

---

## XV Congreso Argentino de Acústica, AdAA 2017

Bahía Blanca, 23 y 24 de noviembre de 2017

AdAA2017-20

### Aplicación de la Norma ISO N°9613-2 para la predicción del ruido de Transformadores de Potencia en el perímetro de una Subestación

Ernesto Kisielewsky<sup>(a)</sup>,  
Iván Stephan<sup>(b)</sup>,

(a) Edenor S.A. Libertador 6363, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. E-mail: akisielewsky@edenor.com

(b) Edenor S.A. Libertador 6363, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. E-mail: istephan@edenor.com

#### Abstract

In this paper, a practical method will be developed in order to determine the noise emitted by one or many power transformers sited inside an outdoor power substation caused by the magnetostrictive phenomenon.

#### Resumen

En el presente trabajo se desarrollará un método práctico para la determinación del ruido producto del fenómeno de la magneto-estricción que producirá la instalación de uno o varios transformadores de gran potencia, ubicados dentro de una subestación transformadora abierta.

## 1 Introducción

Con la creciente demanda de energía eléctrica, la necesidad de constantes ampliaciones del sistema de potencia de distribución en el área de concesión de Edenor S.A. aumentó significativamente en los últimos años. Dichas ampliaciones requieren de la instalación de transformadores de gran potencia dentro de las Subestaciones transformadoras, ubicadas en muchos casos en medio de zonas puramente residenciales. Estos transformadores emiten un ruido de baja frecuencia producido por el fenómeno de magneto-estricción manifestado en su núcleo. Esto implica la necesidad de verificar el nivel del ruido generado por el equipo en el conjunto de la instalación de la Subestación.

En este trabajo se muestra el método práctico desarrollado por el sector de ingeniería de AT de Edenor que, mediante la aplicación conjunta de las normas ISO 9613-2, IEC 60076-10 e IRAM 4062, permite determinar, previo al montaje de la instalación, el nivel de ruido generado por los equipos. De esta manera se podrán estudiar con anticipación las posibles soluciones al problema planteado antes de que se manifieste.

Este desarrollo implicó la aplicación de conceptos teóricos de la acústica para llevar a la práctica el procedimiento de las normas ISO 9613-2 e IEC 60076-10 y mediciones reales en campo. Este método resulta particularmente interesante ya que plantea una alternativa simple y poco costosa para predecir el sonido emitido por una instalación. *Es importante destacar que previamente a la aplicación de este procedimiento a nuevos proyectos se efectuaron validaciones de los valores calculados mediante valores medidos reales, llegándose a una correspondencia satisfactoria entre ambos.*

## 2 Desarrollo

El método se basa en la aplicación de tres normas distintas para la predicción del nivel de ruido en un punto determinado lejano al transformador. Para ello, se establecen tres pasos perfectamente definidos, que se corresponden con cada una de las tres normas.

Cada uno de los pasos listados generará valores que servirán como datos de entrada del siguiente. En orden: 1°) Obtención del ruido emitido por el transformador: Norma IEC 60076-10 2°) Propagación del ruido hacia los vecinos: Norma ISO 9613-2 y 3°) Evaluación del ruido: Norma IRAM 4062

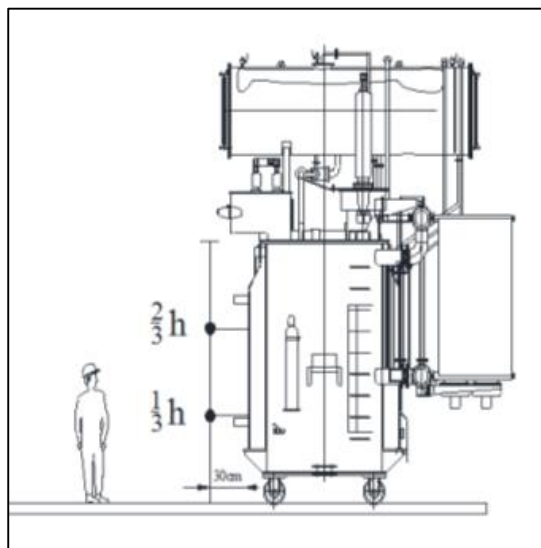
## 2.1 Obtención de los niveles de potencia sonora: Norma IEC 60076-10

El nivel de potencia acústica ( $L_w$ ) da referencia de la forma en la que es percibida la potencia acústica ( $W$ ) en el oído humano. A mayores niveles de potencia acústica, mayor percepción del sonido, es decir mayor volumen audible. La potencia acústica indica la cantidad de energía que pierde la máquina en forma de sonido debido al efecto de magneto-estricción producido en su núcleo.  $L_w$  es el principal dato de entrada para la norma ISO 9613-2.

