



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## *Facultad de ingeniería*

Análisis de la Calidad de la Energía en la  
Facultad de Ingeniería

QUE PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELECTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA

LOPEZ ROMERO JOSE FRANCISCO

QUE PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICO  
(AREA ELECTRICA)

PRESENTA

PACHECO REYES JUAN ANTONIO

DIRECTOR DE TESIS:  
M. I. TANYA MORENO CORONADO



MÉXICO D. F.

2009

*A mi familia, (R, JJ, el otro JJ, G, C, S, JP) que amo, y que me ha brindado su apoyo incondicional, y cariño para continuar.*

*A mi querida Natzin que siempre me ha ayudado, apoyado, regañado y llevado a buen camino.*

*A todos los profesores que me han compartido su conocimiento durante tantos años de escuela.*

*A los compañeros con los que compartí aulas, a mis amigos, con los que compartí desvelos, fiestas y buenos momentos.*

*A todos en el PAE, que me han ayudado a mejorar como ingeniero, brindándome de sus conocimientos, un tema para titularme y buscar más.*

*A la facultad, donde siempre tuve donde estudiar, relajarme o dormirme.*

*A la UNAM a la cual pertenezco desde hace ya algunos años, y de la cual estoy orgulloso de pertenecer.*

*Gracias por ayudarme a hacer esto posible.*

*José Francisco López Romero*

*Dedico esta tesis.*

*A mis padres, por todo el amor, ternura y apoyo que siempre me han dado y por la fantástica experiencia de vida a su lado.*

*A mis hermanos, a quienes me aman y amo profundamente y por la dicha de haber compartido la vida con ellos.*

*Mi Agradecimiento.*

*A mis amigos más cercanos: Nelly, Fernando, Alejandro, Oscar, Israel y Erick, por que su compañía, ánimo, consejos y regaños, pero sobre todo su presencia, han hecho de esta vida una experiencia inolvidable.*

*A la Facultad de Ingeniería y al Programa "Proyectos de Ahorro de Energía" de la UNAM, ambos constituyen mi curva de aprendizaje y desarrollo adquirido, gracias por la confianza, el apoyo y la oportunidad brindada. "Soy PAE y Soy UNAM".*

*Quiero agradecer de manera especial a mi novia, su presencia me ha proporcionado los ánimos para cerrar este capítulo de mi vida e impulsa a comenzar un nuevo camino. Gracias por todo.*

*Juan Antonio Pacheco Reyes*



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## *Análisis de la Calidad de la Energía en la Facultad de Ingeniería.*

---

### INDICE.

**JUSTIFICACIÓN.**

**OBJETIVO GENERAL.**

**OBJETIVOS PARTICULARES.**

**METODOLOGÍA.**

**INTRODUCCIÓN.**

### **1. CALIDAD DE LA ENERGÍA.**

**INTRODUCCIÓN.**

**1.1 CALIDAD DE ENERGÍA.**

**1.2 DEFINICIONES.**

Calidad de Energía (PQ).

Estabilidad de la Tensión.

A) Variaciones de tensión largas.

❖ *Sobre-tensión.*

❖ *Baja-tensión.*

B) Variaciones de tensión cortas.

❖ *Interrupciones Cortas.*

❖ *Caída de tensión (Sags).*

❖ *Elevaciones de tensión (Swells).*

C) Desbalance de tensión.

D) Fluctuaciones de tensión.

E) Variaciones en la frecuencia del sistema.

Distorsión de la Forma de onda.

A) Transitorios.

❖ *Pulsos.*

❖ *Oscilatorios.*

B) DC offset.

C) Muecas en la tensión (*Notching*).

D) Ruido (*Noise*).

E) Armónicos.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## *Análisis de la Calidad de la Energía en la Facultad de Ingeniería.*

---

- ❖ *Factor de Distorsión (FD).*
  - ❖ *Distorsión armónica total (TDH).*
  - ❖ *Punto de Acometida (PA).*
  - ❖ *Corriente de máxima demanda (IL).*
  - ❖ *Corriente de cortocircuito en el punto de acometida (ICC).*
  - ❖ *Impedancia Relativa (ICC/IL).*
  - ❖ *Distorsión total de demanda (TDD).*
  - ❖ *Punto de acoplamiento en planta (IPC).*
- F) *Íter- armónicos.*

### **1.3. ESTÁNDARES NACIONALES E INTERNACIONALES.**

Límites Permisibles para la Distorsión Armónica.

- A) Estándar del IEEE.
- B) Estándar IEC.
- C) Normas Europeas EN.
- D) Estándar Nacional.
- ❖ Estándar de la CFE.

## **2. PROYECTO Y MEDICIÓN EN LA FI. DESCRIPCIÓN.**

### **2.1. LEVANTAMIENTO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.**

- A) Plano Arquitectónico.
- B) Planos Eléctricos.
- C) Diagrama Unifilar.
- D) Cuadros de Carga.

### **2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS.**

- A) Iluminación interior o exterior.
- B) Receptáculos.
- C) Motores.
- D) Aire Acondicionado.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Análisis de la Calidad de la Energía en la Facultad de Ingeniería.*

---

- E) Transformadores de Energía.
- F) UPS.
- G) Regulador de Tensión y Acondicionadores de Línea.
- H) Tableros.

#### **2.3. RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO.**

#### **2.4. MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS.**

- A) Subestación eléctrica.
- B) Monitoreo de Parámetros Eléctricos.
  - ❖ Demanda.
  - ❖ Tensión.
  - ❖ Corriente.
  - ❖ Factor de Potencia.
  - ❖ Frecuencia.
- C) Distorsión Armónica.
  - ❖ Distorsión Armónica Total en Tensión (DATT).
  - ❖ Distorsión Armónica Total en Corriente (DATC).
- D) Análisis de transitorios.
  - ❖ Transitorio registrado el día 31, a las 8:32 horas.
  - ❖ Transitorio registrado el día 31, a las 12.09 horas.
  - ❖ Transitorio registrado el día 27, a las 13:23 horas.
  - ❖ Contenido armónico.

### **3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LA FI.**

#### **3.1. SITUACIÓN ACTUAL EN LA F I.**

- A). Edificio A.
- B). Edificio B.
- C). Edificio C.
- D). Edificio D.
- E). Edificio E.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Análisis de la Calidad de la Energía en la Facultad de Ingeniería.*

---

#### **3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS TABLEROS.**

#### **3.3. OTRAS CARACTERÍSTICAS.**

#### **3.4. SOLUCIONES A PROBLEMAS DE CALIDAD DE ENERGÍA.**

- A). Puesta a Tierra Aislada.
- B). Línea Dedicada.
- C). Transformadores de Aislamiento.
- D). Filtros.
- E). Supresores de Sobretensión Transitoria (o de picos).
- F). Transformador de Tensión Constante o Ferroresonante.
- G). Acondicionador o Regulador de Línea.
- H). Sistemas de Energía Ininterrumpible (ups).

#### **3.5. COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS.**

#### **3.6. COTIZACIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS.**

#### **4. CONCLUSIONES.**

#### **5. APÉNDICES.**

**APÉNDICE A: Normas ANCE.**

**APÉNDICE B. Normas.**

**APÉNDICE C: Planos de la Facultad de Ingeniería.**

**APÉNDICE D: Datos técnicos del analizador de calidad de energía.**

**APÉNDICE E: Diagrama unifilar de la subestación eléctrica.**

**APÉNDICE F: *Respuesta en la Frecuencia de un Circuito RLC.***

#### **6. BIBLIOGRAFÍA.**



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

### *Análisis de la Calidad de la Energía en la Facultad de Ingeniería.*

---

#### **JUSTIFICACIÓN.**

Las cargas electrónicas conectadas al sistema eléctrico de la Facultad de Ingeniería, son de vital importancia para que esta pueda dar respuesta a los diferentes servicios que presta (servicios de bibliotecas, computo, administrativos e investigación), pero de manera primordial, para dar cumplimiento a su misión: "Formar de manera integral recursos humanos en Ingeniería, realizar investigación acorde con las necesidades de la sociedad, y difundir ampliamente la cultura nacional y universal"<sup>1</sup>.

Algunas de estas cargas son particularmente sensibles a la calidad de energía eléctrica con que se alimentan, por ello, es imprescindible determinar la que está presente en las instalaciones eléctricas de la Facultad y definir, en caso de ser necesario, las medidas pertinentes para conseguir un suministro eléctrico de calidad dentro de las instalaciones.

Dotar a las instalaciones eléctricas de la Facultad, de un suministro eléctrico adecuado, libre de disturbios, va a permitir disminuir costos de operación y mantenimiento en las mismas y en las cargas conectadas al servicio eléctrico, también contribuye a eficientar los procesos de operación de los equipos utilizados para desarrollar los servicios prestados por la FI.

En el presente trabajo se detallan y analizan las actividades realizadas para determinar la calidad de energía en las instalaciones eléctricas del conjunto norte de la Facultad de Ingeniería.

#### **OBJETIVO GENERAL.**

Determinar el estado actual de la calidad de la energía eléctrica en el conjunto norte de la facultad de ingeniería; analizar y proponer las acciones convenientes para eficientar su uso en las instalaciones.

#### **OBJETIVOS PARTICULARES.**

Determinar cuales son y en donde se ubican las fuentes que generan disturbios eléctricos.

Determinar la ubicación de cargas sensibles a los disturbios eléctricos y las acciones pertinentes para disminuir su afección.

---

<sup>1</sup> <http://www.ingenieria.unam.mx/paginas/misionVision.htm>



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

### *Análisis de la Calidad de la Energía en la Facultad de Ingeniería.*

---

#### **METODOLOGÍA.**

El primer paso es definir la terminología usada para el análisis de la calidad de energía, así como los parámetros involucrados y los límites permisibles para cada uno.

Se realizó el levantamiento eléctrico de las instalaciones del conjunto norte de la facultad de ingeniería, con el que se identificaron los equipos y cargas conectadas al sistema eléctrico del conjunto y se separaron en tres grupos.

- ❖ El primero comprende las cargas que generan disturbios eléctricos pero que no son sensibles a ellos.
- ❖ El segundo a las cargas que son sensibles a los disturbios pero que no son fuentes de los mismos.
- ❖ El tercero a aquellas cargas que, por su operación, son fuente pero al mismo tiempo sensible a los disturbios eléctricos presentes en la red eléctrica.

Una vez identificados los grupos, se realizó un estudio de los diferentes factores que afectan la calidad del suministro de energía eléctrica a las cargas, estos factores dependen en gran medida en la interconexión de las cargas, por lo que los métodos de instalación, de los diferentes equipos que integran las instalaciones eléctricas, es de gran importancia para la calidad del suministro eléctrico.

La medición de parámetros eléctricos es la forma a través de la cual se conoce el comportamiento y la calidad de las señales eléctricas de suministro y el medio para evaluarlas, con referencia a normas nacionales e internacionales. Por lo anterior se lleva a cabo la medición de parámetros eléctricos, en la subestación que suministra energía al conjunto norte de la facultad.

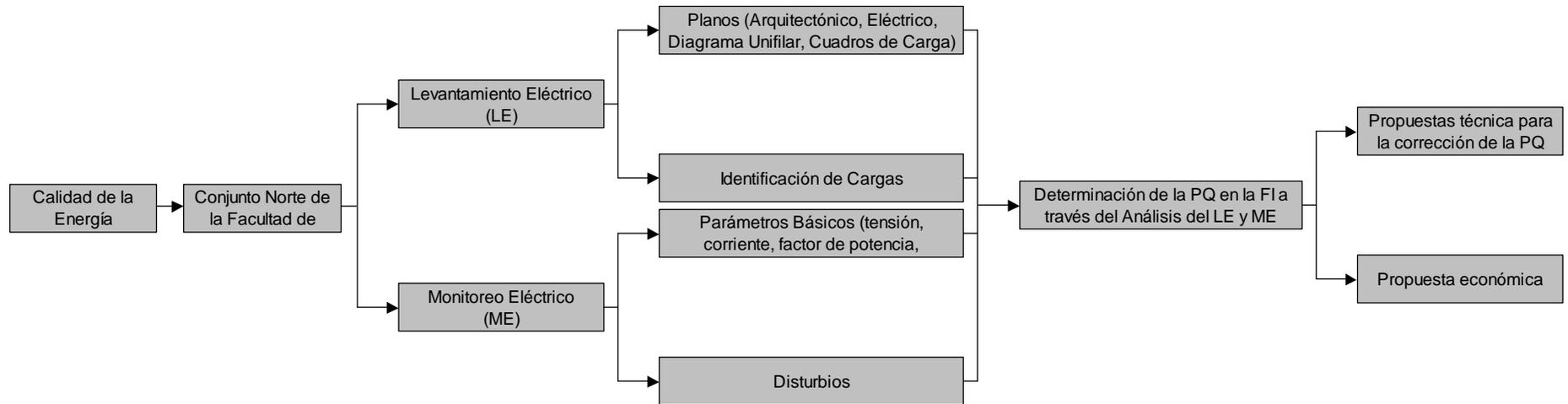
Una vez identificados los grupos, analizadas las interconexiones de equipos y los métodos de instalación y evaluada la calidad de las señales de suministro, se proponen las acciones para mejorar la calidad de energía en las instalaciones eléctricas del conjunto norte de la facultad de ingeniería.

En la figura 1 se esquematiza la metodología empleada para determinar la calidad de energía en el conjunto norte de la Facultad de Ingeniería.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## *Análisis de la Calidad de la Energía en la Facultad de Ingeniería.*



**Figura 1. Metodología empleada en el estudio de la calidad de la energía**



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Análisis de la Calidad de la Energía en la Facultad de Ingeniería.*

---

#### INTRODUCCIÓN.

El 20 de noviembre de 1952 se declaró inaugurada oficialmente la Ciudad Universitaria (CU), las dependencias que la constituían hasta ese momento se ubicaban en lo que hoy conocemos como el “casco viejo de Ciudad Universitaria”, o bien, como el conjunto de Facultades y Escuelas ubicado en la Zona Escolar. La Facultad de Ingeniería se encuentra dentro de este primer cuerpo de la Universidad, por lo que la antigüedad de sus instalaciones data de esta fecha<sup>2</sup>.

El sistema eléctrico empleado para suministrar energía a estos recintos fue de vanguardia, pues se trataba de un sistema subterráneo, en una zona donde realizar excavaciones resultaba complejo debido a la piedra volcánica producto de la erupción del volcán Xitle.

Las instalaciones eléctricas de todas las edificaciones constituían un orgullo para la ingeniería mexicana y en específico, para la Universidad Nacional Autónoma de México, pues se emplearon materiales y diseños de vanguardia, dotando al conjunto (desde el punto de vista eléctrico), de una alta eficiencia, seguridad, desempeño, facilidad de mantenimiento y operación, en resumen, la planeación del sistema eléctrico de Ciudad Universitaria preveía el crecimiento de la máxima casa de estudios del país y se le daba la flexibilidad suficiente para poder responder a las necesidades futuras.

Todas las previsiones, no fueron suficientes para encarar la problemática que se presenta en todas las instalaciones desarrolladas en la segunda mitad del siglo XX, pues jamás se pensó que el desarrollo tecnológico traería nuevos retos, como lo es la calidad de la energía eléctrica, más aún, jamás se pensó que la economía, seguridad, control y confort dependieran de la calidad de las señales eléctricas con que se alimentan todos los equipos eléctricos que empleamos.

Fue hasta la década de los 80's, 30 años después de haber creado las instalaciones eléctricas de los edificios del primer cuerpo de CU, que se comienzan a desarrollar estudios entorno a las afecciones que sufren los equipos al suministrarles, para su operación, una señal de tensión casi senoidal, en esta época se crea toda la terminología para describir las alteraciones que pueden sufrir las señales eléctricas y se da comienzo a la creación de normas que establezcan límites para estas alteraciones, la respuesta en términos de vida útil de los equipos, confiabilidad de operación y procesamiento de información está en función de la pureza de la señal de suministro.

En la actualidad se cuenta, en el ámbito mundial, con una gran variedad de normas referidas a la calidad de la energía, en México se han adecuado muchas de ellas para

---

<sup>2</sup> [http://www.arts-history.mx/semanario/especial.php?id\\_notas=20072007180254](http://www.arts-history.mx/semanario/especial.php?id_notas=20072007180254).



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Análisis de la Calidad de la Energía en la Facultad de Ingeniería.*

---

satisfacer nuestras necesidades, adaptándolas a las limitaciones tecnológicas de nuestro país.

En el presente trabajo desarrollamos las actividades necesarias para determinar, a partir de las definiciones y normalización existente, la calidad de energía (PQ) del suministro eléctrico del conjunto norte de la Facultad de ingeniería. Para ello hemos elaborado el análisis en tres capítulos y los apéndices.

En el primer capítulo damos un breve panorama de los estudios realizados sobre la calidad de la energía en el ámbito mundial y presentamos la definición del termino, al mismo tiempo se definen los parámetros que involucra la calidad de la energía y se hace referencia a las normas nacionales e internacionales que la describen.

En el segundo capítulo proporcionamos una panorámica de la situación actual de las instalaciones del conjunto norte de la FI y describimos las actividades realizadas para determinar la calidad de la energía. También se presenta el resultado de estas actividades agrupadas en dos bloques: el primero se refiere al levantamiento eléctrico y el segundo al monitoreo de parámetros, también eléctricos.

El tercero y último capítulo se centra en el análisis de la información obtenida durante el levantamiento y el monitoreo eléctrico<sup>3</sup> a partir de este análisis se presentan las propuestas técnica y económica para la corrección de la calidad de la energía en las instalaciones del conjunto norte de la Facultad de Ingeniería.

En los apéndices se concentra la información técnica que ayuda a la mejor comprensión del documento, y a la cual se hace referencia en diferentes capítulos del presente trabajo.

---

<sup>3</sup> En adelante: levantamiento eléctrico (LE), monitoreo eléctrico (ME).



## 1. CALIDAD DE LA ENERGÍA.

### INTRODUCCIÓN.

El empleo y generación de la electricidad, de manera controlada, se remonta a escasos 200 años de antigüedad, cuando Alessandro G. Volta construye el primer dispositivo generador de electricidad. Se trataba de la transformación de energía de una reacción química en energía eléctrica. Esta fue la primera vez en la historia que se generaba electricidad continua y estable. Las conclusiones de sus investigaciones las comunicó a la "Royal Society" de Londres el 28 de junio de 1800. Este día se considera como el comienzo del segundo periodo de la electricidad. Ya no se dependía de la electricidad estática y puede afirmarse que se entró en la historia de la electricidad aplicada o de la industria eléctrica.<sup>4</sup>

Posteriormente, alrededor de 1865, se crean los primeros motores eléctricos como los conocemos hoy día, a partir de su aparición, nuestro mundo se ha transformado a una velocidad asombrosa, sin embargo, los avances técnicos conseguidos hasta antes de la aparición de la electrónica, no tienen comparación con los progresos alcanzados a partir del empleo de esta nueva técnica.

En la segunda mitad del siglo XIX ya se habían conseguido descubrimientos importantes que marcaban el surgimiento de la electrónica, todos ellos verían su aplicación hasta inicios del siglo XX, en 1900 J. Fleming inventa el bulbo al vacío, este es el primer avance significativo para el desarrollo de la electrónica<sup>5</sup>.

En la década de los 30's el mundo despierta de su letargo y comienza a atisbar los umbrales del verdadero desarrollo de esta nueva área de conocimiento, en este momento los dispositivos electrónicos poseen la capacidad de tomar acciones de comunicación y control. Para su funcionamiento y operación emplean señales eléctricas analógicas, por lo que las señales de entrada y salida conservan básicamente los mismos parámetros, a esta electrónica se le conocía como analógica por el tipo de señales que manipula.

A partir de los años 50's, comienza a desarrollarse una nueva área de la electrónica, en ella se emplean semiconductores, En julio de 1948 John Bardeen, W.H. Brattain y William Shockley construyen el primer dispositivo de estado sólido, y las acciones de comunicación y control se llevan a cabo a través de señales eléctricas digitalizadas, lo que implica que las señales de salida ya no conservan necesariamente los mismos parámetros de las señales de entrada.<sup>6</sup>

<sup>4</sup> [http://www.geocities.com/alaro2001/espanyol/historia\\_cast.htm](http://www.geocities.com/alaro2001/espanyol/historia_cast.htm).

<sup>5</sup> Historia de la Electrónica de Potencia.

<sup>6</sup> <http://www.educadis.uson.mx/peon/Ingenieria-tecnologia/IT-documentos%20de%20Interes/Origen-Des-Tec-Electro-R-pe%F3n.htm>



Hoy día el 90 % de las acciones de comunicación y control se llevan a cabo empleando esta técnica, los dispositivos electrónicos encargados de desarrollar estas acciones son cada vez más variados y versátiles sin mencionar la progresiva disminución en tamaño y consumo de energía de los mismos.

### 1.1. CALIDAD DE ENERGÍA.

En la actualidad, la competitividad de un mundo globalizado exige cada vez mejores productos, ante esta realidad el sector eléctrico no es ajeno.

El suministro de energía eléctrica es uno de los principales servicios en las sociedades modernas para el soporte de la vida cotidiana, pues apuntala la vitalidad comercial, industrial y social de los países.

Las compañías suministradoras alrededor del mundo, han desarrollado campañas de medición y monitoreo de la calidad de la energía, en los últimos 20 años se muestran incrementos año con año en el nivel de distorsión de tensión, la principal causa es el incremento de equipos electrónicos o cargas no lineales<sup>7</sup> conectadas a la red, Consecuentemente el margen entre la inmunidad del equipo que ya esta en uso y el nivel de distorsión de tensión se reduce día con día.

Si las compañías suministradoras fueran incapaces de controlar los niveles crecientes de distorsión en sus redes, creadas principalmente por efectos acumulativos de la gran cantidad de pequeñas cargas con corriente nominal menor o igual a 16 A por fase, sería inevitable el deterioro de la calidad de tensión provista a todos los usuarios (consumidores).

Es claro que sin acciones correctivas, las compañías suministradoras y usuarios experimentarán un número creciente de fallas en sus sistemas y equipos, con los problemas subsecuentes, como pérdida de producción y competitividad.

Las compañías suministradoras enfrentan grandes retos en el abastecimiento de energía eléctrica de manera eficiente y con alta calidad, pues debe buscar mantener el equilibrio entre las necesidades de los usuarios y mantener un nivel adecuado de compatibilidad electromagnética que permita un funcionamiento apropiado de los equipos y sistemas.

Por otro lado los consumidores de electricidad poco a poco han tomado conciencia de la necesidad de contar con un servicio de alto nivel en términos de calidad en la tensión proporcionada por las compañías suministradoras.

<sup>7</sup> Carga no lineal es aquella que contiene generalmente elementos de conmutación de alta velocidad, cuyo desempeño demanda corrientes de forma no senoidal.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 1. Calidad de la Energía.

Hoy día sabemos que las perturbaciones<sup>8</sup> no sólo afectan el funcionamiento de los equipos que se conectan a la red de suministro; además disminuyen el tiempo de vida útil de los elementos que las componen. Algunas de las afectaciones son:

- ❖ Sobrecalentamiento de cables, conductores y transformadores.
- ❖ Incremento de las pérdidas reactivas de los transformadores.
- ❖ Errores en la medición.
- ❖ Operación incorrecta de sistemas de protección.
- ❖ Daño en elementos primarios de la red.
- ❖ Daño bancos de capacitores de corrección de FP.
- ❖ Incrementos en la ocurrencia de cortes en el suministro.
- ❖ Variaciones de tensión.
- ❖ etc.

En consecuencia, el concepto "calidad de energía" (power quality. PQ) es cada vez más común y necesario, adquiriendo mayor importancia debido a la proliferación de equipo electrónico cada vez más sofisticado en todos los procesos de producción y uso doméstico, siendo este último el que tiende a impactar considerablemente las características principales del suministro de energía eléctrica.

Como hemos visto hasta el momento, la PQ involucra tres sectores importantes; el primero concierne a la producción y suministro eléctrico, el segundo a los fabricantes de los equipos que se alimentan de la red eléctrica y el tercero a los usuarios finales, lo que implica que la PQ pueda ser vista bajo diferentes perspectivas.

- ❖ El consumidor. Él ve la afectación de las variaciones de la tensión eléctrica en sus equipos.
- ❖ El fabricante de equipos. Determina una tolerancia en sus equipos para evitar daños permanentes.
- ❖ El suministrador. Ve las características de las corrientes consumidas por sus clientes y las posibles afectaciones a la red derivado de la "calidad del consumo".

Con la diferencia de perspectivas se hace evidente la necesidad de realizar un cambio de enfoque, este consiste en ver a la electricidad como un producto.

---

<sup>8</sup> Los sistemas eléctricos de potencia de corriente alterna son diseñados para operar con una señal de tensión senoidal a frecuencia y magnitud constantes, una perturbación es aquella que modifica cualquiera de estos parámetros de la onda de tensión (forma, amplitud y frecuencia).



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 1. Calidad de la Energía.

---

Por mencionar algún ejemplo claro de estos cambios de enfoque y en busca de unificar las perspectivas, en la Unión Europea, por medio del documento *Directive 85/374/ECC*, cataloga a la electricidad como un producto y sus productores suministradores quedan sujetos a las responsabilidades asociadas a los daños ocasionados por un producto defectuoso. Esto trae consigo determinar las características del producto, las cuales obviamente deben de ser medidas, predichas, garantizadas y mejoradas.

Para definir el producto se debe elaborar la descripción de las características de la tensión eléctrica entregada al consumidor.

Se pueden describir las características de la tensión a través de su:

- ❖ Frecuencia.
- ❖ Amplitud.
- ❖ Forma de onda.
- ❖ Simetría.

Lo siguiente es definir los parámetros que deben vigilarse en los puntos de intercambio de energía, específicamente en la unión europea han desarrollado el documento UN-EN-50160 “Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”. En este se proporcionan las recomendaciones de los parámetros que deben medirse como un compromiso del suministrador con el cliente.

La propuesta del documento se concentra en los siguientes parámetros:

- ❖ Frecuencia.
- ❖ Amplitud de la tensión.
- ❖ Variaciones de la tensión.
- ❖ Variaciones rápidas de la tensión.
- ❖ *Sag, dips*, huecos de tensión.
- ❖ Interrupciones breves de la tensión.
- ❖ Interrupciones largas de la tensión.
- ❖ Sobretensiones temporales.
- ❖ Sobretensiones transitorias.
- ❖ Desequilibrio de la tensión.
- ❖ Tensiones armónicas.
- ❖ Tensiones interarmónicas.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 1. Calidad de la Energía.

Si clasificamos los parámetros, podemos dirigir nuestra atención a tres áreas específicas:

Estabilidad de la tensión.

Esta área se refiere a todos los eventos que ocasionan sobre-tensiones, bajas-tensiones, caída de tensión (*sag*), elevaciones de tensión (*swells*), fluctuaciones de tensión, desviación de la frecuencia fundamental.

Continuidad en el servicio.

Son todos aquellos eventos que provocan interrupciones momentáneas, interrupciones temporales e interrupciones sostenidas.

Distorsión de la forma de onda.

En esta área quedan ubicados los eventos que provocan distorsión en la forma de onda tales como: transitorios, distorsión armónica, muescas en la tensión (*notching*), ruido.

### 1.2. DEFINICIONES<sup>9</sup>.

En los siguientes párrafos se describen cada uno de los fenómenos individuales que abarca el término calidad de la energía.

#### Calidad de la Energía (PQ).

Conjunto de parámetros y/o características de la tensión entregada al usuario, la cual está ausente de problemas de estabilidad, continuidad y deterioro de la forma de onda que permitan la mejor operación de los equipos eléctricos.

#### Estabilidad de la Tensión.

A) Variaciones de tensión largas:

Son variaciones de la tensión en su valor rms (raíz media cuadrática, por sus siglas en ingles) a la frecuencia del sistema.

Estas variaciones pueden ser sobre-tensiones y bajas-tensiones y son causados por conmutación en las cargas u operaciones de switcheo en el sistema.

❖ Sobre-tensión:

<sup>9</sup> Las definiciones fueron tomadas de la siguiente fuente: "Calidad de la energía y análisis armónico en sistemas eléctricos". Dr. Manuel Madrigal Martínez, Noviembre de 2002.



Es un incremento en el valor rms de la tensión alterna, mayor al 110% a la frecuencia del sistema, con una duración mayor a un minuto.

❖ *Baja-tensión:*

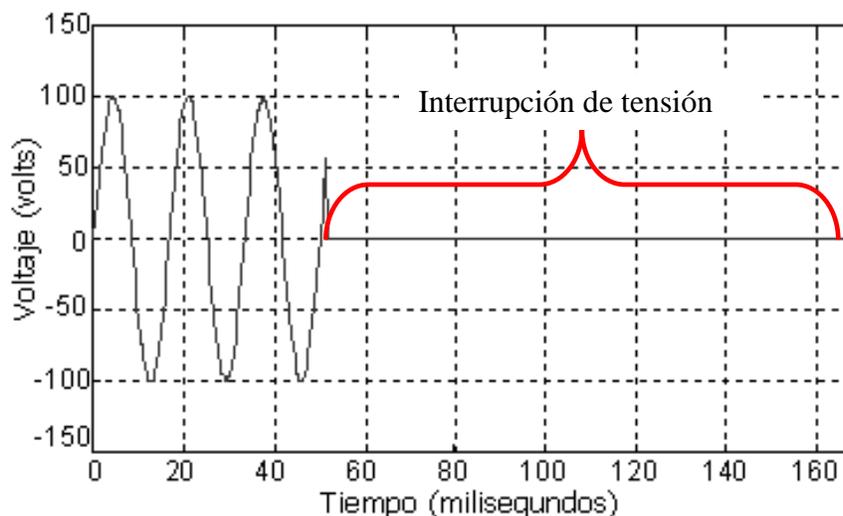
Es un decremento en el valor rms de la tensión alterna, menor al 90%, a la frecuencia del sistema con duración mayor a un minuto.

B) *Variaciones de tensión cortas:*

Son variaciones en el valor rms. de la tensión nominal, por un tiempo mayor a medio ciclo de la frecuencia del sistema sin llegar a exceder un minuto, son generalmente causados por fallas, energización de cargas grandes con corrientes de arranque muy elevadas o conexiones intermitentes en los cableados de potencia. Dependiendo la localización de la falla y las condiciones del sistema se pueden causar temporalmente, caídas de tensión, (sags), elevaciones de tensión (swells) o una completa pérdida de tensión (interrupciones cortas).

❖ *Interrupciones Cortas:*

Una interrupción ocurre cuando la fuente de tensión o la corriente de carga disminuye a menos del 10% por un periodo no mayor a un minuto, en la figura 2 se da un ejemplo gráfico de este fenómeno.

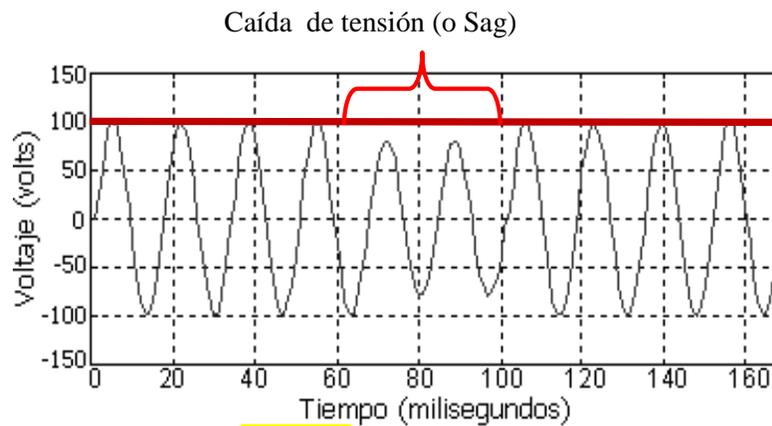


**Fig. 2.** Señal de voltaje con interrupción de energía



❖ *Caída de tensión (Sags):*

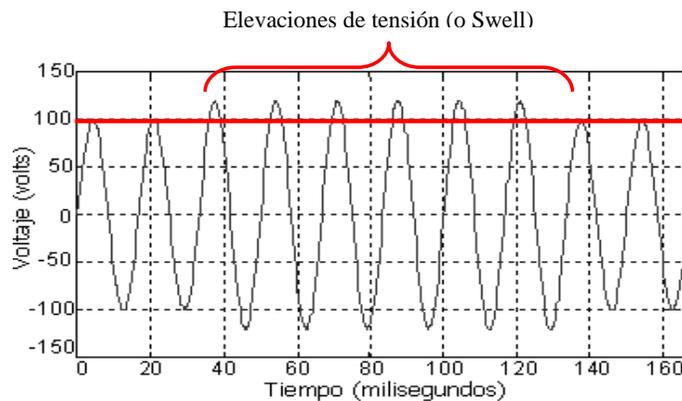
Es un decremento en el valor rms de la tensión o la corriente a la frecuencia fundamental<sup>10</sup>, que se encuentra entre el 10% y el 90% y tiene una duración de medio ciclo hasta un minuto, la figura 3 muestra un gráfico de este tipo de eventos.



**Figura 3.** Señal de voltaje con sag

❖ *Elevaciones de tensión (Swells):*

Es un incremento del 110 % hasta el 180% del valor rms de la tensión o de la corriente a la frecuencia nominal, con duraciones desde medio ciclo hasta un minuto, en la figura 4 se muestra una forma de onda característica de este evento.



**Fig. 4.** Señal de voltaje con swell

<sup>10</sup> Al analizar una forma de onda a través de la serie de Fourier, la componente fundamental de esta onda es la señal senoidal de primer orden a la frecuencia nominal del sistema, esta frecuencia puede ser de 60 o 50 Hz para los sistemas eléctricos de potencia.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 1. Calidad de la Energía.

---

#### C) *Desbalance de tensión.*

Los desbalances describen una situación, en la cual las tensiones o corrientes de una fuente trifásica no son idénticas en magnitud o el desplazamiento entre fases no es de 120 grados eléctricos o ambas. Esto afecta a los motores y otros dispositivos que dependen del adecuado balanceo de la fuente de suministro trifásica.

Esta definido como la máxima desviación trifásica promedio, dividido, por la tensión o corriente trifásica promedio, expresado en por ciento.

#### D) *Fluctuaciones de tensión.*

Son variaciones sistemáticas o una serie de cambios aleatorios en la magnitud de la tensión sin exceder los límites de 90% a 110%.

#### E) *Variaciones en la frecuencia del sistema.*

Están definidas como la desviación del valor nominal de la frecuencia fundamental del sistema.

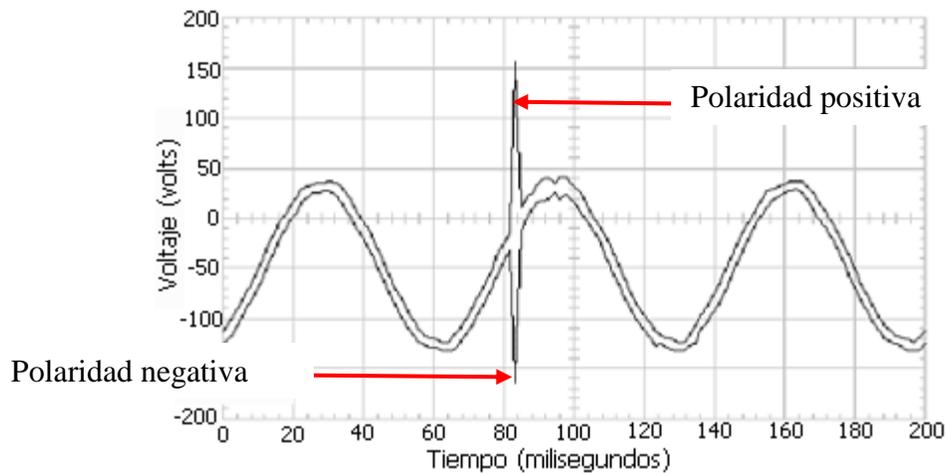
### Distorsión de la Forma de Onda.

#### A) *Transitorios.*

Son desviaciones de la tensión o corriente normal, repentino y significativo, típicamente tienen una duración de 20[ns] hasta 0.5 [s], existen dos tipos:

##### ❖ *Pulsos.*

Es un cambio repentino de baja potencia que afecta la frecuencia, cambiando la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambas y que es unidireccional en polaridad, en la figura 5 se puede apreciar este fenómeno.



**Fig. 5.** Impulso transitorio en dos señales de tensión. Las dos señales de tensión tienen respectivamente polaridad positiva y negativa.

La ecuación que describe un fenómeno transitorio de tipo pulso es la combinación de una onda senoidal con la ecuación de Dirac, dando como resultado:

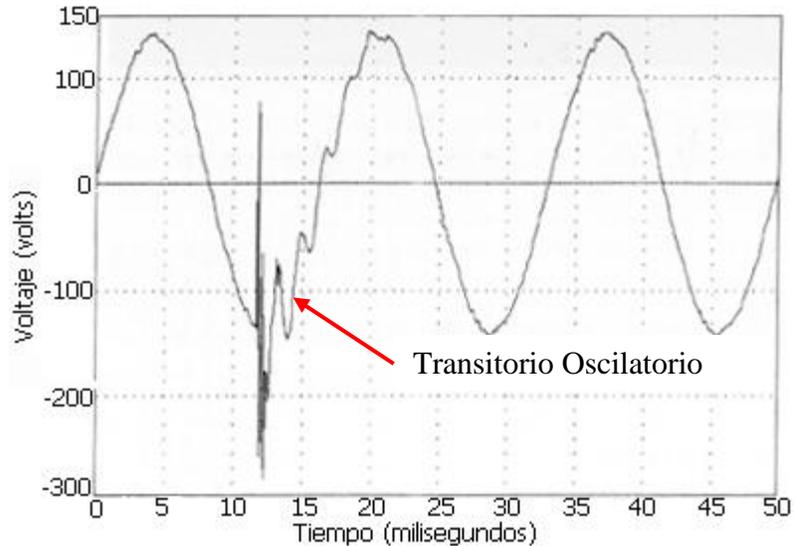
$$V(t) = A * \text{sen}(\omega * t) + \delta(t - \tau), \text{ en una polaridad positiva.}$$

$$V(t) = A * \text{sen}(\omega * t) - \delta(t - \tau), \text{ en una polaridad negativa.}$$

❖ *Oscilatorios.*

Es un cambio repentino de baja potencia que afecta la frecuencia, cambiando la condición de estado estable de la tensión, corriente o ambas, que incluye los valores de polaridad.

Consiste en el cambio instantáneo de valor, en la polaridad de la tensión o en la corriente. Es descrito por su contenido espectral, duración y magnitud, la figura 6 muestra este tipo de eventos.



**Fig.6.** Transitorio oscilatorio en una señal de tensión.

Los transitorios oscilatorios son debidos a la energización de bancos de capacitares switcheos u otros eventos similares, por lo que se pueden describir con la siguiente ecuación, cuando no se encuentra en su estado estable.

$$V(t) = A * \sqrt{2} * \text{sen}(\omega * t) + k_1 e^{-\alpha * t} \cos(\omega_d * t - k_2)$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

$$\omega_0 = 120 * \pi * t$$

**B) DC offset.**

Es la presencia de componente de tensión de corriente directa

**C) Muestras en la tensión (Notching).**

Es un disturbio de tensión periódico, causado por la operación normal de equipos electrónicos de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra.

**D) Ruido (Noise).**

Son señales eléctricas no deseadas con un contenido espectral con ancho de banda menor a 20 kHz, superpuesto en la onda de tensión o de corriente en los conductores de fase, o encontrado en el conductor del neutro.



E) Armónicos.

Son tensiones o corrientes senoidales a frecuencias que son múltiplo entero de la frecuencia del sistema.

Este parámetro es de gran importancia en la calidad de la energía, pues afecta de manera especial la confiabilidad del sistema. Por esta razón a continuación se presentan algunas definiciones relacionadas con él.

❖ Factor de Distorsión (FD).

Es la razón de la raíz cuadrada de la suma del valor del contenido armónico y la raíz cuadrada del valor de la fundamental, expresado en porcentaje.

$$FD = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{50} X_h^2}{X_1^2}} * 100[\%]$$

❖ Distorsión armónica total (TDH).

Es la relación entre el contenido armónico de la señal y la primera armónica o fundamental. Su valor se ubica entre 0% e infinito.

Es el parámetro de medición de distorsión más conocido, por lo que es recomendable para medir la distorsión en parámetros individuales tanto en tensión como en corriente.

Esta es usada para definir el efecto de las armónicas de las tensiones y corrientes en sistemas de potencia. Es usado en baja, media y alta tensión.

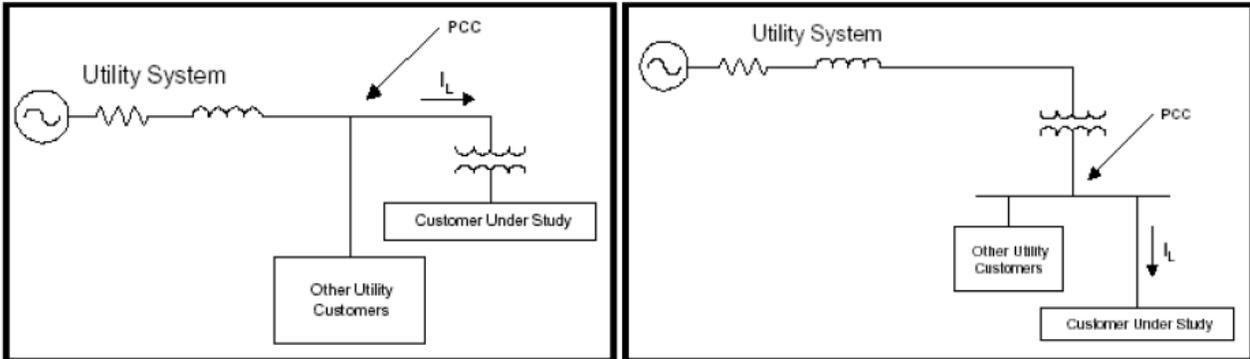
$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} V_h^2}}{V_1} * 100[\%]$$

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_1} * 100[\%]$$



- ❖ Punto de acometida (PA).

Es el punto de enlace entre las instalaciones de la compañía suministradora y las del



usuario.

- ❖ Corriente de máxima demanda (IL).

Es la máxima demanda de corriente (a la frecuencia fundamental) en el punto de acometida, esta corriente es calculada con el promedio de la máxima demanda registrada durante cierto periodo de tiempo, este valor no debe ser, de un pico instantáneo.

- ❖ Corriente de corto circuito en el punto de acometida (ICC).

Es el valor de corriente de corto circuito máximo que se puede presentar en el punto de acometida, este valor es proporcionado por la compañía suministradora.

- ❖ Impedancia relativa (ICC/IL).

Se define como la relación de la corriente de corto circuito (ICC), en el punto de acometida (PA), a la corriente máxima de carga (IL) del propio suministro, a frecuencia fundamental.

- ❖ Distorsión total de demanda (TDD).

Es la relación entre el contenido armónico de la señal y la corriente máxima demanda promedio registrado mensualmente durante doce meses.

- ❖ Punto de acoplamiento en planta (IPC, por sus siglas en ingles).

Es un punto dentro de una red, localizada en un sistema o instalación, eléctricamente cercana a una carga particular, a la cual otras cargas pueden o se encuentran conectadas. Esencialmente este es el punto dentro del sistema de los consumidores.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Capítulo 1. Calidad de la Energía.

### F) *Ínter-armónicos.*

Son tensiones o corrientes con componentes de frecuencia que no son múltiplos de la frecuencia del sistema.

### **1.3. ESTÁNDARES NACIONALES E INTERNACIONALES.**

El término estándar puede ser conceptualizado como un modelo o criterio de los requisitos mínimos de seguridad, calidad u operación en diferentes procesos o equipos.

Los estándares para regular la calidad de energía alrededor del mundo son varios, en gran parte del mundo se utilizan los estándares del “Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos” (IEEE por sus siglas en inglés), que fue fundado en el año 1884 en Estados Unidos.

Otros estándares igualmente reconocidos mundialmente son los que proporciona la Comisión de Electrotecnia Internacional (IEC por sus siglas en inglés), instituto que fue creado en 1904 en Estados Unidos, pero que actualmente su sede se encuentra en Ginebra.

Otra referencia a normas es la presentada por el Comité Electrotécnico de Estandarización (CENELEC por sus siglas en francés) que aprobó las normas europeas, las cuales como su nombre lo dice son estándares que aplican en los países europeos.

En la República Mexicana se tiene la especificación CFE-L0000-45 de la Comisión Federal de Electricidad.

ANCE (Asociación Nacional de Normalización y Certificación del Sector Eléctrico) se ha constituido en un organismo de gran importancia para México en términos de normalización, a continuación citamos algunos de los aspectos más relevantes de esta institución.

- ❖ En 1992 el Sector privado de México y el Gobierno Mexicano trabajaron para modificar la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, a modo de facultar a instituciones privadas para desarrollar actividades de Normalización, Certificación, Verificación y Pruebas. Así 32 industriales del Sector Eléctrico, comprometidos con la calidad y la competitividad de los productos nacionales, decidieron unir esfuerzos para formar una asociación que sin fines de lucro desarrollara estas actividades.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 1. Calidad de la Energía.

### ❖ Etapas:

- 1) Se crea un Consejo Directivo integrando de manera equilibrada a representantes de fabricantes, distribuidores, comercializadores, prestadores de servicios, consumidores, instituciones de educación superior; así como dependencias y entidades involucradas con el Sector Eléctrico, lo que permitió a ANCE ser incluyente y actuar con transparencia, objetividad y profesionalismo, aspectos fundamentales para la realización de las actividades de la "Evaluación de la Conformidad".

Como primera instancia se decidió desarrollar a ANCE como Organismo de Certificación de Producto.

- 2) El Consejo Directivo decidió iniciar actividades tendientes a lograr que ANCE fuera también el Organismo Nacional de Normalización (ONN) del Sector Eléctrico y de Aparatos Domésticos.
- 3) ANCE con un convenio de co-inversión con un Underwriters Laboratories Inc. (USA), desarrolló su Laboratorio de Pruebas basado en Estados Unidos, para desarrollar su propio laboratorio.
- 4) ANCE logra la acreditación como Unidad de Verificación de Producto.
- 5) ANCE se acredita como Organismo de Certificación de Productos a Base de Gas.

En búsqueda de la excelencia para sus asociados, ANCE se acredita como Organismo de Certificación de Sistemas de Calidad y comienza una campaña para concienciar sobre la importancia de los sistemas de calidad en las empresas.

- 6) ANCE se acredita como Organismo de Certificación de normas de Seguridad Industrial.

Derivado de lo anterior, cuenta con oficinas en Monterrey, Tijuana, Guadalajara, Nuevo Laredo y Mérida. También con dos laboratorios de pruebas uno en la Ciudad de México y otro en el municipio de Apodaca, NL.

Su sistema de calidad esta certificado por uno de los más reconocidos organismos internacionales que es la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), es miembro activo de la red IQNET (Asociación Internacional de Certificación), la única red líder de certificación de sistemas a nivel mundial; lo que les permite dar consistencia en el nivel de la calidad de nuestros servicios y buscar la mejora continua y con



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 1. Calidad de la Energía.

importantes acuerdos con países como Colombia, Argentina, Uruguay, Canadá y Estados Unidos.

ANCE se renueva constantemente, uno de sus nuevos servicios está enfocado a la industria restaurantera, comedores industriales y todo aquel establecimiento donde se expidan bebidas y alimentos. Dicho servicio es la verificación para lograr Distintivo H.

El último de sus servicios es la Certificación bajo el sello de México Calidad Suprema, para productos agroalimentarios como la manzana, limón persa, la berenjena, trucha y tilapia.

En el 2006 ANCE logró ser reconocido como miembro permanente del máximo organismo de certificación en el mundo, IQNet.

En el apéndice A se muestra un listado de las normas emitidas por este organismo, que involucran conceptos, definiciones y recomendaciones relacionados con la calidad de la energía.

### Límites Permisibles para la Distorsión Armónica.

Como se mencionó en las definiciones, las armónicas juegan un papel importante en la calidad de la energía eléctrica, por tanto, a continuación se mencionan los límites establecidos, por los estándares aquí citados, para este parámetro.

#### A) Estándar de IEEE.

STD IEEE 519-1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (Prácticas recomendadas y requerimientos para el control de armónicos, en sistemas eléctricos de potencia).

Este estándar establece valores límites para la distorsión total armónica, los que se muestran en la tabla 1.

LÍMITES DE DISTORSIÓN EN TENSIÓN		
Tensión en el PCC	Distorsión de tensión individual (%)	Distorsión total de tensión (%)
69.001 < 161 kV	1.5	2.5
≥ 161.001 kV	1	1.5

Tabla 1. Límites de distorsión en tensión



Los sistemas de alta tensión pueden tener un 2 % mayor en THD cuando la causa es una terminal de HVDC<sup>11</sup>, atenuada por el tiempo que es aprovechada por el usuario.

Limites para distorsiones en corriente:

La tabla 2 proporciona los límites para la distorsión armónica en corriente, para sistemas de distribución general, sub-transmisión y transmisión, basados en la comparación de la carga con la impedancia relativa.

<b>Limites para Distorsión de Corriente para sistemas generales de distribución (120 a 69000 [V])</b>						
<b>(Isc / IL)</b>	<b>Máxima Distorsión por Corriente Armónica en porcentaje de IL</b>					<b>TDD</b>
	<b>[Orden de armónica individual, (impares)]</b>					
	<b>h &lt; 11</b>	<b>11 ≤ h &lt; 17</b>	<b>17 ≤ h &lt; 23</b>	<b>23 ≤ h &lt; 35</b>	<b>h ≥ 35</b>	
<b>&lt; 20*</b>	4	2	1.5	0.6	0.3	5
<b>20 &lt; 50</b>	7	3.5	2.5	1	0.5	8
<b>50 &lt; 100</b>	10	4.5	4	1.5	0.7	12
<b>100 &lt; 1000</b>	12	5.5	5	2	1	15
<b>≥ 1000</b>	15	7	6	2.5	1.4	20

**Las Armónicas Pares están limitadas al 25% de la corriente impar siguiente a esta.**

**Distorsiones de corriente que son resultado de un Offset de C.D. no están permitidos**

**Todo equipo de generación de potencia esta limitado a estos valores de distorsión de corriente, a pesar de su (Isc / IL) actual**

**Donde:**

<b>Isc</b>	Máxima corriente de corto circuito en el PCC
<b>IL</b>	Máxima corriente de demanda (a frecuencia fundamental) en el PCC
<b>TDD</b>	Distorsión de demanda total, distorsión de corriente armónica en % de máxima corriente de demanda(15 o 30 minutos de demanda)
<b>PCC</b>	Punto de acoplamiento común

**Tabla 2. Límites para distorsión armónica en corriente**

Para este estándar, el PCC es lo mismo que el PA, ISC es lo mismo que ICC, e ICC/IL es la impedancia relativa. Las armónicas pares, están limitadas al 25% de los límites de las armónicas impares superiores.

<sup>11</sup> Alta tensión en corriente directa (HVCD, por sus siglas en ingles)



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 1. Calidad de la Energía.

Las distorsiones de corrientes que resulten en un offset de corriente directa, no están permitidas.

### B) Estándar IEC.

IEC 61000-2-2, límites de distorsión armónica en tensión en redes públicas de baja tensión. En la tabla 3 se muestran los límites.

**IEC 61000-2-4 Límites de distorsión armónica en redes publicas de baja tensión**

Impar		Pares		Triples	
h	%Vh	h	%Vh	h	%Vh
5	6	2	2	3	5
7	5	4	1	9	1.5
11	3.5	6	0.5	15	0.3
13	3	8	0.5	≥21	0.2
17	2	10	0.5		
19	1.5	≥12	0.2		
23	1.5				
25	1.5				
≥29	x				
$x=0.2+12.5/h$					
THDV ≤ 8% para todas las armónicas superiores a 40					

**Tabla 3. Límites de distorsión armónica en tensión.**

Los límites permitidos para la distorsión de tensión según el IEC 61000-2-4 es un THD menor al 8% para sistemas clase 2, y menor al 10 % para la clase 3.

Las clases se definen como:

- ❖ Clase 1.- Se aplica a suministros protegidos y que posee niveles de compatibilidad menores a los de redes públicas, se refiere a los equipos muy sensibles a las perturbaciones.
- ❖ Clase 2.- Se aplica generalmente a fuentes de alimentación en el PA o IPC dentro de ambientes industriales u otros lugares no públicos. Los niveles de compatibilidad son generalmente idénticos a los de una red pública.



- ❖ Clase 3.- Aplica únicamente para IPC dentro de ambientes industriales, tiene un nivel de compatibilidad mayor que los referidos en la clase 2 para algunos disturbios. Esta categoría es típica para industrias con una gran cantidad de variadores de frecuencia, plantas soldadoras y motores con alta corriente de arranque.

En la practica estas clasificaciones no están aisladas entre si, ya que suele haber un punto de enlace con la compañía suministradora, y los limites de emisión deben de ser controlados en dicho punto.

Las tablas 4 y 5 muestran los valores de cada armónica para las clases 2 y 3 respectivamente.

**IEC 61000-2-4 Limites de distorsión armónica en tensión, en plantas industriales**

Clase 2					
Impar		Pares		Triples	
h	%Vh	h	%Vh	h	%Vh
5	6	2	2	3	5
7	5	4	1	9	1.5
11	3.5	6	0.5	15	0.3
13	3	8	0.5	≥21	0.2
17	2	10	0.5		
19	1.5	≥12	0.2		
23	1.5				
25	1.5				
≥29	x				
$x=0.2+12.5/h$					

Tabla 4.

Clase 3					
Impar		Pares		Triples	
h	%Vh	h	%Vh	h	%Vh
5	8	2	3	3	6
7	7	4	1.5	9	2.5
11	5	≥6	1	15	2
13	4.5			21	1.75
17	4			≥27	1
19	4				
23	3.5				
25	3.5				
≥29	y				
$y=5v(11/h)$					

Tabla 5.

Limites para distorsiones en corriente

Los equipos eléctricos pueden clasificarse dentro de cuatro grupos basados de acuerdo el siguiente criterio.

- ❖ Numero de equipo en uso, (cuantos equipos son usados por los consumidores).
- ❖ Tiempo de uso, en horas.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 1. Calidad de la Energía.

- ❖ Simultaneidad en uso (el mismo equipo es usado durante el mismo tiempo).
- ❖ Consumo de energía.
- ❖ Espectro armónico, incluyendo la fase, (que tanta distorsión genera la corriente del equipo).

Considerando estos puntos las clases son:

<b>Clase A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Equipo trifásico balanceado.</b></li> <li>○ Equipo domestico, excepto los identificados como clase D.</li> <li>○ Herramientas excepto las portables.</li> <li>○ Dimmers para lámparas incandescentes</li> <li>○ Equipo de sonido.</li> <li>○ Todo lo demás que no este incluido en las demás clases.</li> </ul>
<b>Clase B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Herramientas portátiles.</li> <li>○ Soldadoras de arco no industriales.</li> </ul>
<b>Clase C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Equipo de iluminación</li> </ul>
<b>Clase D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Computadoras personales</li> <li>○ Televisores</li> </ul>
<p>Nota: El equipo debe tener una potencia entre 75 y 600 Watts</p>	

En la tabla 6 se listan los valores límite de distorsión armónica en corriente, para la clasificación de equipos de A a C.

Armónicas [n]	Clase A [A]	Clase B [A]	Clase C [% de la fundamental]	Clase D [mA/W]
<b>Armónicas Impares</b>				
<b>3</b>	2.3	3.45	30*λ	3.4
<b>5</b>	1.14	1.71	10	1.9
	0.77	1.155	7	1
<b>9</b>	0.4	0.6	5	0.5
<b>11</b>	0.33	0.495	3	0.35
<b>13</b>	0.21	0.315	3	3.85/13
<b>15 ≤ n ≤ 39</b>	0.15*15/n	0.225*15/n	3	3.85/n



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 1. Calidad de la Energía.

Armónicas Pares				
2	1.08	1.62	2	0
4	0.45	0.645	0	0
6	0.3	0.45	0	0
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 * 8/n$	$0.345 * 8/n$	0	0

Tabla 6.

La tabla 7 muestra los valores límite de distorsión armónica en corriente, para la clasificación de equipos D.

### Corrientes armónicas máximas permisibles para equipo clase D

h	3	5	7	9	11	13	15	$\geq 17$
Max $I_h$	2.3	1.14	0.77	0.4	0.33	0.21	0.15	15/h

Corriente de entrada del equipo menor a 16 A por fase.

Tabla 7.

### C) Normas Europeas (EN).

Los límites permisibles para la distorsión de la tensión establecidos por la norma EN-50160 se presentan en la tabla 8.

### Límites de distorsión armónica para redes públicas de baja tensión

Alimentación de baja tensión (menor a mil Volts)					
Impar		Pares		Triples	
h	%Vh	h	%Vh	h	%Vh
5	6	2	2	3	5
7	5	4	1	9	1.5
11	3.5	6 a 24	0.5	15	0.5
13	3			21	0.5
17	2				



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 1. Calidad de la Energía.

19	1.5
23	1.5
25	1.5

Tabla 8.

- D) Estándar Nacional.
- ❖ Estándar de la CFE.

CFE L0000-45, desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica.

### Componentes Armónicos

El contenido armónico de la tensión, en el punto de acometida para formas de onda periódicas, debe limitarse de tal modo que los factores de distorsión total y de componente armónico individual máximo de la tensión entre fases y de fase a tierra, no exceda los límites establecidos en la tabla 9.

Tensión kV	Distorsión armónica total de Tensión (THD <sub>v</sub> ) %
Menor de 1	8
de 1 a 35	6,5
Mayor de 35	3

Tabla 9.

Para lo anterior, los consumidores deben limitar el contenido armónico que generan en la corriente que demandan según su impedancia relativa y su nivel de tensión, de acuerdo a la tabla de Distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta tensión hasta 69 kV, ver tabla 10.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 1. Calidad de la Energía.

Impedancia relativa (lcc / IL)	Componente armónico individual máximo de corriente, para armónicas impares %					Distorsión armónica total de demanda %
	h <11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	h ≥ 35	
(lcc / IL) < 20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 ≤ (lcc / IL) < 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 ≤ h < 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 ≤ (lcc / IL) < 1000	12	5.5	5	2	1	15
h ≥ 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Tabla 10. Distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.*

---

## 2. PROYECTO Y MEDICIÓN EN LA F I.

### DESCRIPCIÓN.

El conjunto norte de la Facultad de Ingeniería está constituido por 5 edificios, los cuales se identifican empleando las primeras letras del alfabeto (A,B,C,D y E).

El edificio A está formado por un total de 6 pisos a los cuales se les refiere como Sótano (S), Planta Baja (PB), Primer Piso (1P), Segundo Piso (2P), Tercer Piso (3P) y Cuarto Piso (4P). En el Sótano y Planta Baja se encuentran las oficinas en donde se desarrollan las actividades administrativas de la Facultad de Ingeniería y algunas Divisiones de Carrera, también se ubican: la biblioteca “Antonio Dovalí Jaime”, el auditorio “Javier Barros Sierra” y las salas de exámenes profesionales. El Primero, Segundo y Tercer Piso están dedicados a las aulas para aprendizaje, el Cuarto Piso lo constituyen oficinas administrativas, laboratorios de computo y aulas de aprendizaje.

El edificio B lo integran un total de 6 pisos, para homologar la identificación de zonas se emplea la misma designación que para el edificio A. En el Sótano se encuentran las instalaciones de un centro de copiado y talleres. En la Planta Baja se ubica el archivo y la librería de títulos editados por la Faculta. El Primero, Segundo, Tercero y Cuarto Piso se destinan al uso de aulas para aprendizaje.

El edificio C lo forman 5 pisos (Planta Baja, Primero, Segundo, Tercer y Cuarto piso).En la Planta Baja se encuentran los talleres de servicios de la Facultad. En el Primero, Segundo, Tercero y Cuarto Piso se aloja a los laboratorios de la División de Ciencias de la Tierra, en el cuarto piso se encuentra un laboratorio de cómputo.

El edificio D lo constituyen 3 pisos: Sótano, Planta Baja y Primer Piso. En el Sótano están las oficinas administrativas del UNICA, así como una sala de cómputo. En la Planta Baja se ubican las oficinas administrativas y dos salas de cómputo de USECAD. El Primer Piso contiene oficinas administrativas de USECAD, el Departamento de Comunicación de la Facultad y diversos Cubículos.

Por último el edificio E está compuesto por dos áreas; la primera es un edificio de dos pisos (Planta Baja y Primer Piso). En la Planta Baja se encuentran las oficinas administrativas de Servicios escolares, aulas para aprendizaje y laboratorios. En el Primer Piso se sitúan aulas para aprendizaje y un laboratorio de cómputo. La segunda área esta integrada por los laboratorios de Energía de Potencia, Máquinas Térmicas, Hidráulica y Sanitaria e Ingeniería Civil, también se encuentran cubículos del profesorado que imparte asignaturas en estos laboratorios y la Subestación eléctrica que suministra energía al conjunto de edificios descritos.



Como se mencionó, en el presente trabajo se detallan y analizan las actividades realizadas para determinar la calidad de energía en las instalaciones eléctricas del conjunto norte de la Facultad de Ingeniería (FI). En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir del levantamiento eléctrico de las instalaciones y la medición de parámetros eléctricos realizado al transformador de distribución, ubicado en la subestación eléctrica del conjunto norte de la FI.

### 2.1. LEVANTAMIENTO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.

El levantamiento eléctrico (LE) de las instalaciones del conjunto norte de la FI, es una de las bases para realizar el análisis de la calidad de la energía, ya que permite obtener la información necesaria para detectar fuentes y equipos sensibles a los disturbios eléctricos y también para proponer soluciones.

El LE es parte de un proyecto a través del cual se actualizan planos arquitectónicos, eléctricos, diagrama unifilar y cuadros de carga del conjunto norte de la FI, denominado “Edificio Principal”. Esta actividad se realiza desde enero del año 2008, a petición del director de la Facultad, el grupo encargado de llevar a cabo el LE. es el grupo de trabajo “Proyectos de Ahorro de Energía de la Facultad de Ingeniería”. Siendo nosotros parte del equipo encargado de su realización.

Las actividades que se efectúan en un LE se muestran en la figura 7.

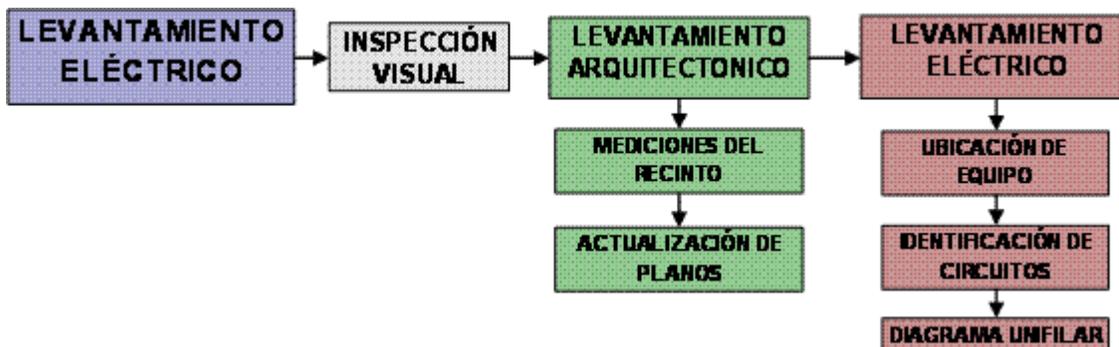


Figura 7. Diagrama de bloques de un levantamiento eléctrico.

El LE consiste en la inspección visual, captura de información técnica e identificación de: zonas, instalaciones, equipos eléctricos y subestación.

La importancia y método empleado en cada actividad del LE es la siguiente:

- A) Plano Arquitectónico.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.*

---

Para su elaboración se realiza un recorrido a través de todos los recintos que constituyen el conjunto del edificio, en este recorrido se toman las dimensiones de: muros, columnas, estrados, puertas y mobiliario, en general, de cualquier elemento sólido y/o fijo que brinde una idea exacta de la topografía del recinto, la unión de todas las zonas, es lo que finalmente permite conocer la disposición arquitectónica de un piso o de un edificio completo.

La importancia del conjunto arquitectónico es la de poder ubicar, con precisión, el equipo eléctrico instalado en cada recinto (luminarios, receptáculos, tableros de distribución, alumbrado y fuerza, equipo motriz y de aire acondicionado, etc.), ello permite verificar que la instalación eléctrica, niveles de iluminación, densidad de potencia, seguridad de la instalación, etc. Cumplan con los estándares mexicanos. Al mismo tiempo posibilita conocer el uso de cada recinto.

#### B) Planos Eléctricos.

Se recorre cada una de las zonas identificadas en el plano arquitectónico y se ubica en ellas los equipos eléctricos encontrados, localizándolos geográficamente en el interior de cada recinto, en ésta fase se toman los datos de placa de los equipos, ya que en ella está contenida la información técnica que describe las características eléctricas de los mismos.

En ésta actividad también se lleva a cabo la “identificación de circuitos”, la cual consiste en determinar la interconexión de los equipos eléctricos de la instalación, para ello, se emplea un trazador de circuitos eléctricos; su función es determinar el origen y terminación de conductores, con ello se sabe que equipos se conectan entre sí.

Los equipos eléctricos instalados y que se muestran en los planos eléctricos son: luminarios, receptáculos, motores, aire acondicionado y equipos de extracción de aire, transformadores de energía, UPS, acondicionadores de línea, reguladores, tableros de alumbrado, tableros de distribución y fuerza (en general cargas principales).

La importancia del plano eléctrico es que en él se vierte toda la información necesaria y suficiente para conocer el diseño y desempeño de una instalación eléctrica, del mismo modo, contiene la información más relevante de cada uno de los equipos eléctricos instalados en un inmueble y también es posible conocer la interconexión de los equipos.

#### C) Diagrama Unifilar.

El diagrama unifilar muestra a través de un solo hilo de conexión la forma en que están interconectados los equipos eléctricos, éste se elabora con la ayuda del plano eléctrico. En él se muestra la información técnica más relevante de los equipos eléctricos distribuidores de energía como son: transformadores de energía eléctrica, UPS, acondicionadores de línea, reguladores, tableros de alumbrado, distribución y fuerza, protecciones eléctricas, conductores y canalizaciones.



Su importancia radica en conocer la manera en que fluye la energía a través del sistema, los niveles de tensión a lo largo de todo el sistema, la interconexión de los equipos eléctricos distribuidores de energía y los parámetros de diseño más importantes de la instalación. También es posible realizar estudios más profundos a través de este plano, como es la coordinación de protecciones.

D) Cuadros de Carga.

Ésta actividad es la última que se realiza en el LE, Toda la información recabada en las actividades anteriores se recopila en tablas, las cuales muestran los datos técnicos de cada tablero, así como la carga total conectada a cada uno de ellos expresada en Watts o VA, la carga conectada a cada fase, el desbalance en potencia entre fases, los conductores y protecciones antes de cada una de ellas, la caída de tensión en cada conductor, la longitud del mismo, etc.

Los cuadros de carga recopilan toda la información necesaria para conocer la distribución de las cargas en toda la instalación, no sólo informa la manera en que están interconectados los equipos distribuidores de energía, sino también la manera en que estos suministran energía a las salidas, puntos en que se conectan las cargas o están conectadas las mismas. Además proporcionan información importante del diseño de la instalación eléctrica.

Las actividades descritas se complementan entre sí y muestran la información necesaria y suficiente para el desarrollo de cualquier proyecto de una manera clara y precisa.

## **2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS.**

Como se mencionó, en el LE se toman los datos de placa de los equipos eléctricos, ésta información se muestra en los diferentes planos que constituyen el LE, la información básica que se plasma en ellos es la siguiente, para los diferentes equipos que constituyen la instalación:

A) Iluminación interior o exterior.

- ❖ Tipo de fuente luminosa (si es incandescente, fluorescente, luz mixta, vapor de mercurio, vapor de sodio, etc.).
- ❖ Tipo de luminario (si es de empotrar, sobreponer, suspendido, etc.).
- ❖ Potencia del luminario (conjunto lámparas y balastro).
- ❖ Ubicación.

B) Receptáculos.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.*

---

- ❖ Tipo de contacto (si es de propósito general, polarizado, con conexión a tierra o protección de fallas a tierra, etc.).
  - ❖ Tipo de alimentación.
- C) Motores.
- ❖ Tensión de alimentación.
  - ❖ Tipo de alimentación.
  - ❖ Frecuencia.
  - ❖ Potencia del motor.
  - ❖ Nema.
  - ❖ Velocidad de giro de operación.
  - ❖ Factor deservicio.
- D) Aire acondicionado.
- ❖ Tensión de alimentación.
  - ❖ Tipo de alimentación.
  - ❖ Frecuencia.
  - ❖ Capacidad del equipo en toneladas de refrigeración o en Volt-Ampere.
  - ❖ Refrigerante.
  - ❖ Tipo de control.
- E) Transformadores de energía.
- ❖ Tensión de alimentación.
  - ❖ Tipo de alimentación.
  - ❖ Frecuencia.
  - ❖ Capacidad nominal del equipo.
  - ❖ Clase de aislamiento.
  - ❖ Tipo de conexión.
  - ❖ Elevación de temperatura.
  - ❖ Cambiador de derivaciones.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.*

---

- ❖ Tipo de enfriamiento.
- F) UPS.
- ❖ Tensión de alimentación y suministro.
  - ❖ Conexión en la alimentación y en el suministro.
  - ❖ Frecuencia.
  - ❖ Capacidad nominal del equipo.
  - ❖ Tiempo nominal promedio de reserva.
  - ❖ Distorsión de onda en el suministro.
- G) Regulador de tensión y acondicionadores de línea.
- ❖ Tensión de alimentación y suministro.
  - ❖ Conexión en la alimentación y en el suministro.
  - ❖ Frecuencia.
  - ❖ Capacidad nominal del equipo.
  - ❖ Regulación respecto a la carga.
  - ❖ Tiempo de corrección.
  - ❖ Distorsión.
  - ❖ Capacidad de sobrecarga.
- H) Tableros.
- ❖ Tipo de tablero (si es de empotrar, sobreponer, autosoportado, para alumbrado, distribución o de fuerza).
  - ❖ Tipo de sistema de alimentación.
  - ❖ Número de circuitos.
  - ❖ Calibre de los alimentadores.
  - ❖ Si cuenta con barra de tierra y el tipo (puede ser de tierra eléctrica o aislada).
  - ❖ Valor de la protección general, si cuenta con ella (corriente nominal que circula por el interruptor).
  - ❖ Frecuencia.



**2.3. RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO.**

Las siguientes tablas las elaboramos sobre la base del levantamiento y muestran la cantidad de luminarios, receptáculos, motores y equipos de aire acondicionado de los cuales se recabó información.

Tablas de equipos de iluminación

TIPO DE LUMINARIO	EDIFICIO					TOTALES
	A	B y C	D	E		
Lámpara compacta ahorradora 13	--	86	10	--	<b>96</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Emp 2X40	61	158	50	107	<b>376</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Emp 2X32	333	148	75	48	<b>604</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Emp 2X59	--	113	30	9	<b>152</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Emp 59	--	2	6	--	<b>8</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Emp 2X75	--	24	33	8	<b>65</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Emp 75	--	4	8	--	<b>12</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Emp 2X28	--	--	--	19	<b>19</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Sobrep 2X40	3	10	--	--	<b>13</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Sobrep 2X32	1	--	--	--	<b>1</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Sobrep 2X59	--	2	--	--	<b>2</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Sobrep 2X75	1	6	--	--	<b>7</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Susp 2X40	--	6	--	--	<b>6</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Susp 2X75	--	2	--	--	<b>2</b>	
Lám Fluo Dif Rej Curvalum 4X21	--	42	--	--	<b>42</b>	
Lám Fluo Dif Rej Curvalum 2X32	--	80	--	--	<b>80</b>	
Lám Fluo Dif Rej Emp 2X59	--	54	--	--	<b>54</b>	
Lám Fluo Dif Rej Emp 2X40	--	25	--	--	<b>25</b>	
Lám Fluo Riel 20	--	1	--	--	<b>1</b>	
Lám Fluo Riel 40	--	3	--	--	<b>3</b>	
Lámpara incandescente 75	--	5	--	--	<b>5</b>	
Lámpara incandescente 300	--	2	--	--	<b>2</b>	
Lám Fluo Dif Acrí Emp 4X40	--	28	--	--	<b>28</b>	

Tabla 11. Luminarios totales por edificio.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

TIPO DE LUMINARIO	AULA	LABORATORIO	OFICINA	TALLER	COMÚN	BODEGAS	COMPUTO
Lámpara compacta ahorradora 13	6	53	9		9	7	12
Lám Fluo Dif Acrí Emp 2X40	112	53	77		78	17	48
Lám Fluo Dif Acrí Emp 2X32	465		58		81		
Lám Fluo Dif Acrí Emp 2X59	54		20		2		17
Lám Fluo Dif Acrí Emp 59	4						2
Lám Fluo Dif Acrí Emp 2X75	78		18		12		14
Lám Fluo Dif Acrí Emp 75			5			6	
Lám Fluo Dif Acrí Emp 2X28					19		
Lám Fluo Dif Acrí Emp 4X40	20		8				
Lám Fluo Dif Acrí Sobrep 2X40	9				3	1	
Lám Fluo Dif Acrí Sobrep 2X32					1		
Lám Fluo Dif Acrí Sobrep 2X59							2
Lám Fluo Dif Acrí Sobrep 2X75	4	1					2
Lám Fluo Dif Acrí Susp 2X40		1	5				
Lám Fluo Dif Acrí Susp 2X75		2					
Lám Fluo Dif Rej Emp 2X32	25						
Lám Fluo Dif Rej Emp 2X75	54						
Lám Fluo Dif Rej Curvalum 2X32	18		26			9	27
Lám Fluo Dif Rej Curvalum 4X21			16				26
Lám Fluo Riel 20							1
Lám Fluo Riel 40						3	
Lámpara Incandescente 75	3	1			8	1	
Lámpara incandescente 100							2
Lámpara incandescente 300							2

Tabla 12. Luminarios por área.

Tabla de receptáculos eléctricos conectados.

TIPO DE CONTACTO	EDIFICIO				TOTALES
	A	B y C	D	E	
Contacto con Protección de Falla a Tierra	6				6
Contacto Línea Regulada	112		9	142	263
Contacto Polarizado-Tierra Eléctrica	396	521	147	352	1416
Contacto Sin Polarizar	27	154	4	42	227



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

<b>Contacto Bifásico</b>	1	2	2	5
<b>Contacto Trifásico</b>	18	5	31	54

Tabla 13. Tipo de receptáculos.

La mayor parte de la carga de tipo no lineal se debe al equipo de computo instalado en los diferentes edificios que componen el conjunto norte de la Facultad, la mayor parte de ellos se encuentra en el edificio A, esta se localiza en las zonas administrativas, en segundo lugar esta el edificio D, que es el edificio del USECAD y UNICA.

Descripción	EDIFICIO				TOTALES
	A	B y C	D	E	
<b>Computadoras</b>	208	57	144	113	522

Tabla 14. Computadoras por Edificios

Descripción	EDIFICIO		
	AULA	LABORATORIO	OFICINA
<b>Computadoras</b>	6	155	279

Tabla 15. Computadoras por Zona

El equipo motriz se ubica principalmente en el edificio E, que corresponde a la zona de laboratorios de: Eléctrica de Potencia, Hidráulica, Máquinas Térmicas y Estructuras de la Facultad. Éste equipo se utiliza con fines académicos y como tal, su operación se sujeta a la programación de las asignaturas que se imparten en ellos, en este sentido es importante hacer notar que la mayoría de ellos no cuentan con controles para su arranque u operación instalados de manera permanente.

Motores	EDIFICIO
	E
<b>5 HP</b>	25
<b>10</b>	3
<b>20</b>	4
<b>25</b>	1
<b>30</b>	2

Tabla 16. Motores por capacidad



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

El equipo de aire acondicionado se utiliza sólo en las áreas administrativas, la mayoría de ellos se localizan en el Edificio A, en las zonas destinadas para la administración general de la Facultad. Es importante recalcar que no se trata de equipos grandes, la carga está constituida básicamente por unidades de ventana o por los llamados minisplit.

EDIFICIO					
Descripción	A	B y C	D	E	TOTALES
Aires acondicionados	8	4	6	11	29

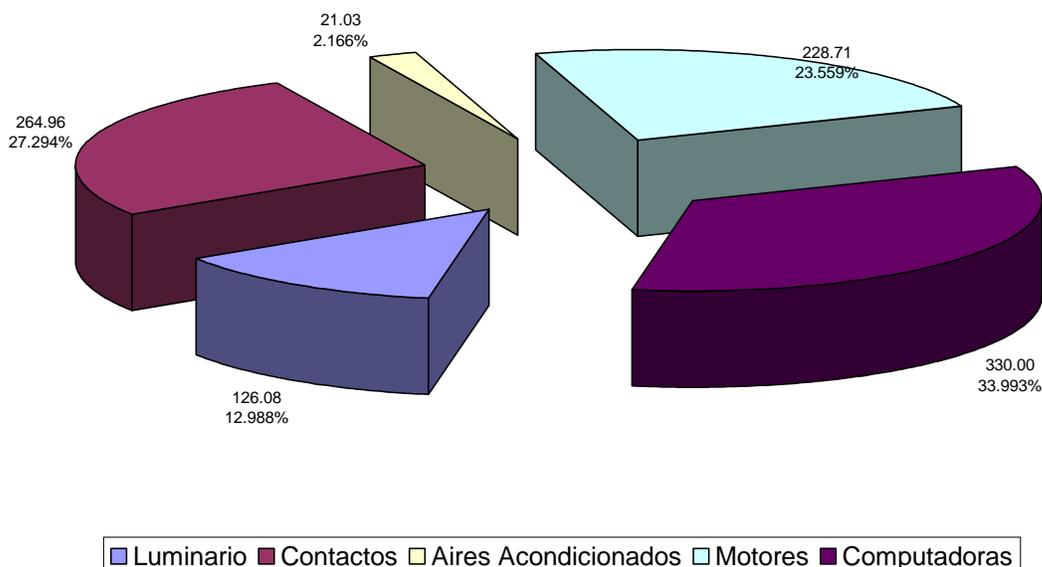
Tabla 17. Acondicionadores de Aire

ZONAS						
Descripción	SALAS DE COMPUTO	OFICINAS	LABORATORIOS	CUBICULOS	AULAS	TALLERES
Aires acondicionados	8	6	9	3	1	2

Tabla 18. Acondicionadores de Aire por zonas

Carga conectada dentro de la facultad, dado en kW.

Capacidad Instalada en [kW]





El conocimiento de la diversidad, cantidad y distribución de cargas conectadas al sistema eléctrico del conjunto norte de la Facultad de Ingeniería, permite estudiar su impacto en la calidad de la energía presente en el sistema.

Algunos de los planos completos que se tiene se muestran en el anexo

12

## 2.4. MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS.

Para determinar el comportamiento de las señales del suministro eléctrico y la calidad de la energía en el conjunto norte de la Facultad de Ingeniería, se empleo un equipo de medición de la marca AEMC, modelo 3945 “Analizador de redes eléctricas y calidad de energía”<sup>13</sup>; con el cual se realizó el monitoreo de parámetros eléctricos, donde se recopilaron datos de los siguientes parámetros: potencia aparente, potencia real, tensión, corriente, factor de potencia, frecuencia, distorsión armónica total de tensión y corriente, además de registrar los transitorios que se presentan y el porcentaje de cada armónica.

La medición se realizó en la SE del conjunto norte de la FI, la cual se ubica en el edificio E del conjunto.

### A) Subestación eléctrica.

La subestación Eléctrica del conjunto norte de la Facultad de Ingeniería se encuentra en el edificio E, a continuación se da una descripción de su configuración

La SE se constituye de tres cuerpos principales; el primero es el tablero de media tensión, en él se alojan la acometida eléctrica, el desconectador sin carga, el elemento de interrupción y la sección de acoplamiento. El segundo está formado por el transformador de energía de tipo seco, el cual en el primario recibe una alimentación trifásica en configuración delta a un potencial de 6.3 kV, en el secundario la configuración es en estrella a un potencial de 220 V, la capacidad nominal del mismo es de 500 kVA. La tercera sección la constituyen los tablero que alojan a los interruptores derivados así como al del secundario del transformador.

La conexión se realizó como se muestra en el diagrama<sup>14</sup>.

### B) Monitoreo de Parámetros Eléctricos.

Entre otras cosas, el monitoreo proporciona información sobre la manera en que se utiliza la energía eléctrica en las instalaciones, la duración del mismo fue de una semana y

<sup>12</sup> Los planos se localizan en el apéndice C.

<sup>13</sup> El manual de instrucciones esta en el apéndice D

<sup>14</sup> Localizado al final del apéndice D.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.*

comprende el periodo que va del día 27 de marzo al 2 de abril del 2009<sup>15</sup>, este es el periodo mínimo establecido para determinar la calidad de la señal de tensión.<sup>16</sup>

La duración de las mediciones se determina sobre la base de las características de operación de las instalaciones, como se verá, el perfil de la demanda es el mismo para los diferentes días de la semana, es decir, las curvas de demanda son cíclicas por el tipo de ocupación de los recintos, también se tomo en cuenta que es el tiempo mínimo necesario para obtener datos que muestren la tendencia de los parámetros eléctricos, por otro lado la disponibilidad del equipo de medición está en función de las actividades que desarrolla el programa “Proyectos de Ahorro de Energía”, el cual es el responsable del equipo.

#### ❖ Demanda.

La demanda muestra la potencia real y aparente que se solicita a la SE, esta depende de la cantidad de corriente que demanda la carga conectada y se encuentra limitada por la capacidad nominal del transformador.

El comportamiento de la demanda muestra los horarios en los cuales se tiene la mayor concentración en consumo de energía, y se describe a continuación:

La actividad laboral en las instalaciones del conjunto norte de la Facultad de Ingeniería, entre semana, da inicio a las 06:00 horas y se prolonga por un periodo de 16:30 horas, hasta las 22:30 horas del día. La demanda de energía al inicio y final del periodo es de 52 kW en promedio.

Las labores comienzan a las 06:00 horas con una demanda inicial de 52 kW, en las siguientes 04:30 horas (hasta las 10:30 horas) se observa un crecimiento gradual hasta una demanda de 220 kW, este valor representa el 88 % de la demanda máxima promedio.

A partir de esta hora, 10:30 horas del día y hasta las 14:30 horas (6 horas), la demanda oscila entre este valor y la demanda máxima promedio que es de 250 kW.

En las siguientes dos horas (de las 14:30 a las 16:30 horas) se presenta una disminución en la demanda de aproximadamente 24 kW, esto se debe al horario de comida.

A partir de las 16:30 horas se presenta otro incremento progresivo en la demanda, hasta alcanzar un pico de 238 kW alrededor de las 19:00 horas.

<sup>15</sup> El monitoreo se realizó durante el horario de invierno, por disposición oficial este horario rige del último domingo de octubre, al sábado anterior al primer domingo de abril

<sup>16</sup> Comisión Federal de Electricidad, enero 2005, especificación CFE L0000-45 “Desviaciones Permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica”. Apéndice A.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.*

---

Las 3:30 horas posteriores, de las 19:00 a las 22:30 horas, se registra un decremento paulatino hasta alcanzar nuevamente una demanda de 52 kW.

El horario de inactividad en las instalaciones comprende el periodo que va de las 22:30 horas del día, hasta las 06:00 horas del día siguiente, en este periodo se registra la demanda base laboral que es de 38 kW.

En el fin de semana las actividades se reanudan a las 06:30 y terminan a las 19:00 horas. El primer periodo tiene una duración de 2 horas, de 06:30 a 08:30 horas, en él la demanda se incrementa de 52 kW a 90 kW, este último valor representa el 90 % de la demanda máxima del periodo de fin de semana.

El segundo periodo va de 08:30 a 13:30 horas, en él la demanda oscila entre 90 kW y el valor máximo, 105 kW.

El tercer momento se prolonga a lo largo de cinco horas y media (de 13:30 a 19:00 horas), a través de las cuales la demanda decrece hasta 55 kW, a partir de este momento comienza el periodo no laboral del fin de semana, en el cual se registra una demanda mínima de 30 kW, este valor lo conforman las cargas conectadas permanentemente al sistema eléctrico del conjunto norte, estas cargas son fundamentalmente equipo de computo e iluminación.

De las observaciones hechas, se concluye que el alumbrado exterior contribuye con una demanda aproximada de 8 kW, y que comienza a operar alrededor de las 19:00 horas para finalizar a las 08:00 horas del día siguiente.

La demanda máxima de energía se presentó el día jueves dos de abril a las 10:57 horas, con un valor de 257 kW y un factor de potencia de 0.967, lo que implica que la demanda de potencia aparente fue de 266 kVA. Este valor representa el 53 % de la capacidad nominal de la subestación.

La demanda mínima se registró el domingo 29 de marzo a las 07:27 horas con un valor de 30 kW y un factor de potencia de 0.854.

Al establecer una comparación en el trazo de las gráficas de demanda total real y aparente, se observa que el perfil es el mismo, pero los valores se ven incrementados en la segunda, debido a que el factor de potencia en ningún momento llega a ser unitario.

Las tablas siguientes muestran los valores: máximo, mínimo y promedio de todo el periodo de medición, tanto de la demanda real como aparente.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

DEMANDA TOTAL (kW)	
MÁXIMO	256.98
PROMEDIO	108.86
MÍNIMO	30.03

DEMANDA TOTAL (kVA)	
MÁXIMO	265.74
PROMEDIO	114.23
MÍNIMO	35.17

Al observar las gráficas correspondientes a este parámetro, podemos afirmar que el perfil corresponde con el de un centro de enseñanza u oficinas, en el cual es posible identificar plenamente los usos y costumbres de quienes hacen uso de las instalaciones, así como de la planeación laboral por parte de la administración, pues se definen con toda claridad los periodos de labores y descanso.

Los valores que se muestran en las tablas son:

Demanda máxima del periodo de medición; a través de este valor se determina el grado en que se utiliza la capacidad nominal de la SE (500 kVA), y ayuda a proyectar el crecimiento futuro de las instalaciones.

Demanda promedio del periodo: este valor es el deseable como demanda para todos los días de la semana, pues se obtendría la mayor eficiencia en la operación de las instalaciones y equipos, si el uso de las instalaciones lo permitiera, al realizar un estudio de administración de la demanda, este sería el valor patrón para implementar esta administración.

Demanda mínima del periodo: su determinación ayuda a conocer la mínima energía necesaria para la operación de las instalaciones, en ella se incluyen aspectos de seguridad y transferencia de información.

#### ❖ Tensión.

Es el potencial eléctrico que tiene el sistema, es la capacidad para desplazar un flujo de electrones, los cuales serán la corriente eléctrica.

Lo óptimo es que la tensión se mantenga en un valor constante, pero se sabe que las variaciones en ella son intrínsecas a la operación de los sistemas eléctricos.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

El valor de referencia es la tensión de sistema, en la SE este valor es de 220 V entre fases y de 127 V de fase a neutro, con una tolerancia de variación en el suministro de  $\pm 10$  %.

A continuación se describe el comportamiento del parámetro:

En el gráfico correspondiente se observa que varía de manera inversa a la demanda de energía, en los momentos en que la demanda se incrementa la tensión disminuye y viceversa al disminuir la demanda la tensión incrementa su magnitud. Este comportamiento está definido por la caída de tensión en los alimentadores de la SE.

Es importante resaltar que la caída de tensión no sólo se da en el alimentador de la SE, también es consecuencia de la caída de tensión en el anillo que suministra energía a la SE del conjunto.

Las variaciones en los periodos laborales como en los de descanso son de 3 V en promedio, este valor es adecuado pues representa el 2.4 % sobre el voltaje de sistema (127 V).

El rango de variación total es de 5 V (de 129 a 134 V) el cual representa el 3.9 % del voltaje de sistema.

La tabla siguiente muestra los valores: máximo, mínimo y promedio de todo el periodo de medición.

TENSIÓN (V)			
	Fase A	Fase B	Fase C
<b>MÁXIMO</b>	133.20	133.90	133.50
<b>PROMEDIO</b>	131.45	131.89	131.57
<b>MÍNIMO</b>	129.00	129.30	129.10

Como se puede apreciar, los valores mínimos son superiores a la tensión del sistema, esta condición no pone en riesgo la operación de las cargas conectadas al mismo, pues el diseño de los equipos permite un rango de variación para su correcta operación, este rango generalmente es de 10 a 15 %.

El desbalance máximo permitido en la tensión, es de 3 % para sistemas de menos de 1 kV. En la medición se encontró que el desbalance máximo fue de 0.41 %.

El desbalance en tensión que se registra en las instalaciones se debe al desbalance en corriente de demanda. Los valores encontrados están por debajo de los límites recomendados.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

Para calcular el desbalance en tensión se empleo la siguiente fórmula:

$$\% D = \frac{3 * V_{Fx}}{V_{FA} + V_{FB} + V_{FC}}$$

Donde:

$V_{Fx}$  es el valor de la tensión de la fase que se quiere probar

$V_{FA}$  es el valor de la tensión de la fase A

$V_{FB}$  es el valor de la tensión de la fase B

$V_{FC}$  es el valor de la tensión de la fase C

Con esta formula se obtuvo la siguiente tabla.

DESBALANCE DE TENSIÓN (%)			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	0.36	0.41	0.26
PROMEDIO	0.15	0.19	0.06
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00

#### ❖ Corriente.

Es el flujo de electrones a través de un potencial eléctrico, su magnitud dependerá del flujo que requiera el sistema.

La corriente depende de la utilización de la carga instalada y del tiempo que dura conectada.

El trazo de la corriente es similar al de la demanda de potencia, esta condición es coherente pues no se encontraron variaciones importantes en la señal de tensión, y por tanto el perfil de la demanda de potencia lo determina la demanda de corriente al sistema.

En la gráfica correspondiente al parámetro, se muestra el perfil de la demanda de corriente para cada una de las fases y para el neutro del sistema, el trazo corresponde con el periodo de medición.

Los aspectos relevantes de los datos obtenidos son los siguientes:

La demanda máxima de corriente es de 716 A, esta representa el 53 % de la capacidad nominal del transformador.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

En las fases A y C se demanda casi la misma cantidad de corriente, al comparar estas demandas con la de la fase B, observamos que la diferencia es de aproximadamente 200 A.

Por el conductor neutro circulan corrientes de magnitud mayor al producto del desbalance de corriente entre fases, esta condición está siendo generada por la circulación de corrientes armónicas en el sistema.

En la tabla siguiente se muestran los valores máximo, mínimo y promedio de todo el periodo de medición.

CORRIENTE (A)				
	Fase A	Fase B	Fase C	Neutro
MÁXIMO	716.00	480.90	700.90	183.40
PROMEDIO	295.65	218.47	305.16	92.64
MÍNIMO	90.00	75.90	92.50	54.30

El porcentaje de desbalance en corriente se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% D = \frac{3 * I_{Fx}}{I_{FA} + I_{FB} + I_{FC}}$$

En donde:

$I_{Fx}$  es el valor de la corriente de la fase que se quiere probar

$I_{FA}$  es el valor de la corriente de la fase A

$I_{FB}$  es el valor de la corriente de la fase B

$I_{FC}$  es el valor de la corriente de la fase C

Con los valores obtenidos se elaboró la tabla siguiente:

DESBALANCE EN CORRIENTE			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	34.48	66.74	42.20
PROMEDIO	10.34	21.12	11.86
MÍNIMO	0.03	0.00	0.00

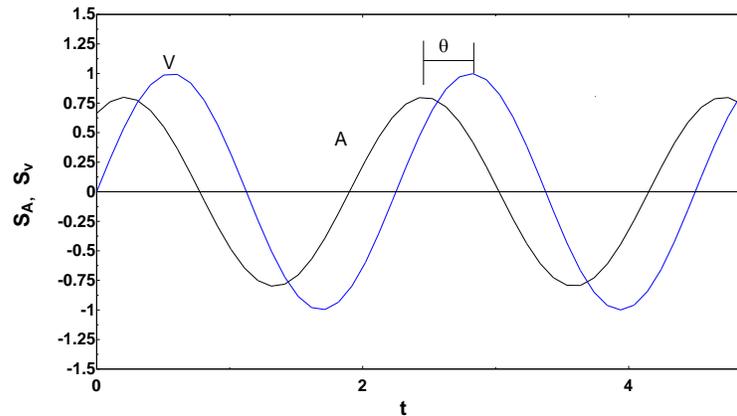
Dada la impedancia relativa del sistema, el desbalance máximo permitido en la especificación de CFE, CFE L0000-45, es de 8 %, los valores máximo y promedio mostrados en la tabla son superiores a este valor.



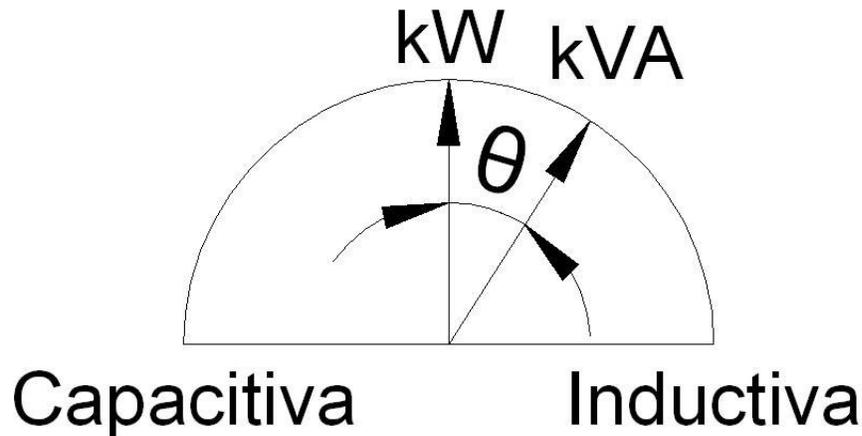
❖ Factor de Potencia.

El factor de potencia es el coseno del ángulo que forman la tensión y la corriente, o bien, el cociente entre la potencia real y la potencia aparente. Como se trata de corriente alterna la tensión y la corriente son ondas senoidales y el factor de potencia es una medida del retraso de la señal de corriente respecto de la de tensión.

Entre mayor sea el atraso de la corriente respecto a la tensión, mayor será la demanda de potencia reactiva. En términos generales esto no es conveniente por que la potencia reactiva no genera trabajo útil, la mayor parte de ella se transforma en calor.



El factor de potencia como la diferencia entre defasamiento de la corriente respecto a la tensión.



El factor de potencia, como la relación de potencias.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

Las compañías suministradoras de energía eléctrica sugieren que el factor de potencia tenga un valor superior a 0.9, esto con la finalidad de operar al sistema eléctrico con una eficiencia alta, en términos de conversión de energía. Durante el periodo de medición se registraron valores superiores a 0.9, esto ocurre en los momentos en que la demanda de energía es alta, pero cuando decrece el fp también lo hace, principalmente en las fases A y C.

La disminución del factor de potencia en las fases A y C se ve reflejado en el fp total, pues este también disminuye.

Cabe recordar que la medición se realizó en el secundario del transformador, por tanto, el fp del que hablamos es sólo el de la carga conectada.

La tabla siguiente muestra los valores: máximo, mínimo y promedio registrados durante la medición.

FACTOR DE POTENCIA				
	Fase A	Fase B	Fase C	Total
<b>MÁXIMO</b>	0.98	0.99	0.98	0.98
<b>PROMEDIO</b>	0.89	0.93	0.87	0.90
<b>MÍNIMO</b>	0.73	0.82	0.72	0.81

De los valores mostrados concluimos que para efectos de facturación no se pagaría recargos por bajo factor de potencia, pues el valor que se considera para efectos de cobro es el valor del fp total promedio, y para nuestro sistema ese valor es de 0.9.

Es importante mencionar que la carga conectada de manera permanente al sistema provoca una disminución grave en el fp, además sabemos que se encuentra conectada a la fase A y que fundamentalmente consiste en equipos de iluminación y computo.

#### ❖ Frecuencia.

La frecuencia en el sistema eléctrico mexicano es de 60 ciclos por segundo, y este no debe variar más allá de más-menos 0.8 %<sup>17</sup> ya que una variación mayor en la frecuencia puede afectar a las máquinas generadoras.

Como se puede apreciar en la siguiente tabla, los valores máximo y mínimo se encuentran dentro del rango permisible de variación.

<sup>17</sup> Diario Oficial de la Federación. Mayo de 1993. Reglamento de la ley del servicio público de la energía eléctrica.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

FRECUENCIA (Hz)	
MÁXIMO	60.13
PROMEDIO	60.00
MÍNIMO	59.88

### C) Distorsión Armónica.

- ❖ Distorsión Armónica Total en Tensión (DATT).

La distorsión armónica total en tensión, como se vio en el capítulo anterior, para sistemas eléctricos con una tensión menor a un kilo volt debe ser menor a 8% de acuerdo a la norma CFE L0000-45.

La norma del IEEE, el STD IEEE 519-1992 indica que para sistemas con una tensión menor a sesenta y nueve kilo volts, la DATT debe ser menor a 5%.

El comportamiento que sigue es el comportamiento de la demanda, a mayor demanda, mayor distorsión.

DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL EN TENSIÓN			
	Fase A	Fase B	Fase C
MÁXIMO	3.20	2.70	3.20
PROMEDIO	1.74	1.47	1.74
MÍNIMO	1.00	0.80	1.00

- ❖ Distorsión Armónica Total en Corriente (DATC).

La distorsión armónica en corriente máxima que se permite es de 8 %, siendo esto para sistemas en los que la impedancia relativa es mayor o igual a mil, la cual sólo se presenta en lugares en donde la corriente de corto circuito es mil veces mayor a la demanda promedio en el punto de acoplamiento. Esto aplica tanto para la norma CFE L0000-45 y el STD IEEE 519-1992.

En el gráfico correspondiente se observa que el parámetro sigue un comportamiento inverso a la demanda, en los momentos de mayor demanda, el DATC registra los valores más bajos.

La tabla siguiente muestra el valor máximo, promedio y mínimo del DATC.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

### DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL EN CORRIENTE

	Fase A	Fase B	Fase C
<b>MÁXIMO</b>	23.80	23.40	30.40
<b>PROMEDIO</b>	14.14	13.20	17.56
<b>MÍNIMO</b>	7.80	6.30	9.00

La fase con mayor distorsión es la fase C, donde llega a valores superiores a 30 %.

Las graficas que realizamos de la medición se localizan en el anexo A

#### D) Análisis de transitorios.

Al conectar el equipo analizador de redes eléctricas y calidad de la energía, también se obtuvo información de eventos de carácter transitorios que afectaron el comportamiento de la onda senoidal en el secundario del transformador.

Se registraron cincuenta eventos durante la medición, en la tabla 19 se enumeran a partir de la fecha y hora en que tuvieron lugar.

Fecha	Hora
<b>Viernes, 27 de Marzo de 2009</b>	13:23:31
<b>Viernes, 27 de Marzo de 2009</b>	13:26:21
<b>Viernes, 27 de Marzo de 2009</b>	13:42:59
<b>Viernes, 27 de Marzo de 2009</b>	15:07:02
<b>Viernes, 27 de Marzo de 2009</b>	15:09:57
<b>Viernes, 27 de Marzo de 2009</b>	15:55:53
<b>Viernes, 27 de Marzo de 2009</b>	15:56:25
<b>Viernes, 27 de Marzo de 2009</b>	22:13:10
<b>Sábado, 28 de Marzo de 2009</b>	09:56:27
<b>Sábado, 28 de Marzo de 2009</b>	10:20:13
<b>Sábado, 28 de Marzo de 2009</b>	10:25:37
<b>Sábado, 28 de Marzo de 2009</b>	10:27:03
<b>Sábado, 28 de Marzo de 2009</b>	16:59:01
<b>Sábado, 28 de Marzo de 2009</b>	17:18:11
<b>Domingo, 29 de Marzo de 2009</b>	11:02:05
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	06:15:10
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	06:15:10
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	09:43:02
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	10:35:21
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	12:31:01
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	12:38:25
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	12:58:45



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

### *Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.*

---

<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	12:58:45
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	13:08:52
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	13:29:41
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	14:40:00
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	15:23:53
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	16:21:02
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	16:32:24
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	17:56:59
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	18:41:50
<b>Lunes, 30 de Marzo de 2009</b>	23:27:33
<b>Martes, 31 de Marzo de 2009</b>	08:32:03
<b>Martes, 31 de Marzo de 2009</b>	08:47:09
<b>Martes, 31 de Marzo de 2009</b>	11:50:47
<b>Martes, 31 de Marzo de 2009</b>	12:09:02
<b>Martes, 31 de Marzo de 2009</b>	12:12:20
<b>Martes, 31 de Marzo de 2009</b>	12:34:24
<b>Martes, 31 de Marzo de 2009</b>	14:08:30
<b>Martes, 31 de Marzo de 2009</b>	16:21:42
<b>Martes, 31 de Marzo de 2009</b>	22:23:16
<b>Martes, 31 de Marzo de 2009</b>	22:59:23
<b>Miércoles, 01 de Abril de 2009</b>	08:48:23
<b>Miércoles, 01 de Abril de 2009</b>	10:16:56
<b>Miércoles, 01 de Abril de 2009</b>	10:24:23
<b>Miércoles, 01 de Abril de 2009</b>	10:47:51
<b>Miércoles, 01 de Abril de 2009</b>	11:02:46
<b>Miércoles, 01 de Abril de 2009</b>	11:07:27
<b>Miércoles, 01 de Abril de 2009</b>	11:13:08
<b>Miércoles, 01 de Abril de 2009</b>	11:14:05

---

Tabla 19. Fecha y hora donde se presentaron los eventos transitorios.



A continuación se muestran los transitorios de mayor impacto.

- ❖ Transitorio registrado el día 31, a las 8:32 horas.

En la gráfica se observa la presencia de una depresión (sag) en la tensión, que afecta el valor de la corriente, este tipo de transitorio se presenta de forma monopolar, lo que indica que proviene del suministro.

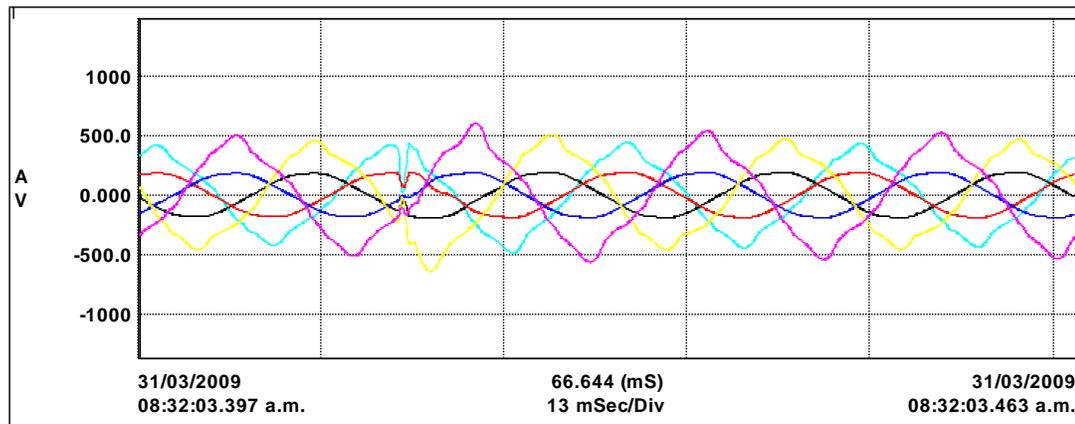


Fig. 20. Tensión y corriente durante cuatro ciclos

Los gráficos siguientes muestran las curvas de tensión y corriente: previo, durante y después de la falla.

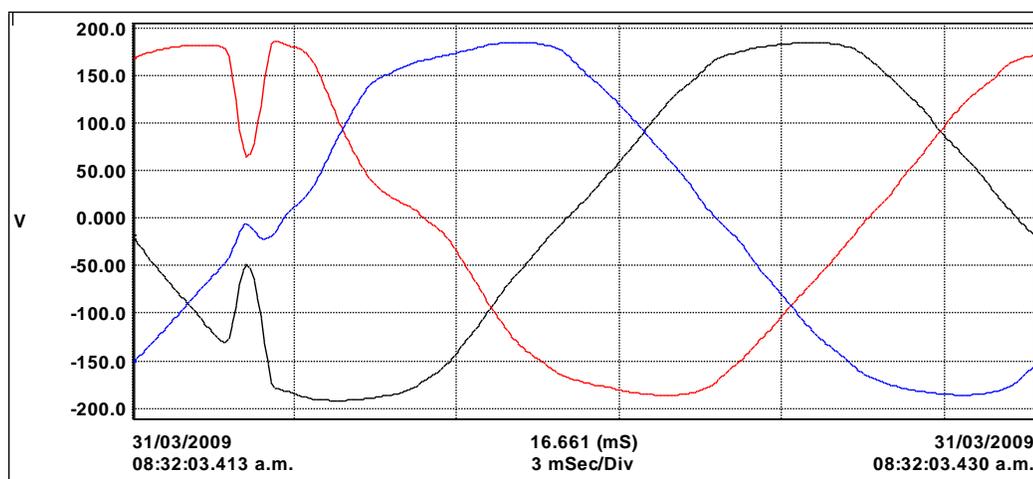


Figura 8. Tensión en el ciclo donde ocurre la falla

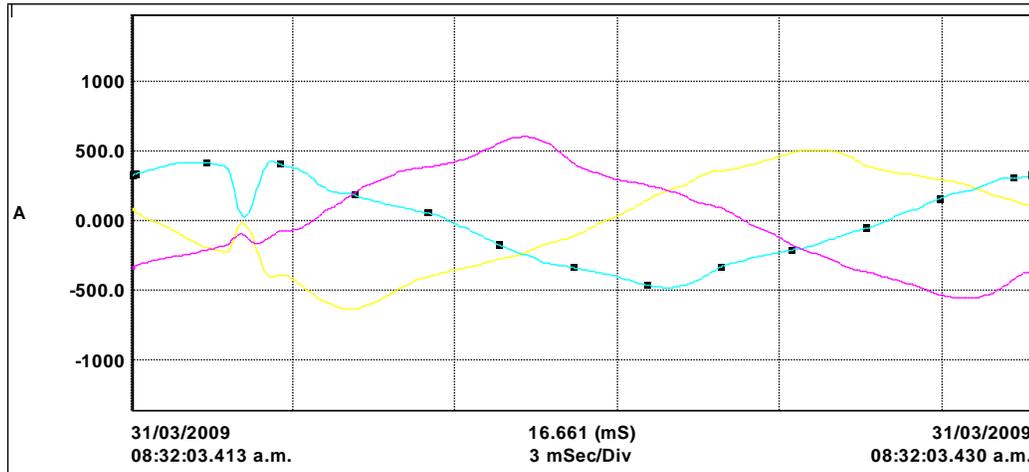


Figura 9. Corriente en el ciclo donde ocurre la falla

La tabla de abajo muestra información sobre la hora, fecha, duración del transitorio y valores de las señales en el instante de ocurrencia.

31/03/2009 - 08:32:03.051 a.m.	
Val	
426.0	4Ciclos I2
-126.2	4Ciclos V1
186.7	4Ciclos V2
-60.60	4Ciclos V3
-192.8	4Ciclos I1
-225.3	4Ciclos I3

Figura 10. Referencia de colores



- ❖ Transitorio registrado el día 31, a las 12.09 horas.

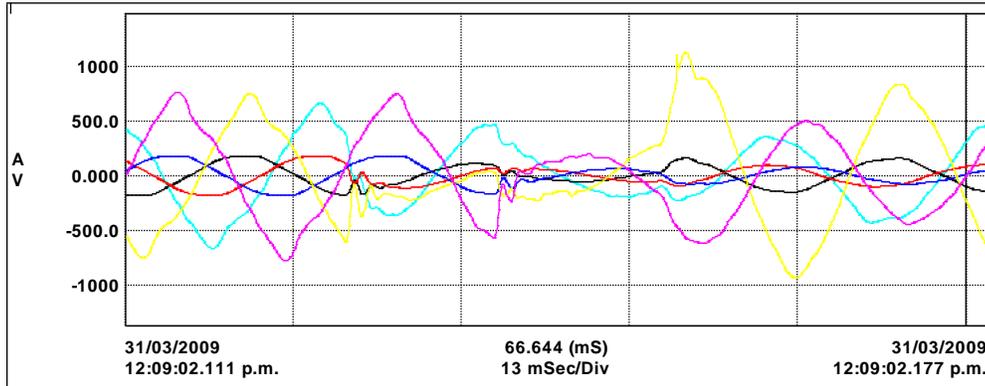


Figura 11. Tensión y corriente durante cuatro ciclos

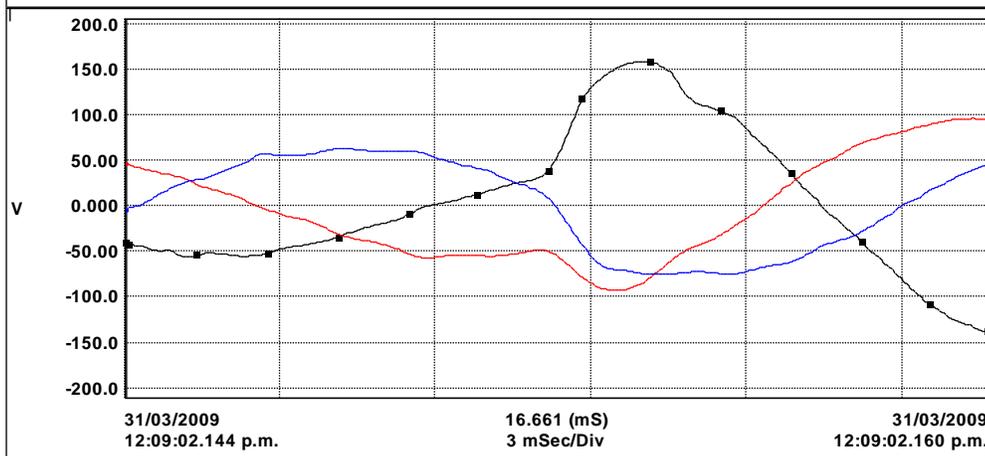
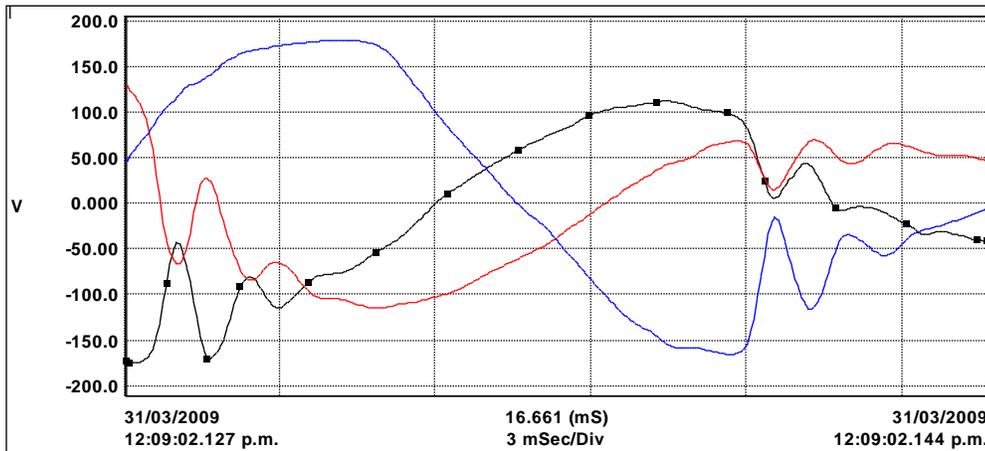


Figura 12. Tensión en los ciclos donde ocurre la falla

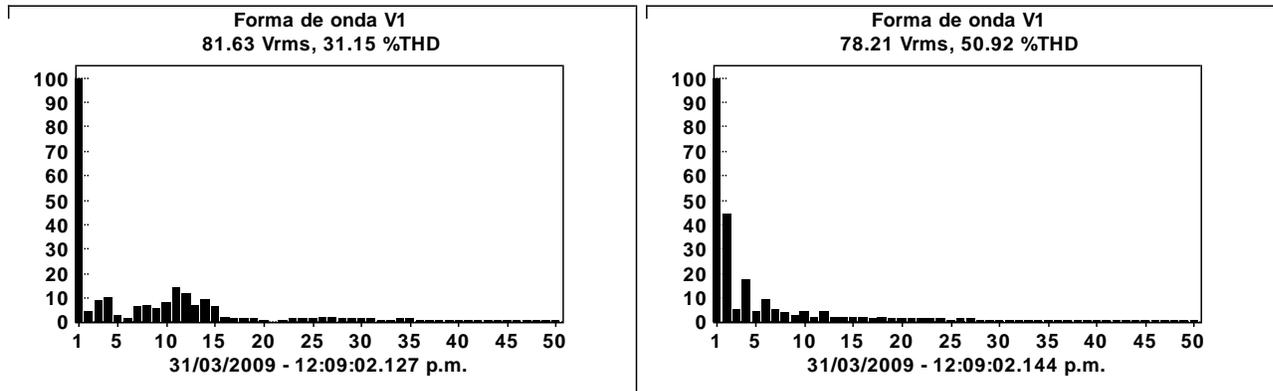


Figura 13. Contenido armónico en la tensión durante la falla en la fase A

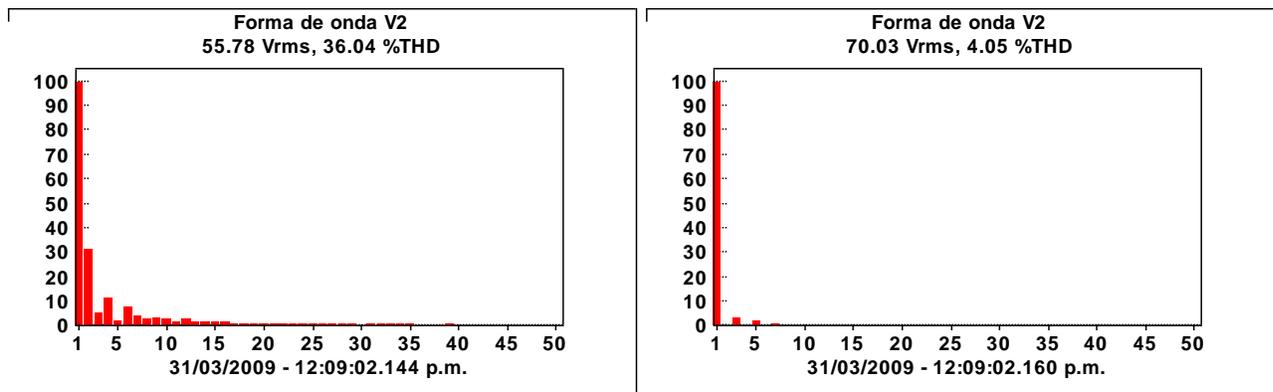


Figura 14. Contenido armónico en la tensión durante la falla en la fase B

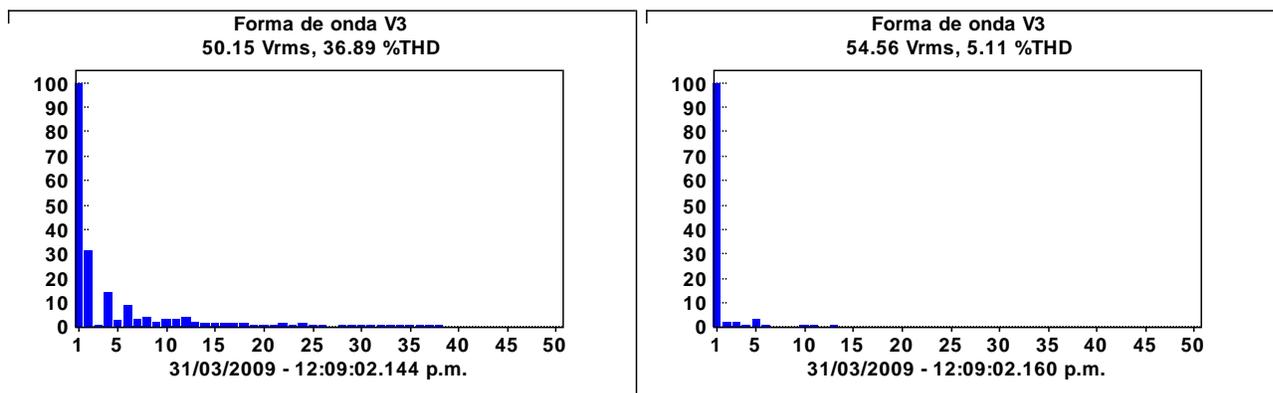


Figura 15. Contenido armónico en la tensión durante la falla en la fase C

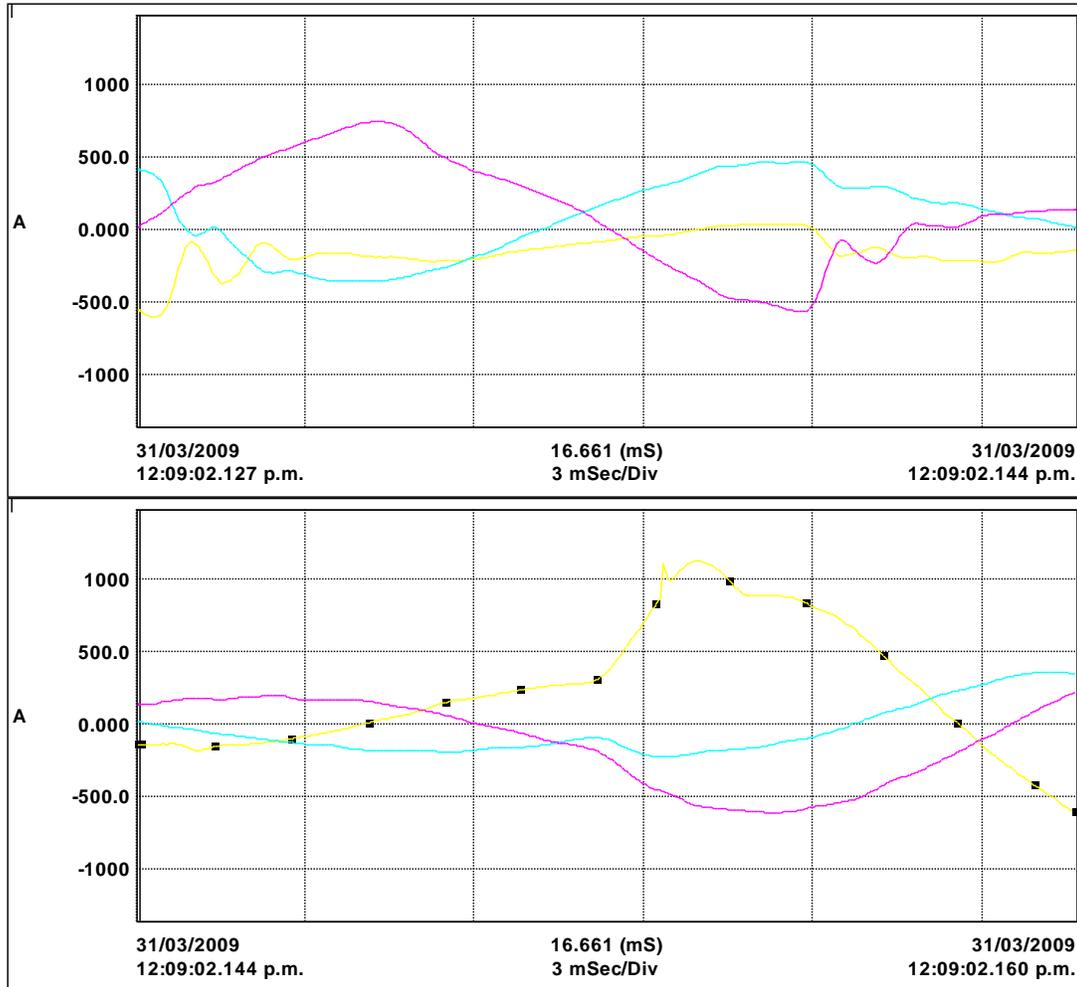


Figura 16. Corriente en los ciclos donde ocurre la falla

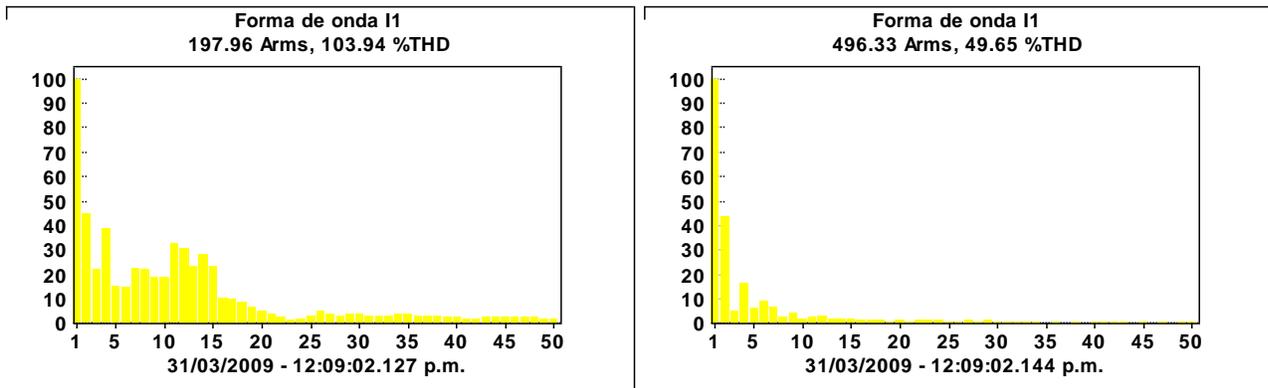


Figura 17. Contenido armónico en la corriente durante la falla en la fase A

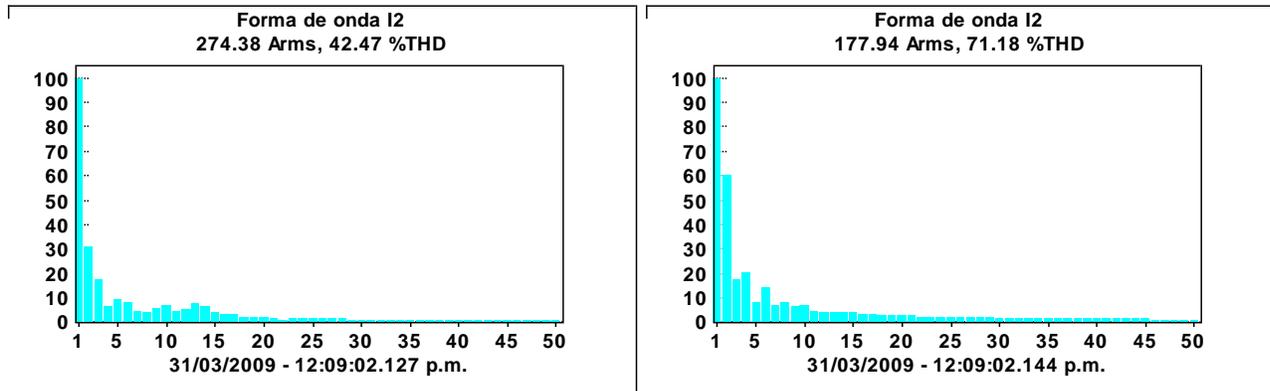


Figura 18. Contenido armónico en la corriente durante la falla en la fase B

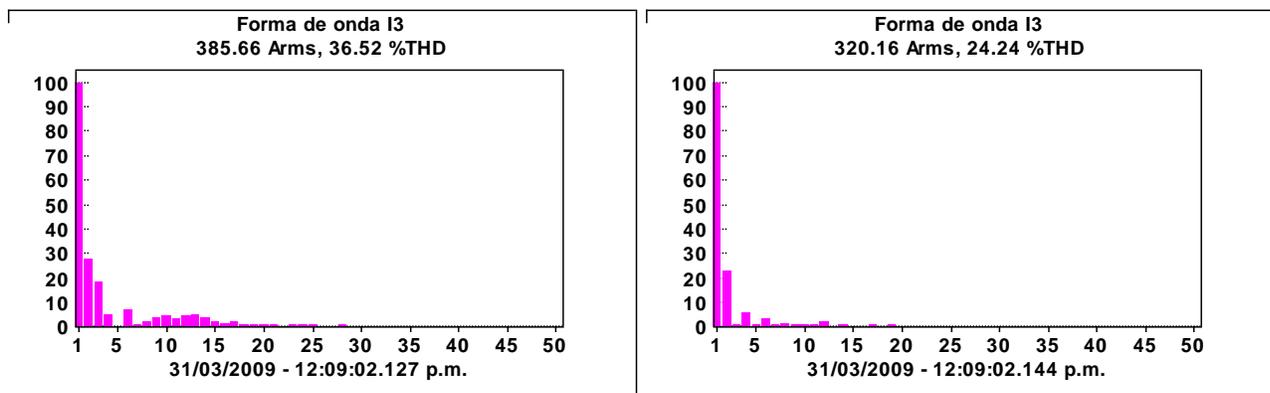


Figura 19. Contenido armónico en la corriente durante la falla en la fase C

La duración del transitorio fue de dos ciclos, al analizar el espectro en frecuencia, se observa la aparición de la segunda armónica, con valores superiores al 50% del valor fundamental tanto en corriente, como en tensión.

Los transitorios fueron consecuencia de arcos eléctricos en los devanados del transformador. Este se presentó, por una falla entre fases en el bus del transformador, puesto que esta cantidad de armónicas es usual, en los arcos.



❖ Transitorio registrado el día 27, a las 13:23 horas.

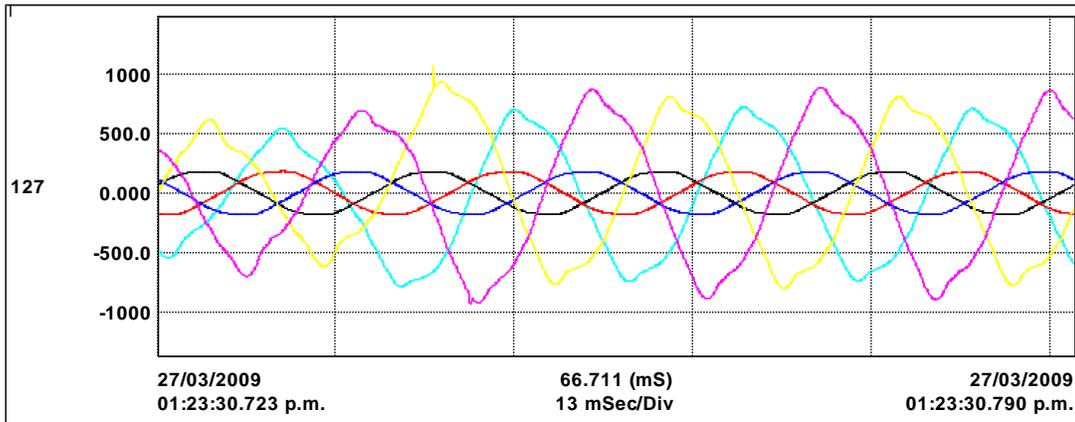


Figura 20. Tensión y corriente durante cuatro ciclos.

31/03/2009 - 08:32:03.051 a.m.	
Val	
426.0	4Ciclos I2
-126.2	4Ciclos V1
186.7	4Ciclos V2
-60.60	4Ciclos V3
-192.8	4Ciclos I1
-225.3	4Ciclos I3

Figura 21. Referencia de colores correspondientes a cada fase.

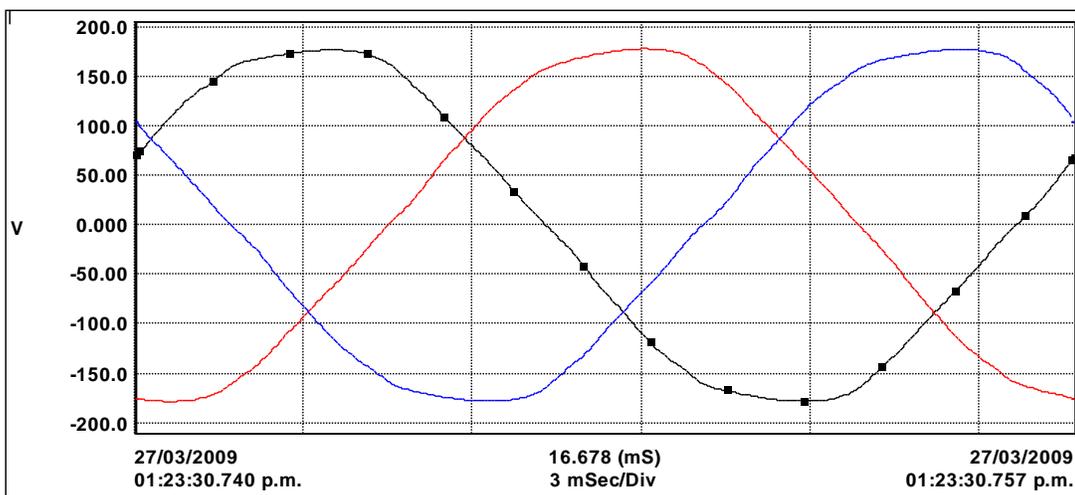


Figura 22. Tensión en los ciclos donde ocurre la falla

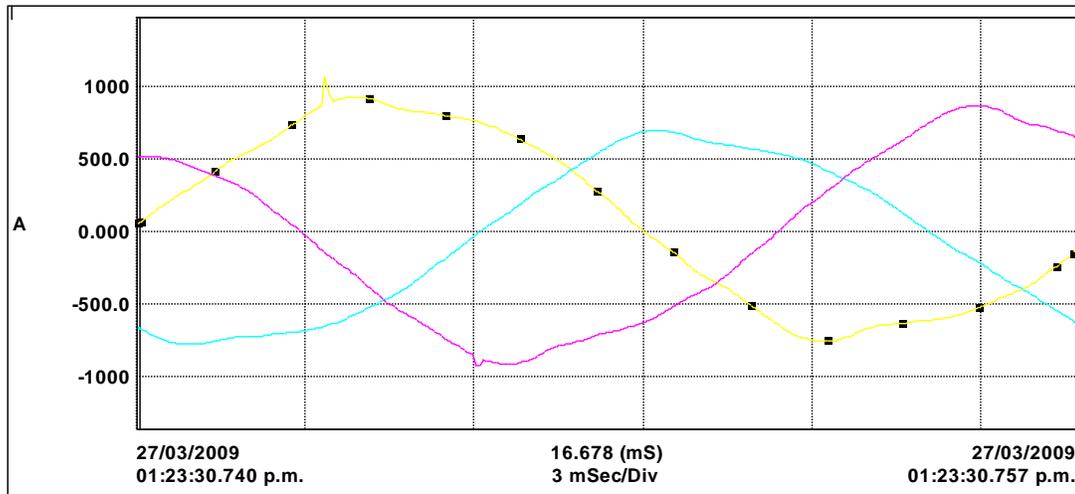


Figura 23. Corriente en los ciclos donde ocurre la falla

Este transitorio muestra sobre-corrientes de forma repentina, se observa que en la fase A, y C, se presentan muescas, generalmente son producto de la operación de motores.

Los transitorios analizados son los tres tipos que se presentaron en los 50 eventos registrados, si los listamos en función de la repetición, el orden sería el siguiente: Sobrecorrientes, depresiones y pérdidas de energía.

❖ Contenido armónico.

Conectar cargas de tipo no lineal, provoca en el sistema la generación de corrientes senoidales cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental, las cuales conocemos como armónicas.

Como se mencionó en el Capítulo 1, la especificación CFE L0000-45, establece los límites máximos permisibles para el contenido armónico de una señal. En la siguiente tabla se muestran los límites para las armónicas impares individuales.

Impedancia relativa (Icc / IL)	Componente armónico individual máximo de corriente, para armónicas impares %				
	h <11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	h ≥ 35
(Icc / IL) < 20	4	2	1.5	0.6	0.3
20 ≤ (Icc / IL) < 50	7	3.5	2.5	1	0.5



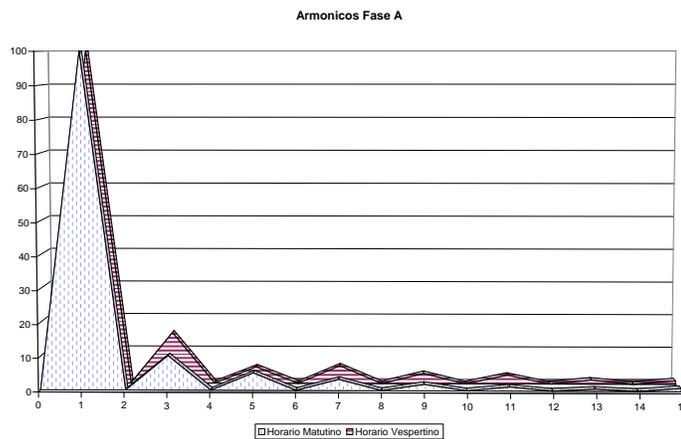
# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

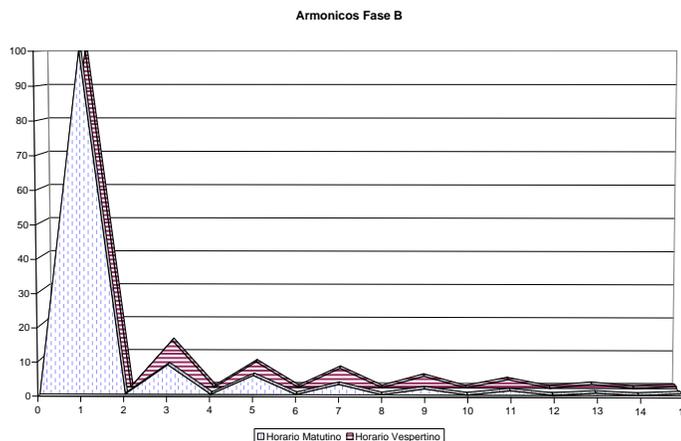
$50 \leq h < 100$	10	4.5	4	1.5	0.7
$100 \leq (I_{cc} / I_L) < 1000$	12	5.5	5	2	1
$h \geq 1000$	15	7	6	2.5	1.4

Donde las corrientes armónicas pares son el 25 % de las correspondientes impares, y estos valores se consideran como las condiciones más desfavorables posibles.

Durante las mediciones el contenido armónico que se registro en el punto de acoplamiento, donde fue conectado el equipo AEMC 3945, nos da el porcentaje de frecuencias armónicas, indicando el orden del mismo, esto se registra por cada fase y se obtuvo la información del monitoreo realizado.



**Figura 24. Porcentaje de armónicos en la fase A4**



**Figura 25. Porcentaje de armónicos en la fase B**

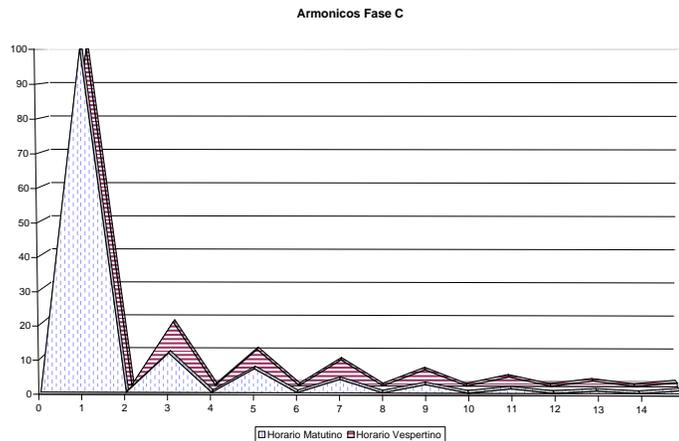


Figura 26. Porcentaje de armónicos en la fase C

Las graficas muestran el contenido armónico por fase, mostrando dos horarios, el matutino donde las corrientes son de de valor alto, llegando a valores superiores a los 650 [A] y en el nocturno donde los valores de corriente llegan a ser 110 [A].

La tercera armónica es la de mayor valor, alcanzando valores superiores al 15 % que se llega a permitir, aunque esto sucede en el horario nocturno, donde el contenido armónico tiende a incrementarse.

Se llega a presentar un valor de quinta armónica, donde estos llegan a un valor del 10%, presentándose en el horario nocturno.

La séptima armónica que se llega a presentar alcanza valores del 7.8 %, e igual que en los casos anteriores el incremento es durante el horario nocturno.

La fase con mayor contenido armónico durante el horario matutino como nocturno fue la fase C.

Las siguientes ecuaciones describen de manera matemática, el comportamiento de la distorsión armónica, por fase y horario en que se registraron.

Fase A.

Matutino:

$$I_A(t) = I_A[\text{sen}(60t) + 0.1029\text{sen}(180t) + 0.0519\text{sen}(300t) + 0.033\text{sen}(420t) + 0.0189\text{sen}(540t) + 0.0117\text{sen}(660t) + 0.0059\text{sen}(780t) + 0.009\text{sen}(900t)]$$



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

### Capítulo 2. Proyecto y Medición en la FI.

---

#### Vespertino

$$I_A(t) = I_A[\text{sen}(60t) + 0.1534\text{sen}(180t) + 0.0496\text{sen}(300t) + 0.05354\text{sen}(420t) + 0.031\text{sen}(540t) + 0.02651\text{sen}(660t) + 0.01214\text{sen}(780t) + 0.01092\text{sen}(900t)]$$

#### Fase B

##### Matutino:

$$I_B(t) = I_B[\text{sen}(60t) + 0.08667\text{sen}(180t) + 0.05551\text{sen}(300t) + 0.02986\text{sen}(420t) + 0.01729\text{sen}(540t) + 0.01251\text{sen}(660t) + 0.0063\text{sen}(780t) + 0.00548\text{sen}(900t)]$$

#### Vespertino

$$I_B(t) = I_B[\text{sen}(60t) + 0.1407\text{sen}(180t) + 0.0765\text{sen}(300t) + 0.0576\text{sen}(420t) + 0.0344\text{sen}(540t) + 0.0247\text{sen}(660t) + 0.0113\text{sen}(780t) + 0.0058\text{sen}(900t)]$$

#### Fase C

##### Matutino:

$$I_C(t) = I_C[\text{sen}(60t) + 0.1159\text{sen}(180t) + 0.0701\text{sen}(300t) + 0.0392\text{sen}(420t) + 0.0245\text{sen}(540t) + 0.0126\text{sen}(660t) + 0.0069\text{sen}(780t) + 0.0088\text{sen}(900t)]$$

#### Vespertino

$$I_C(t) = I_C[\text{sen}(60t) + 0.1902\text{sen}(180t) + 0.1082\text{sen}(300t) + 0.0773\text{sen}(420t) + 0.0484\text{sen}(540t) + 0.0273\text{sen}(660t) + 0.0158\text{sen}(780t) + 0.0113\text{sen}(900t)]$$



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.*

#### **3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LA FI.**

En el capítulo anterior fue presentado el reporte de las actividades y mediciones realizadas en el edificio principal de la facultad, con el cual se determinó la situación en la que se encuentra la instalación eléctrica, las condiciones de operación y la calidad que actualmente se tiene. Lo cual será descrito en el presente capítulo donde se procede a realizar un análisis de la instalación eléctrica, y las afectaciones que se tienen en la calidad de la energía.

Luego se procede a describir las soluciones principales para compensar los problemas de calidad de energía, describiendo su operación y proponiendo las opciones que solucionarían los problemas en la facultad, comparándolas con su funcionalidad y su costo.

#### **3.1. SITUACIÓN ACTUAL EN LA FI.**

Como fue descrito en el capítulo anterior la distribución de los edificios, a continuación procedemos a describir el estado actual y la carga dominante de los tableros en cada uno de los edificios que pertenecen a la Facultad de Ingeniería.

##### A). Edificio A.

El sótano, tiene cinco tableros que alimentan las cargas que se encuentran en ese nivel, se divide en dos zonas, el área de cubículos, la cual tiene cuatro tableros de reciente colocación, de los cuales dos tiene regulador de línea, ambos de 5 kVA, se encuentran dentro de un armario exclusivo, y la zona de administración, donde cuenta con un tablero localizado en el descanso de las escaleras donde todas las personas tiene acceso a él. Estos tableros son de alumbrado para distribución. Las cargas conectadas a estos tableros son de cómputo, uso general e iluminación.

La planta baja tiene un tablero, el cual provee energía a la dirección, sala de profesores y a la biblioteca. Este tablero se encuentra junto al tablero del sótano en el descanso de las escaleras, y las cargas principales son de iluminación y cómputo, es un tablero de alumbrado para distribución.

Los siguientes dos pisos son aulas, los cuales se alimentan de un tablero cada uno de ellos, los tableros aunque se encuentran en diferentes niveles alimentan el mismo tipo de carga, que es la de salones donde se tiene solo carga de iluminación y de contactos.

El tablero del tercer nivel alimenta a los salones del nivel, pero además de éste se derivan conductores que llevan alimentación al área de cubículos del cuarto nivel por lo que la carga de este tablero aparte de ser de iluminación y contactos, también incluye cómputo.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.*

---

En el cuarto nivel los laboratorios de cómputo tienen alimentación que proviene de la subestación y llega a dos tableros, de los cuales uno deriva de un regulador de línea de 5 kVA, y se conecta al tablero donde se alimentan dos salas de contactos para las computadoras.

#### B). Edificio B.

El tablero localizado en el entresuelo de la planta baja y el primer piso, es de alumbrado para distribución, en el llega la alimentación principal de donde se derivan conductores a los diferentes niveles del edificio.

Los siguientes cuatro tableros comparten el tipo de carga que es de iluminación y contactos para aulas, todos son tablero de alumbrado para distribución, y son de fácil acceso.

#### C). Edificio C.

La planta baja alberga el tablero general junto con el del nivel, de ahí se derivan la alimentación de los pisos siguientes, con excepción del tercer nivel que se deriva de las zapatas del segundo nivel.

#### D). Edificio D.

El edificio cuenta con dos fuentes de alimentación, una que viene directo de la subestación y alimenta a los tableros de cada nivel, y otra que pasa primero por un acondicionador de línea.

El sótano cuenta con dos tableros, uno que es de línea normal, y el otro que proviene del regulador instalado en este nivel, el primero se localiza junto al regulador de línea, mientras que el regulado esta en una columna dentro de la sala de computo.

La planta baja tiene tres tableros, el primero localizado a la entrada del edificio, es de línea normal, da energía al área de cubículos por lo que alimenta principalmente a cargas de iluminación y de contactos. El segundo tablero es de línea regulada, y alimenta las dos salas de cómputo. Y el tercer tablero es para la conexión de 5 quipos de aire acondicionado, éste se deriva del primer tablero.

El primer nivel, cuenta con cuatro tableros de alumbrado para distribución, el primero se localiza en la entrada del edificio y controla los cubículos y la iluminación de pasillos, el segundo se localiza en el departamento de comunicación, este tablero es de línea regulada y controla contactos que se conectan a computadoras y equipo para la edición de audio y video, es de línea normal y alimenta el área de iluminación y equipos de uso regular, el tercero se localiza dentro del mismo departamento. El último de los tableros sen



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.*

---

encuentra dentro de los cubículos pertenecientes al UNICA, este es línea regulada, y conecta a los contactos para las computadoras de la zona.

El acondicionador de línea, es el equipo eléctrico del cual se obtiene la línea regulada, este equipo esta localizado en el área del USECAD, en el sótano del edificio, y de el se deriva la alimentación a los tableros en los tres niveles.

#### E). Edificio E.

El área administrativa y la de laboratorios, es alimentada por dos de los tableros los cuales se localizan al principio y al fin del edificio. Son tableros de alumbrado para distribución y alimentan cargas de contactos, iluminación y de cómputo.

El laboratorio de eléctrica recibe alimentación eléctrica por medio de dos tableros de alumbrado para distribución, localizados uno en el centro de control del laboratorio, y el otro en una esquina, controlan cargas de contactos, iluminación y motores

El laboratorio de térmica tiene un tablero de alumbrado para distribución, se localiza en la parte trasera del laboratorio, sus cargas principalmente son de alumbrado y de contactos.

El laboratorio de hidráulica tiene un tablero general el cual deriva en alimentación a los motores, iluminación y contactos en el laboratorio, se localiza en el costado izquierdo al laboratorio.

El laboratorio de materiales tiene dos tableros de alumbrado para distribución, se localiza en el fondo del laboratorio y alimenta cargas de iluminación, contactos, y equipos propios del laboratorio.

La zona de cubículos y aulas localizada en la parte trasera de los laboratorios, cuenta con un tablero de alumbrado para distribución la cual alimenta iluminación, contactos, y de computadoras.

El primer nivel, la zona de cubículos y aulas se alimenta de un tablero localizado en el descanso de las escaleras dentro del edificio, es un tablero de alumbrado para distribución de cargas de iluminación, y contactos en general.

El laboratorio de cómputo, tiene dos tableros de alumbrado para distribución, localizados en el primer laboratorio, uno de ellos es de línea regulada proveniente de un regulador que se encuentra donde los tableros y su carga es de iluminación y de cómputo.



### 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS TABLEROS.

Durante la inspección realizada a los tableros principales de la facultad se encontraron varios problemas que son recurrentes en la mayoría de ellos, y muchos de ellos son causa de problemas en la calidad de la energía, por lo que se listan algunos de esos problemas:

- ❖ Conductor de puesta a tierra, la falta de este conductor desnudo, no solo puede poner en riesgo la seguridad de una persona que este en contacto con un equipo eléctrico, si no también evita que corrientes no deseadas, como pueden ser descargas atmosféricas, o corrientes armónicas de secuencia cero tengan un camino de regreso. Estas conexiones no cumplen con el artículo 250-43 (b) de la NOM-001.
- ❖ Conexiones flojas, la mala colocación del conductor de fase con el interruptor que protege al circuito, puede ocasionar arcos entre los mismo, lo cual desgasta tanto el conductor, su aislamiento y al interruptor.
- ❖ Empalmes, existen empalmes dentro de los tableros, algunos que conectan conductores del mismo calibre entre ellos, y algunos que se deriva de un conductor de mayor calibre con varios de menor. Esto incumple con la NOM-001 en sus artículos 110-14 (a), 354-6, 324-12, 331-13.
- ❖ Aislamientos dañados, pueden ocasionar cortos circuitos 110-14
- ❖ conductores sueltos.
- ❖ varios conductores por interruptor.
- ❖ radio de curvatura.
- ❖ código de colores.
- ❖ uso de alambre, duplex y uso rudo.
- ❖ Sucios.
- ❖ cajas moldeadas dentro de tableros.
- ❖ Caídas de tensión, ocurren cuando la distancia entre la fuente de alimentación y la carga tienen una distancia considerable, o cuando la capacidad de corriente de un conductor se sobrepasa debido al exceso de carga o corrientes armónicas.
- ❖ Canalizaciones saturadas, que sucede cuando el cableado eléctrico que se encuentra dentro de las canalizaciones y provoca un calentamiento mayor al que los aislamientos de la mayoría de los conductores pueden soportar, lo que desencadena en pérdida en la capacidad del aislamiento y que puede provocar cortos circuitos.

La tabla 20 muestra las condiciones que son comunes a los tableros de la facultad.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.

Tablero	Conductor de Puesta a Tierra	Conexiones Flojas	Empalmes	Aislamientos Dañados	Conductores sin conexión	Multiconductores	Radios de Curvatura	Conductor Duplex, Uso Rudo y Alambre Sucios	Otros Equipos Eléctricos	Otras Características
Edif. A, Sótano 1 LN	X									
Edif. A, Sótano 1 LR	X									
Edif. A, Sótano 2 LN	X									
Edif. A, Sótano 2 LR	X						X			
Edif. A, Sótano 3	X		X		X		X	X		
Edif. A, PB	X		X			X	X	X	X	
Edif. A, 1N	X		X			X	X	X		
Edif. A, 2N	X		X			X	X	X		
Edif. A, 3N	X		X		X		X			
Edif. A, 4N LN										X
Edif. A, 4N LR										X
Edif. B, 1N	X		X	X			X	X		
Edif. B, 2N	X		X	X	X		X	X		
Edif. B, 3N	X		X				X	X		
Edif. B, 4N	X						X	X		
Edif. C, TG	X				X			X	X	X
Edif. C, PB	X	X					X	X		
Edif. C, 1N	X	X					X	X		
Edif. C, 2N	X	X			X		X	X		X
Edif. C, 3N	X				X		X	X		X
Edif. C, 4N	X	X	X			X	X	X		X
Edif. D, Sótano LR	X		X					X		X
Edif. D, Sótano LN	X		X		X			X		
Edif. D, PB	X		X			X	X	X		
Edif. D, PB LR	X		X					X		
Edif. D, PB AC	X									X
Edif. D, 1N	X			X	X					
Edif. D, 1N Com LN	X									X
Edif. D, 1N Com LR	X						X			X
Edif. D, 1N UNICA LR	X									X



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.

Edif. E, Sótano 1	X	X	X	X	X	X	
Edif. E, Sótano 2	X	X	X	X	X	X	
Edif. E, Lab. Eléctrica	X	X			X	X	X
Edif. E, Lab. Eléctrica 2	X		X	X	X		
Edif. E, Lab. Térmica	X	X			X	X	X
Edif. E, Lab. Hidráulica	X				X		X
Edif. E, Lab. Materiales	X	X	X		X	X	X
Edif. E, Sótano Cúb.	X	X			X	X	
Edif. E, PB	X			X	X	X	X
Edif. E, PB LN	X	X			X		X
Edif. E, PB LR	X	X			X		X

Tabla 20. Realización propia, Problemas en los tableros de la Facultad

### 3.3. OTRAS CARACTERÍSTICAS.

Algunos de los problemas detectados en los tableros son únicos, por lo que estos se detallan

Edificio A, los tableros del cuarto nivel, tienen un lazo en su tierra física. El primero al cual la alimentación llega, tiene una conexión de tierra física posiblemente conectada a la tierra física de la subestación. Estos tableros presentan fallos en su conexión, al conectar al mismo punto la unión del conductor neutro con la tierra física y una tierra aislada.

La tierra física proveniente de la subestación no esta conectada solidamente con la tierra física que se deriva al regulador, y existe un lazo entre la tierra física en los dos tablero.

Edificio C, el tablero general del edificio, tiene orificios en el gabinete, que permite el paso de animales, y por el se observa un los restos de un animal. Además los tableros del segundo nivel al cuarto, algunos presentan daños en los aislamientos por calentamiento.

Edificio D, el tablero de línea regulada localizado en el sótano tiene también el gabinete saturado, y el frente abierto. El tablero de línea regulada en la sala de comunicación tiene una unión del neutro, con el gabinete y de ahí se derivan conductores desnudos a los circuitos. El tablero de línea normal de la misma área deriva conductores desde las zapatas del tablero. Y el tablero de línea regulada que se encuentra en la sala del UNICA tiene neutros compartidos, es decir, existen circuitos que comparten neutros.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.

Edificio E, el tablero del laboratorio de Eléctrica tiene derivaciones desde las zapatas principales que están mal sujetas, y no realizan buen contacto. El laboratorio de Materiales tiene los tableros con el frente abierto. Y el laboratorio de Térmica tiene el frente abierto, las canalizaciones que se derivan de él están mal sujetas, y se encuentra frente a tubos de diesel y un depósito del mismo combustible.

Las siguientes imágenes pertenecen a los tableros localizados en el la Facultad, se muestran los principales problemas.

#### Edificio A



Tablero del tercer nivel con tapa diferente a la original.



Empalmes dentro del tablero del segundo nivel.



Tablero de la planta baja, sucio y con un objeto ajeno al tablero.



Conductores sueltos, tablero del tercer nivel.



Tablero cuarto nivel, unión del neutro, conductor de tierra eléctrica desnuda y conductor forrado de tierra aislada



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.



Tablero de línea regulada del área de cubículos, tierra eléctrica con tierra aislada y tierra del regulador, unido a la barra del neutro y al gabinete.

### Edificio B



Tablero del tercer nivel.



Empalme y suciedad dentro del tablero del segundo nivel.



Tablero del segundo nivel, conductor suelto dentro del tablero.



Tablero del cuarto nivel.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.



Tablero del primer nivel, conductores de colores diferentes.

### Edificio C



Tablero del segundo nivel



Tablero general del edificio, conductor de alimentador de fase suelta



Tablero general del edificio, equipos dentro de los tableros



Tablero general del edificio, suciedad en el tablero.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.



Tablero del cuarto nivel, conductores sueltos y empalmes dentro del gabinete.



Tablero del cuarto nivel, conductores en mal estado.

### Edificio D



Tablero del primer nivel, con empalmes



Tablero primer nivel, conductores con aislamiento dañado



Tablero primer nivel comunicaciones línea regulada, unión de una tierra aislada con la barra del neutro



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.



Tablero primer nivel comunicaciones, derivación para centro de carga desde las zapatas principales, conductores de uso rudo en los circuitos



Tablero primer nivel UNICA, conductores de neutro menores a la cantidad de circuitos



Tablero planta baja, sala de UNICA, empalmes dentro del gabinete.



Tablero sótano línea normal, conductores sueltos, empalmes, derivación previa al interruptor principal.



Tablero sótano línea regulada, empalmes, gabinete saturado, sin cubierta.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.



Regulador de línea sótano, sucio, sin mantenimiento, y varias conexiones derivadas a los demás niveles además de dos conexiones para aires acondicionados.

### Edificio E



Tablero en planta baja de computadoras, empalmes y sucio.



Tablero planta baja sala de computadoras línea regulada, sin tierra física



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.



Tablero sótano cubículos, sucio, con empalmes, conductor duplex y alambre.



Laboratorio de materiales, sucio, con empalmes conductores duplex, alambre y de uso rudo.



Laboratorio de eléctrica, empalmes, circuitos reinados de barras sin una buena conexión sin tierra física



Tablero laboratorio de térmica, sin tapa de protección, conductores sueltos, conductores de uso rudo, sucio, sin tierra física y frente a tubería de diesel.

Las cargas de cómputo que se encuentran en la facultad se muestran en la tabla 21, donde se muestra también la potencia de cada zona.

UPS o REGULADORES REQUERIDOS		
Localización	# de Computadoras	Potencia (VA)
Sótano Edificio A	90	22500
Planta Baja Edificio A	71	17750
Cuarto Nivel Edificio A	47	11750
Primer Nivel Edificio C	20	5000
Cuarto Nivel Edificio C	37	9250



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.

Sótano Edificio D	38	9500
Planta Baja Edificio D	50	12500
Primer Nivel Edificio D COM.	14	3500
Primer Nivel Edificio D UNICA	38	9500
Planta Baja Edificio E	31	7750

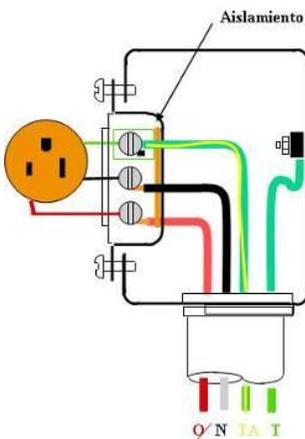
Tabla 21. Realización propia, Numero de computadoras y potencia demandada

### 3.4. SOLUCIONES A PROBLEMAS DE CALIDAD DE ENERGÍA.

Como se vio anteriormente, los problemas de la facultad son debidos a la instalación, a la carga conectada y al equipo instalado. Aquí se presentaran las formas propuestas para solucionar los diversos problemas o como minimizarlos de forma en la que no se conviertan en causa de daños a los equipos o al sistema de alimentación. Para esto existen las siguientes opciones para mitigar los efectos dañinos de los sistemas no lineales:

#### A). Puesta a Tierra Aislada.

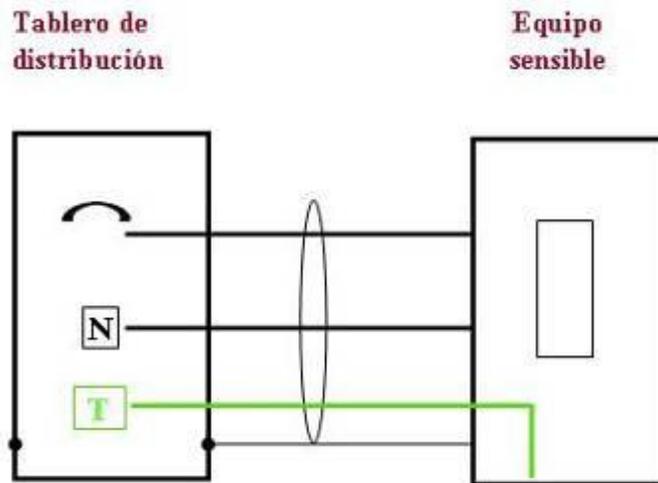
Es la implementación de un cableado que conecte a los receptáculos que proveen de energía eléctrica a las cargas no lineales. El cual lleve el cableado normal para una instalación eléctrica, como es la fase, el neutro (o puesto a tierra) y la conexión del conductor desnudo de puesta a tierra que se conecta a la chalupa del contacto, pero además lleva un cable de tierra aislada, el cual ira conectado directamente a la subestación, electrodo de tierra o una conexión a tierra física, y se conectara a la entrada de tierra en el receptáculo. Esto nos soluciona problemas de ruido en la línea e impulsos en modo común provenientes de otros equipos en el sistema de puesta a tierra.





B). Línea Dedicada.

Es la implementación de un tablero separado y de uso exclusivo para las fuentes de tipo no lineal, para prevenir la contaminación de otros equipos. Esto nos soluciona los problemas de impulsos o cortes momentáneos de energía provenientes de equipos conectados al mismo circuito o tablero, aunque no logra darnos soluciona todos los problemas divididos a la interacción de cargas salvo las que llegan a presentarse dentro de un mismo circuito.

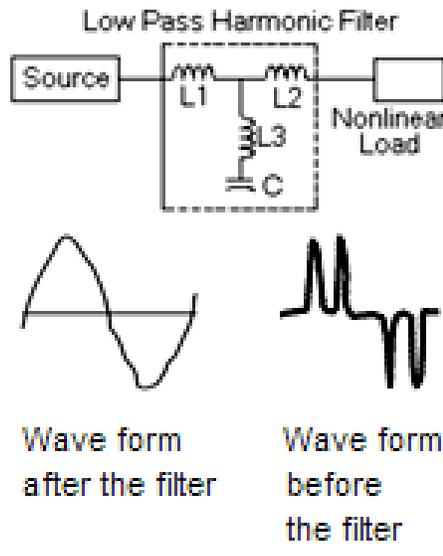


C). Transformadores de Aislamiento.

Son dispositivos magnéticos que ofrecen una separación física entre la entrada y la salida del mismo. Puede solucionar la presencia de ruido, la contaminación de armónicas de otras fuentes y también caídas de tensión. Estos pueden ser de tipo normal o con un factor K, el cual además de brindar la protección mencionada, es capaz de soportar las corrientes de armónicas, e incluso se pueden encontrar con filtros para la mitigación de las mismas.

D). Filtros.

Los filtros son elementos eléctricos no lineales que discrimina el paso de una determinada frecuencia o gama de frecuencias de dependiendo de las características del filtro y su capacidad. Solucionan problemas de corrientes armónicas, al drenar la corriente armónica de la frecuencia en la que se encuentre sintonizado. Pero la colocación de los filtros se debe de realizar con cuidado, ya que estos están muy limitados por la capacidad de corriente que son capaces de filtrar.

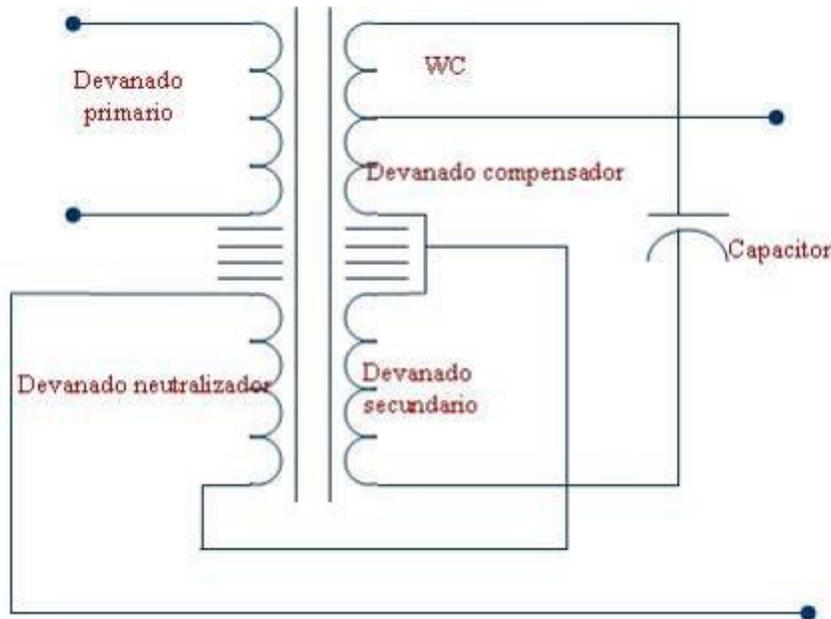


E). Supresores de Sobretensión Transitoria (o de picos).

Es un dispositivo eléctrico que es capaz de bloquear tensiones que se producen en el suministro eléctrico o por descargas atmosféricas, y llevarlas de forma segura lejos de los equipos a proteger. Este nos protege contra elevaciones repentinas y de corta duración en la tensión, aunque si esta se presenta con una duración mayor a la establece el equipo los fusibles se pueden quemar, al igual si el valor de tensión RMS que se tiene en la línea es mayor al que se especifica en el equipo.

F). Transformador de Tensión Constante o Ferroresonante.

Son transformadores que cuentan con devanados secundarios que compensan y neutralizan cambios en la tensión, además de tener un condensador conectado. Con lo que se proporciona una realimentación magnética. Estos son capaces de aislar la carga y de regular la salida de tensión, por lo que nos protegen contra impulsos, ruidos, sobretensiones, sags y corrientes armónicas. Se debe tener precaución en la utilización de estos transformadores es la capacidad, ya que su regulación es mejor cuando estos se encuentran al 25% de su capacidad.



G). Acondicionador o Regulador de Línea.

Son dispositivos eléctricos que controlan la salida de tensión mediante dispositivos electrónicos brindando una salida con menor variación. Estos tienen la capacidad de solucionar los problemas de sags, swells, de transitorios y aíslan las cargas de otras fuentes.

H). Sistemas de Energía Ininterrumpible (UPS).

Un UPS es una fuente de suministro eléctrico que posee una batería con el fin de seguir dando energía a un dispositivo en el caso de interrupción eléctrica, existen dos tipos los denominados off-line que se encarga de monitorear la entrada de energía, cambiando a la batería apenas detecta problemas en el suministro eléctrico. Ese pequeño cambio de origen de la energía puede tomar algunos milisegundos. Y los on-line que evita esos milisegundos sin energía al producirse un corte eléctrico, pues provee alimentación constante desde su batería y no de forma directa. Cualquiera que sea el tipo estos sistemas proveen protección contra, transitorios, sags, swells, aíslan cargas, ruidos y algunos pueden filtran armónicos.



3.5. COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS.

Los diferentes métodos nos pueden ayudar a mitigar los diferentes tipos de disturbios y problemas de calidad de energía, dependiendo del tipo de instalación y el tipo de conexión, y se pueden comparar el tipo de solución, para el tipo de problema, la tabla 22 muestra una comparación entre los diferentes métodos.

SOLUCIÓN A DISTURBIOS ELÉCTRICOS

	Impulso	Sobretensión	Sags	Swells	Armónicos	Ruidos	Corte del suministro
<b>Puesta a tierra Aislada</b>	Medianamente Eficaz	No	No	No	No	Medianamente Eficaz	No
<b>Línea dedicada</b>	Medianamente Eficaz	No	No	No	No	Medianamente Eficaz	No
<b>Transformadores de aislamiento</b>	Medianamente Eficaz	No	No	No	No	No	No
<b>Filtros</b>	No	No	No	No	Eficaz	No	No
<b>Supresores</b>	Eficaz	No	No	No	No	No	No
<b>Transformadores Ferroresonantes</b>	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	No
<b>Acondicionador de línea</b>	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Opcional	Eficaz	No
<b>UPS</b>	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz	Eficaz

Tabla 22. Comparativa de métodos de protección y mitigación

Como se observa los métodos más eficaces para la mitigación de los problemas de calidad de energía son los sistemas ininterrumpibles de energía, los transformadores ferroresonantes y los acondicionadores de línea que debido a su naturaleza no permiten el paso de las armónicas u otros problemas derivados.

Dentro de la facultad existen algunos puntos, como se vio durante la descripción de la situación actual, que necesitan utilizar diferentes métodos para la mitigación y prevención de problemas, como pueden ser el fallo en comunicaciones, calentamiento en los conductores y el fallo en tarjetas electrónicas.

Las siguientes recomendaciones se realizan en base al levantamiento eléctrico y usando las técnicas de mitigación para los disturbios eléctricos mencionados. Estos son hechos para las zonas con mayor carga de equipos no lineales.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.*

El edificio A, que tiene tres zonas con carga mayormente no lineal, se propone la instalación de equipos para la mitigación de estas como son:

Para el sótano se propone el mejorar el cableado en los tableros y seleccionar el regulador de línea adecuado a la carga de computo instalada. Consistiría en conectar un conductor desnudo de tierra física que llegue al tablero y un conductor con aislamiento de tierra aislada, que se conecte a una barra especial en los tableros, la cual debes estar aislada del gabinete y conectarse a los contactos como se indicó previamente. El regulador debe de ser de una capacidad de 25 kVA para tolerar la capacidad de las computadoras conectadas.

Para la planta baja se propone la instalación de un tablero de línea dedicada a los equipos de cómputo y la conexión de un regulador de línea de 20 kVA, para esto se debe de instalar también un conductor desnudo de tierra física y un conductor con aislamiento de tierra aislada.

En el cuarto nivel, donde se detecto fallas en la conexión de la tierra eléctrica, la aislada y el neutro, se propone la corrección de dichas conexiones, para el correcto funcionamiento para el regulador de línea que se propone, siendo este de 20 kVA, como se observa en la tabla.

El edificio C que dispone de dos laboratorios de computación en dos niveles diferentes y que son alimentados de dos tablero diferentes que no son adecuados para este tipo de carga, por lo que se propone lo siguiente:

La instalación de un transformador de aislamiento de 20 kVA, el cual se alimente de la subestación eléctrica, que lleve un conductor desnudo de tierra eléctrica junto a un conductor con aislamiento de tierra aislada, ambos conectados a la tierra de la subestación. La salida del transformador deberá derivar a dos tableros exclusivos, uno para cada laboratorio de cómputo, los cuales deberán de llevar un conductor con aislante de tierra aislada derivado del regulador.

El edificio D que es donde se encuentra un regulador de línea que provee protección a cuatro tableros dentro del edificio, debe de ser cambiado por un transformador ferresonante, el cual posea 50 kVA de capacidad. De ahí alimentara a los tableros existentes, eliminando la conexión de cargas ajenas como son los aires acondicionados, se debe verificar la conexión de puesta a tierra y se deberá de conectar los tableros con tierra física y con una tierra aislada.

El edificio E que cuenta con cinco laboratorios de cómputo que se alimentan de un regulador de línea que se encuentra donde esta el tablero, este sistema no cuenta con sistema de tierra por lo que se tiene que instalar, también la instalación de una tierra aislada que se conecte directamente de la subestación, y se conecte a cada uno de los



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.

contactos, el regulador debe de ser conectado de forma adecuada con el sistema de tierra física para su correcta operación.

En cada uno de los tableros que se mencionan se debe de incluir también un supresor de transitorios, y uno instalado en la subestación.

#### 3.6. COTIZACIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS.

Una vez realizado el análisis de la calidad de energía, donde han sido detectados los puntos en los cuales la sensibilidad de los equipos es mayor a las variaciones de la forma de onda tanto en tensión como en corriente y se ha recomendado los equipos eléctricos que ayudarían a mitigar los efectos producidos de acuerdo a las necesidades de la instalación al igual que su capacidad.

Estos equipos que fueron seleccionados en base a la capacidad de potencia demandada por cada laboratorio, como se calculo según la tabla sin embargo, no todas capacidades calculadas se encontraran en el mercado, por lo que se sugiere la capacidad superior más cercana al valor calculado.

La capacidad de los equipos que fue seleccionada previamente en este capítulo, fueron cotizados en el mercado, mediante dos empresas encargadas en la venta de equipo eléctrico y en análisis de calidad de energía, así como soluciones a las mismas. Estas empresas fueron Mettering y Voltran.

Las siguientes tablas muestran los precios de transformadores de aislamiento, sistemas ininterrumpibles de energía, reguladores y supresores de picos.

Potencia (kVA)	Precio en pesos
10	19500
15	34840
20	31200
35	45500
50	32851

Tabla 23. Precios en pesos de Transformadores de aislamiento, Fuente Voltran.

Potencia (kVA)	Precio en pesos
5	5525
8	11640
10	13473



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.

15	15974
20	27547
30	29874

Tabla 24. Precios en pesos de UPS, Fuente Mettering

kVA de Protección	Precio en pesos
100	990
160	1605
240	1965
400	2400

Tabla 25. Precios en pesos de Supresores de picos, Fuente Mettering

Potencia (kVA)	Precio en pesos
5	12385
10	24770
15	37155
20	49540
25	61925
50	123850

Tabla 26. Precios en pesos de Reguladores de Tensión, Fuente Mettering

Con los precios y la selección de los equipos que fue realizada previamente en este capítulo se calculan la siguientes tablas, donde se mostrarían los precios de los equipos de acuerdo a la cantidad de potencia necesaria en cada una de las zonas.

Edificio	Equipo			Total
	Potencia	Transformador	Regulador	
A Sótano	25	-	\$61,925.00	\$61,925.00
A Planta Baja	20	-	\$49,540.00	\$49,540.00
A Cuarto Nivel	20	-	\$49,540.00	\$49,540.00
C	20	\$31,200.00	-	\$31,200.00
D	50	-	\$123,850.00	\$123,850.00
				\$316,055.00

Tabla 27. Precios de Equipos para la facultad.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### Capítulo 3. Análisis de la Situación de la FI.

Otra opción que se podría contemplar sería la utilización de sistemas ininterrumpibles de energía en lugar de los reguladores, con lo que la tabla sería:

Equipo				
Edificio	Potencia	Transformador	UPS	Total
A Sótano	25	-	\$29,874.00	\$29,874.00
A Planta Baja	20	-	\$27,547.00	\$27,547.00
A Cuarto Nivel	20	-	\$27,547.00	\$27,547.00
C	20	\$15,974.00	-	\$15,974.00
D Sótano	15	-	\$15,974.00	\$15,974.00
D Planta Baja	10	-	\$13,473.00	\$13,473.00
D Primer Nivel	10	-	\$13,473.00	\$13,473.00
				\$143,862.00

Tabla 28. Precios de Equipos para la facultad utilizando UPS.

Aunque los precios que se manejan en el caso de los reguladores resulte ser mayor, los UPS, se debe de tomar en cuenta el mantenimiento que deben de seguir para que su funcionamiento sea siempre el adecuado, considerando la vida útil de las baterías y su reemplazamiento en caso de ser necesario.

Además a los precios de los equipos se deben de considerar los precios por la mano de obra de la instalación de los mismos equipos, y para la corrección de los problemas que se tiene en la facultad, se tiene que investigar las cotizaciones del cambio de cableado a los tableros además del costo de los materiales involucrados en el proceso.

Los precios indicados en esta sección fueron obtenidos para el mes de agosto del año 2009, por lo que estos pueden variar con el tiempo.



*4. Conclusiones.*

**4. CONCLUSIONES.**

Durante este trabajo hemos visto que los problemas debidos a la calidad de energía son ocasionados por diversas fuentes de cargas no lineales, y también se dio a conocer la normatividad que existe en el mundo, que limita la fabricación de equipos, o la utilización para que no se generen problemas de calidad de energía.

La facultad de Ingeniería tiene problemas en su instalación física, los cuales fueron detallados durante este trabajo y se vio que derivan en problemas de calidad de energía y estos se llegan a ver reflejados en la subestación, como se midió con el monitoreo de parámetros eléctricos.

Así que en base a lo descrito previamente que:

La facultad tiene problemas de instalación y mantenimiento de sus tableros incluyendo los métodos de conexión de las cargas que distribuyen lo cual causa problemas de calidad de energía, lo cual se muestra en el monitoreo de parámetros eléctricos que se hizo en la subestación.

De las formas en las que se puede corregir este problema es mediante el cambiado de tableros y conexión de estos, y para el caso de tableros de reciente colocación, la reconexión para que funcionen adecuadamente.

Las principales fuentes de disturbios son las que funcionan de forma no lineal, como son las cargas de cómputo, por lo que toda zona que tenga una gran concentración de las mismas es una fuente de corrientes armónicas, principalmente y se deben de tomar medidas que puedan mitigar o aislar estas corrientes para que no afecten otros equipos.

Estas medidas principalmente son la colocación de reguladores, o UPS, transformadores de aislamiento, y supresores de picos, conectados en la alimentación de las zonas que son fuente.

Así que la colocación de estos equipos mitigara la intensidad de problemas relacionados con la calidad de la energía que puedan afectar.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Apéndice A. Normas ANCE

Listado de normas emitidos por ANCE relacionados con la calidad de la energía.

Clasificación	Pertenece	Título
<b>NMX-J-550/1-1-ANCE-2008</b>	CT 77	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 1-1 - Generalidades: Aplicación E Interpretación De Definiciones Y Términos Básicos.
<b>NMX-J-550/14-2-ANCE-2008</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 14-2:Requisitos Para Aparatos Electrodomésticos, Herramientas Eléctricas Y Aparatos Similares - Requisitos De Inmunidad.
<b>NMX-J-550/2-2-ANCE-2005</b>	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 2-2: Entorno - Niveles De Compatibilidad Para Las Perturbaciones Conducidas De Baja Frecuencia Y La Transmisión De Señales En Los Sistemas De Suministro Público De Baja Tensión.
<b>NMX-J-550/3-11-ANCE-2005</b>	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 3-11: Límites - Limitación De Las Variaciones De Tensión, Fluctuaciones De Tensión Y Parpadeo En Sistemas Públicos De Alimentación De Baja Tensión - Equipos Con Corriente Nominal = 75 A Y Sujetos A Conexión Condicional.
<b>NMX-J-550/3-2-ANCE-2005</b>	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 3-2: Límites - Límites Para Las Emisiones De Corriente Armónicas (Aparatos Con Corriente De Entrada =16 A Por Fase).
<b>NMX-J-550/3-3-ANCE-2005</b>	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 3-3: Límites - Limitación Para Los Cambios De Tensión, Las Fluctuaciones De Tensión Y Parpadeo En Los Sistemas Públicos De Suministro De Baja Tensión Para Equipos Con Corriente Nominal = Que 16 A Por Fase Y No Sometidos A Conexión Condicional.



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

### Apéndice A. Normas ANCE

---

<b>NMX-J-550/3-4-ANCE-2005</b>	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 3-4: Límites - Límites De Las Emisiones De Corrientes Armónicas En Los Sistemas De Suministro De Baja Tensión Para Equipos Con Corriente Nominal > 16 A Por Fase.
<b>NMX-J-550/4-10-ANCE- 2007</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-10: Técnicas De Prueba Y Medición - Prueba De Inmunidad A Campos Magnéticos Oscilatorios Amortiguados.
<b>NMX-J-550/4-11-ANCE- 2006</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-11: Técnicas De Prueba Y Medición - Pruebas De Inmunidad A Caídas De Tensión Con Transición Gradual Para Equipo Eléctrico.
<b>NMX-J-550/4-12-ANCE- 2006</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-12: Técnicas De Prueba Y Medición - Pruebas De Inmunidad A Ondas Oscilatorias
<b>NMX-J-550/4-13-ANCE- 2006</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc)- Parte 4-13: Técnicas De Prueba Y Medición-Pruebas De Inmunidad A Armónicas E Ínter armónicas En Las Terminales De Alimentación, Incluyendo Los Puertos Para La Transmisión De Señales De Baja Frecuencia En Las Instalaciones Eléctricas De Baja Tensión.
<b>NMX-J-550/4-15-ANCE- 2005</b>	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-15: Técnicas De Prueba Y Medición - Medidor De Parpadeo - Especificaciones De Funcionamiento Y Diseño.
<b>NMX-J-550/4-2-ANCE-2005</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-2: Técnicas De Prueba Y Medición - Pruebas De Inmunidad A Descargas Electrostáticas.

---



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

### Apéndice A. Normas ANCE

<b>NMX-J-550/4-30-ANCE-2007</b>	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-30: Técnicas De Prueba Y Medición - Métodos De Medición Y Estudio De Calidad De La Energía Eléctrica.
<b>NMX-J-550/4-3-ANCE-2008</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc)-Parte 4-3: Técnicas De Prueba Y Medición- Pruebas De Inmunidad A Campos Electromagnéticos Radiados Por Señales De Radiofrecuencia.
<b>NMX-J-550/4-4-ANCE-2005</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-4: Técnicas De Prueba Y Medición - Pruebas De Inmunidad A Ráfagas De Impulsos Eléctricos Rápidos.
<b>NMX-J-550/4-5-ANCE-2006</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-5: Técnica De Prueba Y Medición - Pruebas De Inmunidad A Impulsos Por Maniobra O Descarga Atmosférica.
<b>NMX-J-550/4-7-ANCE-2005</b>	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-7: Técnicas De Prueba Y Medición - Guía General De Instrumentación Y Medición Para Armónicas E Inter armónicas, En Sistemas De Suministro De Energía Eléctrica Y Equipo Conectado A Estos.
<b>NMX-J-610/3-6-ANCE-2008</b>	GT 77 A	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 3-6: Evaluación De Límites De Distorsión Armónica Para La Conexión De Instalaciones Eléctricas A Sistemas Eléctricos De Potencia En Mt, At Y Eat
<b>NMX-J-610/3-8-ANCE-2008</b>	GT 77 D	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 3-8: Límites - Transmisión De Señales En Instalaciones Eléctricas De Baja Y Media Tensión - Niveles De Emisión, Bandas De Frecuencia Y Niveles De Perturbaciones Electromagnéticas.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Apéndice A. Normas ANCE

<b>NMX-J-610/4-110-ANCE-2008</b>	NA	Compatibilidad Electromagnética (Emc) – Parte 4-110: Técnicas De Prueba Y Medición - Métodos De Medición De Los Niveles De Campo Eléctrico Y Magnético Que Se Generan Por Sistemas Eléctricos De Potencia Relativos A La Exposición Del Cuerpo Humano
<b>NMX-J-610/4-17-ANCE-2008</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (EMC)- Parte 4-17: Técnicas De Prueba Y Medición-Prueba De Inmunidad Al Rizo En La Entrada De Alimentación En Corriente Directa.
<b>NMX-J-610/4-1-ANCE-2009</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (Emc) - Parte 4-1: Técnicas De Prueba Y Medición – Guía Para La Selección De Pruebas De Inmunidad Radiada Y Conducida De La Serie De Normas Nmx-J-610/4-Ance
<b>NMX-J-610/4-29-ANCE-2008</b>	GT 77 B	Compatibilidad Electromagnética (EMC)- Parte 4-29: Técnicas De Prueba Y Medición-Prueba De Inmunidad A Caídas De Tensión, Interrupciones Breves Y Variaciones De Tensión En Puertos De Alimentación De Corriente Directa
<b>NMX-J-610/6-2-ANCE-2008</b>	GT 77 D	Compatibilidad Electromagnética (Emc)- Parte 6-2: Normas Genéricas-Requisitos De Inmunidad De Aparatos Eléctricos En Ambientes Industriales.
<b>NMX-J-616-ANCE-2008</b>	NA	Guía De Aplicación De Filtros Y Capacitores Con Conexión En Paralelo Para La Corrección De Distorsión Armónica



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## *Apéndice B Normas*

### **Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005**

Sección 110-14. Conexiones Eléctricas.

Sección 250-43. Equipo fijo o conectado de forma permanente-específico.

Sección 324-12. Empalmes.

Sección 331-13. Empalmes y derivaciones.

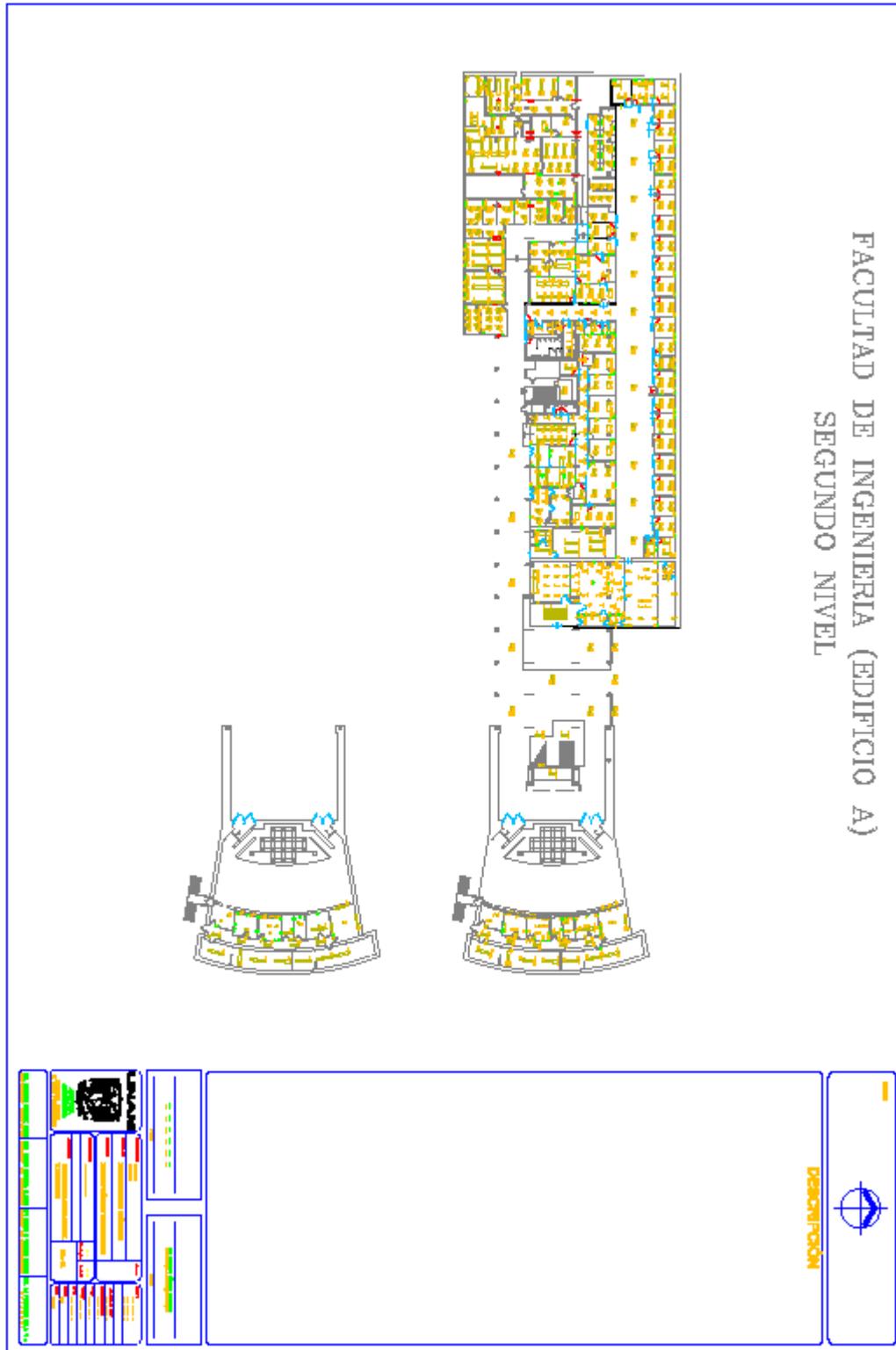
Sección 354-6. Empalmes y derivaciones.

### **DESVIACIONES PERMISIBLES EN LAS FORMAS DE ONDA DE TENSIÓN Y CORRIENTE EN EL SUMINISTRO Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA ESPECIFICACIÓN CFE L0000-45**



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

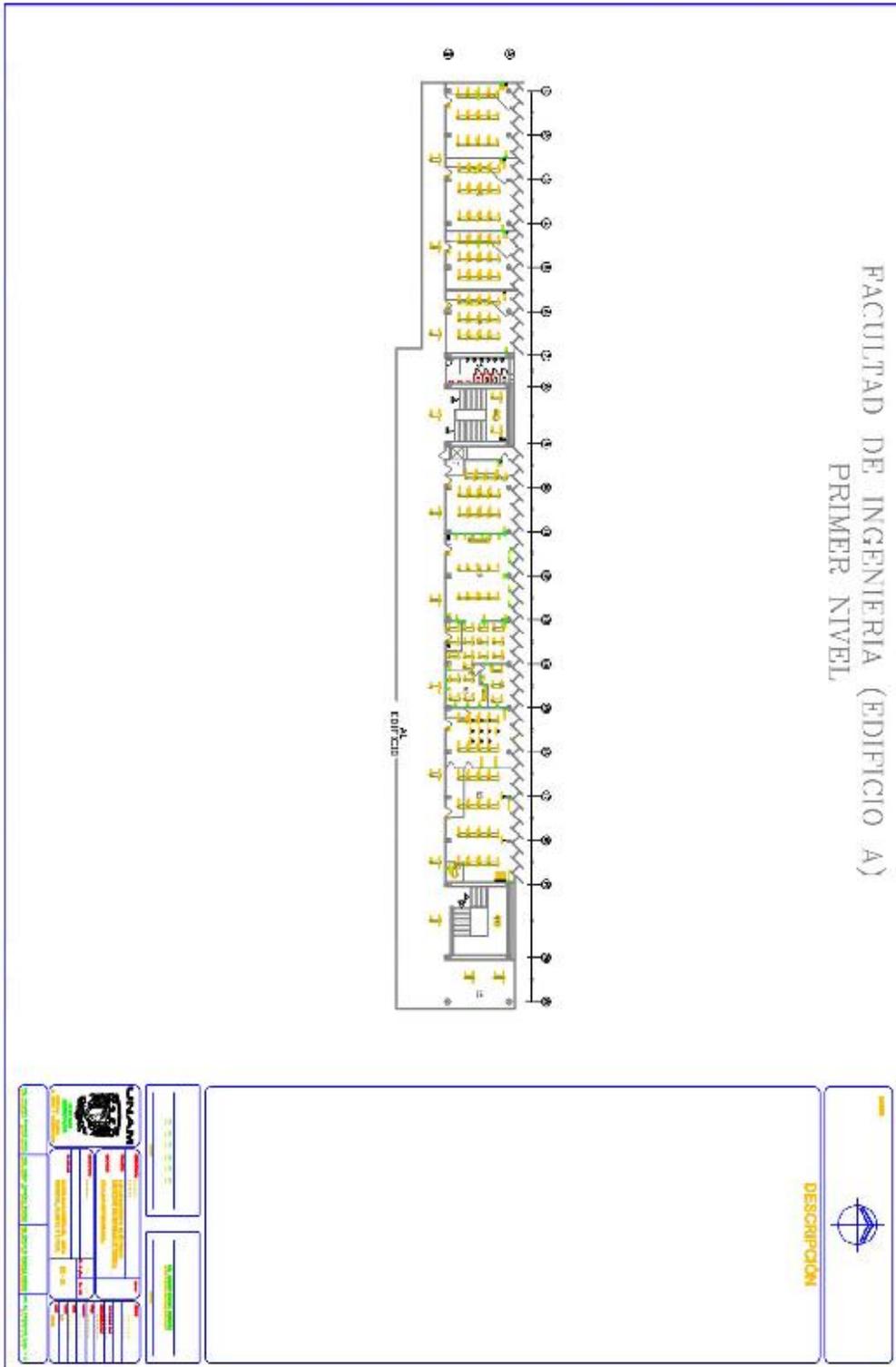
## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería





# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

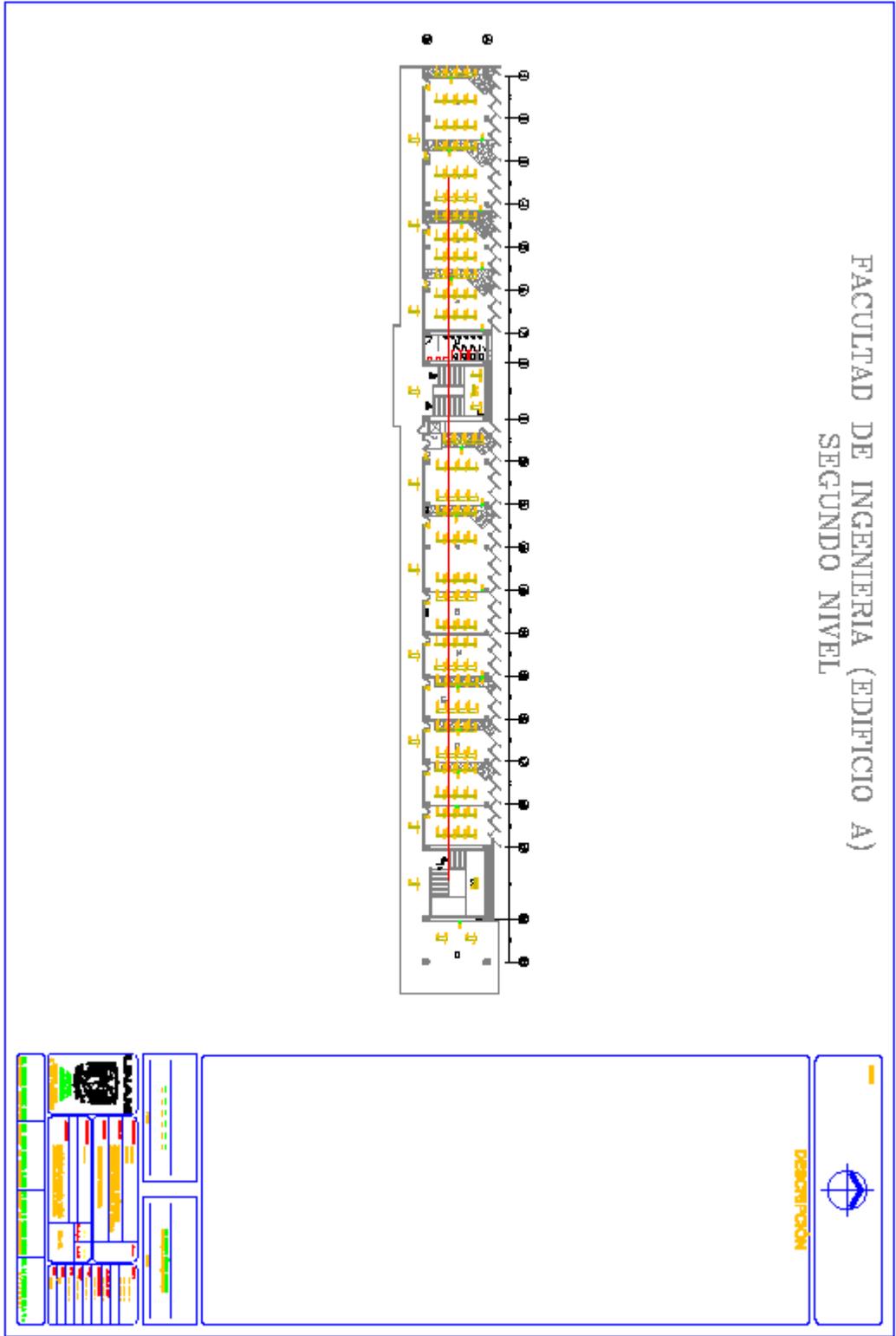
## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería





# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

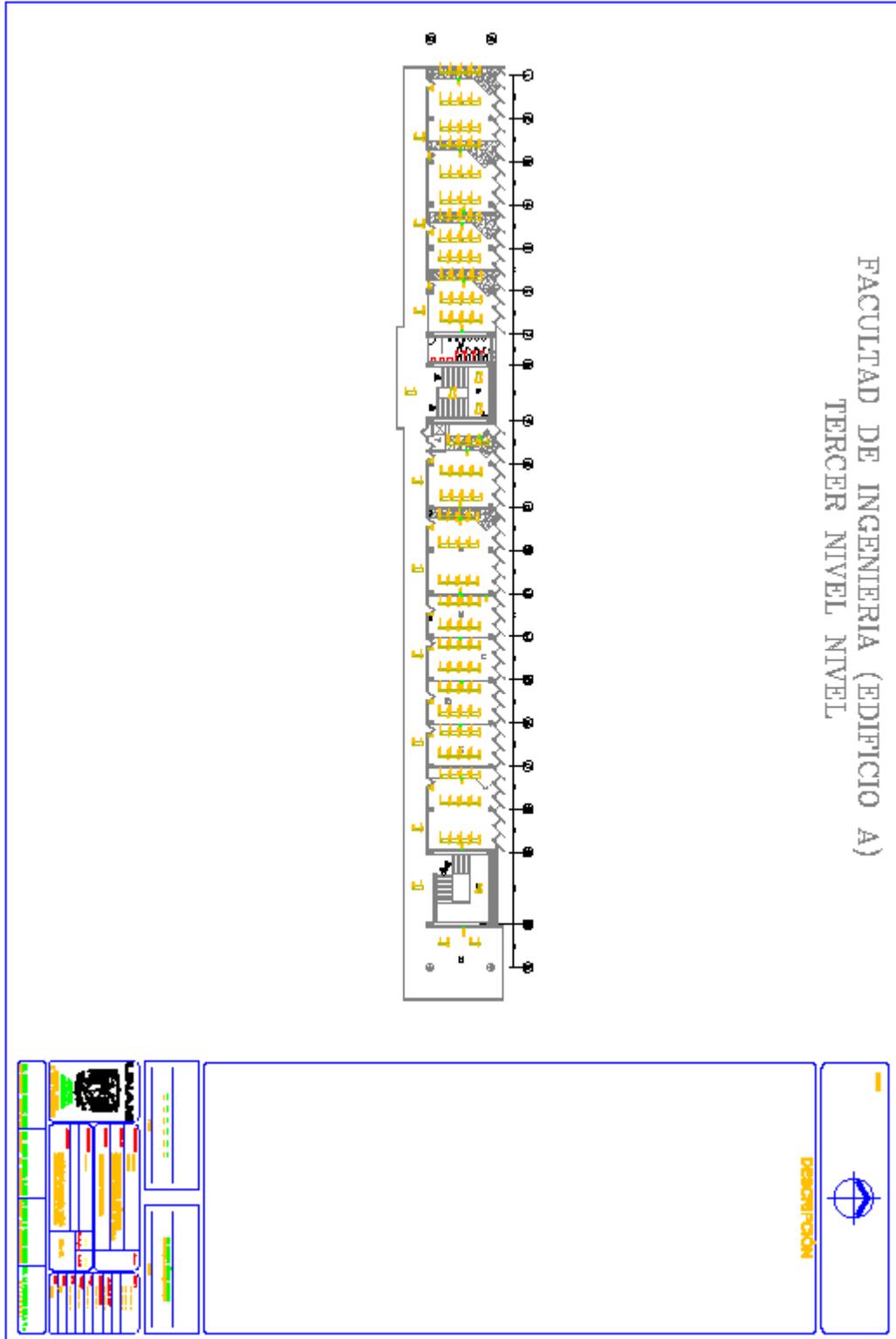
## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería





# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería

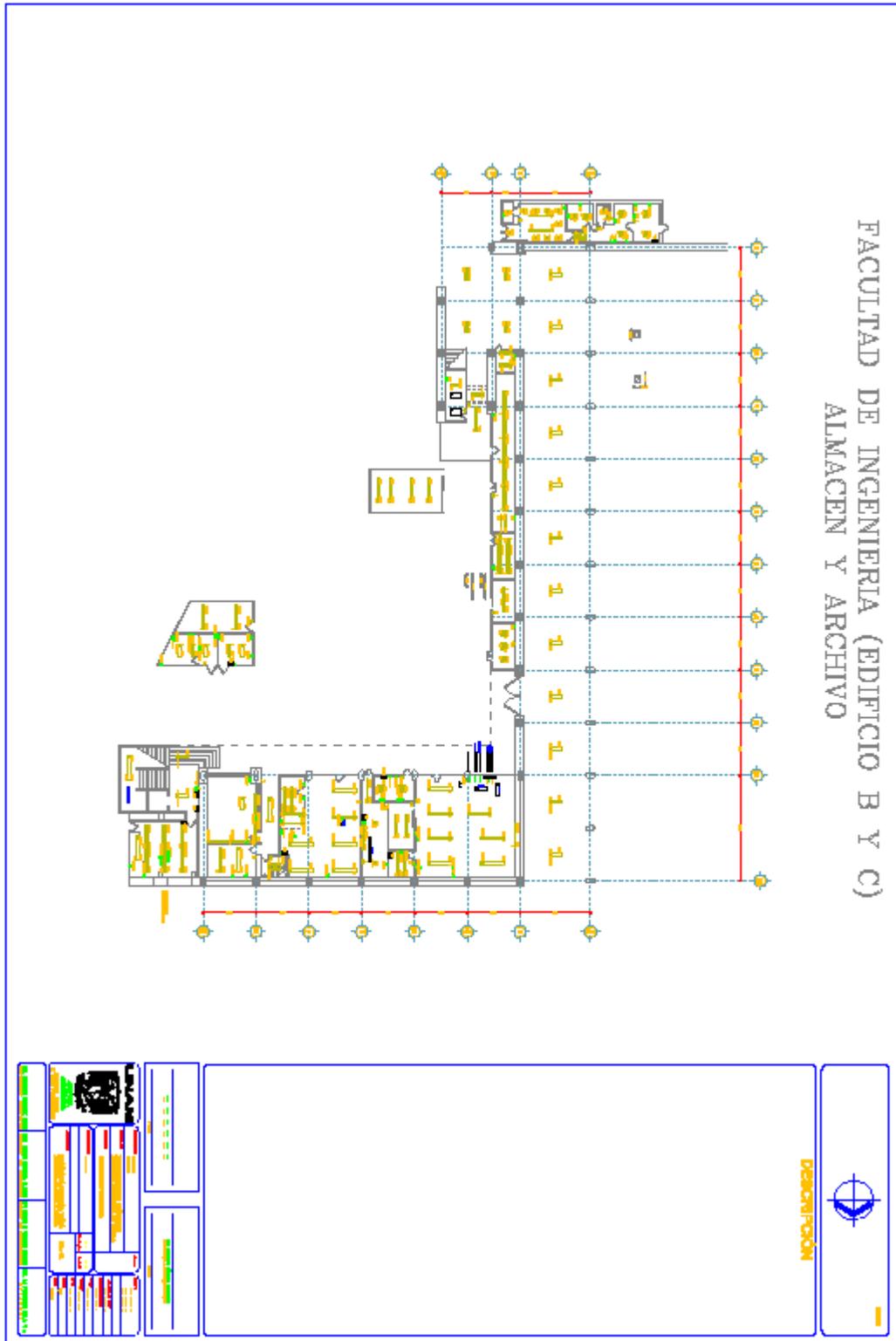






# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

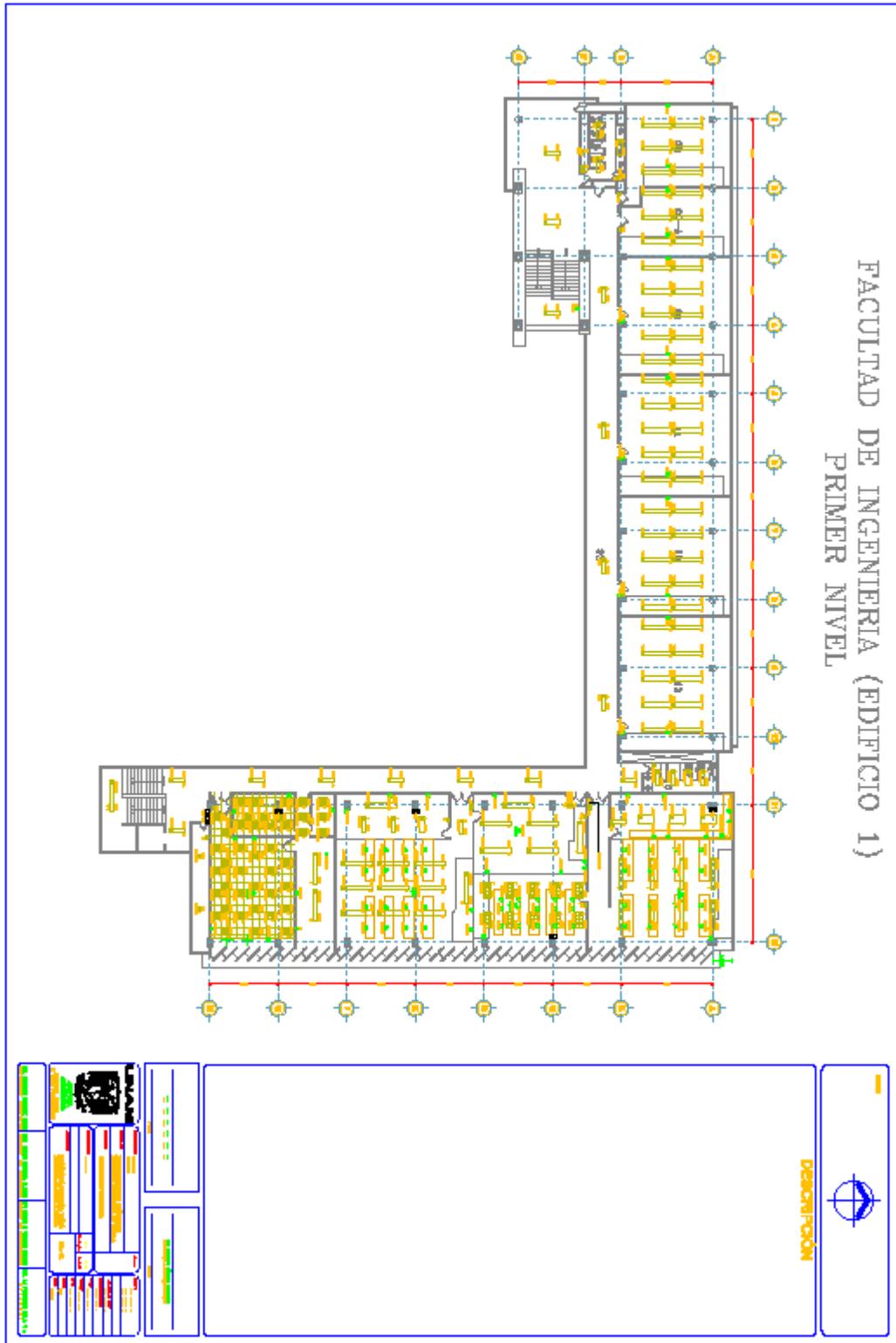
## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería





# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería

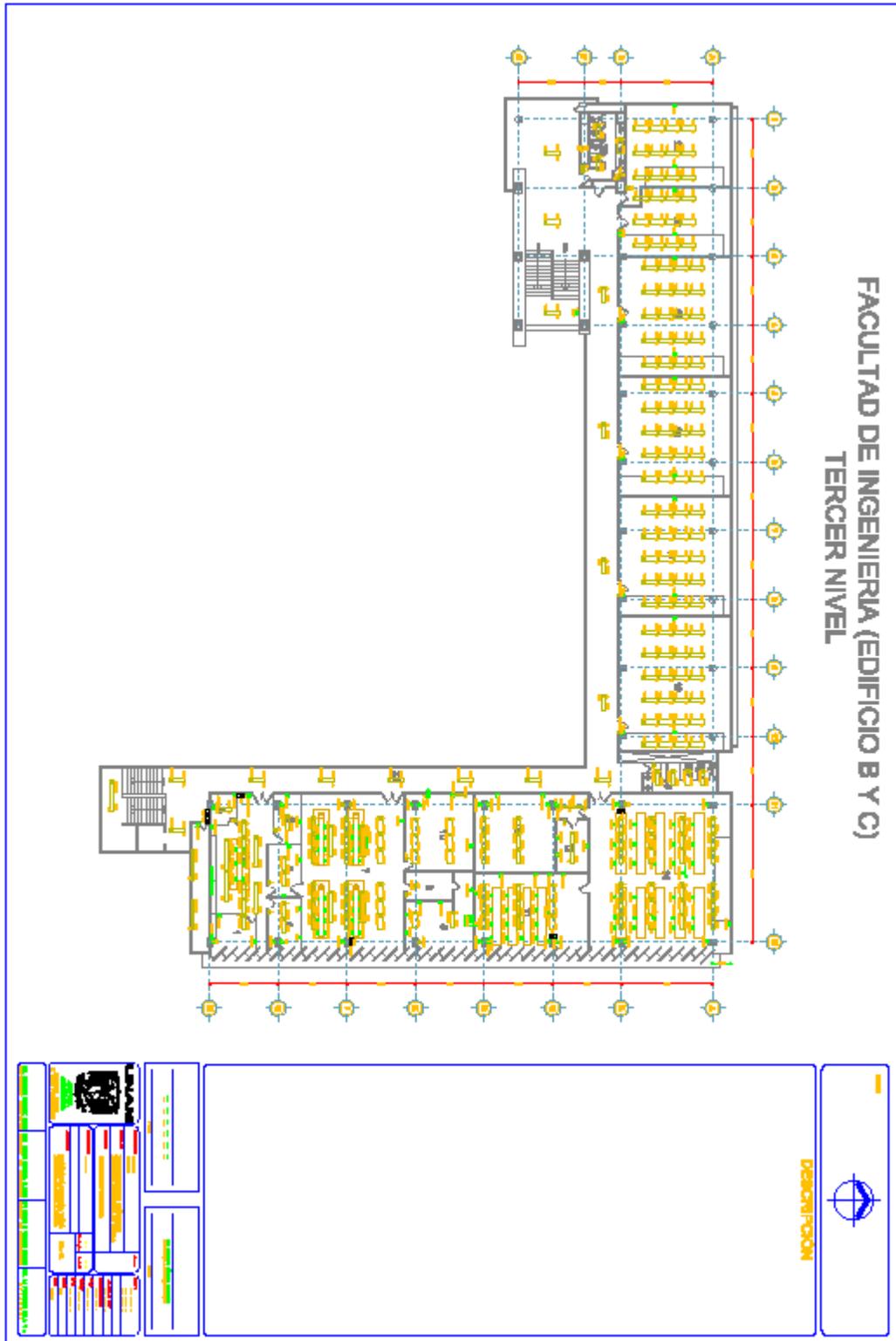






# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

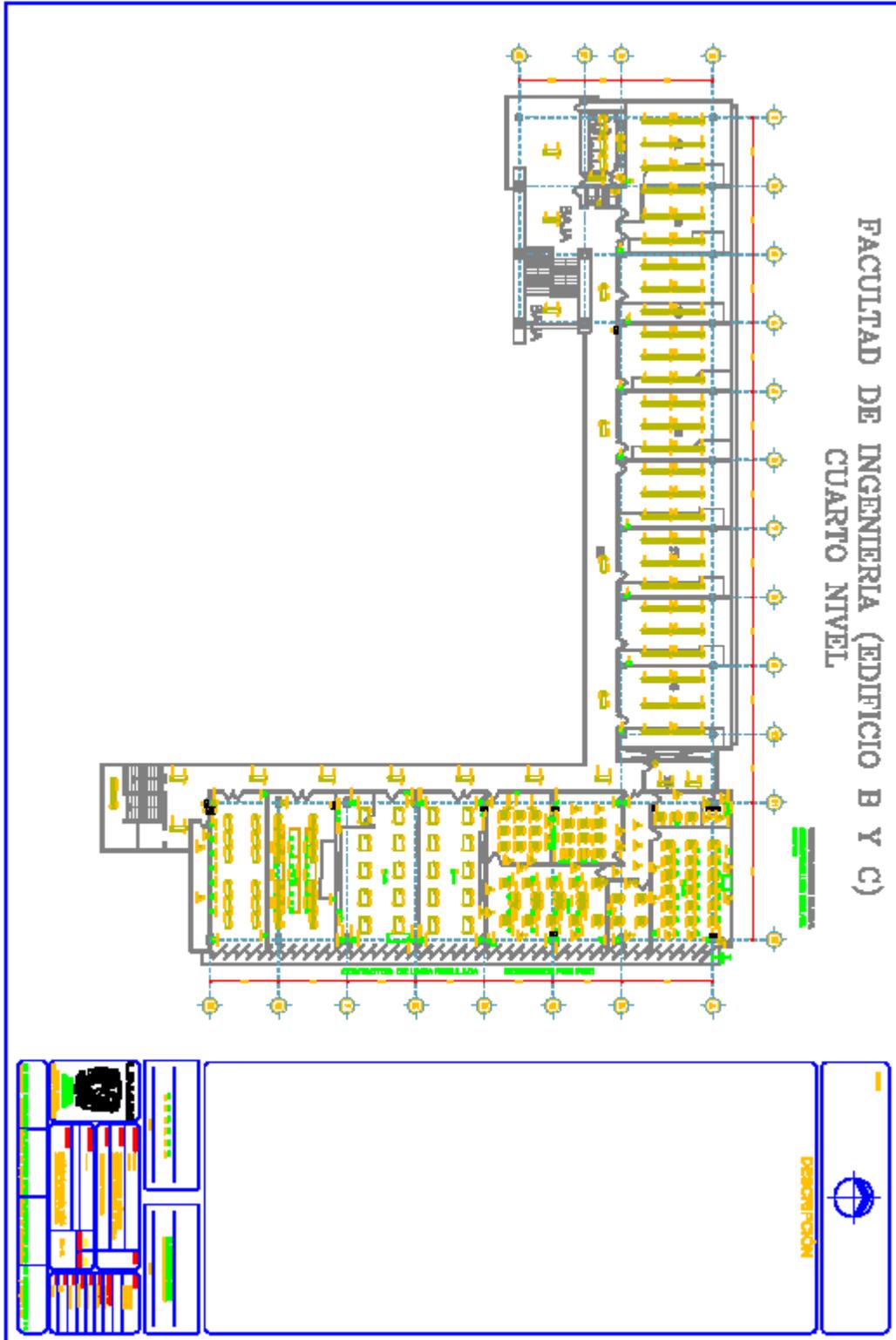
## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería





# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

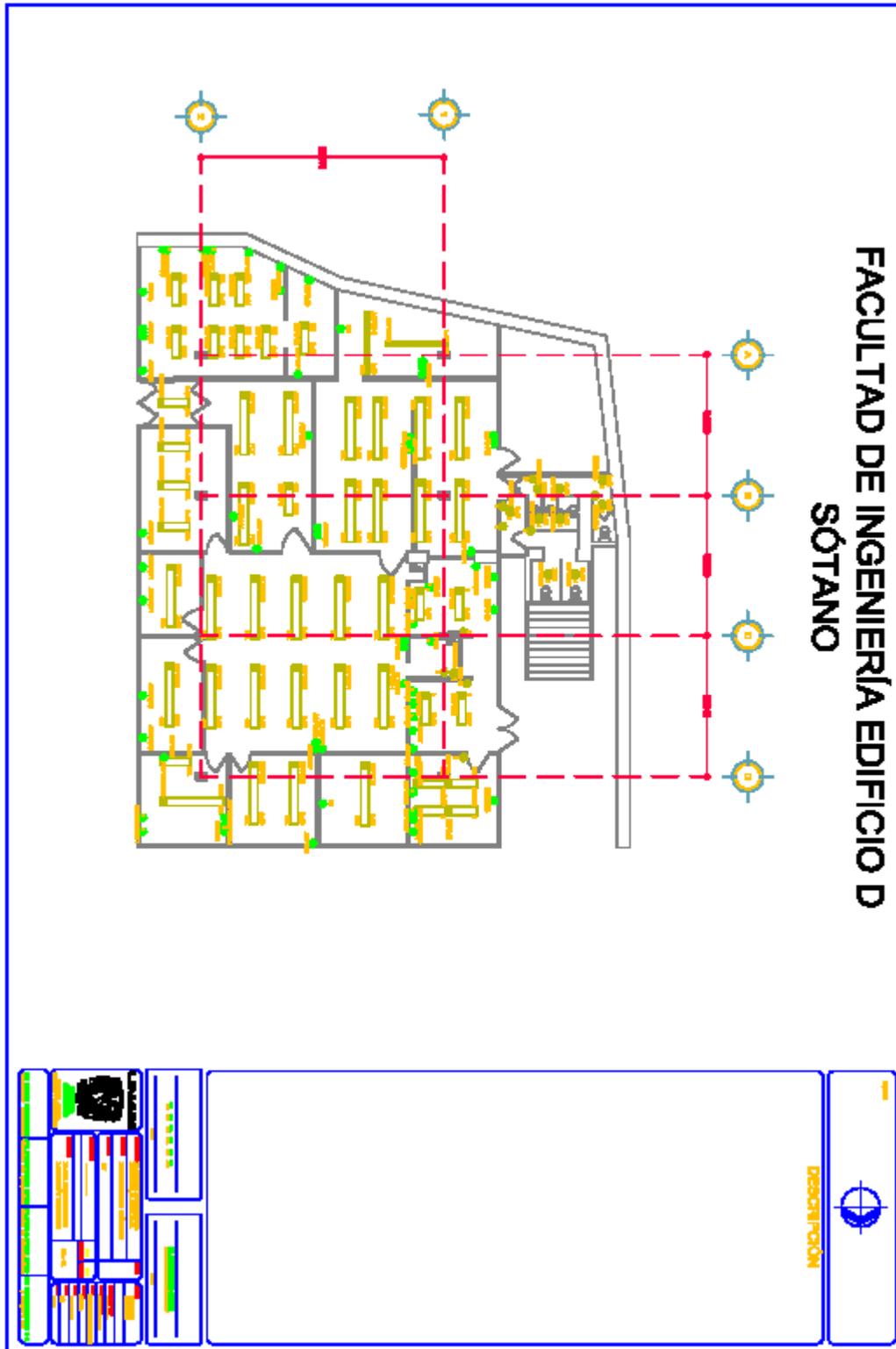
## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería





# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería

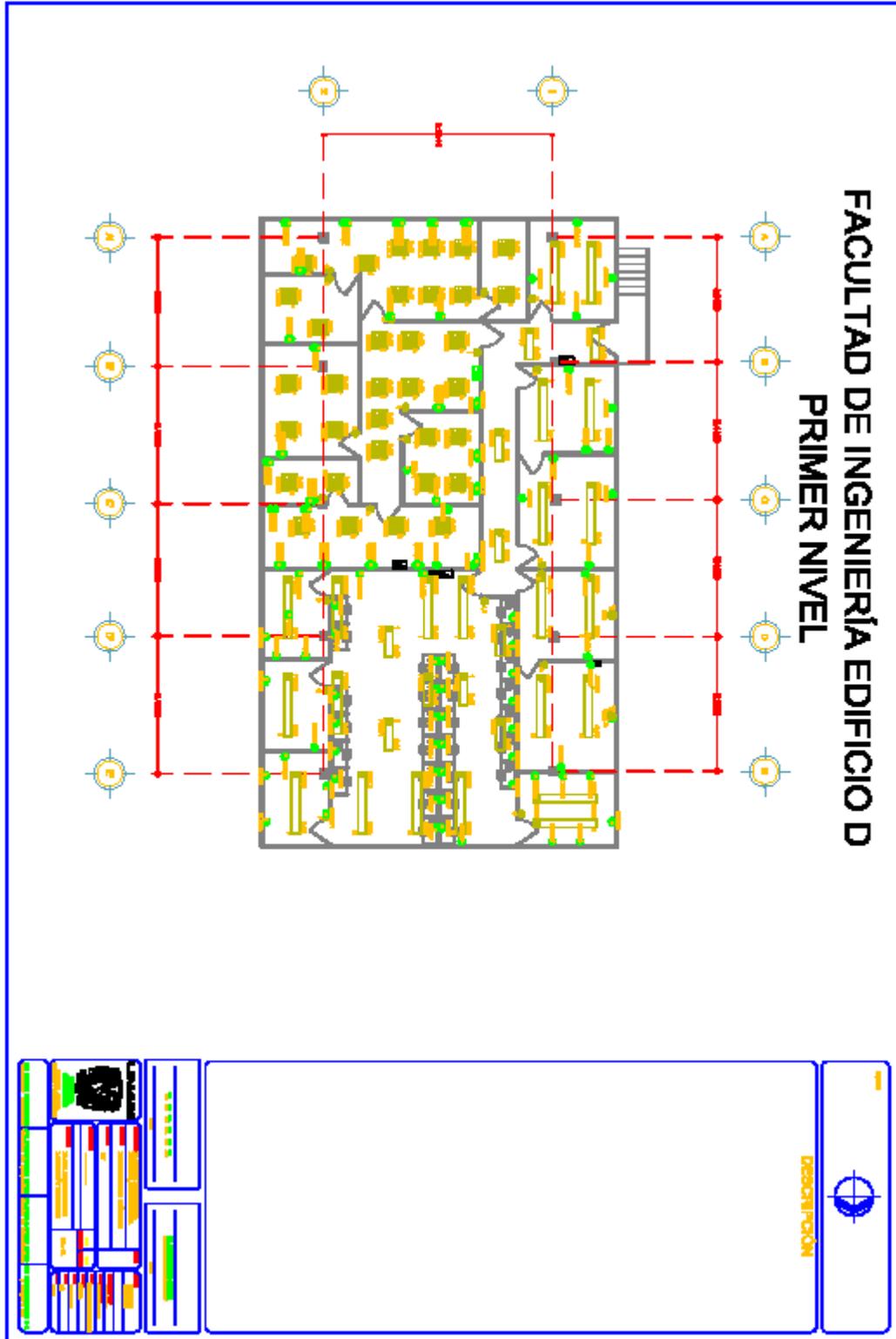






# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería

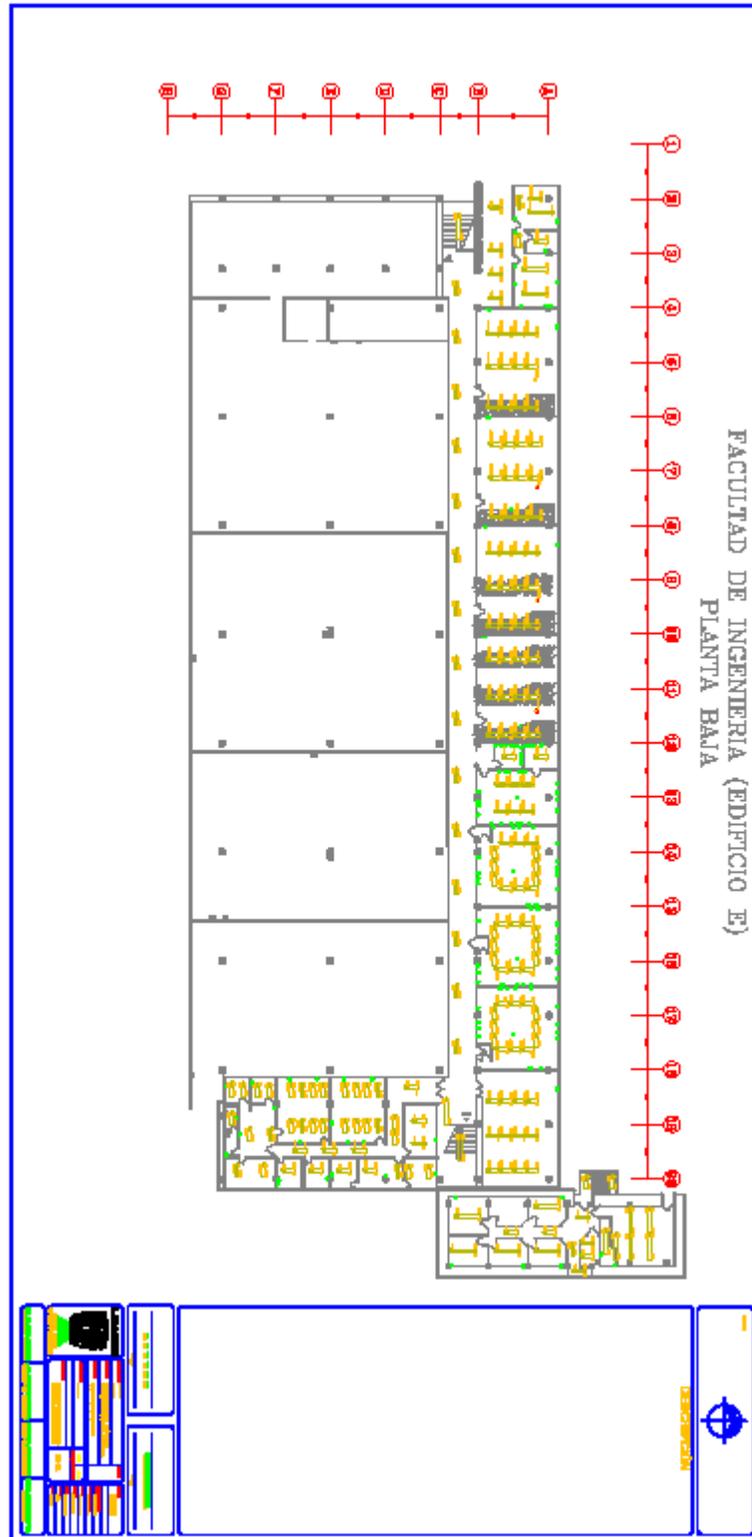






# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Apéndice C Planos de la Facultad de Ingeniería





## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

### Apéndice D Analizador de Calidad de Energía Eléctrica

#### Analizador de Calidad de Energía Eléctrica Trifásica PowerPad® Modelo 3945

La memoria de 6MB del PowerPad se encuentra convenientemente dividida para permitirle almacenar cuatro tipos diferentes de datos, sincronizados o independientes unos de otros. Ud. puede almacenar hasta 12 fotos instantáneas de la pantalla, hasta 50 transientes capturados que contienen cuatro ciclos para cada entrada activa, y 4096 eventos de alarma. Ud. también puede registrar datos de tendencia durante días, semanas e incluso meses. Seis botones de acceso directo a funciones le permiten ver rápidamente:

**Forma de ondas** – Presente Volts, Amps, THD y Factor de Cresta por fase o en todas las fases. Ud. Puede presentar todas las entradas de voltaje en una pantalla, fase-a-fase o fase-a-neutro. Se pueden presentar diagramas de fasores en tiempo real para volts y amps, también por fase o en todas las fases.

**Armónicos** – Presente armónicos hasta el 50th para Volts, Amps y VA. Los armónicos individuales se presentan como un porcentaje y en valor real. También se puede presentar la dirección y la secuencia de los armónicos.

**Transientes** – Ajuste, capture y presente los transientes. Ud. Selecciona el umbral y el número de transientes a capturar. Luego el PowerPad captura cuatro formas de onda para cada transiente; la forma de onda de disparo como también una pre- y dos post-forma de onda de disparo. Se puede capturar hasta 1200 formas de onda.

**Alarmas** – Configure, capture y presente hasta 4096 eventos de alarma basados en hasta diez variables de disparo diferentes. Cada evento de alarma capturado mostrará la fase, la variable y el valor como también la hora y duración.

**Registro** – Ajuste y registre datos de tendencia a velocidades seleccionables desde una muestra/ segundo hasta una muestra cada 15 minutos en 22 variables diferentes para todas las fases. Vea en pantalla los datos registrados, acérquese o aléjese y desplácese por el eje tiempo para analizar los datos.

**Potencia & Energía** – Presente Watts, VARs y VA por fase y total. Acumule totales y vea si la energía es inductiva o capacitiva. Si aún no está convencido considere estas otras funciones y características: • El PowerPad usa sensores de corriente que configuran automáticamente el rango y la escala del canal de corriente del instrumento. • El PowerPad viene con un sistema de ayuda en línea que le da información clara sobre las funciones y los botones en cada pantalla. El PowerPad viene con todas las opciones y los accesorios necesarios para capturar, presentar, bajar, analizar y almacenar datos. No se requiere de aditamentos que aumenten su costo. El PowerPad se entrega con el software para graficar/analizar DataView de AEMC sin costo adicional (un valor de 395 dólares). El software permite configurar y capturar datos completamente en tiempo real en su computadora. Ud. puede bajar todos los datos almacenados del PowerPad e imprimir informes mediante una biblioteca de plantillas prediseñadas o diseñar sus propias plantillas e informes Además de todo esto, el PowerPad habla seis idiomas diferentes. Al pulsar un botón, la información puede presentarse en inglés, castellano, francés, portugués, italiano y alemán.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Apéndice D Analizador de Calidad de Energía Eléctrica

### Características

- Mediciones de RMS verdadero mono-, di- y tri-fásicas a 256 muestras/ciclo, más CC
- Formas de onda en color en tiempo real
- Ajustes en pantalla fáciles de usar
- Reconocimiento del sensor de corriente y ajuste de escala automáticos
- Mediciones RMS verdaderas de voltaje y corriente
- Mide volts, amps y potencia CC
- Presenta y captura armónicos de voltaje, corriente y potencia hasta el orden 50<sup>o</sup>, incluyendo dirección, en tiempo real
- Captura transientes hasta 1/256<sup>o</sup> de ciclo
- Presentación de diagrama de fasores
- Voltaje y corriente de pico
- Frecuencia nominal de 40 a 70Hz
- VA, VAR y W por fase y totales
- kVAh, VARh y kWh por fase y totales
- Presentación de corriente neutra para tri-fásicas
- Factores de cresta para corriente y voltaje
- Presentación de factor K de transformador
- Presentación de Factor de Potencia, FP de desplazamiento
- Captura hasta 50 transientes
- Presentación de fluctuaciones de corta duración
- Desbalance de fases (corriente y voltaje)
- Distorsión Armónica (total e individual) de 1<sup>o</sup> a 50<sup>o</sup>
- Alarmas, golpes y caídas de voltaje
- Registra fecha y características de las perturbaciones
- Impresión inmediata directa a la impresora
- Función foto instantánea de la pantalla captura formas de onda u otra información en pantalla
- Puerta de comunicación RS-232 ópticamente aislada
- Incluye software DataView<sup>®</sup> para el almacenamiento de datos, muestra en tiempo real, el análisis y la generación de informe
- Cumple la categoría de seguridad 600V Cat. IV

### Aplicaciones

- Verificación de circuitos de distribución de energía eléctrica
- Medición y registro de la calidad de los sistemas de potencia (kW, VA, VAR)
- Medición de energía (kVAh, VARh, kWh)
- Detección de fallas, en planta, de los paneles de distribución y maquinarias individuales
- Monitoreo de transformadores montados sobre base de concreto
- Determinación de problemas de armónicos originados en la fuente o en la carga
- Monitoreo de desbalances de fases
- Determinación de factor K de transformadores
- Y mucho, mucho más



Análisis de calidad de potencia sobre un panel de tres fases utilizando las sondas de corriente flexibles AmpFlex<sup>®</sup>.



Mide el voltaje y la corriente de las tres fases simultáneamente.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## Apéndice D Analizador de Calidad de Energía Eléctrica

### Especificaciones

MODELO	3945-B		
<b>ELECTRICAS</b>			
Frecuencia de Muestreo	256 muestras por ciclo		
Almacenamiento de datos	4MB partidos para formas de onda, transientes, alarmas y registro		
Voltaje (TRMS)	Fase-a-Fase: 960V Fase-a-Neutro: 480V		
Corriente (TRMS)	Tenaza MN: 0 a 6A/120A o 0 a 240A Tenaza MR: 0 a 1200Aca, 0 a 1400Aac Tenaza SR: 0 a 1200A AmpFlex®: 0 a 6500A <sup>1</sup>		
<b>MEDICION</b>	<b>RANGO</b>	<b>RESOLUCION</b>	<b>EXACTITUD</b>
Voltajes RMS Mono-Fásicos	15 a 480V	0.1V	±0.5% ± 2cts
Voltajes RMS Fase-a-Fase	15 a 960V	0.1V	±0.5% ± 2cts
Componente de Voltaje CC	15 a 680V	0.1V	±1% ± 2cts
Voltajes de Pico Mono-Fásicos	15 a 680V	1V	±(1% + 5cts)
Voltajes de Pico Fase-a-Fase	15 a 1360V	1V	±(1% + 5cts)
Frecuencia (Hz)	40 a 69Hz	0.01Hz	±0.01Hz
<b>Sensores de Corriente (Arms)</b>			
Tenaza M	0 a 240A	0.1A	±(0.5% + 2cts)
Tenaza SR	0 a 1200A	0.1A; 1A ≥ 1000A	±(0.5% + 2cts)
Sensor AmpFlex®	10 a 6500A	0.1A; 1A ≥ 1000A	±(0.5% + 1A)
Potencia Activa (Real) (kW)	0 a 9999kW	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≥ 0.8
Potencia Reactiva (kVAR)	0 a 9999kVAR	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≤ 0.8
Potencia Aparente (kVA)	0 a 9999kVA	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct
Factor de Potencia (PF y DPF)	-1.000 a 1.000	0.001	±(1.5% + 0.01)
Energía Activa (kWh)	0 a 9999MWh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≥ 0.8
Energía Reactiva (kVARh)	0 a 9999MVARh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≤ 0.8
Energía Aparente (kVAh)	0 a 9999MVAh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct
Desbalance (V & A)	0 a 100%	0.1%	±1% ± 1ct
Angula de Fase (V-A, A-A, V-V)	-179° a +180°	1°	±2° ± 1ct
<b>Armónicos (1<sup>a</sup> to 50<sup>a</sup>)</b>			
F = 40 a 69Hz (V ≥ 50V, A > Inom/100)	0 a 999%	0.1%	±1% + 5cts
Distorsión Armónica Total (V y A)	0 a 999%	0.1%	±1% + 5cts
Factor-K (Akt)	1 a 99.99	0.01	±5% ± 1ct
Parpadeo (Pst)	0.00 a 9.99	0.01	-
<b>Alimentación</b>			
Juego de baterías recargables NIMH de 9.6V Alimentación CA: 110/230Vca ±20% (50/60Hz)			
Vida de la Batería	≥8 hrs con pantalla encendida; ≤35 hrs con pantalla apagada (en modo registro)		
<b>MECHANICAS</b>			
Dimensiones	9.5 x 7 x 2" (240 x 180 x 55mm)		
Weight	4.6 lbs (2.1kg)		
<b>PANTALLA</b>			
Tipo de Pantalla	LCD de color 1/4 VGA (320 x 240)		
<b>AMBIENTALES</b>			
Temperatura de Operación	32° a 122°F (0° a 50°C)		
Temperatura de Almacenaje	-4° a +122°F (-20° a +50°C)		
<b>SEGURIDAD</b>			
Clasificación de Seguridad	EN 61010-1, 600V Cat. IV, Grado de Contaminación 2		
Doble Aislación	SI		
Marca CE	SI		

<sup>1</sup>Factor de Cresta @ 6500 = 1 <sup>2</sup>Cuando es utilizado con SR193 o las sondas AmpFlex®, 600V Cat. III MN193 o las sondas MR193





Apéndice F. Respuesta en la Frecuencia de un Circuito RLC.

Circuito RLC, en Paralelo

$$\frac{di(t)}{dt^2} + \frac{1}{R_{eq} * C} * \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{L * C} * V_c(t) = \frac{1}{L * C} i(t)$$

$$i(0) = I_0$$

$$V(0) = L \left. \frac{di(t)}{dt} \right|_0 = V_0$$

$$\frac{dX(t)}{dt^2} + 2 * \alpha * \frac{dX(t)}{dt} + \omega_0^2 * X(t) = 0$$

En el dominio de la frecuencia, empleando la transformada de La Place

$$S^2 + 2 * \alpha * S + \omega_0^2$$

Y se obtiene las raíces:

$$S_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

Por lo que la solución a la ecuación de Laplace es:

$$X(t) = k_1 * e^{S_1 * t} + k_2 * e^{S_2 * t}$$

Para una respuesta subamortiguada, que es la que se presenta en un transitorio oscilatorio se cumple que:

$$V(t) = A * \sqrt{2} * \text{sen}(\omega * t) + k_1 * e^{-\alpha * t} \cos(\omega_d * t - k_2)$$

$$\frac{I(t)}{C} = \frac{V(t)}{dt} = A * \sqrt{2} * \omega * \cos(\omega * t) - k_1 * \omega_d * e^{-\alpha * t} \text{sen}(\omega_d * t - k_2) - \alpha * k_1 * e^{-\alpha * t} * \cos(\omega_d * t - k_2)$$

Donde A es la amplitud de la onda de tensión.

En condiciones iniciales con t=0.

$$V(0) = A * \sqrt{2} * \text{sen}(0) + k_1 * \cos(-k_2)$$

$$V(0) = k_1 * \cos(k_2)$$



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

### *Apéndice F. Respuesta en la Frecuencia de un Circuito RLC.*

$$\frac{I(0)}{C} = A * \sqrt{2} * \omega * \cos(0) - k_1 * \omega_d * \text{sen}(-k_2) - \alpha * k_1 * \cos(-k_2)$$

$$\frac{I(0)}{C} = A * \sqrt{2} * \omega + k_1 * \omega_d * \text{sen}(k_2) - \alpha * k_1 * \cos(k_2)$$

$$\frac{I(0)}{C} - A * \sqrt{2} * \omega = k_1 * \omega_d * \text{sen}(k_2) - \alpha * k_1 * \cos(k_2)$$

Si consideramos que:

$$X = k_1 * \cos(k_2)$$

$$Y = k_1 * \text{sen}(k_2)$$

Podemos realizar de forma matricial y quedaría:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\alpha & \omega \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V(0) \\ \frac{I(0)}{C} - A * \sqrt{2} * \omega \end{bmatrix}$$

Con lo que despejando podemos determinar  $k_1$  y  $k_2$

$$k_1 = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$k_2 = \text{ang tan} \left( \frac{Y}{X} \right)$$



**6. BIBLIOGRAFÍA.**

1. Historia de la Electrónica de Potencia.
2. Calidad de la energía y Análisis Armónico en Sistemas eléctricos”, Dr. Manuel Madrigal Martínez, Noviembre del 2002.
3. Electric Power Quality Systems second Edition; Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, and H. Wayne Beaty; editorial McGraw Hill.
4. Power Systems Harmonics: fundamentals, analysis and filter design; George J. Wakileh; editorial Springer.
5. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality Std 1159-1995; IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality.
6. [HTTP://WWW.SRPNET.COM/PQ/TERMS.ASPX](http://WWW.SRPNET.COM/PQ/TERMS.ASPX)
7. [HTTP://WWW.MTM.AT/PQNET/PQDEF.HTM#VOLTFLUC](http://WWW.MTM.AT/PQNET/PQDEF.HTM#VOLTFLUC)
8. [HTTP://WWW.AESO.CA](http://WWW.AESO.CA)
9. [http://www.arts-history.mx/semanario/especial.php?id\\_nota=20072007180254](http://www.arts-history.mx/semanario/especial.php?id_nota=20072007180254).
10. [http://www.geocities.com/alara2001/espanyol/historia\\_cast.htm](http://www.geocities.com/alara2001/espanyol/historia_cast.htm).
11. <http://www.educadis.uson.mx/peon/Ingenieria-tecnologia/IT-documentos%20de%20Interes/Origen-Des-Tec-Electro-R-pe%F3n.htm>
12. <http://www.ance.org.mx/qsomos/mision.html>
13. Comisión Federal de Electricidad, enero 2005, especificación CFE L0000-45 “Desviaciones Permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica
14. Diario Oficial de la Federación. Mayo de 1993. Reglamento de la ley del servicio público de la energía eléctrica