

2012

Monitoreo y Análisis de la calidad de la Energía Eléctrica en el Laboratorio de Automatización

Iván José
Ramírez Durán



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Monitoreo y Análisis de la Calidad de la Energía Eléctrica
en el Laboratorio de Automatización

Tesis:

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Ingeniero en Automatización

Especialidad en:

Instrumentación y Control de Procesos

Presenta:

C. Iván José Ramírez Durán

Querétaro, Qro. Agosto/2012



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Ingeniería en Automatización
(Instrumentación y Control de Procesos)

Monitoreo y Análisis de la Calidad de la Energía Eléctrica en el Laboratorio de Automatización

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Ingeniero en Automatización

Especialidad en Instrumentación y Control de Procesos

Presenta:

Iván José Ramírez Durán

Dirigido por:

M.C. José Luis Avendaño Juárez

SINODALES

M.C José Luis Avendaño Juárez
Presidente

Firma

M.C. Gonzalo Macías Bobadilla
Secretario

Firma

Dr. Mario Trejo Perea
Suplente

Firma

Ing. Ma. Luisa Balderas Escamilla
Suplente

Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz
Coordinador de la Carrera de
Ingeniería en Automatización

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Agosto/2012
México

RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en el monitoreo y análisis de la calidad de la energía eléctrica en el Laboratorio de Automatización de la Facultad de Ingeniería de la UAQ y cuyo objetivo principal fue diseñar una propuesta para la mejora de la eficiencia energética de dicho laboratorio. Para ello se tomó en cuenta todas las instalaciones eléctricas del laboratorio. Para este estudio se usó un Analizador de la Calidad de la Energía (Fluke 43B monofásico y Amprobe DMIII MultiTest trifásico), que fue el instrumento usado para registrar información del monitoreo periódico. Este monitoreo se realizó en tres ocasiones, uno cada semana, dicho análisis registró los parámetros esenciales del sistema: tensión, corriente, potencia, factor de potencia (FP), armónicos, y también la detección de fluctuaciones y transitorios de voltaje y corriente. Por medio del análisis obtenido con estos instrumentos se dedujo el estado en que se encuentra la calidad del sistema y se encontró que existe un FP de 0.69; dato que sirvió para calcular el valor del banco de capacitores para su corrección. Dicho banco se instaló y los resultados no fueron satisfactorios ya que el FP cayó hasta 0.3. De lo anterior se dedujo que no se puede corregir el FP desde el tablero principal del laboratorio sino del transformador que alimenta la Facultad de Ingeniería, ya que el laboratorio de Automatización sólo representa una fracción de lo que alimenta el transformador y que además el interruptor principal al que está conectado es compartido con otros edificios. Por lo tanto y después de varios análisis se llegó a la conclusión de que se requiere un análisis de los circuitos que están conectados al transformador principal de la Facultad y además; dejar un interruptor independiente para cada edificio e instalar un tablero principal y tres tableros secundarios en el laboratorio: Uno para fuerza, otro para control y un tercero exclusivamente para luminarias. También se proponen rutinas de mantenimiento preventivo cuyo objetivo es preservar en condiciones idóneas el sistema eléctrico.

Palabras clave: calidad de la energía eléctrica, eficiencia energética, Análisis de la Calidad de la Energía.

DEDICATORIAS:

A Dios:

Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, por brindarme salud, felicidad y fortaleza para cumplir con este gran objetivo y sobre todo por haberme dado una increíble familia.

Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más.

A mis padres (Rosita y Rafael):

A quien les debo todo en la vida, les agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que han brindado para culminar mi carrera profesional.

Por haberme educado y soportar mis errores.

Gracias a sus consejos, por el amor que siempre me han brindado, por cultivar e inculcar ese sabio don de la responsabilidad.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor. ¡Gracias por darme la vida!, ¡Los quiero mucho!

A mi esposa Coquito y a mi hija Lucecita:

Por ser mi más grandes amores, mi fuente de inspiración y motivación para superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depara un futuro mejor.

A mis hermanos Mariela, Edgar, Omar y Pedro:

Porque siempre he contado con ellos para todo, gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por su apoyo y amistad

¡Gracias!

AGRADECIMIENTOS

A mi Asesor, Maestro y Amigo José Luis:

Por sus incondicional apoyo y comprensión para que este proyecto de vida se cumpliera.

A mis profesores de la carrera:

Por sus valiosos conocimientos adquiridos que serán bases fundamentales para afrontar satisfactoriamente la vida productiva que me espera.

A mis compañeros y amigos:

Por formar parte de mi vida estudiantil, gracias por compartir momentos inolvidables en las aulas y talleres de la escuela que han quedado plasmados en mi vida.

A la Universidad Autónoma de Querétaro en especial a la **Facultad de Ingeniería** que me dio la oportunidad de formar parte de ella.

¡Gracias!

ÍNDICE

Contenido:	Página
RESUMEN.....	1
DEDICATORIAS.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
INDICE.....	4
INDICE DE FIGURAS.....	6
INDICE DE TABLAS.....	7
I. INTRODUCCION.....	8
1.1 Objetivos.....	10
1.2 Justificación.....	10
1.3 Hipótesis.....	11
1.4 Descripción del problema.....	11
1.5 Contenido de la Tesis.....	12
II. REVISION DE LITERATURA.....	14
2.1 Conceptos Básicos sobre la Calidad de la Energía.....	14
2.2 Normatividad sobre la Calidad de La Energía.....	15
2.2.1 Interpretación del estándar IEEE-519.....	15
2.2.2 ANSI C84.1.....	17
2.2.3 Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2004.....	17
2.2.4 Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999.....	17
2.3 Trabajos e Investigaciones Nacionales e Internacionales sobre calidad de energía.....	18
2.4 Seguridad durante las mediciones.....	25
2.4.1 La Norma IEC-1010-1.....	26
2.5 Calidad de la Energía Eléctrica.....	30
2.6 Factor de Potencia (FP).....	31
2.6.1 Potencia Activa (P).....	31
2.6.2 Potencia Aparente (S).....	31
2.6.3. Potencia Reactiva (Q).....	31
2.7 Bajo Factor de Potencia.....	33
2.8 Métodos para medir el FP.....	34
2.8.1 Método del Wáttmetro.....	35
2.8.2 Método del Amperímetro.....	35

2.8.3 Método del Voltímetro.....	36
2.8.4 Método con el Analizador de la Calidad de la Energía.....	37
2.9 Corrección del FP.....	39
III. METODOLOGIA.....	40
3.1 Conocimiento y manipulación del Analizador de calidad de energía Fluke 43B.....	40
3.1.1 Medición de Voltaje, Corriente y Frecuencia.....	41
3.1.2 Medición de Potencia.....	42
3.1.3 Medición de Armónicos.....	42
3.1.4 Medición de Fluctuaciones.....	43
3.1.5 Medición de Transitorios.....	44
3.1.6 Corriente de Arranque.....	45
3.1.7 Resolución de tiempo en modos fluctuación y de registro.....	45
3.1.8 Registro.....	45
3.2 Conocimiento y manipulación del Analizador de calidad de energía AMPROBE DMIII....	48
3.2.1 Medición de Resistencia de devanados ($Low\Omega$).....	48
3.2.2 Prueba de Aislamiento.....	48
3.2.3 Secuencia de Fases.....	48
3.2.4 Prueba de Tierra.....	48
3.2.5 Calidad de la Energía.....	48
3.3 Monitoreo de la Calidad de la Energía en el Laboratorio de Automatización.....	56
3.4 Metodología y plan de trabajo.....	65
3.4.1 Análisis de parámetros Fase A, B y C, 1ª Prueba.....	66
3.4.2 Análisis de parámetros Fase A, B y C, 2ª Prueba.....	67
3.4.3 Análisis de parámetros Fase A, B y C, 3ª Prueba.....	69
3.4.4 Análisis de parámetros instantáneos en el sistema trifásico con AMPROBE.....	71
3.4.5 Cálculos para obtención de la Potencia Reactiva.....	72
3.5 Armado e implementación del banco de capacitores.....	77
3.6 Propuesta de mejora del sistema eléctrico del laboratorio de Automatización.....	78
3.7 Programa de Mantenimiento preventivo en el sistema eléctrico en laboratorio.....	79
IV. RESULTADOS APLICACIONES Y USO DEL TRABAJO.....	81
V. CONCLUSIONES.....	82
5.1 Conclusiones del programa de Mantenimiento preventivo.....	82
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

INDICE DE FIGURAS

Contenido:	Página
Fig 2A Categorías de protección según la norma IEC 1010-1.....	27
Fig 2B Triángulo de Potencias (carga inductiva y capacitiva).....	32
Fig 2C Medición del FP por el método del amperímetro.....	36
Fig 2D Medición del FP por el método del Voltímetro.....	37
Fig 2E Espectro de Frecuencia (Transformada de Fourier).....	38
Fig 3A Menú principal de Analizador Monofásico Fluke 43B.....	41
Fig 3B Medición de Voltaje, Corriente, Frecuencia y Factor de Cresta.....	41
Fig 3C Medición de Potencia.....	42
Fig 3D Medición de Armónicos.....	43
Fig 3E Medición de fluctuaciones (voltaje-corriente).....	44
Fig 3F Detección de Transitorios.....	44
Fig 3G Corriente de arranque en un motor monofásico (127 VCA).....	45
Fig 3H Imagen del Analizador de la Calidad de la Energía FLUKE 43B.....	47
Fig 3I Menú principal de Analizador Trifásico AMPROBE DMIII MultiTest.....	49
Fig 3J Configuración del Analizador Trifásico.....	50
Fig 3K 1ª pagina, configuración Registro.....	52
Fig 3L 2ª página, Anomalías de voltaje habilitado y armónicos.....	53
Fig 3M 3ª página, Anomalías de corriente habilitado y armónicos.....	53
Fig 3N 4ª página, Potencias y Energías.....	53
Fig 3O Voltaje, THD, Frecuencia y Forma de onda en un sistema monofásico.....	54
Fig 3P Corriente, IHD, Frecuencia y Forma de onda en un sistema monofásico.....	54
Fig 3Q Voltaje, Corriente y Potencias (P,S y Q) FP en un sistema monofásico.....	55
Fig 3R Imagen de Analizador Trifásico AMPROBE DMIII MultiTest.....	55
Fig 3S Vista aérea del laboratorio de Automatización.....	56
Fig 3T Centro de carga principal, Baños, pasillo y cubículos	57
Fig 3U Laboratorio L1 (Automatización).....	58
Fig 3V Almacén, cubículo de proyectos y coordinación del laboratorio.....	59
Fig 3W Laboratorio L6 (Máquinas Eléctricas) y pasillo.....	60
Fig 3X Laboratorio L5 (Microsistemas) y cabina de proyectos.....	61
Fig 3Y Laboratorio L2 (Prácticas), L3(Instrumentación), L4 (DeltaV), cubículos y pasillo.....	62
Fig 3Z Sistema eléctrico en análisis.....	63
Fig 3AA Centro de carga primario	64

Fig 3AB Propuesta de mejora del sistema eléctrico del laboratorio.....	79
Fig 3AC Organigrama del mantenimiento en el laboratorio de Automatización.....	80

INDICE DE TABLAS

Contenido:	Página
Tabla 2A Descripción de Normas relacionadas con la calidad de la energía.....	15
Tabla 2B Niveles de Distorsión Armónica de Tensión IEEE-519.....	16
Tabla 2C Niveles de Distorsión Armónica de Corriente IEEE-519.....	17
Tabla 3A Relación tiempo de Registro-Intervalo trazado.....	46
Tabla 3B Voltajes máximo, mínimo y promedio Fase A, B y C en 1ª prueba.....	66
Tabla 3C Corrientes máxima, mínima y promedio Fase A, B y C en 1ª prueba.....	66
Tabla 3D Potencias (Activa, Reactiva y Aparente) en 1ª prueba.....	66
Tabla 3E Factor de Potencia en 1ª prueba.....	67
Tabla 3F Distorsión de armónicos en voltaje y corriente en 1ª prueba.....	67
Tabla 3G Voltajes máximo, mínimo y promedio Fase A, B y C en 2ª prueba.....	67
Tabla 3H Corrientes máxima, mínima y promedio Fase A, B y C en 2ª prueba.....	68
Tabla 3I Potencias (Activa, Reactiva y Aparente) en 2ª prueba.....	68
Tabla 3J Factor de Potencia en 2ª prueba.....	68
Tabla 3K Distorsión de armónicos en voltaje y corriente en 2ª prueba.....	69
Tabla 3L Voltajes máximo, mínimo y promedio Fase A, B y C en 3ª prueba.....	69
Tabla 3M Corrientes máxima, mínima y promedio Fase A, B y C en 3ª prueba.....	69
Tabla 3N Potencias (Activa, Reactiva y Aparente) en 1ª prueba.....	70
Tabla 3O Factor de Potencia en 3ª prueba.....	70
Tabla 3P Distorsión de armónicos en voltaje y corriente en 3ª prueba.....	70
Tabla 3Q Parámetros Trifásicos instantáneos de 3ª prueba.....	71
Tabla 3R Comparación de resultados de 1ª, 2ª y 3ª prueba.....	71
Tabla 3S Fórmulas para la obtención del valor de la Potencia Reactiva.....	72
Tabla 3T Potencia real y aparente de registro con analizador trifásico.....	72
Tabla 3U Datos obtenidos de KVAR's necesarios para corregir el FP.....	76
Tabla 3V Comparación de resultados obtenidos de KVAR's y su valor comercial.....	76
Tabla 3W Datos de sistema sin banco de capacitores.....	77
Tabla 3X Datos del sistema con banco de capacitores.....	78

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una herramienta básica muy utilizada en las actividades industriales, comerciales y domésticas del mundo es la energía eléctrica. Se trata de un producto muy peculiar e indispensable hoy en día, pues debe estar a disposición de los usuarios de una manera permanente, y sin embargo no es posible su almacenamiento. Por lo que se debe enfocar en el ahorro de la energía eléctrica; es decir, en el uso racional y eficiente de éste recurso.

Hoy en día, la energía eléctrica ha pasado a representar un factor marginal en su estructura de costos, debido al incremento paulatino en su precio. Es por ello, que las organizaciones del sector público y privado han tenido que afrontar el reto para disminuir el problema. Una manera, es primero conocer claramente el tipo y la cantidad de energía que se utiliza en cada uno de los procesos que conforman la operación de las organizaciones y determinar las acciones pertinentes para abaratar los costos de producción por concepto de energía, sin afectar la confiabilidad ni la calidad del producto.

El ahorro de energía no puede llevarse a cabo si no se conoce dónde y cómo se está utilizando. En la mayoría de los casos, el establecimiento de este punto de partida requiere de una inspección y de un análisis energético detallado de los consumos y pérdidas de energía que generalmente se le conoce como diagnóstico energético. Por su parte la caracterización de la carga es el paso previo para implementar un sistema de gestión o administración de la energía que permite evaluar el tipo de carga instalada, manifestándose por el tipo de equipos que comprenden el sistema eléctrico, tener un adecuado balanceo de cargas y verificar las condiciones de instalación.

Actualmente es de gran importancia señalar la disponibilidad de los métodos, instrumentos e información, para determinar el nivel de vulnerabilidad de las instalaciones eléctricas a las perturbaciones, incluso para visualizar el

comportamiento del sistema justo en el instante en que ocurren, con el fin de su estudio y proponer solución para evitar su recurrencia.

La capacidad de instrumentos analizadores de la calidad de la energía eléctrica nos permiten efectuar un análisis amplio de las variables involucradas en las variaciones de estado estable, como: tensión, corriente, forma de onda, distorsión total de armónicos (THD), consumos, factor de potencia (FP), etc.; además de efectuar historiales de monitoreo para detectar las perturbaciones del suministro como son: sobre-corrientes, alti-bajos de tensión (Sags&Swells), interrupciones de suministro, etc.

De ésta manera, se tiene que el objetivo del diagnóstico energético y análisis de calidad de energía converge en plasmar y sintetizar la información a manera de reporte, donde se deberán hacer notar las afectaciones del sistema, incluyendo las medidas correctivas técnicas y recomendadas por los organismos dedicados a establecer los parámetros de aceptación y diseño de los sistemas eléctricos apegados a la normatividad vigente. (NOM, IEEE o IEC).

El presente proyecto nace de la preocupación y necesidad que tiene el Laboratorio de Automatización de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Autónoma de Querétaro de contar con un panorama preciso acerca del estado actual de la calidad de la energía en su sistema eléctrico, debido a que las modificaciones efectuadas anteriormente no fueron registradas y no se realizó ninguna actualización acerca del estado del sistema eléctrico; donde se detectaron diversas incongruencias desde el punto de vista del usuario final como ruido eléctrico, caídas repentinas de voltaje, bajo FP, entre otros.

Los alcances de esta tesis servirán de base para iniciar un historial del diagnóstico energético en el laboratorio de Automatización; el cual puede ser la pauta para efectuar un diagnóstico energético en edificios correspondientes a la FI, cuya finalidad principal es mejorar la calidad energética que poseen y de acuerdo a ello plantear estrategias y/o proyectos para hacer un uso eficiente de

la energía eléctrica y finalmente, plantear la posibilidad de usar sistemas de energías renovables para su funcionamiento.

1.1 Objetivos.

Objetivo General:

- Diseñar una propuesta para la mejora de la eficiencia energética en el laboratorio de la carrera de Automatización.

Objetivos Específicos:

- Monitorear la calidad de la energía eléctrica existente en el laboratorio de la carrera de Automatización.
- Analizar la calidad de la energía del laboratorio de la carrera de Automatización.
- Proponer un plan de mantenimiento preventivo en el sistema y equipo eléctrico presente en el laboratorio de la carrera de Automatización.

1.2 Justificación.

El Laboratorio que se pretende estudiar tiene alrededor de dos décadas en funcionamiento. En 2009 y 2010 se efectuaron modificaciones en sus instalaciones y sistema eléctrico, por lo tanto, con base a ello se busca estandarizar la documentación, procedimientos de aplicación y mantenimiento con el fin de poseer una mejor calidad y ahorro de energía eléctrica.

Por consiguiente, en el presente trabajo se persigue analizar el sistema eléctrico actual, monitoreando periódicamente su comportamiento con la ayuda de dos analizadores de la calidad de la energía (un monofásico y un trifásico) para comprobar que la medición del FP coincide en ambos casos.

Posteriormente, a través de los resultados arrojados, se pretende dar una posible solución para que la calidad de la energía eléctrica que exige el

laboratorio sea suministrada de manera eficiente al usuario final, que es la comunidad estudiantil y los docentes de la FI de la UAQ.

La aplicación de este proyecto servirá como un inicio para la mejora del funcionamiento del sistema eléctrico de la FI de la UAQ, ya que la mayoría de los edificios cuentan con instalaciones eléctricas antiguas y con luminarias que actualmente se consideran obsoletas.

1.3 Hipótesis.

“Mediante la aplicación de un método para el monitoreo y el análisis de la calidad de la energía eléctrica es posible proporcionar una solución para mejorar el factor de potencia en los laboratorios de la carrera de Automatización obteniendo una mejor calidad y una mejor eficiencia energética”.

1.4 Descripción del problema.

El Laboratorio de Automatización de la FI de la UAQ es utilizado para llevar a cabo las aplicaciones prácticas de los conceptos teóricos de las materias impartidas en la misma facultad, correspondientes a la carrera de Ingeniería en Automatización. Esto permite a los estudiantes mejorar sus habilidades prácticas de los conceptos analizados en las clases teóricas.

La FI a través de la implementación de mejoras innovadoras en sus aulas y laboratorios busca una mejor eficiencia energética y un mejor confort visual.

Actualmente éste laboratorio no cuenta con un dato preciso acerca de la calidad de la energía eléctrica existente en sus aulas y talleres de trabajo; siendo éste una pieza clave para adentrarse en el objetivo fundamental de ésta investigación.

El principal problema enfocado en la calidad de la energía, se hace notar cuando el alumnado o el docente de la FI efectúa alguna práctica de materias correspondientes al plan de estudios establecido; ya sea de electrónica, electrónica avanzada, electrónica de potencia, análisis de señales, entre otras; que ocupan dispositivos de medición muy precisos y delicados que necesitan en la medida de lo posible que la señal eléctrica sufra de la menor cantidad de perturbaciones; de lo contrario difícilmente se puede obtener el resultado o la medición esperada. Un factor que altera la calidad de la energía en el sistema eléctrico es, conectar equipos electrónicos de efecto capacitivo / inductivo que como consecuencia modifican el FP.

De acuerdo a las remodelaciones efectuadas en el laboratorio de Automatización para mediados de 2009 y principios de 2010, se instalaron 2 centros de carga, donde cada uno controla la mitad del laboratorio respectivamente. Los circuitos utilizados en el laboratorio constan de líneas monofásicas a 110 Vca y trifásicas 220Vca. Cada área de trabajo cuenta por separado con un circuito específico para contactos y otro para el sistema de iluminación. De esta manera se evita afectar a otras áreas de trabajo en caso de que se presente algún corto circuito.