El objetivo de este trabajo es determinar previamente el ruido acústico que producirá el o los transformadores que se instalarán en algún momento futuro.

Se toma como válida la medición del valor  $L_w$  en otro transformador de igual potencia y características similares, funcionando a régimen nominal y, de poseerlo, con su sistema de circulación de aire forzado encendido. Cabe destacar que es conveniente buscar el momento adecuado para realizar la medición, ya que los ruidos del medio ambiente deben de ser los mínimos para así obtener los valores acústicos característicos propios de la máquina en cuestión y solo de ella.

Para calcular  $L_w$  primero se debe medir por medio de un sonómetro el Nivel Sonoro Continuo Equivalente Sin Filtro ( $L_{P_{eq}}$  [dB]) producido por el transformador, utilizando la configuración estándar de medición por frecuencias en 1/3 de octava. Dicha medición de  $L_{P_{eq}}$  se debe de realizar alrededor de la máquina, en cada uno de los puntos indicados por las especificaciones técnicas del fabricante, a 1/3 y 2/3 de altura del mismo, durante 30 segundos por medición y, según la Norma IEC 60076-10, a 30cm de separación de este. En caso de no conocer los puntos de medición indicados por el fabricante, basta con realizar 40 mediciones alrededor del mismo a 1/3 de la altura, y 40 mediciones a 2/3 de la altura, Figura N°1.



**Figura 1.** Puntos de medición alrededor de un transformador de potencia

Se obtendrán entonces “n” mediciones, cada una de ellas con un valor determinado de  $L_{P_{eq}}$  para cada una de las frecuencias del espectro normalizado. No obstante, el método contempla el cálculo de un promedio de mediciones. Para ello, se debe obtener un promedio de todos los valores de  $L_{P_{eq}}$  [dB] obtenidos por cada frecuencia en particular. Esto se realiza teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los distintos valores de  $L_{P_{eq}}$  no deben de ser sumados algebraicamente, sino que primero debe calcularse la energía de estos ( $L_{Z_{eq}}$ ), y luego sumar. Esto se realiza de la siguiente manera:  
 $L_{Z_{eq}}(1)_{50Hz} = 10^{[0,1 \times L_{P_{eq}}(1)_{50Hz}]}$
- Se sumarán únicamente los valores de una misma frecuencia sin mezclar, por ejemplo, los valores de 40Hz con los de 50Hz:

$$L_{Z_{eq}}(1)_{50Hz} + L_{Z_{eq}}(2)_{50Hz} + \dots + L_{Z_{eq}}(n)_{50Hz} = L_{Z_{eq}}(Total)_{50Hz}$$

$$L_{Z_{eq}}(promedio)_{50Hz} = \frac{L_{Z_{eq}}(Total)_{50Hz}}{n}$$

Una vez obtenido el valor promedio, se debe volver a convertir los valores energéticos a valores acústicos, medidos en dB:

$$L_{P_{eq}}(promedio)_{50Hz} = 10 \times \log_{10} [L_{Z_{eq}}(promedio)_{50Hz}]$$

Obtenidos los valores de  $L_{P_{eq}}$  promedio por cada frecuencia normalizada características de la máquina, se procede a calcular el  $L_w$ . Para ello, se debe calcular primero la superficie de emisión del ruido:

$$S = 1,25 \times h \times lm$$

En donde: S es el área de emisión de ruido, en donde:

- 1,25 es un factor empírico
- h es la altura de la cuba del transformador
- lm es la longitud perimetral del transformador.

Finalmente, se calcula el valor de  $L_w$ , por frecuencias:

$$L_{w50Hz} = L_{P_{eq}}(promedio)_{50Hz} + 10 \times \log_{10} [S]$$

## 2.2 Propagación de ruido: Normas ISO 9613-2

Los valores de  $L_w$  por frecuencias son los datos de entrada. No obstante, para lograr realizar un pronóstico certero del ruido audible proveniente de los transformadores en algún punto fuera de la subestación se requiere:

1. Una observación de los espacios cercanos a la fuente de ruido: esto brindará información acerca de cuáles serán los puntos de mayor interés para la evaluación del ruido producto del transformador. Por lo general, y para el caso que se analizará más tarde, se trata de la ubicación de puertas o ventanas de los vecinos cercanos.
2. Un análisis exhaustivo de la geometría espacial cercana a la fuente de ruido: medir la altura de las posibles paredes interpuestas entre los puntos de interés y el transformador, medir la ubicación exacta, según un sistema de coordenadas, de los puntos de interés, y verificar las posibles fuentes de ruido reales e imagen (producto de la reflexión en superficies planas, duras y de gran altura cercanas a la máquina, por ejemplo, los muros parallasas).

