

Operación y Mantenimiento de transformadores de distribución en redes con contenido armónico

Parte 1 – Calidad de la energía y contenido armónico en redes.

1. Introducción

Debido a las características electrónicas y no lineales de muchas de las cargas utilizadas actualmente, tanto en la industria como en la red domiciliaria, las instalaciones eléctricas se encuentran sometidas a un régimen de componentes armónicas, provocando así el fenómeno conocido como “contaminación o polución armónica”.

Estas componentes armónicas poseen efectos nocivos en los equipos instalados en la red, en cuanto a que el rendimiento y funcionalidad de éstos decae, debido a las pérdidas adicionales que los armónicos provocan.

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio del impacto de las componentes armónicas, contenidas en la red de distribución eléctrica, en la operación y mantenimiento de los transformadores.

Teniendo en cuenta que la polución armónica, en los sistemas de potencia eléctrica, son objeto de análisis de la disciplina “Calidad de la Energía”, haremos previamente una breve descripción de esta área de estudio, así como una clasificación de los problemas que afectan a la calidad en el suministro eléctrico, entre estos los armónicos.

En tal sentido, hemos dividido el trabajo en dos partes.

En la Parte 1, como ya comentamos, trataremos los conceptos que involucran a la Calidad de la Energía, estableciendo los problemas asociados, identificando las causas y describiendo los efectos, enfocándonos principalmente en los contenidos armónicos.

En la Parte 2, abordaremos, con fundamental atención, los efectos que ocasionan las componentes armónicas en la operación y mantenimiento de los transformadores de distribución. Analizaremos las pérdidas adicionales por contenido armónico, así como el consecuente desclase de la máquina, determinando finalmente, pautas generales para un efectivo diseño, operación y mantenimiento de los transformadores, instalados en ambientes con alta contaminación armónica.

2. Calidad de la energía

Refiere a la disciplina que comprende la medida, análisis y mejora de las tensiones en los nodos de la red eléctrica, con el fin de mantener una onda senoidal a valor y frecuencia nominal, abarcando tanto a los estados transitorios como estacionarios.

A los efectos, se pueden establecer, a rasgos generales, los temas que aborda:

- Estudio del impacto de los problemas de calidad de la energía (por ej. armónicos) en los sistemas eléctricos de potencia y en las máquinas eléctricas (por ej. transformadores).
- Controlar la generación de alinealidades, desde el origen mismo, en la red eléctrica.
- Adoptar acciones, con el fin de atenuar las perturbaciones y armónicos, antes de proceder a la conexión de las cargas en la instalación eléctrica.



- Diseñar y fabricar máquinas eléctricas y equipos que sean compatibles con el sistema de potencia, logrando de tal forma un menor nivel de contaminación armónica y un menor nivel consecuente de distorsiones en la tensión de la red.
- Evaluar la sensibilidad de los equipos con la calidad de la tensión requerida.

3. Perturbaciones en las redes eléctricas

Se debe tener muy en cuenta que toda corriente o tensión, con contenido armónico (senoidal no pura), generará y propagará a éstos a toda la instalación eléctrica, afectándola así en los niveles de contaminación.

Lo anterior debe su causa a la existencia de impedancias en la red, las cuales, inevitablemente por la caída de tensión que provocan ante la circulación de una corriente poliarmónica, distorsionarán la tensión en los nodos.

La consecuencia inmediata será la de propagar los armónicos a otros consumidores de la instalación, aún si los mismos posean cargas de naturaleza lineal.

En la Figura N° 1 se puede apreciar lo dicho, atendiendo a que las cargas alineales en (1), provocarán la circulación de corrientes poliarmónicas, las que a su vez, como consecuencia de la impedancia de red, establecerá una distorsión en la tensión en el nodo de interconexión (2) de la distribuidora con otros consumidores.

Por lo tanto, en (3) ya no se tendrá una tensión senoidal pura, sino una de característica poliarmónica, afectando así a los consumidores conectados a este alimentador.