Anteriormente no se contaba con información alguna referente al sistema eléctrico de éste laboratorio y por lo tanto no existían documentos referentes a dicha área. Entonces, a través de los planos y diagramas eléctricos realizados recientemente se busca implementar la documentación necesaria para su correcta aplicación y mantenimiento.

1.5 Contenido de la Tesis.

Para lograr lo antes mencionado, el trabajo se estructura en cinco capítulos, en el *primero* se redacta todo lo que conlleva la introducción, como los objetivos, hipótesis, la justificación y la descripción del problema; en el *segundo*, todo lo referente a los antecedentes relevantes a la investigación, donde se efectúa una recopilación histórica de algunos trabajos y proyectos enfocados al ahorro de energía eléctrica (revisión de literatura); en el *tercer*

capítulo se describe el método que se llevará a cabo para el monitoreo y análisis de la calidad de la energía, así como la descripción del adecuado uso del analizador de la calidad de la energía eléctrica “Fluke 43B” (monofásico) y “Amprobe DMIII MultiTest” (trifásico) y se plantea una solución para mejorar el FP existente, en el desarrollo del *cuarto* capítulo se plasman los resultados obtenidos de acuerdo a los datos arrojados por el sistema implementando el banco de capacitores adquirido, sus posibles aplicaciones y uso del proyecto; y por último, en el *quinto* capítulo se redactan las conclusiones del trabajo donde se plasman los resultados comparando los resultados antes y después de conectar el banco de capacitores, cuyo objetivo es compensar la demanda de potencia reactiva que conlleva al incrementar el FP.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Conceptos básicos sobre la Calidad de la Energía.

En México, el suministro de energía eléctrica a los usuarios está regido por la ley del servicio público y su reglamento, en donde se especifican los límites superior e inferior del voltaje de suministro en el punto de entrega al usuario. La entrega de voltajes fuera de estos límites se considera anomalía o deficiencia del suministro (Enríquez, 2006). Históricamente, la calidad de la energía no ha sido un problema mayor, hasta hace poco tiempo, en forma genérica, se consideraba que excepto por la continuidad, el suministro para la mayoría de los usuarios de la energía eléctrica era completamente satisfactorio. Sin embargo, el incremento masivo que se ha tenido en la utilización de equipo basado en electrónica de potencia ha creado un doble problema para el suministrador:

1. Un equipo que posee electrónica de potencia es muy sensible a las variaciones rápidas de voltaje como las deficiencias del voltaje suministrado.
2. Este tipo de equipo genera distorsión armónica y, bajo ciertas condiciones, puede deteriorar la magnitud y forma de onda del voltaje suministrado, a tal grado que sea inadecuado para la mayoría de los usuarios que comparten esa misma fuente de suministro.

Por lo anterior, el conocimiento de las características de la calidad de la energía de los sistemas eléctricos del suministrador y del usuario es esencial para establecer acciones económicas, tanto por parte del suministrador como del usuario, que permitan el control de los efectos no deseables.

Los disturbios en el sistema fueron un factor en el diseño de sistemas de alimentación a finales de los 60's y 70's. Consecuentemente, muy pocas normas tratan con la definición de calidad de energía, pero se ha trabajado para desarrollar normas en ésta área.

2.2 Normatividad sobre calidad de energía

Las normas significativas con respecto a la calidad de la energía se muestran en la Tabla 2A:

Perturbación	Categoría de normalización.	de Estándares IEEE	Estándares IEC
Tensiones y corrientes armónicas(resonancia TIF y muescas)	Ambiente/compatibilidad	Ninguna	IEC 61000-2-1/2
	Emisión/Limites de inmunidad.	IEEE 519	IEC 61000-3-2/4 (555)
	Pruebas y medidas.	Ninguna	IEC 61000-4-7/13
	Instalación/Mitigación	IEEE 519 ^a	IEC 61000-5-5
	Componente térmica	IEEE/ANSI C57.110	Ninguna
Nivel de Tensión (Regulación desbalance, fluctuaciones y parpadeo)	Ambiente/compatibilidad	IEEE 141, 241, 1841	IEC 38/BTTF 68-6
	Emisión/Limites de inmunidad.	ANSI C84.1	IEC 61000-3-3/5 (555)
	Pruebas y medidas.	Ninguna	IEC 61000-4-1/14/15
	Instalación/Mitigación	IEEE 141, 241, 1100	IEC 61000-5-X
	Parpadeo de luz	IEEE 141.519	IEC 868 (61000-4-15)
Huecos de Tensión.	Ambiente/compatibilidad	IEEE 1250	IEC 61000-2-4
	Emisión/Limites de inmunidad.	IEEE P 1346	IEC 61000-3-3/5 (555)
	Pruebas y medidas.	Ninguna	IEC 61000-4-1/11
	Instalación/Mitigación	IEEE 446, 1100, 1159	IEC 61000-5-X
	Apertura de fusible	IEEE 242 (Protección)	IEC 364
Transitorios y sobre tensiones.	Ambiente/compatibilidad	IEEE/ANSI C62.41	IEC 61000-2-5
	Emisión/Limites de inmunidad.	Ninguna	IEC 61000-3-X
	Pruebas y medidas.	IEEE/ANSI C62.45	IEC 61000-4-1/2/4/5/12
	Instalación/Mitigación	C62 Series, 1100	IEC 61000-5-X
	Ruptura de aislamiento	Ninguna	IEC 664

Tabla 2A. Descripción de las normas relacionadas con calidad de energía

2.2.1 Interpretación del estándar IEEE-519

En 1981, la IEEE elaboró el estándar IEEE-519 titulado “Prácticas Recomendadas y Requerimientos para el control de armónicas en sistemas de potencia”. El documento establece los niveles de distorsión de tensión aceptables en sistemas de distribución al mismo tiempo que establece límites en la distorsión armónica de corriente que los usuarios pueden inyectar al

sistema. A continuación se presenta una explicación simplificada sobre la aplicación de este estándar desde el punto de vista del usuario.

Las normas estadounidenses con respecto a los armónicos han sido agrupadas por la IEEE en la norma 519, que hace referencia no sólo al nivel absoluto de armónicos producido por una fuente individual sino también a su magnitud con respecto a la red de abastecimiento.

Se debe tomar en cuenta que la IEEE-519 está limitada por tratarse de una colección de recomendaciones prácticas que sirven como guía tanto a consumidores como a distribuidores de energía eléctrica.

El estándar IEEE-519 establece límites para los niveles de distorsión de tensión para las compañías suministradoras de energía. Estos límites están en función del nivel de tensión de suministro tal y como se muestra en la Tabla 2B.

Tensión	Armónicas Individuales	THD(%)
V<69kV	3.0	5.0
69 kV <V<161kV	1.5	2.5
V>161kV	1.0	1.5

Tabla 2B. Niveles de distorsión de tensión IEEE-519

El estándar también establece límites para los niveles de distorsión de corriente que puede ser inyectada por parte de los usuarios. Estos límites se establecen para cada una de las armónicas individuales así como para la distorsión de demanda total (TDD) y están en función del nivel de corto circuito en el punto de suministro y del valor RMS de la corriente fundamental correspondiente a la demanda máxima promedio de los últimos doce meses (I_{LL}). Estos niveles se visualizan en la Tabla 2C.

I _{cc} /IL	TDD _h (%) (h<11)	TDD _h (%) (11<=h<17)	TDD _h (%) (17<=h<23)	TDD _h (%) (23<=h<35)	TDD _h (%) (35<=h)	TDD(%)
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 a 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 a 100	10	4.5	4	1.5	.7	12
100 a 1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Tabla 2C, Niveles de distorsión de corriente IEEE-519

2.2.2 ANSI C84.1

Las variaciones de tensión en estado estable son definidas por la norma ANSI C84.1. Para tensiones de servicio hasta de 600 V, se espera que la tensión normal de servicio esté dentro de +/- 5% de la nominal, con variaciones de +5.8% hasta -8.3% para periodos cortos.

La norma ANSI C84.1 recomienda que “los sistemas de suministro eléctrico deberán estar diseñados y operar para limitar el desbalance máximo de tensión de 3% cuando se registre en el medidor de la empresa eléctrica, bajo condiciones sin carga.”

2.2.3 Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2004.

Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales. Esta Norma Oficial Mexicana tiene como finalidad establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado con que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes; con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica y contribuir a la preservación de recursos energéticos y la ecología de la Nación.

2.2.4 Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999.

Esta Norma Oficial Mexicana tiene como objetivo establecer las características de iluminación en los centros de trabajo, de tal forma que no sea un factor de riesgo para la salud de los trabajadores al realizar sus actividades. La presente Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo.

2.3 Trabajos e investigaciones nacionales e internacionales acerca de la calidad de la energía.

En la FI de la UAQ se han realizado algunos trabajos relacionados con el ahorro y calidad de la energía eléctrica, por ejemplo:

(Calixto, 1996), nos habla acerca de "*La corrección del bajo factor de potencia (FP) en la industria*", en el cual se propone como solución añadir un banco de capacitores en una empresa, basándose en el cálculo por el método de triángulo de potencias y se reafirma a través del método gráfico (por tabla); donde concluye que el tamaño del banco de capacitores es muy importante en las instalaciones eléctricas con bajo FP, pues de esto depende la eficiencia con que se lleva a cabo la transferencia de energía; además indica que un bajo FP está directamente relacionado con el costo de la energía eléctrica.

Por otra parte (Flores, 1996) detalla sobre el "*Análisis del Factor de Potencia*", y se enfoca principalmente en conceptos fundamentales de electricidad como son resistencias (R), capacitores (C), inductancias (L), mediciones eléctricas monofásicas y trifásicas con Wáttmetro, problemas de bajo FP, funcionamiento e instalación del banco de capacitores. Su trabajo lo concluye mencionando que al instalar un banco de capacitores para incrementar el FP mayor a 0.9, se evita la sanción por parte de Comisión Federal de Electricidad (CFE), los cuales entregan una potencia reactiva constante sin importar las variaciones del sistema eléctrico, ayudando a: disminuir pérdidas por el efecto joule (calentamiento), se incrementa la capacidad de conducción de los cables, aumenta la capacidad de potencia disponible en transformadores, se mejora la regulación de voltaje en los cables y principalmente, instalar el banco de capacitores adecuado resulta una buena inversión que se recupera con la bonificaciones de CFE.

Como punto importante, (Trejo, 2005) realiza un estudio sobre el "Ahorro y análisis del consumo y calidad de la energía eléctrica" en este laboratorio; donde utiliza un analizador de calidad de la energía eléctrica que captura las señales de voltaje, corriente, potencia, FP, calcula los armónicos y sus fases mediante la transformada de Fourier.

De acuerdo con los resultados obtenidos se prosigue a analizar los datos más relevantes y se decide instalar una tarjeta de adquisición de datos en el bus ISA de la PC. Esta tarjeta adquiere los datos de corriente y tensión que existe en el sistema, los procesa a través de un programa donde se establece el factor de potencia deseado (0→1), posteriormente envía la señal de 5V a una etapa de potencia para activar los relevadores y estos a su vez activen los diferentes bancos de capacitores para mantener el FP lo más cercano a 0.9. Otro aporte de este trabajo es que el usuario tenga una base de datos del consumo de energía eléctrica y permita tomar decisiones de control sobre el FP y sobre la demanda máxima. A través de diversas pruebas se logró mejorar el FP de 0.17 a 0.85; y de consumir 10 VAR's, se consumen 2.9 VAR's al final.

También (Buenrostro, 2007) se enfoca en el *“Estudio de la calidad de la energía eléctrica en una empresa con una carga altamente no-lineal”*, estudiando directamente el problema en una institución financiera que utiliza un gran número de computadoras como herramienta de trabajo. El estudio implica conocer los registros de CFE, monitoreo de cargas, medición de lugares de gran concentración de cargas no lineales. Se aplica la norma del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) referente al estándar de la distorsión de armónicos para realizar el diagnóstico y pensar en dar soluciones al problema existente. Culmina su trabajo concluyendo que para disminuir los armónicos se recomienda modificar los circuitos y los sistemas electrónicos para reducir el impacto, bloquear los armónicos con filtros. Algunos problemas de armónicos son originados cuando se adiciona un equipo nuevo originando cargas desbalanceadas, mala conexión a tierra, problemas con el conductor neutro. Otra solución para reducir los problemas de armónicos es la implementación de transformadores K para tableros de subdistribución (cargas-no lineales).

Se encontró que (Martínez, 2008) con su trabajo: *“Administración y ahorro de energía eléctrica”* nos da un panorama general acerca de la importancia que tiene el recibo que proporciona CFE, ya que dicho recibo contiene un panorama general y detallado el consumo de energía eléctrica que

utilizamos mensualmente y el precio de cada uno de los valores equivalentes a: kilowatt/hora (kwh), FP, Factor de carga (FC), tarifas, entre otros. También se adentra en temas relacionados con multas y bonificaciones por alto o bajo FP por parte de CFE, así como los problemas que causa un bajo FP; también; deduce que no se puede controlar lo que no se puede medir, las mediciones carecen de utilidad sin un análisis competente, se requieren acciones para alcanzar resultados. Dentro de la empresa, se obtuvo un ahorro de energía modificando el procedimiento de encendido y apagado de alumbrado, se cambiaron lámparas de mayor eficiencia, se realiza la implementación de un generador de 500 kw para horario punta, donde se ahorra un 30% de energía. Además se implementa un nuevo programa de mantenimiento en chequeo de válvulas distribuidoras en compresores para detección de fugas y corregirlas.

Un trabajo muy interesante realizado en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) por (Benítez, 2009), se enfoca en un “*Proyecto de Ahorro de energía para un salón de clases implementando un control en el sistema de iluminación*”, donde propone la implementación de equipos de nueva tecnología para un sistema de iluminación de un salón de clases, el cual cubre tres aspectos importantes que crean un sistema de iluminación eficiente y ahorrador de energía eléctrica; estos aspectos son:

- La cantidad de iluminación requerida para proporcionar los niveles adecuados.
- La calidad de iluminación que involucra el confort humano.
- Ahorro de energía eléctrica.

Finalmente en el trabajo se demuestra que después de efectuar diferentes pruebas en el salón prototipo se dedujo que el sistema de iluminación instalado no proporciona el nivel de iluminación adecuado para que haya un confort visual, además de que su consumo es muy alto debido al equipo instalado y al mal control del sistema.

La propuesta de solución cuenta con equipos de moderna tecnología para aumentar la eficiencia y reducir el consumo de energía eléctrica. Al

cambiar las luminarias por unas de mayor eficiencia, se obtendrá un ahorro considerable de energía, permitiendo así la recuperación de la inversión a mediano plazo.

Una aportación relevante acerca del tema realizada por (Muñoz, 2008) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), trata acerca del *“Estudio de calidad y ahorro de energía eléctrica en las instalaciones de los edificios Bernardo Quintana, Valdez Vallejo, División de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (DIME) y 12 del Instituto de Ingeniería”*, que consiste principalmente en aplicar los conceptos base relacionados con la calidad de la energía, métodos de medición, caracterización, análisis y diagnóstico energético en las instalaciones correspondientes a los edificios mencionados, estableciendo las medidas correctivas a los problemas detectados.

De igual manera, se busca establecer medidas de ahorro y uso eficiente de la energía mediante la caracterización de la carga, cuantificación e identificación del equipo destinado a la iluminación en las instalaciones correspondientes a dichos edificios; esto con el fin de que se consiga rendimiento económico en materia de energía para las instalaciones en estudio.

Como punto importante en relación con el presente trabajo se destaca la forma de visualizar las alternativas y medidas importantes acerca del tema de ahorro de energía eléctrica, tal es el caso de los sistemas de cogeneración, uso de energías renovables, diseño bioclimático, alternativas para aumentar la eficiencia de los sistemas de acondicionamiento ambiental, incorporación de tecnologías en iluminación y motores logrando beneficios directos sobre costos de operación y mantenimiento e indirectos en un estrato social contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

Una Investigación muy interesante realizada en Grecia por (Dounis, 2008), trata acerca de *“Los sistemas avanzados de ingeniería en control de la energía y la gestión de la comodidad en un edificio escolar”*, donde se definen diversos problemas que se enfocan principalmente en temas relacionados con: la energía, la comodidad y el control. Así mismo, se presentan brevemente los

sistemas de control convencionales en los edificios, sus ventajas y desventajas. También, se explica cómo el desarrollo de sistemas inteligentes de control ha mejorado la eficiencia de los sistemas de control para la gestión de medio ambiente en interiores incluyendo las preferencias del usuario. Por lo tanto, este documento presenta una exploración de los sistemas de control en los edificios. Se presta especial atención en el diseño de un agente basado en sistemas de control inteligente en ambientes de construcción. En particular en un sistema multi-agente de control (MACS) utilizando TRNSYS / MATLAB. Los métodos de aplicación para sistemas multi-agente de control son la Lógica Difusa, Redes Neuronales, Sistemas Neuro-Difusos, Markov, Cadena Modelos, Estados autómatas finitos, autómatas de aprendizaje, entre otros. Los resultados de las simulaciones muestran que el MACS gestiona con éxito las preferencias del usuario para el confort térmico e iluminación, la calidad del aire interior y la conservación de la energía.

De igual forma, (Dimoudi y Kostarela; 2009) trabajaron en el *“Monitoreo del potencial de conservación de la energía en edificios de escuelas en una zona climática de Grecia”*, donde se evalúa el rendimiento energético, basado en datos de seguimiento de edificios escolares en una zona climática de Grecia, una región con la más baja temperatura ambiente durante el invierno. También se demuestra, a través de una simulación los estudios, el potencial de conservación de la energía de los edificios escolares de la región. El trabajo concluye que el diseño energético de los edificios escolares tiene múltiples beneficios; como es el ahorro de energía, la creación de mejores condiciones interiores de confort, que son necesarias para el buen funcionamiento del sistema educativo y para la reducción de la contaminación atmosférica.

Por otra parte, la correcta regulación de los parámetros que influyen en las condiciones internas de las aulas de clases, como la falta de confort térmico y las condiciones de calidad del aire reducen la capacidad de aprendizaje de los alumnos. Por lo tanto, la estrategia de una energía eficiente en los edificios de la escuela tiene un doble objetivo: conservación de la energía y la mejora de las condiciones climáticas internas de las aulas.

Al mejorar la calidad térmica disminuye el consumo de energía por medio de un buen aislamiento en el marco de apoyo, es decir, aumentando el espesor de la pared de aislamiento disminuyen las necesidades de calefacción y, por lo tanto, reduce el consumo de energía hasta el 5,58%, una solución que se recomienda para los nuevos y viejos edificios sin aislamientos.

Es conveniente mencionar que en Europa, las Instituciones que han trabajado al respecto son: en cuanto a normalización, el Instituto Alemán de Ingenieros (VDI) y el Instituto Británico de Normalización (BSI), (Enríquez, 2006). En el ámbito nacional, indudablemente las exigencias de los consumidores de energía eléctrica han obligado a las empresas de este servicio a prestar mejor atención y a buscar soluciones para los problemas de las variaciones de voltaje. Para entender estas exigencias, Comisión Federal de Electricidad (CFE), Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), están emprendiendo acciones de mejora y modernización de los procesos que se llevan a cabo para brindar un eficiente servicio eléctrico. Buena parte de estas mejoras se encuentran en los equipos de distribución, punto de enlace entre los usuarios y el sistema eléctrico de energía.

Otro punto de vista interesante arrojado por (Ellenbogen, 2010), presenta los antecedentes, la metodología de la fase 3 de un proyecto piloto denominado "A la carga" en Nueva York diseñado para determinar la viabilidad económica de corregir el Factor de Potencia en distintos escenarios (industria, comercio, vivienda) como método para mejorar la eficiencia energética y reducir las pérdidas en el sistema eléctrico dando como resultado un ahorro sustancial en todo el sistema con un retorno de inversión de 2 a 4 años dependiendo del tamaño del proyecto. Este proyecto no aumenta significativamente la cantidad de armónicos presentes en el sistema de servicios públicos y debe estar basado en la carga y sólo debe operar cuando sea necesario, ya que el exceso de capacidad conectado al sistema de servicios públicos puede ser tan perjudicial como el exceso de inductancia. De acuerdo a lo visto con los diferentes ambientes donde se midió el FP, se deduce que se deben modificar las normas para que las nuevas máquinas industriales y comerciales estén diseñadas con un alto FP como parte de los criterios de diseño.

Se hace hincapié en el trabajo realizado por (López, 2010) con su tesis magistral “Filtro Activo Paralelo para Compensación de Factor de Potencia y Distorsión Armónica en Aplicaciones Industriales” donde plantea una solución a los problemas de la calidad de la energía producidos por rectificadores a base de tiristores y diodos usados ampliamente en variadores de velocidad, UPS, cargadores de baterías y fuentes conmutadas, que son cargas altamente contaminantes para las redes de suministro eléctrico provocando que la actual cultura de ahorro y mejoramiento de la eficiencia de conversión energética industrial, promovida por empresas de generación y distribución de energía eléctrica como ABB, SCHNEIDER, TOSHIBA y MITSUBISHI ha despertado un gran interés académico que puede evidenciarse con la aparición reciente de publicaciones acerca de técnicas de control de filtros activos de potencia, modelado y más aún con el estudio de los convertidores multinivel. Esta solución consiste en instalar filtros activos monofásicos cuya finalidad principal es la compensación del FP y distorsión armónica con presencia simultánea de sistemas monofásicos a niveles inferiores al 15%; esto permite asegurar que un producto de este tipo regula el uso de carga computacional a nivel residencial e industrial, así como corregir la problemática originada por dispositivos de electrónica de potencia.