Con estos datos, se pueden calcular los efectos de las atenuaciones y las fuentes imagen, mediante la norma ISO 9613-2.

## 2.3 Atenuaciones

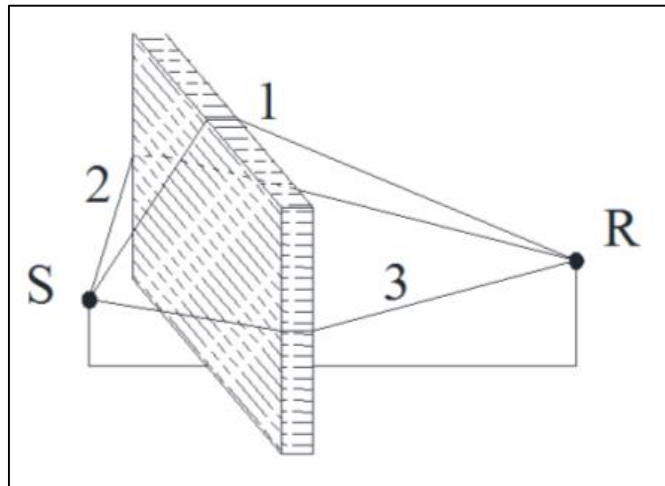
Las atenuaciones principales serán:

1. Atenuación por divergencia: es la atenuación que produce una reducción del ruido percibido debido a la lejanía del punto estudiado con respecto a la fuente de origen. Esta es independiente de la frecuencia

$$A_{div} = 10 \times \log_{10}[d] + 11$$

En donde “d” es la distancia en una trayectoria directa desde el transformador hacia el punto de análisis.

2. Atenuación por barreras: es la atenuación que produce una reducción del ruido percibido debido a la existencia de barreras (por lo general paredes y edificios) interpuestas en una recta imaginaria que une directamente al transformador (S) con el punto de análisis (R). El sonido entonces se propagará por encima de la misma, y de ser posible por sus costados, tal como se demuestra la figura N°2:



**Figura 2.** Caminos de difracción del ruido por una barrera.

En este paso resulta de vital importancia observar la composición de la barrera. En caso de que la misma se conforme íntegramente de un material duro, el único camino de difracción será el N°1 (por encima de la barrera). Por otro lado, en caso de que existan portones de chapa o maderas de poca densidad, el sonido atravesará los mismos estableciendo caminos de difracción por los costados de la pared. El cálculo de la atenuación de los caminos “1” (difracción principal), “2” y “3” se logra de la siguiente forma:

$$A_{bar} = 10 \times \log_{10} \left[ \frac{1}{D} \right]$$

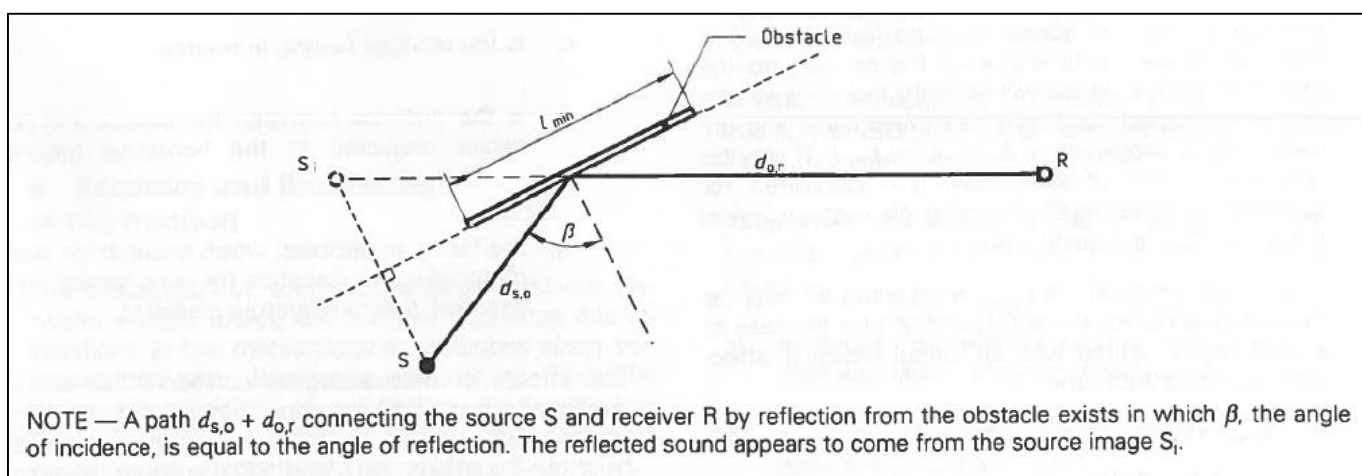
$$D = \frac{1}{3 + \frac{20}{\lambda \times K_{met1} \times z_1}} + \frac{1}{3 + \frac{20}{\lambda \times K_{met1} \times z_2}} + \frac{1}{3 + \frac{20}{\lambda \times K_{met1} \times z_3}}$$