Lo anterior describe sucintamente el concepto de contaminación o propagación armónica.

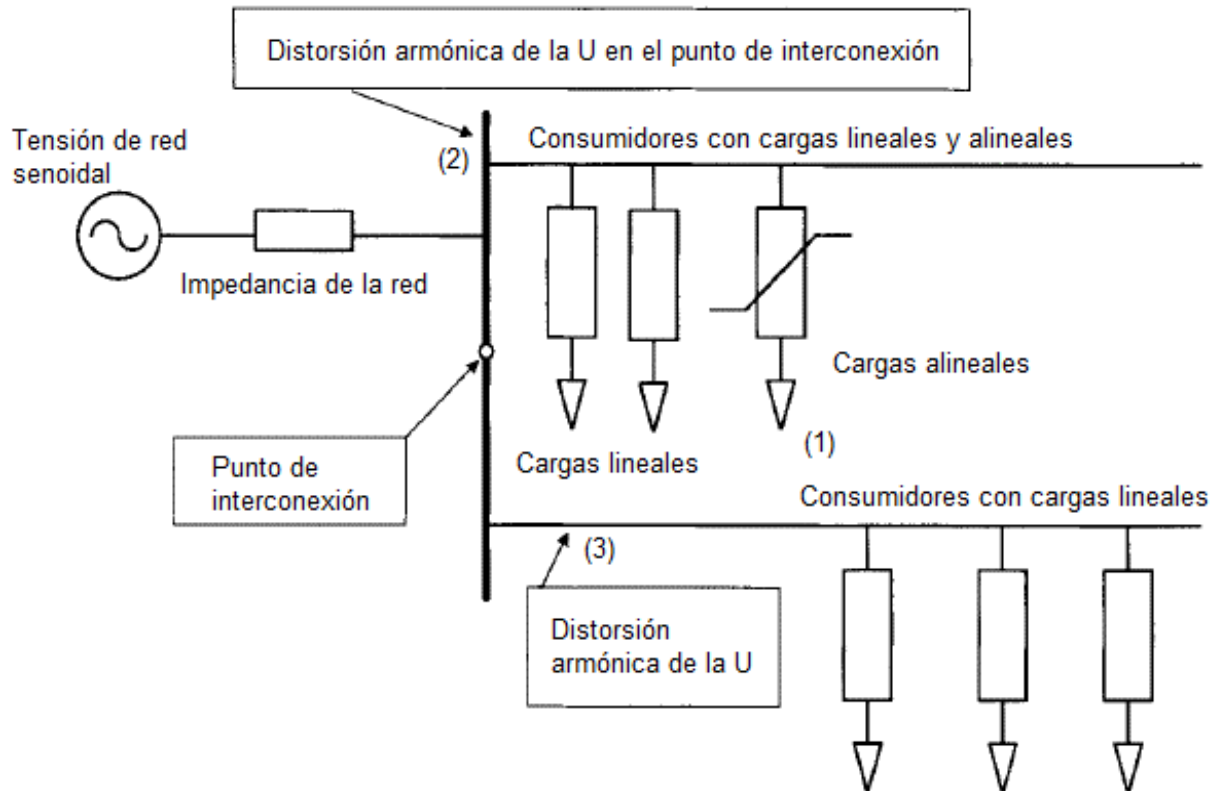
NOVA MIRON S.A.

Servicio y mantenimiento • Transformadores de media y alta tensión

Las Heras 4891 • [B1603AXZ] • Villa Martelli • Buenos Aires • Argentina • Tel.: (011) 4709-6563 rot. • www.novamiron.com.ar

SERVICIO DE ATENCION PERMANENTE Cel.: 15 4945 1170 / 71 / 72

Figura N° 1



Para un estudio y análisis más detallado del problema, podemos clasificar, en primera instancia, a las perturbaciones de las redes, en tres fuentes:

- 1) Pequeñas y predecibles (por ej. los armónicos generados por cargas residenciales).
- 2) Grandes y aleatorias (por ej. los armónicos generados en los hornos a arco).
- 3) Grandes y predecibles (por ej. los convertidores estáticos en transmisión de AT en corriente continua).

