

**IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LA CALIDAD DE
LA POTENCIA ELÉCTRICA EN EL SECTOR PRODUCTIVO DE LA SABANA
DE BOGOTÁ, A TRAVÉS DE UN PLAN DE MEDICIÓN**

**OSCAR MAURICIO ARAÚJO SANTOS
MANUEL ENRIQUE MONTES CONTRERAS**



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2003**

**IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LA CALIDAD DE
LA POTENCIA ELÉCTRICA EN EL SECTOR PRODUCTIVO DE LA SABANA
DE BOGOTÁ, A TRAVÉS DE UN PLAN DE MEDICIÓN**

**OSCAR MAURICIO ARAÚJO SANTOS
MANUEL ENRIQUE MONTES CONTRERAS**

**Trabajo de Grado presentado como requisito
Parcial para optar por el título de Ingeniero Eléctrico
Directores: Gustavo Andrés Ramos
Maria Teresa de Torres**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2003
PAGINA DE ACEPTACIÓN**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

A nuestras familias y amigos, por todos sus años de ayuda y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

- A GUSTAVO ANDRÉS RAMOS, Profesor del Departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Los Andes, asesor y colaborador de este proyecto.

- A MARIA TERESA DE TORRES, Profesora del Departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Los Andes, asesora y colaboradora de este proyecto.

- A Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Justificación.....	11
1.2 Antecedentes	11
1.3 Alcance	12
1.4 Objetivos	12
1.4.1 General	12
1.4.2 Específicos.....	13
2. CONCEPTOS BASICOS EN CALIDAD DE POTENCIA.....	14
2.1 Puestas a Tierra.....	16
2.2 Armónicos en los Sistemas Eléctricos	18
2.2.1 Generalidades del Problema.....	18
2.2.1.1 Cargas no Lineales.....	20
2.2.1.2 Armónicos Pares	20
2.2.1.3 Armónicos Impares.....	21
2.3 Transientes	22
2.4 Ruido Eléctrico	25
2.5 Flicker	27
2.6 Swells y Sags.....	28
2.7 Cortes de Energía	30
3. METODOLOGÍA.....	32
3.1 Pre-Diagnóstico.....	33
3.2 Decisión del Lugar de Medición	33
3.3 Cumplimiento de las Normas de Seguridad.....	34
3.4 Mediciones y Uso del Software	36
3.4.1 Equipos de Medición.....	37
3.4.1.1 Analizador de Redes Eléctricas y Armónicos AR.5	37

3.4.1.2	Analizador de Armónicos Eléctricos Fluke 41B	40
3.4.2	Instrucciones de utilización del software desarrollado	42
3.5	Comparación con Estándares, Recomendaciones y Normas.....	47
3.6	Comparación de Mediciones vs. Pre-diagnóstico. (Pre-diagnóstico = Mediciones)	48
3.7	Análisis.....	49
3.8	Recomendaciones	49
4.	INDICADORES DEL RESULTADO DEL ESTUDIO.....	51
4.1	Variaciones de voltaje RMS.	51
4.2	Armónicos.	53
4.2.1	Distorsión Armónica Total de Voltaje y Corriente.....	54
4.2.2	Presencia de Armónicos 3, 5 y 7.	56
4.3	Frecuencia	57
4.4	Factor de Potencia.....	58
5.	CONCLUSIONES.....	60
6.	BIBLIOGRAFÍA	62
	APÉNDICE	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Participación En La Muestra Según Sector	12
Figura 2. Señales Con Perturbaciones Típicas	16
Figura 3. Esquema de un Sistema Eléctrico simplificado	20
Figura 4. Forma de Onda Ring Wave 100 Khz.....	24
Figura 5. Forma de Onda Combination Wave Corriente de Corto Circuito.....	24
Figura 6. Forma de Onda Combination Wave Voltaje de Circuito Abierto.....	25
Figura 7. Diagrama de Flujo de la Metodología Desarrollada.	32
Figura 8. Imagen del Equipo Utilizado.....	37
Figura 9. Imagen del equipo utilizado Fluke 41B.....	41
Figura 10. Pantalla de Inicio	44
Figura 11. Ventana para carga de datos	45
Figura 12. Ventana para selección de gráficas	46
Figura 13. Ventana para la selección de histogramas.....	47
Figura 14. Niveles de voltaje RMS en estado estable como función del tiempo .	51
Figura 15. Histograma de Frecuencia relativa y acumulativa para niveles de voltage RMS.....	52
Figura 16. Frecuencia de los Niveles de Voltaje RMS para Nivel de Tensión 440V.	53
Figura 17. Frecuencia de ocurrencia de THD (v) para cada sector productivo	54
Figura 18. Frecuencia de ocurrencia de THD (i) para cada sector productivo	55
Figura 19. Promedios del Porcentaje de la Fundamental de los Armónicos 3, 5 y 7 de Voltaje, para cada Sector Productivo.	56
Figura 20. Promedios del Porcentaje de la Fundamental de los Armónicos 3, 5 y 7 de Corriente, para cada Sector Productivo.	57
Figura 21. Variación de la Frecuencia por Sector Productivo.....	58
Figura 22. Valores máximos y mínimos de los factores de potencia para cada Sector Productivo.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Armónicos impares y su secuencia.....	22
Tabla 2. Categorías Y Características De Los Sags Y Swells.....	29
Tabla 3. Porcentajes de Límites de Amplitud Vs. Duración.....	30
Tabla 4. Medida de Voltaje AR.5.....	39
Tabla 5 Medida de Corriente AR.5.....	39
Tabla 6 Clase de precisión AR.5.....	40
Tabla 7 Medida de voltaje Fluke 41B.....	42
Tabla 8 Medida de corriente Fluke 41B.....	42
Tabla 9. Máximas Corrientes Armónicas, THDs (% de la fundamental) y TDDs (Porcentaje Máxima Demanda de Corriente).....	55

RESUMEN

Este documento describe el desarrollo de un plan de medición, que hace parte de la segunda fase del diagnóstico de problemas de calidad de la potencia para el sector industrial del área de la sabana de Bogotá. Proyecto desarrollado por la Universidad de los Andes, que consta de un pre-diagnóstico inicial, mediante la aplicación de una metodología, seguida por mediciones en sitio, validando los resultados obtenidos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 *Justificación*

Debido al creciente interés del sector productivo del país con respecto a la calidad de la potencia y su inminente penalización tanto económica como de suministro del servicio, con base en estándares y recomendaciones internacionales así como normas nacionales, la Universidad de los Andes con apoyo de la Asociación Nacional de Industriales (ANDI), se ha interesado en el estudio de este tema, a fin de valorar e identificar los mayores problemas de la calidad de la potencia que afectan dicho sector, y así desarrollar metodologías que permitan encontrar soluciones viables técnica y económicamente, conformando un estudio global, que exponga el estado real de la calidad de la potencia del sistema eléctrico de las empresas del país.

1.2 *Antecedentes*

Para el desarrollo de este proyecto, se han tenido en cuenta los resultados de la primera fase, que comprendía el desarrollo de una encuesta¹, aplicada a una muestra significativa de empresas, y el desarrollo de una metodología de pre-diagnóstico², empleada en este proyecto para identificar los problemas que mas afectan las instalaciones eléctricas de las plantas industriales, y contar con

¹Basado en la encuesta desarrollada y aplicada por Elga Saravia y D. Ballesteros. *Power Quality Problems Diagnosis for the Industrial Sector in Bogotá D.C. Phase 1*. Universidad de Los Andes. 2003.

² Basado en el modelo presentado por Rodrigo Baquero y Luis Cárdenas. *Metodología para la Valoración de la Calidad de la Potencia en el Sector Industrial*. Universidad de los Andes. 2003.

argumentos válidos para definir puntos de medición apropiados dentro de la misma.

1.3 Alcance

Luego de obtener los resultados del pre-diagnóstico, se sigue la metodología descrita en este documento, con tal determinar los puntos donde se realizaran las mediciones dentro de las instalaciones de cada una de las empresas seleccionadas. A continuación se realiza el análisis de las mediciones con ayuda de un software para la manipulación de los datos adquiridos.

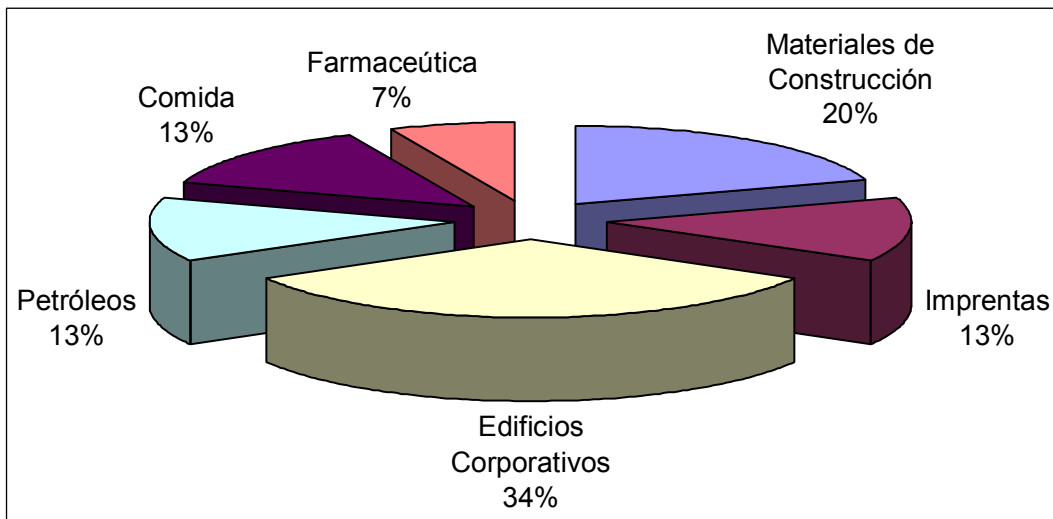


Figura 1. Participación En La Muestra Según Sector

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Validar los problemas de la calidad de potencia eléctrica diagnosticados en el sector productivo, por medio de un plan de mediciones en campo.

1.4.2 Específicos

Analizar detalladamente los resultados del diagnóstico de problemas de calidad de potencia encontrados a través de las encuestas de la primera fase de este proyecto.

Establecer un método generalizado de toma y análisis de mediciones de calidad de la potencia eléctrica. Este método será sistemático de tal forma que pueda ser aplicado a los diferentes sectores industriales.

En base a los resultados de las encuestas de la primera fase de este proyecto, realizar una selección representativa de los diferentes sectores productivos, para efectuar las mediciones en campo.

Llevar a cabo un análisis del entorno global de los sectores productivos a partir de las mediciones, para producir indicadores de la calidad de la potencia.

2. CONCEPTOS BASICOS EN CALIDAD DE POTENCIA

La creciente aplicación de la cargas con dispositivos de electrónica de potencia y la dependencia incremental sobre sistemas de procesamiento de información, ha producido una preocupación importante acerca de la calidad de la potencia, ya que estos aseguran procesos eficientes reflejados en servicio al cliente.

Calidad de Potencia Eléctrica significa diferentes cosas para diferentes personas. Para la mayoría de los ingenieros eléctricos, el término hace referencia a un nivel suficientemente alto de prestación del servicio eléctrico, pero más allá de esto, no existe acuerdo universal. La medición de la calidad de potencia depende de las necesidades del equipo que esta siendo alimentado; lo que se podría denominar buena calidad de potencia para un motor eléctrico, puede no serlo para un computador personal. Usualmente el término de calidad de potencia hace referencia al mantenimiento de una onda sinusoidal de voltaje y frecuencia a valores nominales, teniendo en cuenta que su efecto es muy importante tanto para el usuario y dispositivo a alimentar específicamente, así como para el operador de red.

La forma de onda de la señal de potencia eléctrica en la etapa de generación es puramente sinusoidal y libre de cualquier distorsión. Muchos de los equipos de conversión y consumo de potencia se encuentran también diseñados para funcionar bajo dichas formas de onda. Sin embargo, existen diversos dispositivos que distorsionan la forma de onda. Estas distorsiones, que se han venido incrementando gracias al uso de cargas no lineales, se pueden propagar sobre toda la red eléctrica, resultando en un aumento sustancial de señales de corriente y voltaje no senoidales dentro de la misma.

Haciendo referencia a pronunciamientos de institutos de investigación, como EPRI³, se puede afirmar que el cumplimiento o no de normas técnicas y estándares publicados por agentes e instituciones internacionales, es lo que determina que el suministro sea de calidad. Gracias a investigaciones llevadas a cabo en estos últimos años, acerca del significado del término "correcto desempeño" de las instalaciones eléctricas, se ha permitido establecer este nuevo concepto de Calidad de Energía. Cualquier desviación de los estándares de calidad que ocasione problemas en la operación y daño en los equipos eléctricos alimentados con dicha energía, deviene en un suministro con mala calidad de energía.

Sin embargo el concepto de Calidad de la Potencia es mucho más que la entrega de potencia eléctrica dentro de límites y estándares; involucra a su vez, el diseño, la instalación, la selección de hardware y software y el mantenimiento de equipos y red eléctrica, siendo una medida de cómo los elementos afectan el sistema como un todo.

