

## **Análisis de la contaminación sonora que produce en las zonas rurales el sistema de lucha antigranizo que utiliza generadores de ondas ionizantes**

César Eduardo Boschi<sup>a</sup>, Adolfo Florentino González<sup>a</sup>,

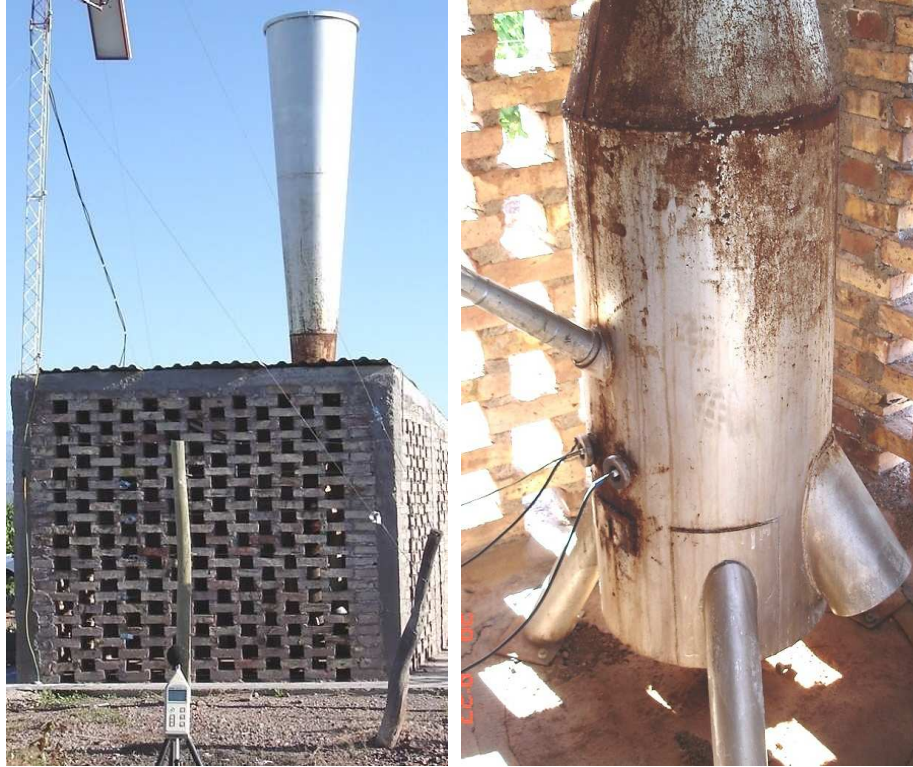
<sup>a</sup> Laboratorio de Acústica y Sonido "Mario Guillermo Camín", Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza  
[cboschi@frm.utn.edu.ar](mailto:cboschi@frm.utn.edu.ar), [adofgon@speedy.com.ar](mailto:adofgon@speedy.com.ar)

**Resumen.** El objetivo del presente estudio es analizar la contaminación sonora que produce en las zonas rurales el sistema de lucha antigranizo que utiliza generadores de ondas ionizantes. El generador de ondas ionizantes es un dispositivo utilizado para combatir el granizo que produce ondas acústicas de baja frecuencia mediante la ignición de gas acetileno. Se efectuó la caracterización sonora de un dispositivo de este tipo instalado en una finca ubicada en el departamento de Luján de Cuyo, Provincia de Mendoza mediante la medición de los niveles sonoros durante el funcionamiento del mismo. Posteriormente, empleando las fórmulas especificadas en la Norma Internacional "ISO 9613-2 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General Method of calculation", se modelan los niveles sonoros y se comparan con los resultados obtenidos a través de las mediciones, se establecen relaciones y se elaboran gráficos representativos. Utilizando el procedimiento especificado en la Norma IRAM 4062 "Ruidos molestos al vecindario - Método de medición y clasificación" - Versión 2001, se califican los ruidos producidos por el generador y se emiten conclusiones.

**Palabras Clave:** Acústica - Ruido - Contaminación Sonora - Granizo - Medioambiente.

### **1 Introducción**

El generador de ondas ionizantes es un dispositivo utilizado para combatir el granizo que produce ondas acústicas de baja frecuencia mediante la ignición de gas acetileno. En la Fig. 1a se puede observar el aspecto general de un aparato de este tipo con la obra civil que lo protege. El aparato está constituido en su base por un cilindro (Ver Fig. 1b) que es donde se lleva a cabo la detonación del gas en el cual se encuentran dos reguladores móviles para entrada de aire, un inyector, mezclador de gas acetileno y electrodos de encendido; y un difusor de seis metros de altura (Ver Fig. 1a). Los disparos se realizan con una frecuencia de 6 segundos uno del otro. Para el funcionamiento el aparato necesita doce cilindros de seis kilogramos cada uno de gas acetileno, con lo cual se obtiene una autonomía aproximada de 12 horas de tiro ininterrumpido. Con estos disparos se emiten ondas acústicas a la atmósfera que se propagan en todas direcciones vertical y horizontalmente [1].