$\lambda$  es la longitud de la onda del sonido analizado, para cada frecuencia, medida en metros. Para calcularla basta con dividir la velocidad del sonido sobre la frecuencia particular del sonido,  $\lambda = 340[\text{m/s}]/f[\text{Hz}]$ .

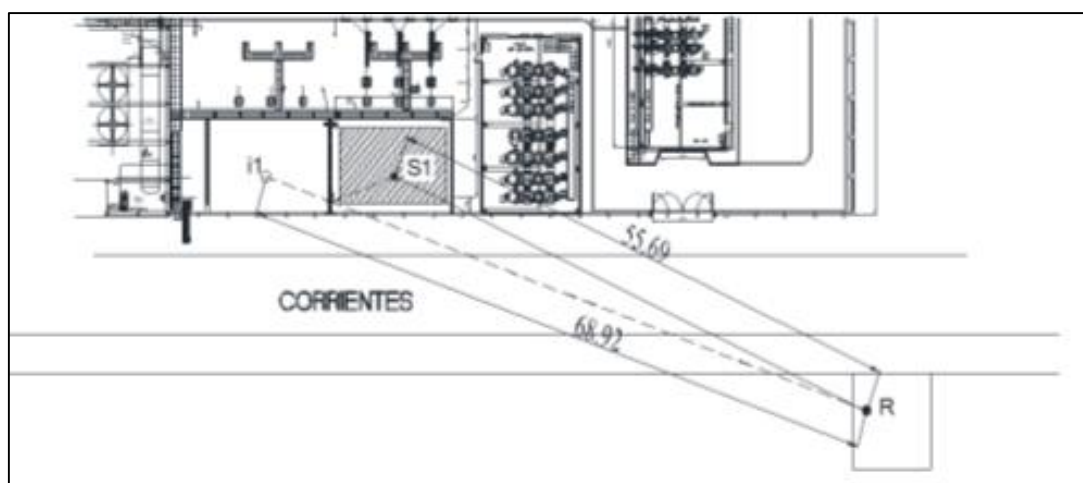
$K_{met1,2,3}$  y  $z_{1,2,3}$  son valores constantes para cada trayectoria analizada, que dependen de las distancias tenidas en cuenta, especificadas en la norma ISO en cuestión.

