

Instrumentos para medir ruido en transformadores de potencia

Leonardo Melo
UTN Avellaneda
lmelo@fra.utn.edu.ar

La norma IEC 60079-1 (*International Electrotechnical Commission*, 'Comisión Electrotécnica Internacional') establece como ensayo de rutina para transformadores de potencia, la medición del nivel de presión sonora promedio durante el ensayo de vacío. Adicionalmente, la norma IEC 60076-10 es la que establece la metodología de cómo medir dicho parámetro. En esta última, se establece que la medición será el nivel de presión sonora total, sin tener en cuenta el espectro de ruido. Para este caso de estudio se estableció apartarse de la norma y realizar un análisis por octavas del espectro del ruido que tal transformador genera. Para lograr dicho cometido, se desarrolló un instrumento virtual instalado en una computadora portátil. Además, se muestra una comparación de los resultados obtenidos con los medidos por un sonómetro con filtro de octavas. A continuación, se detalla la programación del instrumento virtual, las mediciones realizadas con él, las mediciones realizadas con el sonómetro y la comparación de los resultados.

Desarrollo del instrumento virtual

El software utilizado para el desarrollo del instrumento virtual fue el *LabView*, cuyo desarrollador es la empresa *National Instruments*. En las figuras 1 y 2 se pueden ver las dos pantallas del programa desarrollado. Una es la denominada "panel de cableado", es la que permite realizar el conexionado del instrumento virtual. La segunda pantalla, la denominada "panel frontal", que es la que funciona como interfaz hombre-máquina, permite controlar, medir, visualizar y almacenar los resultados del ensayo.

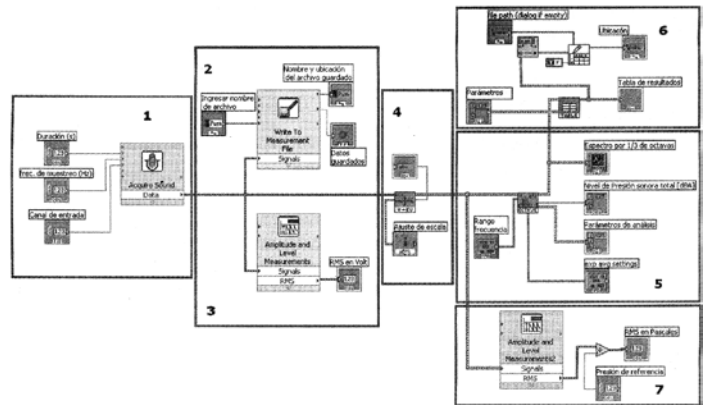


Figura 1

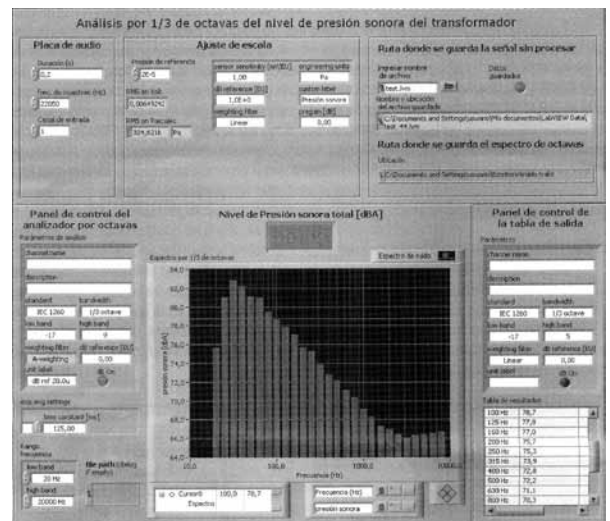


Figura 2

A continuación, se describen los procesos que conforman un instrumento virtual.

