



RRA - 1105

Algunas limitaciones de la Norma ISO 9613 - Parte 2 para el estudio de propagación de ruido de aerogeneradores de gran porte

Alice Elizabeth González ^(a), Nicolás Rezzano Tizze^(a)
Fabiana Bianchi Falco^(a),

^(a) Departamento de Ingeniería Ambiental · IMFIA, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Herrera y Reissig 565, Montevideo, Uruguay. e-mail: aliceelizabethgonzalez@gmail.com

Abstract

Although mechanical noises of wind turbines have been eliminated with the development in their design, aerodynamic noise generation during operation is inherent to them in nature. Their major acoustic emission occurs in low frequencies. To predict noise levels in the environment associated with the operation of stationary sources -wind turbines included-, the methodology of ISO 9613-2 is usually recommended. It is not only a standard method of calculation but it is also the recommended methodology in the European Union. However, under some conditions the predictions that result from applying this method may significantly underestimate the expected environmental noise levels.

This article discusses some of the limitations to the application of this calculation method and suggests some issues that should not be neglected when working with noise emission sources of great height.

Resumen

Si bien los ruidos mecánicos de los aerogeneradores se han ido eliminando con el perfeccionamiento de su diseño, la generación de ruido aerodinámico durante su operación es inherente a su propia naturaleza. Se trata en general de emisiones acústica cuyo contenido energético es mayor en las bajas frecuencias. Para predecir los niveles sonoros en el entorno asociados con la operación de fuentes fijas -y por extensión, de aerogeneradores-, se suele emplear a nivel internacional la metodología de la Norma ISO 9613-2. El hecho de que se trate no sólo de un método normalizado de cálculo sino de que sea el método recomendado y de uso corriente en la Unión Europea respalda su selección. Sin embargo, en algunas condiciones las predicciones pueden subestimar en forma importante los niveles sonoros esperables en el entorno.

En este artículo se analizan algunas de las limitaciones a la aplicación de este método de cálculo y se proponen algunos temas que no deben ser descuidados cuando se trabaja con fuentes de emisión sonora de gran altura.

1 Introducción

La predicción de niveles sonoros ambientales asociados con el funcionamiento de fuentes fijas es un aspecto de creciente interés en los estudios de impacto ambiental. En efecto, a medida que se promueve la conciencia ambiental de la población, más claro resulta que el ruido no es un mal inevitable ni un subproducto del estilo de vida moderno, sino el resultado no deseado de la presencia en el ambiente de un contaminante muy fácil de emitir pero muy difícil de controlar.

En Uruguay, la incorporación de la energía eólica en la matriz energética nacional con un significativo esfuerzo para su rápida consolidación, ha llevado también rápidamente a la necesidad de revisar en forma crítica las metodologías internacionalmente en uso para el estudio del impacto acústico de aerogeneradores de gran porte.

2 Acerca de la metodología de cálculo de la Norma ISO 9613-2

La Norma ISO 9613 constituye el método de cálculo recomendado desde 2002 en la Unión Europea para el cálculo de niveles sonoros ambientales asociados con fuentes fijas, según lo establece la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

A partir de la emisión acústica de la fuente en bandas de octava normalizadas, la norma plantea el cálculo de los niveles ambientales esperables tomando en cuenta no sólo la atenuación por divergencia geométrica sino también por absorción atmosférica, por absorción debida a las características del suelo, por la existencia de apantallamientos, obstáculos y cortinas vegetales en la dirección de propagación considerada, que es la del viento en el momento de la simulación. También permite considerar posibles reflexiones del sonido durante su propagación.

La atenuación A se calcula como sigue:

$$A = D_c + A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{barr} + A_{fol} + A_{site} + A_{hous} \quad (1)$$

Siendo:

D_c :	Corrección por direccionalidad, en dB
A_{div} :	Divergencia geométrica, en dB
A_{atm} :	Absorción atmosférica, en dB/octava
A_{gr} :	Efecto del terreno, en dB/octava
A_{barr} :	Atenuación debida a la presencia de barreras, en dB/octava
A_{fol} :	Atenuación debida a la vegetación, en dB/octava
A_{site} :	Atenuación debida a la presencia de emplazamientos industriales, en dB/octava
A_{hous} :	Atenuación debida a la presencia de edificaciones en dB/octava.