Algunas de las clases de fenómenos que afectan las instalaciones eléctricas son:

- Puestas a tierra
- Armónicos
- Transientes
- Ruido eléctrico
- Flicker
- Swells y Sags
- Y cortes de energía

³ Electrical Power Research Institute.

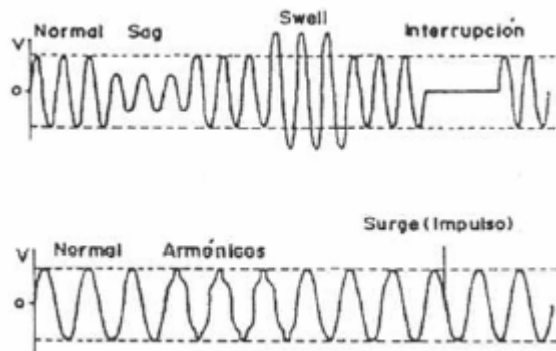


Figura 2. Señales Con Perturbaciones Típicas

2.1 Puestas a Tierra

En los años recientes ha habido rápidos desarrollos en el modelaje de sistemas de puesta a tierra, tanto a frecuencia de potencia como superiores, principalmente facilitados por los nuevos recursos y procedimientos computacionales.

Por puesta a tierra generalmente entendemos una conexión eléctrica a la masa general de la tierra, siendo esta última un volumen de suelo, roca etc., cuyas dimensiones son muy grandes en comparación al tamaño del sistema eléctrico que está siendo considerado.

La definición de la IEEE de puesta a tierra es: “Tierra (sistema de tierra): Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de tierra”

Las razones que más frecuentemente se citan para tener un sistema aterrizado, son:

- Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.

- Asegurar que seres vivos presentes en la vecindad de las subestaciones no queden expuestos a potenciales inseguros, en régimen permanente o en condiciones de falla.
- Mantener los voltajes del sistema dentro de límites razonables bajo condiciones de falla (tales como descarga atmosférica, ondas de maniobra o contacto inadvertido con sistemas de voltaje mayor), y asegurar que no se excedan los voltajes de ruptura dieléctrica de los aislamientos.
- En los transformadores de potencia puede usarse como aislamiento graduado.
- Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan conductores o equipos eléctricos.
- Estabilizar los voltajes fase a tierra en líneas eléctricas bajo condiciones de estado estable; por ejemplo, disipando cargas electrostáticas que se han generado debido a nubes, polvo, agua, etc.
- Una forma de monitorear el aislamiento del sistema de suministro de potencia. Para eliminar fallas a tierra con arco eléctrico persistente.
- Para asegurar que una falla que se desarrolla entre los devanados de alto y bajo voltaje de un transformador pueda ser manejada por la protección primaria.
- Proporcionar una trayectoria alternativa para las corrientes inducidas y de tal modo minimizar el “ruido” eléctrico en cables.
- Proporcionar una plataforma equipotencial sobre la cual pueda operar equipo electrónico.

Para asegurar un desempeño adecuado, en cumplimiento de cualquiera de las funciones anteriores, el sistema de tierra debe, generalmente, tener una baja impedancia, de modo que aunque se encuentre inyectando o absorbiendo corriente al terreno, no se produzca un aumento de voltaje excesivo.

En el interior de instalaciones es también necesaria una conexión a tierra, para asegurar la correcta operación del equipo (por ejemplo dispositivos electrónicos), donde puede ser necesaria una malla de alta frecuencia a tierra. Es esencial considerar la puesta a tierra en una instalación global como un sistema completo y, por lo tanto, diseñarla e instalarla correspondientemente.

Una concepción errada muy popular es que el sistema de puesta a tierra opera sólo durante condiciones de falla. En realidad, también durante la operación rutinaria cumple ciertas funciones. Por ejemplo, muchas alimentaciones de potencia incluyen ahora una conexión a tierra, a través de la cual se dispersan al terreno corrientes residuales y corrientes armónicas. Las corrientes que fluyen a tierra de alguna manera deben regresar a la fuente, formando un bucle cerrado. Estos bucles crean diferencias de potencial que, aunque pequeñas, causan ruido, zumbido, y posibles daños a equipo electrónico. Este proceso, junto con la creciente cantidad de corrientes armónicas que se inyecta en la red, genera problemas de calidad de potencia. Algunos equipos disponen de mallas puestas a tierra que operan continuamente para reducir el campo producido fuera de su gabinete o para reducir el impacto de campos generados por la propia operación del equipo.

2.2 Armónicos en los Sistemas Eléctricos

2.2.1 Generalidades del Problema

Idealmente, tanto el voltaje en una barra de suministro de energía eléctrica como la corriente resultante presentan formas de onda perfectamente senoidales. En la práctica estas formas de onda están distorsionadas, y expresan su desviación con respecto a la forma ideal en términos de distorsión armónica.

Las cargas no lineales conectadas a la red, consumen corrientes no-senoidales, específicamente los convertidores de potencia (rectificadores, variadores de velocidad, entre otros), e introducen o dan origen a la aparición de armónicos de voltaje y/o corriente en las redes de corriente alterna. Esto provoca una serie de efectos negativos a los demás elementos que se encuentren conectados a la red.

A continuación se presenta una clasificación de estos problemas:

- Deterioro de la capacidad dieléctrica en materiales aislantes por sobrevoltajes.
- Fallas de aislamiento y aumento de pérdidas debido a corrientes armónicas excesivas.
- Mal funcionamiento de equipos de protección, control y medida.

En general, es difícil identificar la causa de los primeros dos problemas mencionados, ya que por tratarse de fenómenos de régimen permanente, sus efectos dependen de la historia de operación, son acumulativos en el tiempo y cuando ocurre una falla no son directamente asociados a su causa real.

En la Figura 3 se muestra un esquema simplificado de un sistema cualquiera, donde una de las cargas es un convertidor de potencia. El convertidor en este caso actúa como una fuente que inyecta corrientes armónicas (I_h) al sistema, distorsionando el voltaje en el punto común de conexión con otros consumidores (P_{cc}), así como también la de otros nodos en la red que se encuentran más alejados.

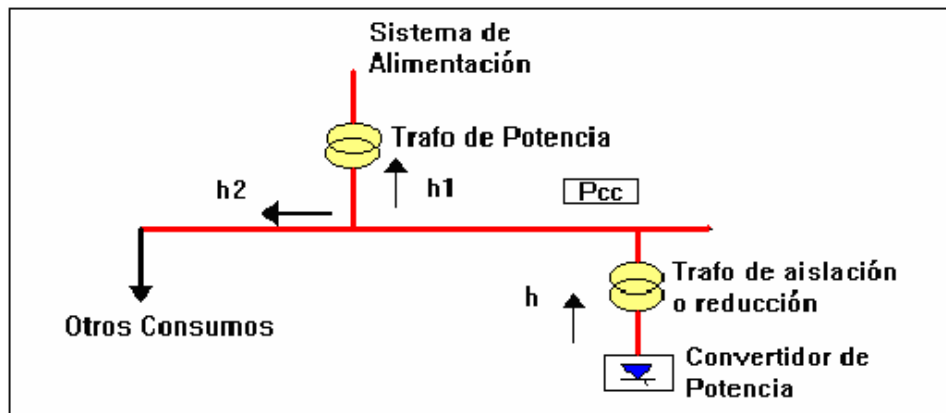


Figura 3. Esquema de un Sistema Eléctrico simplificado

2.2.1.1 Cargas no Lineales

Las cargas no lineales son aquellas en las que la corriente de carga no es proporcional al voltaje instantáneo. Frecuentemente, la corriente de carga no es continua. Este tipo de carga puede ser conmutada solo por una parte del ciclo, como en los circuitos controlados por tiristores; o circuitos pulsantes; por ejemplo, el caso de en un rectificador controlado. Las corrientes de las cargas no lineales no son senoidales, y aún cuando la fuente de voltaje sea una onda senoidal limpia, las cargas no lineales distorsionarán esa onda de voltaje, haciéndola no senoidal.

La electrónica de estado sólido está basada en el uso de semiconductores. Estos materiales son totalmente diferentes y la respuesta al voltaje no es una línea recta. En general, la relación de voltaje a corriente está representada por una curva.

2.2.1.2 Armónicos Pares

Para los sistemas de potencia de 60 Hz. con cargas no lineales, se ha encontrado que los armónicos pares (el 2^{do}, 4^{to}, 6^{to}, etc.) no son factibles de ocurrir a niveles perjudiciales a los sistemas eléctricos. Esto se debe a que la mayoría de las cargas no lineales generan armónicos impares, asociados con una forma de onda

de corriente distorsionada de los medios ciclos positivos y negativos normales de 60 Hz.

2.2.1.3 Armónicos Impares

La Tabla 1 resume la información de los armónicos múltiplos impares de la corriente fundamental de 60 Hz y sus secuencias asociadas (positiva, negativa y cero). La secuencia de fase de estos armónicos es muy importante ya que determina el efecto que el armónico produce en la operación de un equipo eléctrico. Los armónicos de secuencia positiva (1^{ero}, 7^{mo}, 13^{ero}, 19^{no}, etc.) consisten de tres fasores, cada uno de igual magnitud, separados por un desplazamiento en fase de 120° y tienen la misma secuencia de fase de fasores que representan la corriente normal de 60 Hz. Los de secuencia negativa (5^{to}, 11^{ero}, 17^{mo}, etc.) también son representados por tres fasores cada uno de igual magnitud, separados uno del otro por un desplazamiento de fase de 120°; sin embargo, tienen una secuencia de fase opuesta a los fasores que representan la corriente normal de 60 Hz. Por último los de secuencia cero son 3 fasores iguales en magnitud y sin desplazamiento de fase. Como resultado, son concurrentes en dirección, y producen una amplitud igual al triple de cualquier fador individual. Cuando se combinan en el neutro de un sistema eléctrico. Estos armónicos (3^{ero}, 9^{no}, 15^{to}, etc.) se llaman armónicos triples y son típicamente generados por cargas no lineales de fase a neutral, tales como computadores personales, balastos electrónicos, etc.

Armónico	Secuencia	Armónico	Secuencia
1	Positiva	19	Positiva
3	Cero	21	Cero
5	Negativa	23	Negativa
7	Positiva	25	Positiva

9	Cero	27	Cero
11	Negativa	29	Negativa
13	Positiva	31	Positiva
15	Cero		
17	Negativa		

Tabla 1. Armónicos impares y su secuencia.

2.3 Transientes

Un transiente eléctrico es un exceso temporal de voltaje y/o corriente que se ha dispersado en un circuito eléctrico. Los transientes son eventos de corta duración que típicamente duran desde unos cuantos nanosegundos hasta unos pocos milisegundos, y se encuentran en todos los tipos de circuitos eléctricos, de datos y comunicaciones. Los transientes son disturbios corrosivos que varían entre unos cuantos voltios hasta 20000V, con corrientes por encima de los 10000 amperios, pueden ocurrir frecuentemente desde 180000 hasta 432000 eventos por hora en ambientes industriales extremadamente activos. A medida que los negocios incrementan su dependencia de dispositivos eléctricos y electrónicos, estos se vuelven altamente vulnerables a problemas inherentes a su fuente de energía (electricidad), un pico de voltaje o corriente, puede sacar de línea equipos y dispositivos que pararían los negocios, y alternativamente pueden dañar equipos resultando en un desempeño errático o una falla prematura que puede ser difícilmente diagnosticada y costoso para reparar y/o remplazar.

El simple acto de apagar o prender una luz, motor o copiadora: o cualquier otro dispositivo eléctrico puede alterar el circuito eléctrico y crear transientes. En general, a mayor corriente de carga mayor es la perturbación, cuando la carga es encendida o apagada. Estudios demuestran que la mayoría de transientes (aproximadamente 65%) de una instalación dada, son originados dentro de la misma.

Los transientes externos a la edificación son causados principalmente por:

- Descargas atmosféricas.
- Maniobras de conmutación de las redes.
- Y conmutación de bancos de condensadores del operador de red.

Y los transientes internos por:

- Arranque y parada de equipos con grandes motores, como aires acondicionados y elevadores.
- Conmutación del banco de condensadores de la edificación.
- La operación de equipos de soldadura.
- La operación de equipos de oficina como impresoras láser y fotocopiadoras.

Algunos de los principales problemas causados por los transientes son:

- Destrucción completa del equipo electrónico sensible.
- Degradación progresiva de componentes electrónicos.
- Desconfiguración de equipos de control.
- Bloqueo de redes de datos.
- Parada no programada de un proceso.