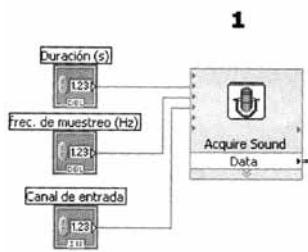


Figura 3

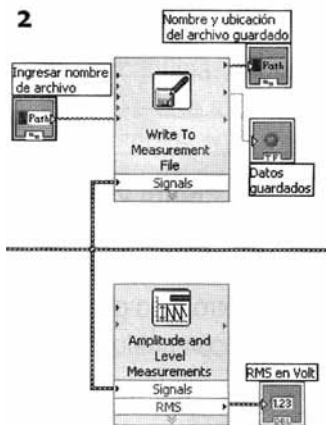


Figura 4

La primera etapa es la adquisición de datos, para lo cual se programaron los parámetros necesarios para que el instrumento virtual lea los datos directamente de la entrada de la placa de audio de la computadora portátil, la cual está conectada a la salida analógica del sonómetro (figura 3).

La figura 4 muestra dos procesos, por un lado se genera el guardado de los datos de la señal de entrada sin procesar o *raw data* (proceso 2), y por el otro, se calcula y muestra en pantalla el valor RMS (*Root Mean Square*, 'valor cuadrático medio') de dicha señal (proceso 3).

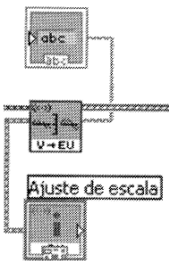


Figura 5

En el cuarto proceso, se escala la señal, es decir, se la transforma de volts a pascales (figura 5).

El proceso 5 es el que contiene el instrumento virtual de medición

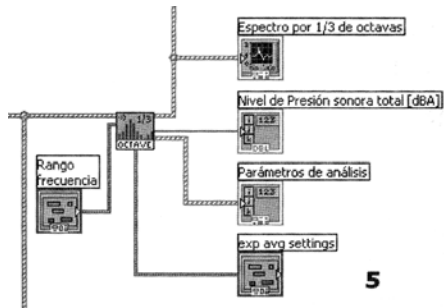


Figura 6

por octavas. En este módulo, se puede elegir entre 1/1 o 1/3 de octavas. Este proceso genera el espectro, lo muestra en el panel frontal y además recompone el nivel de presión sonora total y lo muestra en pantalla. Aquí también es el lugar donde se elige el filtro de ponderación A, además del rango de octavas a mostrar (figura 6).

El proceso 6 es el que genera los datos de salida en formato tabla. Por un lado, muestra en el panel frontal la tabla de resultados, y por otro lado, guarda esa misma tabla en un archivo de texto. Este mismo archivo luego se puede leer con cualquier programa del tipo planilla de cálculo (figura 7).

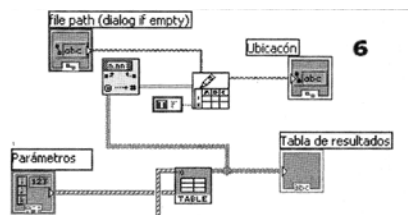


Figura 7

En el proceso 7, se define la presión sonora de referencia ($20 \mu\text{Pa}$) y se refiere la señal escalada en RMS a ese valor (figura 8).

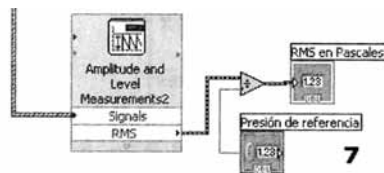


Figura 8

Escalado del sistema de medición

Para el escalado del instrumento virtual se inyecta con un calibrador en el sonómetro un tono

puro de noventa y cuatro decibeles (94 dB) a un kilohertz (1 kHz). El valor de la presión sonora será entonces de un pascal (1 Pa). Por lo tanto, en el proceso de escalado se programa el valor del factor de escala (mv/Pa) a partir de la lectura en volts obtenida en la salida del sonómetro para que la lectura en pascales sea de un pascal. De esa manera, el sistema de medición queda escalado.

Desarrollo del ensayo

Las mediciones fueron realizadas sobre un transformador trifásico de ochenta megavoltampers

(80MVA) con tensiones nominales de trece mil doscientos volts (13,2 kV). La máquina fue alimentada por los bornes de baja tensión con 13,2 kV (tensión nominal) con los bornes de alta tensión en condiciones de vacío (según lo prescrito en el punto 6.2 de la norma IEC 60076-10). La ubicación de los micrófonos fue la que se muestra en la figura 9. El contorno de medición acordado entre cliente y proveedor fue de 1,5 metros a partir de la superficie de emisión de ruido. Las alturas de medición fueron dos, 1,5 y 2,5 metros. El total de mediciones realizadas, por lo tanto, fue de veintiocho (28).