Para cada uno de los términos de atenuación, la Norma da un método de cálculo explícito y autocontenido, que permite su aplicación sin más información que la que deriva del conocimiento de las características de la fuente emisora y del terreno –y distancia– que la separa del punto en que interesa efectuar la evaluación.

El método de cálculo detallado prevé realizar la predicción en bandas de octava normalizadas, si se conoce la emisión de la fuente también en bandas de octava. Considerando que no siempre es posible contar con la información de la emisión sonora en bandas de frecuencia, la Norma indica que cuando la información disponible está dada en escala A la metodología sigue siendo válida si se emplean para el cálculo los procedimientos simplificados, coeficientes y fórmulas correspondientes a la banda de 500 Hz. Si bien está claramente planteado el procedimiento a seguir para trabajar en escala A, los errores e incertidumbres se van multiplicando, cuanto menos desagregados son los datos de entrada. En el caso en que la fuente tenga una emisión sonora importante en frecuencias bajas, hay mayor riesgo de estar efectuando una predicción menos precisa, ya que las ondas de baja frecuencia sufren menor atenuación.

Entonces, si se conoce la emisión acústica de la fuente en bandas de octava normalizadas L_{wi} , se puede afirmar que:

$$L_{pi,ST} = L_{wi} + D - A_i \quad (2)$$

Siendo:

$L_{pi,ST}$:	Nivel de presión sonora de corto plazo correspondiente a la banda de octava i .
L_{wi} :	Nivel de potencia sonora correspondiente a la banda de octava i .
D :	Factor de corrección debido a la directividad de la fuente.
A_i :	Atenuación correspondiente a la banda de octava i , calculada de acuerdo con la ecuación (2).

Cuando además se conocen las características meteorológicas del lugar en que se realiza la evaluación, el nivel $L_{pi,ST}$ que se calcula con la ecuación (2) se puede corregir aplicando la ecuación (3) para obtener un nivel de presión sonora $L_{pi,LT}$ representativo de un período de tiempo prolongado. Éste se halla como:

$$L_{pi,LT} = L_{pi,ST} - C_{met} \tag{3}$$

Siendo:
 $L_{pi,LT}$ Nivel de presión sonora de largo plazo correspondiente a la banda de octava i durante un período de tiempo extenso.
 $L_{pi,ST}$ Nivel de presión sonora de corto plazo correspondiente a la banda de octava i .
 C_{met} Corrección por las características meteorológicas medias del lugar (gradientes de temperatura atmosféricos, velocidad del viento, entre otros), pero que a su vez considera las alturas de fuente y receptor, y la distancia existente entre ambos.

3 Emisión sonora de aerogeneradores de gran porte

El ruido generado por aerogeneradores tiene dos componentes: una proviene de ruidos mecánicos y otra, del ruido aerodinámico que produce la interacción entre el viento y las palas.

A medida que la tecnología ha evolucionado, el ruido de los componentes mecánicos de las máquinas se ha reducido en forma extrema, de modo que se puede considerar que actualmente los aerogeneradores no son en sí mismos máquinas ruidosas. Los avances tecnológicos también han permitido incrementar la potencia de las máquinas, emplear máquinas de mayor altura y diámetro de palas, mejorar el diseño de las palas y reducir así el ruido aerodinámico que se produce durante el funcionamiento de los aerogeneradores.

En la Figura 1 se presentan espectros de emisión publicados por fabricantes, de aerogeneradores que eran de última generación en el año 2000, 2002 y 2006. Los niveles en escala A están representados por la barra más a la derecha de cada diagrama. Se puede notar que éstos han disminuido significativamente.

