



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008- A129

Método de medición de ruido audible en estaciones transformadoras

Sebastián A. Marcoaldi,
Ing. Irene Steinmann,
Ing. Juan Pedro Fernández,
Dr. Ing. Walter Gimenez

Laboratorio Ambulante de Medición de Campos Electromagnéticos y Ruido, Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina. TE: 4602390/1579 int. 216. Email: gisep@frsf.utn.edu.ar

Abstract

The Investigation Group of Power Electric Systems from UTN Santa Fe and the Electromagnetic Field and Noise Measurement Movable Laboratory, included in the first one, develop their activities in a very close relationship with several electrical companies. Due to requirements of these companies, appears the necessity of developing and implementing a method to quantify the audible noise inside a transformer station. This noise is generated, principally for the power transformers and for the corona phenomena (for transformer stations from 500 kV to 132 kV). We have to do a mention that exist regulations for the measurements in the outside of the transformers stations, but there is not in Argentina a regulation respect to the inside of these ones. For this reason was imperative to develop a measurement's methodology, that be practical, traceable and sustainable during a long period of time. The method has its base in rules of similar applications and in the experience in measurements of audible noise, adapting other possibles methodologies for using in this case. In this work are indicated some of the difficulties found, jointly with a methodology proposed for saving them.

Resumen

El Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia (GISEP) de la UTN Santa Fe y, dentro del mismo, el Laboratorio Ambulante de Mediciones de Campos Electromagnéticos y Ruido (LAMCEM) desarrollan sus actividades de investigación y transferencia en relación muy estrecha con compañías distribuidoras y transportadoras de energía eléctrica. En vista de los requerimientos de estas empresas, surge la necesidad de desarrollar e implementar un método para cuantificar el ruido audible dentro de una estación transformadora. Este ruido es generado, fundamentalmente, por los transformadores de potencia y por el efecto corona (en estaciones transformadoras de 500 kV a 132 kV). Debemos mencionar que, si bien existen resoluciones que regulan la medición en el exterior de las estaciones transformadoras, no existe en argentina una normalización respecto al interior de las mismas. Por este motivo resultó imperioso desarrollar una metodología de medición que sea práctica, trazable y sustentable en el tiempo. Dicho método tiene su base en normativa sobre aplicaciones similares y en la experiencia de mediciones de ruido audible, adaptando otras metodologías posibles de aplicar a este caso. En el presente trabajo se indican algunas de las dificultades encontradas, junto con la metodología propuesta para salvarlas.

1 Introducción

Para poder realizar un adecuado análisis y desarrollar un método de medición de ruido, es imperioso conocer y estudiar, previamente las causas que lo originan, como así también los puntos críticos donde enfocar los esfuerzos.

El ruido presente en una estación transformadora de energía eléctrica tiene origen en diversos sectores, entre los cuales pueden considerarse como más importantes los siguientes:

- Ruido por efecto corona: esta presente en forma prácticamente permanente en las estaciones transformadoras de 500 kV a 132kV. No tanto así en las de menor tensión.
- Ruido por acción del viento sobre los conductores: es de carácter variable y en general se puede despreciar frente a los anteriores en este ámbito.
- Ruido en transformadores: estas máquinas son las de mayor importancia dentro de la instalación, ya sea por el rol que desempeñan, como así también por su costo. Es el causante fundamental de ruido dentro de éstas estaciones.
- Reactores de línea: se encuentran presentes en estaciones transformadoras de alta tensión en cuya acometida llegan líneas de gran longitud. Estas máquinas suelen ser muy ruidosas.

El nivel de ruido tomado en una estación transformadora permite conocer, en ciertos casos, el estado de la instalación y detectar posibles fallas.

2 Principales fuentes de ruido y sus características

2.1 Efecto corona

Se origina fundamentalmente por el gradiente de tensión en la superficie conductora. Las pérdidas por efecto corona, como el ruido que las mismas generan, se relacionan directamente con la magnitud de la tensión de servicio. El elevado potencial eléctrico que tienen los conductores, ioniza el aire que lo rodea, causando pequeñas descargas disruptivas a través del aire.