Los transientes se clasifican según el tiempo de cresta, y forma de onda. De acuerdo a la norma ANSI C62.41-1991, existen 3 clases diferentes:

- Ring Wave 100 KHz: Se caracteriza por un tiempo de cresta de $0.5 \mu\text{S}$. y un periodo de $10 \mu\text{S}$. (Ver Figura 4)

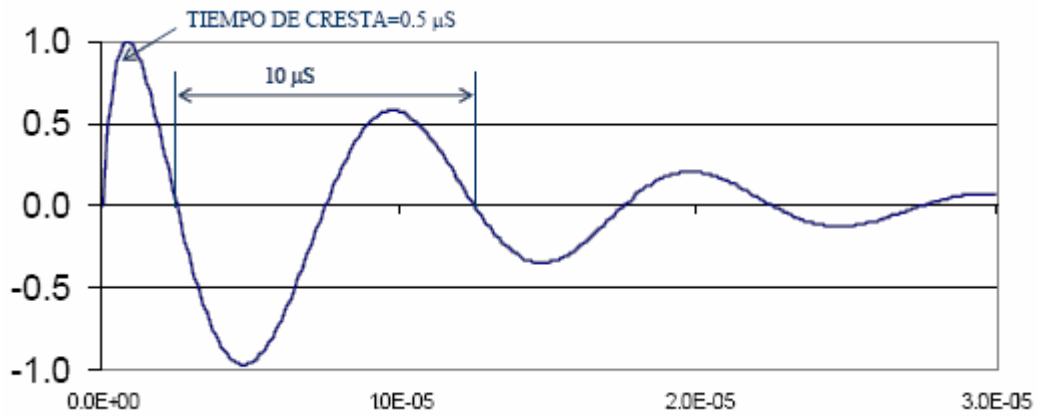
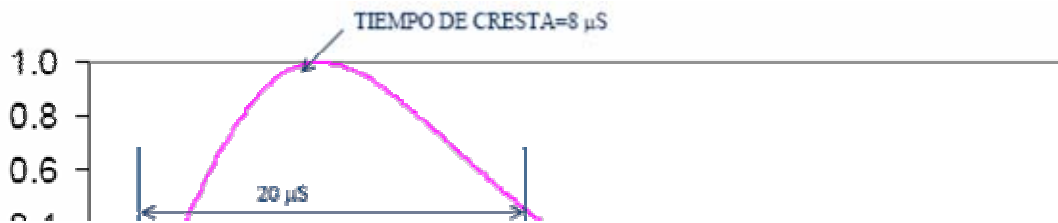


Figura 4. Forma de Onda Ring Wave 100 KHz.

- Combination Wave, Corriente de Corto Circuito. Tiempo de cresta de 8 μS y un tiempo de subida y bajada al 50% del valor del pico de 20μS. (Ver Figura 5).



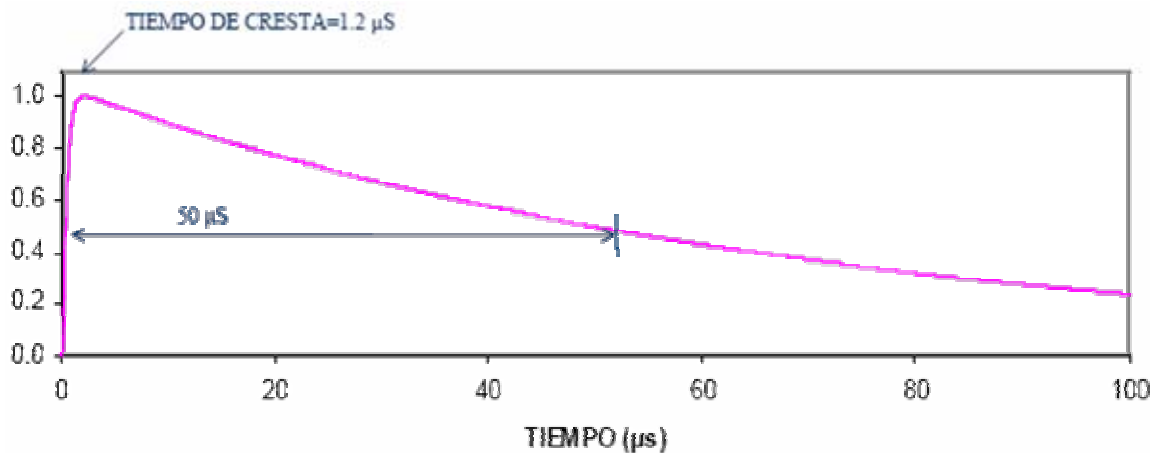


Figura 6. Forma de Onda Combination Wave Voltaje de Circuito Abierto.

El tiempo de parada es virtualmente intolerable en cualquier sector de negocios. La revista *Business Week* reporta que “Se pueden atribuir cerca de 26 billones de dólares de tiempo e ingresos perdidos a problemas relacionados con la potencia eléctrica”. La revista *ComputerWorld* reportó un costo de U\$78.19 dólares por hora por tiempo de parada por computador en una compañía promedio. También de acuerdo a *Contingency Planning Research Inc.*, los problemas de potencia eléctrica son la base de cerca del 50% de la pérdida de información en las instalaciones de computadores de los Estados Unidos. Casi el 40% del mantenimiento eléctrico se puede atribuir a transientes. La revista *Maintenance Technology* reportó que “... \$1000 dólares ahorrados en reducción de costos de mantenimiento es como crear \$24000 dólares adicionales en ventas”. Por lo tanto, es razonablemente económico considerar soluciones que aseguren una alimentación continua y con calidad de potencia.

2.4 Ruido Eléctrico

El ruido eléctrico, también conocido por interferencia electromagnética, o EMI (Electromagnetic Interference), son señales eléctricas indeseadas que producen efectos negativos e interrumpen circuitos de sistemas de control. La interferencia

electromagnética puede ser radiada o conducida. Cuando el ruido se origina de una fuente y viaja a través del aire, se dice que es radiada; señales de radio y televisión pueden radiar ruido electromagnético. El ruido conducido viaja en el mismo conductor, siendo este el resultado de un ruido radiado que se acopló a un conductor.

Los equipos electrónicos pueden ser muy sensibles a ruido electromagnético radiado y conducido, el cual contiene muy altas frecuencias que pueden interrumpir el flujo de datos interno de un dispositivo dado y corromper la información en los cables entre dispositivos.

La mayoría de equipo electrónico tiene un filtro de interferencia electromagnética en el extremo delantero de la fuente de potencia. En Estados Unidos es requerido por la FCC, que el filtro detenga la mayoría del ruido conducido, sin embargo, el ruido puede encontrar otros caminos para entrar al equipo. La interferencia electromagnética puede ser radiada y acoplada en el sistema por medio de la carcasa metálica o las líneas de datos, siendo este el caso específico de un aterrizamiento inadecuado o cables mal aislados o mal conectados.

Las fuentes de ruido en líneas eléctricas es un problema muy común y tiene una multiplicidad de fuentes, entre las cuales podemos encontrar:

- Conmutación de cargas.
- Transmisiones de radio y televisión.
- Deficiente puesta a tierra.
- Descargas eléctricas.
- Operaciones de maquinaria pesada.
- Motores eléctricos cerca de cargas electrónicas sensibles.

2.5 Flicker

El flicker o parpadeo, es el fenómeno de variación de la intensidad luminosa que afecta la visión humana, principalmente en el rango de hasta 25Hz. Este fenómeno depende de los niveles de percepción de los individuos. Sin embargo, se ha comprobado estadísticamente que la visión humana responde a una curva de frecuencia cuya sensibilidad máxima está en 8.8 Hz, en donde variaciones de 0.25% de voltaje producen fluctuaciones luminosas en lámparas que son perceptibles como “parpadeo”. Este se produce especialmente, por consumos de naturaleza variable; como hornos de arco, soldadoras de arco, laminadores siderúrgicos, partidas y paradas de grandes motores, sistemas de tracción eléctrica de c.a., compresores, bombas, grupos elevadores, etc. También la generación de Inter-armónicas puede provocar una mezcla de frecuencias que contribuyen a variaciones lentas en el rango de 0-25 Hz.

Este tema cobra vigencia pues estos efectos se superponen a las perturbaciones armónicas y se hacen mayores en la medida que crece la relación de consumo no lineal sobre la potencia de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.

En general, el tema de la calidad de servicio es complejo por la interacción entre los diversos agentes: generadores, distribuidores y clientes conectados a un mismo sistema. Se hace notable el problema cuando es necesario hacer inversiones para reducir los efectos indeseables que perjudican la calidad de servicio.

En general cada situación debe estudiarse específicamente. Entre las medidas más comunes están:

- Planificar la incorporación de consumos no lineales e intermitentes, con una configuración de red eléctrica que tenga una división de las cargas no lineales, que permita una superposición favorable con una alta relación de

potencia de cortocircuito sobre la potencia no lineal en el punto de acoplamiento común.

- En lo posible, tratar de reducir las exigencias simultáneas al sistema de compensación, buscando compatibilizar la necesidad de compensar potencia reactiva, reducción de distorsión armónica y flicker.
- Proveer una baja impedancia para las corrientes fluctuantes, ya sea vía filtros pasivos, filtros activos o compensadores estáticos de potencia reactiva. Dentro de los compensadores estáticos el más común es el tipo TCR (Reactor con control de corriente vía tiristores), que da una buena característica dinámica frente a fluctuaciones rápidas.
- Reducir los impactos de corriente instantánea, en especial de la componente reactiva instantánea de la carga, a través, del control electrónico de los accionamientos y convertidores estáticos involucrados.

2.6 Swells y Sags

Las definiciones de sags y swells han evolucionado en los últimos veinte años, ya que instrumentos de calidad de potencia los han podido medir. Sags en un comienzo se refería a reducciones de voltaje por debajo de un límite definido por el usuario, con una duración entre un ciclo y 2.55 segundos. Swells se refería originalmente, a perturbaciones similares a los sags, excepto que el voltaje excedía un límite alto. Aunque varias definiciones relativas a la amplitud y duración de estas perturbaciones, están todavía en uso, la IEEE 1159⁴ las define como:

⁴ IEEE 1159-1995, The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. Práctica recomendada para el monitoreo de la calidad de la potencia eléctrica.

- Sag: Reducción entre 0.1 y 0.9 pu de voltaje o corriente rms a la frecuencia de alimentación para una duración de 0.5 ciclos a un minuto.
- Swell: Incremento entre 1.1 y 1.8 pu de voltaje o corriente rms a la frecuencia de alimentación para una duración de 0.5 ciclos a un minuto.

Un Sag se diferencia de un corte o interrupción, debido a que la amplitud es mayor o igual a 0.1 pu (del voltaje nominal). Además de las definiciones anteriores, la práctica recomendada IEEE 1159 clasifica la duración en tres diferentes categorías; instantánea, momentánea y temporal. (Ver Tabla 2).

Categorías		Duración típica	Magnitud típica
Instantáneo	Sag	0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
	Swell	0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
Momentáneo	Interrupción	0.5 - 3 segundos	< 0.1 pu
	Sag	0.5 - 3 segundos	0.1 - 0.9 pu
	Swell	0.5 - 3 segundos	1.1 - 1.8 pu
Temporal	Interrupción	3 segundos - 1 minuto	< 0.1 pu
	Sag	4 segundos - 1 minuto	0.1 - 0.9 pu
	Swell	5 segundos - 1 minuto	1.1 - 1.8 pu

Tabla 2. Categorías Y Características De Los Sags Y Swells

Los límites y valores definidos en la ANSI C84.1⁵ y en la curva CBMA⁶ establecen los rangos de duración y amplitud de las señales que, probablemente, causarán problemas en los equipos alimentados por estas. Entre más baja la amplitud de un sag, o mas alto el valor de un swell, menor es el tiempo que el quipo soporta dicha perturbación. En la Tabla 3, se pueden ver los valores recomendados.

⁵ ANSI C84.1-1989. American National Standard. Voltajes nominales para sistemas de potencia eléctrica y equipos.

⁶ CBMA. Computer And Business Equipment Manufacturers Association.

Duración	Límites de Amplitud
8-50 mseg	-30%, +20%
50-500 mseg	+15%, -20%
> 0,5 seg	Residencial: +/- 5%
	Industrial: +/- 10%

Tabla 3. Porcentajes de Límites de Amplitud Vs. Duración

2.7 Cortes de Energía

Los cortes de energía (blackouts), se generan por fallas en el sistema público de suministro; lo que hace que los equipos se apaguen inesperadamente, provocando daños irreversibles, tales como, la pérdida de información y de productividad.

El *Emerald Book*⁷ define una interrupción como “la pérdida completa de voltaje por un periodo de tiempo”. Para ayudar a entender cuan largo es este “periodo de tiempo”, pueden ser utilizados adjetivos como momentáneo, temporal y sostenido. Interrupciones momentáneas resultan de la conmutación de grandes cantidades de carga. Las temporales provienen de fallas en el sistema, pero pueden ser aclaradas rápidamente mediante operaciones de apertura y cierre. Sostenido es un periodo de tiempo largo que puede durar indefinidamente. Usualmente, algo de intervención manual es requerido para restaurar la energía.

A menos de que exista una fuente de potencia de respaldo, como una UPS, los dispositivos electrónicos se apagaran durante una interrupción temporal o sostenida. A pesar de que los dispositivos no se vean afectados por la pérdida de potencia, todos los procesos, programas, producción, etc., pararán durante este tiempo, alcanzando pérdidas considerables.

⁷ The Emerald Book-ANSI/IEEE Standard 1100. The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. Práctica recomendada por la IEEE para alimentar y aterrizar equipo electrónico sensible.