Figura 1. Niveles sonoros de aerogeneradores de última generación en 2000, 2002 y 2006

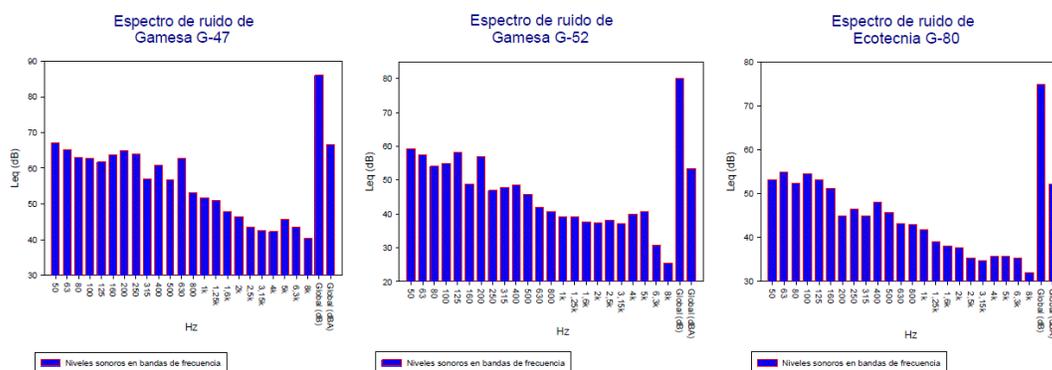
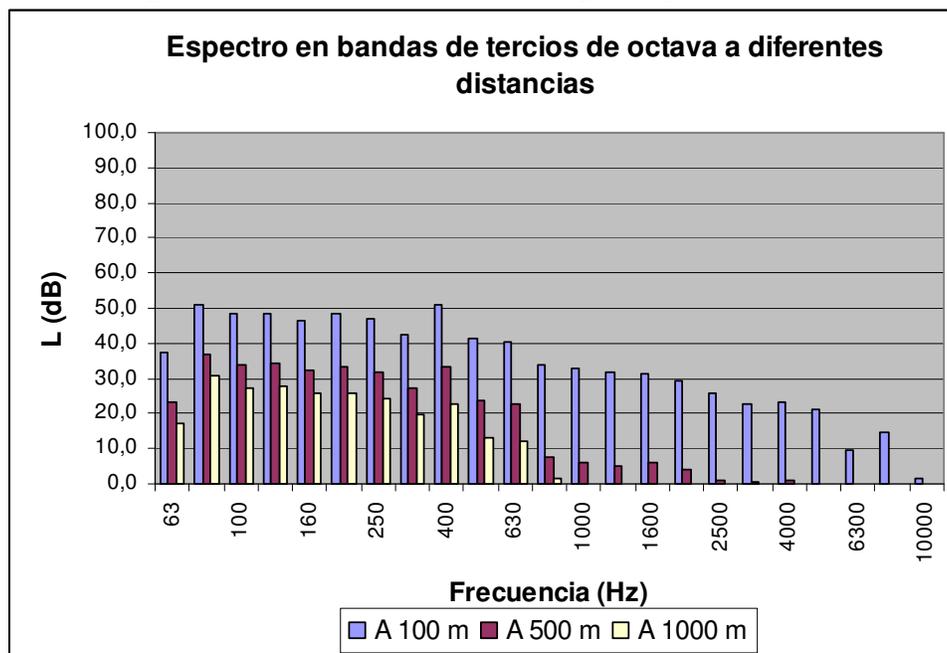


Figura 2. Decaimiento de niveles sonoros según componentes en BTO



Esto ha dado lugar a que se esté trabajando activamente para avanzar en la comprensión de los fenómenos de propagación relacionados con este tipo de fuentes, de gran altura y con emisión significativa en bajas frecuencias, de modo de mejorar las herramientas que se aplican para la predicción de los niveles sonoros ambientales asociados con su funcionamiento y evitar así subestimaciones que han dado lugar incluso a conflictos binacionales¹.

5 Algunas limitaciones de la metodología para su aplicación a la predicción de ruido ocasionado por aerogeneradores de gran porte

Más allá de que el método que propone la Norma ISO 9613 Parte 2 es el método de cálculo oficial en la Unión Europea para evaluar el impacto acústico generado por fuentes puntuales tanto fijas como móviles, para el caso particular de los aerogeneradores es necesario tener en cuenta algunos aspectos que no están planteados explícitamente en el texto de la Norma pero se pueden inferir de allí.