También se tiene como trabajo interesante (López, 2011) el Estudio de Eficiencia Energética y Proyecto de Readecuación de la “Fabrica de Medias Gardenia” ubicada en Quito, Ecuador. Este trabajo se centra en el desarrollo del estudio y el análisis de una evaluación energética de dicha fábrica; que consiste en el estudio de mediciones para la determinación de la demanda actual y parámetros eléctricos de acuerdo con la regulación CONELEC 004/01, “Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución” (voltaje, armónicos de voltaje y de corriente, factor de potencia, etc.), durante un periodo de 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos de la fábrica en estudio, mediante la utilización de analizadores de red de bajo voltaje.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se dedujo que casi todo cumple con la norma del CONELEC-004/01, excepto el Factor de Potencia que se encuentra por debajo del mínimo valor establecido (0.92), el FP promedio medido es de 0.85; una vez realizado el estudio técnico se concluyó que los

bancos de condensadores calculados se instalarían en el lado de baja de los transformadores; el ahorro que se obtendría por no pago de la penalización sería de 88 815 USD/año, con una inversión de 5277 USD IVA incluido, con un periodo simple de retorno de 0.6 años. Por otro lado se propone de manera urgente la construcción y funcionamiento de una cámara de transformación, para evitar que el transformador de 145 KVA siga sobrecargado evitando posibles daños en el transformador inclusive que este se queme. La importancia de abordar con urgencia éste tema de la calidad del suministro de la energía deriva de las estimaciones que indican que para los próximos años, el número de cargas sensibles conectadas a los sistemas eléctricos será muy grande. Y esto no será exclusivo de consumidores domésticos o comerciales, por el contrario, también se verán inmersos en éste problema los consumidores industriales y las propias compañías generadoras y distribuidoras de energía eléctrica, debido principalmente a la aplicación y utilización de los avances tecnológicos que ofrece la electrónica de potencia.

2.4 Seguridad durante las mediciones.

Antes de realizar las mediciones se debe conocer los riesgos que ellas pueden involucrar, los hábitos de seguridad y las normativas vigentes para los mismos. Los riesgos se dividen en dos categorías:

Errores del operador:

- ✓ Probar medir tensión mientras las puntas de prueba están en los conectores de corriente, dando por resultado un corto circuito. Protección: La medición debe realizarse a través de fusibles de alta energía.
- ✓ Contacto con fuente de poder de AC cuando esté en modo de resistencia o continuidad, prueba de diodos o capacidad. Protección: debe usarse equipamiento con las puntas protegidas.
- ✓ Usar el multímetro por sobre la tensión nominal, por ejemplo en circuitos de media tensión.

Consecuencias del entorno eléctrico:

- ✓ Shock eléctrico por contactos accidentales con componentes sin aislamiento “partes vivas”. Protección: doble aislamiento, conectores de entrada apartados, dedos aislados sobre las puntas de prueba.

Dentro de los hábitos mínimos de seguridad que se deben tomar antes de efectuar los chequeos podemos mencionar:

- ✓ Ningún equipo de medición es seguro cuando se usa incorrectamente.
- ✓ Use los equipos de medición dentro de sus rangos de operación.
- ✓ Use los equipos de medición diseñados para circuitos de potencia sin problema en los circuitos de baja potencia.
- ✓ Use fusibles de reemplazo aprobados por el fabricante.
- ✓ Use puntas de prueba de alta calidad y con clasificación de seguridad marcada.
- ✓ Cuando sea posible se debe trabajar sobre circuitos no energizados.
- ✓ Se debe seguir los procedimientos apropiados.
- ✓ Usar herramientas en buenas condiciones y el equipo de protección personal (lentes de seguridad, herramientas aisladas, guantes aislados, zapatos dieléctricos, etc.).
- ✓ No trabajar solos.
- ✓ Utilizar técnicas de medición seguras.
- ✓ Realizar las mediciones con una sola mano, dejando la otra en el bolsillo, asegurando que el camino de menor impedancia nunca atraviesa la línea del corazón.
- ✓ Siempre se debe conectar primero la punta de prueba de referencia, luego conectar la fase.
- ✓ Al terminar se debe seguir el procedimiento inverso, primero desconectar la fase y luego la referencia.

2.4.1 La norma IEC 1010-1

Además de las descargas eléctricas hay muchas otras fuentes de transitorios, como son la conmutación de circuitos electrónicos de potencia, las cargas capacitivas e inductivas, las sobre-tensiones creadas cuando se produce una avería local en la instalación y los cambios que introducen los

servicios públicos en determinadas líneas eléctricas. El transitorio por si solo puede no tener suficiente energía para constituir un peligro mortal pero el hecho de que normalmente sobrepase la tensión nominal, puede contener consecuencias devastadoras.

En otras palabras, si se hace una medición sobre una línea de un sistema a 220V, hay que asegurarse de que si se produce un transitorio de tensión, el instrumento podrá resistirlo y reducir al mínimo el riesgo para el usuario.

Una de las principales características de la norma IEC 1010-1 es la protección contra las descargas originadas en estos transitorios de alta tensión. La IEC ha establecido una norma sobre requisitos de seguridad aplicable a equipos eléctricos de medición y control; esta norma es la IEC 1010-1, que sustituyó a la IEC 348. Parte de la IEC 1010-1 se refiere a las categorías de protección contra sobre-tensiones en las instalaciones. Cuanto más próximo está el punto de medida a una fuente de posibles transitorios, más elevada deberá ser la categoría de protección contra sobre-tensiones. Se puede dividir a los sistemas eléctricos en cuatro categorías como se ilustra en la Figura 2A:

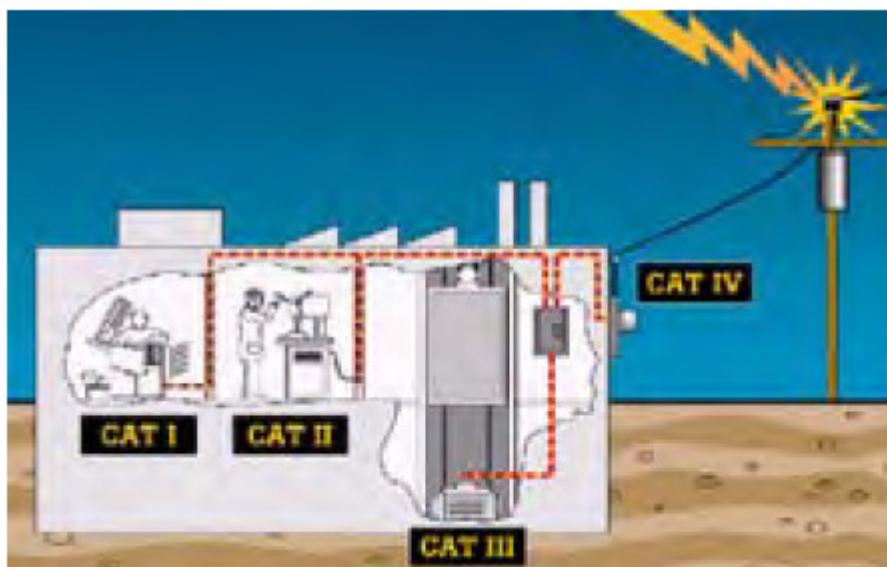


Figura 2A. Categorías de protección según la norma IEC 1010-1

La IEC 1010-1 sólo se refiere a baja tensión (hasta 1000V.); la alimentación industrial, en cambio, suele efectuarse en media tensión, y esta porción del sistema no está cubierta por la norma IEC 1010-1.

La categoría de la instalación es muy diferente del concepto de nivel de tensión. Es posible que la tensión de corriente continua en una fotocopiadora sea mayor que la tensión de corriente alterna en una rama de la instalación de una industria, pero la energía disponible y el potencial para explosiones eléctricas es muy diferente en ambos casos. La categoría se refiere con el nivel de corriente de cortocircuito disponible en ese punto.

a) Categoría IV.

Los equipos de categoría IV se utilizan en instalaciones ubicadas fuera de la planta y el servicio de entrada, entre el medidor y el tablero principal, para líneas aéreas de entrada al edificio y en líneas subterráneas de acceso al tablero.

Para la determinación exacta de cada categoría se debe estudiar cada locación en particular. Las líneas subterráneas se consideran de Categoría IV debido a que las descargas atmosféricas, cuando viajan a través de la tierra, buscan el camino de menor impedancia.

b) Categoría III.

Los equipos de esta categoría se utilizan en instalaciones fijas y cuando la fiabilidad y disponibilidad de los mismos están sujetas a requisitos especiales. Por ejemplo los interruptores de las instalaciones de distribución fijas y los equipos de uso industrial con conexión permanente al sistema de distribución (motores, sistemas de iluminación, controladores, centros de carga, etc.).

Son instalaciones típicamente separadas desde la entrada de servicio por al menos un nivel simple del transformador de aislamiento. Las líneas trifásicas siempre se consideran de categoría III o superiores. No se incluyen en esta categoría conexiones de cargas “enchufables”, excepto en el caso de

equipamiento de gran consumo con conexiones cortas a la entrada de servicio, por ejemplo un motor de gran capacidad o un circuito de iluminación general.

Del lado de la línea de un tablero con alimentación trifásica o monofásica) es categoría III. Del lado de las cargas, interruptores para 15/20/30 A pueden considerarse como categoría III (dado que están permanentemente instalados) o de categoría II (debido a la protección adicional que ofrecen los interruptores).

c) Categoría II.

Los equipos de categoría II son los equipos utilizados para su uso en instalaciones fijas o cargas enchufables, como por ejemplo los electrodomésticos y las herramientas portátiles. También se incluyen en esta categoría a todas las salidas a más de 10 metros desde categoría III y todas las salidas a más de 20 metros desde categoría IV. Las distancias especificadas son solo referencia. Toda energía impulsiva es función del tiempo (duración) y de la distancia (impedancia de líneas y sistemas), y están incluidas simplemente para enfatizar que la norma está construida sobre la base de transitorios, y estos viajan a través de las impedancias incluidas en los cables y en el sistema.

d) Categoría I.

Los equipos de categoría I están destinados a circuitos en los que se adoptan medidas para limitar las sobretensiones transitorias a un nivel adecuadamente bajo. Son ejemplos de estos equipos los circuitos electrónicos con protección electrónica previa.

Interpretación de las categorías:

- Cuanto más cerca esté la fuente de poder, mayor será el peligro.
- Cuanto mayor sea la corriente de corto circuito disponible, mayor será la categoría.
- Transitorios de gran energía son mucho más peligrosos.

- Cuanto mayor sea la impedancia de la fuente, menor será la categoría. Los transitorios son atenuados por la impedancia del sistema así como ellos viajan desde el punto donde fueron generados.

2.5 Calidad de la Energía Eléctrica

La mayoría de los equipos son capaces de operar satisfactoriamente con variaciones relativamente amplias de las magnitudes del suministro. Sin embargo, desde el principio de los 90`s se han agregado al sistema eléctrico un elevado número de equipos sensibles a estas variaciones, provocando que los disturbios en el sistema que se habían considerado normales durante muchos años, ahora causan desórdenes en el sistema eléctrico con la consecuente pérdida de confiabilidad en la operación segura de los equipos, que puede traducirse en retrasos en la producción.

La definición de la “calidad de la energía eléctrica” es algo indeterminado. Pero que se puede definir como una ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje rms suministrado al usuario; esto concierne a la estabilidad de voltaje, frecuencia y continuidad del servicio eléctrico, (Enríquez, 2006).

El objetivo del estudio de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para identificar y corregir los disturbios y variaciones en los parámetros eléctricos en el lado del usuario y proponer soluciones para corregir las fallas que se presentan en el lado del sistema de las compañías suministradoras, para lograr con ello un suministro de energía eléctrica con calidad.

El suministrador, usualmente atribuye los problemas a las anomalías en la instalación del usuario, mientras que el usuario, normalmente asocia los problemas a las diferencias en las redes del suministrador. En la mayoría de las veces ambos olvidan las limitaciones que tienen los equipos electrónicos sensibles para operar en el ambiente de las redes eléctricas tradicionales de ambos. Por lo anterior, el conocimiento de las características de la calidad de la

energía de los sistemas eléctricos del suministrador y del usuario en esencial para establecer acciones técnicas y económicas, tanto por parte del suministrador como del usuario, que permitan el control de los efectos no deseables en cualquier parte del sistema.

2.6 Factor de Potencia.

El problema de un bajo FP está relacionado con la calidad del suministro de la energía eléctrica, por los conceptos de las variaciones de voltaje y las pérdidas en las instalaciones. Por supuesto que alrededor de esto se tienen implicaciones económicas importantes, su fundamento se encuentra en los conceptos básicos de los circuitos de corriente alterna, con referencia específica a las potencias activa, reactiva y aparente, como se indica a continuación:

2.6.1 Potencia Activa (P)

Es la potencia eléctrica, que en los receptores se puede transformar en otra forma de energía (calorífica, mecánica, lumínica, química, etc.). Su unidad es el Watt (W). El factor de potencia nos indica que potencia realmente se transforma en el receptor que contiene la potencia aparente. Esta energía corresponde a una energía útil, similar a la energía consumida por una resistencia.

2.6.2 Potencia Aparente (S)

Es el producto vectorial de la intensidad y la tensión. Es sólo una magnitud de cálculo, porque no toma en cuenta el desfase entre la tensión y la intensidad de corriente. Su unidad es el Volt-Amper (VA).

2.6.3 Potencia Reactiva (Q)

Este tipo de potencia se utiliza en los circuitos de corriente alterna, para la formación del campo en las bobinas y para la carga de los condensadores (creación de un campo eléctrico). La potencia reactiva no puede dar ningún tipo de energía. Su unidad es el Volt- Amper-Reactivo (VAR). La potencia reactiva

representa una carga para los generadores, las líneas y los transformadores, y se origina en ellos una pérdida real de potencia.

De acuerdo con el diccionario de términos eléctricos y electrónicos del IEEE, denomina **Factor de Potencia** al cociente de la relación total de Watts entre el total de Volts-Ampers rms; es decir, la relación de la Potencia Activa entre la Potencia Aparente.

Cuando la corriente y el voltaje son funciones senoidales y Φ es el ángulo de desfase entre ellos; el coseno de Φ es el FP.

Entonces el FP depende del desfase entre el voltaje y la corriente, que a su vez depende de la carga conectada al circuito. Comúnmente el FP es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo.

El valor ideal del FP es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un FP menor a la unidad significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

A continuación se muestra una representación gráfica (Figura 2B) del triángulo de potencias y su relación con el FP:

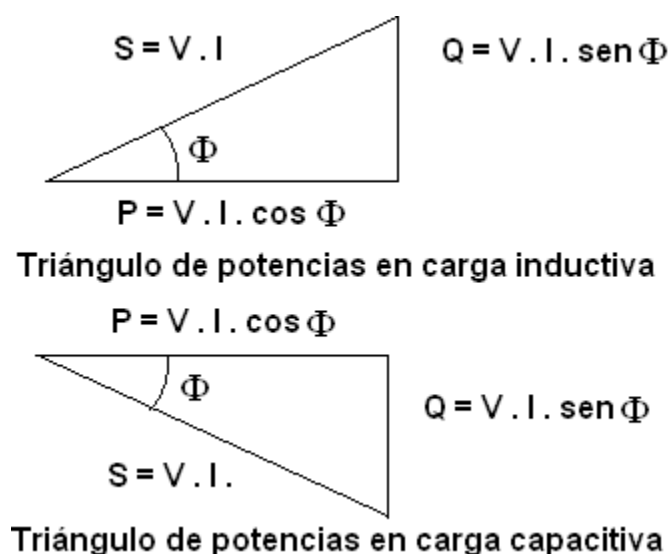


Figura 2B. Triángulo de Potencias (carga inductiva y capacitiva).

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, etc. Este carácter reactivo obliga que junto al consumo de potencia activa (KW) se sume el de una potencia llamada reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de dichos equipos y motores. Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque puede ser suministrada por las propias industrias.

Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución.

Todas estas cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación.

2.7 Bajo Factor de Potencia.

La Potencia Reactiva no produce un trabajo físico directo en los equipos, pero es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, etc. Cuando la cantidad de estos equipos es considerable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del FP. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores.
- Presencia de equipos de refrigeración o de aire acondicionado.
- Una sub-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.

Cargas puramente resistivas, tales como alumbrado incandescente, resistencias de calentamiento, etc., no cuentan con este tipo de problema ya que no necesitan de la corriente reactiva.

Este punto en que aumenta la corriente ocasionará muchas desventajas para el usuario industrial, lo cual tiene repercusiones financieras. Esas costosas desventajas pueden situarse en cuatro categorías, que se describen a continuación:

1. Aumentan las pérdidas por efecto joule, las cuales son una función del cuadrado de la corriente, por ejemplo:
Los cables entre el medidor y el usuario.
Los embobinados de los transformadores de distribución.
Dispositivos de operación y protección.
2. Un aumento en la caída de voltaje, resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas. Etc.); estas cargas sufren una reducción en su potencia de salida; y afectan a los cables de alimentación y sistemas de protección y control
3. Las instalaciones no pueden ser usadas a toda su capacidad, resultando en altos costos de depreciación. Esto es particularmente importante en el caso de transformadores de distribución.
4. Esas desventajas también afectan al productor y al distribuidor de energía eléctrica. Es completamente comprensible que él debe penalizar al usuario, haciendo que él mismo pague por su electricidad.

2.8 Métodos para medir el Factor de Potencia.

Existen diversos métodos utilizados para medir el FP, entre ellos se encuentran:

- Método del Wáttmetro.
- Método del Amperímetro.
- Método del Voltímetro.
- Método con el Analizador de calidad de la energía.

A continuación se describirán brevemente cada uno de éstos métodos:

2.8.1 Método del Wáttmetro.

Wáttmetro. Es un instrumento eléctrico que mide y registra la integral con respecto al tiempo de la potencia activa del circuito en que se conecta, ésta integral de potencia es la energía consumida por el circuito durante el intervalo de tiempo en que se realiza. La energía eléctrica es especificada en Watts-hora debido a que es de uso común en la industria, aunque en el sistema internacional de unidades la unidad de energía eléctrica es el joule. $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ j}$.

Básicamente consiste en un par de bobinas fijas, llamadas «bobinas de corriente», y una bobina móvil llamada «bobina de potencial».

Las bobinas fijas se conectan en serie con el circuito, mientras la móvil se conecta en paralelo. Además, en los wáttmetros analógicos la bobina móvil tiene una aguja que se mueve sobre una escala para indicar la potencia medida. Una corriente que circule por las bobinas fijas genera un campo electromagnético cuya potencia es proporcional a la corriente y está en fase con ella. La bobina móvil tiene, por regla general, una resistencia grande conectada en serie para reducir la corriente que circula por ella.

El resultado de esta disposición es que en un circuito de corriente continua, la deflexión de la aguja es proporcional tanto a la corriente como al voltaje, conforme a la ecuación $P=EI$. En un circuito de corriente alterna la deflexión es proporcional al producto instantáneo medio del voltaje y la corriente, midiendo pues la potencia real y posiblemente mostrando una lectura diferente a la obtenida multiplicando simplemente las lecturas arrojadas por un voltímetro y un amperímetro independientes en el mismo circuito.

2.8.2 Método del Amperímetro.

Este método es muy práctico porque en ocasiones no tenemos un Wáttmetro a la mano o bien no lo podemos comprar por el costo tan elevado, pues bien aquí se cuenta con un método práctico que solo necesitas una resistencia (por ejemplo: una parrilla eléctrica), un amperímetro o un voltímetro y aplicar unas fórmulas matemáticas (ley de los senos y cosenos).

Procedimiento:

- Conectar en paralelo la resistencia con la carga a la cual se desea obtener el FP, figura 2C.
- Anotar los valores RMS de la corriente que entrega la fuente, la corriente que pasa por la resistencia y la corriente que pasa por la carga por un periodo de tiempo establecido de muestreo.
- Posteriormente se resuelve el problema como un análisis vectorial y se aplican las leyes de Kirchoff suponiendo que el ángulo del voltaje es cero y se calcula el ángulo Φ .

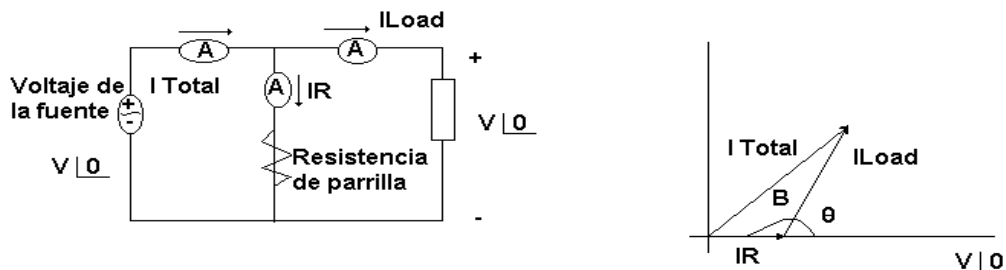


Figura 2C. Medición del FP por método del amperímetro.

