



3 Y 4 DE NOVIEMBRE DE 2022 - UTN FACULTAD REGIONAL RECONQUISTA

Análisis de calidad de energía eléctrica y de los efectos armónicos mediante un caso de estudio.

Electrical power quality and harmonic effects analysis through a study case.

Facundo Di Conza

UTN Facultad Regional Santa Fe

e-mail: fdiconza@frsf.utn.edu.ar

Gaspar Cosme

UTN Facultad Regional Santa Fe

e-mail: gcosme@frsf.utn.edu.ar

Leandro Salteño

UTN Facultad Regional Santa Fe

e-mail: lsalteno@frsf.utn.edu.ar

Resumen

Este trabajo tiene por objetivo analizar cuestiones referentes a la “Calidad de energía eléctrica” a través de un caso de estudio real. El mismo se llevó a cabo en una empresa local, la cual presenta carga alineal de potencia considerable asociado al sistema de iluminación. Se realizó una descripción del sistema eléctrico del lugar, se detalla el equipamiento utilizado en la medición de los parámetros eléctricos, como así también, la ubicación del punto de medición. Luego se expone un resumen técnico mostrando las características de las mediciones obtenidas y se finalizó exponiendo las conclusiones más relevantes, observando un contenido significativo de armónicos de tensión y corriente debido al tipo de carga. Esto puede ocasionar problemas, por lo que se realizó un apartado sobre posibles soluciones a los mismos. Los resultados muestran la importancia de realizar este tipo de estudios en los usuarios de la red eléctrica.

Palabras clave: calidad de energía eléctrica, distorsión armónica, valor eficaz de la tensión.

Abstract

The aim of this paper is to analyze issues related to “electrical power quality” through an actual case study. The study was carried out in a local company that presents a considerable

nonlinear electric charge associated to the lighting system. A measuring of the electrical system of the place was conducted and, the equipment used to measure the electrical parameters together with the location of the measuring point were detailed. Then, a technical summary of the characteristics of the measurements obtained is presented and the most important conclusions are exposed, showing a significant amount of voltage and current harmonics due to the type of load. This situation may cause problems, that is why a section about possible solutions is added below. The results show the importance of following these types of studies among users of the electrical grid.

Keywords: electrical power quality, harmonic distorsion, effective voltage value.

Introducción

Con el avance de la tecnología y la creciente complejidad de las instalaciones eléctricas surgen nuevos paradigmas y en algunos casos, nuevas problemáticas. Debido a estas últimas, aparece en escena un concepto cada vez más relevante: “calidad de energía eléctrica”. La Calidad de energía es la rama de la ingeniería eléctrica que estudia las condiciones a cumplir por la energía eléctrica recibida por el usuario [1].

La deficiencia en calidad de energía es todo aquel apartamiento de tensión, en magnitud, frecuencia o **forma de onda** que conduce al daño, falla o mal funcionamiento del equipo de uso final.

Presentación de los parámetros influyentes en el estudio

Un parámetro de vital importancia en este estudio es el de **Tensión Eficaz**, también conocida como valor **RMS** (Root Mean Square). Este valor se obtiene matemáticamente con la ecuación (1) [2].

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_t^{t+T} [V_{max} * sen(\omega t)]^2 dt} \quad (1)$$

donde:

T: Período del ciclo considerado(s)

t: tiempo (s)

V_{max} : valor pico de la tensión (V)

ω : frecuencia angular (s^{-1})

Cualquier modificación en la forma de onda implica variaciones en el valor eficaz de la magnitud en cuestión, pudiendo ello derivar en problemas más o menos importantes según el caso.

Dentro de las alteraciones en las formas de ondas de tensión o corriente, se destaca principalmente la **distorsión armónica**.

La distorsión armónica consiste en la deformación de la onda, de tensión o corriente, y es causada principalmente por la presencia de cargas no lineales en el sistema. Frecuentemente resulta común confundir el origen o relación entre las armónicas de tensión y corriente. Sin

embargo, la distorsión de tensión es causada por caídas de tensión con armónicas, las cuales son condicionadas por el valor de impedancia de la red y la amplitud y nivel de distorsión de la corriente. Para determinar el grado de distorsión armónica en la onda de tensión o corriente se utiliza el indicador THD (Total Harmonic Distortion), el cual se determina con la ecuación (2) [2],

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} M_h^2}}{M_1} \quad (2)$$

Donde M_h es el valor eficaz de la componente armónica h y M_1 el valor eficaz de la fundamental ambas en Volt si se trata de tensión.