5.1 Caracterización del emisor

Aunque no es demasiado usual contar con los espectros sonoros de emisión en bandas de octava, tal como se anticipó esto no constituye un impedimento para la aplicación de la metodología de cálculo de la Norma.

De todos modos, no debe perderse de vista que uno de los problemas principales vinculados con la propagación del ruido de aerogeneradores tiene que ver con las bajas frecuencias, y éstas son muy castigadas en la escala de ponderación frecuencial A, por lo que se pueden obtener niveles aparentemente admisibles si se los compara con otros también expresados en escala A pero que pueden de todos modos ocasionar molestias a grandes distancias debido a su composición espectral.

5.2 Condiciones meteorológicas

Como primer punto, es importante señalar que entre las condiciones de aplicación de la Norma está establecido que la velocidad del viento debe estar comprendida entre 1 m/s y 5 m/s, medida a una altura de entre 3 m y 11 m sobre el nivel del piso y como promedio en un corto período de tiempo, suficiente para que esas condiciones se puedan considerar representativas. Estas condiciones no siempre se cumplen: para alturas típicas y velocidades de viento de funcionamiento de aerogeneradores (entre 4 m/s y 25 m/s a la altura del buje) es muy

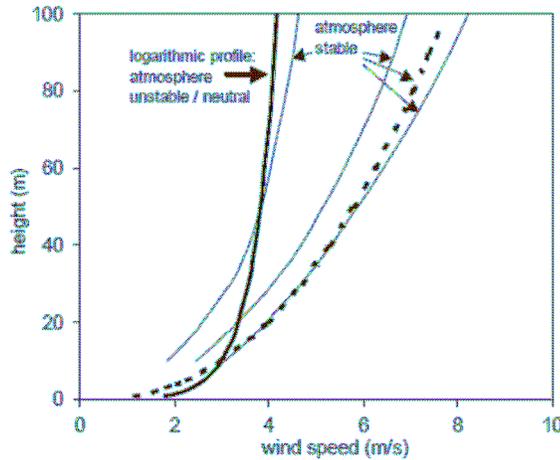
¹ El inicio de los trabajos de G. Van der Berg se relaciona con un conflicto en la frontera entre Holanda y Alemania, a causa de los niveles sonoros registrados en inmisión una vez instalado un parque eólico que se esperaba no generara ningún inconveniente en ese sentido.

probable que se esté lejos del intervalo de velocidades de viento a no más de 11 m del nivel del suelo para las que es válido el método de cálculo de la Norma ISO 9613-2.

La validez del método de cálculo de la Norma incluye condiciones de inversión térmica moderada con la base a nivel de piso. De acuerdo con la Teoría de la Parcela, en condiciones estables el movimiento vertical de una parcela en la atmósfera se inhibe mientras que, en condiciones inestables, la parcela tiende a continuar su movimiento apartándose de la posición inicial. Las condiciones inestables normalmente se producen durante los días soleados con vientos de bajas velocidades y fuerte insolación. Se cuenta con condiciones neutra durante los días con viento o cuando una capa significativa de nubes impide el calentamiento o enfriamiento rápido de la superficie terrestre. Las condiciones estables se producen durante la noche, cuando el viento es escaso o nulo. Cuando las condiciones son extremadamente estables, ocurre un fenómeno de inversión térmica y el aire a menor temperatura en superficie es cubierto por una capa de aire cálido que descansa sobre éste.

Estas condiciones están directamente relacionadas con el perfil de velocidades de viento en altura. En el caso de estabilidad, se gasta menos energía en turbulencia y, en consecuencia, la velocidad en altura es mayor que en los casos de atmósfera neutra e inestable, tal como se ilustra en la Figura 3.

Figura 3. Perfiles de viento medidos en una atmósfera estable (línea fina), y perfil de viento logarítmico calculado a partir de (3) con z = 3 cm (línea gruesa).