También podemos recurrir a otro enfoque de clasificación, más práctico, a saber:

- 1) Por eventos impredecibles

Tiene en cuenta que la mayoría de los problemas de calidad de la energía (aproximadamente entre el 50% y 60%), son producidos por eventos naturales e impredecibles.

Refiere a los problemas derivados de fallas en el sistema de potencia, propagación de sobretensiones por descargas atmosféricas, fenómenos de resonancia y ferorrsonancia, corrientes inducidas geomagnéticamente por actividad solar (efecto GIC, por sus siglas en inglés).

2) Por actividades de la generadora/transmisora/distribuidora

En este caso tenemos 3 clases bien definidas:

a) Sistema de generación

Si bien los generadores de las centrales eléctricas (en su mayoría sincrónicos) establecen tensiones senoidales con un bajo contenido armónico, se desarrollan problemas debido a las siguientes causas:

- Condiciones de capacidad y expansión.
- Eventos que fuerzan la salida de servicio de las unidades.
- Actividades de mantenimiento.
- Transferencia de cargas desde una subestación a otra.

b) Sistema de transmisión

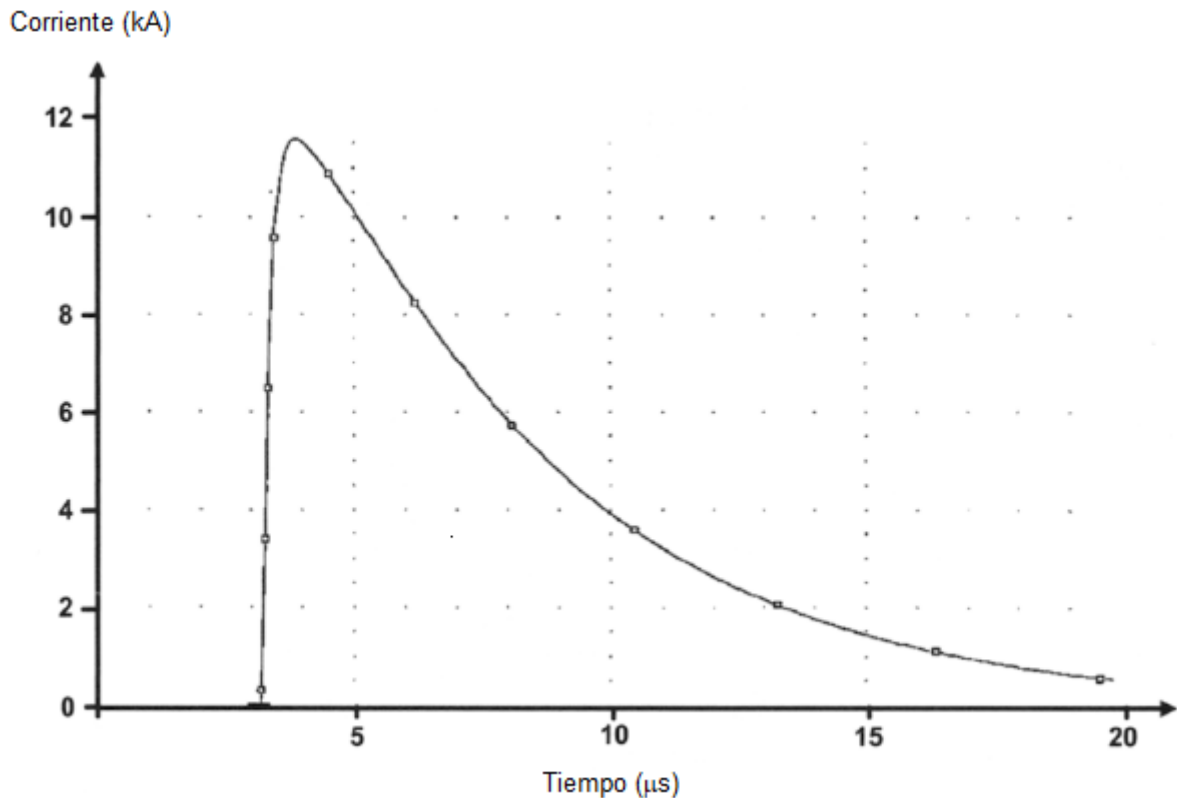
Los problemas en la calidad de la energía, que pueden asociarse con este ítem, son:

- Caída de tensión por fallas en la transmisión.
- Sobretensiones transitorias por descargas atmosféricas.
- Sobretensiones transitorias de maniobra.
- Movimientos de los cables de las líneas por acción del viento.
- Circulación de corriente de inserción debido a la puesta en servicio de transformadores.
- Efecto corona en las líneas.
- Operación inadecuada de dispositivos de regulación de tensión.
- Interrupciones planificadas por mantenimiento de las líneas.
- Contorneo en aisladores.
- Dispositivos de electrónica de potencia.

En la Figura N° 2 se observa una perturbación transitoria en el sistema de potencia, debido a una corriente impulsiva, ocasionada por una descarga atmosférica.

Este impulso tiene la característica de propagarse por una línea de transmisión, afectando así a los componentes que se encuentren cercanos a la zona de la descarga (por ej. un transformador de una subestación de transmisión).

Figura N° 2



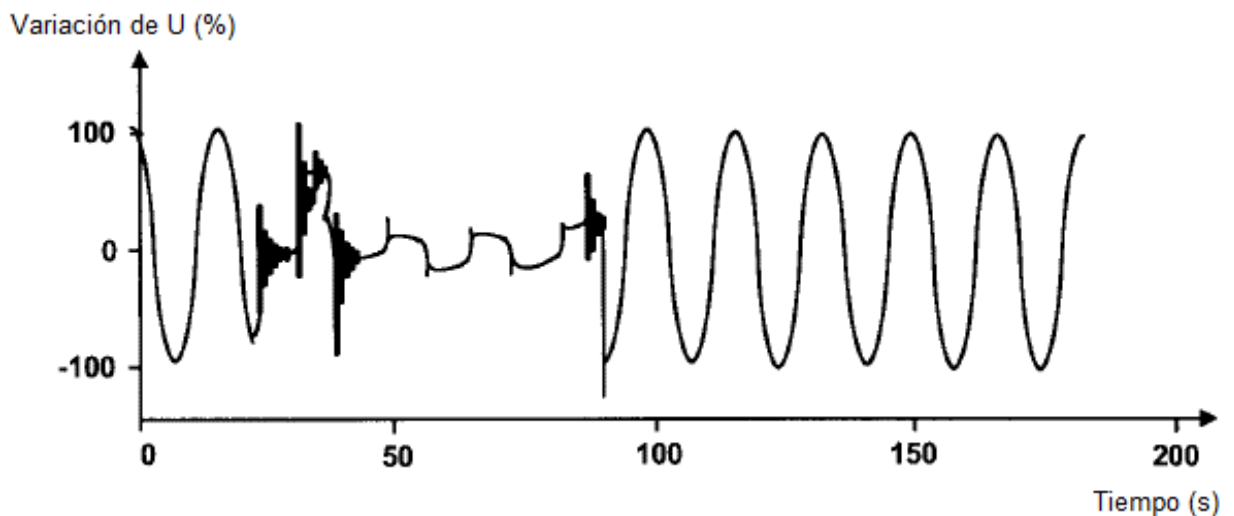
c) Sistema de distribución

En este caso podemos enunciar los siguientes problemas:

- Caídas en los niveles de tensión.
- Picos en los niveles de tensión.
- Interrupción de la tensión.
- Sobretensiones transitorias.
- Puesta en servicio de transformadores (corriente de inserción).
- Operación inadecuada de dispositivos de regulación de tensión.