Dentro de una estación transformadora tenemos efecto corona en:

- Barras con tensión
- Seccionadores
- Interruptores
- Morcetería
- Otros elementos con elevado potencial eléctrico.

Debemos mencionar que en estaciones transformadoras de tensión inferior a 100 kV se concibe muy difícil individualizar el fenómeno.

2.1.1 Características

El efecto corona se considera compuesto de dos partes principales. La primera es una componente de banda ancha que tiene un contenido importante de alta frecuencia distinguiéndose de los demás ruidos del medio ambiente. La relación de fase aleatoria de las ondas de presión generadas por el efecto corona, combinado con el característico contenido de alta frecuencia, resulta en el ruido similar al de una fritura.

La segunda componente es un tono puro de baja frecuencia. Este elemento se relaciona con los iones positivos y negativos, generados por el efecto corona. Los mismos están inmersos en un campo eléctrico, el cual los atrae y los repele alternativamente. Este movimiento provoca ondas de presión sonora con una frecuencia de dos veces la frecuencia

del campo eléctrico. Normalmente 100 Hz para los sistemas de 50 Hz. En la Figura N° 1 se pueden observar las características mencionadas.

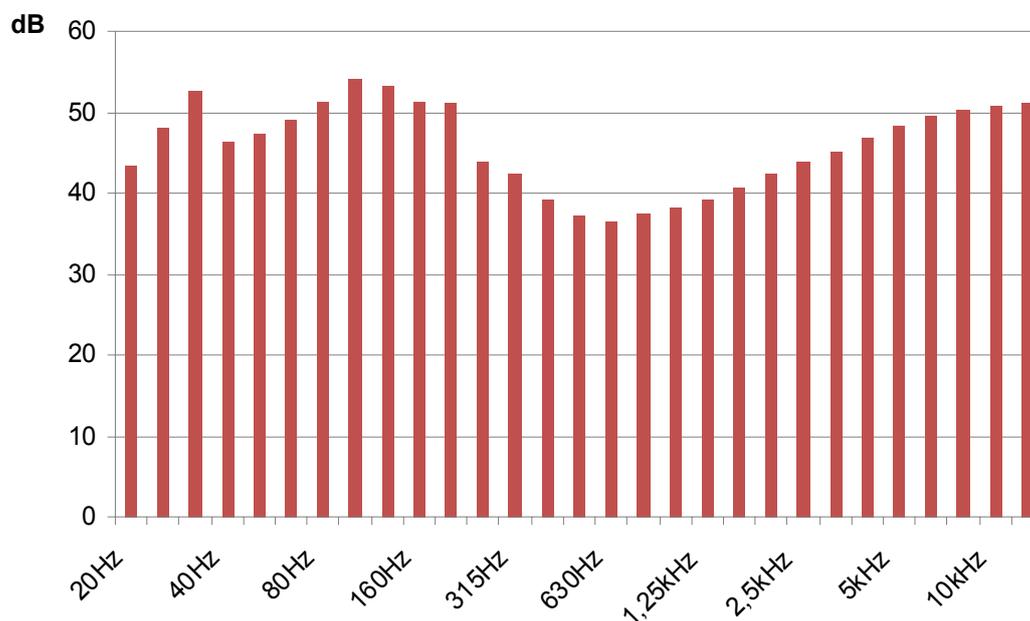


Figura N° 1. Efecto corona. Espectro de frecuencias por bandas de 1/3 de octava. Ejemplo de medición en laboratorio a 100 kV.

2.1.2 Factores que modifican el ruido

Condiciones climáticas:

El ruido del efecto corona se agudiza considerablemente con el mal tiempo. En éstas condiciones se concentran las descargas por la formación de gotas de agua en la superficie del conductor. La nieve al igual que la escarcha, causan también un incremento en el nivel de ruido.

Condiciones de la superficie:

Es importante, solamente, debido a que las condiciones superficiales afectan la formación de gotas de agua y la concentración de humedad en la superficie conductora.

