

## Estudio de la distorsión armónica de la tensión en una red eléctrica urbana

**Autores:** Alejandro D. Gudiño<sup>(1)</sup>, Mauricio Sada<sup>(2)</sup>

**Tutor:** Diego M. Ferreyra<sup>(3)</sup>

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo GISEner

<sup>(1)</sup> aleg\_electromecanica@hotmail.com; <sup>(2)</sup> mauriciosada1@gmail.com;

<sup>(3)</sup> dferreyra@frsfc.utn.edu.ar

### Resumen

Esta investigación se orienta a la realización de mediciones exploratorias del nivel de distorsión armónica de la tensión de suministro en diversos puntos de la red eléctrica de baja tensión de San Francisco, una ciudad de unos 60 000 habitantes ubicada en el interior agroindustrial de la provincia de Córdoba. La motivación de la misma es la necesidad de cuantificar el grado de contaminación armónica en la red local, a fin de prever la magnitud de las medidas de mitigación que podrían requerirse. Para realizar las mediciones, se cuenta con un analizador de redes con capacidad de funcionamiento específico como registrador de calidad de energía, que debe conectarse durante un período de una semana al punto de la red donde se desea hacer el relevamiento.

### Palabras clave

calidad de energía, características de la tensión suministrada, contaminación armónica, distorsión armónica, armónicas de tensión

### Introducción

La problemática de la calidad de energía o calidad de potencia es uno de los aspectos que mantiene preocupados y ocupados a profesionales del área eléctrica de todo el mundo. Uno de los problemas de régimen permanente más notable de la calidad de energía es la distorsión armónica de las tensiones de las redes de distribución. Esta situación se cuantifica por medio de diversos parámetros, uno de los cuales es muy elocuente: la tasa de distorsión armónica, también conocida como THD por sus siglas en inglés (*Total Harmonic Distortion*).

La presencia de una mayor distorsión armónica en las tensiones de una red eléctrica siempre implica un mayor apartamiento de las formas de onda temporales con respecto a perfiles perfectamente sinusoidales. Desde hace algunas décadas, la literatura viene expresando extensa y detalladamente los distintos efectos que esta problemática trae aparejada para los equipos conectados a la red, y de hecho también para las mismas líneas de distribución de energía. Por eso, frecuentemente se requiere el diseño de soluciones de mitigación, y esto necesariamente implica la toma de mediciones previas para determinar numéricamente la situación que se debe corregir.

En el presente trabajo, se muestran los resultados de una campaña de mediciones de sondeo realizadas en la red de distribución de baja tensión de la ciudad de San Francisco, ubicada en la provincia de Córdoba. En dichas mediciones, se tomaron mediciones trifásicas en algunos puntos de los distintos distribuidores que recorren el trazado urbano. Para todos los puntos en cuestión, se registraron valores relativos a la distorsión armónica global y valores individuales de algunos órdenes armónicos que típicamente resultan más problemáticos.

Con esto, se pretende determinar la situación actual en términos generales en esta localidad, para prever el nivel de penetración de esta problemática. La intención es proporcionar información que resulte de utilidad para la previsión de posibles soluciones que deban adoptarse en plazos mediatos o inmediatos. Dado el tamaño mediano de esta población (60 000 habitantes), y su perfil industrial y de servicios, se espera que los resultados resulten de utilidad para proyectarlos a la situación de muchas otras localidades de perfil similar.

## Desarrollo

El interés en la realización de este relevamiento, realizado sobre un grupo de puntos representativos de la ciudad desde el punto de vista eléctrico y geográfico, surge del hecho de que es necesario, por ejemplo, antes de impulsar medidas para la reducción de armónicas en una subestación de transformación, conocer a qué niveles de distorsión está funcionando, para poder elegir los medios de mitigación más adecuados. De hecho, las mediciones podrían indicar que no resulta técnicamente necesario o económicamente conveniente implementar medio de mitigación alguno.

Adicionalmente, se requiere cuantificar la contaminación armónica en relación con los límites estipulados por la normativa aplicable, a fin de contar con un criterio de decisión respecto de la imputación de responsabilidades por tal problemática. Hablando en términos muy generales, las distorsiones en la tensión de suministro son responsabilidad de la empresa distribuidora de energía, por lo cual esta es la primera interesada en conocer el estado de este parámetro de calidad de producto técnico.