Como ya se conocen las magnitudes I_L , I_T , I_R , se procede a calcular el ángulo β con la expresión 1.

$$\cos \beta = \frac{I_R^2 + I_L^2 - I_T^2}{2I_R I_L} \quad (1)$$

Por lo tanto, $\Phi = 180 - \beta$ F.P = $\cos (180 - \beta)$ Watts = $P VI \cos (180 - \beta)$

2.8.3 Método del Voltímetro.

Este método es similar al visto anteriormente pero ahora con un voltímetro y un circuito en serie, suponiendo que la corriente tiene un ángulo de cero, Figura 2D.

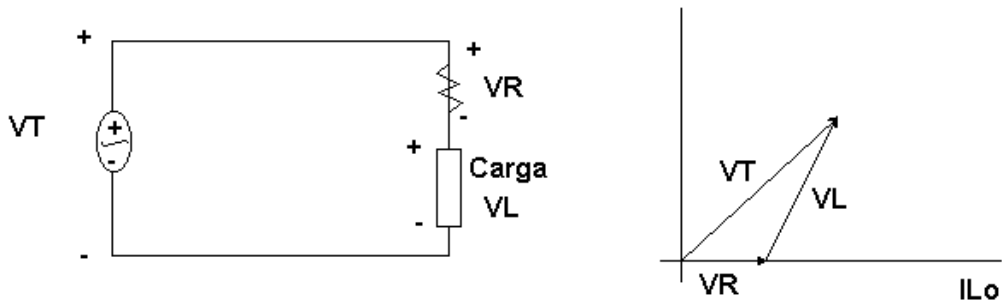


Figura 2D. Medición del FP por método del voltímetro

Como ya se tiene el valor de las magnitudes de los voltajes VL, VR y VT, se procede a calcular β a través de la expresión 2:

$$\cos \beta = \frac{V_R^2 + V_L^2 - V_T^2}{2V_R V_L} \quad (2)$$

Por lo tanto, $\Phi = 180 - \beta$ $FP = \cos (180 - \beta)$ $Watts = P = VI \cos (180 - \beta)$

2.8.4 Método con el Analizador de calidad de la energía.

Este método es uno de los más modernos que se efectúan actualmente, debido a que el equipo que aquí se utiliza posee tecnología muy sofisticada y precisa.

Su principio de funcionamiento básicamente se enfoca en el análisis de la Transformada de Fourier que consiste en descomponer algo complejo en partes simples o identificar en ese algo complejo las partes más simples que lo forman. Hay una base física para modelar la luz, el sonido o las ondas de radio en superposición de diferentes frecuencias. Un proceso que cuantifique las diversas intensidades de cada frecuencia se llama análisis espectral.

Matemáticamente el análisis espectral está relacionado con el análisis de Fourier. Ese análisis puede llevarse a cabo para pequeños intervalos de tiempo, o menos frecuentemente para intervalos largos. Además la transformada de Fourier de una función no sólo permite hacer una descomposición espectral de los formantes de una onda o señal oscilatoria, sino que con el espectro generado por el análisis de Fourier incluso se puede

reconstruir la función original mediante la transformada inversa. En las representaciones gráficas, frecuentemente sólo se representa el módulo al cuadrado de ese número, y el gráfico resultante se conoce como espectro de potencia o densidad espectral de potencia, en la figura 2E se visualiza un ejemplo práctico de la transformada de Fourier que despliega datos obtenidos por el analizador de la calidad de la energía Fluke 43B en el consumo de corriente de una lámpara ahorradora.

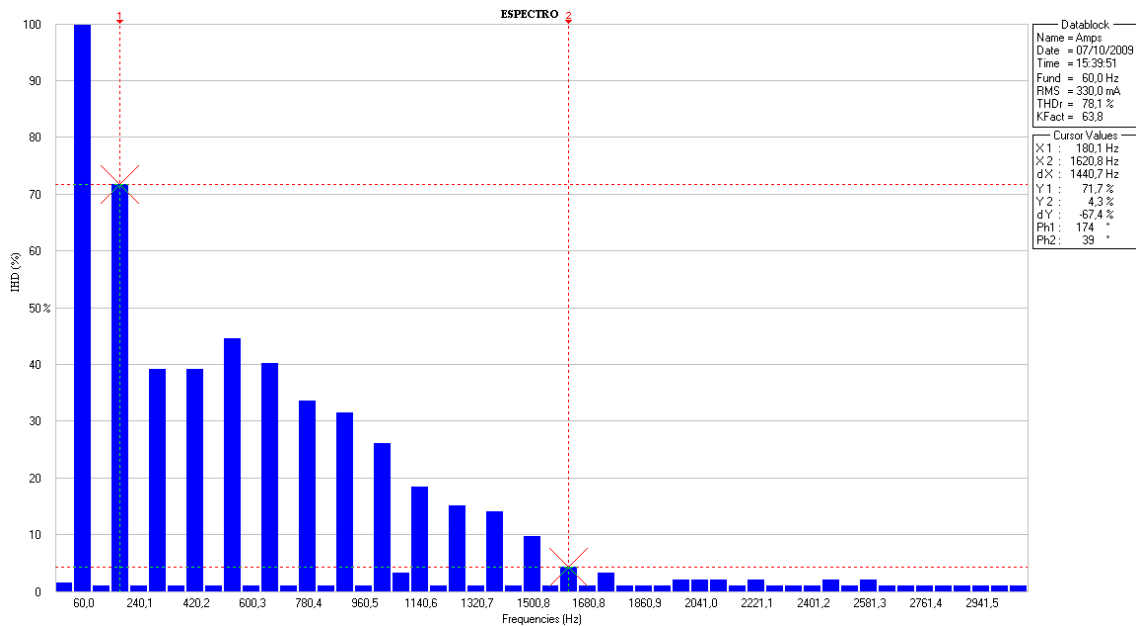


Figura 2E. Espectro de frecuencia (Ejemplo de transformada de Fourier).

Un analizador digital de la calidad de la energía utiliza la Transformada Rápida de Fourier, un proceso matemático que transforma una señal en sus componentes espectrales. Algunas medidas requieren que se preserve la información completa de señal - frecuencia y fase. Este tipo de análisis se llama vectorial.

Manipulando de manera apropiada el analizador de calidad de la energía monofásico y/o trifásico, se pueden monitorear diferentes parámetros en la señal eléctrica como son:

Voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, transitorios, distorsión armónica de voltaje y corriente, corrientes de arranque, fluctuaciones.

2.9 Corrección del Factor de Potencia.

Para mejorar el FP se requiere un equipo que genere potencia reactiva aproximadamente igual a la magnitud de la carga en KVAR, pero en oposición de fase, siendo conectada en paralelo con la carga. La resultante en KVA es ahora más pequeña y el nuevo FP ($\cos\Phi_2$) es incrementado y controlado por la magnitud de los KVAR adicionales. De esta manera se considera que el mejoramiento del FP puede ser obtenido por variación de potencia reactiva en oposición de fase a la de la carga.

Hay dos tipos de equipos para los cuales los KVAR en oposición de fase pueden ser conducidos por la fuente:

- 1.- Máquinas síncronas.
- 2.- Capacitores estáticos.

Algunos métodos para calcular el valor del capacitor son el método a base de tablas u otro a través de fórmulas matemáticas. La mejora de un bajo FP por medio de capacitores puede elevar el nivel de voltaje, reducir las pérdidas y aliviar la carga del sistema eléctrico.

III. METODOLOGÍA.

Actualmente el monitoreo de la calidad de la energía eléctrica es altamente efectivo para detectar, resolver y prevenir problemas en los sistemas eléctricos. Los sistemas de monitoreo no sólo proporcionan información acerca de las perturbaciones en los sistemas y sus posibles causas, sino que también, detectan problemas en el sistema antes de que lleguen a provocar un mal funcionamiento o fallas en los equipos.

Cada tipo de perturbación está caracterizada por determinadas magnitudes típicas. Por lo tanto, para obtener conclusiones válidas, es necesario conocer cuál es la magnitud que caracteriza a cada perturbación.

En el presente capítulo se explica el método de monitoreo utilizado para la medición de las variables involucradas con el concepto de calidad de energía. Se describirá el procedimiento necesario para el análisis y tratamiento de la información considerando el caso práctico que motiva el desarrollo de este trabajo.

3.1 Conocimiento y manipulación del Analizador de la Calidad de la Energía Eléctrica monofásico Fluke 43B.

El analizador de calidad de la energía eléctrica Fluke 43B combina las funciones más útiles de un analizador de calidad de la energía, un osciloscopio y un multímetro en un sólo instrumento de fácil manejo.

Dentro de las mediciones que efectúa aparecen en menú principal, ilustrado en la Fig. 3A.

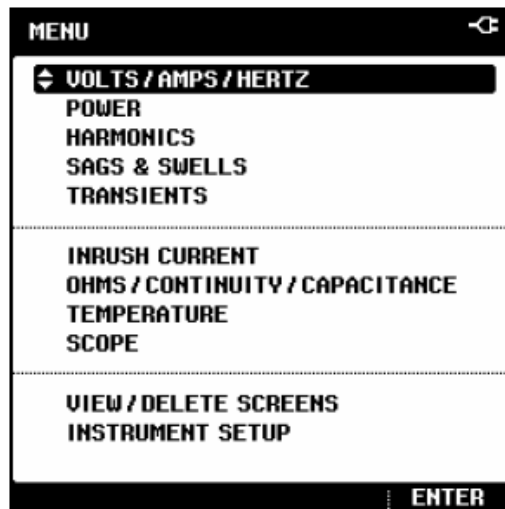


Fig. 3A. Menú principal Fluke 43B

3.1.1 Medición de voltaje, corriente y frecuencia.

Esta función muestra simultáneamente la señal de tensión y de corriente, además de mostrar el factor de cresta. Se utiliza para obtener una primera impresión de la señal de tensión y de corriente antes de examinar la señal más detalladamente con otras funciones, Fig. 3B.

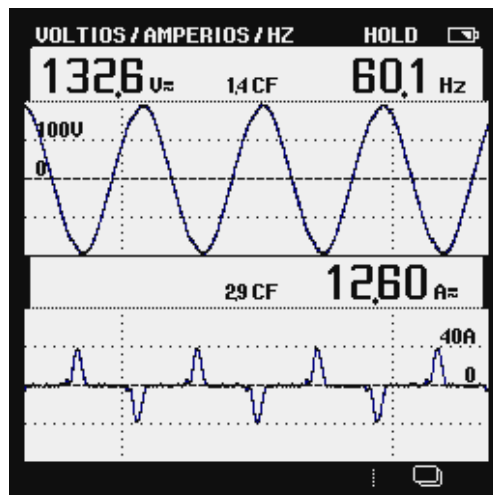


Fig. 3B. Medición de Volts, Ampers, Hertz, CF.

3.1.2 Potencia.

Muestra todas las lecturas de potencia en una pantalla. Esta función mide y presenta las siguientes lecturas de potencia: potencia activa (W), potencia aparente (VA), potencia reactiva (VAR), Factor de Potencia (PF), Desplazamiento del Factor de Potencia (DPF o $\text{Cos}\phi$) y Frecuencia.

Las formas de onda de tensión y de corriente dan una representación visual de los desplazamientos de fase.

El Fluke 43B puede realizar mediciones de potencia en sistemas eléctricos trifásicos equilibrados y tres conductores. La carga debe estar bien equilibrada y tener una configuración en estrella o delta. De esta forma es posible medir la potencia trifásica utilizando conexiones monofásicas. El modo de potencia trifásica sólo mide la potencia de la componente fundamental. Ver Fig. 3C.

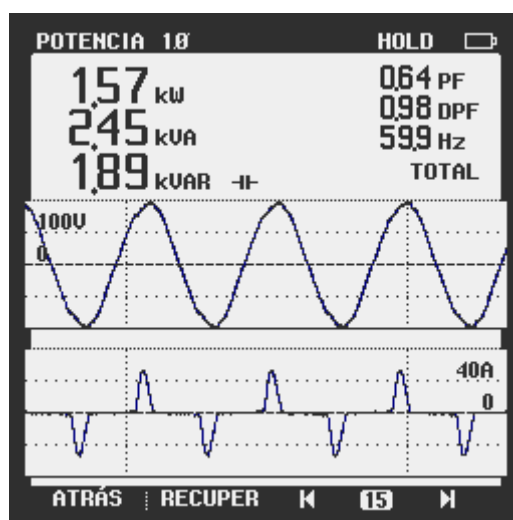


Fig.3C. Medición de Potencia

3.1.3. Armónicos.

Los armónicos son una medida de la distorsión de la onda sinusoidal de tensión (THD), de corriente (IHD) o de potencia (PHD).

La señal puede concebirse como una combinación de diversas ondas sinusoidales con diferentes frecuencias. Las contribuciones de cada uno de estos componentes a la señal total se representan mediante barras.

Los números grandes se refieren a la señal total; los números pequeños corresponden al armónico seleccionado. Puede medir hasta el armónico 51º, indicando la distorsión total armónica (THD), ángulo de fase de los diferentes armónicos. Ver Fig.3D.



Fig. 3D. Medición de Armónicos

3.1.4. Fluctuaciones.

La función fluctuaciones mide las desviaciones momentáneas (desde un ciclo a unos pocos segundos) de la señal de tensión normal y muestra simultáneamente la corriente.

Los resultados aparecen en la pantalla en forma de gráfico. Este muestra los valores mínimos y máximos en cada punto del gráfico.

La función fluctuaciones es especialmente útil para registrar oscilaciones, fig. 3E.

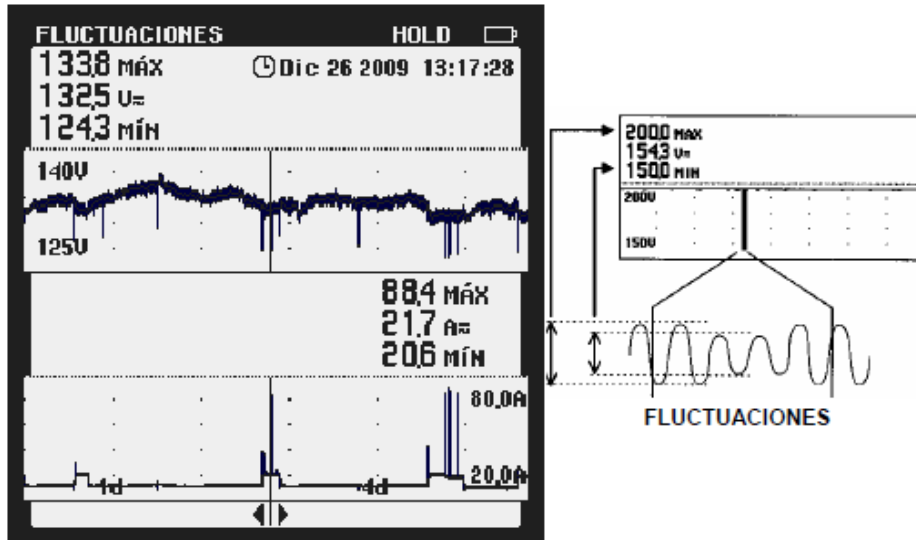


Fig. 3E. Medición de Fluctuaciones (Voltaje-Corriente)

3.1.5. Transitorios:

Los fenómenos transitorios son picos momentáneos y rápidos en la señal de tensión (o de corriente). Los picos pueden contener suficiente energía como para dañar equipos electrónicos sensibles.

Esta función detecta picos en la señal de tensión y guarda en la memoria una imagen de la señal. Un transitorio se detecta cuando cruza un envolvente alrededor de la forma de onda de la tensión. El ancho de la envolvente puede configurarse manualmente. En la figura 3F, se visualiza la detección de un transitorio:



Fig. 3F Detección de transitorios

3.1.6. Corriente de arranque.

Las corrientes de arranque son corrientes de sobrecarga que se producen, por ejemplo, en el momento del arranque del motor. Esta función muestra la señal de corriente en el momento de la sobrecarga. Si la corriente excede de un nivel especificado, la señal aparece como una banda gris en la pantalla formada por los valores de pico a pico de la forma de onda.

Utilice esta función para medir corrientes de arranque u otras sobrecorrientes. Mide la corriente máxima y la duración de esta corriente; en la figura 3G se observa una gráfica de la corriente de arranque de un motor de 127 VCA.

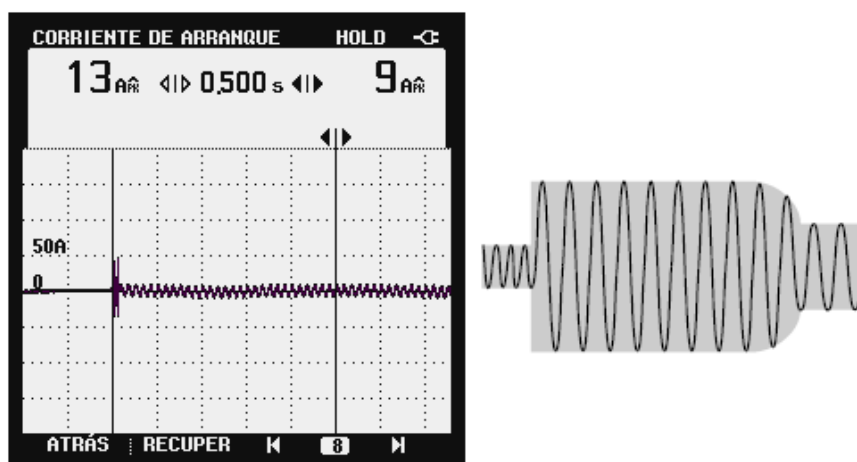


Fig. 3G. Corriente de arranque en un motor de 127 VCA.

3.1.7. Resolución de tiempo en los modos de Fluctuación y Registro.

Los modos de Fluctuación y Registro realizan básicamente funciones parecidas. En ambos modos, el Fluke 43B traza el gráfico de tendencia de hasta dos parámetros eléctricos a lo largo del tiempo. En el modo Fluctuaciones, el instrumento traza sólo la tensión y la corriente, mientras que en el modo registro el analizador muestra una amplia variedad de parámetros, dependiendo de la función que se encuentre activa cuando se pulsa el botón.

3.1.8. Registro.

En ambos modos el instrumento representa los parámetros periódicamente a lo largo de lo que se denomina “intervalo de trazado”. Para

conocer las relaciones que existe entre el tiempo de registro y el intervalo de trazado es necesario consultar la Tabla 3A. La relación se basa en el hecho de que siempre hay 240 puntos a todo lo ancho de la pantalla.

Tiempo de registro	Intervalo de trazado	Tiempo de registro	Intervalo de trazado
4 minutos	1 segundo	8 horas	2 minutos
8 minutos	2 segundos	16 horas	4 minutos
16 minutos	4 segundos	24 horas	6 minutos
30 minutos	8 segundos	48 horas	12 minutos
1 hora	15 segundos	4 días	24 minutos
2 horas	30 segundos	8 días	48 minutos
4 horas	60 segundos	Infinito (16 días)	1 a 96 minutos

Tabla 3A. Relación tiempo de registro – Intervalo de trazado

El Fluke 43B siempre efectúa las mediciones más rápido que el intervalo de trazado: siempre toma en cuenta varias mediciones para cada uno de los puntos representados. De hecho, el analizador toma en cuenta todas las mediciones realizadas durante un intervalo de trazado y registra la lectura máxima, la mínima y la media. La diferencia entre los modos Fluctuaciones y Registro estriba en la velocidad de medición.

El modo Fluctuaciones está optimizado para medir variaciones de corta duración, tanto de corriente como de tensión: se miden la tensión y la corriente rms de cada ciclo de línea. Entonces el Fluke 43B registra las mediciones de mínima (el ciclo más bajo), máxima (el ciclo más alto) y la media, ésta última al final de cada intervalo de trazado.

El modo Registro realiza mediciones cada 250 milisegundos aproximadamente. También registra los valores mínimo, máximo y medio de cada intervalo de trazado. Tanto en el modo Fluctuaciones como en el modo Registro, el tiempo de registro puede ajustarse a 'Infinito'. Esto se refiere al

método de compresión utilizado para generar el punto. Si el tiempo de registro se ajusta a Infinito, el trazado de puntos comenzará con la escala de 4 minutos y se comprimirá cada vez que el trazado salga de la pantalla. Pasados los 4 minutos, el gráfico se comprimirá para usar media pantalla y la escala de tiempo pasará a ser la de 8 minutos. El Fluke 43B realiza estas operaciones tomando en consideración cada par de valores mínimo/máximo y manteniendo los valores más alto y más bajo. Los valores medios vuelven a calcularse. La pantalla comenzará con 4 minutos y pasará a 8 minutos; a continuación 16 y así sucesivamente manteniendo siempre los valores extremos o de peor caso de cada intervalo de trazado. Si no sabe cuánto tiempo va a realizar el seguimiento de las mediciones, esta opción garantiza que obtendrá la mejor resolución. El proceso se detendrá después de 16 días.