En la Figura N° 3 podemos observar la distorsión de la onda de tensión, como consecuencia de una caída en el nivel de ésta, debido a una falla monofásica en el sistema eléctrico.

Figura N° 3

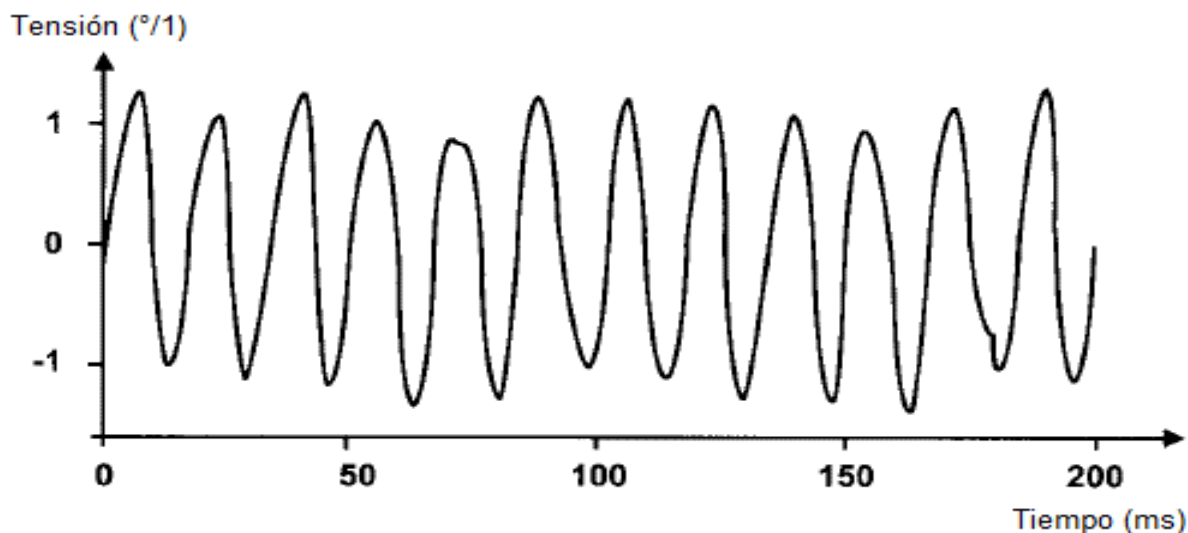


3) Por cargas del consumidor/cliente

Podemos establecer los siguientes problemas en la calidad de la energía, como consecuencia de las cargas del cliente:

- Generación de armónicos debido a la existencia de cargas alineales, dispositivos de electrónica de potencia, reguladores de velocidad de motores, UPS, luces fluorescentes, computadoras, etc.
- Inadecuado factor de potencia, como consecuencia de grandes cargas inductivas en la instalación.
- Actividad de parpadeo (flicker).
- Variación de la frecuencia (por ej. por el uso de grupos electrógenos).
- Puestas a tierra inadecuadas.

Figura N° 4



En la Figura N° 4 se observa la distorsión de la onda de tensión, debido a la actividad de parpadeo (flicker), asociado a la operación de un horno de arco.

4) Por decisiones de fabricación

En este caso encontramos dos fuentes características de problemas en la calidad de la energía:

a) Normas y Reglamentaciones técnicas

Los problemas derivados tienen su causa en la ausencia de normas para especificar ensayos, así como certificaciones de equipos/instrumentos. También abarca la venta, compra, instalación y utilización de los equipos electrónicos.

b) Sensibilidad de los equipos

La sensibilidad intrínseca de los equipos electrónicos utilizados en las instalaciones eléctricas es la mayor causa del aumento de los problemas de calidad de la energía.

Lo anterior se encuentra relacionado con el diseño de estos equipos y su consecuente incompatibilidad con el entorno eléctrico al cual serán conectados.