Sin embargo, por lo general se emplea una relación fija entre la velocidad del viento v_h a una altura h y la velocidad del viento v_{ref} a una altura de referencia h_{ref} (usualmente de 10 m), que es el perfil de viento logarítmico que emplea una superficie rugosa z como único parámetro. Para medidas de emisión sonora de aerogeneradores, se emplea la siguiente recomendación internacional:

$$v_h = v_{ref} \frac{\log\left(\frac{h}{z}\right)}{\log\left(\frac{h_{ref}}{z}\right)} \tag{3}$$

Esta ecuación es una aproximación del perfil de viento en la capa límite turbulenta de una atmósfera neutra, cuando el aire se mezcla por la turbulencia resultante de la fricción con la superficie del suelo. En estados de atmósfera estable o inestable el perfil de viento cambia y no puede ser determinado por la ecuación anterior.

En una atmósfera estable, dada la velocidad a 10 m de altura, a la altura de buje del aerogenerador ocurre una velocidad de viento mayor que la correspondiente al perfil neutro. Esto genera un mayor nivel sonoro de emisión, y a su vez es menor el sonido inducido por el efecto del viento sobre la vegetación, ya que la velocidad del viento por debajo de la altura de 10 m es menor. En consecuencia, para encontrar la velocidad de viento a una altura h a partir de la velocidad a una altura de referencia h_{ref} se debe incorporar una corrección como se plantea en la ecuación (4), siendo ψ_m un término dependiente de la altura y de la longitud de Monin-Obukhov:

$$v_h = v_{ref} \frac{\left[\log\left(\frac{h}{z}\right) - \psi_m \right]}{\left[\log\left(\frac{h_{ref}}{z}\right) - \psi_m \right]} \quad (4)$$

5.3 Absorción atmosférica

En lo referente a la atenuación durante la propagación del sonido, algunos aspectos merecen ser comentados brevemente.

La absorción atmosférica se expresa en dB/km en cada banda de octava, y depende de la temperatura y de la humedad relativa ambiente. Los niveles de atenuación que se logran sólo son significativos en las altas frecuencias y a grandes distancias de la fuente, pero es justamente a grandes distancias que las diferencias entre los valores medidos y los esperados acusan mayores diferencias. En el caso de interés, las condiciones de temperatura y humedad relativa no tienen por qué ser las mismas en emisor y receptor, por lo que es necesario ser muy cuidadoso a la hora de seleccionar las condiciones de cálculo.

5.4 Absorción del terreno

La absorción por parte del suelo se relaciona principalmente con su porosidad y con el tipo de cobertura que posee en el tramo que separa emisor y receptor, aspectos ambos que no tienen por qué ser idénticos a lo largo de una línea de propagación. La Norma considera a lo sumo tres zonas en la propagación, que se determinan por sendos radios de 30 veces la altura tanto del emisor como del receptor, y se reserva una zona intermedia para el caso en que la separación entre ambos sea mayor que 30 veces la suma de ambas alturas. Si bien no hay ninguna recomendación explícita acerca de la altura de la fuente ni la del receptor, es de hacer notar que esta corrección sólo tiene sentido cuando ninguno de ambos supera los 10 m de altura, lo que la Norma ilustra con gráficos.

Lo que sí está expresado en forma explícita es que este método de cálculo para determinar la absorción del terreno sólo es válido cuando el terreno es relativamente plano, ya sea horizontal o con una pendiente continua.

5.5 Atenuación por presencia de apantallamientos

En lo referente a atenuación por la presencia de pantallas, éstas sólo se consideran tales cuando su dimensión en la dirección perpendicular a la línea que une en planta al emisor y el receptor es mayor que la longitud de onda de la frecuencia central de la banda de interés. Como en el caso de aerogeneradores las frecuencias de mayor interés son las bajas, esa dimensión debería ser de por lo menos 1,70 m para proteger al receptor de las ondas de 200 Hz, pero de por lo menos 5,40 m para ser efectiva para la frecuencia de 63 Hz. A su vez, la altura de la pantalla deberá ser dimensionada atendiendo las alturas relativas de emisor y receptor, la distancia que los separa y los fenómenos de difracción en el coronamiento. En cualquier caso, la altura será superior a la del receptor que se desea proteger.