**Fig. 1a.** Aspecto del generador de ondas ionizantes. **Fig. 1b.** Base del generador de ondas ionizantes.

### 1.1 Características del sonido

El sonido es una vibración mecánica capaz de producir una sensación auditiva, cuando un objeto vibra, en su entorno inmediato se producen variaciones de presión y estas variaciones se propagan a través de un medio que puede ser sólido, líquido o gaseoso. Las partículas materiales que transmiten tales ondas oscilan en la dirección de la propagación de las mismas ondas. Su velocidad de propagación en el aire depende de la temperatura del mismo, pero esta entre los 300 y 331 m/s. La máxima amplitud que alcanzan las ondas se llama amplitud y determina el volumen o nivel sonoro. Al número de ondas que caben en un tiempo determinado se lo llama frecuencia, y se lo mide en Hertz. La medida del espacio que existe entre la cresta de una onda y la siguiente se llama longitud de onda, entonces cuanto más alta es la frecuencia menor es la longitud de onda.

La presión atmosférica, es decir la presión del aire ambiental en ausencia de sonido, se mide en Pascal, Pa. Esta presión es de alrededor de 100 KPa. La presión sonora es la diferencia entre la presión instantánea debida a un sonido y la presión atmosférica. La presión sonora tiene en general valores muchísimo menores que el correspondiente a la presión atmosférica. Por ejemplo, los sonidos más intensos que

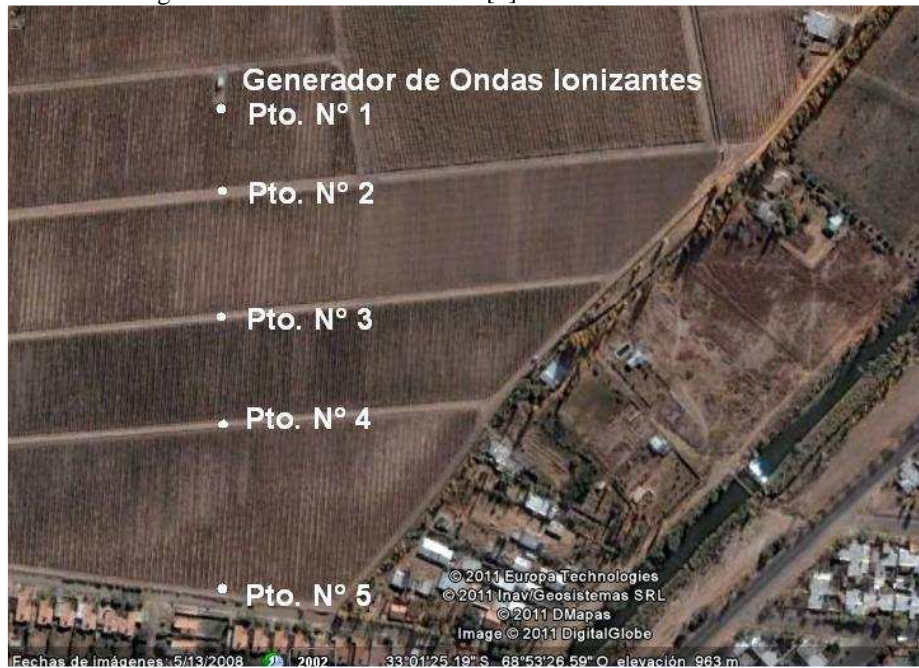
pueden soportarse sin experimentar un dolor auditivo agudo corresponden a unos 20 Pa, mientras que los apenas audibles están cerca de 20  $\mu$ Pa. El hecho de que la relación entre la presión sonora del sonido más intenso y la del sonido más débil sea del orden de un millón de veces ha llevado a adoptar una escala comprimida denominada escala logarítmica [2].