Posición	Altura	Distancia	Virtual					Filtro de octavas					Diferencia				
			100 kHz	200 kHz	400 kHz	800 kHz	1.600 kHz	100 kHz	200 kHz	400 kHz	800 kHz	1.600 kHz	100 kHz	200 kHz	400 kHz	800 kHz	1.600 kHz
1	2,5 m	1,5 m	49,3	44,6	47,2	59,7	43,1	50,6	50,1	51,2	57,9	42,8	-1,3	-5,5	-4	1,8	0,3
2	2,5 m	1,5 m	46,3	55,4	56,9	55,7	50,8	47,4	45,6	48,9	56,3	43,5	-1,1	9,8	8	-0,6	7,3
3	2,5 m	1,5 m	50,4	50,5	48,9	57,6	44,1	53,2	53,4	50,3	54,4	44,3	-2,8	-2,9	-1,4	3,2	-0,2
4	2,5 m	1,5 m	44,9	37,1	54	60	42,7	41	48,5	51,6	58	44,3	3,9	-11,4	2,4	2	-1,6
5	2,5 m	1,5 m	44,6	52,7	51	57,8	43,8	47,7	50	47,8	53,9	44,9	-3,1	2,7	3,2	3,9	-1,1
6	2,5 m	1,5 m	46,4	42,5	55,7	53	43,7	36,5	57,8	52,7	62,3	45,4	9,9	-15,3	3	-9,3	-1,7
7	2,5 m	1,5 m	53,5	52,6	59,8	59,4	43	55,8	45,2	55,6	63,9	45,1	-2,3	7,4	4,2	-4,5	-2,1
8	2,5 m	1,5 m	46,8	53,5	54,8	55,1	41,8	49,5	51,7	43,6	54	42,5	-2,7	1,8	11,2	1,1	-0,7
9	2,5 m	1,5 m	41,4	48,7	53,7	59,7	39,2	44,3	56,7	57,3	59,8	42,5	-2,9	-8	-3,6	-0,1	-3,3
10	2,5 m	1,5 m	50,4	55,7	57,3	53,5	42,7	51,9	55,3	56,7	55,1	46,3	-1,5	0,4	0,6	-1,6	-3,6
11	2,5 m	1,5 m	38,7	58	54,2	57,4	45,4	43	52,5	53,7	54,9	42,7	-4,3	5,5	0,5	2,5	2,7
12	2,5 m	1,5 m	43,8	37,9	46,2	60,6	43	50,1	53,9	48,7	62,4	43,2	-6,3	-16	-2,5	-1,8	-0,2
13	2,5 m	1,5 m	45,6	43,2	55,3	56,2	40,7	41,7	53,3	51	62,1	44	3,9	-10,1	4,3	-5,9	-3,3
14	2,5 m	1,5 m	48,3	54,7	54,5	55	39,3	51,2	51	45,7	56,2	42,6	-2,9	3,7	8,8	-1,2	-3,3
1	1,5 m	1,5 m	49,4	51,5	54,6	54,4	41,8	47,8	46,9	51	58,8	42	1,6	4,6	3,6	-4,4	-0,2
2	1,5 m	1,5 m	45,8	49,1	61,3	53,7	44	49	53	55,2	56,8	42,6	-3,2	-3,9	6,1	-3,1	1,4
3	1,5 m	1,5 m	50,5	49,8	58,2	58,1	43,9	52,9	52,7	57,6	58,9	44	-2,4	-2,9	0,6	-0,8	-0,1
4	1,5 m	1,5 m	41,2	46,7	55,5	55,6	45,3	46	50	55,4	59,2	43	-4,8	-3,3	0,1	-3,6	2,3
5	1,5 m	1,5 m	44,7	46,3	52	50,8	40,9	40,8	49,4	55,9	58,3	42,6	3,9	-3,1	-3,9	2,5	-1,7
6	1,5 m	1,5 m	48,5	48,2	52,8	57,1	38,2	43	45,5	50,7	52	41,8	5,5	2,7	2,1	5,1	-3,6
7	1,5 m	1,5 m	53,1	44,7	55,7	55,6	41	54,9	47,6	48,2	53,4	42,8	-1,8	-2,9	7,5	2,2	-1,8
8	1,5 m	1,5 m	52,5	42,3	54,8	54,7	38,9	52,5	53,4	61,8	60	42,1	0	-11,1	-7	-5,3	-3,2
9	1,5 m	1,5 m	44,9	54,8	55,4	59,6	43,8	46,2	49,5	50,3	55,9	42,8	-1,3	5,3	5,1	3,7	1
10	1,5 m	1,5 m	53,2	56,3	56,2	62,5	42,6	54,7	55,6	53,9	55	45	-1,5	0,7	2,3	7,5	-2,4
11	1,5 m	1,5 m	50,5	46,6	55,8	57,9	46,3	51,5	44,3	55,1	59,3	42,4	-1	2,3	0,7	-1,4	3,9
12	1,5 m	1,5 m	54,4	49,7	55,7	57,7	42,9	56,8	43,2	46,1	59,8	42,9	-2,4	6,5	9,6	-2,1	0
13	1,5 m	1,5 m	40,3	52,8	59,3	54,2	45,4	32,1	59	60,5	55,8	42,4	8,2	-6,2	-1,2	-1,6	3
14	1,5 m	1,5 m	51,7	52,3	52,3	53,2	40	53,3	52,6	60	57,1	40,4	-1,6	-0,3	-7,7	-3,9	-0,4

