

# Aportes para la evaluación de calidad de potencia en los sectores comerciales de la ciudad de Bogotá. Los armónicos y su influencia en la distorsión de corrientes y tensiones eléctricas

Luis Hernando Correa S\*. / Sandra P. Flórez F.\*\* / Wilson N. González\*\*\*

## RESUMEN

Este artículo presenta una contribución a la evaluación y cuantificación de la influencia de los armónicos en el deterioro de la calidad de la potencia eléctrica en los sectores comerciales de la ciudad de Bogotá. El estudio se aborda a partir de 3 enfoques diferentes: la aplicación de una encuesta hecha a los comerciantes y orientada a percibir la problemática que ocasionan los armónicos en sus instalaciones y equipos; la realización de mediciones con propósitos de caracterización de los armónicos y comparación de sus indicadores más relevantes con normas existentes para el control de su emisión; y finalmente una fase de modelamiento tendiente a observar la dinámica del problema en este tipo de situaciones (instalaciones comerciales). En general, se observa que la problemática no es crítica y que en algunos casos y bajo ciertas condiciones se están sobrepasando los límites de la norma IEEE-519 (Pérez, 2003). Los cálculos, productos del modelamiento y simulación, son coherentes con las mediciones realizadas.

**Palabras clave:** armónico, porcentaje de distorsión, modelamiento, simulación, normalización.

## CONTRIBUTIONS TO EVALUATE QUALITY POWER IN COMMERCIAL AREAS OF BOGOTÁ. HARMONICS AND THEIR INFLUENCE ON THE DISTORTION OF CURRENT AND ELECTRIC TENSIONS

### ABSTRACT

This article presents a contribution regarding the evaluation and qualification of the influence of harmonics in decreasing the quality power in commercial areas of Bogotá City. The study has three different approaches: An inquiry to vendors and owners of commercial shops aimed to see the problems caused by harmonics in their shops and equipment; measurements in order to characterize harmonics and a comparison of their most relevant indicators with current regulations to control their emission; and, finally, a stage of modeling to see the problem in this situation (commercial areas). In general, it is seen that problems are not critical and that in some cases and under certain conditions, the limits of regulations are exceeded. Estimations, considered as product of modeling and simulation, are coherent with measurements.

**Key words:** harmonic, distortion percentage, modeling, simulation, regulation.

\* Ingeniero Electricista Universidad Nacional de Colombia; Especialista en Automatización de Procesos Industriales Universidad de Los Andes. Profesor de las áreas de circuitos eléctricos y automatización en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Salle. Correo electrónico: lcorrea@lasalle.edu.co

\*\* Egresada de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Salle. Correo electrónico: sandraflorez@disico.com.co

\*\*\* Egresado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Salle. Correo electrónico: wilgope11525@tutopia.com

Fecha de recepción: octubre 25 de 2005.

Fecha de aprobación: noviembre 3 de 2005.

## INTRODUCCIÓN

La calidad de la potencia de un sistema de distribución tiene en cuenta parámetros como frecuencia, amplitud y forma de onda de tensiones y corrientes.

Los armónicos son corrientes y tensiones cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental de un sistema de distribución. Cuando las señales con estas frecuencias se combinan con las ondas senoidales fundamentales, forman una onda distorsionada, periódica, no senoidal.

La distorsión en las formas de onda de los voltajes y corrientes es un fenómeno que ha ido en aumento y afecta seriamente a los equipos si no se toman las medidas adecuadas para eliminarlos o por lo menos, neutralizarlos.

Los armónicos pueden tener su origen en las propias industrias, o bien, en la red de suministro eléctrico al haber sido contaminadas sus redes de distribución, por algunos usuarios.

Este aumento de armónico se ha debido al incremento acelerado del uso de cargas no lineales en los sistemas eléctricos, debido principalmente al auge de la electrónica de potencia en estos últimos años, la cual ha sido utilizada para lograr un gran desarrollo en la productividad de los procesos.

Algunas de las fuentes de armónicos son: motores de corriente directa, convertidores de frecuencia (variadores), hornos de arco, equipos de soldadura, alumbrado fluorescente y computadores, entre otros.

Los indicadores más importantes para la cuantificación de los armónicos son el Porcentaje de Distorsión Total, (THD), el porcentaje de Distorsión Individual (ID) y el Porcentaje de Distorsión de Demanda (TDD).

Teniendo en cuenta las exigencias del mercado actual, el cual está basado en la satisfacción del cliente final, las empresas tienden a modernizar sus instalaciones y equipos, convirtiéndose en focos de interés debido al incremento de los componentes de electrónica de potencia provocando paulatinamente, un deterioro en la calidad de la potencia, tanto de la misma instalación, como del sistema de distribución.