5.6 Precisión del cálculo

La norma específica que el error en el cálculo es de ± 3 dB si la altura promedio entre emisor y receptor no supera los 5 m, pero baja a ± 1 dB si la altura promedio de ellos está entre 5 m y 30 m y la distancia entre ambos no supera los 100 m. A su vez, resulta claro que, aunque no esté dicho explícitamente, no está prevista la aplicación de este método –o, más bien, no se puede estimar el error que se obtendría de su aplicación– si la fuente tiene una altura de 90 m, ya que aún si el receptor tuviera altura nula (0 m) el promedio superaría los 30 m.

Asimismo el error se presenta para distancias entre emisor y receptor que no superan los 1000 m, lo que está no sólo tabulado sino enunciado explícitamente. Adicionalmente, se puede notar en otros gráficos de la Norma que por encima de los 1000 m en general las curvas aparecen con trazo cortado, indicando que los gráficos deben entenderse más bien como una tendencia.

Por último, si bien la Norma prevé una corrección para evaluar los niveles sonoros que pueden ocurrir en un período de tiempo prolongado en función de la meteorología del lugar, se trata de una minoración de los niveles sonoros esperados. Como el ruido es un contaminante que una vez abatido no deja rastros en el entorno, es típico que los receptores consideren las condiciones superadas con cierto nivel de subjetividad y no les sea sencillo realizar una valoración en forma demasiado objetiva. En consecuencia, no parece prudente en este caso aplicar la minoración que prevé la Norma para considerar que los niveles sonoros predichos no ocurrirán durante el 100 % del tiempo.

6 Síntesis final

Se han comprobado discrepancias entre los niveles sonoros predichos por la Norma ISO 9613 Parte 2 y los que efectivamente ocurren en el ambiente debido al funcionamiento de aerogeneradores que pueden alcanzar diferencias muy significativas: algunos autores reportan subestimaciones de hasta 15 dBA.

El método de cálculo de dicha Norma es el que se suele emplear a nivel internacional, pero sin embargo hay una serie de aspectos que dan lugar a pensar que su aplicación no siempre es segura, debido a las características de la fuente. Es por ello que es necesaria una mayor comprensión de los fenómenos de propagación relacionados con fuentes de emisión sonora de gran altura y con emisión significativa en bajas frecuencias, de modo de mejorar las herramientas que se aplican para la predicción de los niveles sonoros ambientales asociados con su funcionamiento.

Referencias

- Cataldo, José; Gutiérrez, Alejandro. Impacto acústico de un aerogenerador en ambiente urbano. 4ª Jornada Regional sobre Ruido Urbano, Montevideo, Uruguay, julio 2001.
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002.
- González, Alice Elizabeth. Impacto Acústico de Aerogeneradores: Aproximación inicial a los radios de influencia en el entorno (2011). Informe interno de pre-investigación. DIA IMFIA, Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 2011.
- ISO. International Standard 9613. Attenuation of sound during propagation outdoors- Part 2: General method of calculation. 1996.
- Kamperman, George W.; James, Richard R. Guidelines for Selecting Wind Turbine Sites. Sound & Vibration, July 2009, p.8-12.
- Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Recopilación normativa sobre contaminación acústica. 219 p., 2ª edición actualizada, 2008.
- Norma IEC 61400-11 Ed.3: Wind turbines - Part 11: Acoustic noise measurement techniques. 2008.
- Norma ISO 7029. Acoustics - Statistical Distribution of Hearing Threshold as a Function of Age.
- Nunes, Ventura; Cataldo, José; González, Elizabeth. Evaluación del potencial eólico en el Departamento de Montevideo. Convenio Intendencia Municipal de Montevideo - Universidad de la República, noviembre, 2008.
- Rogers, Anthony L. Wind Turbine Noise, Infrasound and Noise Perception. Renewable Energy Research Laboratory, University of Massachusetts at Amherst. Enero, 2006.
- Tech Environmental, Inc. Acoustic study of four VESTAS V80 wind turbines. Eastham, Massachusetts. Febrero, 2008.
- Van der Berg, Godefridus Petrus. The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise (2006). Doctoral Thesis from the University of Groningen, Netherlands. Mayo, 2006.