## 2.4 Fuentes imagen

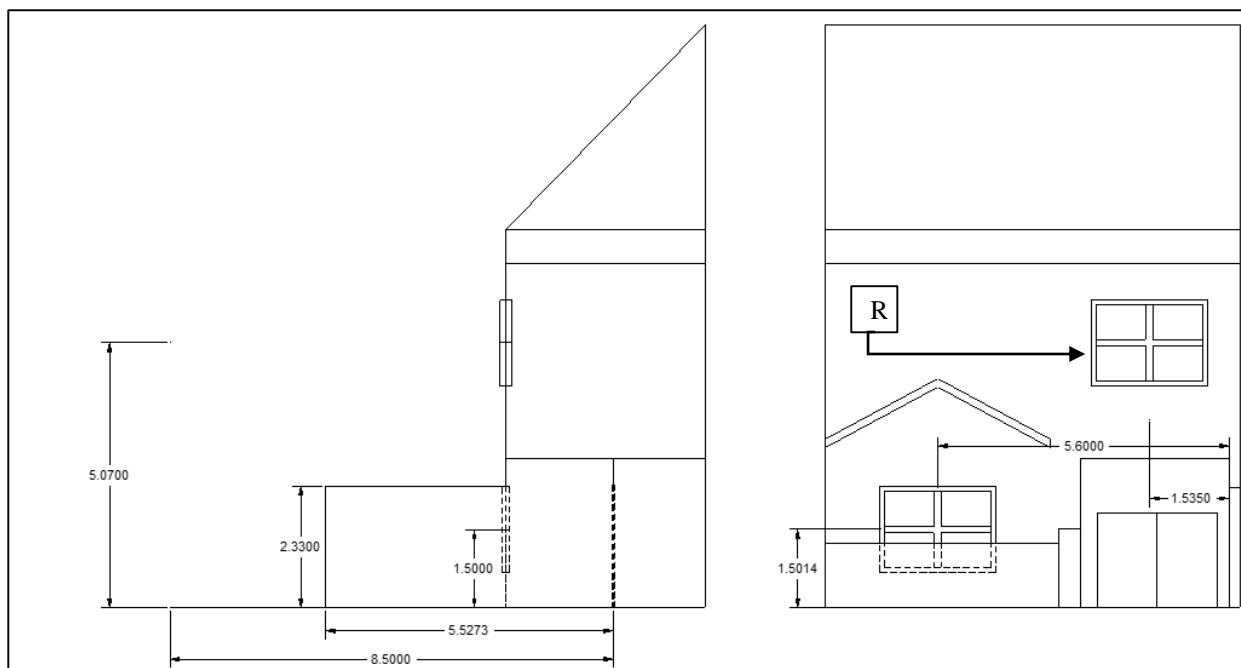
La posición de una fuente imagen está dada por la posición de la fuente original y las proyecciones del camino que realiza el sonido, en forma lineal, que se reflejan sobre una superficie plana y dura (de densidad suficiente), desviándose de su camino original. En la figura N°3, extraída de la Norma ISO 9613-2, se muestra cómo debe posicionarse la fuente imaginaria. Los valores de  $L_w$  que emitirá la fuente imagen dependerán de la dureza de la barrera, que para el caso del concreto se puede admitir que los mismos sean iguales a los que emite la fuente original. Una vez definida y posicionada la fuente imagen, esta debe ser considerada como una fuente de ruido más, es decir, aporta al ruido percibido en el punto de análisis.



**Figura 3.** Generación de fuentes imagen



**Figura 4.** Proyección del ruido proveniente de la fuente original (S1) y su imagen (i1) en el punto receptor (R)



**Figura 5.** Detalle punto de medición R

### 2.4.1 Cálculo del Nivel sonoro continuo equivalente en el punto de análisis: $L_f$

Para conocer el nivel de ruido percibido en el punto deseado, se construye una tabla como la siguiente (para la fuente real y su imagen):

**Tabla 1.** Procedimiento para el cálculo ruido audible en el punto de análisis

N°	Frecuencia [Hz]	$\lambda$ [m]	$L_w$ [dB]	$A_f$ [dB]	Fuente				$L_f+A_f$
					D	Abar	Adiv	$L_f$ [dB]	
1	31,5	10,794	91,557	-30,041	0,174	7,584	47,768	36,205	6,164
2	40	8,500	97,688	-26,397	0,155	8,110	47,768	41,810	15,414
3	50	6,800	81,285	-23,444	0,136	8,656	47,768	24,861	1,417
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25	8000	4,250	89,759	-18,186	0,101	9,975	47,768	32,016	13,830

N°	Frecuencia [Hz]	LZeq (fuente e imagen)		Ruido [dBA]
1	31,5	4,135	0,000	42,792
2	40	34,782	0,000	
3	50	1,386	0,000	
...	...	...	...	



$L_f$  es el nivel sonoro continuo equivalente medido en el punto de análisis. Este surge de la sumatoria de  $L_w$  más las distintas Atenuaciones. Para obtener el ruido audible por el oído humano generado por la fuente que produce  $L_f$ , basta con sumar el filtro de ponderación A para cada frecuencia en particular.

Af es el filtro de ponderación A que se aplica al  $L_{P_{eq}}$  sin filtro, según la frecuencia. El objetivo del filtro A es emular los niveles audibles por el oído humano. Luego de ser afectados por este filtro, las medidas de ruido pasan a ser medidas en [dBA].