Llamando  $P_{ref}$ , presión de referencia a la presión de un tono apenas audible (es decir 20  $\mu$ Pa) y  $P$  a la presión sonora, podemos definir el nivel de presión sonora (N.P.S.)  $L_p$  como:

$$L_p = 20 \log (P / P_{ref}) . \quad (1)$$

## 2 Resultados de las Mediciones

Las mediciones se llevaron a cabo en un dispositivo instalado en la finca ubicada en Viamonte 850 de Chacras de Coria, en el departamento de Luján de Cuyo, Provincia de Mendoza. En la Fig. 3, se puede observar una imagen satelital de la finca con la ubicación del generador de ondas ionizantes [3].



**Fig. 2.** Imagen satelital de la finca con la ubicación del generador de ondas ionizantes en las coordenadas S 33° 01' 25,3" W 68° 53' 27".

El mencionado generador se encuentra emplazado aproximadamente en el centro del área de la finca en el interior de una construcción civil (Ver Fig 1a y 1b) que tiene las siguientes características constructivas:

**Cerramientos:**

- Muros de ladrillón sin revocar, colocados en forma de “panel de abejas” de aproximadamente 20 cm de espesor en el contorno.
- Techo de chapa acanalada.

**Aberturas:**

- Puerta de acceso principal, hacia el norte, constituida por una puerta de reja de caño estructural.

Dada la forma constructiva del muro de ladrillos y la de la puerta de acceso, ambos presentan pobres características como aislantes acústicos.

Los puntos de medición se ubicaron desde el del sistema de lucha antigranizo en línea recta hacia el sur en las siguientes posiciones (Ver Fig. 2):

- Punto N° 1: A 10 m.
- Punto N° 2: A 65 m.
- Punto N° 3: A 135 m.
- Punto N° 4: A 200 m.
- Punto N° 5: A 300 m, justo en el límite del terreno.

En las siguientes imágenes se pueden observar los niveles sonoros según fueron registrados en distintos puntos:

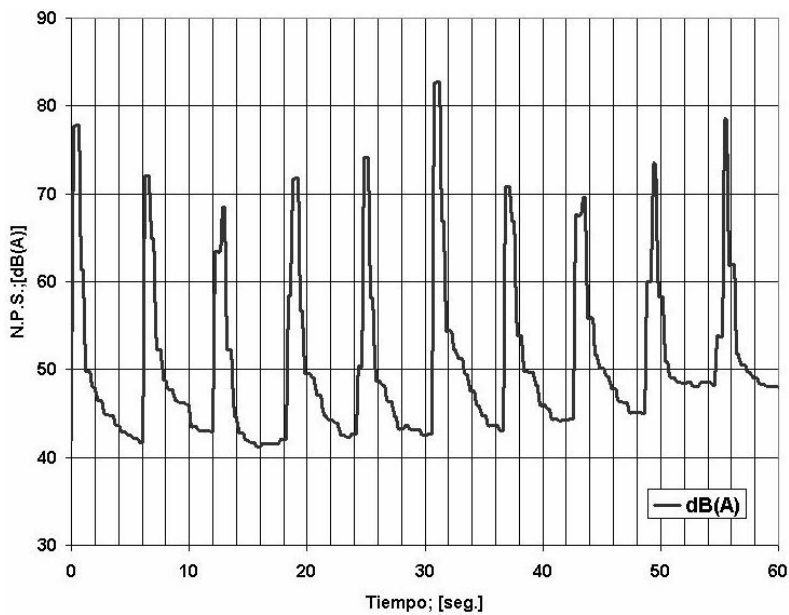


Fig. 3. Registros sonoros en el Punto N° 1.

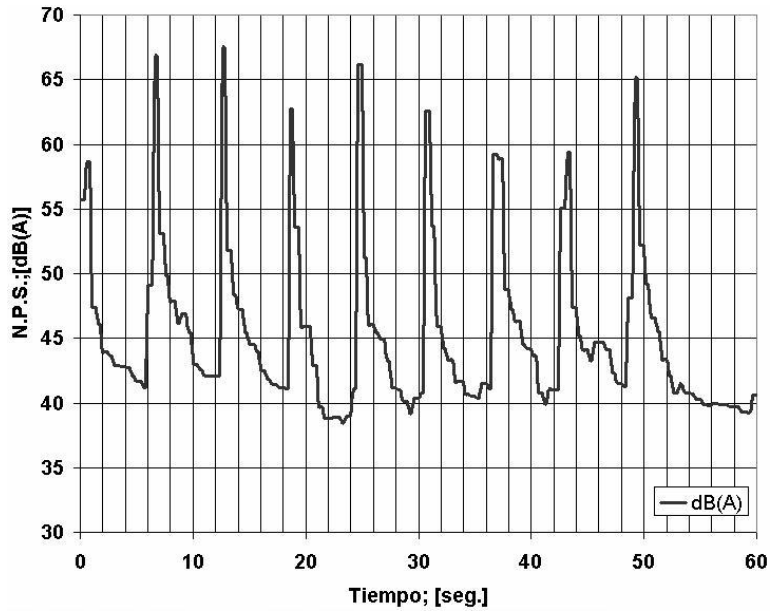


Fig. 4. Registros sonoros en el Punto N° 3.