Las distorsiones armónicas tanto de tensión como de corriente pueden causar serios problemas en los sistemas eléctricos, que van desde la pérdida de valiosa información pasando por la pérdida de producción, la ineficiencia del sistema hasta la falla catastrófica de los equipos (Wagner, 1993).

Por esto es importante cuantificar y analizar el estado actual de los problemas de calidad de la potencia por armónicos en los establecimientos comerciales y en general, en el sector comercial de la ciudad de Bogotá D.C. con el fin de hacer aportes para corregir los daños que pueden ser causados por los armónicos en éste tipo de instalaciones ya que no existe un conocimiento cuantitativo y cualitativo del efecto que tienen las cargas con contenido armónico en los sistemas eléctricos de estos establecimientos.

Tanto la cuantificación como la corrección de los problemas ocasionados por los armónicos en las instalaciones, requieren de estudios detallados, ya

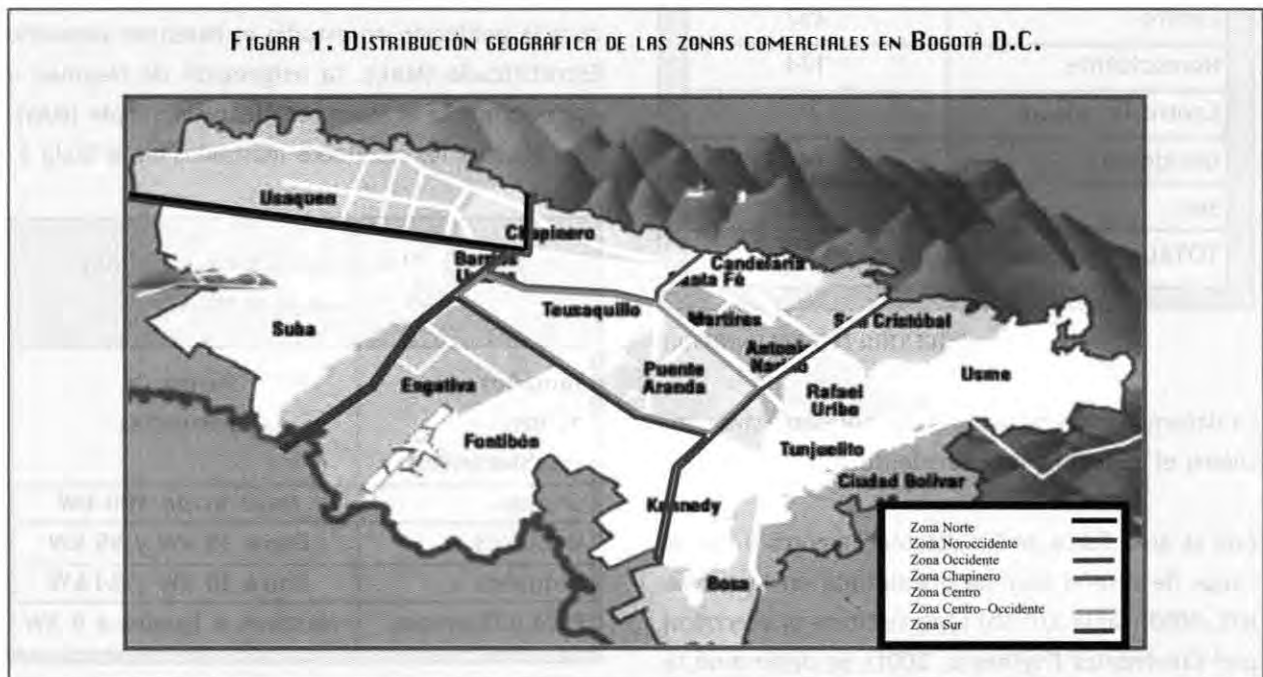
que se debe tener en cuenta las características y los diferentes comportamientos de la carga propias de la instalación eléctrica.

## PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación consistió en el desarrollo de un proyecto de grado en la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Salle (Florez y González, 2005) y orientado por el grupo

de Investigación en Calidad de Potencia de la misma Facultad.

El proyecto se dirigió hacia el sector comercial de la ciudad de Bogotá y como tal, se consideraron siete zonas de análisis para la caracterización: Centro, Centro Occidente, Chapinero, Norte, Noroccidente, Occidente y Sur (ver Figura 1).



## POBLACIÓN

Se consideró una población inicial total de 1280 establecimientos comerciales. Luego, al realizar el reconocimiento visual a cada una de las zonas y establecimientos para así determinar el área aproximada de éstos últimos y el tipo de actividad comercial al cual pertenecían, además de corroborar su ubicación y existencia y considerar otros establecimientos para análisis; se obtuvo una pobla-

ción definitiva de 1217 establecimientos (ver Tabla 1).