En la fig. 3H se muestra el Analizador monofásico utilizado (Fluke 43B)

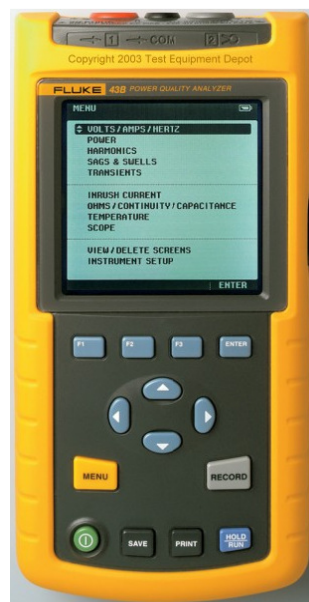


Figura 3H Analizador de la Calidad de la Energía monofásico (Fluke43B).

3.2 Conocimiento y manipulación del Analizador de la Calidad de la Energía Eléctrica trifásico AMPROBE DMIII MultiTest.

El analizador de la calidad de la energía trifásico AMPROBE, es una potente y versátil herramienta utilizada en el monitoreo de la energía eléctrica; debido a que ejecuta diversas funciones dependiendo de su aplicación; dentro de las cuales se mencionan:

3.2.1. Low Ω : Prueba de continuidad de los conductores de protección o equipotencial con corriente de prueba superior a 200 mA y tensión de vacío comprendido entre 4V y 24V.

3.2.2. Prueba de aislamiento: Medida de la resistencia de aislamiento con tensión de prueba 50V, 100V, 250V, 500V o 1000V.

3.2.3. Secuencia de fases: Verificación del sentido cíclico de las fases.

3.2.4. Prueba de tierra: Medida de la resistencia de tierra y de la resistividad del terreno a través de garrochas auxiliares.

3.2.5. Calidad de la energía: Valor de tensión RMS, Intensidad, armónicos, potencia activa, reactiva y aparente; factor de potencia y coseno de \emptyset , energías activas, reactivas y aparentes, anomalías de tensión (transitorios) con una resolución de 10 ms.

El presente trabajo se enfoca principalmente en la función Calidad de la Energía (Analyzer). Esta función permite las siguientes operaciones:

3.2.5.1. Visualización en tiempo real de los parámetros eléctricos de un sistema trifásico (con o sin neutro) y el análisis de armónicos de Tensión e Intensidad.

3.2.5.2. Realizar una medida directa de Energía (Capturación de datos instantáneos).

3.2.5.3. Grabar datos pulsando la tecla SAVE se graban los valores de los parámetros presentes en las entradas del instrumento, generando un registro "Smp" (Datos temporales) dentro de la memoria que solo será posible analizarlos transfiriéndolos al PC.

3.2.5.4. Registros simultáneos (pulsando la tecla START después de la correcta configuración se efectúa el registro del sistema por un tiempo determinado): obteniendo valores RMS de tensión, intensidad y armónicos correspondientes, potencia activa, reactiva y aparente, factor de potencia y $\text{Cos}\phi$, energía activa, reactiva, aparente y anomalías de tensión.

Es fundamental que la configuración del instrumento corresponda al tipo de instalación bajo prueba y a los accesorios utilizados. Por esto se recomienda que se verifique la configuración del instrumento antes de realizar un ANALISIS.

Para capturar el registro del sistema por un tiempo determinado se posiciona la perilla en la posición ANALYZER, pulse la tecla MENU y aparecerá la siguiente pantalla (Fig. 3I):

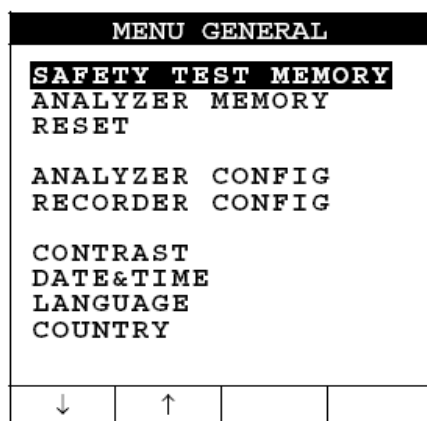


Fig. 3I. Menú General Amprobe DMIII MultiTest

3.2.5.5. Configuración básica:

Después de tener la pantalla del menú principal, se utilizan las teclas F1/F2 para seleccionar la posición ANALYZER CONFIG y se pulsa ENTER y el visualizador del instrumento desplegará la siguiente página, (Fig. 3J).

ANALYZER CONFIG			
SYSTEM : THREE PHASE			
FREQUENCY: 60 HZ			
CURRENT RANGE: 1000A			
CLAMP TYPE: STD			
TV RATIO: 0001			
PASSWORD: ON			
↓	↑	+	-

Fig. 3J Configuración de Analizador.

3.2.5.6. Programación del tipo de Sistema Eléctrico bajo prueba:

El parámetro SYSTEM puede medir sistemas monofásicos y trifásicos.

3.2.5.7. Selección de la Frecuencia de trabajo.

Posicione el cursor sobre la función correspondiente utilizando las teclas multifunción F1 y F2 y, con las teclas multifunción F3 y F4, seleccione la frecuencia de red entre los dos posibles valores 50Hz y 60Hz. Este parámetro sólo es relevante si el valor de la Tensión de entrada no es suficiente para el reconocimiento del valor de la frecuencia (Ejemplo: sólo son conectadas las pinzas por la medida de la corriente). En este caso el instrumento genera un sincronismo interior para el valor de la frecuencia programada.

3.2.5.8. Fondo de escala de la corriente.

El valor de este parámetro debe ser siempre igual al fondo de escala de las pinzas de corriente utilizada en la medida. En el caso de utilizar pinzas multiescala, este parámetro debe ser siempre el mismo valor del Fondo de escala seleccionado en la misma pinza.

Posicione el cursor sobre la función correspondiente utilizando las teclas multifunción F3 y F4.

3.2.5.9. Programación base: (Configuración Registro).

Gire la perilla en la posición ANALYZER, pulse la tecla MENU, usando las teclas F1/F2 seleccione RECORDER CONFIG y pulse ENTER. Esta modalidad permite visualizar y eventualmente modificar los parámetros de

grabación y tamaños seleccionados (hasta un máximo de 62 registros. En caso de que el número de tamaño seleccionado exceda de 63, será visualizado el mensaje "*too many param*" (demasiados parámetros).

La modalidad "CONFIG RECORD" es subdividida en 4 subpáginas:

- a) 1er página:** Esta página permite programar las fechas de Inicio o Paro del Registro, del Periodo de Integración, la habilitación / deshabilitación del análisis de las anomalías de Tensión, la habilitación/deshabilitación del análisis de los Armónicos, Pulse la tecla ENTER para confirmar las variaciones y pasar a la página siguiente. Pulse la tecla ESC para salir del Menú sin modificar las variaciones.
- b) 2ª página:** Página dedicada a las programaciones relativas a la grabación de la Tensión. Pulse la tecla ENTER para confirmar las variaciones y pasar a la página siguiente. Pulse la tecla ESC para salir sin modificar las variaciones.

Desde esta página puede acceder a la página siguiente "Harmonics" que permite seleccionar los Armónicos de Tensión que se quieren registrar. Pulse la tecla ENTER para confirmar la selección de los Armónicos y pasar a "Menú Harmonics".

Pulse ESC para salir de "Menú Harmonics" sin modificar los existentes parámetros.

- c) 3er página:** Página dedicada a las programaciones relativas al registro de *CURRENT*. Pulse la tecla ENTER para confirmar las variaciones y pasar a la página siguiente. Pulse la tecla ESC para salir sin modificar las variaciones.

Desde esta página puede acceder a la página siguiente "Harmonics" que permite seleccionar los Armónicos de Tensión que se quieren registrar, pulse la tecla ENTER para confirmar la selección de los Armónicos y pasar a "Menú Harmonics". Pulse ESC para salir de "Menú Harmonics" sin modificar los existentes parámetros.

d) **4ª página:** Menú compuesto por dos páginas dedicadas a la selección de las Potencia y Energía que se quiere registrar.

Seleccionando las Potencias activas para el registro, las correspondientes energías Activas son automáticamente seleccionadas; seleccionando las Potencias reactivas para el registro, las correspondientes Energías reactivas son automáticamente seleccionadas.

Las diferentes páginas de "RECORDER CONFIG" son esquematizadas en Fig 3K, 3L, 3M y 3N.

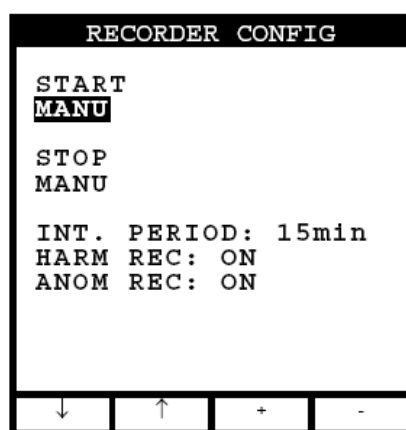


Fig. 3K.1ª Página. Configuración Registro.

Para seleccionar la modalidad de grabación MANUAL / AUTOMATICA, posicione el cursor sobre MANU o AUTO para las teclas multifunción F1 o F2 y seleccione la grabación deseada para las teclas multifunción F3 y F4.

Utilice las teclas multifunción F1/F2 para posicionar el cursor sobre la función deseada y utilice las teclas multifunción F3/F4 para modificar el valor.

Pulse ENTER para confirmar y salir del Menú guardando las modificaciones realizadas. Pulse ESC para salir de esta página sin modificar las variaciones efectuadas.

En la página 2, se dan de alta las anomalías de voltaje con una oscilación de +6% y -10%, así como sus respectivos armónicos que seleccionemos. (Fig.3L)

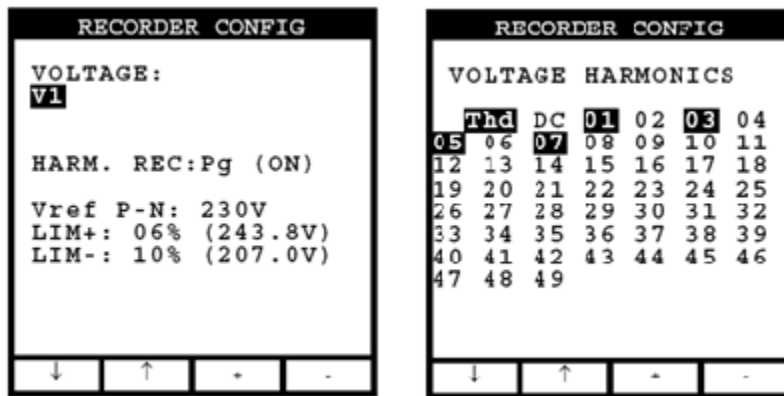


Fig. 3L. 2ª Página. Anomalías voltaje Habilitado y armónicos.

El instrumento registrará en el tiempo los valores de los Armónicos correspondientes de las tensiones seleccionadas.

En la página 3, se dan de alta las anomalías de corriente, así como sus respectivos armónicos que seleccionemos. (Fig.3M)

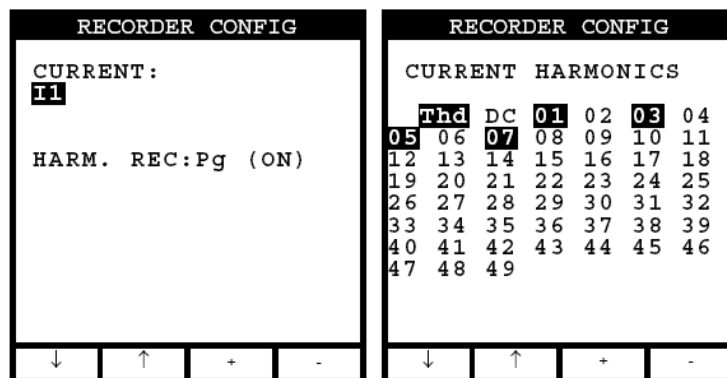


Fig. 3M. 3ª Página; Anomalías corriente Habilitado y armónicos.

Para la configuración de la página 4, se da de alta la configuración de las potencias reactivas, activas, así como sus respectivas energías. (Fig.3N)

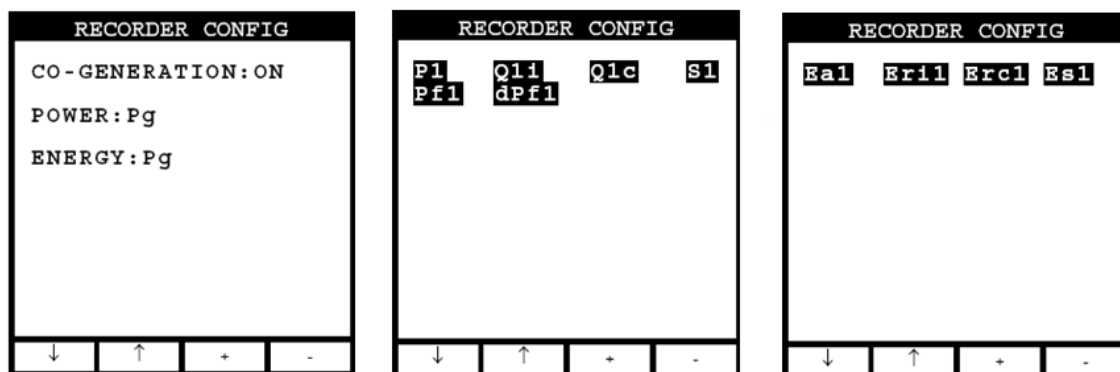


Fig. 3N. 4ª Página. Potencias y energías.

A continuación se muestra un ejemplo de la medición de un sistema monofásico donde se plasma su voltaje, voltaje pico, THD y forma de onda. Fig. 30.

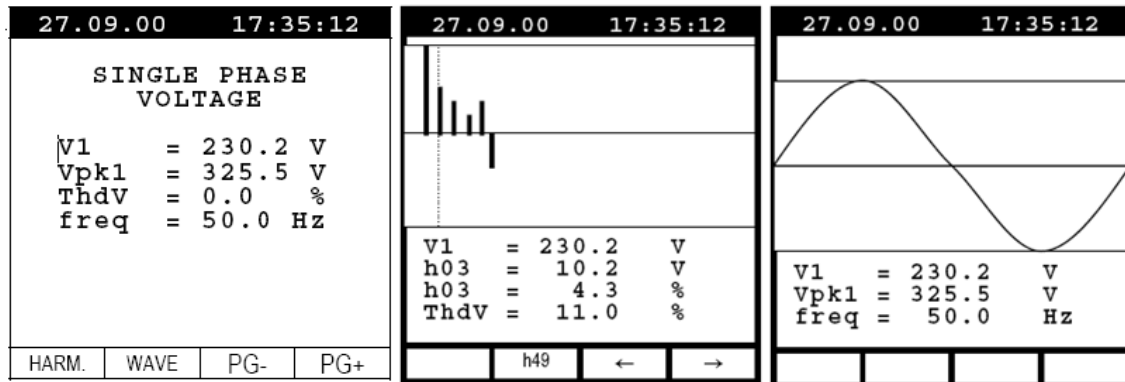


Fig.30. Voltaje, Voltaje Pico, Distorsión armónica de voltaje, Frecuencia, Forma de onda en un sistema monofásico

De igual forma se muestra otro ejemplo de la medición de un sistema monofásico donde se plasma su corriente, corriente pico, distorsión armónica de corriente y forma de onda. Fig. 3P.

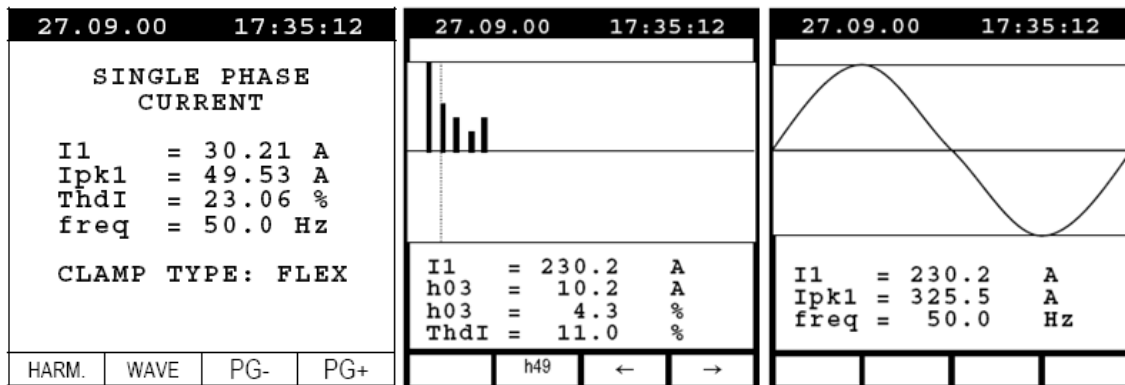


Fig.3P. Corriente, Corriente Pico, Distorsión armónica de corriente, Frecuencia, Forma de onda de un sistema monofásico

Como se menciona anteriormente, con el Analizador de la calidad de la energía AMPROBE, también se puede medir potencia real, potencia reactiva, potencia aparente, FP, así como su consumo de energía, estos datos se observan en fig. 3Q.

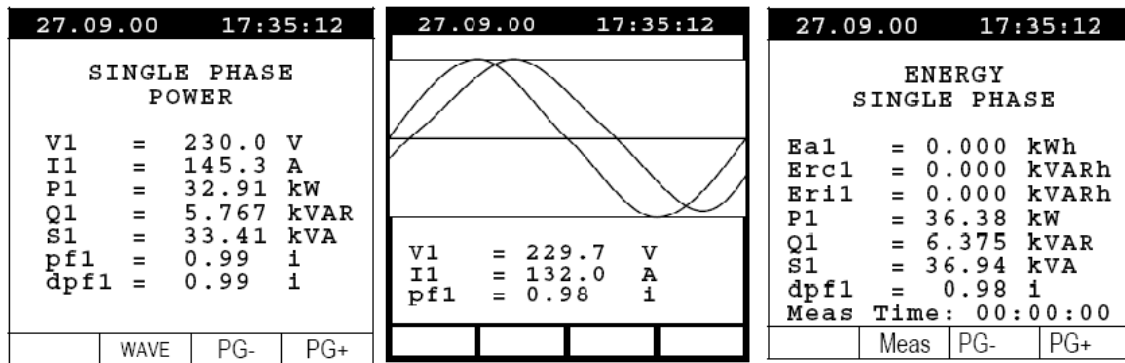


Fig.3Q. Voltaje, corriente, potencia real, reactiva y aparente, FP, DPF, energía real, reactiva y aparente en un sistema monofásico.

A continuación se muestra la imagen del Analizador de la Calidad de la energía eléctrica trifásico AMPROBE DMIII MultiTest; el cual es utilizado para la ejecución del monitoreo del sistema en cuestión, (Fig. 3R).



Fig.3R. AMPROBE DMIII MultiTest

3.3 Monitoreo de la calidad de la energía eléctrica en el Laboratorio de Automatización.

El objetivo de este desarrollo consiste en registrar y conocer los parámetros eléctricos actuales del edificio del Laboratorio de la carrera de Automatización de la Universidad Autónoma de Querétaro; ubicada en Cerro de las Campanas (ver fig. 3S), con el fin de establecer las condiciones de operación del sistema eléctrico en materia de: calidad de energía, consumos y demandas energéticas.



Figura 3S. Vista aérea del laboratorio de Automatización de FI, Universidad Autónoma de Querétaro.

Este edificio correspondiente al laboratorio consta de 6 aulas grandes, (laboratorios L1=Laboratorio de Automatización, L2=Laboratorio de prácticas, L3=Laboratorio de Instrumentación, L4=Laboratorio Delta V, cuarto de control de Instrumentación, L5=Laboratorio de Microsistemas y L6=Laboratorio de Sistemas Eléctricos), 9 cubículos, 1 almacén, 2 baños y un pasillo.

A continuación se detalla por secciones cada una de estas áreas para una mejor interpretación del sistema.

En la figura 3T se muestra la sección correspondiente al centro de carga principal, baños, 3 cubículos y parte del pasillo, que consta de 10 lámparas y 8 contactos de 127 Vca.