Se puede decir que el THD es una medida del valor eficaz de armónica relativa a la fundamental.

La distorsión armónica es una perturbación de estado estable (no transitoria) y depende de las cargas conectadas a la red. Es común encontrar que las señales tienen cierta distorsión y en caso de no ser significativa no ocasiona problemas en la operación de equipos y dispositivos. Los efectos dependerán de la proporción que exista entre la carga no lineal y la total. Sin embargo, cuando presenta problemas asociados a estas perturbaciones, pueden manifestarse problemas diversos en los equipos.

Algunos efectos adversos producidos por corrientes armónicas son [3] [4]:

- Aumento de pérdidas por efecto Joule.
- Sobrecalentamiento en conductores de neutro.
- Sobrecalentamiento en motores, generadores, transformadores y cables.
- Vibración en motores y generadores.
- Falla de transformadores y bancos capacitores.
- Efectos de resonancia que amplifican los problemas antes mencionados que pueden derivar en fallos destructivos.
- Problemas de funcionamiento en dispositivos electrónicos sensibles.
- Interferencias en sistemas de telecomunicaciones

Desarrollo

En el presente documento se discutirá sobre un caso de estudio en una empresa de la provincia de Santa Fe, donde se midieron niveles de distorsión armónica para una carga particular de la misma.

Descripción de la instalación eléctrica

El registro de consumo y calidad de energía eléctrica se llevó a cabo en bornes del interruptor principal del Tablero General de Baja Tensión (TGBT) que abastece a un sistema de iluminación particular de la empresa. En éste se encuentra un interruptor tetrapolar en el que acometen cuatro cables que provienen de la salida de un transformador reductor 1000/400 V.

La carga conectada al mismo, consiste en fuentes de corriente constante regulada (FCC), modelo Micro 100 CCR, que se conectan en serie con el arrollamiento primario de múltiples transformadores (T1-n) que alimentan luminarias (L1-n) en su secundario. El detalle del circuito puede observarse en la Fig.1

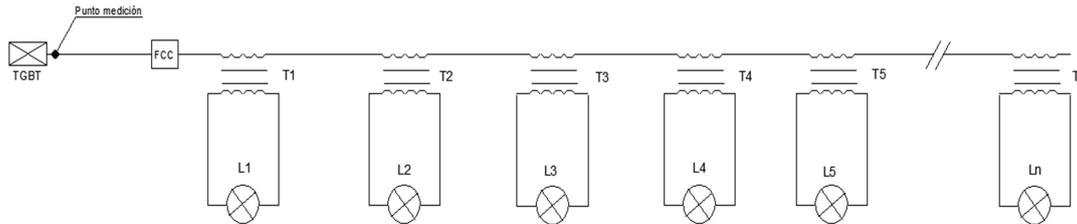


Fig. 1 - Diagrama unifilar del circuito eléctrico

Para la medición se empleó un analizador de red trifásico certificado y calibrado, marca Dranetz modelo 440s (Clase A según IEC 61000-4-30). La medición se realizó aguas abajo del TGBT. En tal punto se hizo un registro continuo de los parámetros de consumo y de calidad de energía durante un periodo de 12.2 días, con muestreos realizados cada 10 minutos. La medición se dividió convenientemente en dos períodos A y B según la carga demandada por el sistema sea baja o alta respectivamente (las imágenes que siguen en el trabajo muestran los registros en ambos períodos: la izquierda corresponden al periodo A mientras que la derecha al periodo B).

Tensiones de línea y fase:

Los niveles de tensión se encuentran dentro de la franja de tolerancia admisible durante la mayor parte del tiempo, en los momentos en que el consumo de potencia es elevado se denotan problemas asociados a la regulación de tensión y se detectaron variaciones en el valor eficaz de la tensión pudiendo derivar en mal funcionamiento o salida de servicio de los equipos. La tensión de neutro con respecto a tierra tiene valores normales al igual que la frecuencia de tensión de red.