Para establecer el tamaño definitivo de la población se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Tamaño (área y carga instalada).
- Puntos de venta por establecimiento.
- Ubicación geográfica de las subestaciones de potencia por medio de las cuales se provee el servicio de energía a la ciudad de Bogotá, D.C.

**TABLA 1. NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS POR ZONA DESPUÉS DE RECONOCIMIENTO Y APLICACIÓN DE CRITERIOS.**

ZONA GEOGRÁFICA	POBLACIÓN (Número de establecimientos)
Norte	282
Chapinero	210
Centro	257
Noroccidente	174
Centro Occidente	71
Occidente	149
Sur	74
TOTAL	1217

**MUESTRA REPRESENTATIVA**

La determinación de la muestra representativa consideró el siguiente procedimiento:

Con el área física de los establecimientos y con la carga de diseño mínima presentada en la norma NTC-2050 (Tabla 220-3b) (*The Institute of electrical and Electronics Engineers, 2001*) se determinó la

carga de cada establecimiento en VA. Esta se afectó por un factor de potencia de 0,9 para así obtener la carga de diseño mínima en kW.

Posteriormente se establecieron tres categorías de tamaños para los establecimientos, tomando como base los límites de carga establecidos en las normas de CODENSA E.S.P. (ver Tabla 2).

Entre los métodos de muestreo que existen, se aplicó a la población en estudio el Muestreo Aleatorio Estratificado (MAE), la asignación de Neyman y posteriormente el Muestreo Aleatorio Simple (MAS), para obtener los resultados mostrados en la Tabla 3.

**TABLA 2. TAMAÑO DE LOS ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES SEGÚN SU POTENCIA.**

Tamaños de los establecimientos	Rango de potencias
Grandes	Mayores de 100 kW
Medianos	Entre 35 kW y 99 kW
Pequeños	Entre 10 kW y 34 kW
Poco influyentes	Menores o iguales a 9 kW

**TABLA 3. NÚMERO DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS OBTENIDAS PARA CADA ZONA.**

ZONA	# Establecimientos Grandes	# Establecimientos Medianos	# Establecimientos Pequeños	Total de Establecimientos
Centro	2	4	12	18
Centro - Occidente	1	2	2	5
Chapinero	2	6	9	17
Noroccidente	5	5	5	15
Norte	3	4	9	16
Occidente	4	4	7	15
Sur	2	1	4	7
<b>Total</b>				<b>93</b>

## CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO ARMÓNICO EN LOS ESTABLECIMIENTOS

Para realizar la caracterización del comportamiento armónico, se contactaron inicialmente los establecimientos seleccionados en la muestra representativa de la población definitiva de cada zona y posteriormente, previa autorización de éstos, se realizaron las mediciones.

Cada establecimiento considerado en el estudio recibió un formato en el cual relacionó la problemática pertinente a la calidad de la potencia del establecimiento comercial y consignó el tipo de carga productora de armónicos.

Posteriormente se identificó el punto de acople común o PCC, sitio en el cual se podía conectar el equipo analizador de redes en la instalación eléctrica del establecimiento. Para este estudio se tomó como PCC, en la mayor parte de los casos, la acometida en baja tensión al tablero principal del establecimiento y en otros, los bornes secundarios del transformador de distribución del almacén o establecimiento comercial.

Después de identificar el PCC de la instalación se procedió a realizar un diagrama unifilar simplificado de las cargas y a determinar la configuración eléctrica de los establecimientos.

Para efectuar las mediciones se utilizó un analizador de redes marca SQUARE D, referencia CM-2350, propiedad de La Universidad de La Salle.

En cada uno de los sitios clasificados como establecimientos grandes y medianos, el equipo monitoreaba y registraba corrientes, tensiones y porcentajes de distorsión cada 3 minutos durante un periodo de tiempo que oscilaba entre 6 y 8 horas en un día típico de trabajo. Para la caracterización

del contenido armónico individual en las instalaciones se utilizó una pinza de medición de armónicos. En algunos establecimientos pequeños solamente se utilizó la pinza debido a que sus características de carga no ameritaban la captura de información con el equipo analizador de redes.

Durante el periodo en el cual el analizador se encontraba monitoreando la red, con la pinza se procedía a recorrer los tableros de distribución de cargas para identificar las cargas productoras de armónicos con el fin de efectuar mediciones directamente sobre los mismos, acogiendo una recomendación de la norma IEEE 1159 (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2001).

En la fase de medición se encontraron establecimientos en óptimas condiciones eléctricas y cumpliendo las respectivas normas de seguridad y protección, pero también se encontraron almacenes en condiciones de inseguridad y riesgo de fallas eléctricas.

## DIAGNÓSTICO

Cualitativamente se observó que la presencia de armónicos de corriente y tensión ocasiona una problemática poco severa en los establecimientos comerciales de la ciudad de Bogotá D.C. Esto se evidencia con los resultados de la encuesta realizada en los establecimientos de la muestra. Los porcentajes más altos de respuestas afirmativas, según la encuesta aplicada, se encuentran en el tópico concerniente al parpadeo o apagón en luminarias, de las zonas Centro, Chapinero, Noroccidente, Occidente y Sur. No obstante, se debe tener en cuenta, que los armónicos no son la única causa de éste tipo de daños, existiendo otros como son las sobretensiones o subtensiones transitorias provenientes de la fuente de alimentación de energía y la vida útil de las luminarias.

En la zona Centro - Occidente se presentó un porcentaje significativo de respuestas afirmativas en el tópicos referido a la vibración de motores.

Para las zonas Chapinero y Norte se presentó un número mayor de respuestas afirmativas en el tó-

pico definido como falso disparo de interruptores, observándose dentro del estudio realizado, que existía un mal dimensionamiento de interruptores en los circuitos para algunas instalaciones arrojando como consecuencia, el disparo de éstos por sobrecarga (ver Tabla 4).

**TABLA 4. RESULTADOS DE ENCUESTAS Y MEDICIONES EFECTUADAS.**

Zona	Problema frecuente presentado	Carga común productora de armónicos	Casos que no cumplen la norma IEEE 519 (Corrientes)			Casos que no cumplen la norma IEEE 519 (Tensiones)			Orden de armónico presente de mayor magnitud	
			Número	% de acuerdo a la muestra	Tamaño	Número	% de acuerdo a la muestra	Tamaño	Corriente	Tensión
Centro	Parpadeo o apagón en luminarias	Iluminación fluorescente con balasto tradicional	3	16.6	Grande y Pequeño	0	0		3, 5, 7, 9, 11	5, 7, 11, 13
Centro - Occidente	* Vibración de motores * Falso disparo de interruptores	UPS	2	40	Grande y Mediano	0	0		3, 5, 7, 9, 11, 13	3, 5, 7, 11
Chapinero	Parpadeo o apagón en luminarias	Iluminación fluorescente con balasto tradicional	3	17.6	Mediano	1	5.8	Grande	3, 5, 7, 9, 11, 13	3, 5, 7, 9, 11, 13, 15
Noroccidente	Parpadeo o apagón en luminarias	Iluminación fluorescente con balasto electrónico	6	40	Grande y Pequeño	2	13.3	Pequeño	3, 5, 11, 13	3, 5, 7, 11, 13
Norte	Falso disparo de interruptores	* Iluminación fluorescente con balasto electrónico * Iluminación con bombilla de descarga Metal Halide	3	18.7	Grande y Mediano	2	12.5	Mediano	3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17	3, 5, 7, 9, 11, 13, 15
Occidente	Parpadeo o apagón en luminarias	UPS	3	20	Grande y Mediano	0	0		3, 5, 7, 9, 11, 13, 17	3, 5, 7, 9, 11
Sur	Parpadeo o apagón en luminarias	UPS	2	28.6	Pequeño	0	0		3, 5, 7, 11, 13	3, 5, 7, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23

Con la información capturada en cada una de las zonas, se pudo determinar que las condiciones de operación en la parte eléctrica de los establecimientos comerciales, presentan unas características similares de cargabilidad. Además, al comparar los rangos de variación de porcentajes de distorsión de tensión y de corriente, en todas las zonas, se

pudo observar que las distorsiones de tensión tienen una dispersión menor alrededor del promedio comparado con las distorsiones de corriente, indicando con esto, que el sistema de potencia de la ciudad es fuerte. Esto es coherente con los resultados de una investigación previa, orientada al sector industrial de la ciudad (Correa, 2003).

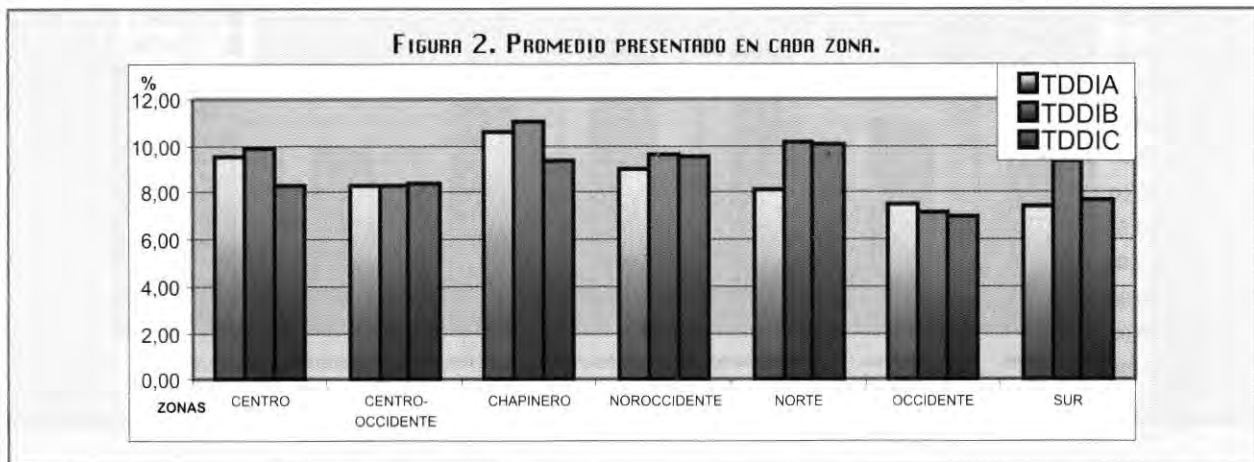
También se observó que los valores promedios de tensión no sobrepasan los límites recomendados por CODENSA E.S.P. (208 V+5%,-10%) y que las variaciones de frecuencia y factor de potencia no son significativas y cumplen con la regulación y normas para Colombia ( $60 \pm 0.2$  Hz) y con la Resolución CREG 070/98 (0,9), respectivamente.

Considerando un régimen de carga normal (50% - 80% de la carga instalada) para todos los establecimientos comerciales de la muestra, se observaron los niveles más altos de distorsión en los centros comerciales con cuentas de usuarios variables; es decir, con actividad comercial diferente para cada local del establecimiento. Esto se presentó en las zonas Centro, Centro - Occidente, Noroccidente y Norte. En las zonas Chapinero, Occidente y Sur, predominaron los niveles más altos de distorsión en los almacenes de cadena cuya actividad comercial es única, pero contiene diferentes características de carga como sistemas de refrigeración, ilumina-

ción, sistema de agua (potable y lluvias) y sistemas de cómputo, entre otras.

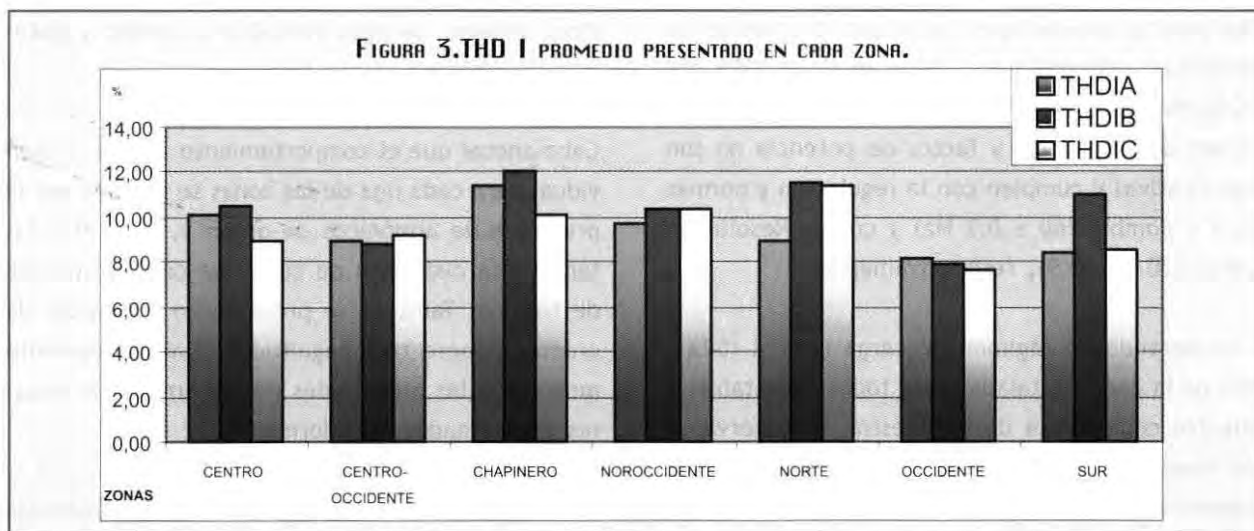
Cabe anotar que el comportamiento armónico individual para cada una de las zonas se destacó por la presencia de armónicos de orden 3, 5, 7, 9 y 11; tanto para distorsión de corriente como distorsión de tensión. También se presentaron armónicos de orden par pero con magnitudes significativamente menores a las magnitudes de los armónicos impares mencionados anteriormente.

Se puede observar en la Figura 2, que el porcentaje de distorsión armónica de demanda tiene un comportamiento parecido en las siete zonas de la ciudad; sin embargo, es notorio que la zona Chapinero tiene una mayor tendencia a generar distorsión armónica (11%) debido a que en ella se agrupa una proporción mayor de establecimientos comerciales seguida de las zonas Norte y Centro.



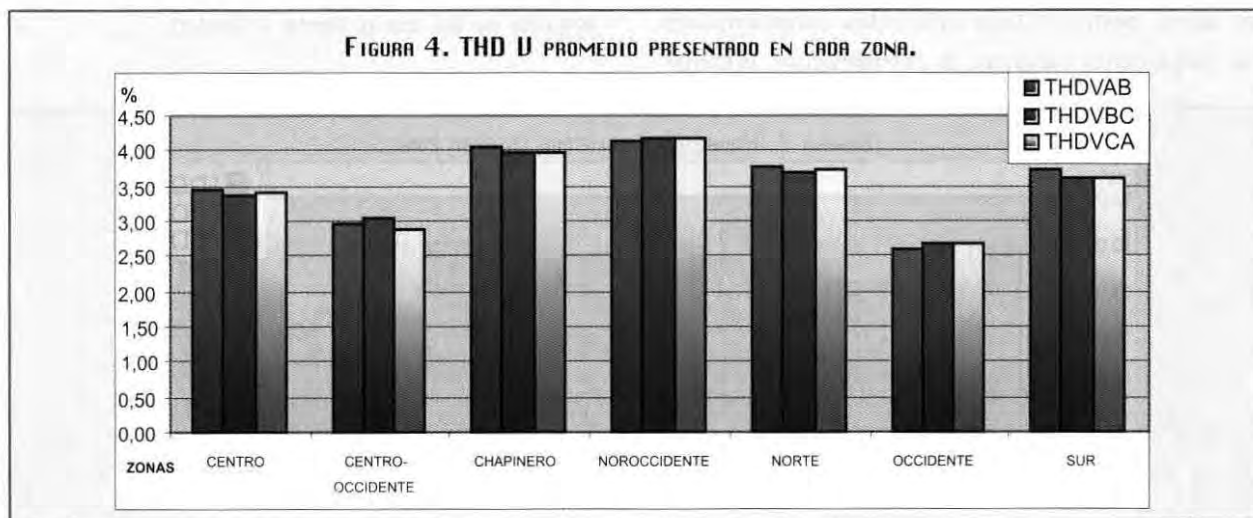
La Figura 3, muestra que la distorsión armónica total de corriente para los establecimientos comerciales de la ciudad de Bogotá no es mayor al 12%. Este es un valor conservativo; es decir, la distor-

sión armónica es debida a los usuarios y adicionalmente la que el sistema pueda tener debido a otros usuarios que inyectan armónicos a la red y deforman la onda.



La Figura 4, muestra la distorsión armónica presentada en las tensiones de los establecimientos comerciales. Se observa que ésta se encuentra por debajo del límite establecido por la norma IEEE 519

(5%), observándose los mayores porcentajes de distorsión total en tensión en las zonas Noroccidente y Chapinero.



### SIMULACIONES

El modelo conceptual considerado fue el diagrama unifilar simplificado consistente de la fuentes de potencia (red), componentes de la instalación (cables, transformadores, bancos de condensadores), cargas convencionales (iluminación, fuerza, equipos) y fuentes de armónicos (electrónica de potencia).

El modelo computacional usado fue el programa HARMONIC (Correa, 2003), desarrollado en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Salle, con las siguientes características:

- Ambiente de trabajo: Matlab.



- Técnica utilizada: construcción de la matriz Ybus.
- Fuentes de armónicos de corriente: 3 espectros preestablecidos y posibilidad para que el usuario personalice las fuentes de armónicos (los espectros).
- Reportes por pantalla de porcentajes de distorsión total en el PCC (Punto de acople común usuario-red de distribución)
- Reportes impresos de porcentajes de distorsión totales e individuales en el PCC.
- Análisis de respuesta de frecuencia.

Para efectuar el proceso de modelamiento y simulación de la problemática de los armónicos en los establecimientos comerciales de las diferentes zonas, se procedió a determinar el diagrama unifilar representativo para cada una de éstas; es decir, aquel en el que se involucraran las cargas comúnmente presentadas en cada una de las zonas.

Las instalaciones eléctricas de los establecimientos comerciales de las muestras se sometieron a diversas simulaciones con el propósito de obtener conclusiones importantes de aplicación general para el universo de los establecimientos comerciales de la ciudad de Bogotá D.C.