Gradiente del campo eléctrico:

El ruido audible aumenta con el gradiente de campo eléctrico.

Número de barras:

Si el ruido generado por cada barra es el mismo, el ruido audible total denotará un incremento proporcional a la raíz cuadrada del número de ellas. En la práctica, esto puede no ser así, ya que bajo los efectos de la lluvia, por ejemplo, los valores del gradiente cambian de un conductor a otro.

Geometría de los conductores:

Si el diámetro de las barras aumenta, el ruido audible se incrementa para ciertos valores del gradiente superficial. Esto obedece a la mayor concentración de gotas de agua que un conductor de mayor diámetro puede sostener sobre su superficie. Así mismo las superficies con filos agudos favorecen la concentración del campo eléctrico y las descargas.

2.2 Ruido producido por el viento

El viento al chocar sobre los conductores provoca turbulencias y vibraciones dañinas para todo el sistema. Éste ruido resulta molesto en grandes extensiones de líneas y no tanto en

estaciones transformadoras. Además el fenómeno se hace apreciable para condiciones muy particulares de viento. Por lo tanto no profundizaremos en su análisis específico.

2.3 Ruido de transformadores

Los transformadores son elementos fundamentales en la transmisión y distribución de la energía eléctrica. En consecuencia los encontramos en distintas aplicaciones y diversos tipos de estaciones transformadoras. Producen un ruido similar a un zumbido durante su funcionamiento, sin embargo el nivel de ruido comparado con otros aparatos no suele ser elevado.

Por otra parte la naturaleza tonal del sonido puede resultar bastante molesta, especialmente cuando el ruido de fondo es bajo. Esto resulta importante cuando se trata de estaciones transformadoras de distribución, ya que las mismas se encuentran generalmente dentro de edificios o muy próximas a la presencia de personas.

Además de lo mencionado anteriormente, los niveles de ruido que emiten los transformadores están íntimamente relacionados con su deterioro.

2.3.1 Fuentes de ruido de transformadores

Ruido del núcleo:

Cuando una lámina de metal es magnetizada, sufre un cambio en sus dimensiones, normalmente de fracciones millonésimas. Éste fenómeno se denomina magnetostricción, y no es directamente proporcional a la densidad de flujo magnético. Cuando la densidad del flujo magnético es pequeña, el aumento de densidad tiene como consecuencia una contracción del hierro. Si continuamos aumentando la densidad del flujo, se produce el efecto contrario, la lámina de hierro incrementa su tamaño. Estos cambios dimensionales son independientes de la dirección de flujo.

Por lo dicho anteriormente, se produce una vibración en el núcleo con una frecuencia fundamental de 100 Hz, para las redes de 50 ciclos. Sin embargo como la curva de magnetización no es lineal, aparecen los armónicos de 100 Hz en la frecuencia de la vibración resultante, como se puede observar en la Figura N° 2.

El tipo de acero empleado en la fabricación de transformadores y reactores influye en gran medida en el contenido de frecuencias del espectro, así como en el nivel sonoro de los armónicos.

Resumiendo, los factores que influyen en la formación de ruido en el núcleo son:

- Densidad del flujo.
- Geometría del núcleo.
- Forma de onda de la tensión.
- Estructura de montaje del transformador.
- Frecuencias de resonancia del núcleo.

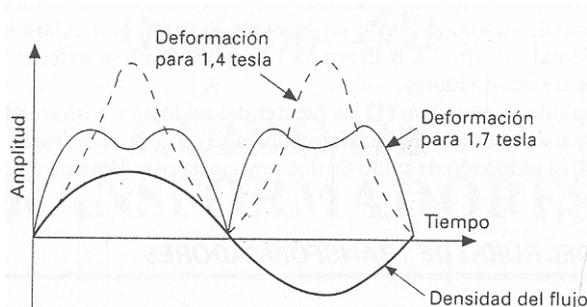


Figura N° 2. Deformaciones en el núcleo por magnetostricción.

El ruido de los devanados:

La vibración de los anillos que rodean al núcleo de hierro, produce una serie de ruidos que surgen como consecuencia de las fuerzas electromagnéticas. Estas atraen y repelen alternativamente a las bobinas en presencia del flujo magnético de dispersión.