Dependiendo de la de la duración, un dispositivo electrónico puede o no verse afectado por una interrupción momentánea. Si la perturbación es muy corta, la fuente de potencia del dispositivo puede manejar la interrupción sin problema. A medida que la duración se incrementa, la fuente de potencia perderá capacidad de regulación en el voltaje DC, teniendo como consecuencia errores en los datos.

Si la interrupción momentánea es lo suficientemente larga para que la fuente de potencia pueda soportar la carga, el dispositivo se apagará y prenderá inmediatamente, causando daño a algunos dispositivos electrónicos.

Las interrupciones de fluido eléctrico son generalmente causadas por circunstancias externas al usuario. Son generadas por descargas atmosféricas, daño de las líneas de transmisión y sobrecargas.

3.1 *Pre-Diagnóstico*

Mediante una primera visita a la planta, se pretende obtener una impresión general de la situación energética y técnica de la empresa; cuya información debe ser complementada mediante un cuestionario de entrada que puede rellenarse en el transcurso de esta primera visita, o bien enviarse previamente a la empresa. Dicho cuestionario corresponde al software de pre-diagnóstico, que debe ser ejecutado con la correspondiente asesoría de un representante del departamento técnico. Este comprende información de los procesos productivos, organización de la empresa, capacidades instaladas, historial de problemas identificados, y en general, cualquier información relevante y pertinente. Se debe tener en cuenta que durante esta primera visita, es primordial recalcar la importancia de la energía (calidad de potencia) para la empresa con relación a factores tan importantes como el de costos.

3.2 *Decisión del Lugar de Medición*

Luego de las evaluaciones a partir del análisis global arrojado por el software de pre-diagnóstico, se definen, finalmente las áreas que deben someterse a un análisis más detallado (adquisición de datos y/o medición). Es imposible analizar cada aparato y cada tubería, pero los resultados del análisis anterior generalmente permiten una decisión buena y bien formada.

Para la decisión del lugar de medición se debe realizar primero un análisis estructurado de arriba para abajo de los problemas más críticos que arroje el software de pre-diagnóstico, y después un análisis más detallado de abajo para arriba de aquellas partes de la planta que lo requieran, complementando la información de estas dos etapas.

Para cada paso antes de la medición se deben definir los resultados que se quieren obtener para luego deducir cuales mediciones se llevarán a cabo, ya que

se puede caer en la trampa de adquirir un sinnúmero de datos y mediciones de una empresa, sin que estos jamás sean evaluados. En este caso es de gran ayuda obtener o levantar el diagrama unifilar de la empresa con el fin de tener un conocimiento preciso de los posibles lugares de medición, además de poder lograr una impresión global de la ubicación del problema.

Algunos de los lugares más comunes para realizar mediciones pueden ser:

- Directamente sobre las cargas que presentan problemas (generalmente cargas no lineales).
- Sobre el lado de baja de los transformadores del área afectada.
- Sobre tableros de distribución.
- Sobre las protecciones (breakers, fusibles, etc.).

3.3 Cumplimiento de las Normas de Seguridad

Cuando se trabaja o utiliza equipo eléctrico, observar las debidas precauciones de seguridad, es tan importante, como hacer mediciones exactas.

El riesgo más común y serio es el choque o sacudida eléctrica. Otros riesgos que se deben tener en cuenta incluyen químicos peligrosos, maquinaria en movimiento y dispositivos de soldadura.

Las reglas y recomendaciones de seguridad propuestas son:

- Antes de iniciar cualquier medición en una subestación eléctrica, tablero de distribución o una parte cualquiera del sistema eléctrico, realizar una inspección cuidadosa de la misma, para reconocer todas las partes, en especial aquellas activas; si se dispone del diagrama unifilar, se debe usar como base para el reconocimiento inicial.
- Identificar los interruptores que permitan la maniobra de los circuitos en donde se realizarán los trabajos, y de ser posible, todo trabajo,

debe ser realizado desconectando el circuito a examinar, dando aviso antes al personal de la planta acerca de la maniobra.

- Los instrumentos de medición y herramientas a utilizar deben ser homologados para el nivel de tensión del sistema eléctrico donde se realizan los trabajos. Usar siempre herramientas con mangos aislados.
- Toda experiencia o trabajo con energía eléctrica, debe ser realizada en compañía de otras personas, por si es necesario recibir auxilio.
- Al efectuar una conexión provisional, no usar cables o alambres sin aislamiento o con aislamiento deteriorado.
- Evitar el contacto con las partes metálicas de tableros, equipos o instrumentos que no estén conectados a tierra. Prevenir el contacto accidental de anillos, o relojes con los conductores o barrajes de voltaje.
- En caso de trabajo con equipo eléctrico energizado, utilizar guantes y anteojos de protección. Una chispa eléctrica no contiene mucha energía, sin embargo puede dañar irreparablemente el ojo humano.
- Si en el circuito se observa una mancha anormal, ruidos extraños, calentamiento excesivo, o chispas, se recomienda abrir el interruptor o breaker principal de inmediato.
- Al manobrar interruptores, la operación debe ser realizada de manera rápida para evitar la formación de arcos eléctricos, chispas, y consecuentes quemaduras; en especial si el circuito alimenta elementos inductivos o capacitivos.
- No tocar los bornes de los condensadores de potencia, ya que pueden estar cargados.
- Todos los circuitos de potencia son peligrosos. Al trabajar con voltajes superiores a 400 Voltios, se debe usar guantes y/o alfombras o muebles aislantes.
- Calzar zapatos dieléctricos para aislarse apropiadamente de tierra.

- Al manipular equipo energizado, utilizar únicamente una mano y mantener la otra lejos de cualquier parte del circuito.

3.4 Mediciones y Uso del Software

Para efectuar las mediciones se recomienda seguir los pasos propuestos por la metodología:

- Establecer personas (personal de la planta o contratistas) encargadas de la manipulación de tableros, breakers, transformadores, cables, etc.
- Conseguir en lo posible el diagrama unifilar detallado del sitio de medición, o en lo pronto levantar uno en sitio, con el fin de conocer los pormenores del sistema eléctrico y las especificaciones de voltaje, corriente y potencia.
- A partir de las especificaciones del unifilar, ajustar las pinzas y escalas de corriente y voltaje de los equipos, con tal que estén de acuerdo a los niveles de las mediciones.
- Al manipular el equipo, así no se esté maniobrando tableros, cables, etc., es recomendable el uso de guantes, botas dieléctricas y gafas, por precaución.
- Programar el equipo de medición de acuerdo a la memoria disponible y el tiempo dispuesto.
- Si el equipo se va a dejar en la planta sin supervisión de los responsables, advertir a operarios o encargados de la presencia de este, con el fin de poder ubicarlo en una zona segura e impedir la manipulación de terceros.
- Si el tiempo de medición supera el tiempo de autonomía de la batería del equipo, hacer todas las conexiones necesarias con el fin que se garantice su funcionamiento, observando antes todas las normas de seguridad necesarias.

3.4.1 Equipos de Medición

El tener un equipo que cumpla con los requerimientos de medición asegurará resultados confiables, siempre y cuando se manipule de manera adecuada las herramientas de análisis de señales propias de estos.

Las características de las cargas influyen en las formas de onda del voltaje y la corriente, su magnitud, distorsión armónica, etc., siendo de vital importancia el capturar y registrar las señales de voltaje y de corriente en el mismo instante de tiempo.

3.4.1.1 Analizador de Redes Eléctricas y Armónicos AR.5

La serie AR.5 son analizadores de redes portátiles que miden, visualizan y guardan en memoria los principales parámetros eléctricos y una red monofásica o trifásica balanceada o desbalanceada.

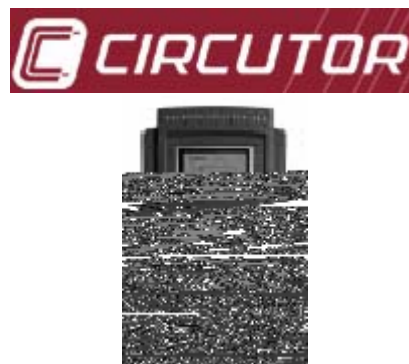


Figura 8. Imagen del Equipo Utilizado

Es utilizado a nivel comercial en redes industriales para adquirir datos promedio de voltaje, corriente, potencia y frecuencia de la red analizada, para procesarlos y obtener parámetros como factor de potencia reactiva, inductiva y capacitiva, y energías activas y reactivas a lo largo del periodo de tiempo programado. Dichos

datos se guardan en la memoria (1MB de capacidad), donde cada dato equivale a 1kB.

Tiene una elevada facilidad de uso. Gracias a su display gráfico todas las funciones se controlan a través de un teclado con menús desplegados, también es de gran flexibilidad al programarse como un analizador de perturbaciones de armónicos, etc. Todo con un tamaño compacto y portable al contar con alimentación de baterías interna o alimentación exterior.

Dispone de cinco programas para el análisis de redes, el programa de energía, el programa de calidad de red (perturbaciones), programa de armónicos, programa de flicker (calidad de suministro de tensión), programa check meter (verificador de contadores) y tiene cuatro entradas de voltaje y tres entradas para pinzas de corriente.

El equipo permite la visualización de los valores instantáneos, máximos y mínimos de cada parámetro y de cada fase, así como los promedios o suma y la secuencia de fases para la instalación de motores. Se puede elegir cuales parámetros grabar o visualizar, optimizando el uso de la memoria con posibilidades de programación para activar la captura de datos por horario y/o por nivel de algunas variables, para ser enviados posteriormente vía RS-232 a un PC para ser analizados por software especializados u hojas de cálculo.

MEDIDA DE VOLTAJE AR.5	
Rango de Medida	20 – 860 V AC (FASE-FASE)
Medida entre fases o fase neutro, otros voltajes a través del transformador de voltaje	
Frecuencia	45 – 65 Hz.
Circuito de tensión aislado	

Tabla 4. Medida de Voltaje AR.5

MEDIDA DE CORRIENTE AR.5	
Rango de Medida	Según pinzas, 0 -5000 A
Relación de transformador de corriente programable	
Unidades de medida	Escala automática
Reloj interno con fecha y hora	

Tabla 5 Medida de Corriente AR.5

CLASE DE PRECISION AR.5	
Corriente	0.5% +/- 2 dígitos
Voltaje	0.5% +/- 2 dígitos
Potencia activa	1.0% de lectura +/- 2 dígitos
Potencia reactiva	1.0% de lectura +/- 2 dígitos
ESTAS PRECISIONES ESTÁN DADAS BAJO LAS SIGUIENTES CONDICIONES	
Exclusión de los errores aportados por los transformadores de voltaje y corriente externos	
Rango de temperatura	De 5 a 45°C
Factor de potencia	De 0.5 a 1
Margen de medida	De 5 a 100%

Tabla 6 Clase de precisión AR.5

Normas: IEC 868, IEC 1010-1, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 50081-2, EN 50082-2, EN 50082-1, IEC 664, UL94, VDE 110.

3.4.1.2 Analizador de Armónicos Eléctricos Fluke 41B

Puede utilizar el Probador para medir entradas de tensión y de corriente a la frecuencia de línea y sus armónicas. Utilizando estas entradas, el probador automáticamente calcula la potencia y una amplia gama de otras mediciones útiles para determinar las fuentes y los niveles de distorsión armónica. El Probador

puede mostrar los cálculos de potencia en una lectura monofásica o trifásica. Estas capacidades le permiten observar la calidad de la energía antes y después de una instalación, permiten diagnosticar un sistema de distribución de energía así como imprimir o enviar datos a un ordenador para análisis adicional.



Figura 9. Imagen del equipo utilizado Fluke 41B

El Probador es, a la vez, una herramienta de medición de armónicas y un medidor de potencia o multímetro digital. Se puede utilizar el Probador para medir tensiones (tensión baja, tensión alta, ausencia de tensión y niveles de neutro a masa [tierra]), niveles de corriente o para medir niveles de potencia. También es posible medir frecuencias fundamentales (hasta 100 Hz) y armónicas de frecuencias (hasta aproximadamente 2 KHz.). El Probador no puede medir frecuencias superiores a 2 kHz, aproximadamente.

MEDIDA DE VOLTAJE FLUKE 41B (rms real)	
Rango de entrada	5V – 600Vrms (AC, DC) 5V a +/- 933V cresta
Precisión básica	Rms (AC, DC) 0.5% +/- 2 dígitos
	Cresta (DC) +/- 2% + 3 dígitos

Impedancia de entrada	1 MΩ, equilibrador
Factor de cresta	> 3.0 a menos de 300V, 1.56 a 600V

Tabla 7 Medida de voltaje Fluke 41B

MEDIDA DE CORRIENTE FLUKE 41B (rms real)	
Entrada aislada (1mV/A)	
Rango de entrada	1.00 mV (A) a 1000mV rms (A) (DC, AC) 1.00 mV (A) a +/- 2000mV (A) cresta
Precisión básica	Rms (AC, DC) +/- (0.5%) + 3 dígitos
	Cresta (DC) +/- (2%) + 4 dígitos
Impedancia de entrada	1 MΩ, 47 pF
Factor de cresta	> 3.0 a menos de 600mV, 2 a 1000mV

Tabla 8 Medida de corriente Fluke 41B

3.4.2 Instrucciones de utilización del software desarrollado

Para una mejor manipulación de los datos adquiridos mediante el equipo de medición AR.5 de Circutor®, se ha desarrollado un software de fácil utilización que permite construir gráficas e histogramas de las distintas variables medidas (Parámetros, Armónicos), facilitando el análisis y la presentación de informes escritos.