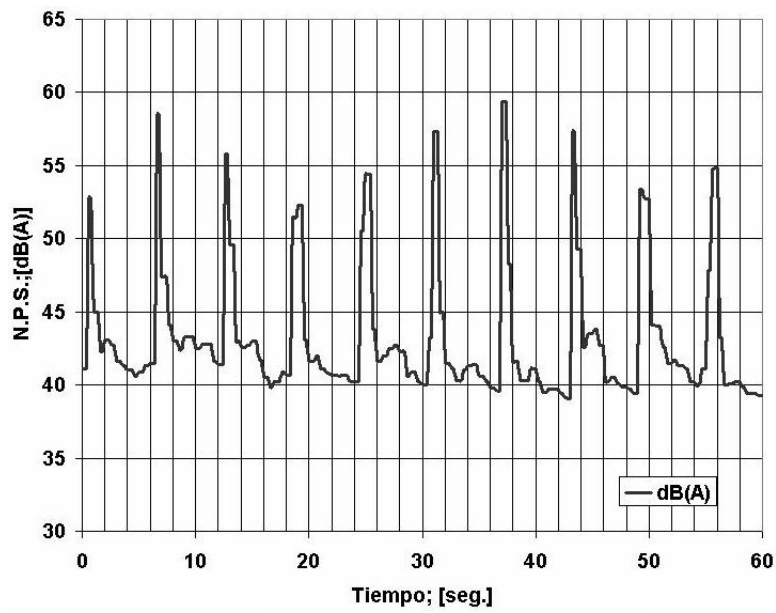


Fig. 5. Registros sonoros en el Punto N° 5.

Un resumen de los datos recabados se muestra en la Tabla 1:

**Tabla 1.** Valores de los niveles sonoros producidos por el sistema de lucha antigranizo que utiliza generadores de ondas ionizantes medidos y principales estadísticos calculados.

Magnitud	Pto. 1	Pto. 2	Pto. 3	Pto. 4	Pto. 5
Distancia; [m]	10	65	135	200	300
$L_f$ ; [dB(A)]	38	38	41	40	43
$L_{pico\ max}$ ; [dB(A)]	98,9	82,6	67,5	62,8	59,4
$L_{pico\ prom}$ ; [dB(A)]	93,2	74,6	63,1	58,9	56,1
$L_{pico\ min}$ ; [dB(A)]	87,8	68,5	58,6	53,7	52,3
$L_{10}$ ; [dB(A)]	77,0	62,9	53,3	51,1	48,5
$L_{50}$ ; [dB(A)]	61,2	51,1	45,2	43,8	42,5
Moda; [dB(A)]	54,1	49,0	42,1	41,3	40,2
$L_{90}$ ; [dB(A)]	45,4	39,3	37,1	36,6	36,5
$L_{min}$ ; [dB(A)]	50,1	41,2	38,5	38,4	38,3
$L_{eq}$ ; [dB(A)]	78,6	60,8	49,8	47,5	45,0

Donde:

- $L_f$ : es el Ruido de fondo, en dB(A).
- $L_{pico\ max}$ : es el Nivel Sonoro, en dB(A), máximo de los picos registrados.
- $L_{pico\ prom}$ : es el Nivel Sonoro, en dB(A), promedio de los picos registrados.
- $L_{pico\ min}$ : es el Nivel Sonoro, en dB(A), mínimo de los picos registrados.
- $L_{10}$ : es el Nivel Sonoro, en dB(A), que se sobrepasa durante el 10 % del tiempo de la medición.
- $L_{50}$ : es el Nivel Sonoro medio o promedio, en dB(A).
- $L_{90}$ : es el Nivel Sonoro, en dB(A), que se sobrepasa durante el 90 % del tiempo de la medición.
- Moda: es el Nivel Sonoro más frecuente, en dB(A), durante el 100 % del tiempo de la medición.
- $L_{min}$ : Es el mínimo nivel Sonoro, en dB(A), obtenido en el período de medición.
- $L_{eq}$ : Es el Nivel Sonoro Continuo Equivalente, en dB(A), obtenido en el período de medición.