Ruido [dBA] es el ruido audible por el oído humano. Para calcularlo se debe primero realizar la conversión energética explicada en el punto 2.1, para cada fuente (el transformador y su imagen). Luego se suman todos los valores de  $L_{Z_{eq}}$  obtenidos, aunque provengan de frecuencias distintas. Finalmente, se aplica la fórmula de conversión a Nivel Sonoro Continuo Equivalente, especificada en el punto 2.1.

#### 2.4.2 Validación del método mediante mediciones

Como ejemplo de validación se resume un caso aplicado a la Estación Rodríguez. En este ensayo se analizará únicamente la atenuación del ruido debido a la distancia. Se realizará la medición a unos 45 metros del transformador a analizar, con el fin de comprobar tal efecto (Figura N°5).



**Figura 6.** Imagen satelital del ejemplo

Frecuencia [Hz]	Lw[dB] fuente	LA [dBA] Calculado	LA [dBA] Total calculado
31,5	91,5572975	17,45226872	58,9251431
40	97,687936	27,22686748	
50	81,2846086	13,77684438	
62	83,6164765	18,64480475	
80	89,7590166	27,50883589	
100	95,3362642	35,29076232	
125	82,4473926	24,48827965	
160	84,0581893	28,30096045	
200	92,938874	39,08737779	
250	85,0309908	33,00167062	
315	103,070695	52,82408664	
400	98,5398848	49,99400577	
500	102,679367	55,55672457	
630	93,1164584	47,26404122	
800	87,1853671	42,40147589	
1000	85,9735916	41,9575839	

**Figura N°7** Cálculo de ruido audible en el punto de medición (R)

El método de relevamiento de datos en el transformador se realizó de acuerdo a la norma IEC 60076-10, en donde se detalla que las mediciones se deben de realizar a 30cm del exterior de la misma. Normalmente se pide realizar varias mediciones de ruido a 1/3 de la altura de la cuba, y a 2/3 de la misma en cada uno de los cuatro lados de la máquina. De cada una de las mediciones se realiza una conversión energética, y luego se determina el promedio discriminado por cada frecuencia.

Bajo la norma IEC 60076-10 se calcula el nivel de potencia sonora equivalente “Lw equivalente” promedio. Dichos valores serán los datos de entrada para el cálculo de la norma ISO 9613-2.

En la Figura N°6 se aplicó la norma ISO 9613-2 para calcular el ruido audible en el punto de prueba. Esta se basa en el cálculo de una serie de atenuaciones. De estas últimas, las más preponderantes son, por un lado, la que toma en cuenta la distancia entre la fuente de ruido y el punto donde se pretende analizar, y por otro la atenuación por barrera (que no aplica en este caso).

A continuación, se realizan dos mediciones a 45 m del transformador para cada frecuencia ( $L_{Aeq}$  [dBA]). El sonómetro se configura en LA equivalente.

En el siguiente cuadro se compara el ruido medido en el punto de prueba con el ruido calculado por la norma ISO:

**Tabla 2.** Comparación del ruido audible medido y el calculado en el punto de prueba R

<b>Ruido en el punto de prueba</b>	
Medido [dBA]	Calculado [dBA]
58,7	58,9

### 2.4.3 Evaluación del ruido: Norma IRAM 4062

Como ejemplo de evaluación del ruido, se toma el caso real realizado por Edenor S.A en agosto de 2016, en los entornos de la S.E Edison, partido de San Isidro, provincia de Buenos Aires, Argentina.

Para efectuar este análisis se realizaron estudios de ruido de fondo en el punto de evaluación (Figura N°3).

Con estos datos, es posible hacer una estimación del ruido total (de fondo más la instalación) en el punto de evaluación. A partir de este cálculo bajo la norma IRAM 4062, se evaluó la clasificación del ruido.

Todos los cálculos y determinaciones de los valores fueron realizados de tal forma de poder contemplar la peor situación posible.

### 2.4.4 Definiciones

- Nivel medido LM: Es la medición del ruido, con ponderación A.
- Nivel de evaluación LE: Es el nivel de ruido a evaluar,  $LE=LM + K$ .
- Coeficiente K: es un término que contempla el carácter del ruido

De acuerdo a la sumatoria de estas 3 constantes, será dada la constante total K:

1. Para estudiar el  $K_{TONAL}$  (KT) se mide el nivel continuo equivalente ponderación P.
2. Para estudiar el  $K_{IMPULSIVO}$  (KI) se mide el nivel continuo equivalente con ponderación A, pero con constante de tiempo rápida y luego lenta, 5 mediciones intercaladas.
3. Para estudiar el  $K_{BAJA FRECUENCIA}$  (KBF) se mide el nivel continuo equivalente con ponderación A, y luego C, 5 mediciones intercaladas.