La frecuencia fundamental de esta componente del ruido, duplica normalmente a la frecuencia energética.

Individualmente, el ruido de los anillos, es muy bajo en comparación con el ruido del núcleo. Sin embargo se suma a éste y puede llegar a ser de importancia en los siguientes casos:

- Cuando la bobina se encuentra irregularmente fijada. Favorece las vibraciones.
- Cuando el nivel de ruido del núcleo es bajo, entonces se convierte en un componente apreciable del ruido de la máquina.
- Cuando la corriente de carga sea rica en armónicos. Entonces produce una considerable cantidad de ruido, cuyo espectro de frecuencia estará compuesto por las armónicas de dicha corriente.

Ruido de los ventiladores:

Los transformadores de energía eléctrica generan grandes cantidades de calor debido a las pérdidas que se producen. El calor se engendra, primordialmente, en el núcleo y los devanados, y se conduce hacia el exterior por medio del aceite refrigerante. Por último el calor se elimina a través de ventiladores que impulsan aire sobre los radiadores de aceite.

El ruido emitido por los ventiladores de refrigeración es normalmente de banda ancha. Los ventiladores contribuyen en mayor medida al ruido global del transformador cuando:

- El transformador es de poca potencia.
- Las máquinas son de baja inducción.

Entre los factores que influyen en el nivel de ruido de los ventiladores podemos citar:

- Velocidad de punta del alabe,
- Diseño,
- Número de ventiladores y
- Disposición de los radiadores.

3 Justificación del método de medición

Nos proponemos con la medición de ruidos en estaciones transformadoras determinar el nivel de presión sonora, así como el carácter del ruido generado, descrito por su espectro de frecuencias.

Para la elaboración del procedimiento de medición nos basamos en la norma IRAM 4120, clasificando el problema de ruido como se especifica en el punto 2.1.1 de la mencionada norma. Es decir:

“...problemas asociados con la determinación del nivel y carácter del ruido emitido por una o mas fuentes de ruido, o con la predicción de las características de una o mas fuentes sonoras bajo condiciones especificadas.”

Para problemas de este grupo, el propósito de las mediciones de ruido es determinar alguna cantidad física, usualmente el nivel de presión sonora en un cierto punto o el nivel de potencia sonora de la fuente (s). El carácter del ruido puede ser descrito por el espectro de frecuencias y el desarrollo temporal de esos niveles y por el carácter del campo sonoro...”

De acuerdo con éste problema de ruido la norma IRAM 4120 aconseja medir el nivel de presión sonora en banda ancha de frecuencias, cubriendo el total del rango de frecuencias audibles. Se puede usar un circuito de compensación A.

Las posiciones de medición se eligen de manera de evitar influencias significativas causadas por las irregularidades en la forma de la fuente, o por la presencia de otros objetos o fuentes.

En el procedimiento de medición, la determinación del nivel sonoro se complementa con mediciones de nivel de presión de banda angosta (1/3 de octava). También se procede con un análisis del ambiente acústico en el cual se opera, con el objetivo de evaluar las características generales del ruido.

3.1 Ruido por Efecto Corona

Para la descripción e individualización de esta componente del ruido total, es necesario disponer de un medidor de nivel sonoro sensible a bajos niveles de presión sonora y con una buena respuesta en frecuencia.

La medición de ruido por efecto corona se realiza en el campo de maniobras de la estación transformadora. Los lugares de medición se eligen de manera tal que el instrumento se encuentre próximo a la fuente de ruido, extremando el cuidado en las distancias de seguridad. Esto es muy importante ya que todos los operadores que realicen éste tipo de medición deben conocer las distancias mínimas de seguridad, los lugares accesibles y los elementos de protección personal. Existen numerosas y complejas disposiciones para el diseño de estaciones transformadoras, a modo de ejemplo se presenta en la Figura N° 3 un esquema de una estación transformadora de 132 kV.