El software ha sido desarrollado bajo el lenguaje de programación de Microsoft® Visual Basic®, que lo hace compatible para ser ejecutado mediante Microsoft® Excel®.

A continuación se encuentra un listado de instrucciones que explican su correcta operación:

3.4.2.1 Instalación del programa.

Antes de instalar el software debe asegurarse que Excel tenga instalados los siguientes componentes:

1. En el menú principal, haga clic sobre Herramientas, luego sobre Complementos y confirme que la función Herramientas para análisis - VBA se encuentre seleccionada, de lo contrario seleccione e instale esta función.
2. En el menú principal, haga clic sobre Herramientas, luego sobre Opciones y en la pestaña Internacional, confirme que el separador decimal sea coma (,) y el separado de miles punto (.).
3. Sobre el menú principal, haga clic sobre Herramientas, luego sobre Macros y por último sobre seguridad, confirme que el Nivel se encuentre en Medio.
4. Continúe con la instalación.

Ubique el archivo "PARAMETROS.xls" en el directorio raíz de su unidad de CD-ROM/DVD, por ejemplo:

D:\PARAMETROS.xls

Una vez ubicado el archivo es necesario copiarlo al disco duro del computador dándole atributos de lectura y escritura; Si no se esta seguro de esto, una vez copiado al disco duro, simplemente haga lo siguiente:

1. Clic derecho sobre el archivo
2. Propiedades

3. Los atributos de “solo lectura” y “oculto” deben quedar sin seleccionar, luego se da Aceptar.

3.4.2.2 Ejecución del programa.

Una vez copiado el archivo PARAMETROS.xls al disco duro y modificado los atributos, se da doble clic sobre el para ser ejecutado, debe salir una pantalla similar a la Figura 10.

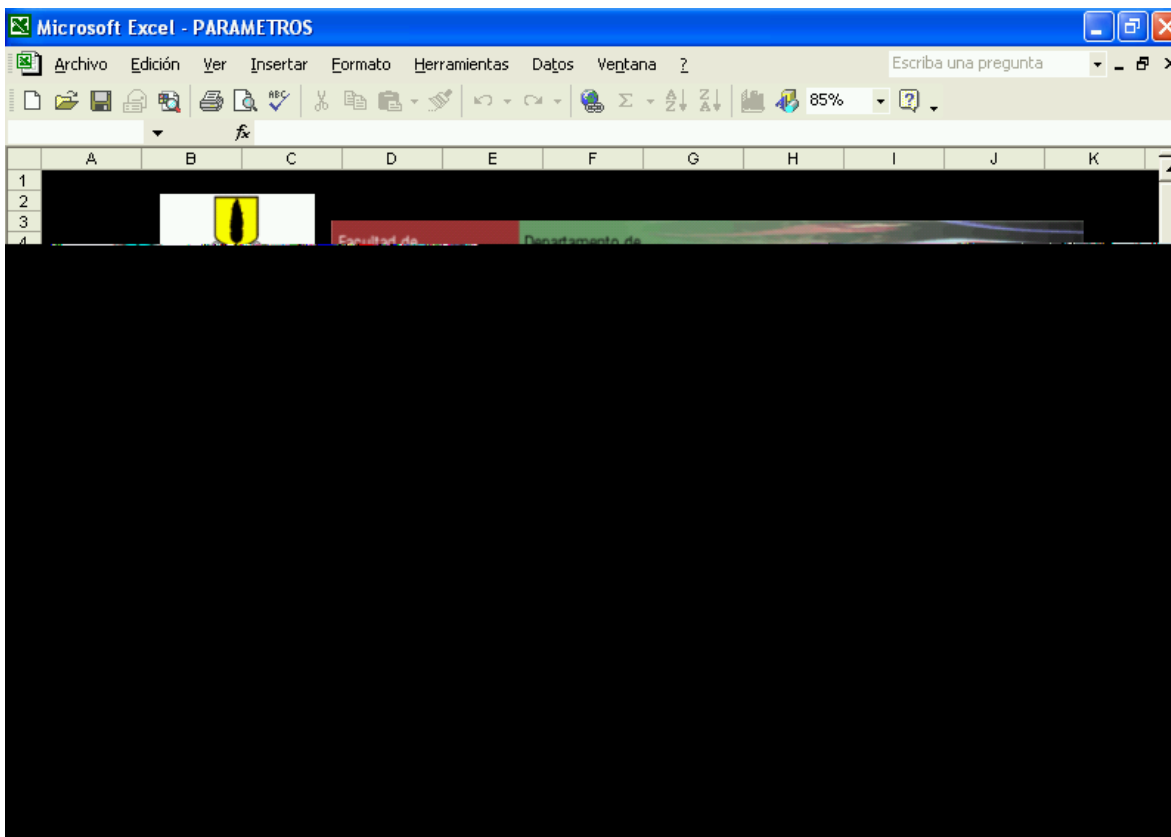


Figura 10. Pantalla de Inicio

3.4.2.3 Llenado de las formas

Tan pronto haga clic sobre Inicio, se muestra una ventana con cuatro opciones, como la de la Figura 11. En cada uno de los cuatro botones se cargan los

archivos en formato texto que se obtienen de exportar⁸ los datos leídos del equipo AR.5 mediante el programa Power Vision® de Circutor©. Si por alguna razón no se tienen los cuatro archivos de texto, sólo se cargan los que se tienen y los demás se dejan vacíos. Si la carga de los archivos se ha realizado con éxito, se da clic en Siguiente, de lo contrario en Terminar, y se repite el proceso.

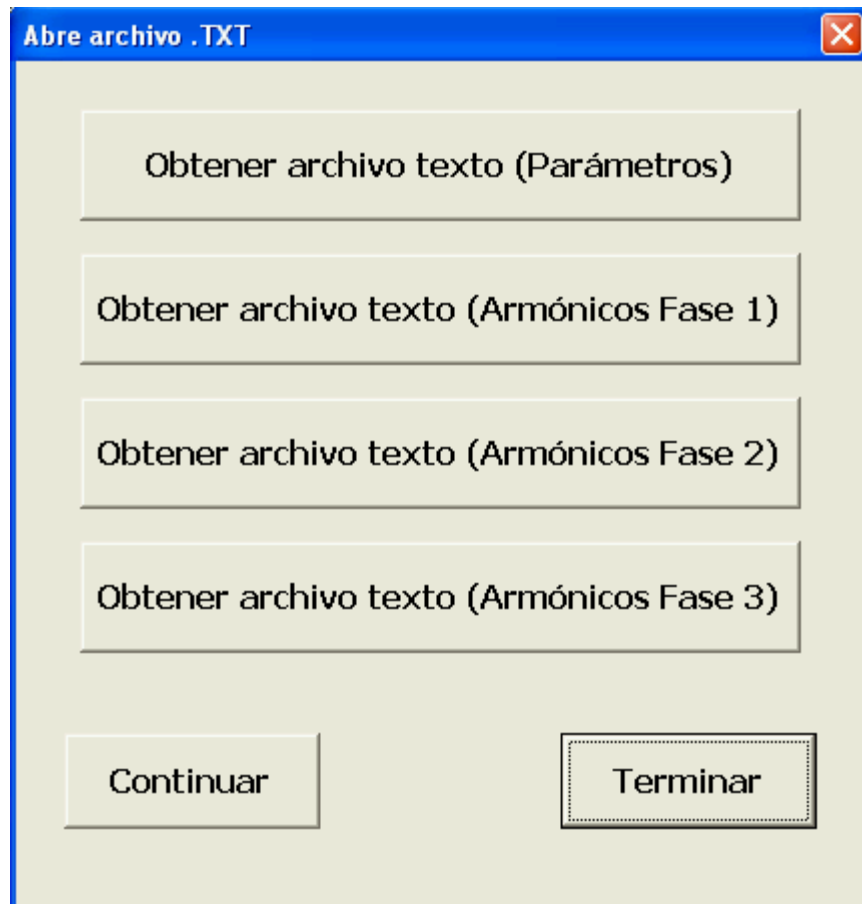


Figura 11. Ventana para carga de datos

Al dar clic sobre Continuar, se abre una ventana similar a la de la Figura 12. En esta ventana se seleccionan cada una de las gráficas que se desean visualizar, Si se seleccionó alguna de las opciones, se da clic sobre Graficar, si por el contrario

⁸ Al exportar del Power Vision® los datos leídos del AR.5, se deben seleccionar las opciones de punto y coma (;) para Separador y coma (,) para Separador Decimal.

no se desea visualizar nada pero si continuar con el siguiente menú, se presiona Siguiente, y Terminar si no desea seguir en el programa.

Si la selección de la ventana anterior ha sido Siguiente, se presenta a continuación una ventana como la de la Figura 13, la cuál se llena de igual forma que la anterior.

Por último, si se desea que el programa genere un informe en Microsoft® Word® de la selección de gráficos, se da clic en sí en la ventana de Generar documento en Word, de lo contrario en No (Terminar) para sólo dejar los libros abiertos de Excel que se utilizaron para la generación de las gráficas.

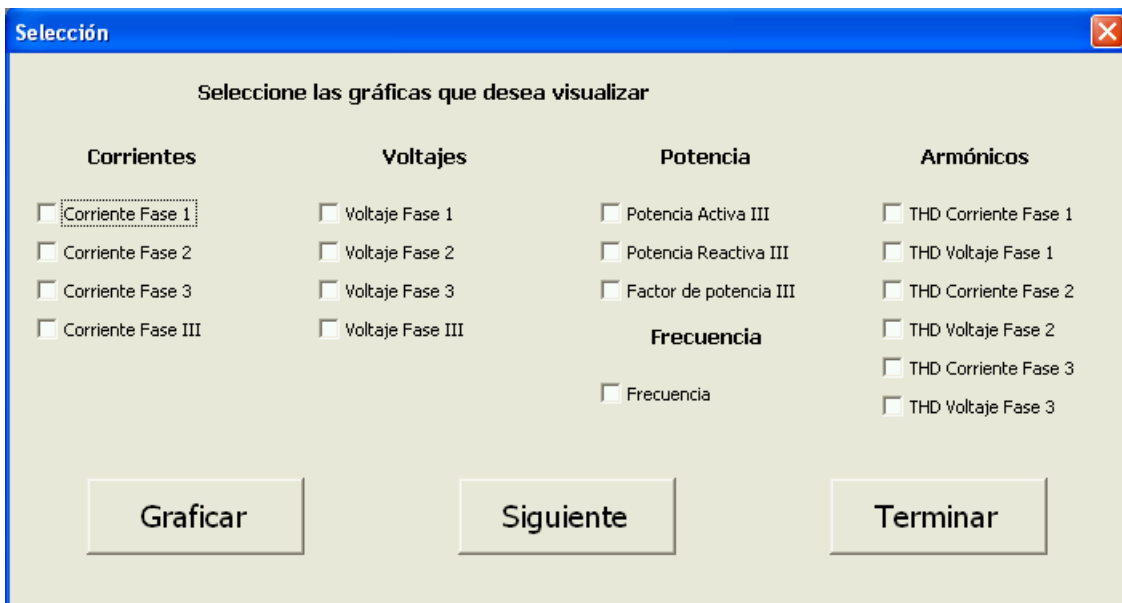


Figura 12. Ventana para selección de gráficas

The screenshot shows a software window titled "Histograma" with a close button in the top right corner. The main heading is "Seleccione los Histogramas que desea visualizar". Below this, there are five columns of checkboxes:

- Corrientes:**
 - Corriente Fase 1
 - Corriente Fase 2
 - Corriente Fase 3
 - Corriente Fase III
- Potencia:**
 - Factor de potencia III
- Voltajes:**
 - Voltaje Fase 1
 - Voltaje Fase 2
 - Voltaje Fase 3
 - Voltaje Fase III
- Frecuencia:**
 - Frecuencia
- Armónicos:**
 - THD Corriente Fase 1
 - THD Voltaje Fase 1
 - THD Corriente Fase 2
 - THD Voltaje Fase 2
 - THD Corriente Fase 3
 - THD Voltaje Fase 3

At the bottom of the window, there are three buttons: "Graficar", "Siguiente", and "Terminar".

Figura 13. Ventana para la selección de histogramas

3.4.2.4 Observaciones Importantes.

Nunca Grabar el archivo ejecutado con el mismo nombre "PARAMETROS.XLS", ya que al ejecutarlo de nuevo, se puede presentar conflicto con las hojas de cálculo que éste crea durante el proceso. Para guardar el archivo, se debe ir a archivo y elegir Guardar como...

3.5 Comparación con Estándares, Recomendaciones y Normas.

Con el fin de garantizar un marco de referencia mediante el cual se pueda clasificar la calidad de la potencia de las empresas, se deben comparar los resultados obtenidos en las mediciones con los estándares, recomendaciones y normas publicadas por entidades nacionales e internacionales sobre el tema.