Las mediciones se realizaron según lo especificado en la norma EN 50160, "Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución", a fin de comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos en ella. Las siguientes son las dos especificaciones más importantes de dicha norma que se aplican a este trabajo:

1. Durante el período de una semana, en condiciones normales de explotación, el 95 % de los valores eficaces de cada tensión armónica promediados en 10 minutos no deben sobrepasar los valores indicados en la Tabla 1.
2. Contemplando todas las armónicas hasta el orden 40, la tasa de distorsión armónica total o THD de la tensión suministrada no debe ser superior a 8 %.

En la Tabla 1 que se muestra a continuación, se enumeran los límites máximos admisibles para las tensiones armónicas expresadas en valores relativos de  $U_n$ , que es la tensión nominal en voltios del sistema de baja tensión sobre el cual se realizan las mediciones.

Tabla 1: Límites de tensiones hasta el armónico 25, expresados en porcentaje de  $U_n$  en baja tensión (EN 50160:1999)

Armónicos impares				Armónicos pares	
No múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden n	Tensión relativa	Orden n	Tensión relativa	Orden n	Tensión relativa
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Para realizar las mediciones, se utilizó un analizador de calidad de energía marca METREL, modelo Power Quality Analyser-Plus MI 2292, de 0,1 V de resolución y precisión igual a  $\pm 0,5$  % de la lectura  $\pm 2$  dígitos para las mediciones de tensión. Los datos se registraron durante un período de una semana y posteriormente se descargaron y procesaron externamente en una PC. La configuración íntegra del analizador puede modificarse manualmente o desde la PC conectada externamente, opción que se utilizó en este caso.

Al indicar la medición de las tensiones de fase, se seleccionaron sus armónicas hasta el orden 25. Si bien el instrumento puede medir hasta el orden 63, se restringió la medición a un orden menor simplemente por ser pequeña la incidencia práctica en la tensión de las armónicas de orden superior. Esto se verificó por medio de mediciones previas de práctica, al igual que el hecho de que las armónicas pares eran nulas. De todos modos, se registraron los valores de algunas armónicas pares, a fin de demostrar la validez de esta última afirmación. Cabe aclarar que, aunque se registraron individualmente solo algunos órdenes de armónicas, el instrumento registra en cada período de integración el THD calculado con todos los órdenes de armónicas requeridos en la EN 50160, es decir hasta el orden 40.

La central de transformación y generación que alimenta la ciudad de San Francisco, ubicada en el extremo suroeste del ejido urbano, posee nueve distribuidores de media tensión, cuyas líneas están representadas en la Fig. 1 en distintos colores.

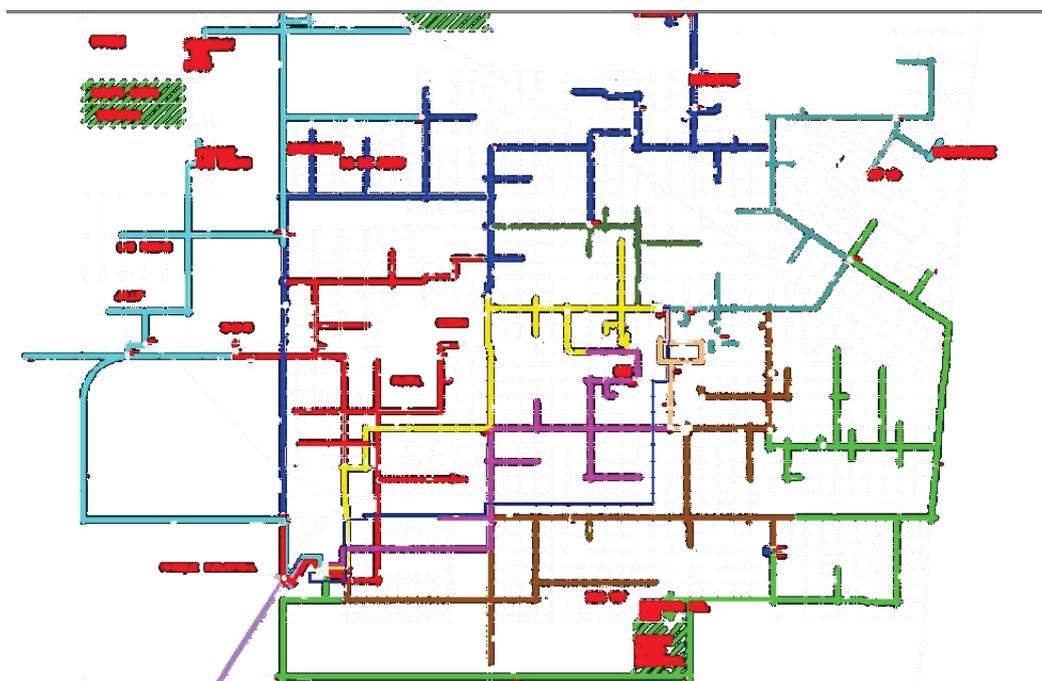


Figura 1. Distribuidores de la ciudad de San Francisco (trazos en cian, azul, rojo, amarillo, violeta, marrón y verde desde el extremo inferior izquierdo, en color celeste y rosa desde la parte central)