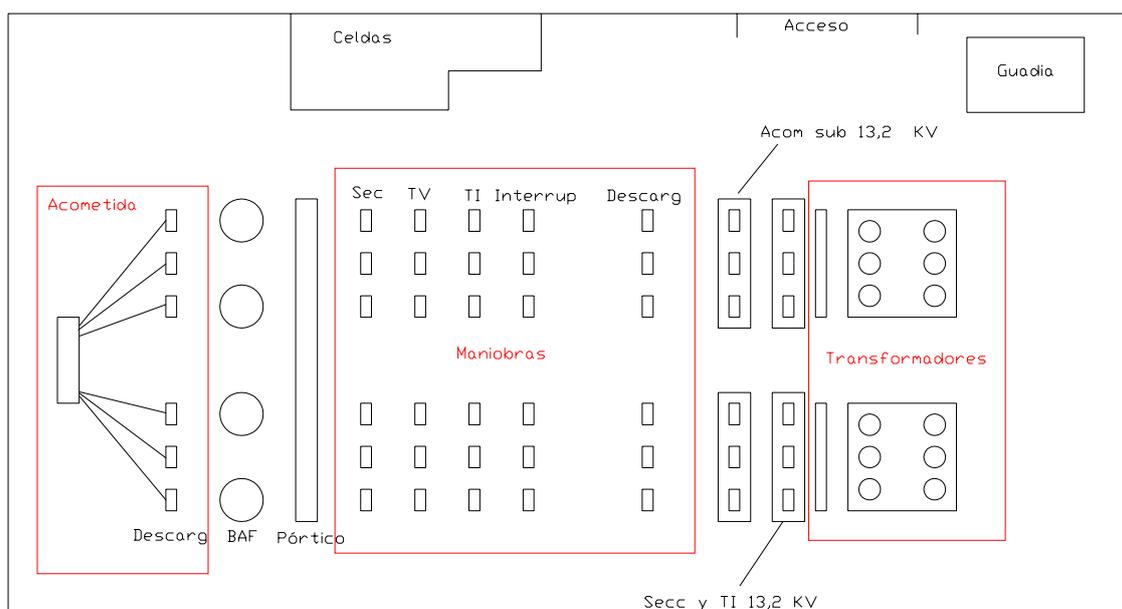


Figura N° 3. Esquema general de una estación transformadora de 132 kV.

El operador a cargo de la medición debe realizar un croquis descriptivo del sitio de medición. El croquis incluye como mínimo los elementos eléctricos, la fuente de ruido, posición del instrumento de medición, se puede complementar con otros datos de interés. Este punto es de sumo valor ya que permite la trazabilidad de la medición, pudiendo comparar los datos registrados con datos existentes o futuras mediciones.

Se realiza una completa descripción del ruido y su carácter, adquiriendo en el sitio descrito el nivel sonoro continuo equivalente y la distribución de frecuencias en bandas de 1/3 de octava. Se puede complementar la información a través de elementos estadísticos. Con los instrumentos modernos se adquieren en forma sencilla todos los datos requeridos. El

laboratorio cuenta con un medidor de nivel sonoro Brüel & Kjaer 2250 que adquiere todos estos datos de manera simultánea y permite almacenarlos en una memoria interna para su posterior análisis y procesamiento.

En todos los casos que sea posible individualizar la fuente de ruido, la medición se realiza apuntando el micrófono a dicha fuente particular. Para ello es fundamental el criterio y la experiencia del operador.

El informe debe contener como mínimo las mediciones de ruido, el croquis de medición, los datos del instrumento de medición y sus certificados de calibración.

3.2 Ruido en transformadores y reactores

Para la determinación de ruido de los transformadores, reactores y sus equipos de refrigeración asociados, existe en la Argentina la norma IRAM 2437:1995 "TRANSFORMADORES Y REACTORES Determinación de los niveles de ruido". Esta norma es equivalente a la reglamentación internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 551.

Dicha norma se aplica a mediciones efectuadas en los talleres del fabricante. Sin embargo, podrían seguirse las mismas reglas generales cuando se hacen mediciones en el terreno. En éste aspecto surgen algunos inconvenientes.