Para cada una de las zonas se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La variación de la carga de las fuentes de armónicos en el tiempo y la variación de la capacidad de cortocircuito del sistema de distribución. Éste último aspecto refleja la fortaleza del sistema de potencia en relación con la capacidad total del almacén en consideración.
- Se consideraron dos escenarios de carga para las fuentes armónicas de corriente en cada una de las zonas:

- Carga nominal (100% de carga entregada por la fuente de armónicos).
- Carga mayor (190% de carga nominal de la fuente de armónicos). Escenario de carga crítica.

Para el escenario de carga mayor se presentaba un aumento en la carga total del establecimiento, con el objetivo de observar el comportamiento armónico frente a un potencial aumento de carga. Para cada uno de estos escenarios se variaba de manera ascendente la capacidad de cortocircuito del sistema.

En las simulaciones se obtuvieron resultados de porcentajes de tensión y corriente armónicas y gráficas del comportamiento de la respuesta de frecuencia (impedancia vs. frecuencia) en los nodos con bancos de condensadores, con el objetivo de identificar condiciones de resonancia por armónicos.

La capacidad de cortocircuito en MVA resultó de una tipificación considerando las características del circuito y la capacidad de cortocircuito en la subestación de potencia asociada a una distancia (ver Tabla 5).

TABLA 5. POTENCIAS DE CORTOCIRCUITO.				
Distancia a la S/E (km)	1.0	1.5	2.0	2.5
Potencia (MVA <sub>cc</sub> )	200	150	100	50

## RESULTADOS DEL MODELAMIENTO

En los resultados gráficos de las simulaciones efectuadas en los nodos donde se presentan bancos de condensadores se observó que:

- Cuando la potencia de cortocircuito disminuye, se presentan picos adyacentes en la respuesta de frecuencia debido a bancos de condensadores ubicados en otros nodos.
- En las gráficas de respuesta de frecuencia, al aumentar la potencia de cortocircuito para un mismo valor de carga de fuente armónica, la magnitud del pico de la curva de resonancia varía poco y se mueve levemente a la derecha en la escala de frecuencia; es decir, que la frecuencia de resonancia aumenta. Sin embargo, al variar el valor de ésta carga para una misma potencia de cortocircuito no se presentan variaciones en la frecuencia de resonancia ni en la amplitud del pico (impedancia unitaria).
- De las simulaciones efectuadas se encontraron casos de resonancia en la zona Chapinero a una frecuencia de 660 Hz, provocando en el PCC una distorsión de 6,16% en tensión.

Una comparación de los datos medidos y calculados muestra que los valores medidos de distorsión, tensión y corriente sobrepasan los valores calculados; lo que significa que el sistema de distribución contribuye con la distorsión en la corriente de la carga comercial al presentarle a los usuarios una onda de tensión distorsionada, exceptuando la zona Chapinero, en la cual los valores calculados de distorsión sobrepasaron los valores medidos. Al observar este comportamiento, se realizó una simulación reduciendo el valor de la carga de la fuente armónica, presentándose una disminución del 10% en la distorsión de tensión y un 17,9% en la de corriente.

Bajo las condiciones descritas anteriormente; es decir, con frecuencias de resonancia lejos de las

frecuencias de orden impar (armónicos de orden 5, 7, 11 y 13) se obtuvieron porcentajes de distorsión de tensión en el PCC bajos, variando desde 0,04% hasta 0,612% para los aportes individuales de los establecimientos en las diferentes zonas.

## CONCLUSIONES

- Se observó que la presencia de armónicos de corriente y tensión ocasionan una problemática poco severa en los establecimientos comerciales de la ciudad de Bogotá D.C. Esto se determinó con el análisis de una encuesta aplicada a los propietarios de los almacenes; con la caracterización de las mediciones de porcentajes de distorsión en corriente y tensión realizadas y con la observación de los aportes individuales calculados con modelamiento.

De la aplicación de la encuesta:

- El problema que con mayor frecuencia se reportó fue el de parpadeo o apagón de luminarias seguido por el falso disparo de interruptores y el de vibración de motores. Con poca frecuencia se reportaron otros problemas tales como calentamiento de motores y transformadores; daños de bancos de condensadores; errores en facturación, interferencia telefónica o daños de aislamientos de cables.
- En cuanto a carga productora de armónicos, los comerciantes reportan presencia significativa de UPS e iluminación fluorescente con balasto tradicional y/o electrónico. En menor escala, usan inversores para iluminación de emergencia. La encuesta mostró una presencia poco significativa de variadores de velocidad, rectificadores industriales y convertidores de AC/DC.

De las mediciones efectuadas:

- El porcentaje de distorsión armónica de demanda (indicador que cuantifica la evolución temporal de los porcentajes de distorsión total de corriente) tiene un comportamiento similar en las zonas de Chapinero, Norte y Centro. En estas zonas se observaron los mayores porcentajes de distorsión en corriente. El resultado obtenido se correlaciona bien con la gran concentración de establecimientos comerciales de estas zonas (ver Tablas 1 y 2, universo y muestra considerada).
- De los 93 establecimientos comerciales seleccionados como muestra representativa para aplicación de encuesta y realización de mediciones, el 23,65% están sobrepasando el límite establecido para distorsión de corriente por la norma IEEE 519. Se entiende, sin embargo, que este porcentaje es conservativo, dado que el analizador de redes cuantificó la distorsión ocasionada por ambos: el usuario con sus cargas deformantes y el distribuidor con su onda de tensión deformada de por sí. La filosofía de la norma, en este caso, es poner límites solo a los aportes del usuario hacia la red.
- Comparada con la problemática presente en la distorsión de corriente, la de distorsión de tensión es menor. De los 93 establecimientos comerciales seleccionados como muestra representativa para aplicación de encuesta y realización de mediciones, el 5,37% sobrepasaron el límite establecido para distorsión de tensión por la misma norma. Este dato también es conservativo, dado que en su medición se consideró el aporte, que a la distorsión en tensión hace el usuario.
- Los casos de sobrepaso de límites en porcentajes de distorsión de corriente y tensión se pre-

sentaron en un 11,8% para los establecimientos clasificados como grandes, un 9,5% para los clasificados como medianos y un 7,5% para los clasificados como pequeños.

- Comparados los estadísticos básicos de los porcentajes de distorsión de corriente y tensión (concretamente, los valores promedio), se observa una menor variabilidad de los porcentajes de distorsión de tensión respecto de los de corriente.

Del modelamiento efectuado:

- Se observa coherencia en los resultados de los análisis de las mediciones y los resultados de los análisis de los datos calculados con modelamiento: en la zona de Chapinero es donde es más notoria la problemática de las distorsiones de corrientes y tensiones eléctricas; además, fue la única zona en donde se encontraron condiciones llamativas para la aparición de resonancia.
- Ante el aumento de las potencias de cortocircuito y para una misma carga productora de armónicos, los niveles de distorsión de tensión tienden a disminuir y los niveles de distorsión de corriente a aumentar en el PCC; en otras palabras, zonas comerciales cercanas a las subestaciones de distribución ejercen menos influencia en la distorsión de tensión del sistema de potencia.
- Para una misma potencia de cortocircuito y ante el aumento de la carga de las fuentes armónicas, los porcentajes de distorsión de tensión y de corriente aumentan en el PCC; es decir, aumentos de la carga productora de armónicos que se pueden dar con el tiempo, tienden a empeorar la situación actual descrita, tanto para el sistema de distribución, como para el usuario.

## RECOMENDACIONES

Es recomendable cuantificar los aportes que de manera separada, hacen los usuarios y el distribuidor en la distorsión de las ondas de tensión y corriente.

Es conveniente hacer un seguimiento mayor a la zona de Chapinero con la finalidad de identificar a los usuarios que están ejerciendo una mayor influencia en la distorsión de tensión.

Con propósitos de ser ágiles en el seguimiento a la problemática observada, es recomendable la adopción de una metodología rápida de medición y diagnóstico.

## BIBLIOGRAFIA

Correa, L. *Diagnostico sobre el deterioro de la calidad de la potencia eléctrica en la industria de la ciudad de Bogotá, DC. debido a problemas de armónicos*. Proyecto de Investigación, Departamento de Investigaciones, Universidad de La Salle, 2002.

- - -. *Programa en matlab para análisis y simulación de armónicos*. II Simposio Internacional sobre Calidad de la Energía Eléctrica, SICEL, Memorias. Bogotá, 2003.

Florez, S. y González W. *Influencia de los armónicos en la calidad de potencia del sector comercial en la ciudad de Bogotá*. Proyecto de grado, Programa de Ingeniería Eléctrica, Universidad de La Salle, Bogotá, 2005.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). *Norma Técnica Colombiana NTC 2050 (Primera actualización). Código Eléctrico Colombiano*, 1998

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE. *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, (519): 1992.

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE. *IEEE Recommended Practices for Monitoring Electric Power Quality*, (2001): 1159-1995.

Wagner, V. «Effects of Harmonics on Equipment, Report of the IEEE Task Force on the Effects of Harmonics on Equipment». *IEEE Transactions on Power Delivery* 8, 1993.