#### 2.4.5 Mediciones realizadas en el punto R (Figura N°4)

- Nivel de energía continuo equivalente sin filtro (ponderación P), 15min.1/3 OCT.
- Nivel de energía continuo equivalente con filtro A (ponderación A), 15min. 1/3 OCT.
- Nivel de energía continuo equivalente con filtro A (ponderación A), constante de tiempo lenta, 1min. 5 repeticiones. 1/3 OCT.
- Nivel de energía continuo equivalente con filtro A (ponderación A), constante de tiempo rápida, 1min 5 repeticiones. 1/3 OCT.

#### 2.4.6 Procedimiento y consideraciones

El procedimiento para estimar la influencia del transformador sobre el punto a analizar se basa en las mediciones del ruido de fondo en dicho punto sin la máquina en servicio. Los niveles energéticos por frecuencia de esta medición se suman a los provenientes (calculados) del transformador.

De aquí se obtendrá el ruido que se mediría con un sonómetro en aquel punto, si estuviese el transformador en funcionamiento (LE).

Si  $LE - L_f > 8$  dBA implicará que se trata de un ruido molesto según la Norma IRAM 4062.

Por otra parte, se deberá calcular, para cada horario de referencia, el nivel de fondo calculado mediante la norma IRAM 4062. En caso de ser este menor que el nivel de fondo medido, se deberá utilizar el ruido de fondo calculado.

#### 2.4.7 Cálculos

Se definen tres horarios de referencia:

- Diurno laboral: Días hábiles de 8hs a 20hs y sábados de 8hs a 14 hs.
- Diurno no laboral: Días hábiles de 6hs a 8hs, y de 20hs a 22hs, sábados de 14hs a 22 hs y Domingos y días feriados de 6hs a 22hs.
- Nocturno: De 22hs a 6hs.

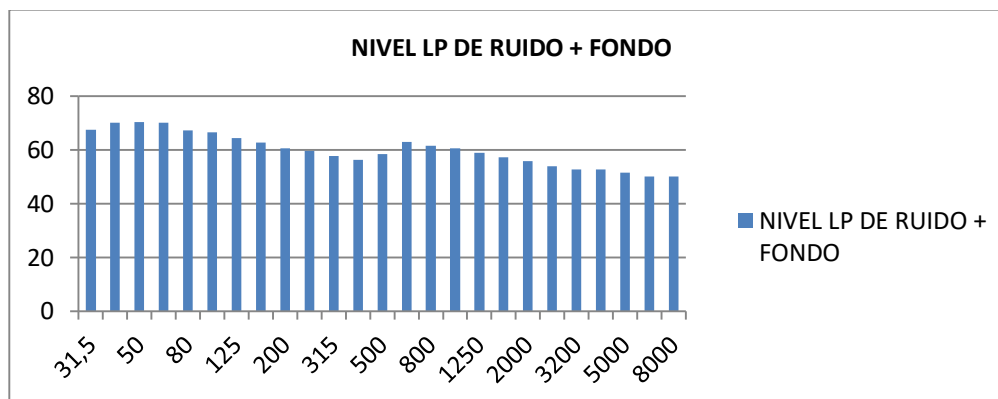
Como el ruido proveniente del transformador, se puede considerar continuo y constante en todo horario del día, habrá que analizar el mismo para cada uno de los horarios de referencia.

Punto analizado: Lugar lindero a la ventana más comprometida, sobre la vereda (Ver Figura N°4).

A modo de ejemplo se muestra el cálculo para el caso diurno laboral.

Coeficientes:

K<sub>TONAL</sub>



**Figura N°7** Evaluación del KT

No se registran valores tales que la constante sea distinta de 0

K<sub>IMPULSIVO</sub>

El transformador emite un ruido constante en todo momento de su funcionamiento, por lo tanto, por definición, su ruido nunca podría tener alguna componente impulsiva.

K<sub>BAJA FRECUENCIA</sub>

La penalización por ruido de baja frecuencia no es aplicada, ya que la medición con ponderación C no alcanzó valores tales que la diferencia con respecto a la ponderación A genere que  $K_{BF} \neq 0$ .