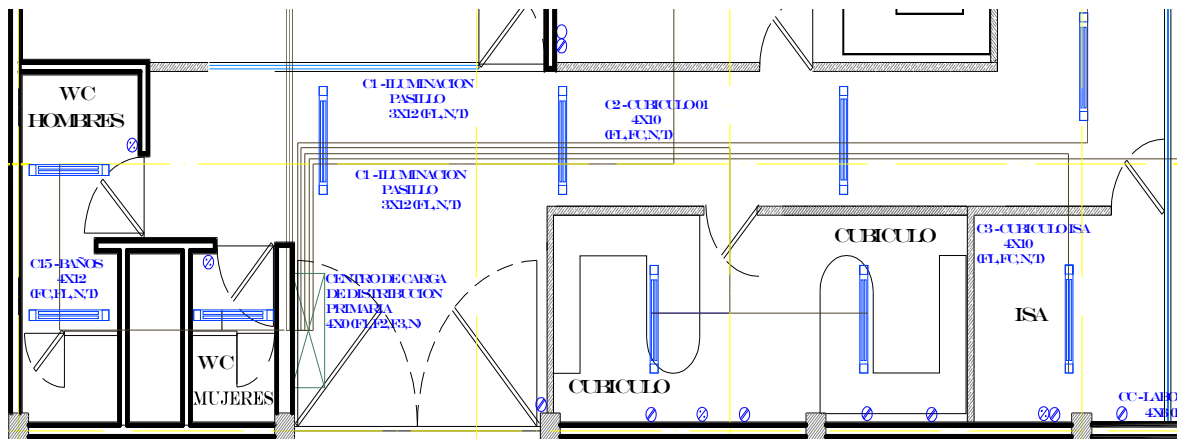


Figura 3T. Centro de carga principal, baños, pasillo y cubículos.

Posteriormente se ilustra el laboratorio L1, (Laboratorio de Automatización) que consta de 20 contactos de 127 vca, 10 lámparas y una toma de 220 Vca, fig. 3U.

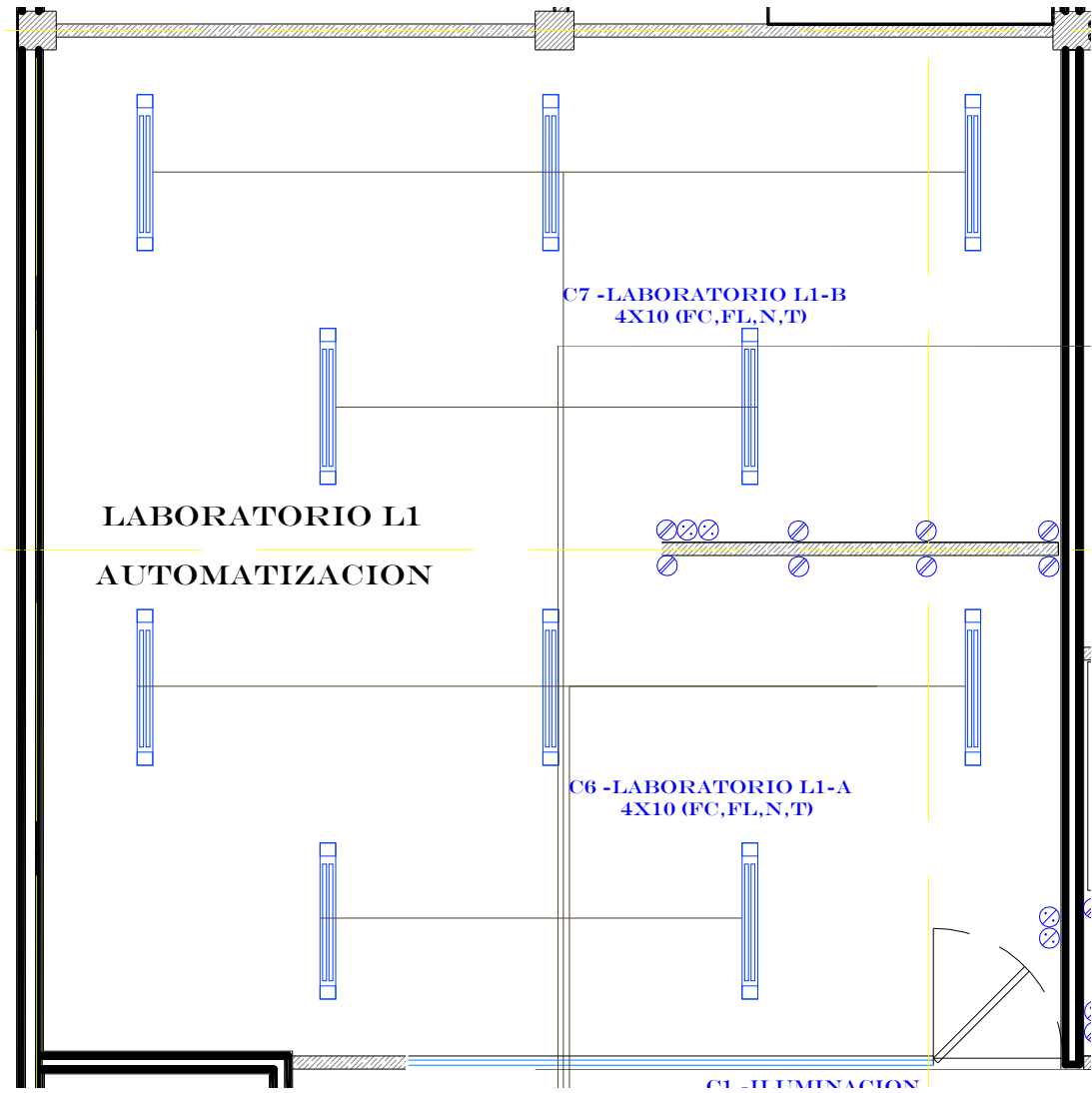


Figura 3U. Laboratorio L1 (Automatización)

En la figura 3V se muestra la parte del almacén, cubículo de proyectos y oficina de coordinación, que consta de 8 lámparas y 14 contactos de 127 Vca.

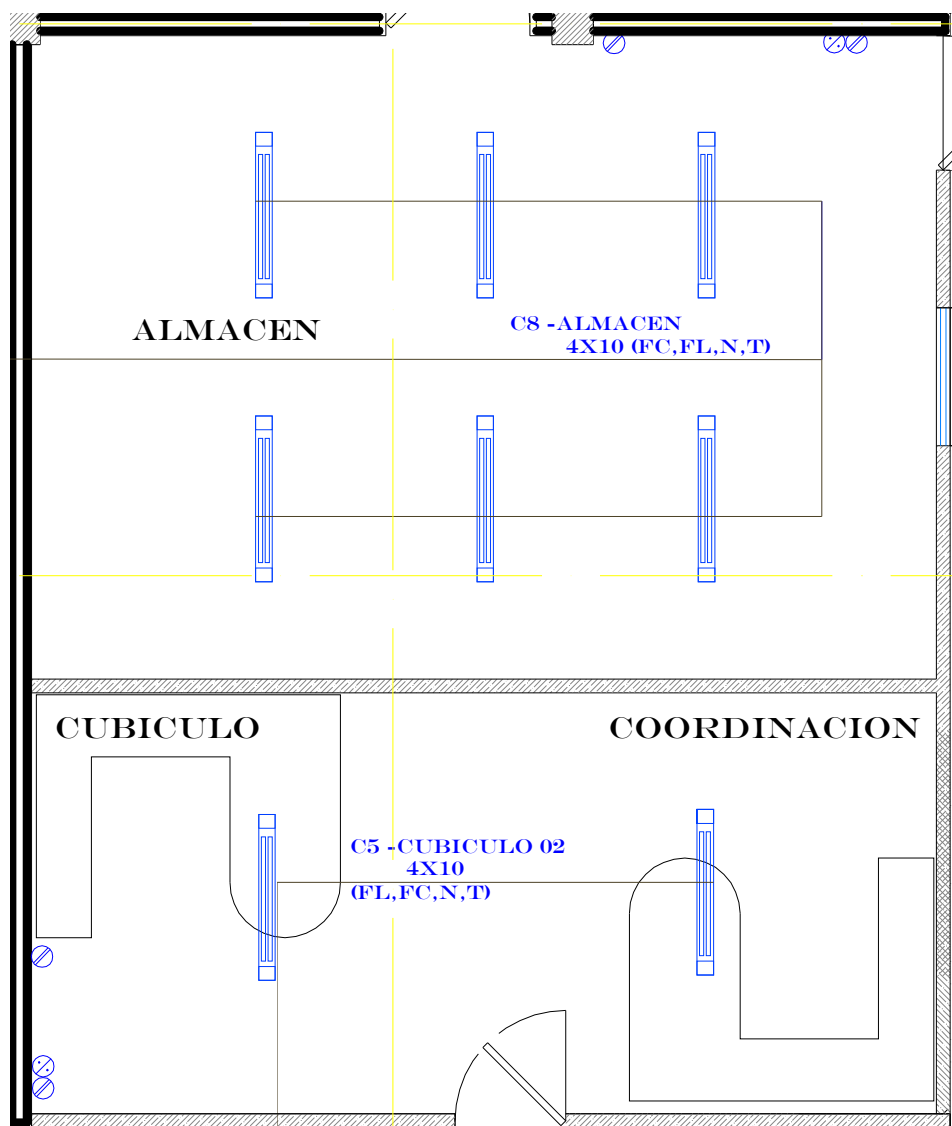


Figura 3V. Almacén, cubículo de proyectos y Coordinación de Laboratorio.

En la figura 3W se ilustra el laboratorio L6, (Laboratorio de Sistemas Eléctricos) y parte del pasillo, que consta de 24 contactos de 127 Vca, 14 lámparas y 3 tomas de 220 Vca para cargas trifásicas.

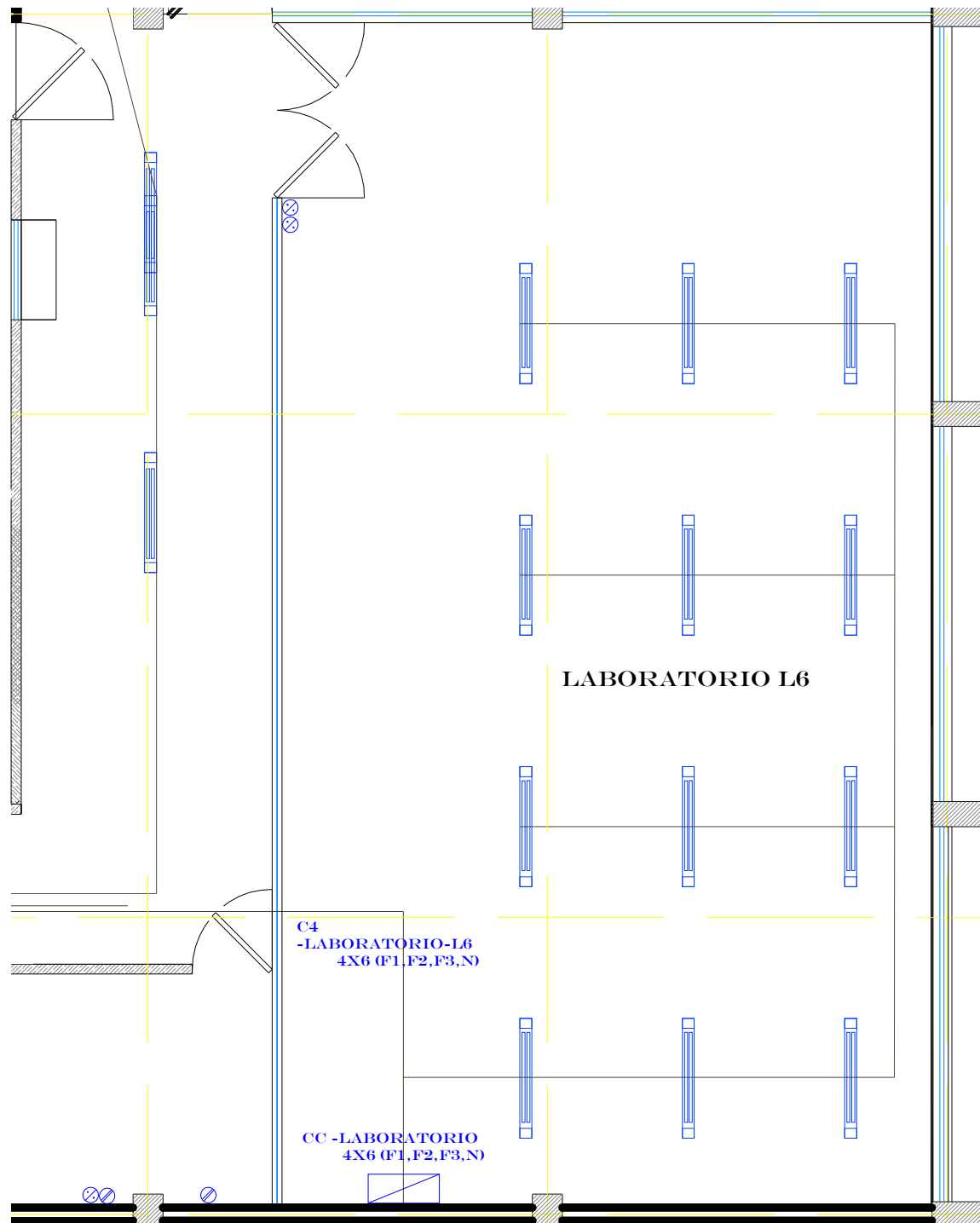


Figura 3W. Laboratorio L6 de Máquinas Eléctricas y parte del pasillo.

En la figura 3X se ilustra el laboratorio L5, (Laboratorio de Microsistemas) y la cabina de proyectos de microsistemas; consta de 20 contactos de 127 Vca y 8 lámparas.

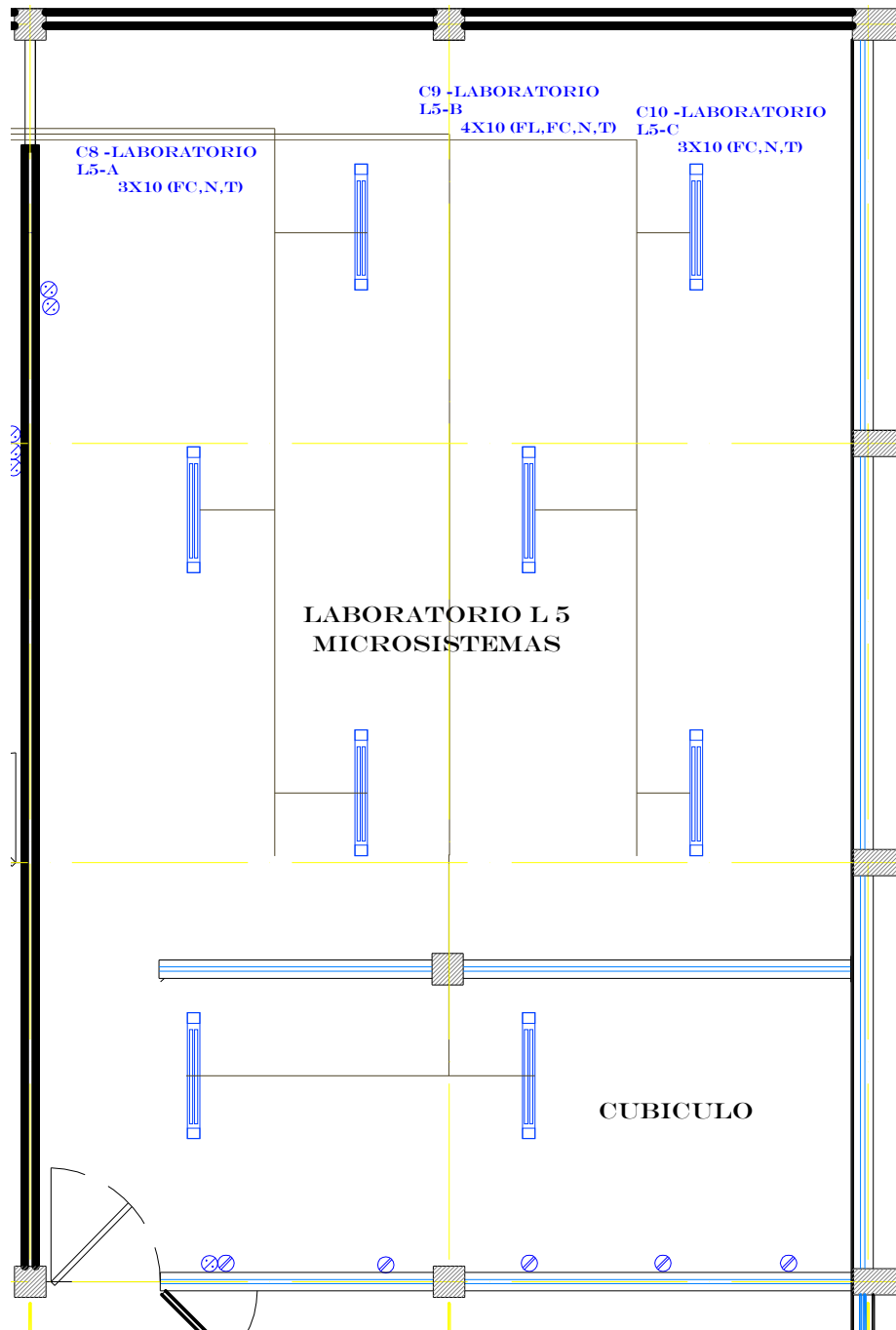


Figura 3X. Laboratorio L5 de Microsistemas y cabina de proyectos de Microsistemas

Por último en la figura 3Y se ilustra el laboratorio L2 (Prácticas), L3 (Laboratorio de Instrumentación), L4 (Laboratorio Delta V” Control Distribuido”), 3 cubículos, el servidor y parte del pasillo; dicha área consta de 34 contactos de 127 Vca y 22 lámparas.

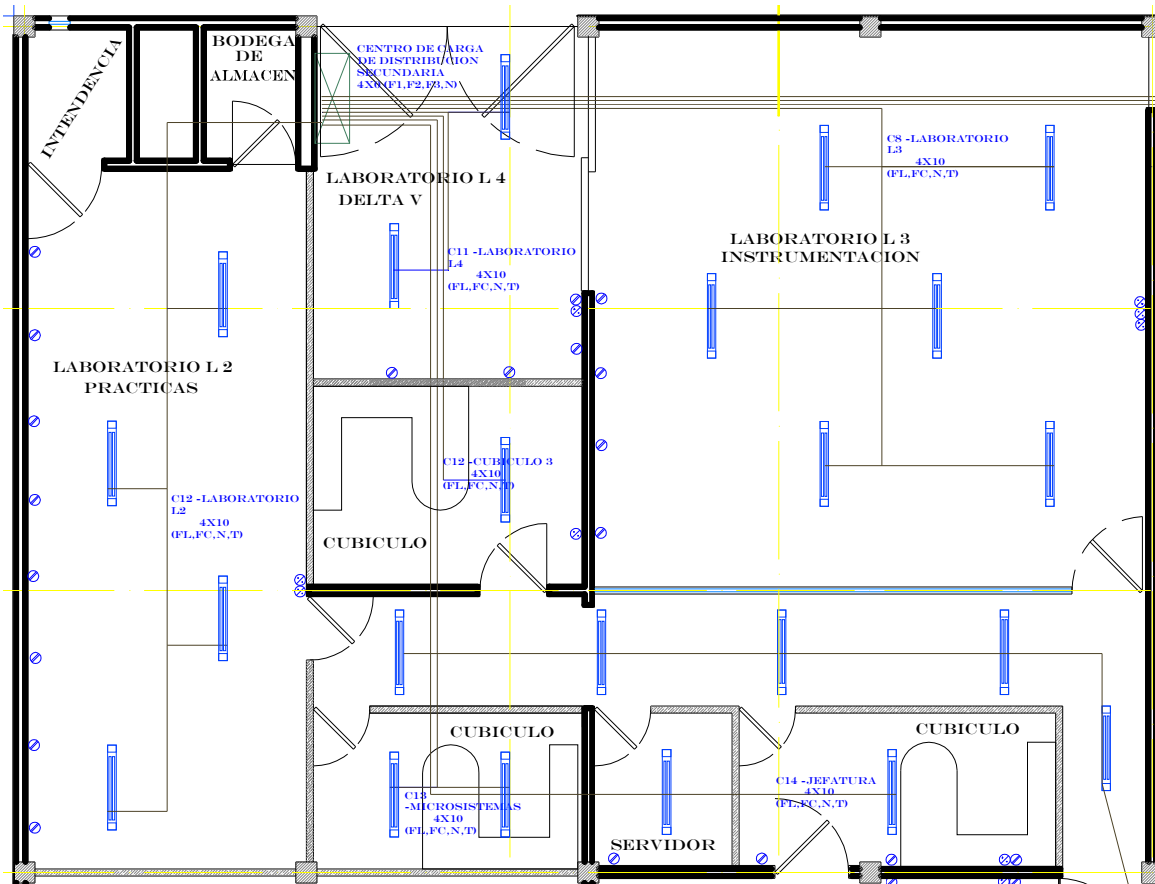


Figura 3Y. Laboratorio L2 de Prácticas, L3 de Instrumentación, L4 de Delta V (Control Distribuido), cubículos y pasillo

Nota: El plano completo del sistema eléctrico se muestra en el anexo 9 de este trabajo.

Este sistema eléctrico se divide en dos secciones, de tal manera que posee dos tableros de alumbrado (primario y secundario), donde cada uno de ellos controla la mitad del laboratorio. En este trabajo vamos a analizar la parte sur del laboratorio, (centro de carga primario) que se muestra a continuación, Fig. 3Z:

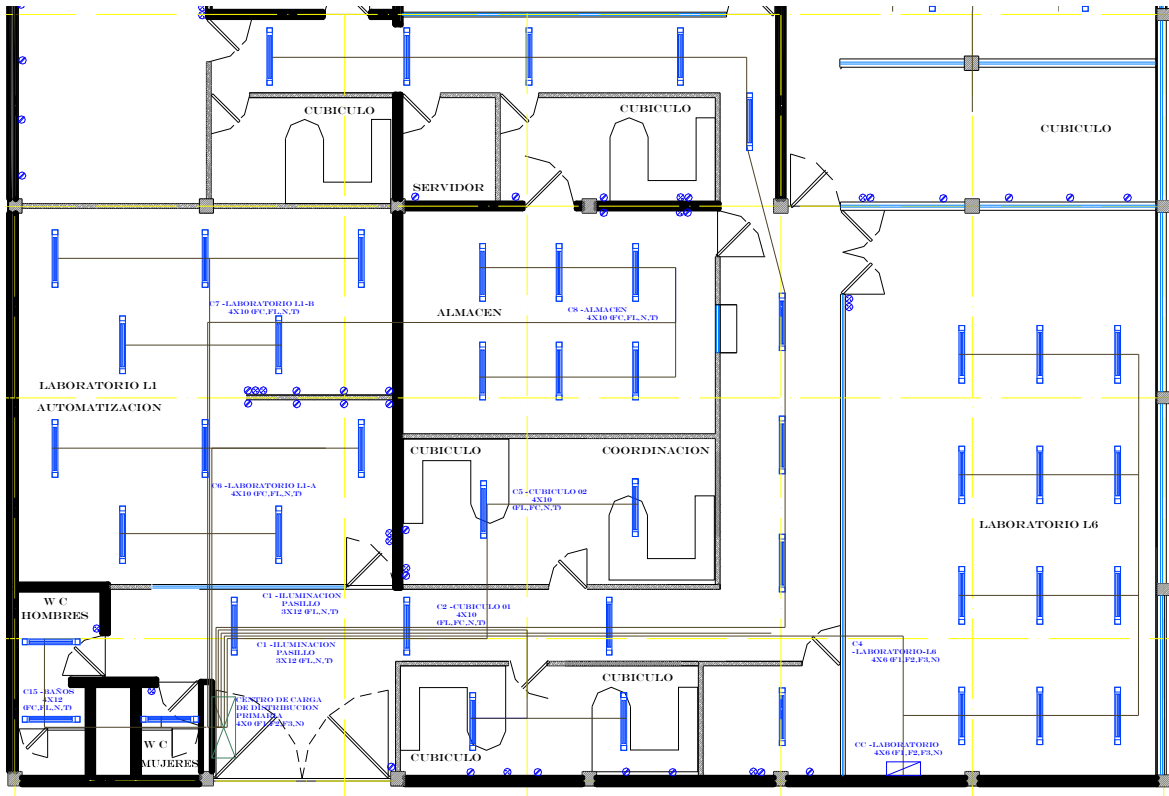


Fig. 3Z. Sistema eléctrico en análisis con centro de carga primario en parte sur.

El sistema cuenta con 47 lámparas ahorradoras de 56 Watts cada una, 66 contactos de 127 Vca, que consumen aproximadamente 175 Watts cada uno; es decir; 2.63 Kw de lámparas, 11.55Kw de contactos dando un total de 14.182kw como demanda total.

A continuación se muestra el centro de carga trifásico en análisis. Fig. 3AA.

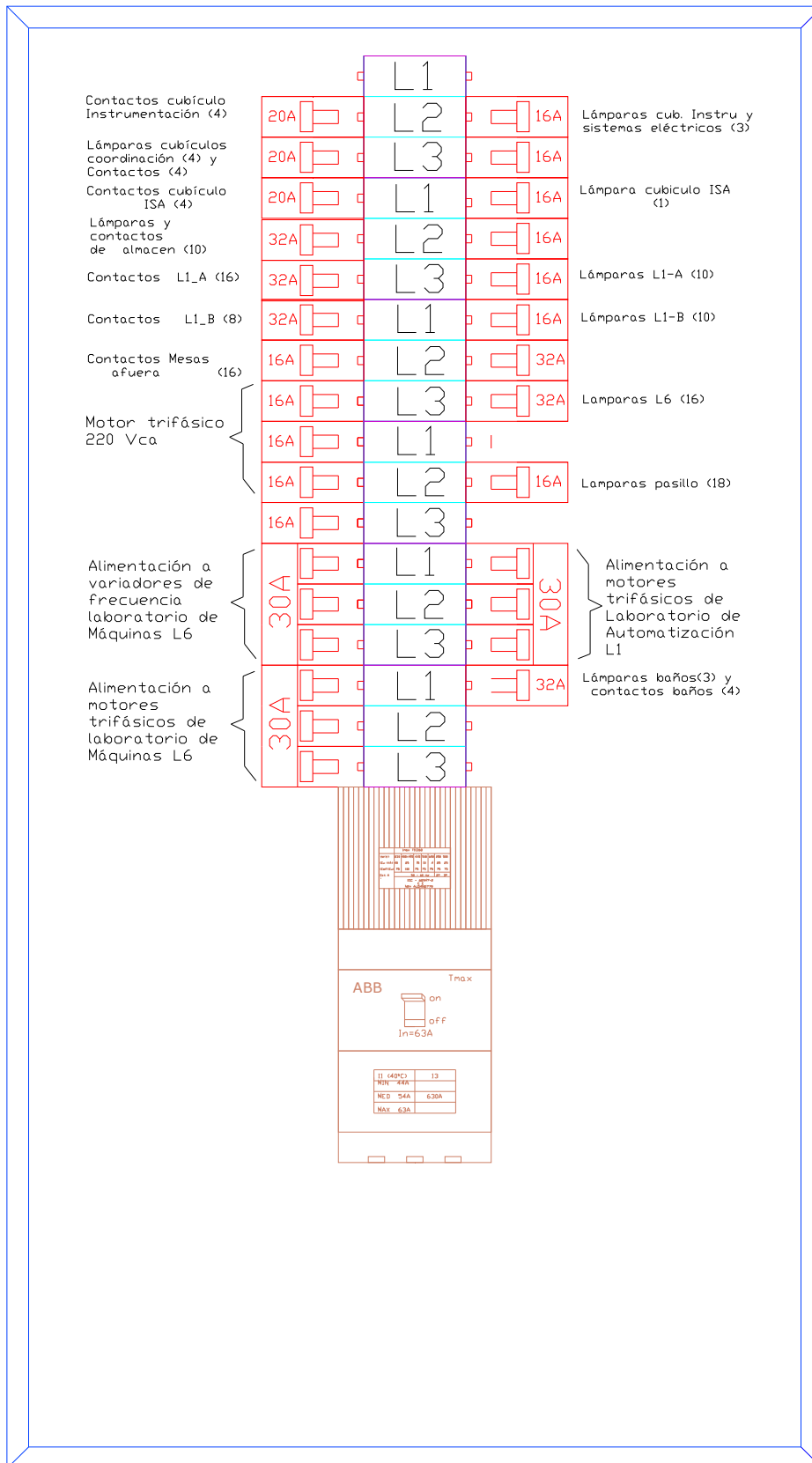


Fig.3AA. Centro de carga primario de laboratorio de Automatización

3.4. Metodología y plan de trabajo.

1. Revisar y contar la cantidad de equipo eléctrico existente así como las condiciones en que se encuentra.
2. Acordar con el coordinador del laboratorio de Automatización la autorización del permiso de efectuar monitoreo de calidad de la energía eléctrica en esa área.
3. Conocer las instalaciones eléctricas existentes con el objetivo de plantear la realización de un monitoreo y efectuar mediciones en las mismas.
4. Ubicar el centro de carga principal parte sur de laboratorio y efectuar la conexión del equipo de medición (1ª parte: Fluke 43B monofásico y 2ª parte: Amprobe DMIII MultiTest trifásico), haciendo hincapié en los siguientes puntos:
 - Contar con el equipo de seguridad necesario para efectuar las mediciones (guantes, zapatos dieléctricos, anteojos de protección).
 - Permanencia del equipo de medición en la instalación por una semana por cada fase, misma en la que se tendrá una demanda energética habitual.
 - Retiro del equipo de medición y descarga de la información obtenida en la PC, para su análisis.
 - Análisis de los principales parámetros eléctricos del monitoreo, centrado en las siguientes variables eléctricas por cada fase:
 - Tensión.
 - Corriente.
 - Potencia aparente.
 - Potencia reactiva.
 - Potencia activa.
 - Factor de potencia.

- Distorsión armónica.

3.4.1 Análisis de parámetros en Fase A, Fase B y Fase C. 1ª medición con Analizador monofásico Fluke 43B, (tensión), Anexo 1:

Fase	Voltaje Máximo	Voltaje Mínimo	Voltaje Promedio
A	137.8 V	89.5 V	128.65 V
B	137.7 V	123.4 V	130.55 V
C	137.5 V	127.7 V	132.6 V

Tabla 3B. Tabla de voltajes máximo, mínimo y promedio con Fluke 43B 1ª prueba

Análisis de corriente en Fase A, Fase B y Fase C.

Fase	Corriente Máxima	Corriente Mínima	Corriente Promedio
A	13.12 A	8.92 A	11.02 A
B	89.7 A	34.5 A	62.1 A
C	33.54 A	21.39 A	27.46 A

Tabla 3C. Tabla de corrientes máxima, mínimo y promedio con Fluke 43B 1ª prueba

Análisis de Potencias en fase A, Fase B y Fase C.

Fase	Potencia Aparente (KVA)	Potencia Reactiva (KVAR)	Potencia Activa (KW)
A	0.03	0.03	0.00
B	1.67	1.30	-1.04
C	2.45	1.89	1.57

Tabla 3D. Tabla de potencias (S, Q y P) con Fluke 43B 1ª prueba

Análisis de Factor de Potencia en Fase A, Fase B y Fase C.

Fase	F.P.
A	-0.12
B	-0.63
C	0.64

Tabla 3E. Tabla de FP con Fluke 43B 1ª prueba

Análisis de THD e IHD en Fase A, Fase B y Fase C.

Fase	THD (<5%)	IHD (<15%)
A	2.5%	70.9%
B	1.9%	75.2%
C	3.3%	73.9%

Tabla 3F. Tabla de THD e IHD con Fluke 43B 1ª prueba

Nota1: Los detalles generales sobre la 1er prueba se encuentran en anexo 1 de este trabajo.

3.4.2 Análisis de parámetros en Fase A, Fase B y Fase C, 2ª medición con Analizador monofásico Fluke 43B (tensión) Anexo 2:

Fase	Voltaje Máximo	Voltaje Mínimo	Voltaje Promedio
A	134.5V	131.7 V	132.3 V
B	132.8 V	129.6 V	131.1 V
C	134.3 V	128.1 V	129.7 V

Tabla 3G. Tabla de voltajes máximo, mínimo y promedio con Fluke 43B 2ª prueba

Análisis de corriente en Fase A, Fase B y Fase C.

Fase	Corriente Máxima	Corriente Mínima	Corriente Promedio
A	7.1 A	0.13 A	0.13 A
B	20.1 A	17.56 A	17.72 A
C	18.31 A	0.2 A	11.01 A

Tabla 3H. Tabla de corrientes máxima, mínima y promedio con Fluke 43B 2ª prueba

Análisis de Potencias en fase A, Fase B y Fase C.

Fase	Potencia Aparente (KVA)	Potencia Reactiva (KVAR)	Potencia Activa (KW)
A	0.14	0.09	0.1
B	2.03	1.55	1.3
C	1.02	1.13	-0.49

Tabla 3I. Tabla de potencias (S, Q y P) con Fluke 43B 2ª prueba

Análisis de Factor de Potencia en Fase A, Fase B y Fase C.

Fase	F.P.
A	0.71
B	0.64
C	-0.48

Tabla 3J. Tabla de FP con Fluke 43B 2ª prueba

Análisis de THD e IHD en Fase A, Fase B y Fase C.

Fase	THD (<5%)	IHD (<15%)
A	2.3%	45.5%
B	3.7%	67.4%
C	3.5%	75.1%

Tabla 3K. Tabla de THD e IHD con Fluke 43B 2ª prueba

Nota2: Los detalles generales sobre la 2a prueba se encuentran en anexo 2 de este trabajo.

3.4.3 Análisis de parámetros en Fase A, Fase B y Fase C, 3ª medición con Analizador trifásico AMPROBE DMIII MultiTest, Anexo 4:

FASE	V(MAX)	V(MIN)	V(PROM)
A	136,1	123,3	131,6946
B	134,7	120,1	130,2297
C	135,9	123,1	130,7673

Tabla 3L. Tabla de voltajes máximos, mínimo y promedio con analizador AMPROBE DMIII Multi Test, 3ª prueba

Análisis de corriente en Fase A, Fase B y Fase C.

CORRIENTE	I(MAX)	I(MIN)	I(PROM)
I1	40,59	0	3,96
I2	69,11	11,49	15,83
I3	37,47	0	6,41

Tabla 3M. Tabla de corrientes máximas, mínima y promedio con analizador AMPROBE DMIII Multi Test, 3ª prueba.

Análisis de Potencias en Fase A, Fase B y Fase C.

FASES	P. REAL(W)	P. APARENTE(VA)	P.REACTIVA(VAR)

1	928,04	1595,38	1186,21
2	13897,14	20540,65	14850,8
3	4003,48	6057,49	3608,48

Tabla 3N. Tabla de potencias promedio (P,S y Q) con AMPROBE DMIII Multi Test, 3ª prueba

Análisis de Factor de Potencia en Fase A, Fase B y Fase C.

FASE	F.P.
1	-0,68
2	0,7
3	-0,15

Tabla 3O. Tabla de FP con AMPROBE DMIII Multi Test 3ª prueba

Análisis de THD e IHD en Fase A, Fase B y Fase C.

FASE	THD (<5%)	IHD(<15%)
1	1,83	14,45
2	2,81	96,71
3	2,18	41,69

Tabla 3P. Tabla de THD e IHD con AMPROBE DMIII Multi Test 3ª prueba

Nota3: Los detalles generales sobre la 3a prueba se encuentran en anexo 4 de este trabajo.

3.4.4 Análisis de parámetros en el sistema trifásico medidos instantáneamente con Analizador trifásico AMPROBE DMIII MultiTest, Anexo 3.

FASE	Volt. Prom.	I. Prom.	P(W)	P(VA)	P(VAR)	FP	THD	IHD
1	132,828	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,239	0,000
2	131,680	17,958	-1,509	2,365	1,821	0,638	3,251	112,100
3	131,743	13,054	-1,182	1,720	1,249	0,687	2,774	98,221
Total:	132,084	10,337	-2,690	4,080	3,070	0,660	2,755	70,107

Tabla 3Q. Tabla de parámetros generales obtenidos instantáneamente con AMPROBE DMIII MultiTest 3ª prueba.

Nota4: Los detalles generales sobre esta medición se encuentran en anexo 3 de este trabajo.

De acuerdo a los resultados obtenidos con las mediciones anteriores podemos comparar los siguientes datos con la recopilación recabada en tabla 3R, donde se observa que las mediciones mas concretas y veraces corresponden a la medición con el analizador trifásico, ya que las dos primeras mediciones se efectuaron con un analizador monofásico y estas a su vez fue en días distintos.

1a MEDICIÓN						
FASE	Voltaje (V)	Corriente (I)	Pot (KW)	Pot (KVAR)	Pot (KVA)	FP
1	128.65	11.02	0.0	0.03	0.03	-0.12
2	130.55	62.1	-1.04	1.30	1.67	-0.63
3	132.6	27.46	1.57	1.89	2.45	0.64
2a MEDICIÓN						
FASE	Voltaje (V)	Corriente (I)	Pot (KW)	Pot (KVAR)	Pot (KVA)	FP
1	132.3	0.13	0.1	0.09	0.14	0.71
2	131.1	17.72	1.3	1.55	2.03	0.64
3	129.7	11.01	-0.49	1.13	1.02	-0.48
3a MEDICIÓN						
FASE	Voltaje (V)	Corriente (I)	Pot (KW)	Pot (KVAR)	Pot (KVA)	FP
1	131.6	3,96	0.92	1.18	1.59	-0,68
2	130.2	15,83	13.89	14.85	20.54	0,7
3	130.7	6,41	4.00	3.60	6.05	-0,15

Tabla 3R. Tabla de comparación de datos de acuerdo a 1ª, 2ª y 3ª medición efectuada con los analizadores de la calidad de la energía Fluke 43B y Amprobe DMIII Multi test.

3.4.5 Cálculos del valor de la Potencia Reactiva por medio de fórmula, por método de tabla y por el método de triángulo de potencias para la obtención del valor del banco de capacitores:

Cálculo del Factor de Potencia	$FP = \frac{P}{S} \rightarrow (1)$
Cálculo de VAR, por tabla:	$Q = [P(\text{Factor } k)] = VAR$ <i>El factor k se obtiene de tabla incluida en anexo 10. (Tabla de FP deseado))</i>
Cálculo de VAR, por fórmula:	$Q = [P(\tan(\cos^{-1} \varphi_a) - \tan(\cos^{-1} \varphi_d))] = VAR \rightarrow (2)$ $\varphi_a = \text{Actual} \quad \varphi_d = \text{Deseado}$
Cálculo de VAR, por triángulo de potencias:	$S_1 = \frac{P_1}{FP_a}; \text{ donde: } FP_a = FP \text{ actual}$ $Q_1 = \sqrt{[(S_1)^2 - (P_1)^2]} \rightarrow (3)$ $S'_1 = \frac{P_1}{FP_d}; \text{ donde: } FP_d = FP \text{ deseado}$ $Q'_1 = \sqrt{[(S'_1)^2 - (P_1)^2]}$ $Q_T = Q_1 - Q'_1 = VAR \rightarrow (4)$

Tabla 3S. Tabla fórmulas para la obtención de la Potencia Reactiva.

Para calcular el valor de la potencia reactiva necesaria para corregir el Factor de Potencia de cada fase nos basamos en los datos arrojados por el analizador de la calidad de la energía Amprobe en cada fase tomando en cuenta los parámetros de demanda máxima en la potencia real y aparente como se muestra en la tabla 3T:

FASES	P. REAL(W)	P. APARENTE(VA)
1	2651,13	4508,62
2	33545,31	47841,50
3	13327,68	19127,94

Tabla 3T. Potencia real y aparente para calcular potencia reactiva.

De acuerdo con la tabla 3T, se calculó el valor de la potencia reactiva por el método de la tabla (ver anexo 10), por el método de fórmula matemática (expresión 2) y por triángulo de potencias (expresión 3 y 4) desglosando procedimiento a continuación:

Calculo para fase A:

$$P_1 \text{ max} = 2651 .13 W \rightarrow \text{sustituir en exp . (1)}$$

$$S_1 \text{ max} = 4508 ,62 VA \rightarrow \text{sustituir en exp . (1)}$$

$$FP_a = 0.58; \text{ actual}$$

$$FP_d = 0.95; \text{ deseado}$$

Por medio del Método de Tabla obtenemos :

$$\text{Factor } K = 1.076$$

$$Q_1 = P_1 (\text{Factor } (k))$$

$$Q_1 = 2651 .13 (1.076)$$

$$\underline{Q_1 = 2852 .61 VAR}$$

Por medio del Método de fórmula \rightarrow exp . (2):

$$Q_1 = P_1 [(\tan \varphi_a - \tan \varphi_d)]$$

$$Q_1 = 2651 .13 [(\tan (\cos^{-1} 0.58) - \tan (\cos^{-1} 0.95))]$$

$$\underline{Q_1 = 2852 .01 VAR}$$

Por medio del Método del triángulo de Potencias \rightarrow exp . (3 y 4):

$$S_1 = \frac{P_1}{FP_a}; S_1 = \frac{2651 .13}{0.58}; S_1 = 4570 .91 VA$$

$$Q_1 = \sqrt{[(S_1)^2 - (P_1)^2]};$$

$$Q_1 = \sqrt{[(4570 .91)^2 - (2651 .13)^2]}$$

$$Q_1 = 3723 .53 VAR$$

$$S_1' = \frac{P_1}{FP_d}; S_1' = \frac{2651 .13}{0.95}; S_1' = 2790 .66 VA$$

$$Q_1' = \sqrt{[(S_1')^2 - (P_1)^2]}; Q_1' = \sqrt{[(2790 .66)^2 - (2651 .13)^2]}$$

$$Q_1' = 871 .374 _ VAR$$

$$Q_T = Q_1 - Q_1'; Q_T = 3723 .53 - 1284$$

$$\underline{Q_T = 2852 .15 VAR}$$

Calculo para fase B:

$$P_2 \text{ max} = 33545.31 \text{ W sustituiamos en exp. } \rightarrow (1)$$

$$S_2 \text{ max} = 47841.50 \text{ VA sustituiamos en exp. } \rightarrow (1)$$

$$FP_a = 0.70; \text{ actual}$$

$$FP_d = 0.95; \text{ deseado}$$

Por medio del Método de Tabla obtenemos :

$$\text{Factor } K = 0.692$$

$$Q_2 = P_2 (\text{Factor } (k))$$

$$Q_2 = 33545.31 (0.692)$$

$$\underline{Q_2 = 23213.35 \text{ VAR}}$$

Por medio del Método de fórmula \rightarrow exp. (2):

$$Q_2 = P_2 [(\tan \varphi_a - \tan \varphi_d)]$$

$$Q_2 = 33545.31 [(\tan(\cos^{-1} 0.70) - \tan(\cos^{-1} 0.95))]$$

$$\underline{Q_2 = 23197.25 \text{ VAR}}$$

Por medio del método del triángulo de Potencias \rightarrow exp. (3 y 4):

$$S_2 = \frac{P_2}{FP_a}; \quad S_2 = \frac{33545.31}{0.70}$$

$$S_2 = 47921.87 \text{ VA}$$

$$Q_2 = \sqrt{[(S_2)^2 - (P_2)^2]}$$

$$Q_2 = \sqrt{[(47921.87)^2 - (33545.31)^2]}$$

$$Q_2 = 34223.06 \text{ VAR}$$

$$S'_2 = \frac{P_2}{FP_d}; \quad S'_2 = \frac{33545.31}{0.95}$$

$$S'_2 = 35310.852 \text{ VA}$$

$$Q'_2 = \sqrt{[(S'_2)^2 - (P_2)^2]}$$

$$Q'_2 = \sqrt{[(35310.852)^2 - (33545.31)^2]}$$

$$Q'_2 = 11025.81 \text{ VAR}$$

$$Q_T = Q_2 - Q'_2$$

$$Q_T = 34223.06 - 11025.81$$

$$\underline{Q_T = 23197.25 \text{ VAR}}$$

Calculo para fase C:

$$P_3 \text{ max} = 13327.68 \text{ W sustituimos en exp.} \rightarrow (1)$$

$$S_3 \text{ max} = 19127.94 \text{ VA sustituimos en exp.} \rightarrow (1)$$

$$FP_a = 0.69; \text{ actual}$$

$$FP_d = 0.95; \text{ deseado}$$

Por medio del Método de Tabla obtenemos :

$$\text{Factor } K = 0.72$$

$$Q_3 = P_3 (\text{Factor } (k))$$

$$Q_3 = 13327.68 (0.72)$$

$$\underline{Q_3 = 9595.92 \text{ VAR}}$$

Por medio del Método de fórmula \rightarrow exp. (2):

$$Q_3 = P_3 [(\tan \varphi_a - \tan \varphi_d)]$$

$$Q_3 = 13327.68 [(\tan(\cos^{-1} 0.69) - \tan(\cos^{-1} 0.95))]$$

$$\underline{Q_3 = 9600.12 \text{ VAR}}$$

Por medio del Método del triángulo de Potencias \rightarrow exp. (3 y 4):

$$S_3 = \frac{P_3}{FP_a}; \quad S_3 = \frac{13327.68}{0.69}$$

$$S_3 = 19315.47 \text{ VA}$$

$$Q_3 = \sqrt{[(S_3)^2 - (P_3)^2]}$$

$$Q_3 = \sqrt{[(19315.47)^2 - (13327.68)^2]}$$

$$Q_3 = 13980.72 \text{ VAR}$$

$$S'_3 = \frac{P_3}{FP_d}; \quad S'_3 = \frac{13327.68}{0.95}$$

$$S'_3 = 14029.13 \text{ VA}$$

$$Q'_3 = \sqrt{[(S'_3)^2 - (P_3)^2]}$$

$$Q'_3 = \sqrt{[(14029.13)^2 - (13327.68)^2]}$$

$$Q'_3 = 4380.596 \text{ VAR}$$

$$Q_T = Q_3 - Q'_3$$

$$Q_T = 13980.72 - 4380.596$$

$$\underline{Q_T = 9600.12 \text{ VAR}}$$

De acuerdo al procedimiento descrito se obtuvieron los siguientes resultados, (ver tabla 3U):

CÁLCULO DE POTENCIA REACTIVA (VAR)						
FASES	F.P. CALCULADO	F.P. DESEADO	FACTOR K, (TABLA)	MÉTODO TABLA	FÓRMULA	TRIÁNGULO DE POTENCIAS
1	0,58	0,95	1.076	2852.61	2852.01	2852.15
2	0,67	0,95	0,692	23213.35	23197.25	23197.25
3	0,66	0,95	0,720	9595.92	9600.12	9600.12

Tabla 3U. Tabla con datos obtenidos de VAR's por los métodos: tabla, fórmula y triángulo de potencias.

Con los resultados obtenidos se procede a comparar los valores de VAR's que arrojaron los analizadores con los valores obtenidos en tabla 3U, quedando de la siguiente manera, (ver tabla 3V):

TOTAL DE KVAR's					
FASES	ANALIZADOR	FÓRMULA	TABLA	TRIÁNGULO DE POTENCIAS	KVAR COMERCIAL
1	1,186	2.852	2.852	2.852	5
2	14,85	23.197	23.213	23.197	20
3	3,608	9600	9.595	9.600	10

Tabla 3V. Tabla de valores de VAR's totales y su valor comercial

3.5. Armado e implementación del banco de capacitores.

Para llevar a cabo la comprobación de la corrección del FP de la parte sur del Laboratorio de la carrera de Automatización de la FI de la UAQ; se compraron 12 unidades capacitivas monofásicas de 2,5 KVAR's con su respectivo gabinete para montaje (ver anexo 11) dando un total de 30 KVAR's distribuidos entre las tres fases.

En la tabla 3W y 3X se reflejan los resultados arrojados con y sin el nuevo banco de capacitores instalado:

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	U _{L12}	Ursm	U _{L23}	Ursm	U _{L13}
132.375	227.451	130.616	225.630	131.633	230.058
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
2.931	1.067	4.039	2.499	3.137	1.983
lrsm	P(kW)	lrsm	P(kW)	lrsm	P(kW)
8.058	0.640	19.132	1.777	15.067	1.313
thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c
121.442	-0.853	93.214	-1.757	102.872	-1.486
Pf c	dPf	Pf c	dPf	Pf c	dPf
0.600	0.959	0.711	0.990	0.662	0.968
Total info					
Stot(kVA)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Ptot c	I null	
5.54	-4.10	3.73	0.67	25.20	

Tabla 3W. Datos arrojados en el sistema trifásico sin banco de capacitores.

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	U _l 12	Ursm	U _l 23	Ursm	U _l 13
129.903	224.450	129.047	222.242	130.910	228.089
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
3.147	2.594	4.403	5.320	3.494	3.097
lrsm	P(kW)	lrsm	P(kW)	lrsm	P(kW)
19.970	0.598	41.226	1.507	23.660	1.080
thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c
42.188	-2.524	43.039	-5.102	52.439	-2.903
Pf c	dPf	Pf c	dPf	Pf c	dPf
0.231	0.256	0.283	0.316	0.349	0.403

Total info				
Stot(kVA)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Pftot c	I null
11.00	-10.53	3.19	0.29	33.86

Tabla 3X. Datos arrojados en el sistema trifásico con banco de capacitores.

Como podemos ver, el resultado no resultó satisfactorio; debido a que el FP decayó de 0.67 a 0.29; producto del incremento de la potencia reactiva del sistema; ya que incrementó considerablemente de -4.1 KVAR a -10.53 KVAR. Por lo tanto la solución de implementar un banco de capacitores no resultó como se esperaba.

3.6. Propuesta de mejora del sistema eléctrico del laboratorio de Automatización

De acuerdo a los resultados obtenidos con el banco de capacitores propuesto, se efectuó un exhaustivo análisis del por qué no resultó dicha mejora; y se encontró que el origen del problema proviene desde la subestación principal de la FI, ya que los sistemas conectados en ella, son de los diferentes edificios de la facultad; pero el detalle en particular de este edificio (laboratorio de Automatización), no corresponde directamente a un interruptor principal de dicha subestación; si no que lo comparte con otros sistemas.

Por otra parte se encontró que el sistema eléctrico del laboratorio, no está distribuido de manera correcta; es decir, no hay un interruptor en específico para cada tipo de carga.

Por lo tanto, se propone reinstalar un tablero principal y tres tableros secundarios para cada tipo de carga como se muestra en la Fig. 3AB.

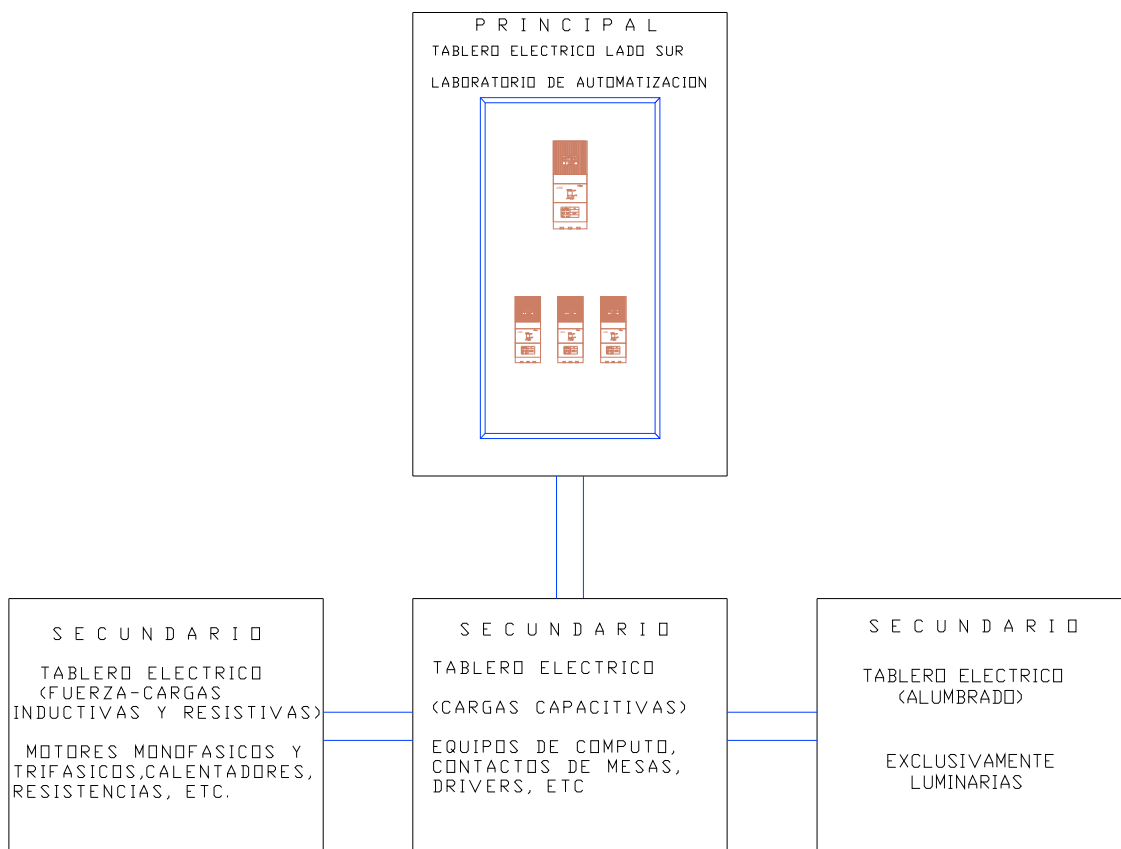


Fig. 3AB. Propuesta de mejora del sistema eléctrico en el Laboratorio

3.7. Programa de Mantenimiento Preventivo en el Sistema Eléctrico del Laboratorio de Automatización.

1. Revisar diariamente estado de las luminarias (apagador, limpieza, residuos de humedad, soporte fijo).
2. Revisar semanalmente contactos de mesas en los laboratorios y en paredes de los mismos (Fase, Neutro, Tierra).
3. Revisar cada semestre el sistema eléctrico de manera general con la ayuda del analizador de la calidad de la energía por cierto tiempo para registrar y recopilar los diversos parámetros en cada una de las fases como es: voltaje, corriente, potencias (activa, reactiva y aparente), FP, armónicos (corriente y tensión).
4. Revisar periódicamente aislamiento y FP de los motores trifásicos que se ocupan para prácticas.

5. Revisar cada mes el compresor de aire que abastece los laboratorios (purga, aceite, unidades de mantenimiento, fugas, arranque y paro).
6. Revisar semanalmente el estado físico de los interruptores del tablero principal del Laboratorio.

En los anexos 5, 6 y 7 se visualizan los Métodos de mantenimiento “checklist” (Contactos, Fuerza e Iluminación) recomendados a realizar ya sea diario, semanal, mensual o cada semestre dependiendo de su frecuencia de uso.

En la fig. 3AC, se muestra el organigrama correspondiente al personal involucrado en el programa de Mantenimiento del laboratorio de Automatización.

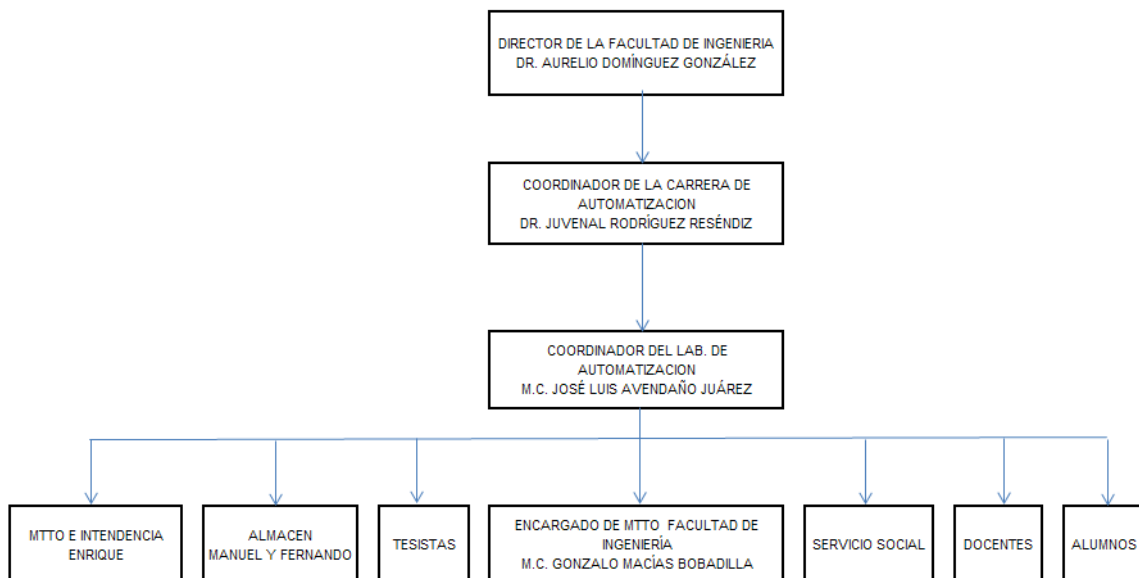


Fig. 3AC. Organigrama de Mantenimiento del laboratorio de Automatización

IV. RESULTADOS, APLICACIONES Y USO DEL TRABAJO

Se actualiza la información sobre la calidad de la energía eléctrica existente en el laboratorio de Automatización, en donde se planteó la propuesta de añadir un banco de capacitores independiente para cada fase, pero el resultado obtenido fue negativo; ya que el FP decayó de 0.67 a 0.29; producto del incremento de la potencia reactiva del sistema; ya que incrementó considerablemente de -4.1 KVAR a -10.53 KVAR. Por lo tanto se plantea una propuesta para una mejora del sistema en el sistema eléctrico que consiste en reinstalar el tablero principal y tres tableros secundarios para cada tipo de carga, en donde el tablero principal será el que se alimentará desde el transformador de la subestación, y los tres subsistemas serían: 1. Fuerza: (cargas inductivas y resistivas) motores monofásicos y trifásicos, calentadores, resistencias, etc. 2. Control: (cargas capacitivas) equipos de cómputo, drivers, contactos de mesas de trabajo, y 3. Alumbrado: Exclusivamente luminarias.

Además se implementó un programa de Mantenimiento Preventivo para el sistema eléctrico del Laboratorio, cuyo objetivo principal es el de mantener en condiciones óptimas el sistema. (Anexos: 5, 6 y 7).

V. CONCLUSIONES.

Como resultado del proceso de Monitoreo y Análisis de la Calidad de la energía efectuado en el Laboratorio de Automatización, se deduce que no se puede corregir el Factor de Potencia desde el tablero de alimentación del mismo laboratorio, ya que sólo representa una fracción de la carga total del transformador al cual está conectado; además de que en dicho laboratorio no existen cargas inductivas en constante operación (motores, inversores, bombas), en cambio lo que si interviene es la presencia de armónicos en el sistema debido a la demanda del equipo de cómputo y electrónico que se utiliza frecuentemente. Por lo tanto lo que se requiere para tener una mejor calidad de energía en el laboratorio es:

1. Corregir el FP desde el transformador principal de la Facultad y dejar un interruptor independiente para cada edificio.
2. Instalar un tablero principal y tres tableros secundarios en el laboratorio:
Uno para fuerza: (cargas inductivas y resistivas) motores monofásicos y trifásicos, contactos trifásicos 220 Vca, calentadores, resistencias, etc., otro para control: (cargas capacitivas) equipos de cómputo, drivers, contactos de mesas de trabajo de 127 Vca y un tercero para alumbrado: exclusivamente luminarias; para de esta manera tener la señal lo más limpia posible y el servicio que requiere la comunidad estudiantil será más satisfactorio.

5.1 Conclusiones del Programa de Mantenimiento Preventivo:

El mantenimiento de equipos, infraestructuras, herramientas, maquinaria, etc. representa una inversión que a mediano y largo plazo acarreará ganancias no sólo para el empresario a quien esta inversión se le revertirá en mejoras en su producción, sino también el ahorro que representa tener trabajadores sanos e índices de accidentalidad bajos.

El mantenimiento representa una herramienta importante en seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en los equipos que pueden ser prevenidos. También el mantener las áreas y

ambientes de trabajo con adecuado orden, limpieza, iluminación, etc. es parte del mantenimiento preventivo de los sitios de trabajo.

El mantenimiento no solo debe ser realizado por el departamento encargado de esto, sino que el usuario del servicio debe ser concientizado a mantener en buenas condiciones los equipos, herramienta, maquinarias, esto permitirá mayor responsabilidad de él mismo y así contribuir con la prevención de accidentes.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Benítez González Luis Nasif, mayo 2009. “Proyecto de Ahorro de Energía para un salón de clases implementando un control en el sistema de iluminación”. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad profesional Adolfo López Mateos. Instituto Politécnico Nacional. MÉXICO.
- Buenrostro Orta Antonio Santiago, 2007. “Estudio de la Calidad de la Energía Eléctrica en una Empresa con una carga Altamente No-Lineal”. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. MÉXICO.
- Calixto Maldonado Armando, 1996. “La Corrección del Factor de Potencia en la Industria”. Tesina de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. MÉXICO.
- Dimoudi A., Kostarela P., 2009. “Energy monitoring and conservation potential in School buildings in the C` climatic zone of Greece”. Department of Environmental Engineering. Democritus University of Thrace. GREECE.
- Dounis A.I, 2008. “Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment- A review”. Department of Automation Technological Educational Institute of Piraeus, GREECE.
- Enríquez Harper Gilberto. 2006. “El ABC de la calidad de la Energía Eléctrica”, editorial Limusa S.A. de C.V. pp. 15-20, MÉXICO.
- Flores Andrade Roberto, 1996. “Análisis del Factor de Potencia”. Tesina de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. MÉXICO.
- Martínez Medellín Miguel Ángel, 2008. “Administración y Ahorro de la Energía Eléctrica”. Memoria de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. MÉXICO.
- Muñoz López Víctor Hugo, 2008. “Estudio de Calidad y Ahorro de Energía Eléctrica en las Instalaciones de los Edificios Bernardo Quintana, Valdez Vallejo, DIMEI y 12 del Instituto de Ingeniería”.

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
MÉXICO.

- Trejo Perea Mario, 2005. “Ahorro y Análisis del Consumo y Calidad de la Energía Eléctrica”. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. MÉXICO.
- Ellenbogen Richard, 2010, “A la carga, Corrección del Factor de Potencia fase 3: Industria/Comercio”, Proyecto piloto. Autoridad para el Desarrollo e Investigación del estado de Nueva York (NYSERDA), Nueva York, U.S.A.
- López Santos Oswaldo, 2010, “Filtro Activo Paralelo para Compensación de Factor de Potencia y Distorsión Armónica en Aplicaciones Industriales”, Tesis Magistral. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Bogotá, COLOMBIA.
- López Escobar Felisa Eugenia, 2011, “Estudio de Eficiencia Energética y Proyecto de Readecuación de la Fábrica de Medias Gardenia”, Tesis de Licenciatura. Escuela Politécnica Nacional, Quito, ECUADOR.
- www.cfe.gob.mx.
- www.fluke.com.
- www.amprobe.com.