El primero de ellos nace de la necesidad de medir sobre un contorno prescripto, definido en el inciso 2.5 de la mencionada norma. El contorno se define como una línea horizontal separada una distancia definida (constante) de la superficie principal de radiación, a lo largo de la cual se distribuyen las posiciones de medición.

Generalmente, dentro de una estación transformadora en operación, las máquinas se encuentran instaladas de manera permanente. En la mayoría de los casos no se puede tener acceso a un contorno de medición como el definido anteriormente. Esto es así por los elementos con tensión que pudieran encontrarse en las proximidades de la máquina, los cuales ponen en riesgo la integridad del personal involucrado en la medición.

Además los transformadores de potencia suelen encontrarse rodeados de muros que impiden la expansión de incendios en caso de falla. En este caso no sería posible la medición ya que el espacio entre la máquina y el muro es muy estrecho, impidiendo el acceso. Además, una medición en éste ámbito sería imperfecta de todas maneras por la presencia de una superficie reflectante.

Una segunda dificultad que aparece en la práctica, es la medición de ruido de fondo detallada en el inciso 5.1. En la norma de aplicación se requiere medir el ruido de fondo inmediatamente antes y después de haber efectuado la medición sobre el transformador. En particular cuando dicho ruido es menor que 10 dB, pero no menor de 3 dB con respecto al ruido combinado del fondo con la máquina, se aplican una serie de correcciones. En tales casos el nivel de ruido de fondo deberá determinarse en cada una de las posiciones de medición. Todo esto es inviable con un transformador en servicio, ya que la medición de ruido de fondo involucra desenergizar la máquina. Sabemos que desenergizar un transformador en servicio implica un costo muy importante y en la mayoría de los casos representaría dejar a miles de personas sin energía eléctrica. Por si esto no fuera suficiente los elementos de maniobra tienen una vida útil que depende del número de maniobras y los transformadores sufren las consecuencias de importantes fenómenos transitorios en cada conexión y desconexión. Con lo expuesto hasta aquí no se podría justificar, de ninguna manera, desconectar un transformador para medir el ruido de fondo.

La tercera dificultad surge del ambiente de ensayo definido en el Anexo A de la mencionada norma. En una estación transformadora es un aspecto que no se puede controlar,

es decir viene impuesto por el caso particular. La Norma IRAM 2437 define un local ideal, donde resulte un campo libre sobre un plano reflectante y los objetos reflectantes deben estar lo más alejado posible del objeto sometido a ensayo. Los puntos de medición ideales se encuentran en el interior de un campo acústico no perturbado por reflexiones provenientes de objetos vecinos y de las paredes del local. Fuera del campo próximo de la fuente sonora sometida a ensayo (0,25 m).

Como consecuencia de lo dicho anteriormente es que surge la necesidad de elaborar un método propio cuyo resumen se detalla a continuación.

- La medición se desarrolla con la máquina energizada, en el estado de carga que se encuentra, tomando nota del mismo en todos los casos que sea posible adquirir la información.
- Los puntos de medición se eligen a una altura igual a $h/2$, siendo h la altura del transformador. La distancia del micrófono con respecto a la superficie radiante será de 0.3 m a 2 m, de acuerdo al acceso disponible. Se prefieren las distancias menores, y en todos los casos se registra la misma. La superficie de radiación comprende a la cuba, los dispositivos de refrigeración, los refuerzos estructurales, dispositivos auxiliares como cambiador de tomas, etc.
- Con el medidor de nivel sonoro ubicado como se especificó en el párrafo anterior, se realizan una serie de integraciones alrededor de la máquina en los sitios accesibles. El medidor debe registrar el nivel sonoro continuo equivalente y un análisis de espectro en bandas de 1/3 de octava. De esta forma tenemos una visión general del carácter del ruido emitido por el transformador. En la Figura N° 4 vemos la medición de ruido de un transformador en servicio.