Como todas las constantes de penalización son iguales a 0, la constante general K será igual a 0.

Se realiza el cálculo del ruido de fondo, según lo indica la normal IRAM 4062

$$LF = L_b + K_z + K_u + K_h$$

Siendo:

- $L_b$ : el nivel básico en decibeles ponderados A. El mismo es siempre igual a 40 dBA.
- $K_z$ : el término de corrección por tipo de zona, en decibeles ponderados A.
- $K_u$ : el término de corrección por ubicación en el espacio a ser evaluado, en decibeles ponderados A.
- $K_h$ : el término de corrección por horario, en decibeles ponderados A.

Kz: Según la norma, la zona evaluada se caracteriza por ser “Urbana residencial”, y se indica que la constante Kz valdrá 5 dBA.

Ku: El criterio para la determinación del valor de esta constante se basa en tres áreas típicas de una vivienda o local:

- Interiores: locales linderos con la vía pública (0 dBA).
- Locales no linderos con la vía pública (-5 dBA).
- Exteriores: áreas descubiertas no linderas con la vía pública (5 dBA).

Se considera que la ubicación más afectada de la vivienda más comprometida será un local interior lindero con la vía pública. Por lo tanto:

$$Ku = 0 \text{ dBA}$$

Kh: Esta constante puede tomar 3 valores según los horarios de referencia:

- Diurno laboral: 5 dBA
- Diurno no laboral: 0 dBA
- Nocturno: -5 dBA

Por lo tanto, como en este caso estamos analizando el horario diurno laboral:

$$Kh: 5 \text{ dBA}$$

Aplicando la ecuación:

$$LF = Lb + Kz + Ku + Kh = 40 \text{ dBA} + 5 \text{ dBA} + 0 \text{ dBA} + 5 \text{ dBA} = 50 \text{ dBA}$$

Se determina que el ruido de fondo durante el horario diurno laboral, será de 50 dBA.

Se define entonces LM:

- Nivel de fondo medido en el punto analizado: 67,79 dBA
- Nivel de fondo calculado en el punto analizado: 50 dBA
- Nivel de fondo emitido por el transformador calculado al punto analizado: 42,79 dBA
- Como el nivel de fondo calculado es inferior al nivel de fondo medido, según indica la norma IRAM 4062, se debe de utilizar el primero para definir LM.
- Sumatoria (fondo + transformador): 50,76 dBA (LM)

Como  $K=0$ , entonces:

$$LM = LE$$

$$LE = 50,76 \text{ dBA}$$

$$\text{Diferencia: } 50,76 \text{ dBA} - 50 \text{ dBA} = 0,76 \text{ dBA}$$

Resultado horario diurno laboral: Como la diferencia es menor a 8 dBA, el ruido emitido por el futuro transformador durante el horario diurno laboral, es considerado NO MOLESTO.

El mismo cálculo debe ser realizado para cada uno de los horarios de referencia que indica la norma. En el caso de que en ninguno de estos casos el ruido resulte molesto, es posible considerar que la futura instalación de la máquina no afectará acústicamente al receptor.

### 3 Conclusiones

Se expuso el desarrollo de un procedimiento que, mediante el empleo de las normas ISO 9613-2, IEC 60076-10 en forma conjunta y el empleo de mediciones en campo permite determinar, previo a la instalación de los transformadores de una Estación Transformadora, el ruido emitido por los mismos. ***Previo a la utilización del método se han validado las predicciones*** del mismo mediante comparaciones entre los valores calculados y los medidos obteniéndose un acuerdo satisfactorio.

Se mostró un ejemplo de aplicación a la ampliación de la Estación Edison de Edenor que, en conjunto con la norma IRAM 4062, ***permitió asegurar que la nueva máquina a instalar no impactará en el medio existente ahorrando tiempo y dinero, dado que estos cálculos se hacen en etapa de anteproyecto.***

El método desarrollado aquí permite también introducir cambios en la altura de barreras, posición de la máquina y otras estrategias de mitigación si fueran necesarias, ***siempre en la etapa temprana de anteproyecto.***

***Finalmente, es importante destacar que el método no contempla el empleo de Software especializado que trabaje con matemática avanzada, y puede ser aplicado con las herramientas de trabajo convencionales.***

#### Referencias

Norma IEC 60076-10 “Power transformers – Part 10: Determination of sound levels”

Norma ISO 9613-2 “Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation”

Norma IRAM 4062 “Ruidos molestos al vecindario – Método de medición y calificación”