Para lo cual se aplicaron las fórmulas indicadas en la bibliografía especializada [2], a saber:

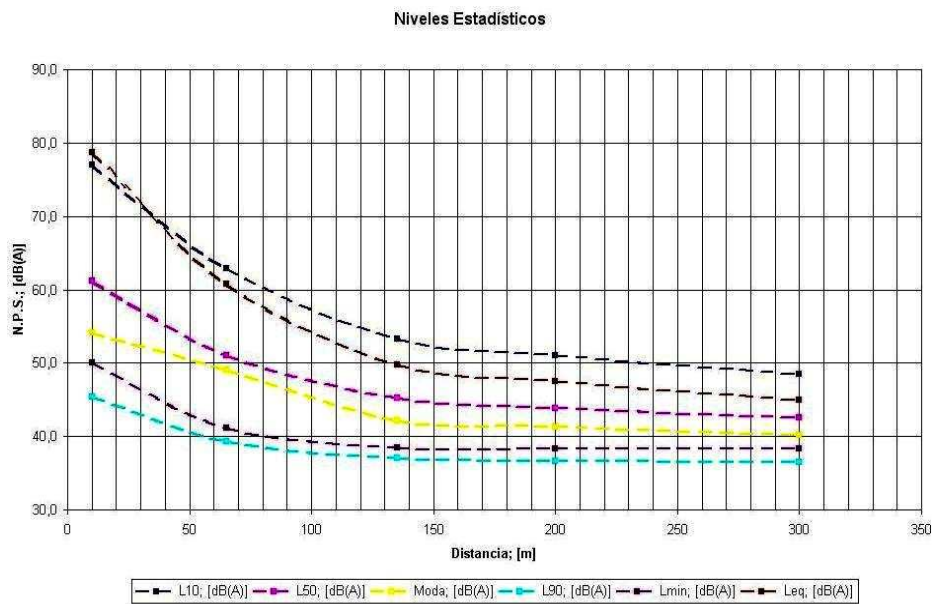
$$L_{10} = L_{50} + 1,28 \sigma . \quad (2)$$

$$L_{90} = L_{50} - 1,28 \sigma . \quad (3)$$

En la Fig. 6 se representan los niveles sonoros de los picos en función de la distancia y en la Fig. 7 se representan los niveles calculados estadísticos más representativos.



**Fig. 6.** Representación gráfica de los niveles sonoros de los picos en función de la distancia.



**Fig. 7.** Representación gráfica de los niveles sonoros estadísticos en función de la distancia.

Para efectuar las mediciones se utilizó el siguiente instrumental:

- Medidor de Nivel Sonoro portátil "Extech Instruments" Modelo 407762. Este instrumento está diseñado de acuerdo a la norma IEC651 tipo 2, ANSI S1.4 Tipo2, para mediciones de campo, con las siguientes características:
  - o Rangos desde 30 dB a 130 dB a frecuencias entre 20 Hz y 8 Khz
  - o Display LCD de cuatro dígitos con una resolución de 0,1 dB.
  - o Con dos filtros de ponderación de niveles de presión sonora, A y C.
  - o Interfase RS232 para descargar datos a una P.C.
  - o Capacidad de almacenamiento no - volátil de hasta 16.000 muestras.
  - o Pantalla antiviento.
  - o Trípode.
- Calibrador Acústico "Extech Instruments" para Medidor de Nivel Sonoro Modelo 407769. Este instrumento está diseñado de acuerdo a la norma IEC942 tipo 2, ANSI S1.40 - 1984, con las siguientes características:
  - o Rangos de calibración para 94 dB y 114 dB con un tono de 1 Khz.
- Cámara fotográfica.

### 3 Cálculo de la Atenuación del Sonido a Medida que se Propaga en un Espacio Abierto

Empleando las fórmulas especificadas en la Norma ISO 9613-2 [4], se pueden calcular los niveles sonoros para determinadas distancias.

El procedimiento de cálculo de la mencionada norma, establece:

$$N.P.S._{rec} = N.P.S._{fte} - (A_{div} + A_{aire} + A_{suelo} + A_{difr}) . \quad (4)$$

Donde:

- $N.P.S._{rec}$  = Nivel de presión sonora en el receptor; dB(A)
- $N.P.S._{fte}$  = Nivel de presión sonora en la fuente; dB(A)
- $A_{div}$  = Atenuación por la distancia =  $20 \cdot \log(d/d_0)$
- $A_{aire}$  = Atenuación por absorción del aire =  $\alpha \cdot d/1000$
- $A_{suelo}$  = Atenuación por absorción suelo =  $4,8 - (2 h_m/d) [17 + (300/d)]$
- $A_{difr}$  = Atenuación por difracción, introducida por el efecto de barrera que producen estribaciones del terreno tales como bardas, cerros, montañas, etc.

Siendo a su vez:

- $d$  = distancia a la que se desea calcular la atenuación [m]
- $d_0$  = distancia de referencia [m]
- $\alpha$  = coeficiente de atenuación atmosférica
- $h_m$  = altura del paso de propagación =  $(h_{emisor} + h_{receptor})/d$  [m]

Además se tienen en cuenta los siguientes supuestos:

- Que la fuente es de tipo omnidireccional.
- Que no hay obstáculos que impidan la propagación del sonido en forma libre, o sea que el terreno es plano.



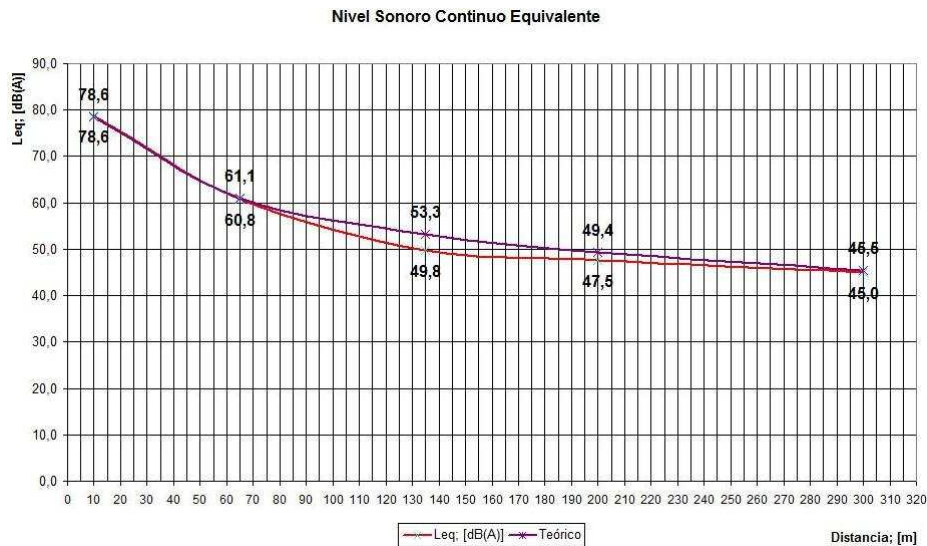
- Que las condiciones atmosféricas son favorables a la propagación, esto es:
    - Condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente de 10 °C y 70 % respectivamente, para la banda nominal de 500 Hz.
    - Velocidad del viento entre 1 y 5 m/s (3,6 y 18 km/h) aproximadamente, tomada a una altura de entre 3 y 11 m por encima del suelo.
    - Dirección del viento, soplando de la fuente al receptor, dentro de un ángulo de +/- 45° de la vía que conecta el centro de la fuente del sonido y el centro del área especificada.
    - Propagación, en cualquier dirección próxima a la horizontal, bajo un gradiente de temperatura bien desarrollado.
  - Que la propagación se produce sobre un suelo que es acústicamente blando.
  - Que el espectro de ruido es amplio, gradual y no contiene componentes destacadas de frecuencias discretas.
  - Que sólo es de interés el nivel sonoro con ponderación A en la posición de los potenciales receptores.
- Además de estos supuestos, se tuvieron en cuenta los siguientes datos:
- N.P.S. <sub>fte.</sub>: 78,6 dB. Este valor se toma como de referencia porque es el medido en el punto más próximo al generador de ondas ionizantes.
  - Fuente: a 6 m de altura.
  - Direcciones de los receptores: al sur del generador de ondas ionizantes, según se puede observar en la Fig. 2.
  - Perfil del terreno: Plano, sin estribaciones u obstáculos.
  - Receptores ubicados a 65 m, 135 m, 200 m y 300 m.