Tabla 1

En la tabla 1, los resultados de los valores medidos con el instrumento virtual desarrollado. Las posiciones indicadas en la tabla 1 son las que se muestran en la figura 9.

Para el estudio de análisis de frecuencia se utilizó un instrumental de medición de nivel sonoro integrador por lectura directa, en escala de compensación A y en respuesta lenta, acoplado a un filtro de bandas de octavas. En la tabla 1 se muestran los valores medidos con el instrumento.

De acuerdo a los valores obtenidos, se calcularon los errores de cada medición, tomando como valor convencional el medido con el sonómetro con filtro de octavas.

En la figura 11, se pueden observar los histogramas y la distribución normal equivalente de los errores para cada valor de octava (muestra de tamaño 28) y para todos los valores juntos (muestra de tamaño 140). Allí podemos ver que la estimación del promedio para cada frecuencia es: -0,51, -1,77, 1,88, -0,56, -0,45 dBA; y, además, que cuando el tamaño de muestra crece, la estimación es de -0,28 dBA. Los valores de la desviación estándar para cada caso también se muestran en la figura 11.

Conclusiones

Para obtener algunas conclusiones sobre la posibilidad de reemplazar el uso de sonómetros con filtros por octavas por el instrumento virtual presentado en este trabajo podemos estudiar las comparaciones individuales entre mediciones realizadas por un lado; y por otro, la estimación de los errores promedio para cada valor de octava. De este último análisis, se puede observar que el error promedio utilizando el instrumento virtual no supera los 2 dBA para cada octava. También se puede advertir que los valores de la desviación estándar son altos (el máximo es de 6,85 dBA). Además, cuando el tamaño de la muestra aumenta, la estimación del error promedio es de -0,28 dBA, y su dispersión es de 4,69.