Las mediciones se realizaron en seis puntos distribuidos en la ciudad según los barrios que se indican en la Fig. 2, donde también se indica con un círculo en la parte inferior izquierda el centro de transformación y generación de la ciudad. Dichas mediciones se realizaron en tableros trifásicos de baja tensión de usuarios ubicados en diferentes puntos de la ciudad. Para esto, se aprovecharon convenios vigentes de la facultad con los diferentes usuarios a fin de acceder a sus instalaciones. La idea fue colocar el instrumento en el tablero de acometida a la instalación. Este es el PAC (punto de acoplamiento común, también conocido por sus siglas en inglés PCC, *Point of Common Coupling*) donde, según la normativa aplicable, se realizan las mediciones de calidad de energía, ya que se trata del punto de contacto entre la empresa distribuidora de energía y el usuario. En algunos casos, por motivos de seguridad eléctrica, resguardo del equipo o acceso a la tensión tanto para medir como para alimentar el instrumento, se decidió hacer las mediciones puertas adentro de la instalación. Sin embargo, se evaluó tal situación en cada caso para asegurarse de que la distancia (desde el punto de vista eléctrico) al tablero de acometida no impactara notablemente las mediciones por la caída de tensión adicional. Aunque el sondeo corresponde a la tensión de la red de distribución, se mantuvo confidencialidad en todo momento de los usuarios que gentilmente proporcionaron acceso a sus instalaciones.



Figura 2. Barrios en los cuales se realizaron las mediciones

En la Fig. 3, se muestra un ejemplo de resultados de una de las mediciones, donde queda manifiesta la variación diaria y aún semanal del THD, que de todos modos no superó el 4 % ni siquiera en el punto máximo. Esta situación se repitió de manera similar en todos los puntos relevados, aún superando bastante el 4 % de THD en muchas ocasiones, pero siempre cumpliendo con el requisito de que el percentil 95 no excediera los límites impuestos por la normativa en cuestión (para este caso, el 8 %).

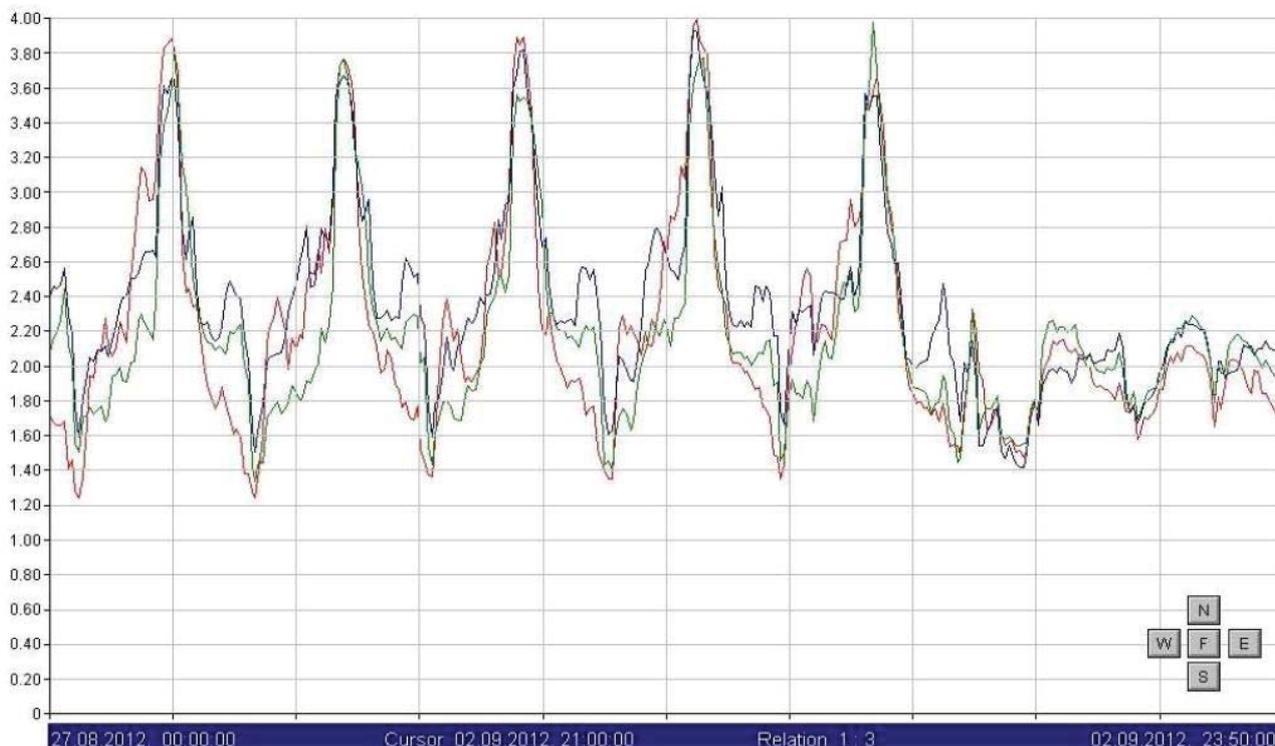


Figura 3. Uno de los resultados de las mediciones: evolución del THD en una semana

En la Fig. 4, se muestra otro de los resultados para el mismo punto de medición, donde se evalúan los niveles de las 18 frecuencias armónicas relevadas para las tres fases y se cotejan con los límites correspondientes cada uno de los valores máximos obtenidos. La línea horizontal trazada para cada fase corresponde al límite (a escala normalizada) que no se debe superar en el 95 % de las mediciones. Se observa que, en un caso aislado (armónica 15 de la fase L1), el máximo valor medido superó el límite máximo admitido por la norma, pero evidentemente se trató de una situación que duró muy poco tiempo, ya que el 95 % de las mediciones se mantuvo por debajo de ese valor. En otros casos, se observa que la medición máxima alcanza justamente el límite previsto para la armónica en cuestión (por ejemplo, armónica 9 en las tres fases), pero siempre respetando el límite previsto en la normativa.

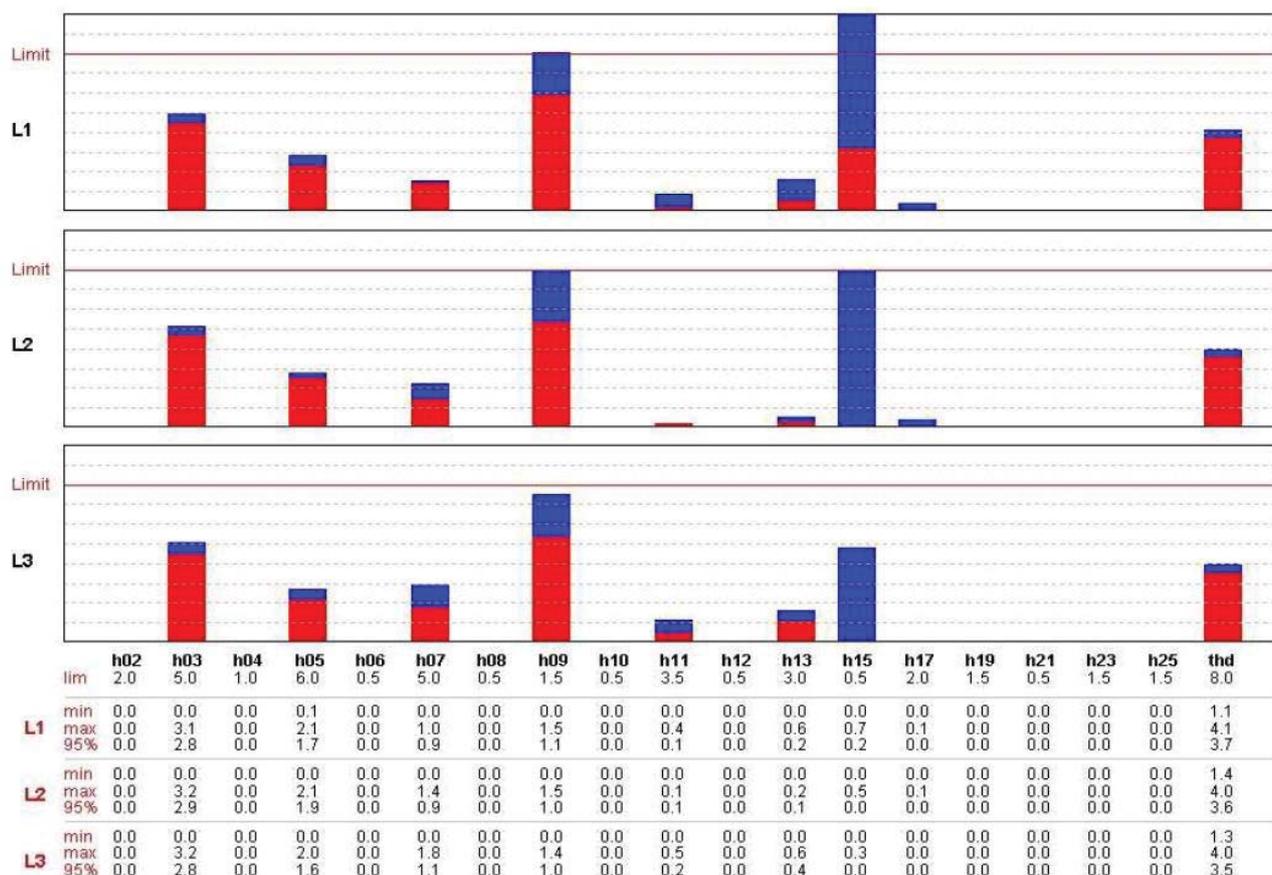


Figura 4. Otro de los resultados de las mediciones: análisis de los niveles de diversas frecuencias armónicas en un punto de medición

De la figura anterior, queda claro que las armónicas pares no tienen incidencia sobre la situación armónica de la red considerada. Esto es lo habitual en relevamientos de redes de distribución urbanas, ya que la presencia de armónicas pares implicaría asimetrías con respecto al eje de las tensiones que no se corresponden con los fenómenos y los principios de funcionamiento habituales de los principales componentes de una red de distribución en media tensión o baja tensión.

## Conclusiones

Los niveles de contaminación armónica determinados a partir de las mediciones de muestreo realizadas en la ciudad de San Francisco están dentro de los límites admitidos según la normativa aplicable, [2], [3]. Uno de los parámetros más notables es el valor de la tasa de distorsión armónica

(THD), que se mantiene en el orden del 4 %, cuando la normativa prescribe un máximo del 8 %. Las mediciones de los niveles individuales de cada orden armónico también se mantienen dentro de los valores admitidos, aunque algunos órdenes armónicos están en niveles más elevados, lo cual a futuro podría requerir mayor atención. Siempre existe la posibilidad de que todas estas mediciones, realizadas en zonas aleatorias de la ciudad y tomadas de manera aislada en el tiempo, puedan estar más cerca de los límites prescritos. Por ejemplo, la repetición de alguna de estas mediciones en un punto más cercano al extremo de uno de los distribuidores (más alejado de la central de transformación y generación) y en una semana más crítica en cuanto a niveles de consumo podría arrojar valores de distorsión armónica bastante más elevados. También, en varios puntos de la red, podría hacerse un seguimiento más específico de ciertos órdenes armónicos concretos que presentan valores algo más comprometidos, como las armónicas triples. Estas campañas de medición más específicas podrían implicar que se propusieran y planificaran acciones correctivas desde el punto de vista de la empresa de distribución de energía en baja tensión, al menos en el mediano plazo. Es de esperarse que este tipo de relevamientos se continúen en el tiempo a fin de recopilar una mayor cantidad de información que tenga un mayor peso desde el punto de vista estadístico y en cuanto a la posible comparación con la situación de redes de distribución similares.

### **Agradecimientos**

Los autores desean agradecer al personal del IPSEP (Instituto de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) por brindar material y asesoramiento para la realización de este trabajo. También, al personal de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco que hizo posible el desarrollo del presente trabajo.

La investigación correspondiente a este trabajo se financió a partir del Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID) denominado "Estudio del nivel de distorsión armónica de la tensión de suministro en una red urbana de distribución de energía eléctrica" de la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), desarrollado durante 2013 y homologado por el Rectorado de la UTN bajo el código UTN1827.

### **Referencias**

- [1] J. C. Gómez Targarona, Calidad de Potencia: para usuarios y empresas eléctricas, Buenos Aires (Argentina), Edigar, 2005
- [2] Base metodológica para el control de la calidad del producto técnico, Resolución ENRE (Ente Nacional Regulador de la Electricidad de Argentina) N° 184/2000
- [3] Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución, norma EN 50160:1999 (extractos tomados de [4] y [5])
- [4] Modern Power Quality Measurement Techniques, cód. 20-750-592, Metrel, Ljubljanska (Eslovenia), 2003
- [5] Diego M. Ferreyra y Alejandro D. Gudiño, "Calidad de energía: Medición de armónicas de tensión en una instalación urbana", Editorial Universitaria de la Universidad Tecnológica Nacional, 2012, [http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/medicion\\_armonicass\\_tension.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/medicion_armonicass_tension.pdf)