Tensiones de línea y de fase

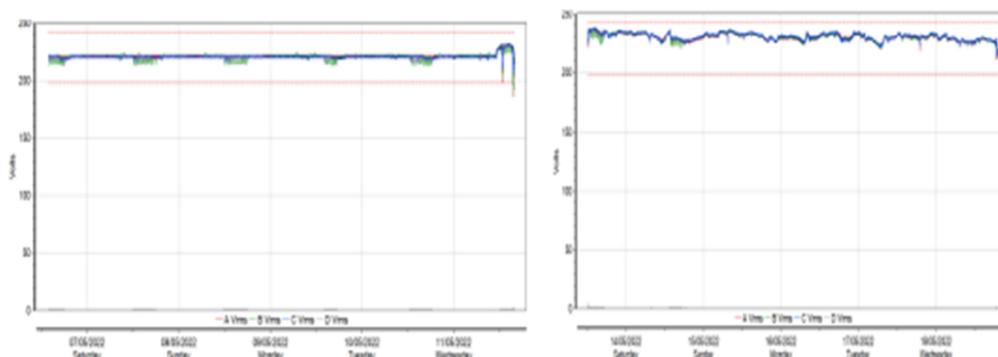


Fig. 2 - Valor eficaz promedio de las tensiones de fase y de neutro. Las líneas de trazos (rojas) indican la franja de tolerancia admisible $\pm 10\%$ para las tensiones de fase.

Demanda de potencia:

El consumo de potencia es muy irregular debido al tipo de carga y su empleo particular. Durante la mayor parte del tiempo la potencia activa total se encuentra por debajo de 4 kW, sin embargo, durante los picos se llegó a 40 kW. Sucede algo similar con la potencia aparente, si bien los consumos son relativamente bajos, presentan picos importantes de forma esporádica.

Demanda de potencia

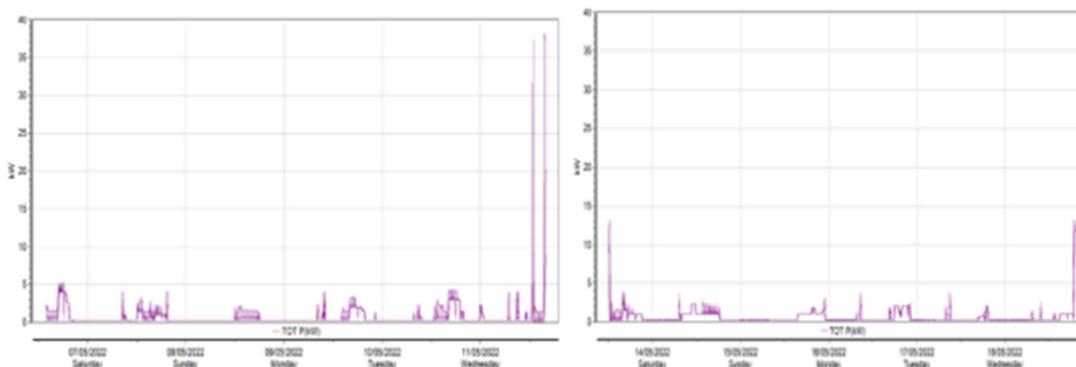


Fig. 3 - Valores mínimos, medios y máximos de la potencia activa total demandada.

Distorsión armónica en corriente y tensión:

Se observan valores de corriente en el orden de los 40 A con cierta regularidad. También se registran valores máximos de 400 A, estos picos se correlacionan principalmente con períodos transitorios. La corriente presenta valores de distorsión armónica elevados, lo cual se correlaciona directamente con el consumo de potencia y afecta a la distorsión de la tensión. Durante los períodos de bajo consumo la distorsión es baja (orden de 3,5%f). Sin embargo, la tensión se distorsiona fuertemente en los períodos de mayor corriente llegando a valores del orden del 13%f.

Armónicos de tensión y corriente

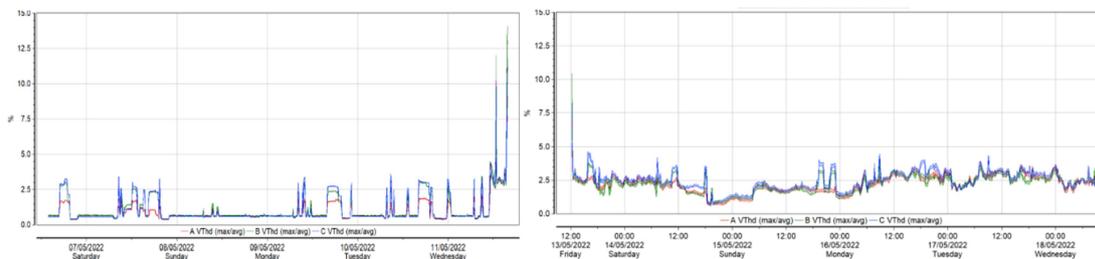


Fig. 4- Valores medios y máximos de la distorsión armónica total de la tensión de fase (THD %).