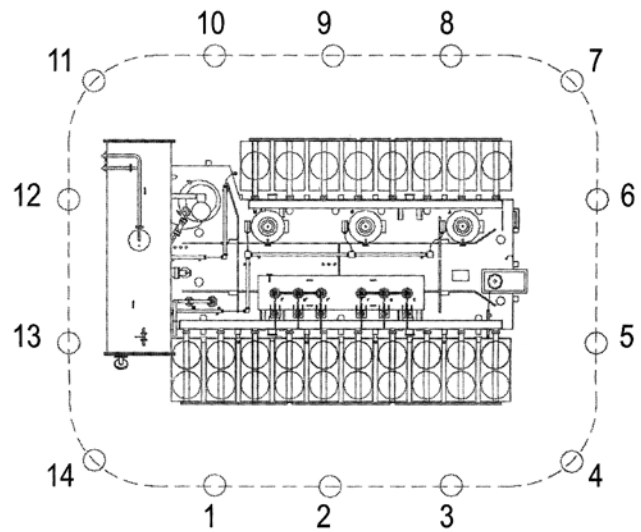


Figura 9



Figura 10

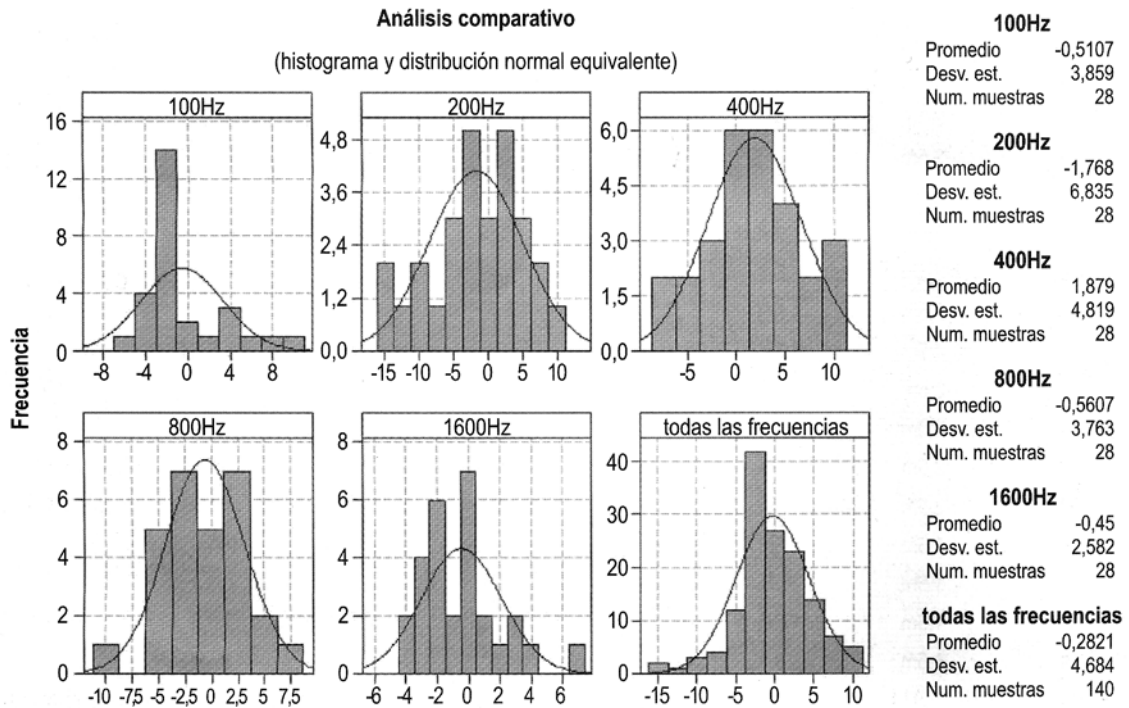


Figura 11

A raíz de los últimos resultados mostrados, podemos decir que a medida que el tamaño de muestra aumenta, el error promedio tiende a cero. En principio, se podría concluir que el uso del instrumento virtual arroja resultados que están en el mismo orden de magnitud que los del sonómetro.

Si bien el error promedio obtenido para una gran cantidad de muestras es bajo, la dispersión no lo es. Esto lleva a pensar que para poder validar el sistema de medición, se requiere realizar nuevas pruebas que tengan en cuenta detalles no considerados durante los ensayos mostrados en este trabajo.

Queda a futuro mejorar el procedimiento de la comparación entre ambos sistemas de modo que el instrumento virtual pueda ser calibrado y así su incertidumbre sea tal que pueda ser mucho menor que las tolerancias que exigen las normas de medición de ruido en transformadores de potencia (IEC 60076-10). ■

Bibliografía

Nota del editor: la nota técnica aquí publicada está respaldada por una extensa bibliografía cuyas referencias no se publican por normas editoriales. Por consultas de esta índole, o cualquier otra acerca de la temática tratada, consultar al autor.