4. Clasificación de los problemas de calidad de la energía

En base a lo indicado previamente, se concluye que los problemas de calidad de la energía, deberán enfrentarse atendiendo a 3 criterios básicos, a saber:

- a) Las generadoras, transmisoras y distribuidoras, deberán implementar diseños de equipos que atenúen los efectos no deseados sobre la calidad de la energía, así como operarlos y mantenerlos atendiendo a los principios establecidos.
- b) El consumidor/cliente deberá implementar una instalación eléctrica adecuada a los fines de la calidad de la energía, prestando atención al sistema de cables de potencia, puesta a tierra y de todos los equipos electrónicos utilizados en cuanto a sus diseños y fabricación.
- c) Los fabricantes de equipos electromecánicos y electrónicos deberán diseñarlos en base a especificaciones normalizadas, cuyo objetivo sea minimizar las perturbaciones en las redes eléctricas de uso.

Previo a encarar estos ítems citados, debemos proceder a una clasificación de los eventos asociados a las perturbaciones en las redes eléctricas.

A tal fin, existen un conjunto de normas, que recurren a criterios distintos, según sea la propiedad específica del evento.

Nosotros haremos solamente una descripción de la norma IEC 61000, la cual utiliza el criterio de la frecuencia (rango) del evento. La misma establece las siguientes 3 clases:

- Eventos de baja frecuencia

Son aquellos cuya frecuencia es ≤ 9 kHz. Comprende:

- Eventos conducidos: armónicos e interarmónicos, tensión de señales, variaciones de tensión, caídas de tensión, desbalance de tensión, variaciones de la frecuencia de red, tensiones inducidas de baja frecuencia, componentes de continua inyectadas en las redes de alterna.
- Eventos radiados: debidos a la acción del campo magnético, debidos a la acción del campo eléctrico.

- Eventos de alta frecuencia

Son aquellos cuya frecuencia es > 9 kHz. Comprende:

- Eventos conducidos: ondas continuas inducidas de tensión o corriente, transitorios unidireccionales, transitorios oscilatorios.
- Eventos radiados: debidos a la acción del campo magnético, debidos a la acción del campo eléctrico, debidos a la acción del campo electromagnético, ondas estacionarias, transitorios.

- Eventos de descarga electrostática

5. Distorsión de onda

De todos los problemas asociados a la calidad de la energía eléctrica, el de Distorsión de Onda es el que nos ocupará con mayor detalle en el presente trabajo, debido al impacto que genera en la operación y mantenimiento de los transformadores.

La distorsión de onda se define como la desviación estacionaria de la onda senoidal a frecuencia de red. Se caracterizan 5 causas:

a) Componente unidireccional

Refiere a la existencia de una componente de corriente continua tanto en la onda de tensión como de corriente.

Puede deberse al uso de equipos rectificadores y/o dispositivos de conmutación electrónica. También tienen su origen en eventuales perturbaciones geomagnéticas.

A continuación, podemos detallar algunos de los efectos nocivos que generan en los sistemas eléctricos:

- Generación de armónicos pares, en consonancia con armónicos impares.
- Calentamiento adicional en equipos, con consecuente reducción de la vida útil de los mismos.
- Saturación en el núcleo magnético de los transformadores.
- Erosión electrolítica de electrodos de tierra.

b) Armónicos

Son ondas senoidales de tensión o corriente, con frecuencia asociada a un múltiplo entero de la frecuencia de la red. La conjunción de estos componentes, junto a la fundamental de red, genera ondas periódicas no senoidales.

Las causas pueden asociarse a la existencia de cargas industriales alineales (equipos electrónicos de potencia, controladores de velocidad, máquinas de soldar, etc.), así como a ciertas cargas residenciales (TV, computadoras, lámparas bajo consumo, etc.).

Como efectos negativos encontramos:

- Pérdidas adicionales en máquinas eléctricas (transformadores, motores).
- Operación incorrecta de los sistemas de control.
- Ruido adicional en motores y otros equipos.
- Generación de frecuencia de resonancia (serie y paralelo).