Conclusiones

La distorsión armónica en este caso de estudio surge del tipo de carga, de la fuente de corriente y en menor medida de los transformadores. La implementación conjunta de estos equipos constituye una carga fuertemente alineal que produce una alteración en la forma de onda de la corriente, dicha corriente produce una caída de tensión importante debida a la impedancia del alimentador y, dado que la caída de tensión es proporcional a la corriente, ésta también se verá deformada, lo cual deriva en una distorsión en la tensión. Dicha distorsión genera impactos en el sistema eléctrico (transformadores, cables, protecciones, motores, etc.), que pueden ser instantáneos o de largo plazo.

Se observan problemas asociados a la regulación de tensión en momentos en los que el consumo de potencia es alto. Ante incrementos importantes de la corriente, se detectaron variaciones en el valor eficaz de la tensión que pueden provocar el mal funcionamiento o la salida de servicio de la carga.

El consumo de potencia registrado es bastante irregular, propio del tipo de carga abastecida. Los consumos son relativamente bajos en general, pero presentan picos importantes de forma esporádica.

La corriente presenta valores de distorsión armónica altos. Esta distorsión se correlaciona directamente con el consumo de potencia y claramente afecta a la distorsión de la tensión en el punto de medición.

La presencia de esta corriente distorsionada puede provocar problemas en el resto de la instalación eléctrica, además de generar distorsiones en la red, lo que afectaría a otros usuarios.

En líneas generales, se observaron problemas en la calidad de energía asociados principalmente a la distorsión armónica y regulación de la tensión en el punto de medición. La carga abastecida es fuertemente alineal y demanda corriente con gran variabilidad, fuertemente distorsionadas e incluso muy desequilibradas. Si bien no se considera normal, estas perturbaciones de la corriente afectan notoriamente a la tensión, principalmente durante los momentos de mayor consumo. El efecto de esta distorsión de tensión puede afectar al funcionamiento de la carga abastecida.

Ante la imposibilidad de modificar el equipo que genera los armónicos, se requeriría aplicar una solución que podría estar dada por:

- **Filtrado:** un filtro “shunt” en paralelo con el equipo que provoca la distorsión se puede sintonizar con una frecuencia armónica para así cortocircuitarla. Un filtro serie bloquearía la circulación de la corriente de la frecuencia armónica, pero provoca efectos que distorsionan la tensión. Una buena opción sería un filtro activo, que electrónicamente genera las armónicas de corriente requeridas por las cargas no lineales.

- Método de cancelación: consiste en aplicar filtros localizados en cada elemento que genera armónicos para así ir mitigando los efectos aguas arriba, ya que el peso de las cargas distorsionantes se va reduciendo.

Con la reducción de armónicas se obtienen beneficios tales como:

- Elevación del factor de potencia.
- Reducción de consumo de energía reactiva de las redes.
- Reducción de pérdidas producidas por efecto Joule ($I^2 R$).
- Prolongar la vida de equipo electrónico.
- Reducción de sobrecalentamientos en el cableado.
- Reducción de pérdidas en transformadores.
- Incremento en la eficiencia y prolongación de la vida de motores.

Referencias

- [1] Gomez Taragarona J. C. Calidad de potencia para usuarios y empresas eléctricas. Universidad Nacional de Río Cuarto, 2009.
- [2] Téllez R. E. Distorsión armónica. Automatización, productividad y calidad, 2010.
- [3] Dugan R. C., Santoso S., McGranaghan M. F., Beaty H. W. Electrical Power Systems Quality, McGraw Hill, 2002.
- [4] Téllez Ramírez, E. (2018). "Distorsión Armónica". Automatizacion, productividad y calidad S.A. de C.V., Puebla, Puebla, México. Disponible en:
<https://agngroup.net/papers/Distorsion%20Armonica.pdf>