Según el capítulo de calidad de la potencia de la resolución CREG070 del 98, las recomendaciones son:

- La CREG025 del 95, establece los rangos entre los cuales la frecuencia puede oscilar, en estado estable, de emergencia, fallas, déficit energético y períodos de restablecimiento.
- La NTC1340, para las tensiones en estado estacionario a 60 Hz y sus variaciones permisibles.
- La IEEE 519-92, para las prácticas y requerimientos recomendados para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia.
- La CREG108 del 97, para los valores mínimos permisibles del factor de potencia.

Adicionalmente se puede hacer referencia a:

- La IEEE 1100-99, para estudiar las prácticas recomendadas para alimentar y aterrizar equipo electrónico sensible.
- NEC (Código eléctrico nacional EEUU).

3.6 Comparación de Mediciones vs. Pre-diagnóstico. (Pre-diagnóstico = Mediciones)

Una vez terminado el proceso de medición, identificación y valoración de los problemas de calidad de potencia, mediante el seguimiento de la metodología, se procede a realizar una comparación de los datos obtenidos en las mediciones contra los resultados del pre-diagnóstico. Este paso se realiza con la intención de comprobar la veracidad de la información entregada en el pre-diagnóstico, la cual, en la mayoría de las oportunidades se puede ver afectada por la falta de conocimiento y competencia de la persona entrevistada.

Para asegurar que el procedimiento ha sido exitoso y eficiente hasta este punto, es necesario comparar la identificación y valoración de problemas de calidad de la

potencia arrojados por las mediciones y el pre-diagnóstico. Se deben encontrar resultados similares a fin de confirmar que la escogencia de los puntos de medición y la información proporcionada por el personal entrevistado, fueron correctos. Conocida esta equivalencia, se está en la habilidad de tomar la decisión de continuar con el análisis y las recomendaciones. Si por el contrario los datos obtenidos son contradictorios, es necesario regresar a la etapa de pre-diagnóstico, no sin antes haber corregido los puntos desmentidos por las mediciones.

3.7 *Análisis*

Una vez identificados y validados los problemas, se prosigue a la etapa de confirmación de las causas de los mismos. Para ello se requiere hacer un análisis del comportamiento de los dispositivos causantes del problema, así como de factores externos que pueden influir en su origen. Es de gran utilidad en este paso, contar con ayudas computacionales, tales como simulaciones, y recomendaciones de los fabricantes acerca de la instalación de los dispositivos, ya que muchas veces una incorrecta configuración de los mismos, puede ser el causante de los problemas.

3.8 *Recomendaciones*

A criterio del ingeniero o de la persona responsable del desarrollo de la metodología, se pueden presentar varias recomendaciones para las soluciones de los diferentes problemas. En este punto no existe un consenso ni estandarización de soluciones a los problemas de calidad de la potencia, sin embargo, es importante tener en cuenta posibles soluciones planteadas en publicaciones internacionales, a fin de no malgastar esfuerzos.

Es de gran ayuda desarrollar un modelo o utilizar una herramienta computacional que incluya el efecto de todos los factores, representando de forma precisa elementos del sistema de potencia para el análisis durante condiciones de estado estable y transiente teniendo en cuenta características eléctricas y mecánicas.

4. INDICADORES DEL RESULTADO DEL ESTUDIO

4.1 Variaciones de voltaje RMS.

Los equipos utilizados capturan niveles de voltaje RMS como una función del tiempo. Como se puede ver en la Figura 14. Estas gráficas, proveen un acercamiento a las variaciones diarias de los niveles de voltaje en un lugar dado, tanto en función del tiempo y de la distribución del sistema como de los patrones de carga del usuario. Los niveles de voltaje fuera de los límites estándares, pueden ser correlacionados a actividades ocurridas en el sistema de distribución, que causan dichos eventos.

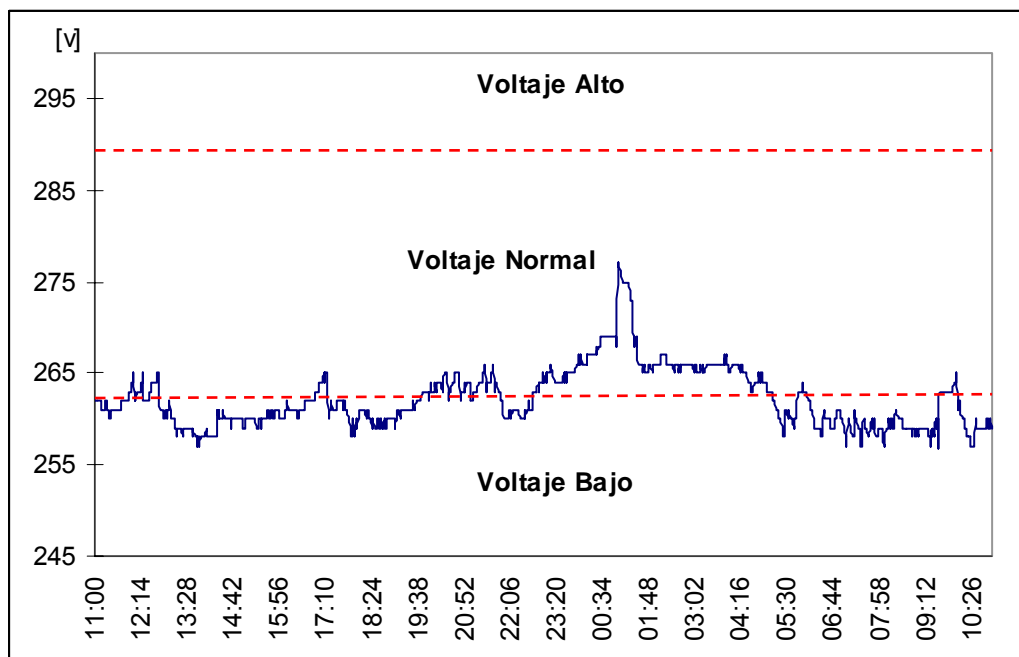


Figura 14. Niveles de voltaje RMS en estado estable como función del tiempo

Una forma más sencilla de representar el voltaje RMS de estado estable es expresarlo en un histograma de frecuencia acumulativa y relativa, que proporciona una descripción visual de la varianza de los niveles de voltaje y la probabilidad

que éste sea mayor o menor que un nivel específico, convirtiéndose en evidencia empírica del diseño y características operacionales del sistema de distribución eléctrica, a partir del punto de medición. (Véase Figura 15).

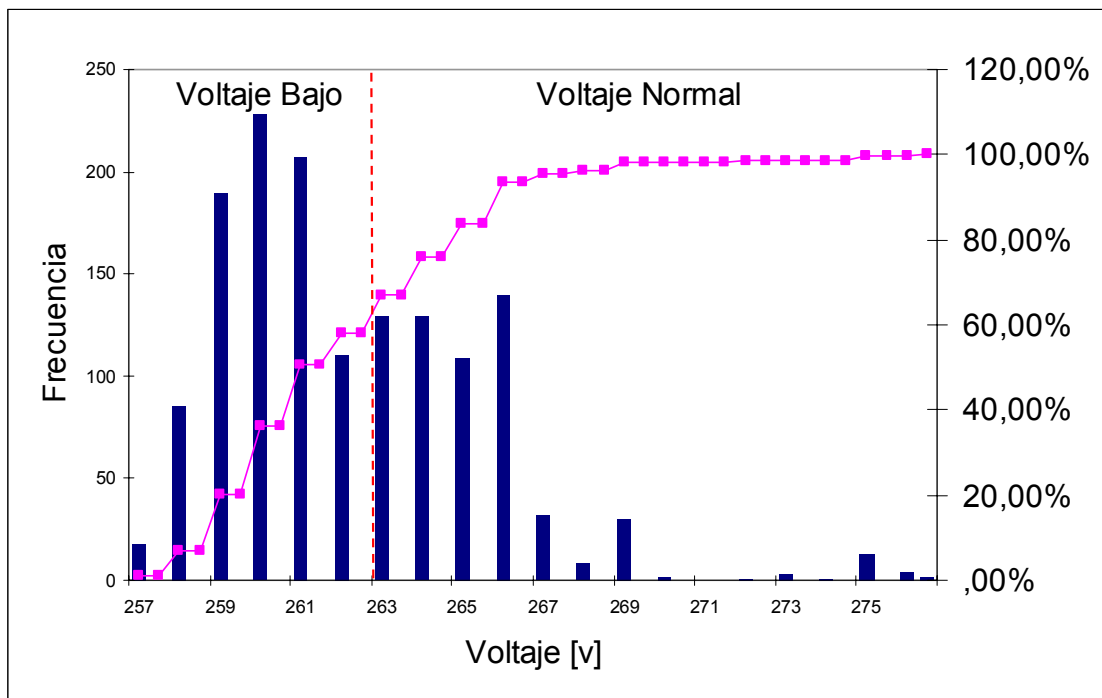


Figura 15. Histograma de Frecuencia relativa y acumulativa para niveles de voltaje RMS.

Al hacer una estadística comparativa entre los diferentes sectores productivos estudiados en este proyecto, cuya configuración corresponde a un mismo nivel de voltaje, se obtiene una gráfica que informa el porcentaje de las variaciones de voltaje RMS de cada uno, como se puede apreciar en la Figura 16.

Los perfiles de voltaje revelan niveles que se encuentran por fuera los límites establecidos en las normas y recomendaciones (NTC1340, ANSI C84.1-77). El peor caso corresponde al sector construcción, con una ocurrencia de 16.4%, seguido por petróleos con un 2%. Haciendo un análisis global de los datos

obtenidos, se ve un comportamiento homogéneo dentro del sector productivo de la Sabana de de Bogotá con tendencia a mantenerse dentro de los estándares.

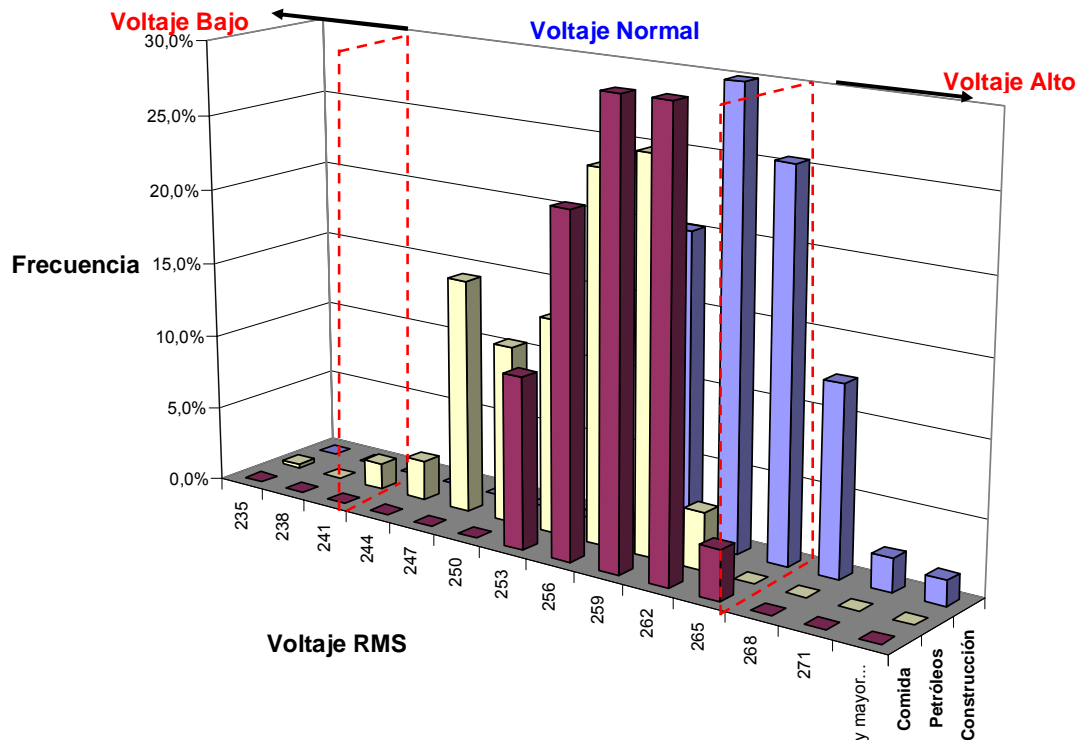


Figura 16. Frecuencia de los Niveles de Voltaje RMS para Nivel de Tensión 440V.

4.2 Armónicos.

Los voltajes y corrientes monitoreados como parte de este estudio, pueden ser analizados de diferentes formas desde el punto de vista armónico; sin embargo se han escogido las principales permutaciones, a juicio de los autores, después de analizar las características más comunes del sector productivo de la Sabana de Bogotá.

4.2.1 Distorsión Armónica Total de Voltaje y Corriente

Analizando los valores de THD de voltaje que se pueden apreciar en la Figura 17, y comparándolos con el límite del 5% establecido por la norma IEEE Std. 519-92, se alcanza a percibir que el sector más crítico es de construcción, con una frecuencia de 18.5%, donde los niveles de THD (v) superan el porcentaje de umbral.