**Tabla 2.** Cálculo de los factores de atenuación de a onda sonora en función de la distancia.

Dist.; [m]	A <sub>div.</sub> ; [dB(A)]	A <sub>aire</sub> ; [dB(A)]	A <sub>suelo</sub> ; [dB(A)]	A <sub>difr.</sub> ; [dB(A)]	A <sub>total</sub> ; [dB(A)]	N.P.S. <sub>Rec.</sub> ; [dB(A)]
65	14,9	0,1	2,4	0,0	17,5	61,1
135	21,3	0,3	3,8	0,0	25,3	53,3
200	24,7	0,4	4,1	0,0	29,2	49,4
300	28,2	0,6	4,4	0,0	33,1	45,5

**Tabla 3.** Correspondencia entre los valores obtenidos a través de las mediciones y el cálculo teórico.

Dist.; [m]	Leq <sub>med.</sub> ; [dB(A)]	Leq <sub>calc.</sub> ; [dB(A)]	e%
10	78,6	78,6	0,0%
65	60,8	61,1	0,5%
135	49,8	53,3	7,0%
200	47,5	49,4	4,0%
300	45,0	45,5	1,1%



**Fig. 8.** Representación gráfica de los niveles sonoros continuos equivalentes medidos y calculados en función de la distancia.

Como se puede observar en la tabla anterior el error relativo porcentual al modelar el nivel sonoro con las fórmulas especificadas en la Norma Internacional ISO 9613-2 se mantiene en un dígito, siendo máximo a una distancia de 135 m. La diferencia se estima que podría deberse a la atenuación adicional que introduce el follaje de las viñas.

## 5 Procedimiento de Calificación de los Niveles de Ruido

Para evaluar el nivel de contaminación de los niveles sonoros medidos hay que seguir el procedimiento indicado en la norma IRAM 4-062 [5]. En general, un ruido puede provocar molestias siempre que su nivel exceda en un cierto margen al ruido de fondo preexistente o cuando el mismo alcance un determinado valor establecido. A los efectos de la mencionada norma, se seguirá el primer criterio y por lo tanto el método de evaluación del ruido, se basará en la comparación del Nivel de Evaluación Total,  $L_E$ , del ruido presuntamente molesto con el ruido de fondo,  $L_f$ , característico del lugar para cada horario. El nivel de ruido de fondo medido,  $L_f$ , incluye apropiadamente las influencias del tipo de zona y período del día y por lo tanto no se lo afectará con correcciones, pero para evitar considerar un nivel de ruido de fondo no característico, se puede calcular el mismo, lo que se conoce como el nivel calculado,  $L_c$ , para la situación considerada. Posteriormente se realizará el procedimiento de calificación, utilizando el menor de ellos. Si del resultado de esta comparación resulta que el ruido a evaluar es mayor o igual en ocho (8) dB(A) al ruido de fondo, la calificación es molesto.

El nivel de evaluación determinado para cada intervalo de medición, se calcula con la fórmula siguiente:

$$L_E = L_{eq} + K_T + K_I . \quad (5)$$

Siendo :

- $L_{eq}$ : el nivel sonoro continuo equivalente, en decibeles (A);
- $K_T$ : término de corrección por carácter tonal, en decibeles (A);
- $K_I$ : término de corrección por carácter impulsivo, en decibeles (A).

Si el ruido considerado tiene por lo menos un tono individual que sobresale como claramente audible en el ruido a ser evaluado el término de corrección será  $K_T = 5$  dB (A). Si el ruido a ser evaluado tiene significativas irregularidades impulsivas o de impacto (golpes, martilleo, etc.), se tomará el término:  $K_I = 5$  dB (A)

A fin de poder analizar una situación generadora de ruidos potencialmente molestos, se diferencian tres horarios, según lo establece la norma, a saber:

- Horario Diurno o de Actividad: de 08:00 hs. a 20:00 hs.
- Horario de Descanso o día feriado: de 06:00 hs. a 08:00 hs. y de 20:00 hs. a 22:00 hs.
- Horario Nocturno o de Descanso: de 22:00 hs. a 06:00 hs.

El nivel calculado  $L_c$ , se obtiene a partir de un nivel básico,  $N_b$ , y una serie de términos de corrección de acuerdo con la fórmula general siguiente:

$$L_c = N_b + K_z + K_u + K_h . \quad (6)$$

Siendo:

- $N_b$  el nivel básico, en dB(A). A los efectos de esta norma se considera un nivel básico,  $N_b$ , igual a 40 dB(A);
- $K_z$ : término de corrección por tipo de zona, en dB(A);
- $K_u$ : término de corrección por ubicación de la finca a ser evaluada, en dB(A);
- $K_h$ : término de corrección por horario, en dB(A).

Luego de aplicar este procedimiento se obtienen los siguientes niveles calculados del ruido de fondo:

**Tabla 4.** Niveles calculados del ruido de fondo para una zona rural.

Horario		Diurno	Descanso	Nocturno
Nivel Básico	$N_b$	40	40	40
Corrección por tipo de zona	$K_z$	-5	-5	-5
Corrección por ubicación en la finca	$K_u$	5	5	5
Corrección por horario	$K_h$	5	0	-5
Nivel básico corregido	$L_c$	45	40	35

En la tabla anterior se ha considerado que:

- Corrección por tipo de zona,  $K_z = -5$ , que corresponde a una Zona rural residencial.

- Corrección por ubicación en la finca,  $K_u = 5$ , que corresponde a un Área descubierta no lindera con la vía pública.

Como ya se ha dicho, si del resultado de esta comparación resulta que el ruido a evaluar es mayor o igual en ocho (8) dB(A) al ruido de fondo, la calificación es molesto, de modo que si a los niveles de ruido de fondo para cada horario hallados en el punto anterior se le suman 8 dB y se le restan 5 dB por la corrección por carácter impulsivo de los ruidos bajo estudio, se tendrán los máximos niveles de presión sonora admisibles que pueden ser proyectados por las situaciones potencialmente ruidosas en receptores de los alrededores.

**Tabla 5.** Máximos niveles de presión sonora admisibles que pueden ser proyectados por las situaciones potencialmente ruidosas en receptores de los alrededores para una zona rural.

Horario	Ruido de fondo; [dB(A)]	Incremento permitido; [dB(A)]	Corrección por carácter imp.; [dB(A)]	Máximo nivel admisible; [dB(A)]
Diurno	45	8	-5	48
Descanso	40	8	-5	43
Nocturno	35	8	-5	38

Como puede observarse la peor situación en cuanto a molestia de potenciales ruidos se producirá durante el horario nocturno, que es cuando el ruido de fondo es menor.

A partir de estos valores se pueden establecer gracias a las fórmulas especificadas en la Norma Internacional ISO 9613-2 las mínimas distancias a dentro de las cuales los ruidos generados por el sistema de lucha antigranizo se pueden calificar de molestos:

**Tabla 6.** Mínimas distancias a dentro de las cuales los ruidos generados por el sistema de lucha antigranizo se pueden calificar de molestos para una zona rural.

Horario	Máximo nivel admisible; [dB(A)]	Mínima distancia admisible; [m]
Diurno	48	230
Descanso	43	385
Nocturno	38	637

Aplicando las funciones de transformación Nivel Sonoro - Calidad Ambiental [6], todos los puntos que se encuentren más allá de las distancias calculadas tendrán, una Calidad Ambiental de Buena a Óptima.

## 6 Conclusiones

En función de los resultados obtenidos y del análisis experimental, se puede concluir que:

- La Norma Internacional ISO 9613-2 permite modelar con un muy buen grado de aproximación la atenuación de los niveles sonoros producidos por un sistema de lucha antigranizo que utiliza un generador de ondas ionizantes durante su propagación en ambientes abiertos.
- En la Tabla 6 se determinaron las mínimas distancias dentro de las cuales los ruidos generados por el sistema de lucha antigranizo que utiliza generadores de ondas ionizantes pueden ser considerados molestos. Como se puede observar en dicha tabla, en horario nocturno como el ruido de fondo es menor, es mayor el radio alrededor del mencionado sistema en el cual los ruidos se pueden calificar de molestos, disminuyendo la distancia para horario de descanso y más todavía para horario diurno. Dado que dichos sistemas funcionan en cualquier horario, cuando se produzcan las tormentas graniceras, es conveniente que se coloquen a una distancia mayor a 637 m de cualquier potencial receptor
- Aplicando las funciones de transformación Nivel Sonoro - Calidad Ambiental, todos los puntos que se encuentren más allá de las distancias calculadas tendrán, una Calidad Ambiental de Buena a Óptima.

## 7 Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a los directivos de la firma CIMA S.A. que pusieron a disposición del Laboratorio de Acústica y Sonido "Mario Guillermo Camín" sus medios de movilidad, personal e hicieron las gestiones correspondientes para ingresar al predio en donde se encuentra ubicado el dispositivo bajo estudio, a fin de que las mediciones correspondientes pudieran llevarse a cabo.

## Referencias

1. Sistema Sapoi Internacional S.A., <http://www.sapoi-sa.com/empresa.htm>.
2. Recuero López, M., Ingeniería Acústica, Paraninfo, Madrid, 2000.
3. Google Earth, (2011), <http://earth.google.com>.
4. Norma ISO 9613-2 "Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General Method of calculation".
5. Norma IRAM 4-062 "Ruidos Molestos al Vecindario - Método de medición y clasificación" - Versión 2001.
6. Conesa Fernández - Vítora, V., Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Mundi Prensa, Madrid, 2000.