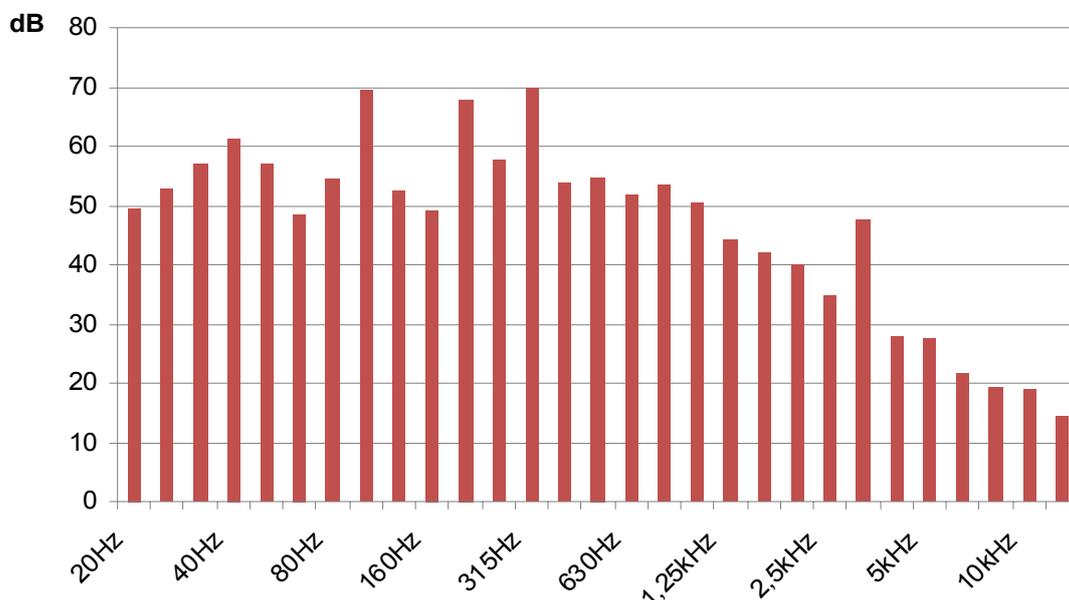


Figura N° 4. Ruido en un transformador de 300 MVA. Espectro de frecuencias por bandas de 1/3 de octava.

Con la característica tonal se puede estudiar el origen de algunas fallas. Además si se realiza un seguimiento se puede detectar el envejecimiento y prevenir anomalías, con todos los beneficios que esto implica.

Los puntos de medición y las características del entorno se documentan en un croquis acotado que ilustra, también, la ubicación del transformador en relación a otros objetos en el área.

Ortos datos de interés que se deben registrar son:

- Cantidad de ventiladores de refrigeración y si los mismos se encuentran funcionando o no al momento de efectuar las mediciones.
- Descripción del transformador en la que se indica la potencia, tensión nominal, grupo de conexión, etc.
- Fabricante, marca y año de fabricación.
- Características del equipo de medición acústica y la verificación de su calibración.

4 Conclusión

Se ha logrado, con la metodología propuesta, dividir el problema de medición de ruido audible dentro de una estación transformadora en dos problemas de menor complejidad. Estos son, ruido por efecto corona y ruido en transformadores.

Una ventaja que reporta este método, resulta en la posibilidad de comparar los resultados obtenidos en una estación transformadora, con los de otra similar, en los diferentes aspectos mencionados. Otra ventaja que puede encontrarse es, simplemente, la factibilidad de realizar un seguimiento de una determinada estación transformadora a lo largo del tiempo, para detectar posibles desperfectos.

En lo que concierne a los ruidos en el carácter de impacto ambiental y molestia para las personas cabe la aplicación de la norma IRAM 4062 “Medición de ruidos molestos al vecindario”.

Referencias

- Cyril M. Harris (1998); “Manual de medidas acústicas y control de ruido”. McGraw – Hill, Madrid, España.
- Norma IRAM 2437 (1995); “Transformadores y Reactores determinación de los niveles de ruido”.
- Norma IRAM 4120 (1990); “Acústica Guía práctica para la redacción de normas para medición de ruido por vía aérea y evaluación de sus efectos sobre el hombre”.