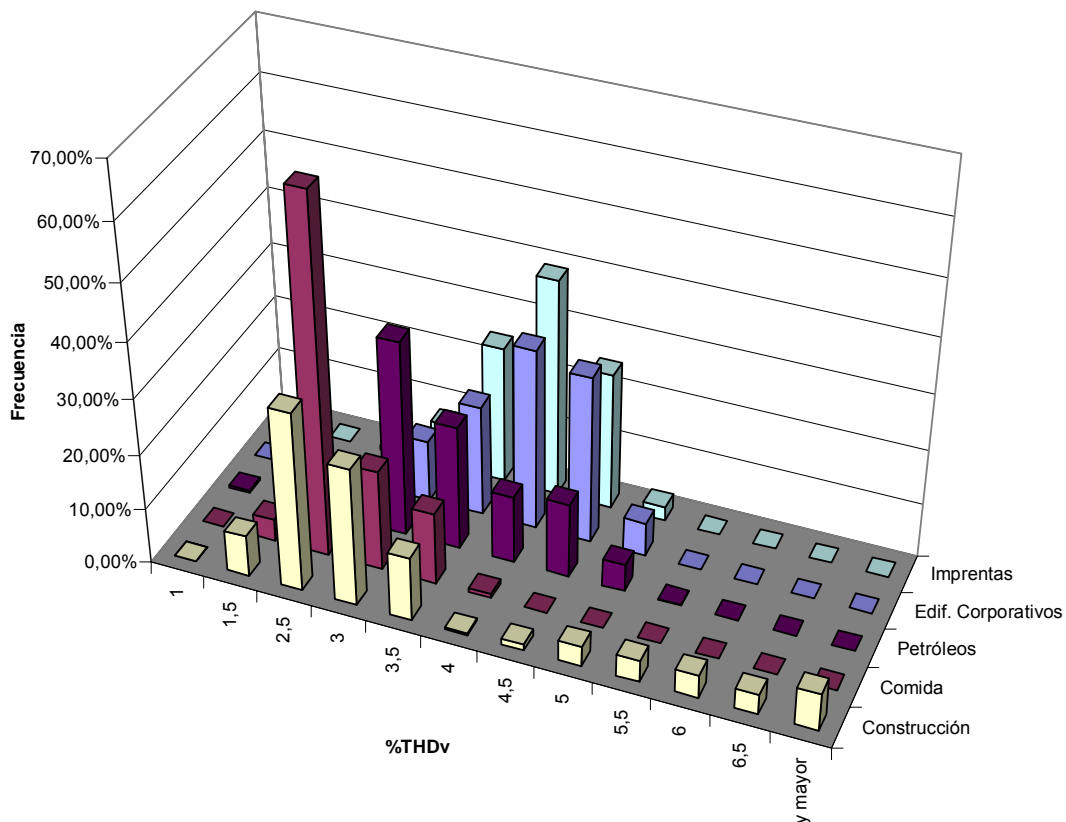


Figura 17. Frecuencia de ocurrencia de THD (v) para cada sector productivo

Sin ser muy estrictos y de acuerdo a la información resumida en la Tabla 9 y presentada en la Figura 18, se puede concluir que la mayoría de las empresas se encuentra dentro o cerca de las recomendaciones de porcentajes máximos, a excepción del caso de imprentas y construcción, que debido a su carga principalmente no lineal, compuesta de rectificadores de 6 pulsos, elevan la distorsión armónica total. Teniendo en cuenta que la penalización por

contaminación armónica aún es confusa y se encuentra en etapa de implementación, es clara la razón por la cual el sector productivo de la Sabana de Bogotá no se ha interesado en la instalación de filtros armónicos, que reducirían considerablemente estos niveles.

Sector	Valores Promedio Mediciones				IEEE Std. 519 Recomendados		
	THDi	I3	I5	I7	Isc/L	Ih	TDD
Construcción	27,41	7,72	25,06	10,09	20<50	7	8
Imprentas	41,74	5,53	41,88	14,59	100<1000	12	15
Edif.							
Corporativos	9,86	4,12	8,38	1,93	20<50	7	8
Petróleos	10,24	3,66	8,17	3,74	50<100	10	12
Comida	6,22	1,38	4,26	2,46	20<50	7	8

Tabla 9. Máximas Corrientes Armónicas, THDs (% de la fundamental) y TDDs (Porcentaje Máxima Demanda de Corriente).

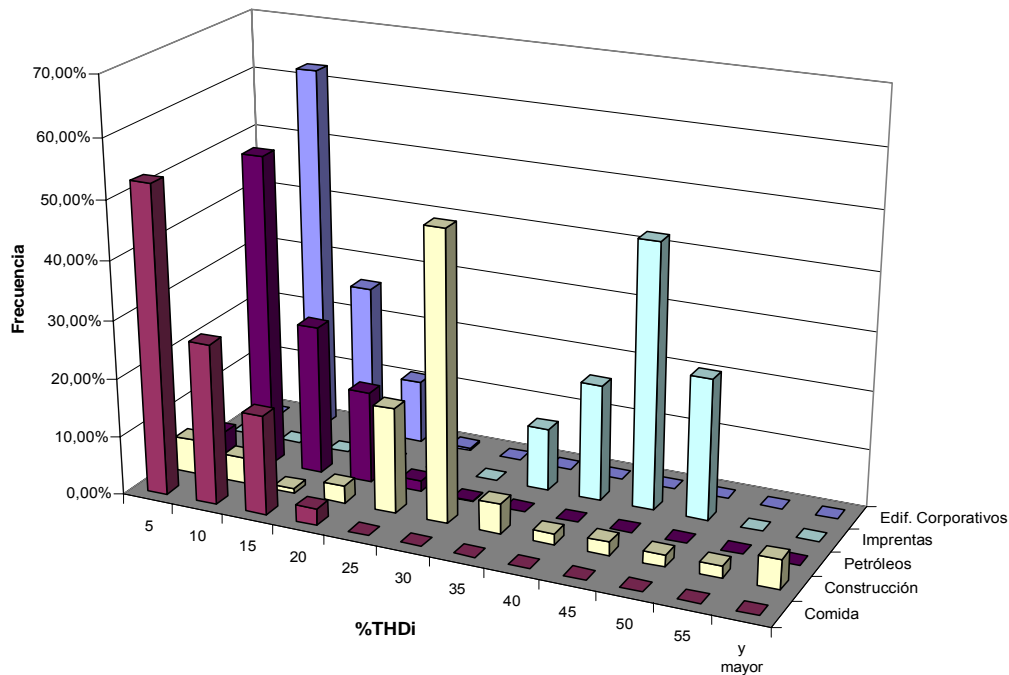


Figura 18. Frecuencia de ocurrencia de THD (i) para cada sector productivo

4.2.2 Presencia de Armónicos 3, 5 y 7.

La Figura 19 muestra los porcentajes de la frecuencia fundamental de los armónicos 3, 5 y 7 de voltaje, que se obtuvieron para cada sector. En esta se alcanza a observar, que el quinto es el armónico dominante, con un valor máximo monitoreado del 3.64% de la componente fundamental, excediendo en un 0.64% los límites de distorsión de voltaje publicados por la IEEE.

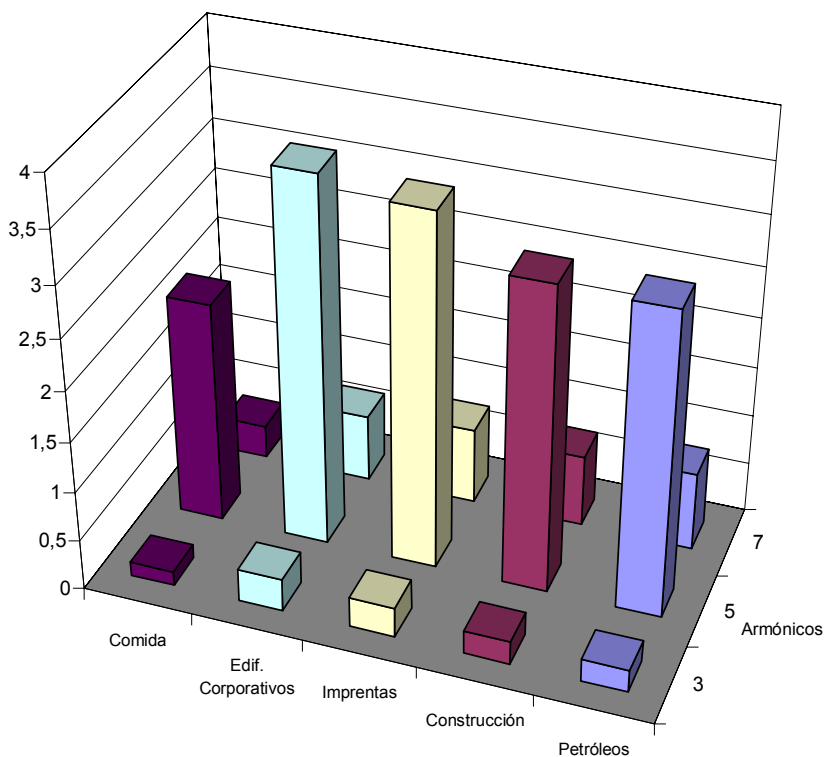


Figura 19. Promedios del Porcentaje de la Fundamental de los Armónicos 3, 5 y 7 de Voltaje, para cada Sector Productivo.

Al observar la Figura 20, se puede ver la participación, en porcentaje, de los armónicos principales con respecto a la fundamental, y así justificar los valores altos de THD(i), para los sectores mas afectados por éste parámetro (Construcción e Imprentas). Conociendo el armónico dominante (Armónico 5), se puede predecir el posible diseño de los filtros de armónicos a los que se verá expuesto el Sector productivo de la Sabana de Bogotá.

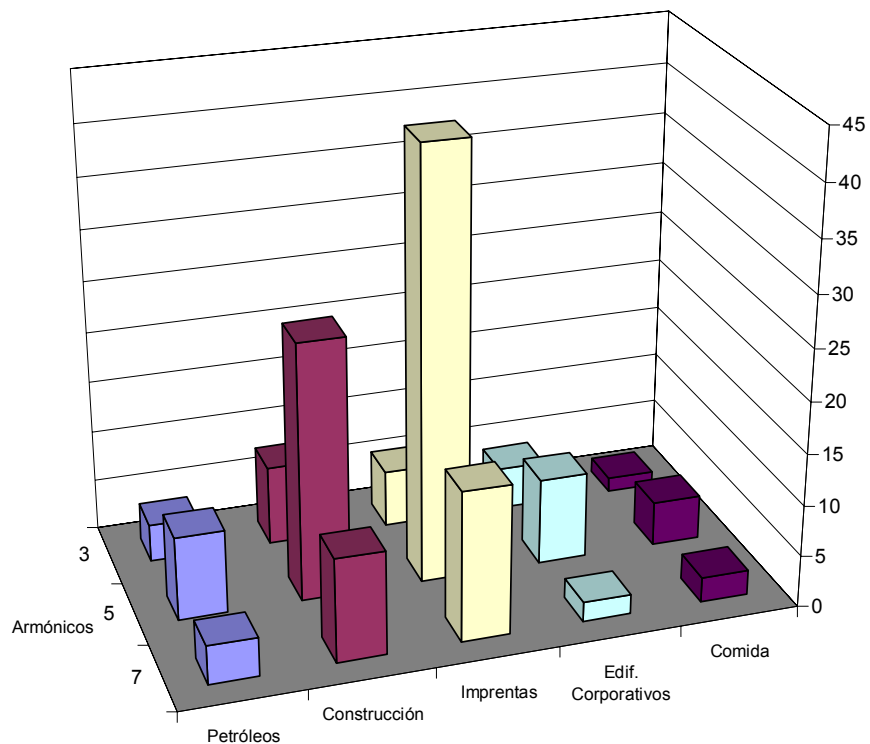


Figura 20. Promedios del Porcentaje de la Fundamental de los Armónicos 3, 5 y 7 de Corriente, para cada Sector Productivo.

4.3 Frecuencia

La frecuencia es un parámetro que depende en su mayoría del operador de red; sin embargo, dada la disponibilidad de los datos mediante el equipo de medición utilizado, resulta conveniente llevar a cabo un análisis de su comportamiento, a fin de comprobar el cumplimiento del rango establecido por las normas.

En la Figura 21 se aprecia que las variaciones por fuera de los límites de la regulación nacional (CREG 070-98), no son un problema considerable, que requiera mayor estudio.

