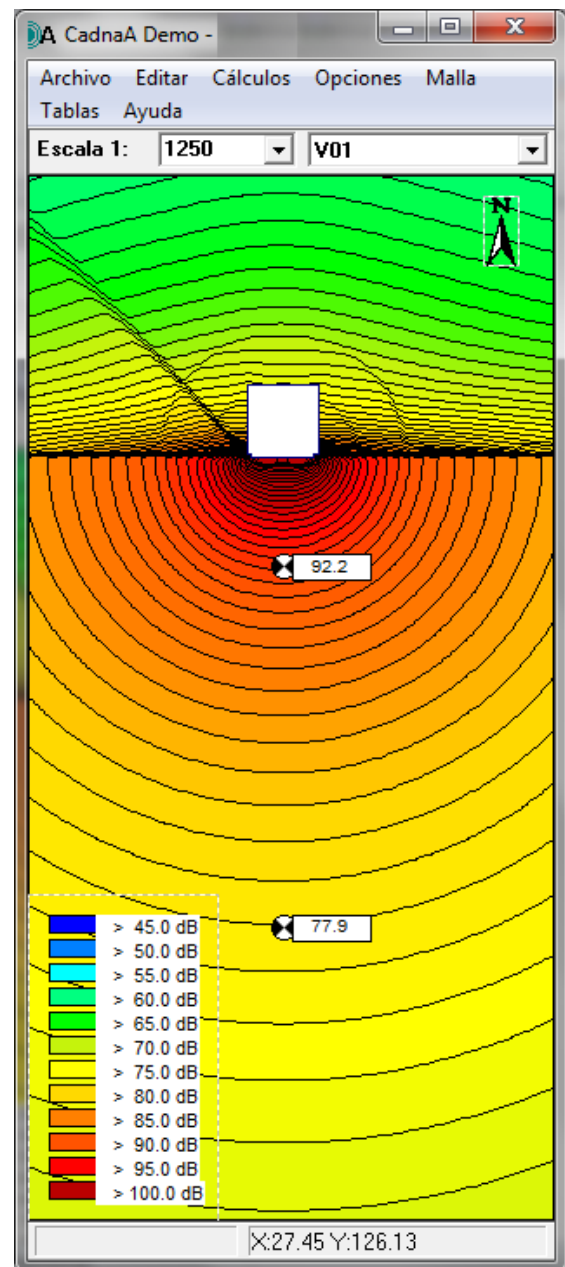


Figura 4: Campo sonoro generado por grupo electrógeno.

#### 4.2 Análisis de la solución propuesta para el control de ruido

La solución acústica propuesta considera rediseñar el cerramiento sur del recinto, lo cual aumenta el índice ponderado de reducción sonora de dicho cerramiento. En la Figura 5, se observan los resultados de la simulación computacional para los valores de  $R_w$  propuestos, evidenciándose una significativa reducción de los niveles de presión sonora.

En Tabla 2, se presenta la comparación entre los niveles de presión sonora antes y después de aplicar la solución, para las posiciones de estudio seleccionadas.

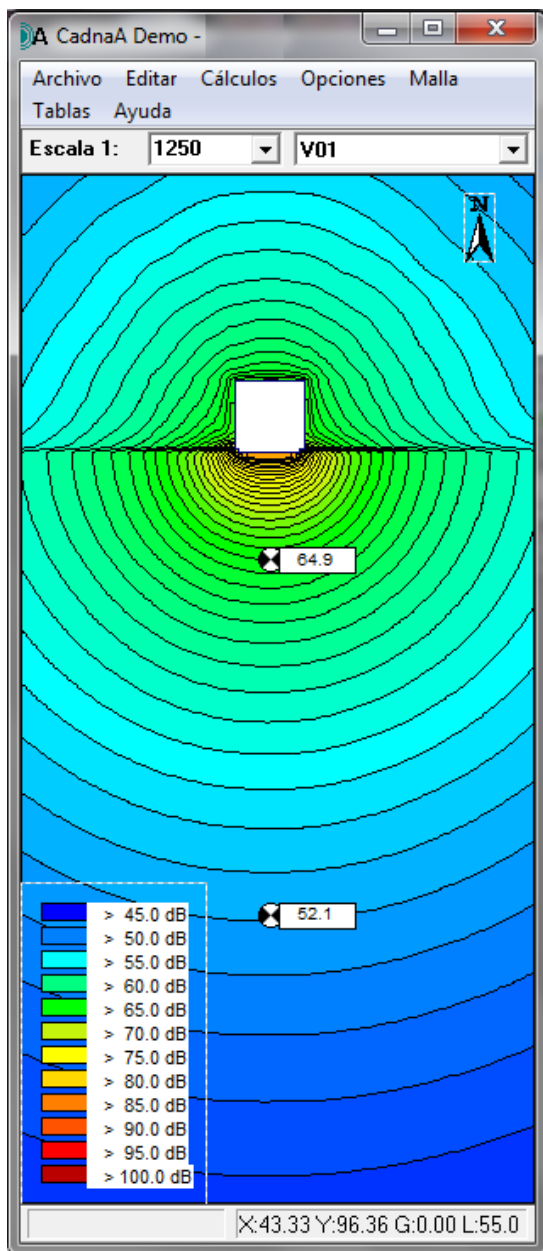


Figura 5: Campo sonoro que resulta aplicada la solución.

Distancia al recinto [m]	Nivel de Presión Sonora [dBA]	
	Resultado de simulación (antes)	Resultado de simulación (después)
21	92,2	64,9
90	77,9	52,1

Tabla 2: Niveles de presión sonora simulados para diferentes  $R_w$  del cerramiento sur antes y después de la solución acústica propuesta.

## 5. CONCLUSIONES

Este software y al igual que otros que se basen en normas para la predicción de la propagación del sonido en un espacio determinado, son herramientas muy convenientes para la predicción del comportamiento del campo sonoro en espacios abiertos.

La simulación permite visualizar cambios en los niveles de presión sonora distribuidos en el espacio

cuando se modifica, agrega o retira algún objeto del mismo, lo cual permite al ingeniero acústico evaluar cada una de las posibles soluciones y optimizar el sistema de control del ruido.

En la simulación se logra obtener resultados aproximados a los que se miden, como se observa en la Tabla 1.

Se verificó que la solución propuesta provoca una disminución adecuada en los niveles de presión en los puntos seleccionados para el análisis.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Attenborough Keith, Ming Li Kai, Horoshenkov Kirill, "Predicting Outdoor Sound". Taylor & Francis. Abingdon, UK. 2007.
- [2] ISO 9613-1:1993 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.
- [3] ISO 9613-2:1996 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation
- [4] ISO 3744:1994 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane
- [5] ISO 3746:1995 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane
- [6] ISO 717-1:1996 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation
- [7] Manual V3.7 "computer aided noise abatement". Datakustik.

## 7. DATOS BIOGRAFICOS

**Horacio Contrera**, nacido en Cruz del eje, Córdoba el 14/07/1989. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Actualmente es becario de investigación y desarrollo en el Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA) UA del CONICET, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Sus intereses son: procesamiento digital de señales, intensidad sonora.

E-mail: [hernan\\_c47@hotmail.com](mailto:hernan_c47@hotmail.com)

**Julio Vilca**, nacido en Rio Gallegos, Santa Cruz el 14/01/1984. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Sus intereses son: control digital, automatización, PLC (controlador lógico programable).

E-mail: [julio.xt225@gmail.com](mailto:julio.xt225@gmail.com)