Dentro de este grupo se encuentran los Armónicos Triplen, los cuales se caracterizan por tener frecuencias que son múltiplos impares del 3er armónico (es decir: 3, 9, 15, 21 ...).

Estas componentes son muy importantes en las redes eléctricas con neutro puesto a tierra, debido a que provocan la circulación de corrientes a tierra, con la consecuencia de sobrecargar al conductor de neutro.

c) Interarmónicos

Son ondas senoidales de tensión o corriente, con una frecuencia asociada que no es un múltiplo entero de la frecuencia de la red.

Deben su existencia al uso de convertidores estáticos de frecuencia, cicloconvertidores, máquinas asincrónicas, etc.

Los efectos negativos se pueden resumir en los siguientes:

- Existencia de cuplas de baja frecuencia.
- Sobretemperatura en máquinas asincrónicas.
- Generación de parpadeos (flickers).
- Operación inadecuada de relés de protección.

d) Corte por conmutado

Refiere a la perturbación periódica de tensión, ocasionada en los circuitos de tiristores conmutados en línea.

Esta perturbación se genera cuando la corriente conmuta de una fase a otra, resultando, durante el tiempo que dura esta operación, en un cortocircuito momentáneo entre las dos fases conmutadas.

El efecto negativo primario es la reducción de la tensión de línea de la red y el efecto secundario el de provocar una solicitud adicional sobre la aislación de los transformadores.

e) Ruido eléctrico

Refiere a la perturbación ocasionada por una señal eléctrica no deseada, la cual posee un ancho de banda de contenido espectral menor que 200 kHz.

El ruido eléctrico se caracteriza por integrarse en forma nociva a la tensión de la red, en la corriente de los conductores de fase, en el conductor de neutro o bien en las redes de comunicación.

Entre las posibles causas podemos citar:

- Operación de dispositivos de electrónica de potencia.
- Controladores de velocidad de motores.
- Cargas con rectificadores de estado sólido.
- Inadecuados sistemas de puesta a tierra.
- Desconexión de bancos de capacitores.

6. Conclusiones

Como conclusiones de esta primer parte del trabajo, podemos detallar las siguientes, en relación a los efectos de una inadecuada calidad de la energía en las redes eléctricas:

- Existen diferentes efectos nocivos sobre los equipos y máquinas eléctricas de la instalación, los cuales deberán estudiarse y entenderse, con el fin de prevenir fallas.
- Será importante conocer las causas de las distorsiones de las ondas de tensión y/o corriente, así como sus interacciones con los componentes de la red eléctrica.



- Una inadecuada calidad de la energía, asociada con la actividad de armónicos, provocará el aumento de pérdidas en las máquinas eléctricas y una consecuente disminución de la vida útil de éstas. De ahí la importancia de su estudio.
- Lo anterior llevará a desclasificar a los transformadores de distribución, de forma tal de evitar fallas prematuras, como consecuencia de un sobrecalentamiento de la máquina por la actividad de armónicos.
- Desarrollo de fallas imprevistas en equipos y máquinas del sistema eléctrico, así como en las cargas de los consumidores, debido a los efectos de resonancia paralelo y ferorrresonancia.

En la Parte N° 2, enfocaremos el análisis de los efectos de los contenidos armónicos en la red sobre los transformadores de distribución, así como los lineamientos básicos para una correcta operación y mantenimiento de los mismos, ante ambientes con alta contaminación armónica.

Ing. Ernesto E. Zelaya.
Ingeniería - Nova Mirón S.A.

NOVA MIRON S.A.

Servicio y mantenimiento • Transformadores de media y alta tensión

Las Heras 4891 • [B1603AXZ] • Villa Martelli • Buenos Aires • Argentina • Tel.: (011) 4709-6563 rot. • www.novamiron.com.ar

SERVICIO DE ATENCION PERMANENTE Cel.: 15 4945 1170 / 71 / 72