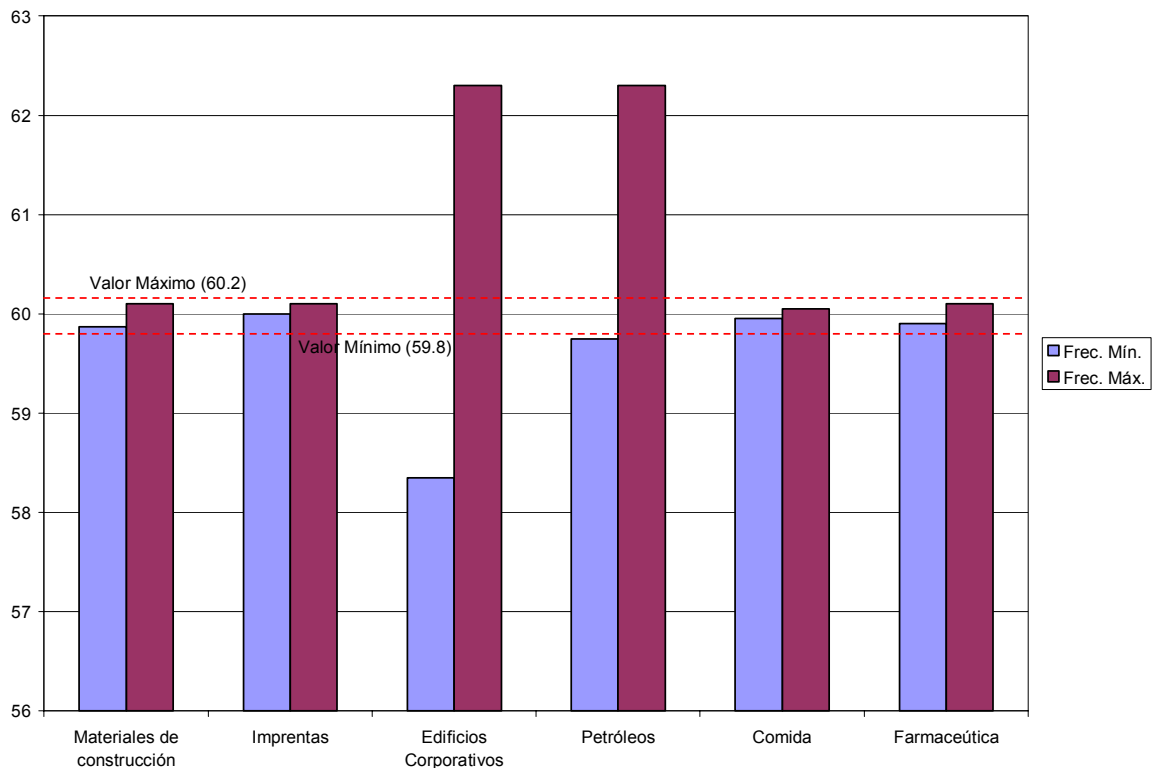


Figura 21. Variación de la Frecuencia por Sector Productivo

4.4 Factor de Potencia.

El factor de potencia es sin duda uno de los temas más monitoreados en el sector productivo, no solamente en la Sabana de Bogotá, sino en todo el territorio nacional, debido a la penalización económica y de prestación de servicio que conlleva sobrepasar los mínimos estipulados.

Sectores Específicos, como el de imprentas y materiales de construcción, se caracterizan en la Figura 22, por tener factores de potencia muy bajos. En el caso más crítico, correspondiente a las imprentas, la ubicación de los bancos correctores de factor de potencia se encuentra comúnmente en media tensión. Las mediciones normalmente se realizan en baja tensión, y es por esto que no se refleja en los valores de la gráfica. De esta forma se evita una conmutación

frecuente de los condensadores, para así proteger las tarjetas de los variadores de velocidad de sobrevoltajes transitorios.

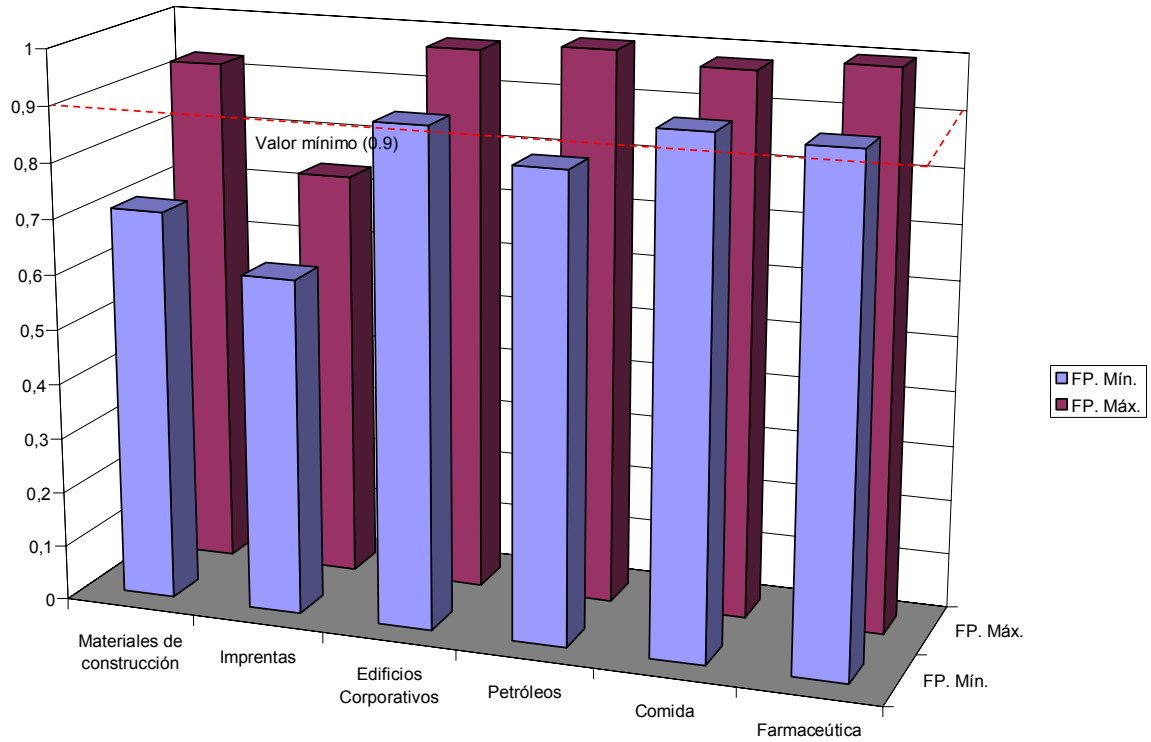


Figura 22. Valores máximos y mínimos de los factores de potencia para cada Sector Productivo

5. CONCLUSIONES

- Para la primera etapa de la metodología, es recomendable contar con el

monitorear y haciendo una expansión de los sectores productivos y la zona geográfica estudiada en este trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Wolf, Stanley. "Guía para mediciones electrónicas" Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1986.
- [2] IEEE Std 519-1992 IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.
- [3] Emanuel, Alexander. Orr, John. Cyganski, David. Gulachenski Edward. "A Survey of Harmonic Voltages and Currents at the Costumer's Bus". IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No.1, Enero 1993.
- [4] Hughes, Brent. Chan, John, Koval, Don. "Distribution Costumer Power Quality Experience". IEEE Transactions and industrial applications, Vol. 29, No. 6, Noviembre/Diciembre 1993.
- [5] Piedrahíta Agudelo, Ancízar. "La electrónica de potencia frente a la calidad de la potencia eléctrica". Universidad de los Andes-CIFI. Bogotá 1994.
- [6] Waggoner, Ray. "Conducting a Power Quality Site Analysis – Part 1". EC&M. 1995.
- [7] CREG 108-1997, Resolución por la cual se señalan criterios generales de protección de los derechos de los usuarios de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible por red física, en relación con facturación, comercialización y demás asuntos relativos a la relación entre la empresa y el usuario, y se dictan otras disposiciones.
- [8] CREG 070-1998, Resolución por la cual se establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional.
- [9] IEEE Std 1100-1999 IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment.
- [10] NEC 1999, National Electric Code.

- [11] Saravia, Elga. Ballesteros D. "Power Quality problems diagnosis for the industrial sector in Bogotá DC. Phase 1". Universidad de los Andes. Bogotá. 2002
- [12] Procobre. "Optimización de las Instalaciones Eléctricas. Set de Capacitación, Publicaciones y Videos". Lima. Agosto 2002.
- [13] Baquero, Rodrigo. Cárdenas, Luis "Diseño de una metodología para realizar estudios de sistemas eléctricos bajo conceptos de calidad de la potencia eléctrica". Universidad de los Andes. Bogotá. 2003.
- [14] Ramos, Gustavo Andrés. "Calidad de la Potencia en el Análisis de Sistemas Eléctricos". Universidad de los Andes. Bogotá.
- [15] NTC 1340, Norma Técnica Colombiana.
- [16] Niagara Mohawk, Página Web <http://www.niagaramohawk.com>

APÉNDICE

Reportes de los programas de pre-diagnóstico y análisis para una empresa dada.

Reporte técnico:

- Realizar un proceso de inspección para verificar la continuidad del conductor de tierra desnudo y que todas las carcazas se encuentren conectadas a este conductor.
- Tener información sobre el desbalance entre fases es útil hacer redistribución de carga y dejar el sistema más balanceado.
- Las torres de comunicación no se encuentran unidas a la puesta a tierra: Es necesario aterrizar las torres de comunicaciones para reducir los problemas electromagnéticos.
- Unión neutro-tierra no existente en secundarios de los transformadores: Una de las ventajas de acoplar magnéticamente dos circuitos independientes eléctricamente es el hecho de poder crear un nuevo neutro a partir de una conexión a la puesta a tierra, esta practica reduce a cero la tensión neutro-tierra en este punto útil en las cargas electrónicas sensibles.
- Conoce la CREG 070: Se debe conocer los parámetros exigidos por el distribuidor de energía (codensa, etc.) para que la empresa no tenga problemas de desconexión.
- Las UPS's solo deben alimentar cargas sensibles a menos que se encuentren sobredimensionadas para soportar cargas más potentes.

Alimentar otro tipo de cargas puede ocasionar fallas en el suministro de energía a cargas críticas.

- Descargas atmosféricas: Revisar el esquema de protecciones de los TVSS (Estándar IEEE C62-41) (pararrayos).
- Se produce calentamiento excesivo de los conductores, transformadores o motores: Revisar las capacidades nominales de corriente de los conductores y transformadores y la capacidad de carga del motor. Si los valores nominales coinciden con los valores de corriente y carga esperados el calor excesivo se debe a un contenido elevado de componentes armónicos en las ondas de tensión y corriente, en caso de armónicos aumentar el calibre de los conductores no resuelve el problema.

Reporte ejecutivo:

- Los impulsos de tensión dentro de una instalación ocasionan fallas en la comunicación entre computadores, llegando a impedir un uso correcto de las bases de datos y las transacciones bancarias. Por otra parte estos impulsos pueden producir daño en computadores, tarjetas madre, discos duros, fuentes de poder y los SCR, interrumpiendo la alimentación de la carga en la mitad de los procesos o de transacciones importantes.
- Por lo general la causa de la operación errática de las maquinas y el reinicio de computadores es el voltaje neutro-tierra. En la mayoría de los casos este problema se resuelve revisando el cableado de puesta a tierra, para establecer su estado antes de instalar un transformador de aislamiento cuyo costo compensa los beneficios.
- Los apagones no representan mucho peligro para la instalación misma, sin embargo causan graves perjuicios económicos debido a que se detienen

los procesos y se puede perder información importante. Si existen dispositivos críticos se debe instalar un esquema especial para evitar los apagones.

- Las caídas de voltaje pueden ocasionar interrupción de procesos y pérdida de información dependiendo de su duración. Esta condición se puede mejorar a través de un mejor cableado, nuevos transformadores o con dispositivos reguladores de voltaje.
- Los equipos de electrónicos producen un deterioro generalizado en los equipos y en la misma instalación eléctrica. A través de las mediciones en puntos de conexión a la red primaria y en la instalación de los equipos, se determina su nivel y magnitud. Con base en esta información es posible hacer simulaciones por computador para establecer las posibles medidas remediales tales como: mejoramiento del cableado, reparar los problemas de cableado, redistribución física de los equipos y filtros de armónicos.
- Es importante prestar atención a las perturbaciones repetitivas, porque pueden ocasionar fallas en los sistemas de comunicaciones, en computadores, distorsión de la imagen en los monitores, equipos que dejan de responder y fallas en algunos tipos de protecciones. Para identificar la fuente de problemas es necesario realizar mediciones. La solución puede ser aislar esa carga, si esto es imposible se puede adquirir un dispositivo especializado en mitigar esta perturbación.
- La interferencia electromagnética puede ser la causa del comportamiento errático en los componentes electrónicos de la instalación y de los problemas de comunicación sin razón aparente. La reubicación de las cargas respecto a la fuente de interferencia y las mejoras en el sistema de puesta a tierra pueden disminuir el problema. Sin embargo, si la fuente de

interferencia es demasiado potente se deben realizar otro tipo de procedimientos.

- El problema de flicker para la instalación física en sí no se considera tan grave. Sin embargo, deteriora las condiciones de trabajo del personal de las instalaciones. Generalmente mejoras en la iluminación permiten solucionar este problema.
- Los sobrevoltajes no son muchas veces detectados o considerados con la misma formalidad que otros fenómenos. Con el tiempo se van deteriorando los componentes eléctricos y electrónicos haciendo que se reduzca su vida útil o fallen. Mediante mediciones es posible detectar su presencia y mediante un análisis técnico económico definir la mejor alternativa que los reduzca.

Reporte de gráficas obtenido mediante el software de análisis desarrollado:

