

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA**



**Tesis Monográfico para optar al Título de  
Ingeniero Eléctrico**

**Título**

**“Propuesta de Metodología Para el Análisis y Estudio de la Calidad de la  
Energía Eléctrica”.**

**Autores:**

- Br. Roger Joaquín Nicaragua Carballo 2007-15100
- Br. Fernando Ariel Rivera Ramírez 2006-23957

**Tutor:**

MSc. Ing. Ernesto José Lira Rocha

**Managua, Abril 2017**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción .....	2
II. Problemática de la situación .....	4
III. Objetivos del Estudio.....	5
3.1. Objetivo General .....	5
3.2 Objetivo Especifico .....	5
IV. Justificación .....	6
V. Marco Teórico .....	7
5.1 Ley 272 de la Industria eléctrica nicaragüense .....	7
5.1.1 Características técnicas del servicio eléctrico .....	8
5.2 Normas internacionales para para la medición de calidad de energía eléctrica .....	8
5.3 Sistema eléctrico de potencia .....	12
5.3.1 Circuitos eléctricos polifásicos .....	12
5.3.2 Calidad en el servicio eléctrico .....	19
5.4 Sistema puesta a tierra.....	21
5.5 Parámetros de la calidad de la energía eléctrica .....	25
5.6 Elementos para el análisis de la calidad de la energía eléctrica .....	52
VI. Metodología de la investigación .....	57
VII. Propuesta de metodología para realizar estudio.....	59
7.1 Recopilar datos y recorrido por la planta.....	59
7.2 Toma de mediciones en campo .....	64
7.3 Analizar los datos .....	66
7.4 Elaboración de la cartera de proyectos.....	70
7.5 Elaborar el informe de la calidad de energía .....	71
VIII. Conclusiones.....	73
IX. Bibliografía .....	75

---

## I. Introducción

El presente estudio busca proponer una metodología que servirá de guía para el análisis y estudio de la calidad de la energía eléctrica en una industria o empresa, además podría utilizarse como una herramienta que ayude a reducir el consumo energético de los sistemas eléctricos.

A su vez busca optimizar el desempeño de los mismos, evaluando sus parámetros de funcionamiento, sus consumos energéticos, la variación de la carga durante el periodo de trabajo, sus rendimientos, entre otros parámetros específicos de cada equipo en una instalación consumidora de energía..

El beneficio principal al implementar esta metodología de calidad de la energía eléctrica es identificar la clase y características de disturbios, para aplicar las acciones correctivas con la finalidad de que la instalación opere en forma óptima.

Al atender las problemáticas causadas por una calidad baja de la energía se obtienen los siguientes beneficios: mantener dentro de los intervalos recomendados las variaciones de tensión eléctrica, mantener la frecuencia constante, mantener una THD atenuada.

El corregir los puntos anteriores permite la óptima operación de los equipos evitando averías en los equipos, fallas en la instalación, pérdidas de producción debidas a la interrupción en los equipos eléctricos, disminución de pérdidas debidas al efecto Joule, así mismo se evitan penalizaciones por la compañía suministradora por un factor de potencia bajo.

También permitirá determinar dónde y cómo se utiliza la energía. Se identifican los puntos del diagrama de proceso de mayor uso de energía haciendo resaltar aquellos donde esta se desperdicia y aquellos en donde es posible generar algún ahorro. Con el único objetivo de utilizarla racional, eficientemente y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Esta metodología se basa en el enfoque usuario-compañía Distribuidora dentro de la cual contempla las siguientes unidades: Para el desarrollo de este trabajo se consideraron las

---

siguientes unidades: La unidad uno: es la introducción del trabajo, lo que se pretende realizar, en la unidad dos: son los antecedentes a este tipo de trabajo, si se han realizados alguna otra metodología.

En la unidad tres: se encuentran los objetivos que son proponer una metodología de análisis y estudio de la calidad de la energía eléctrica en la industria o empresa. En la unidad cuatro esta la justificación del porque proponer esta metodología, su importancia.

Y para concluir la unidad cinco y seis: una el marco teórico Se realiza un estudio teórico de los conceptos de calidad y sus parámetros que intervienen en la calidad de la energía eléctrica, descripción de los parámetros que se incluyen en el concepto de calidad de la energía eléctrica. Se presentan las causas y efectos producidos al sistema eléctrico debido a las perturbaciones en los parámetros eléctricos.

Por último se desarrollara la metodología que permite realizar el análisis y estudios de calidad de la energía eléctrica, desde un enfoque del usuario.

El objetivo de la presente metodología, es el de poner en manos de los administradores de la energía en el sector industrial de Nicaragua, una herramienta de fácil aplicación para la ejecución de estudios de calidad de la energía eléctrica en sus instalaciones, que les ayude a reducir sus consumos de energía eléctrica

---

## **II. Problemática de la situación**

Para poder realizar estudios, mediciones y experiencias prácticas de calidad de energía eléctrica, es necesario seguir una metodología de trabajo, guiada y referenciada por normas y estándares internacionales.

En la actualidad, para realizar mediciones de calidad de energía eléctrica, los técnicos, ingenieros eléctricos y todo aquel que desea hacer este tipo de mediciones para el desarrollo de investigación y seguimiento energético de una empresa e industria debe seguir metodologías extranjeras o implementar alguna propia para el tipo de análisis que vaya a realizar.

Lo anterior no se podría catalogar como un método de estudio inapropiado, pero es fundamental resaltar que el propósito de este trabajo es determinar una metodología basada en las características propias del tipo de mediciones que se realizan.

Además, se afronta el problema de varios formatos de inspección enfocados al análisis de los eventos relacionados con la calidad de la energía eléctrica, para facilitar el estudio la facultad de electrotecnia y computación cuenta con un analizador de redes que permite realizar una serie de prácticas experimentales que familiarizaran con el funcionamiento y manejo del dispositivo de medición a los estudiantes y docentes vinculadas a la universidad.

Es necesario establecer una serie de inquietudes que pueden dar claridad al planteamiento del problema para determinar los objetivos de esta metodología. A pesar de que no existe una metodología para medición y análisis de calidad de la energía en Nicaragua, pocas empresas conocen los procesos y trámites para el desarrollo de análisis y estudios de calidad de la energía eléctrica, y las empresas de servicios que realizan este tipo de estudios, no cuentan con un formato único normalizado.

---

### **III. Objetivos del Estudio**

#### **3.1. Objetivo General**

- Desarrollar una metodología para el análisis y estudio de calidad de la energía eléctrica en la industria.

#### **3.2 Objetivo Especifico**

- Realizar una guía para los informes, formatos de inspección, revisión y registro de los parámetros de referencia establecidos en las normas IEEE, IEC 61000-4 y NTC 5000.
- Elaborar una metodología la cual permita ser una herramienta fácil de aplicación en los estudios de calidad de la energía eléctrica.
- Evaluar los problemas de calidad de la energía eléctrica: transitorios, armónicas, parámetros eléctricos, consumo, factor de potencia.
- Presentar soluciones a cada uno de los problemas detectados en su sistema, por medio de recomendaciones y sugerencias del equipo necesario.

---

## IV. Justificación

Quién puede beneficiarse de la propuesta de metodología para el análisis y estudio de la calidad de la energía eléctrica, son los ingenieros, los estudiantes, las empresas de servicio y personas particulares.

Beneficios para el cliente, gracias a la implementación del estudio mediante la metodología ya homologada, verificando la reducción de costes eléctricos. Mejora de la competitividad. Mejora de la Imagen Corporativa. Aumento de la Vida Útil de la Instalación eléctrica. Reducción de los costes de mantenimiento.

Para un estudiante de ingeniería eléctrica no es diferente, es importante implementar y complementar los conocimientos en cualquier especialidad y ramas de la carrera, el desarrollo de habilidades y actitudes en las mediciones, normas y métodos de calidad energía eléctrica son necesarias, puesto que las futuras regulaciones nacionales e internacionales lo requieren, así como la distribuidora de energía Dis-norte, Dis-sur.

El uso de formatos, al ingeniero le facilitara verificar en situ las mediciones de campo sobre parámetros eléctricos, armónicos, transitorios y factor de potencia actual para confirmar los datos facilitado por la empresa contratada.

Es metodología será novedosa ya que se pretende instruir al encargado del estudio sobre el uso de los formatos que se desarrollaran para fin del estudio, además generará recomendaciones y lecciones aprendidas que pueden tomarse en la implementación de cualquier escenario de pequeña o mediana empresa.

---

## V. Marco Teórico

### 5.1 Ley 272 de la Industria eléctrica nicaragüense

Según el capítulo I, en el artículo 1: La presente Ley tiene por objeto establecer el régimen legal sobre las actividades de la industria eléctrica, las cuáles comprenden la generación, transmisión, distribución, comercialización, importación y exportación de la energía eléctrica.

Por otra parte el Artículo 2 menciona las actividades de la industria eléctrica, las cuales se ajustarán a las siguientes reglas:

- Seguridad, continuidad y calidad en la prestación del servicio eléctrico.
- Eficiencia en la asignación de los recursos energéticos, con el fin de obtener con el menor costo económico la prestación del servicio eléctrico.
- Promoción de una efectiva competencia y atracción del capital privado, con el fin de incentivar su participación en la industria eléctrica.
- Protección de los derechos de los clientes y el cumplimiento de sus deberes.
- Eficiencia en el uso de la electricidad por parte de los clientes y los Agentes Económicos.

**En el capítulo II** y artículo 8 se encuentran las siguientes definiciones:

**Actividad de Generación:** Es la producción de electricidad mediante el aprovechamiento y transformación de cualquier fuente energética.

**Actividad de Transmisión:** Es el transporte de energía eléctrica a través de líneas y subestaciones a un voltaje no menor de 69 Kilovoltios (Kv), desde las centrales eléctricas de generación hasta los centros de distribución.

**Actividad de Distribución:** Es la entrega de la energía eléctrica a clientes y grandes consumidores a través de un sistema de distribución poniendo a disposición de terceros agentes económicos del mercado eléctrico, la capacidad de transporte remanente que no se encuentre comprometida.



---

### **5.1.1 Características técnicas del servicio eléctrico**

En el CAPITULO 8.1 se habla DE LA FRECUENCIA Y EL VOLTAJE DE SUMINISTRO

NSE 8.1.1 La Empresa de Distribución suministrará la energía eléctrica con una frecuencia de 60 ciclos con variaciones de +/-0.5%.

NSE 8.1.2 La Empresa de Distribución suministrará la energía eléctrica a los voltajes nominales descritos a continuación, con variación de +/- 8% en el punto de entrega al cliente:

- Voltaje monofásico de 120 voltios, dos conductores.
- Voltaje monofásico 120/240 voltios, tres conductores.
- Voltaje trifásico 120/240 voltios, tres o cuatro conductores.
- Voltaje trifásico 120/208 voltios, tres o cuatro conductores.
- Voltaje trifásico 480 voltios, tres o cuatro conductores.
- Voltaje monofásico 7.6 kV o 14.4 kV, dos conductores o cualquier otro voltaje de distribución que la distribuidora emplee en esa área.
- Voltaje trifásico 13.2 kV o 24.9 kV o cualquier otro voltaje de distribución que la distribuidora emplee en esa área, cuatro conductores.

### **5.2 Normas internacionales para para la medición de calidad de energía eléctrica**

Para realizar una medición de Calidad de la energía eléctrica (CEL) es muy importante tener en cuenta todas las normas nacionales e internacionales, ya que ellas proporcionan límites y directrices generales teniendo las características del sistema dependiendo el lugar, condiciones y necesidades.

La IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) y la IEC (International Electrotechnical Commission) son las asociaciones más reconocidas dedicadas a la estandarización y desarrollo de técnicas y normas para la medición de CEL. En este capítulo describe cada una de las normas referentes al tema de medida y monitoreo de calidad de potencia eléctrica y el marco regulatorio nicaragüense:

---

Según la guía para el monitoreo de calidad de potencia la norma IEEE 1159 - 1995: fue desarrollada y diseñada para establecer una guía para la medición de CEL, con el fin de estandarizar los algoritmos básicos y datos aplicados por los fabricantes de equipos de medición; objetivo que no fue alcanzado ya que los fabricantes proponen sus propios diseños y productos.

Aunque esta norma logró establecer técnicas de uso de los instrumentos, así como también interpretación de los resultados obtenidos por medio de la medición de CEL con estos instrumentos.

Para esta interpretación de datos y buenas técnicas de medición se describen ciertas condiciones y pasos para tener presentes antes y durante las mediciones y monitoreo. Aquí se resumen algunas de estos pasos mencionados.

- ✓ Determinar objetivos de la medición
- ✓ Localización de los puntos a monitorear
- ✓ Reconocimiento del sistema eléctrico a medir (Diagramas unifilares y parámetros eléctricos del sistema).
- ✓ Detección de las fuentes generadoras de distorsiones.
- ✓ Recopilar toda la información relevante del sistema eléctrico.
- ✓ Determinar límites y umbrales de medición.
- ✓ Tiempo de la medición.
- ✓ Interpretación de datos

Una vez el instrumento de medición esté conectado en el circuito, este debe estar programado con ciertos umbrales o límites de medición dependiendo de los objetivos planteados y perturbaciones a medir. En la siguiente tabla se resumen los límites dependiendo del fenómeno a evaluar:

Tabla: Ajustes límites para cargas de 120 V

Perturbación	Límites	Valor sugerido	Observaciones
Desequilibrio de tensión	Tensión de fase	2%	Desequilibrio de tensión < 3%
Variación de frecuencia		60 Hz	
Armónico		5% THD	Límite según IEEE 519
Transitorios		200 V	Aprox. 2 veces la tensión nominal fase-neutro
Sags		108 Vrms	Menos del 10% de la tensión nominal
Swell		126 Vrms	Más del 5% de la tensión nominal
Ruido		1,5 V	1% de tensión fase-neutro
Swell	Tensión neutro-tierra	3 Vrms	
Transitorios		20 V pico	10-20% de la tensión fase-neutro
Ruido		1,5 Vrms	Susceptibilidad del equipo
Corriente fase-neutro	Corriente	I carga/ I nom	
Corriente de tierra		0,5 A	Límite de seguridad
Armónicos		20% (pequeños clientes) 5% (grandes clientes)	Límite según IEEE 519

Fuente. IEEE 1159 - 1995: Guía para el monitoreo de calidad de potencia.

### Armónicos en corriente y tensión

Según las Recomendaciones prácticas y requerimientos para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia en la norma IEEE 519: Se desarrolló con el fin de regular y limitar los contenidos de armónicos de corriente y tensión (THD-i < 3% y THD-v < 5%) causados por cargas no lineales en los sistemas eléctricos. Los límites que se diseñaron en este estándar son para controlar distorsión de corrientes/tensiones armónicas y calidad de la tensión generadas por armónicos eléctricos siempre en el punto de conexión común PCC. Además aclara sobre la diferencia de las técnicas usadas en las mediciones de los sistemas eléctricos ordinarios y las técnicas requeridas para el monitoreo de armónicos eléctricos.

---

## Métodos de medición de calidad de potencia según IEC 61000-4-30 Técnicas de ensayo y medición.

Esta clase de medición se utiliza cuando son necesarias medidas precisas, por ejemplo, para aplicaciones contractuales, verificar el cumplimiento de las normas, la resolución de conflictos, etc.

Para las medidas de esta clase se deben utilizar medidores estipulados en la norma IEC 61000-4-3010 de gran precisión para determinar valores referencia de la norma NTC 5000, puesto que al realizar las mediciones con analizadores de red que cumplan con el requerimiento de la IEC, estas no saldrán de la incertidumbre especificada en la norma

- Rango de parámetros de calidad de energía eléctrica (Medidas clase A)

Parámetros de CEL	Rango de variación
frecuencia	51-69 Hz
Voltaje (estado estable)	0 - 200 % Voltaje de entrada
Flicker	0 - 20 parpadeos
Desbalances	0 - 5 %
Armónicos (THD)	Valores IEC 61000-2-4 clase 3
Interarmónicos	Valores IEC 61000-2-4 clase 3
Señales de tensión	0 -9 %de la tensión de entrada
transitorios de tensión	6 kV pico
transitorios rápidos	4 kV pico

- Rango de parámetros de calidad de energía eléctrica (Medidas clase B)

Esta clase de medición puede ser utilizada para estudios estadísticos, aplicaciones de solución de problemas y otras aplicaciones donde no se requiera un bajo valor incertidumbre.

---

Para estas mediciones se debe tener en cuenta que cada factor o parámetro a medir tiene diferentes clases de potencia. Por esto cada fabricante de analizador de red eléctrica deberá incluir los rangos de incertidumbre que puedan influir en las mediciones.

Parámetros de CEL	Rango de variación
frecuencia	51-69 Hz
Voltaje (estado estable)	0 - 150 % Voltaje de entrada
Desbalances	0 - 5 %
Armónicos (THD)	Valores IEC 61000-2-4 clase 3
Interarmónicos	Valores IEC 61000-2-4 clase 3
Señales de tensión	0 -9 %de la tensión de entrada

### 5.3 Sistema eléctrico de potencia

El sistema eléctrico de potencia (SEP) es una red interconectada, que brinda la capacidad necesaria para abastecer a todas las cargas que se encuentran haciendo uso de la energía eléctrica.

Esta energía eléctrica es obtenida en plantas generadoras que se basan en diferentes formas de transformación de la energía; es decir de una determinada fuente de energía se hace la transformación a energía eléctrica.

El sistema eléctrico de potencia se encuentra conformado por tres sistemas importantes las cuales son: sistemas de generación, sistemas de transmisión y sistemas de distribución (según ley 272). Estos sistemas deben encontrarse en los niveles requeridos de calidad de la energía tanto para su transmisión como para su utilización.

#### 5.3.1 Circuitos eléctricos polifásicos

---

Los sistemas reales de interconexión eléctrica se llevan a cabo disponiéndose en configuraciones monofásicas, bifásicas y trifásicas. Los circuitos polifásicos son dos o más tensiones desfasadas entre ellas, las cuales alimentan a cargas conectadas a ellas.

Según las configuraciones tenemos los siguientes circuitos:

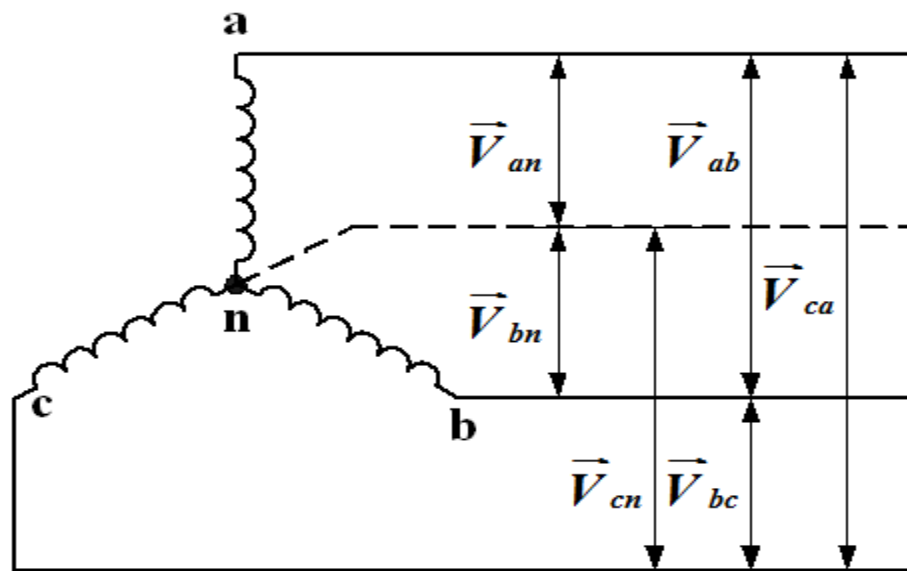
- **Monofásico:** Compuesto de una fuente de tensión y cuya estructura física es por dos hilos, uno de fase y un neutro, en algunos casos llevará un conductor de tierra física. En los circuitos monofásicos las tensiones son las mismas que la fuente suministra.
- **Bifásico o monofásico de tres hilos:** Se encuentra conformado por dos tensiones monofásicas, la estructura está determinada por dos conductores de fase y un neutro. La tensión en los circuitos bifásicos puede ser de línea a neutro o de línea a línea.
- **Trifásico:** Es la interconexión de tres sistemas monofásicos, cuyas tensiones, son semejantes en amplitud se encuentran desfasadas 120 grados entre ellas. En estos circuitos podemos encontrar que están formados por tres hilos o cuatro hilos esto dependiendo del tipo de conexión que se tenga: delta o estrella respectivamente.

a) **Sistemas trifásicos**

A diferencia de un sistema monofásico o bifásico, que su configuración solo puede ser por una fase o por dos fases respectivamente, este sistema es de tres fases puede tener dos configuraciones de conexión diferentes. Estas configuraciones pueden ser en delta y estrella, la configuración delta están conformadas por solo tres conductores de fase y la configuración estrella por tres conductores de fase y uno neutro.

b) **Configuración estrella**

Para una configuración estrella es necesario unir los extremos A', B' y C', o los A, B y C, de las bobinas de las fuentes de tensión monofásicas de la figura número 1.1, formando un neutro, se obtiene lo que se denomina una conexión en estrella, y si además del punto neutro sacamos una línea para conectarla a la carga se obtiene lo que se denomina un sistema trifásico, cuatro hilos, conexión estrella.



Representación de un sistema trifásico en configuración estrella.

Éste sistema tiene las características que las corrientes de línea, como las de fase son las mismas; pero en contraparte las tensiones de fase y línea a línea son diferentes en magnitud y ángulo. Las tensiones de fase en un sistema estrella son las mismas que las de la fuente de tensión monofásica:

$$V_{an} = V \angle 0.0^\circ$$

$$V_{bn} = V \angle -120.0^\circ$$

$$V_{cn} = V \angle -240.0^\circ = V \angle 120.0^\circ$$

El diagrama fasorial que se muestra en la figura 1.2, es la representación del sistema estrella, de cuyo análisis se obtienen las tensiones de línea como a continuación se muestra:

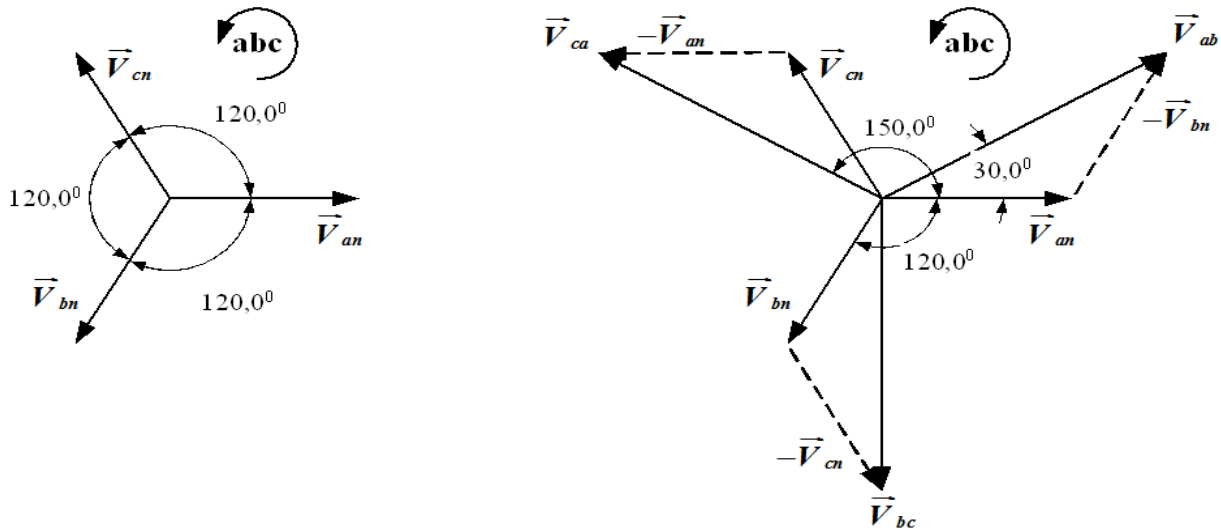


Diagrama fasorial de un sistema trifásico en configuración estrella.

Por lo tanto las tensiones de línea (línea a línea) son las siguientes:

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = V_{an} \angle 0.0^\circ - V_{bn} \angle -120.0^\circ = \sqrt{3} V \angle 30.0^\circ$$

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = V_{bn} \angle -120.0^\circ - V_{cn} \angle -240.0^\circ = \sqrt{3} V \angle -90.0^\circ$$

$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} = V_{cn} \angle -240.0^\circ - V_{an} \angle 0.0^\circ = \sqrt{3} V \angle -210.0^\circ$$

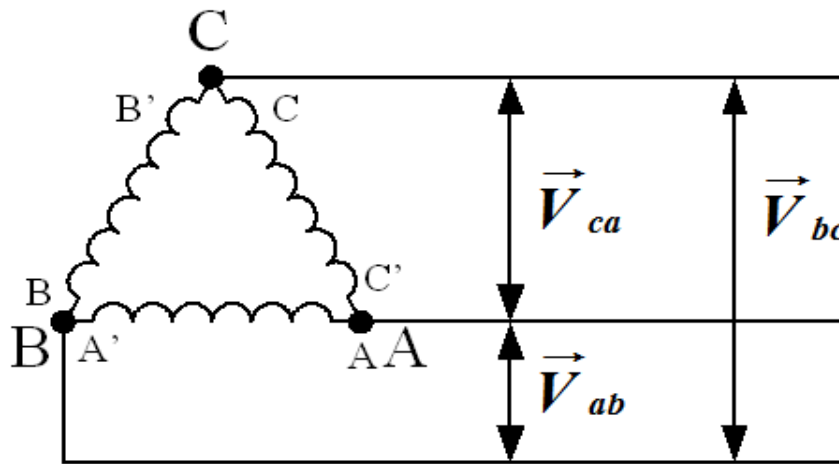
De las ecuaciones anteriores podemos observar que las tensiones de línea son veces mayor que las tensiones de fase, y que se encuentran adelantadas  $30^\circ$  con respecto a las de fase.



---

### c) Configuración delta

La configuración delta se forma cuando se unen los extremos de las bobinas A' con el B, y los extremos B' con el C y finalmente los extremos C' con el A, como se muestra en la figura 1.3, dando la forma de la delta. La característica de esta configuración es que la tensión entre fases son las mismas que las tensiones de línea, pero las corrientes son diferentes entre las de fase y las de línea.



Representación de un sistema trifásico en configuración delta.

$$V_{ab} = V_{AA'} = V \angle 0.0^\circ$$

$$V_{bc} = V_{BB'} = V \angle 120.0^\circ$$

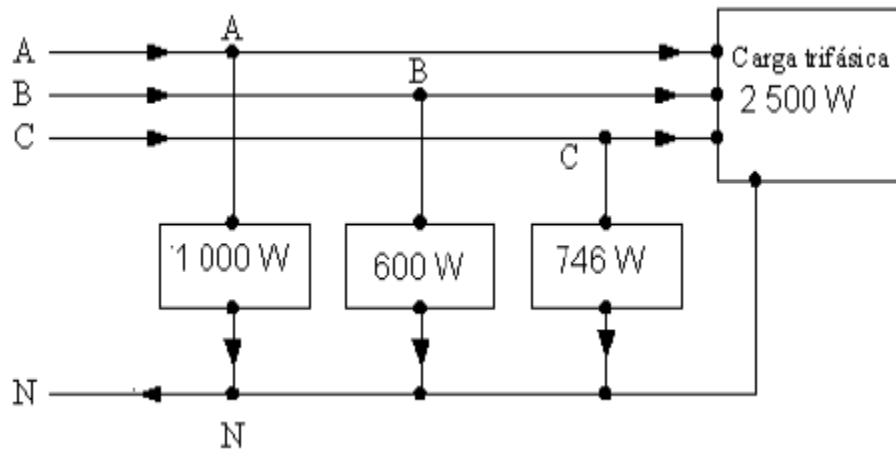
$$V_{ca} = V_{CC'} = V \angle 120.0^\circ = V \angle -240.0$$

### d) Desbalanceo en un sistema trifásico

El desbalanceo en un sistema trifásico se produce por diferencias considerables en la repartición de cargas entre fases, ocasionando problemas de sobrecarga en alguna de las fases, calentamiento excesivo en el conductor neutro; lo cual se traduce a pérdidas en el sistema.

---

En la realidad es poco probable que el sistema se encuentre balanceado ya que la mayoría de las cargas no son constantes, pero se busca balancear las cargas lo más cercano a lo ideal. En la siguiente figura 1.4 se representa un sistema desbalanceado.



Representación a bloques de un sistema trifásico desbalanceado

#### e) Instalaciones eléctricas

Como en los subcapítulos anteriores se estudió, el sistema eléctrico de potencia está conformado por los subsistemas de: generación, transmisión y distribución. Estos subsistemas son un conjunto de circuitos eléctricos que se encuentran interconectados para brindar un camino a la corriente hacia las cargas a las cuales abastece.

Este conjunto de circuitos interconectados es denominado instalación eléctrica y esta puede ser en tensión baja, mediana y alta. Las instalaciones eléctricas están conformadas por circuitos mixtos y elementos que intervienen desde el punto de alimentación o generación, hasta el último punto en el cual se requiere el servicio de energía eléctrica.

Las instalaciones eléctricas para su instalación, inspección y puesta en servicio, es necesario contar un esquema gráfico que permita observar la forma de conexión y disposición de la instalación.

---

Esta representación gráfica es llamada diagrama unifilar, el cual cuenta con toda la representación monofásica de una instalación eléctrica, sin importar si esta es trifásica o bifásica, con símbolos normalizados que representan los elementos de una instalación eléctrica. (Ver anexo tabla de simbología de una instalación eléctrica.)

Los elementos que debe de contener un diagrama unifilar son los siguientes:

- Representación de los elementos con simbología normalizada
- Número de conductores de fase, neutro y tierra; así como calibres y medios de canalización
- Datos de la protección, es decir corriente de operación del interruptor o fusible
- Diagrama de conexión por cada centro de carga
- Caída de tensión en porcentaje por cada circuito derivado

Para la realización de un diagrama unifilar es necesario realizar un levantamiento de cargas, que es la cuantificación de la carga instalada así como la recopilación de la información técnica de cada carga instalada.

De la misma manera, como complemento se realizan planos de planta en los cuales se indica el ruteo del medio de canalización de los conductores eléctricos desde su centro de carga hacia la carga. Los elementos básicos de un plano de planta son los siguientes:

- Representación del inmueble a escala
- Localización de los centros de carga
- Localización de receptáculos, apagadores, lámparas y cargas diversas dentro del plano
- Ruteo de la canalización de los conductores
- Representación de los detalles de la disposición de los conductores en ductos o charola

---

### 5.3.2 Calidad en el servicio eléctrico

En los últimos años con el auge de las nuevas tecnologías que intervienen en los sistemas eléctricos y en especial los sistemas de control basados en la electrónica, han propiciado efectos negativos en la calidad de la energía.

Tanto las empresas suministradoras de electricidad como los usuarios finales se han visto afectados en problemas que se traducen en pérdidas económicas. Se pueden mencionar como las principales razones por las cuales es necesario estudiar los conceptos de la calidad de la energía las siguientes:

- En la actualidad existen cargas cada vez más sensibles a las variaciones de los parámetros nominales a las cuales fueron diseñadas.
- Las exigencias de aumentar la eficiencia de los procesos de producción, han traído como consecuencia un incremento continuo en la aplicación de dispositivos de eficiencia alta, tales como: controladores de velocidad de motores eléctricos, usos de capacitores para la corrección del factor de potencia, aplicaciones en robótica, las computadoras personales, aparatos electrónicos, etc.

El principal factor que se encuentra detrás de los conceptos de la calidad de la energía es el incremento en la productividad para los suministradores y consumidores finales

#### a. Calidad de la energía

Se puede definir como mantener los parámetros de generación, transmisión y distribución en condiciones óptimas de operación esto es: sin interrupciones en el suministro eléctrico, variaciones de tensión (RMS), sobretensiones.

De la misma forma la calidad engloba el mantener en intervalos de operación las distorsiones en la forma de onda y armónicas; con lo cual se puede mantener a la energía eléctrica en parámetros de calidad.

---

## **b. Antecedentes relacionados con el estudio de calidad en la energía**

Anteriormente el único aspecto importante de la calidad de la energía era la continuidad en el suministro eléctrico, así como mantener los parámetros de tensión, corriente y frecuencia; debido a que las cargas eléctricas eran del tipo electromecánicas. Con el desarrollo tecnológico, las características de las cargas eléctricas han ido cambiando, teniendo consecuencias en el sistema eléctrico.

Históricamente se pueden mencionar tres cambios en la carga eléctrica del usuario, que han afectado a la calidad de la energía: la introducción de la microelectrónica, la electrónica de potencia y la aplicación de capacitores para la corrección del factor de potencia.

El cambio en las cargas fuentes de disturbios que provocan variaciones en los parámetros de la energía eléctrica, y en consecuencia se ven afectadas las cargas sensibles a estas variaciones así como el sistema de distribución y transmisión.

Los disturbios en los parámetros eléctricos requieren de un análisis, para identificar las causas y efectos en la operación de los equipos eléctricos. A continuación se presentan un resumen de resultados de estudios realizados en diferentes industrias, referentes a la calidad de operación de los sistemas (cantidad de disturbios) :

- Más del 62% de los disturbios son supresiones en la tensión eléctrica con duración menor a (30 ciclos).
- Aproximadamente el 21% de los disturbios son impulsos de tensión transitorios.
- Las interrupciones constituyen el 14% de los disturbios.
- Las sobretensiones representan el 2% de los disturbios.

## **c. Fuentes de disturbios en sistemas eléctricos de distribución**

---

**Fluctuaciones de tensión eléctrica:** es una disminución momentánea de la magnitud de tensión RMS con duración de 0.6-2.5 ciclos. Una caída severa se considera con menos del 85% de su valor nominal, los cuales pueden dar lugar al deterioro de los equipos consumidores de energía eléctrica.

- **Caída de tensión eléctrica:** es una disminución momentánea de la magnitud con duración entre 0.5 y 60 ciclos, la cual tiene origen en fallas del sistema. Presenta un gran problema al sistema de control de procesos industriales.
- **Sobretensiones transitorias:** esta se presenta en forma de impulsos de tensión con una duración menor a 2 ms, son ocasionados por descargas atmosféricas, las cuales pueden ocasionar que los equipos eléctricos interrumpan su operación.
- **Interrupciones de energía:** interrupciones del total de la energía, las cuales pueden tener una duración de varios ciclos. Son causantes de pérdidas económicas tanto a la compañía suministradora como al usuario final.
- **Armónicas:** significan que la onda de tensión o corriente eléctrica no es una onda senoidal pura. Las armónicas son ocasionadas por la inserción de cargas no lineales.

#### 5.4 Sistema puesta a tierra

El sistema de tierra es una conexión física y directamente enclavada a tierra física, es decir, es un circuito inmerso en el terreno del inmueble. El sistema de tierra o malla de tierra provee conexión directa de todos los equipos o partes conductivas dentro de una instalación eléctrica a tierra física.

Es de vital importancia el tema de la puesta a tierra y sistema de tierra en la calidad de la energía debido a que provee seguridad y protección a una instalación eléctrica. Su importancia radica, en que este sistema provee protección, en primer lugar al usuario y en segundo lugar a la propia instalación eléctrica y equipos conectados en ella brindando

---

un camino de baja impedancia a la corriente de falla hacia el campo eléctrico existente en la tierra.

El sistema de tierra y el aterrizamiento, son términos muy diferentes que hay que definir para su mejor utilización. El concepto de sistema de tierra tiene como definición: un circuito interconectado que se encuentra inmerso en el terreno de la edificación, brindando puntos de conexión para el aterrizamiento del equipo y de prueba para la medición de dicho circuito con tierra.

Aterrizamiento del equipo o conexión a tierra, es la interconexión eléctrica de partes conductoras con la finalidad de brindar un potencial común entre estas partes, para ser conectado al sistema de tierra física.

Para cumplir con su objetivo el sistema de tierra debe ser un elemento capaz de brindar un camino de baja impedancia para una corriente de falla, para que esta sea enviada a tierra o potencial cero. Este sistema de conexión está formado por electrodos y líneas de tierra de una instalación eléctrica las cuales brindan el camino, antes mencionado, para una corriente de falla ya sean por fenómenos naturales como los rayos o artificiales como sobre cargas, interferencias o incluso errores humanos .

La instalación de un sistema de tierra física requiere de un importante estudio de medición de la tierra, debido a que es considerada como semiconductor y requiere de un tratamiento especial para poder llevarla a ser conductora. Es por esto que en campo se requiere de un análisis minucioso de la resistividad del terreno la cual no debe ser mayor a  $25 \Omega$ .

#### **a. Puesta a tierra**

El sistema de tierra física tiene una importancia vital para proteger el equipo eléctrico y electrónico y se hace mediante una conexión que permiten dar seguridad patrimonial y

---

humana, ya que de improvisto pueden surgir descargas, sobrecargas o interferencias que dañan severamente el equipo.

El complemento de un sistema completo es la puesta a tierra, la tierra física o sistema de tierra debe ser la base para la conexión a tierra de los equipos y elementos conductores de la electricidad con los cuales un usuario se encuentre en contacto directo.

La conexión de puesta a tierra es realizada para todos los equipos conectados en forma permanente o transitoria que contengan partes metálicas expuestas que tengan la probabilidad de poder conducir corriente eléctrica. Asimismo la norma oficial Mexicana indica que todo equipo será puesto a tierra en lugares mojados o húmedos y áreas denominadas como peligrosas, en las cuales haya probabilidades de conato de incendio.

La conexión de la puesta a tierra es un circuito que interconectará a todas las partes metálicas expuestas, así como todo tipo de equipo no eléctrico que contengan partes metálicas como: grúas, elevadores, cabinas de elevadores, casas móviles y vehículos recreativos.

La interconexión de estos elementos para ser puestos a tierra deberán ser mediante un conductor que cumpla con la capacidad de ajuste del dispositivo automático de protección contra sobre corriente en el circuito y este puede ser aislado o desnudo y no menor al calibre 18 AWG.

#### **b. Objetivo de un sistema de puesta a tierra**

Un sistema de puesta a tierra tiene como principal objetivo la seguridad de los usuarios de la energía eléctrica, así como método de protección de los equipos eléctricos y electrónicos conectados a la red de energía eléctrica.



---

Este sistema es un parte importante en una instalación eléctrica ya que es el medio por la cual la corriente de falla se redirecciona a tierra física es por esto que a continuación se menciona la importancia de este sistema. El sistema de puesta a tierra es necesario para obtener un desempeño seguro y satisfactorio en un sistema eléctrico, debiendo cumplir con cuatro requerimientos:

- Proporcionar una trayectoria de baja impedancia a las corrientes de falla, de forma que los dispositivos de protección de sobre-corriente operen oportunamente.
- Mantener una diferencia de potencial baja entre las partes metálicas expuestas para evitar daños al personal.
- Controlar las sobretensiones.
- Tener una mayor continuidad y confiabilidad en el sistema eléctrico.

Dicho sistema de puesta a tierra además de proveer seguridad, confiabilidad y continuidad en el servicio; provee de seguridad al usuario evitando accidentes producidos por fallas a tierra.

Este sistema provee de gran seguridad ante un accidente de dicha magnitud, pues evita en muchos de los casos, descargas eléctricas en personal adyacente a cualquier punto de descarga eléctrica.

### **c. Calidad de la energía y el sistema de puesta a tierra**

El vínculo entre los sistemas de puesta a tierra y la calidad de la energía recae en que estos brindan estabilidad al sistema eléctrico debido a que no solamente brindan una ruta para una sobre tensión o corriente de falla.

---

Los sistemas de puesta a tierra sirven como referencia para equipos electrónicos, esencialmente en equipos de comunicación que deber ser referenciados a una misma señal en este caso el sistema de tierra posee baja impedancia.

Lo anterior lleva a que estos sistemas son vitales para mantener en condiciones óptimas a los equipos electrónicos, que es uno de los objetivos de la calidad de la energía.

Estas condiciones óptimas son favorables para la eliminación de ruido que puede ser nocivo para los equipos de comunicación evitando de esta manera contaminación dentro de una instalación eléctrica.

Los sistemas de puesta a tierra benefician a la calidad de la energía, no solo en la eliminación de ruidos y referencia en equipos de comunicación, parte de la calidad de la energía es salvaguardar vidas humanas es por eso que estos sistemas son parte esencial en la calidad de la energía.

## **5.5 Parámetros de la calidad de la energía eléctrica**

A continuación se describen los parámetros que intervienen en la calidad de la energía eléctrica, motivo por el cual se desarrolla la metodología, de igual forma se presentan los modelos matemáticos de cada parámetro para su análisis.

---

En la problemática de calidad de la energía eléctrica incluye una gran cantidad de parámetros, que influyen en la óptima operación de los sistemas y equipos eléctricos tales como: tensión eléctrica, frecuencia, continuidad en el servicio, contenido armónico y el factor de potencia.

El propósito de cualquier sistema eléctrico es suministrar energía eléctrica a los usuarios, asimismo los usuarios tienen la responsabilidad de mantener en condiciones óptimas su carga para evitar la creación de disturbios que afecten la calidad de la energía.

La forma de operar de todos los elementos de una instalación incluyendo los equipos eléctricos conectados a ella, depende en gran parte de los parámetros de calidad de la energía, permitiendo que operen de manera eficaz y eficiente evitando daños en los equipos y en la misma instalación. Históricamente se ha venido dividiendo en:

- Continuidad del suministro (existencia de tensión de alimentación).
- Calidad de la onda de tensión (forma de la onda y perturbaciones asociadas).

Algunos de los disturbios más frecuentes que afectan la calidad de la energía son:

- Interrupciones en el suministro.
- Variaciones de tensión eléctrica (RMS).
- Variación de la frecuencia eléctrica.
- Distorsión armónica.
- Factor de potencia bajo.

La IEEE, clasifica los disturbios eléctricos en diferentes categorías, en función de sus características y tiempo de duración; la clasificación es:

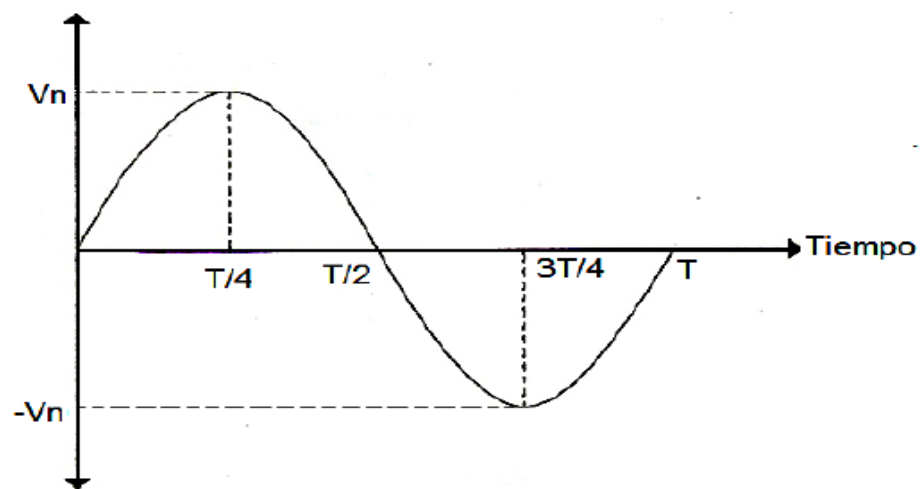
- Depresiones de tensión temporales (sags).
- Sobretensiones temporales (swells).
- Armónicas (formas de onda amplificadas por la frecuencia) de corriente y tensión.

---

## A. Variaciones de tensión

Anteriormente la mayoría de las cargas eléctricas eran del tipo electromecánicas (motores de inducción), los cuales son más resistentes a las variaciones de tensión, por lo consiguiente no se tomaba mayor interés por contar con niveles de tensión entre los intervalos permitidos.

Debido a la inserción de cargas más sensibles en los procesos industriales, comerciales y residenciales, se ha tenido que realizar actividades que reduzcan las variaciones en el nivel de tensión. El nivel de tensión suministrado debe ser el adecuado para cada equipo eléctrico, permitiendo una tolerancia soportable por los equipos consumidores de la electricidad. A continuación en la figura se presenta la forma de onda ideal de tensión.



Onda de tensión ideal

Los procesos industriales de automatización utilizan como variable de cambio el nivel de tensión que se le proporciona a una determinada carga, es decir, si en la instalación eléctrica ocurre una variación en la diferencia de potencial hará que el instrumento de control vea una variación de la tensión de control, asimismo el equipo saldrá de funcionamiento.

Cualquier cambio imprevisto en un proceso ocasiona efectos negativos, los cuales pueden trasladarse en pérdidas económicas, por ejemplo, si en el proceso de producción

---

de algún producto sale de operación un motor, toda la producción pierde secuencia, y por lo consiguiente existirán pérdidas económicas.

Las variaciones en la tensión eléctrica son producidas por fallas en el sistema eléctrico, como pueden ser:

- Conexión y desconexión de grandes cargas (arranque de motores).
- Perturbaciones, que tienen origen en las líneas de distribución.
- Descargas atmosféricas, las cuales causan impulsos de tensión alta.
- En condiciones de falla de corto circuito, la tensión se abate.
- Sobrecarga de la instalación.
- La presencia de armónicas, distorsiona la onda de tensión cuando ellas pasan por la impedancia del sistema.

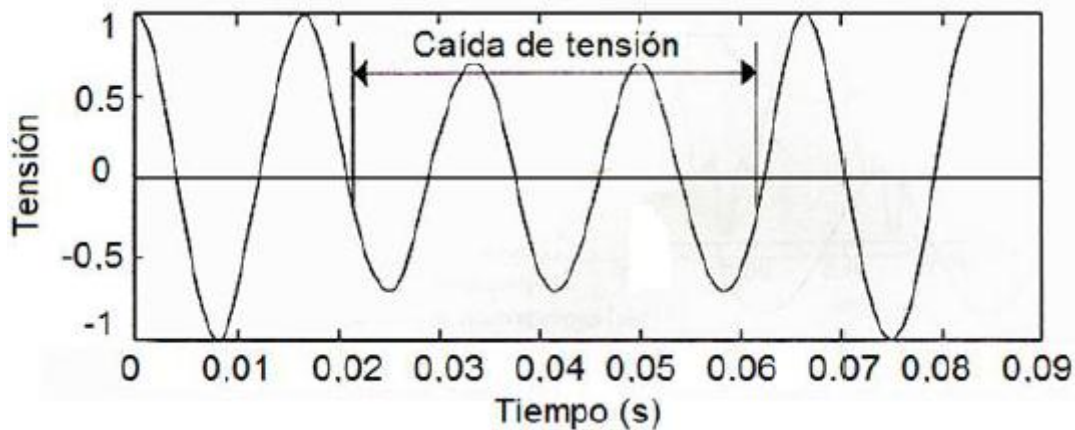
Idealmente se busca reducir las variaciones de tensión a un mínimo, obteniendo: la óptima operación de los elementos conectados a una determinada alimentación y la reducción de pérdidas económicas debidas a perturbaciones de esta índole. Asimismo las variaciones de tensión pueden causar efectos en la iluminación, afectando el confort de las personas.

#### **a. Caídas de tensión (SAG)**

Las caídas de tensión, también conocidas como “sags”, se definen como reducciones en el nivel de tensión durante un intervalo de corto tiempo, sin llegar a la interrupción del suministro de energía eléctrica. Las depresiones en la tensión están definidas como reducciones en la magnitud de la tensión eficaz (RMS) a frecuencia nominal entre 0.1 y 0.9 por unidad de la tensión nominal, en un intervalo de tiempo comprendido entre 0.5 y

---

60 ciclos. La figura muestra el comportamiento de la tensión instantánea durante una caída de tensión con duración de 40 ms.



Caída de tensión con duración de 40 ms.

Las disminuciones en la tensión eléctrica son provocadas por fallas remotas o locales, en consecuencia son más frecuentes que las interrupciones mismas. A continuación se presentan algunas causas de las disminuciones en la diferencia de potencial de suministro.

- Conexión de grandes cargas tales como el arranque de motores.
- Fallas de circuito cortó.
- Sobrecarga de la instalación (alimentadores y circuitos derivados).

Las caídas de tensión ocasionan grandes efectos negativos en los equipos eléctricos tales como calentamiento o mal funcionamiento de los mismos.

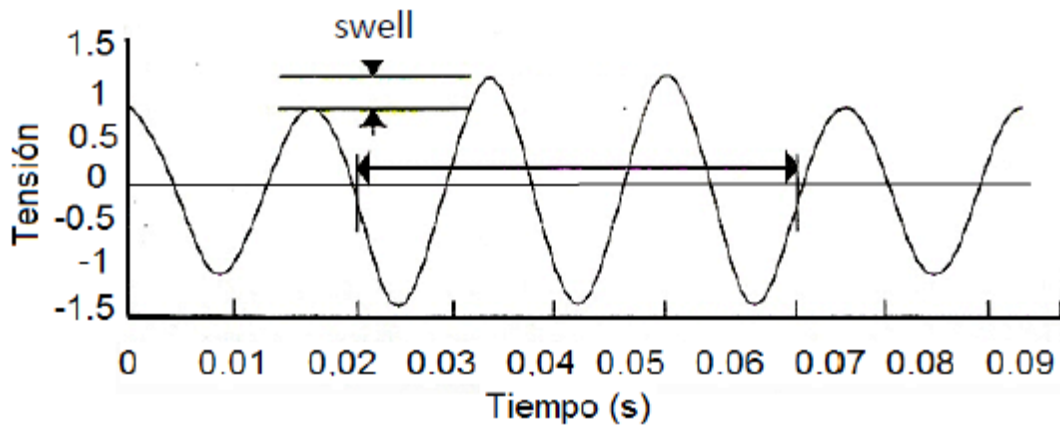
En el caso más práctico en el arranque de un motor eléctrico si se suministra un nivel bajo de tensión, no podrá iniciar su giro provocando que el motor trate de consumir su potencia eléctrica demandando una mayor cantidad de corriente, incitando un calentamiento que podría ocasionar su avería. Los sistemas de control pueden actuar de manera incorrecta.

---

### b. Sobretensiones temporales (SWELL)

Las sobretensiones temporales, también conocidas como “swells”, son el incremento de la tensión RMS entre 1.1 y 1.8 en por unidad respecto a la tensión nominal, con un tiempo de duración comprendido entre 0.5 y 60 ciclos.

Este tipo de disturbio es ocasionado con la desconexión de bancos de capacitores, grandes cargas tales como los motores y transformadores de gran capacidad. En la figura se muestra el comportamiento de la tensión instantánea durante una sobretensión con una duración de 40 ms .



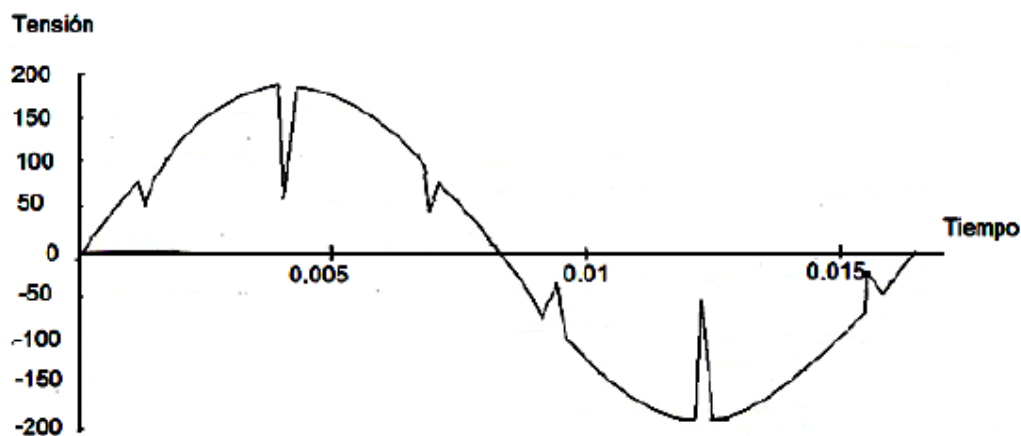
Sobretensión con duración de 40 ms.

### c. Efecto Flicker

El efecto “Flicker” consiste en variaciones periódicas de amplitud o frecuencia en la forma de onda de la tensión, de forma que son detectadas a simple vista (se observa un parpadeo) cuando la tensión alimenta excita y otros dispositivos de para la iluminación. La variación de la amplitud de la tensión produce fluctuación en el flujo luminoso de lámparas, induciendo la impresión de inestabilidad en la sensación visual.

---

El “flicker” depende fundamentalmente de la amplitud, frecuencia y duración de las variaciones de la tensión, y se expresa como el cambio de la tensión RMS dividido entre la tensión promedio RMS. En la figura se puede apreciar un ejemplo de una forma de onda con “flicker”.



Forma de onda del flicker.

#### d. Transitorios

Los transitorios son variaciones bruscas en las condiciones de estado estable en la onda de tensión y frecuencia, los cuales están asociados con fallas eléctricas, o sobretensiones inducidas debido a descargas atmosféricas.

Los transitorios no conservan constante la frecuencia a diferencia de las pequeñas variaciones, normalmente se presentan sobretensiones de valores importantes que ponen a prueba la rigidez dieléctrica de los equipos instalados.

Los transitorios son alguna de las perturbaciones más difíciles de detectar y tratar, debido a que su aparición puede ser al azar, y puede variar en función del grado del entorno operativo en el momento de su ocurrencia.

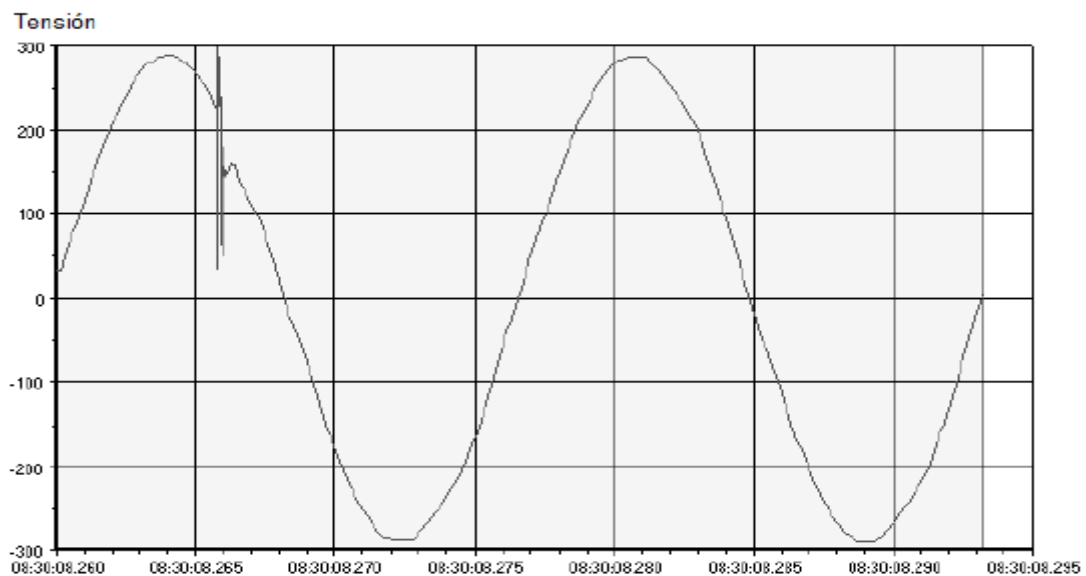
Su efecto varía en los dispositivos según el mismo y su ubicación en el sistema eléctrico, son difíciles de detectar debido a su corta duración, por ejemplo, si se produce un transitorio durante 2 ms, y se caracteriza por una frecuencia de 20 kHz, el instrumento de



---

medición debe tener una respuesta de frecuencia o frecuencia de muestreo de al menos 10 veces 20 kHz o 200 kHz, a fin de describir las características de los transitorios.

Los transitorios de impulso por rayo son debidos a descargas atmosféricas, las descargas atmosféricas buscan las partes de mayor altura de las zonas para establecer el contacto eléctrico nube-tierra, así mismo es poco probable que afecten a pequeñas instalaciones. En las cargas eléctricas predominan los equipos electrónicos, los cuales necesitan tensiones muy estables por lo que las sobretensiones pueden perjudicarlos. En la figura se muestra un transitorio provocado por el arranque de una carga.



Transitorio que tiene causa en el arranque de una carga eléctrica

**Causas de los transitorios:** los transitorios son perturbaciones que se producen durante un periodo de tiempo menor a un ciclo, y posteriormente el sistema eléctrico se restablece en un breve tiempo a su operación original siempre y cuando no se produzcan afectaciones debidas al transitorio. Un transitorio es un fenómeno de causa y efecto; por lo cual para que un transitorio se produzca debe existir una causa, dentro de las más comunes están:

- Fenómenos atmosféricos
- Cambios en la carga e interrupciones de las corrientes de falla

---

## **B. Variaciones en la frecuencia**

La frecuencia eléctrica es el número de ciclos que se repiten por segundo, según el sistema internacional el resultado se mide en (Hz), cuando se refiere al sistema eléctrico nacional la frecuencia eléctrica nominal es de 60 Hz que representa sesenta sucesos (ciclos) por segundo .

La mayoría de los equipos eléctricos funcionan a esa frecuencia y algunos de ellos son extremadamente delicados y un cambio de frecuencia provocaría un mal funcionamiento, por lo cual es necesario que la frecuencia del sistema permanezca constante o dentro de un intervalo de variación permitido por la ley federal del servicio público de la energía eléctrica en  $\pm 0.8\%$  de la frecuencia nominal.

En la actualidad las compañías generadoras de energía eléctrica, generan la energía con ciclos muy estables, por lo que es poco común que se presente una variación en la frecuencia.

Las variaciones de frecuencia se pueden presentar en plantas de emergencia o portátiles ya que la regulación de velocidad del generador depende de las condiciones ambientales y de operación particular. En los sistemas eléctricos no debe existir una variación en la frecuencia mayor al ( $\pm 0.8\%$  de la frecuencia nominal).

Uno de los efectos más importantes de la variación de la frecuencia se presenta en los motores, ya que al variar la frecuencia del sistema se estaría variando la velocidad de un motor. Variar la velocidad de algún motor presente en algún proceso productivo traería repercusiones negativas en el mismo proceso.

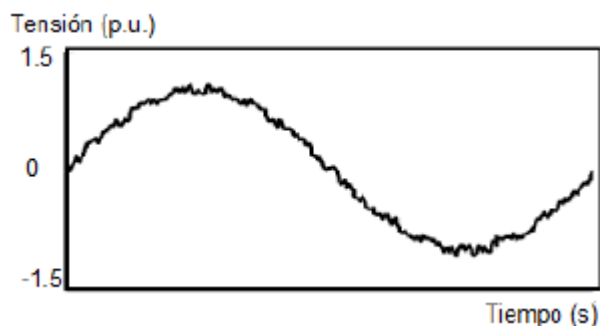
El ruido eléctrico son perturbaciones (no necesariamente periódicas) de la forma senoidal de tensión. Son poco frecuentes y de un valor bajo o mayor de tensión, el valor más elevado se denomina impulso, es decir, cuando su duración es inferior a 2 ms.

---

Los ruidos eléctricos se producen debido al funcionamiento de máquinas eléctricas con escobillas, soldadoras de arco, interruptores y en el “switchero”, los cuales se encuentran conectados en algún punto cercano a la carga utilizada.

Por otro lado, los impulsos eléctricos suelen producirse por la conexión y desconexión de bancos de capacitores y por descargas eléctricas, de todas las perturbaciones son las más aleatorias y menos predecibles.

Este tipo de disturbios produce un mal funcionamiento de los equipos eléctricos y en especial al sistema dieléctrico. En la figura se muestra la forma de onda de tensión con ruido eléctrico.



Forma de onda de tensión con ruido eléctrico

### **C. Continuidad en el servicio**

La continuidad del suministro es el aspecto de calidad más inmediato y evidente, generalmente se le llama confiabilidad del suministro. Hasta no hace demasiado tiempo, era el único aspecto relevante de la calidad del servicio. A medida que los países se han ido desarrollando, se han alcanzado mayores niveles de continuidad del suministro cada vez más aceptados por los clientes, sobre todo en zonas urbanas o de gran consumo.

---

Pero también han aparecido equipos que están suministrando cada vez más perturbaciones en la red (computadoras, convertidores, etc.) y que además son más sensibles a esas mismas perturbaciones u otras ya existentes en la red.

La IEEE considera una interrupción como la pérdida de alimentación en corriente alterna durante medio ciclo de la frecuencia del sistema NEMA (para el caso del sistema eléctrico de México 8.34 ms) En el caso de Nicaragua ha adoptado en NEMA como referencia de norma eléctrica.

Sin embargo el concepto de interrupción de energía eléctrica va más allá de esa definición, se interpreta como una interrupción perceptible ya que basta con que se interrumpa la energía por algunos ciclos o milisegundos para que se pueda afectar a ciertos tipos de cargas sensibles.

#### **a. Interrupciones imprevistas de energía eléctrica**

Este tipo de interrupciones son las que más afectan a los clientes, puesto que no han podido tomar medidas para contrarrestar sus efectos. Pueden mencionarse las siguientes causas de este tipo de interrupciones: de fuerza mayor, climática, fallas en componentes, causas desconocidas, etc.

Estas interrupciones pueden durar tiempos prolongados debido a que no se tiene control sobre ellas.

#### **b. Interrupciones programadas de energía eléctrica**

Este tipo de interrupciones están previstas y por tanto los clientes afectados están avisados. De hecho, para ser consideradas previstas, deben ser avisadas con un tiempo mínimo de antelación a los clientes afectados, para que estos puedan tomar las medidas oportunas para minimizar el impacto de las mismas. Suelen producirse por un motivo de nuevas instalaciones, mantenimiento de las líneas, etc.

#### **c. Interrupciones breves de energía**

---

Se considera como una interrupción breve cuando la tensión en los puntos de suministro es inferior al 1% del valor de tensión acordado y dura menos de 1 minuto.

Estas interrupciones son provocadas por fallas despejadas por los sistemas de protección con reposición del suministro, todo ello de manera automática como todas las perturbaciones debidas a fallas con alto componente de aleatoriedad.

#### **d. Interrupciones largas de energía**

Las interrupciones largas pueden ser debidas a una falta de generación, lo que supone dejar sin alimentación una parte de la demanda. La línea de transmisión también puede provocar interrupciones largas, es poco probable ya que se ha invertido mucho en su protección y en el estudio de la confiabilidad de la línea de transmisión frente a fallas.

La razón es que una falla en la línea de transmisión puede afectar a una zona muy amplia de suministro, siendo muy grande el daño causado. En las redes de distribución es donde se genera la mayoría de las interrupciones del suministro, este tipo de interrupciones tienen un efecto local, lo que les resta importancia en comparación de las ocurridas en las líneas de transmisión.

#### **D. Distorsión armónica**

El matemático francés Jean Baptiste Fourier formuló que una función periódica no sinusoidal de una frecuencia fundamental  $f$  puede ser expresada como la suma de funciones sinusoidales de frecuencia que son múltiplos de la frecuencia fundamental.

A esto se le conoce como armónicos, que son componentes sinusoidales en múltiplos de la frecuencia fundamental, cuya amplitud de onda va decreciendo conforme aumenta el múltiplo. Una función sinusoidal de tensión o de corriente depende del tiempo  $t$  y puede ser representada por las siguientes expresiones.

---

$$v(t) = V_p \text{sen}(\omega t)$$

$$i(t) = I_p \text{sen}(\omega t \pm \Phi)$$

$$\omega = 2\pi f$$

Dónde:

$v(t)$ = Tensión eléctrica en función del tiempo, en V.

$i(t)$ = Intensidad de corriente en función del tiempo, en A.

$V_P$ = Tensión eléctrica, en valor pico.

$I_P$  = Intensidad de corriente, en valor pico.

$w$ = Velocidad angular del periodo de la forma de onda.

$\Phi$ = Ángulo de desfasamiento, en grados.

$f$ = Frecuencia del sistema, en Hz.

$t$ = Tiempo, en s.

Fourier explicó por primera vez la distorsión existente con respecto a la forma de onda fundamental expresada por las ecuaciones anteriores. Asimismo las formas de onda no senoidales fueron expresadas en series de Fourier cuya expresión describe la forma que describe la onda:

$$v(t) = v_0 + v_1 \text{sen}(\omega t) + v_2 \text{sen}(\omega t) + \dots + v_n \text{sen}(n\omega t) + v_{n+1} \text{sen}((n + 1)\omega t)$$

La ecuación anterior de Fourier es una serie infinita. En esta ecuación,  $V_0$  representa la constante o la componente de corriente directa de la forma de onda.  $v_1, v_2, \dots, v_n$ , son los valores pico de los términos de las series sucesivas. Los términos son conocidos como armónicos de forma de onda. Los armónicos de la frecuencia fundamental están dados por la ecuación

$$f_h = h \times \text{frecuencia fundamental}$$

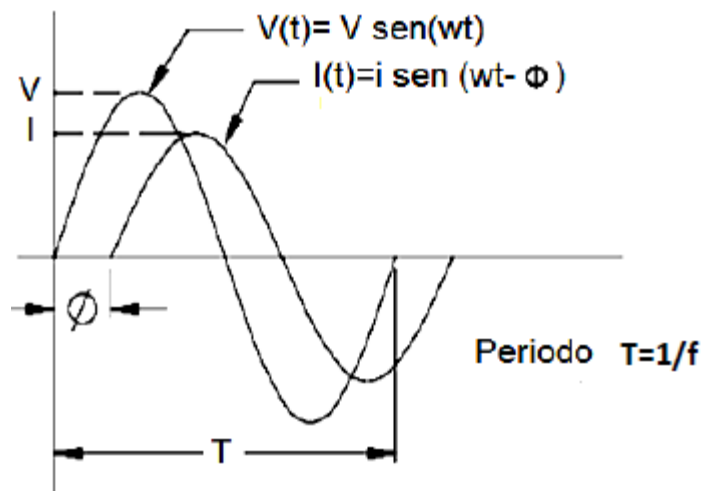
El número del armónico es representado por  $h$  que es un entero que representa el número de veces de la frecuencia fundamental. El primer armónico está dado para la frecuencia fundamental, así como el 0 representa la constante o la componente de corriente directa

---

de la forma de onda. La Frecuencia fundamental es la frecuencia a la cual el sistema opera, en México es de 60 Hz.

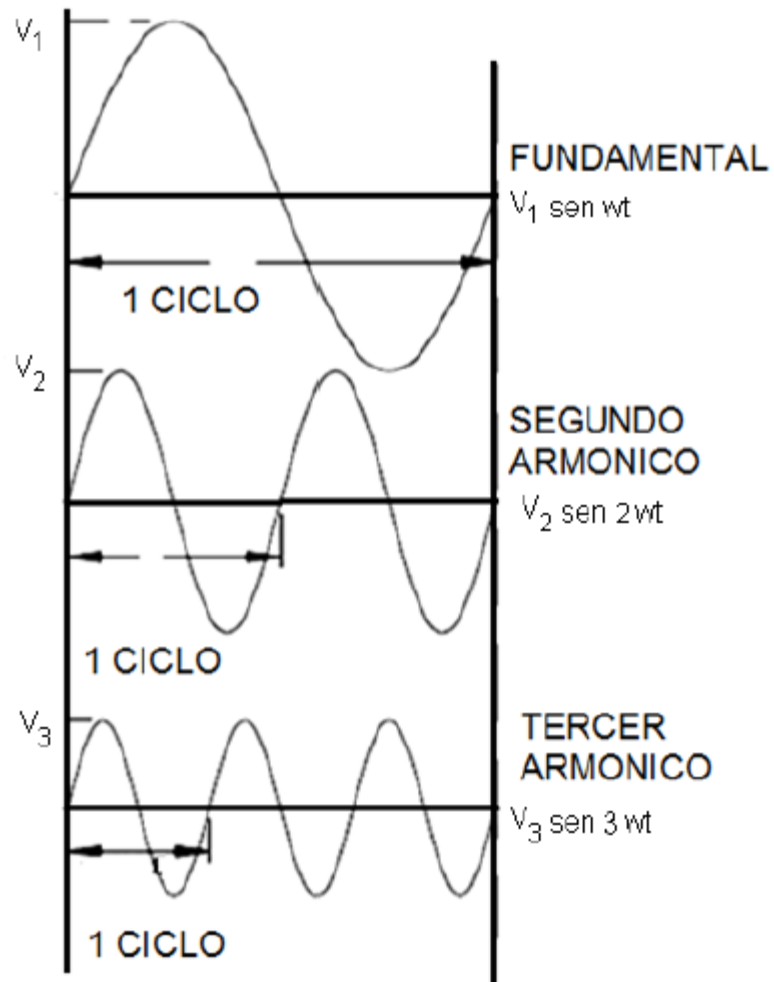
Usualmente los armónicos son representados y observados como múltiplos enteros pero existen aplicaciones que producen armónicos de tensión y corriente que no son enteros. Los hornos de arco eléctrico son ejemplo de cargas que generan armónicos que no son enteros.

Idealmente una fuente de tensión eléctrica debe mostrar invariablemente una señal de tensión y corriente con una forma de onda sinusoidal pura, para cualquier carga. Debido a la inserción en el sistema de cargas no lineales el sistema se ha visto mermado debido a una fuerte distorsión armónica cuyos efectos son tangibles en las formas de onda de tensión y corriente como se muestra en la figura:



Señal ideal de intensidad de corriente y tensión eléctrica en función del tiempo.

En la siguiente figura se muestran las ondas de tensión para la primera, segunda y tercer armónica



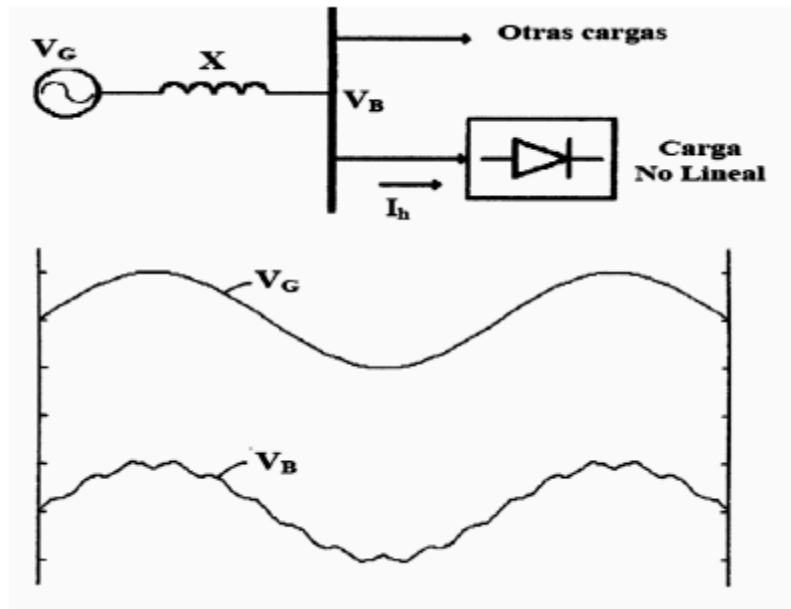
Onda fundamental de la segunda y tercer armónica

**a. Origen del problema de los armónicos**

Los sistemas eléctricos actualmente cuentan con una gran cantidad de elementos llamados no lineales. Las cargas no lineales son aquellas en las que la forma de onda de tensión y de corriente aplicadas no se parece a las que la fuente suministra, es decir las formas de onda en las cargas presentan distorsión. La distorsión armónica en su mayor parte es causada por las cargas no lineales.

En la figura siguiente se presenta el esquema del origen de los armónicos





Esquema básico de distorsión de tensión

Las corrientes de diferente frecuencia provocan caídas de tensión de frecuencia distinta de 60 Hz, en la reactancia de corto circuito X. Esto origina, en definitiva, que la tensión en la barra ( $V_B$ ) se distorsione como se observa en la figura 2.9, afectando a otros consumidores y a la misma carga no lineal.

Diferentes cargas no lineales producen espectros armónicos diferentes, pero identificables.

Esto hace que la tarea de identificar posibles causas de distorsión armónica más tangibles, es decir, cada carga no lineal produce una cierta forma de onda armónica que la hace identificable y por tal manera se puede eliminar el armónico producido bajo diferentes técnicas de mitigación de armónicos.

En la actualidad los controladores de velocidad ajustables que funcionan eficientemente son generadores de grandes corrientes de armónicos.

Las lámparas fluorescentes trabajan con tecnologías que coadyuvan a tener un menor consumo de energía eléctrica, en su proceso este tipo de lámparas son grandes fuentes

---

de armónicos de corriente. De igual manera la gran creciente del uso de computadoras personales es la causa de la proliferación de grandes cantidades de armónicos en edificios comerciales.

Los armónicos son un fenómeno que genera problemas tanto para los usuarios como para la entidad encargada de la prestación del servicio de energía eléctrica ocasionando diversos efectos negativos en los equipos de la red. Muchas de las cargas instaladas en el sistema eléctrico son grandes generadoras de armónicos que combinados con la impedancia del sistema eléctrico, producen armónicos de tensión.

#### **b. Modelado matemático del contenido armónico**

Los indicadores de armónicos permiten evaluar la cantidad de armónicos presentes en una instalación eléctrica, estos indicadores pueden ser de forma individual, es decir, el indicador de cada armónica y de forma total respecto a la fundamental. En la actualidad existen equipos de medición de los indicadores de armónicos, tales como los analizadores de redes.

La distorsión armónica individual (CI) es la relación entre la media cuadrática (RMS) del valor del armónico individual y el valor eficaz de la fundamental. Es decir:

$$IHD_n = \frac{I_n}{I_1}$$

La distorsión armónica individual sirve para cuantificar la distorsión con base a la frecuencia fundamental este cálculo es el ocupado por la IEEE, el valor de la distorsión armónica es siempre del 100%.

La distorsión armónica individual indica la contribución de cada armónico a la distorsión de la forma de onda, y la distorsión total armónica describe la desviación neta de toda la distorsión sobre la fundamental.

---

La distorsión armónica individual sirve para efectuar procesos de eliminación de armónicos, debido a que es un parámetro individual el cual muestra el comportamiento de una forma de onda armónica que afecta a cierto sistema eléctrico, basado en IHD se pueden proponer métodos de mitigación de armónicos.

La distorsión armónica total es un término usado para describir la desviación neta de los armónicos, los porcentajes de distorsión son diferentes con respecto a la distorsión armónica individual. La distorsión armónica total es la relación entre el valor RMS de los armónicos y el valor RMS de la fundamental. Por ejemplo si una corriente no lineal tiene una componente fundamental  $I_1$  y componentes armónicas  $I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, \dots$ , en términos del valor RMS se tiene que el valor total del armónico es :

$$I_H = \sqrt{(I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + I_6^2 + I_7^2 + \dots)}$$

$$THD = \frac{I_H}{I_1} \times 100\%$$

Siendo para la distorsión armónica de tensión las siguientes ecuaciones

$$E_H = \sqrt{(E_2^2 + E_3^2 + E_4^2 + E_5^2 + E_6^2 + E_7^2 + \dots)}$$

$$THD = \frac{E_H}{E_1} \times 100\%$$

La distorsión armónica total no proporciona parámetros particulares de las componentes de la distorsión armónica, pero los parámetros arrojados por la distorsión armónica total es de utilidad para el conocimiento de la forma de onda así como la frecuencia armónica característica. Esto es una referencia para el monitoreo de los armónicos.

---

### c. Efectos de los armónicos

El grado al cual los armónicos pueden ser tolerados es determinado por la susceptibilidad de la carga (o fuente de potencia) hacia ellos. El mínimo tipo de susceptibilidad de equipos es aquel en el cual la función principal es un calentador, tal como un horno u caldera. En este caso, la energía armónica generalmente es utilizada y es completamente tolerable.

El mayor tipo de susceptibilidad de los equipos es aquel cuyo diseño o constitución asume una entrada fundamental sinusoidal casi perfecta. Este equipo está frecuentemente en las categorías de comunicación o equipo de procesamiento de datos.

Un tipo de carga que normalmente se encuentra entre los dos extremos de susceptibilidad mencionados es la carga del motor. Muchas cargas de motores son relativamente tolerantes de armónicos.

Incluso en el caso de los equipos menos susceptibles, los armónicos pueden ser dañinos. En el caso de un horno, por ejemplo, ellos pueden causar calentamiento en el dieléctrico o esfuerzo eléctrico, el cual ocasiona envejecimiento prematuro del aislamiento eléctrico.

**En motores y generadores:** la presencia de armónicas de tensión y corriente en las máquinas rotativas incrementan el calentamiento debido a las pérdidas en el cobre y en el hierro a frecuencias armónicas. De este modo los componentes armónicos afectan la eficiencia de la máquina, y por lo tanto puede afectar el par desarrollado por el motor. Las corrientes armónicas en un motor pueden dar aumento a una alta emisión de ruido audible al compararlas con una excitación sinusoidal. Los armónicos además producen una distribución del flujo resultante en el entrehierro, el cual puede causar o intensificar el fenómeno llamado muesca (negándose a arrancar fácilmente) o un deslizamiento muy alto en motores de inducción.

**En transformadores:** con la excepción de aquellos armónicos aplicados a transformadores que pueden resultar en incrementos del ruido audible, los efectos en

---

estos componentes usualmente son aquellos de calentamiento. El efecto de los armónicos en transformadores es doble:

- Las corrientes armónicas causan un incremento de pérdidas en el cobre y pérdidas de flujos dispersos.
- Las tensiones armónicas causan un incremento de pérdidas en el hierro.

El efecto total es un incremento en el calentamiento del transformador, al ser comparado con una operación puramente sinusoidal (fundamental). La IEEE proporciona un límite de armónicos para el transformador de corriente. El límite superior del factor de distorsión de corrientes es el 5% de la cantidad de corriente.

Puede notarse que las pérdidas del transformador causadas por corrientes y tensiones armónicas dependen de la frecuencia. El incremento de pérdidas con el incremento de frecuencia y, por lo tanto, los componentes armónicos de alta frecuencia pueden ser más importantes que los componentes armónicos de baja frecuencia causando calentamiento en el transformador.

**En equipo electrónico:** El equipo electrónico de potencia es susceptible a mal funcionamiento causado por las distorsiones armónicas. Este equipo a menudo depende de la determinación exacta del cruce por tensión en cero o de otros aspectos de la forma de onda de tensión.

La distorsión armónica puede resultar en un cambio en el cruce por cero de la onda de tensión en el punto al cual una tensión eléctrica de fase a fase se vuelve mayor.

Estos son los dos puntos críticos para muchos tipos de controles de circuitos electrónicos, y estos cambios pueden llevar al mal funcionamiento del equipo.

Las computadoras y equipos asociados tal como los controladores programables frecuentemente requieren fuentes de corriente alterna con un factor de distorsión de

---

tensión armónico menor al 5%, con el mayor armónico solo siendo menor al 3% de la fundamental de tensión.

Los altos niveles armónicos resultan en irregularidades, algunas veces sutiles, mal funcionamiento de los equipos que pueden, en algunos casos, tener serias consecuencias. Los instrumentos pueden ser afectados similarmente, dando datos erróneos o de otra manera puede resultar su funcionamiento impredecible

**En mediciones:** Los equipos e instrumentos de medición son afectados por componentes armónicas. Los dispositivos con disco de inducción, normalmente registran solo la corriente fundamental; sin embargo el desbalance de fase ocasionado por las distorsiones armónicas puede causar operaciones erróneas en estos dispositivos, estos errores pueden ser tanto positivos como negativos sobre el valor real, dependiendo del equipo de medición

**Mecanismos de control:** En los sistemas de control las corrientes armónicas pueden incrementar el calentamiento y las pérdidas en mecanismos de control, por lo tanto reducen la capacidad de carga de la corriente y acortan la vida de algunos componentes.

Los fusibles sufren una reducción en su capacidad nominal debido al calentamiento generado por los armónicos.

Actualmente no hay una norma para los niveles de corrientes armónicas requeridas por los dispositivos de maniobra o fusibles para la interrupción, debido a que todas las pruebas son realizadas en intervalos de frecuencias de alimentación.

En forma muy resumida se presentan en este punto algunos de los efectos negativos más importantes de las armónicas.

- Mayores solicitaciones térmicas.
  - Pérdidas adicionales en conductores.
  - Pérdidas adicionales en núcleos de las máquinas.

- 
- Mayor exigencia del sistema dieléctrico.
    - Conductores.
    - Condensadores.
  - Operaciones anormales y fallas de equipos.
    - Pares pulsantes en máquinas.
    - Operaciones falsas en protecciones.
    - Señales de referencias falsas.
    - Interferencia en comunicaciones.
    - Errores de medición.
    - Interferencia electrónica de aparatos de control.
    - Corrientes importantes en neutros.
  - Excitación de resonancias en la red.
    - Explosión de filtros o bancos de condensadores.
    - Destrucción de transformadores.
    - Operación de fusibles.

En las últimas décadas, las empresas eléctricas y los usuarios se han visto enfrentados a la necesidad de optimizar sus procesos para mejorar la eficiencia en el uso de la energía eléctrica.

El aumento en la eficiencia se ha conseguido mediante la incorporación masiva de convertidores estáticos, para controlar y transformar la energía eléctrica. Los convertidores estáticos han sido en gran medida responsables de los grandes avances en la automatización de los procesos industriales.

Sin embargo, estos equipos se caracterizan porque demandan corrientes no sinusoidales de la red, originando distorsiones en las tensiones y corrientes. En la actualidad, se observa que el uso industrial de los convertidores estáticos sigue aumentando y con ello incrementan los problemas asociados a las corrientes no sinusoidales. Esta es la razón de porqué se ha producido un gran interés en el problema de las armónicas en redes eléctricas.

---

## E. Factor de potencia

Se puede definir como el coseno del ángulo de desplazamiento de las ondas de corriente y tensión, referidas a un eje de referencia.

De igual forma es la relación existente entre la potencia real y la potencia aparente. En otras palabras se puede entender como un indicador del aprovechamiento de la energía que se recibe, en la instalación.

El bajo factor de potencia es un problema común que se presenta en las instalaciones eléctricas, el cual afecta directamente al consumidor, asimismo está en sus manos corregirlo para obtener un beneficio. El fundamento de este problema se encuentra en los principios básicos de los circuitos de corriente alterna, con hincapié en las potencias activa, reactiva y aparente.

### ➤ Modelo matemático

**Potencia activa:** es la cantidad de potencia realmente consumida por una carga, su unidad de medida son los watts, se puede medir directamente con un wattímetro. Se representa con la letra "P", para su cálculo se tiene

$$P = VI \cos \emptyset = S \cos \emptyset = S (F.P.)$$

Dónde:

P= Potencia activa, en W.

V= Tensión eléctrica, en V.

I= Intensidad de corriente en A.

$\emptyset$  = Es el ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad de corriente eléctrica.

S= Potencia aparente, en VA.

Q= Potencia reactiva, en Var



---

**Potencia reactiva:** los dispositivos eléctricos que hacen uso del efecto de un campo electromagnético, utilizan la potencia activa para efectuar su trabajo útil, asimismo utiliza la potencia reactiva para poder generar el campo magnético.

Esta potencia está dada en volt-amper reactivos (VAR), se representa por la letra Q, y para su cálculo se tiene:

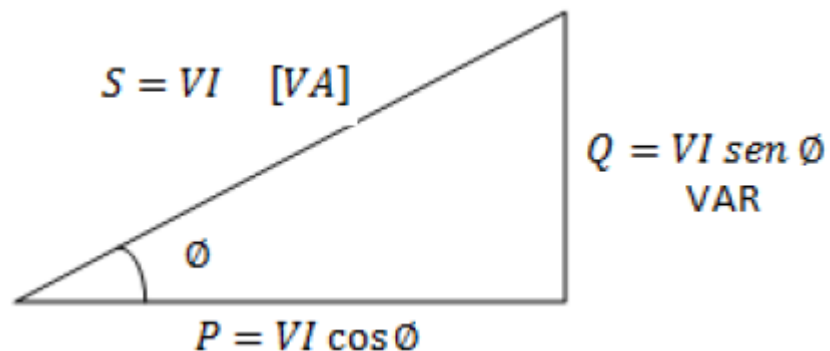
$$Q = S \operatorname{sen}\phi = V I \operatorname{sen}\phi$$

**Potencia aparente:** la suma fasorial de la potencia reactiva y activa da la potencia aparente, es decir, es la potencia total que consume una determinada carga eléctrica para realizar su función de manera completa. Está dada en Volt-Amper, y se representa con la letra “S”, se calcula de la manera siguiente

$$S = V * I$$

Las ecuaciones de potencias están dadas en su forma general, las cuales dependerán del arreglo del sistema al cual se esté estudiando.

**Representación gráfica:** Las potencias antes mencionadas se relacionan gráficamente, por medio del triángulo de potencias, como se muestra en la figura



---

## Triángulo de potencia

Las cargas eléctricas pueden estar compuestas por elementos inductivos, capacitivos y resistivos. La componente reactiva está compuesta por cargas capacitivas e inductivas, donde tienen efectos opuestos, por lo cual la potencia reactiva se determina por su diferencia.

Si en la carga eléctrica predomina el elemento inductivo corresponde al triángulo de potencia de la figura , si predomina la carga capacitiva corresponde el de la figura . Es de resaltar que las cargas predominantes en las instalaciones eléctricas son las del tipo resistivo e inductivo.

El factor de potencia se define teóricamente como la razón de la potencia activa a la potencia aparente, como se muestra a continuación

$$F.P. = \frac{\text{Potencia activa}}{\text{potencia aparente}} = \frac{P}{S}$$

Aplicando el teorema de Pitágoras al triángulo de potencias se tiene

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Sustituyendo la ecuación en la , se obtiene:

$$F.P. = \frac{P}{P^2 + Q^2}$$

Así mismo aplicando las ecuaciones de la potencia activa y aparente, se obtiene

$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{VI \cos \phi}{VI} = \cos \phi$$

La variable corresponde al ángulo de desfase entre el vector de tensión y el vector de intensidad de corriente eléctrica. A partir de las ecuaciones anteriores se puede

---

deducir que cuanto menor sea este ángulo mejor se estará aprovechando la energía eléctrica.

Para mejorar el factor de potencia en una instalación eléctrica es necesario compensar los efectos inductivos con su elemento contrario, el capacitor, una carga que consuma mayor potencia reactiva el F.P. será más bajo, y por lo consiguientes será mayor la cantidad de corriente en la red.

Por ejemplo para un factor de potencia igual a 0.5 la cantidad de la corriente por la carga será dos veces la corriente útil, es decir, se puede reducir un 50% la corriente demandada sin sacrificar parte de la carga. De igual manera dada una potencia, la cantidad de corriente que demanda una carga se incrementa a medida que el factor de potencia disminuya.

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

Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución. Todas las cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación.

➤ **Origen del factor de potencia bajo**

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares.

---

Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución del factor de potencia. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de

Un gran número de motores.

- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Sobre-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.
- Mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.
- Las cargas puramente resistivas, tales como alumbrado incandescente, resistencias de calentamiento, etc. No causan este tipo de problema ya que no necesitan de la corriente reactiva.

Mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico, por medio de la instalación de bancos de capacitores eléctricos estáticos, o utilizando motores sincrónicos disponibles en la industria (algo menos económico si no se dispone de ellos).

➤ **Problemas debidos a un factor de potencia bajo.**

El factor de potencia está ligado directamente con la corriente del sistema, y a su vez con el aprovechamiento de la energía que se consume. Por lo cual si se aumenta la corriente la cual es innecesaria se ocasionan grandes problemas, como son:

- Aumentan las pérdidas por efecto Joule en: conductores, embobinados de transformadores, etc.
- Al aumentar la corriente, aumenta la caída de tensión que puede afectar al los sistemas de protección y control.
- Las instalaciones eléctricas no pueden ser usadas a toda su capacidad, lo cual toma importancia en los transformadores de distribución.

- 
- Existen penalizaciones al usuario, haciendo que pague más por consumo de electricidad.

## **5.6 Elementos para el análisis de la calidad de la energía eléctrica**

### **a) Normatividad vigente**

En el presente capítulo se describen los elementos necesarios para llevar a cabo un análisis de la calidad en la energía, estos elementos son base importante, debido a que fincarán los intervalos permitidos a cada parámetro de la calidad de la energía, es decir normas, la forma de medición de los parámetros y los equipos actuales para la realización de estudios de calidad de la energía

### **b) Medición de los parámetros de la calidad de la energía eléctrica**

Dentro de este apartado se presentan los elementos necesarios para realizar las mediciones de los parámetros que intervienen en la calidad de la energía. Así mismo los equipos de monitoreo de los parámetros de calidad.

#### **➤ Tensión eléctrica**

La tensión eléctrica es un parámetro muy importante, debido a que la forma de onda de la tensión contiene varios indicadores de la calidad de la energía. La medición de la tensión permite conocer el nivel suministrado por la compañía así como para determinar si existen parámetros bajos en tensión.

La medición de la tensión de cualquier dispositivo eléctrico, es en paralelo, es decir, el equipo de medición voltmetro se conectará en paralelo con la carga. La gran ventaja que ofrece el analizador de redes es que sin importar el lugar de la medición, este dará los

---

valores de tensión así como la cuantificación de los disturbios existentes en la red bajo estudio.

➤ **Frecuencia eléctrica**

La frecuencia eléctrica es un parámetro muy importante debido a que al igual que la tensión este parámetro viene desde la compañía suministradora, en el caso de Nicaragua es de 60 Hz. Este parámetro toma su importancia en que todo el sistema eléctrico se encuentra sincronizado a esa frecuencia y una variación en este parámetro significa mala calidad de la energía y pérdidas económicas muy grandes.

Para realizar una medición de la frecuencia es posible realizarlo con un medidor de la frecuencia que es un instrumento que utiliza el conteo del número de repeticiones de una onda en un intervalo de tiempo, mediante el uso de un contador que acumula el número de periodos.

Este equipo de la misma manera que un voltímetro es colocado en paralelo a la red. El Analizador de redes tiene la versatilidad que realiza la medición de la frecuencia así como mostrar su forma de onda y contenido armónico.

➤ **Armónicos**

Este parámetro de los armónicos es posible ser cuantificado por equipos especiales, que según su intervalo podrán apreciar hasta el armónico 50.

La cuantificación de los armónicos involucra las formas de ondas tensión y de corriente, debido a que éstas serán analizadas para conocer su contenido armónico. Los armónicos pueden ser mensurados por un analizador de armónicos o incluso con el analizador de redes, su conexión y aplicación se ve más adelante.

---

➤ **Factor de potencia**

La medición del factor de potencia es de suma importancia ya que ésta medición no puede ser realizada de forma directa, es por eso que esta es realizada por medio del analizador de redes. Este dispositivo se encarga de obtener las potencias activas, reactivas y aparentes de la red, con estos datos el analizador por medio de la programación del mismo realiza las operaciones necesarias para obtener el factor de potencia y el ángulo del mismo.

c) **Equipos de medición de calidad de la energía**

La calidad de la energía es un concepto muy importante, consta de diferentes variables e índices que determinan los estándares de esta calidad. Para ello es necesaria la aplicación de instrumentos capaces de medir las variables y por medio de cálculos analíticos determinar los valores en los que se encuentran operando bajo los intervalos establecidos por las normas existentes.

Para la aplicación de un equipo de medición es necesario tener el conocimiento previo de la constitución del sistema eléctrico, así como del lugar donde se realizara dicha medición. Asimismo los conocimientos sobre los factores de la calidad de la energía son primordiales para tener el poder de discriminación al realizar las mediciones; de la misma manera se debe tener conocimiento del equipo de medición a utilizar.

Este tipo de mediciones serán aplicadas para encontrar la problemática existente, en el lugar de estudio. Al obtener los resultados de las mediciones es posible encontrar una solución a la problemática o un conjunto de soluciones que serán tomadas dependiendo del análisis posterior a las mediciones. Es por tal razón que la aplicación de instrumentos de medición es necesaria en la cuantificación de la calidad de la energía.

➤ **Analizador de armónicos**

---

Este es un instrumento que mide y graba la distorsión armónica, la cual es presentada en la pantalla en tiempo real, mientras se va almacenando para futuros estudios. Los analizadores de armónicos pueden ser dispositivos de mano o de mesa.

En una medición de calidad de la energía en específico si se trata de cuantificar los armónicos es necesario según autores, tener como máximo hasta el 25 armónico para determinar la forma de onda de la frecuencia. El número cuantificable de armónicos dependerá del equipo a utilizar ya que estos dependen de los intervalos que estos manejen según el fabricante.

Para realizar una medición correcta de armónicos, el dispositivo de medición debe cumplir que la frecuencia de muestreo debe ser el doble de la frecuencia del mayor armónico de interés, el cual dependerá del tipo de carga bajo estudio; esto para poder tener una mayor exactitud.

Esta regla es llamada el “teorema de muestreo de Nysquist” y sirve para determinar con precisión el contenido armónico de una frecuencia y es el número de muestras por segundo,

Los armónicos en una medición en el analizador son mostrados como porcentaje del valor RMS. La convención de la IEEE indica que serán valores en función de la distorsión armónica total, basados en la frecuencia fundamental

#### ➤ **Analizadores de transitorios**

Estos son equipos de adquisición de datos para captura y almacenamiento, pero presentan poca duración solo un subciclo de los disturbios del sistema eléctrico. Las tasas de muestreo de este tipo de instrumentos son muy altas de dos a cuatro millones de muestras por segundo y éstas se encuentran en posibilidad de describir estos eventos en términos de su amplitud y contenido de frecuencias.



---

Estos atributos del analizador de transitorios permiten tener un análisis a detalle de la amplitud de forma de onda acerca del daño potencial que pudiesen afectar a los equipos a proteger. Una vez que se obtienen los datos del daño del que provee el transitorio es necesario conocer la susceptibilidad que el equipo tiene ante dicha problemática.

➤ **Analizador de redes**

El analizador de redes es un dispositivo de adquisición y almacenamiento de datos, en tiempo real en los que se puede medir:

- Potencia activa.
- Potencia reactiva.
- Potencia aparente.
- Tensión.
- Corriente.
- Distorsión armónica.
- Interferencias en la red.
- Transitorios

Todos los parámetros son analizados y dependiendo de la función se mostrarán en tiempo real. Las magnitudes que no son presentadas son almacenadas en la memoria del equipo o pueden ser monitoreadas vía internet.

Hay dos tipos principales de analizadores de redes:

- SNA (Scalar Network Analyzer) – Analizador de redes escalar, mide propiedades de amplitud solamente.
- VNA (Vector Network Analyzer) – Analizador de redes vectoriales, mide propiedades de amplitud y fase

Un analizador del tipo VNA también es llamado Medidor de Ganancia y Fase o Analizador de Redes Automático. Un analizador del tipo SNA es funcionalmente idéntico a un analizador de espectro combinado con un generador de barrido. Hasta el año 2007, los analizadores VNA eran los más comunes y frecuentemente calificados como los de menor calidad.

Los analizadores de redes soportan tensión que son especificadas por el fabricante, así como las corrientes que pueden ser mensuradas. La mayoría de los analizadores son trifásicos, de ahí que estos pueden obtener el factor de potencia del lugar en el cual se

---

realiza el estudio. Los analizadores de redes son el instrumento ideal para la realización de un estudio de calidad de la energía.

➤ **Amperímetro de gancho.**

El amperímetro de gancho es una tenaza amperímetra que nos va a mostrar los parámetros de intensidad de corriente en una línea.

En el mercado existen una gran variedad de modelo y marcas por lo que sus rangos varían de acuerdo al modelo y la capacidad a medir, aquí se muestra algunos rangos de operación de algunos equipos:

**CARACTERÍSTICAS:** En Baja Tensión los rangos de medida son: 60/150/300/600/1200 Amperes y en Alta Tensión existen equipos para medir, directamente en redes de alta tensión, voltaje, corriente, factor de potencia, armónicas, energía, etc. Miden voltaje hasta 40 kV y corrientes de hasta 3000 Amperes en redes de 230 kV.

➤ **Factorímetro.**

El factorímetro es una tenaza fasimétrica, se utiliza para realizar mediciones del factor de potencia en redes monofásicas y trifásicas. Nos da una idea de sí estamos trabajando con cargas inductivas o capacitivas.

**CARACTERÍSTICAS:** En Baja Tensión la intensidad nominal es de 10 a 1000 Amperes para tensiones nominales de 100 V (+/- 20 V), 200 V (+/-40 V) y 300 V (+/-80 V).

Para Alta Tensión la intensidad nominal es de hasta 3000 Amperios para voltajes nominales de hasta 1000 V.

## **VI. Metodología de la investigación**

La metodología que se utilizara para este estudio es la investigación de campo e investigación cuantitativa.

De campo porque se recabara información en el lugar o sitio de la industria, además se acopiara información que no está registrada, mediante técnicas específicas. Cuantitativa porque se generarán datos apoyados en tratamiento estadístico.

---

El Modelo propuesto a seguir es un elemento que se destaca en esta metodología, su carácter participativo e inclusivo, puesto que recupera las percepciones de todos los actores (Operarios, jefe de mantenimientos, técnicos etc.) y medidas de parámetros eléctricos directamente, para luego interpretarlos.

El universo de la aplicación de la metodología para el estudio de la calidad de la energía eléctrica, son los sistemas eléctricos de alguna industria o empresa donde se necesite llevar a cabo un estudio de este tipo.

En primer lugar se realiza una búsqueda bibliográfica acerca de temas referentes a la calidad de energía eléctrica para sistemas eléctricos enfocada en medición y sus normas; en bibliotecas, artículos y publicaciones utilizando diversas bases de datos especializados

Luego se elaboraran los instrumentos de recolección de la información para el análisis y estudio de la calidad de la energía eléctrica.

Una vez desarrollados estos instrumentos, el usuario puede empezar por visitar las instalaciones de la planta en estudio, considerando estos pasos:

- Revisión de las prioridades para evaluación de la planta.
- Preparación de un itinerario detallado del proyecto basado en esas prioridades.
- Preparación de entrevistas, cuestionarios, tabla de datos, otras herramientas para recolección y proceso de los datos, además instrumentos de medición a utilizar.

Las fuentes de información para el estudio son

#### 1. Fuentes primarias

- a. Entrevista a los Técnicos, operarios, jefe de mantenimiento etc. Por lo tanto de realizaran instrumentos de recolección de información.
- b. Información recopilada por los instrumentos de medición de parámetros eléctricos. Por ejemplo el Analizador de redes Fluke 43B.

---

## 2. Fuentes Secundarias

- a. Historial de consumo eléctrico de la planta, factura eléctrica
- b. Trabajos realizados en la planta, planos eléctricos etc.

## 3. Procesamiento de información y redacción preliminar de resultados

Finalizada la fase de campo se completara el periodo de recepción, Ordenamiento, procesamiento y análisis de la información primaria y secundaria, así como la redacción preliminar de los resultados.

Además nos apoyaremos en gráficos y tablas en Excel. Esto permitirá proveer elementos esenciales para la evaluación y sirve de referencia para orientar la identificación de información adicional y el diseño de instrumentos complementarios para el análisis.

Toda la información recopilada una vez analizada servirá para la elaboración del reporte final del estudio y análisis planteado.

Al final del estudio se puede considerar tener una reunión para la discusión del reporte y con ello aclarar posibles dudas.

## **VII. Propuesta de metodología para realizar estudio**

El objetivo de la presente metodología, es el de poner en manos de los administradores de la energía en el sector industrial de Nicaragua, una herramienta de fácil aplicación para la ejecución de auditorías energéticas en sus instalaciones, que les ayude a reducir sus consumos de energía eléctrica y térmica.

### **7.1 Recopilar datos y recorrido por la planta**

El objetivo de este paso es el de reunir datos de todo aquello relacionado con el uso de la energía de la planta, tales como: historial de producción y consumo de energéticos, información recopilada como resultado de una inspección visual a toda la planta,

---

programas de mantenimiento y levantamiento de datos de equipos consumidores de energía.

a) **Historial de consumo y producción**

**Energía térmica**

Obtener los datos del consumo de combustible de por lo menos los últimos 12 meses La información a registrar es: El tipo de combustible utilizado, las unidades de registro (lts, m3, etc), el proveedor, capacidad de almacenamiento de la planta, inventario de unidades al inicio de mes, entregas realizadas durante el dicho mes, el costo unitario y total en el mes, así como el poder calorífico del combustible.

**Energía eléctrica**

Obtener los datos del consumo de electricidad. Aquí se concentra la información histórica de la factura eléctrica, señalando la tarifa contratada, la capacidad instalada (si aplica), el nombre de la compañía suministradora, los consumos y demandas mensuales durante los últimos 12 meses, así como el factor de potencia y el importe total del servicio.

**Producción**

Obtener el historial de producción de la planta durante los períodos correspondientes a los obtenidos anteriormente, señalando el producto y la producción.

b) **Inspección Visual**

Esta actividad consiste en hacer un recorrido por las instalaciones, en el que se observe la operación de los principales procesos y equipos consumidores de energía.

Como parte de esta actividad se deberá elaborar un diagrama de flujo del proceso, en el que se muestren los principales equipos consumidores de energía térmica, y un diagrama eléctrico unifilar que contenga los principales equipos consumidores de energía eléctrica.

---

### c) Análisis de los programas de operación y mantenimiento

El objetivo de esta actividad es el de identificar problemas de operación y mantenimiento que puedan redundar en una baja eficiencia energética de los sistemas y equipos.

La actividad involucra lo siguiente:

- Revisar los programas de mantenimiento de las instalaciones. Averiguar sobre las fechas de su ejecución, su problemática a nivel técnico y organizacional. Registrar dicha información”.
- Analizar los procedimientos de operación de la planta, para establecer procedimientos de operación, que redunden en un ahorro de energía.

### d) Registro de levantamiento de datos

En esta actividad se realizará el levantamiento de los datos de placa de todas las cargas eléctricas conectadas a los buses y de todas las cargas térmicas en la empresa.

A continuación se describen los formatos que se deben utilizar, así como la información que se debe recabar en cada uno de ellos:

<b>Formato “A1”.- Datos de placa de transformadores</b>	
Identificación	Identificación del transformador
Tipo	Tipo
Marca	Marca del transformador
Capacidad	Capacidad nominal en kVA.
Rel. de transf	Voltaje del primario/Voltaje del secundario
Conexión	Tipo de conexión en el devanado primario, y el devanado secundario
Z%	Impedancia característica del transformador
Eficiencia	Eficiencia nominal del transformador %.

Notas	Se anotarán comentarios y observaciones adicionales no cubiertos en los puntos anteriores, como la detección de falsos contactos, deterioro de aislamiento, etc
-------	---

<b>Formato "A2".- Registro de levantamiento de Iluminación</b>	
Área	Área o lugar correspondiente
Luminario	Tipo de luminario, altura de montaje y separación entre luminarios.
Lámparas	Tipo, número y potencia (Watts)
Operación	Número de horas de operación al año
Observaciones	Datos para indicar el tipo de tratamiento que se puede dar en la implantación de medidas

<b>Formato "A3".- Registro de levantamiento de motores</b>	
Identificación	Identificación del motor
Tipo de	Levantamiento de las características del motor como Son: corriente directa o alterna, vertical u horizontal, abierto o cerrado, acoplamiento y carga
Datos de placa	Los datos de placa del fabricante: marca, hp, voltaje, corriente, rpm, armazón, número de catálogo, factor de servicio y eficiencia.
Operación:	Información sobre el motor: horas al año de operación, Número de rebobinados, técnica de rebobinado y antigüedad.
Observaciones	

<b>Formato "A4".- Registro de compresores de aire</b>	
Identificación	Identificación del compresor
Datos de Placa	Los datos de placa del fabricante: voltaje, corriente, hp, rpm, marca y modelo.
Operación	Información sobre el compresor: horas al año de operación, presión, temperatura y caudal
Observaciones:	Información adicional no contemplada en los rubros anterior Y de ayuda en la implementación de medidas de ahorro.

<b>.Formato "A5".- Registro de equipos de bombeo</b>	
Identificación	Identificación del equipo de bombeo
Datos de placa de la bomba	Los datos de placa del fabricante: marca, modelo, tipo, tamaño, número de serie, presión máxima, hp, gasto, carga y rpm.
Datos de placa del Motor	Los datos de placa del fabricante: hp, voltaje, corriente y rpm.
Operación	Información sobre la bomba: horas al año de operación Y aplicación

<b>Formato "A6".- Registro de extractores/ventiladores</b>	
Identificación	Identificación de los extractores / ventiladores.
Datos de placa de los ventiladores /extractores	Los datos de placa del fabricante: voltaje, corriente, hp, rpm, marca y modelo.
Operación:	Información sobre los ventiladores / extractores: horas al año de operación y caudal.
Observaciones	Información adicional no contemplada en los rubros anteriores y de ayuda en la implementación de medidas de ahorro.

<b>Formato "A7".- Registro de aire acondicionado</b>	
Ubicación	Ubicación del equipo de aire acondicionado.
Datos de placa del equipo de aire acondicionado	Los datos de placa del fabricante: tipo, marca, capacidad potencia, EER y refrigerante (tipo y cantidad).
Operación	Información sobre los aires acondicionados: horas al año de operación
Observaciones	Información adicional no contemplada en los rubros anteriores y de ayuda en la implementación de medidas de ahorro.
Características del edificio	Información relevante referente a la ganancia de calor en el edificio como son: orientación de las fachadas del edificio, materiales de techo y pared, utilización, volumen, infiltraciones, etc.

<b>Formato "A8".- Cámaras y/o sistemas de refrigeración</b>	
Ubicación	Ubicación de la cámara y/o sistema de refrigeración.
Datos de placa del equipo de aire acondicionado	Los datos de placa del refrigerante: tipo, marca, capacidad y refrigerante (tipo y cantidad)



Características principales	Características de la cámara y/o sistema de refrigeración tipo de compresor y dimensiones del volumen a refrigerar (largo, ancho y profundidad).
Operación	Información sobre las cámaras y/o sistemas de refrigeración: horas al año y temperatura de operación.
Observaciones	Información adicional no contemplada en los rubros anteriores y de ayuda en la implementación de medidas de ahorro.

<b>Formato "A9".- Registro de equipos de oficina</b>	
Área	Área o lugar correspondiente
Equipo	Los diferentes tipos de equipos representativos (numerosos y de gran cantidad de horas de operación), los cuales pueden ser: computadoras, cafeteras, ventiladores, etc.
Potencia:	Potencia eléctrica del equipo en Watts.
No. De equipos	Cantidad de equipos en el área.
Operación	Información sobre los equipos de oficina: horas al año de operación.
Observaciones	Información adicional no contemplada en los rubros anteriores y de ayuda en la implementación de medidas de ahorro.

## 7.2 Toma de mediciones en campo

En esta actividad se realizarán las mediciones de los parámetros de operación de los equipos, con la finalidad de determinar la eficiencia energética de cada uno de ellos, así como con la finalidad de obtener información que permita proponer mejoras.

### a. Mediciones a equipos consumidores de energía eléctrica

Los formatos a utilizar y las mediciones a realizar como parte de esta actividad se describen a continuación:

<b>Mediciones de iluminación (Formato B1)</b>	
Localización	Localización de la luminaria
Luminaria	Tipo y cantidad de luminarias
Lámparas	Tipo, potencia eléctrica y número de lámparas por luminaria
Balastro	Tipo de balastro: electromagnético o electrónico
Operación	Información sobre el manejo de las luminarias: horas al año de operación y tipo de control.
Niveles de iluminación	Los niveles de iluminación en luxes en: el lugar de trabajo, el máximo y el mínimo

Reflectancia	La capacidad de las superficies de reflejar la luz: directa y reflejada
Observaciones	Información adicional no contemplada en los rubros anteriores y de ayuda en la implementación de medidas de ahorro
<b>Mediciones de motores (Formato B2)</b>	
Identificación:	Identificación del motor.
· Voltaje	Lectura de medición de voltaje de operación en las terminales del motor en volts.
Corriente:	Lectura de medición de corriente del motor en amperes
Potencia	Medición de potencia del motor en kilowatts
Factor de potencia:	Medición de factor de potencia del motor en %.
Observaciones:	Información adicional no contemplada en los rubros anteriores y de ayuda en la implementación de medidas de ahorro.
<b>Mediciones de fugas de aire (Formato B3)</b>	
Características:	Las características del funcionamiento del compresor para compensar las fugas de aire, éstas son las siguientes: Cantidad de aire suministrado por el compresor, presiones de operación (máxima y mínima) y operación del compresor en horas/año.
Mediciones	Las mediciones efectuadas durante la prueba de fugas de aire, estas son: el tiempo que el compresor está en funcionamiento, el tiempo comprendido entre paro y paro del compresor, la potencia eléctrica demandada por el compresor y comentarios sobre la prueba.
Ciclos	La repetición de las mediciones (entre más mediciones, valores promedio de tiempo más precisos).

<b>Mediciones a equipos de bombeo (Formato B4)</b>	
Características del fluido a bombear	Características del fluido a bombear, como son: fluido temperatura de fluido, peso específico del fluido y observaciones
Diagrama esquemático	Representación gráfica del equipo de bombeo.
Mediciones hidráulicas	Mediciones relacionadas con los cálculos hidráulicos como son: nivel del depósito de succión, longitud de tubería de succión, distancia de descarga del manómetro, altura del manómetro de descarga, así como también, diámetro de tubería, material de tubería, presión, gasto y velocidad tanto en la succión como en la descarga, por último anotar cualquier observación pertinente que ayude en la evaluación del equipo de bombeo.

<b>Mediciones de aire acondicionado (Formato B5)</b>	
Datos de diseño del equipo	Los datos de placa del fabricante, marca, número de serie, modelaje, voltaje, cantidad de refrigerante, potencia, corriente, presión y EER.

Datos del compresor	Los datos de placa del fabricante: tipo de compresor, marca, modelo, serie, desplazamiento volumétrico y tipo de refrigerante.
Medidas	Mediciones encaminadas en la determinación de la eficiencia energética del equipo: velocidad del aire, área donde se mide la velocidad del aire, temperatura y humedad relativa tanto en la entrada como en la salida del equipo, voltaje, corriente, potencia eléctrica y factor de potencia.
Observaciones	Información adicional no contemplada en los rubros anteriores y de ayuda en la implementación de medidas de ahorro.

<b>Mediciones al sistema de refrigeración (Formato B7)</b>	
Identificación	Identificación del sistema de refrigeración.
Características	Características del sistema de refrigeración, como son: tipo, marca, modelo, hp, desplazamiento volumétrico, tipo de refrigerante y operación.
Mediciones:	Mediciones al sistema de refrigeración, como son: presión tanto de succión como de descarga del compresor, potencia eléctrica y comentarios sobre la evaluación.

### **7.3 Analizar los datos**

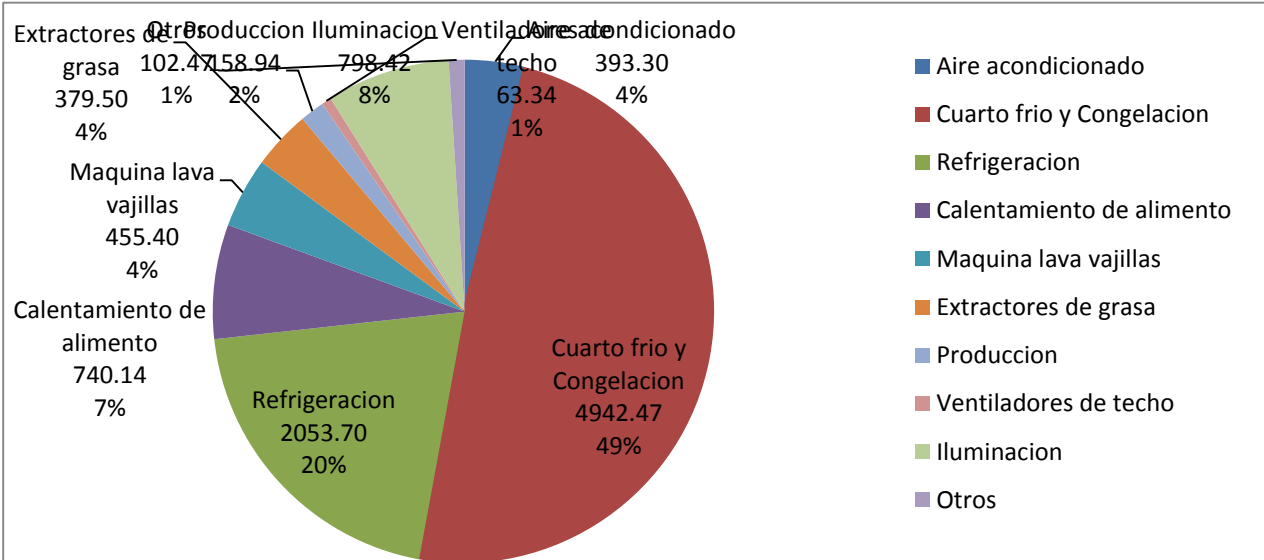
Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores de la AE, la información deberá ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad de ahorro de energía que ofrezca la instalación.

Con la finalidad de identificar a los equipos y sistemas más intensivos en el consumo de energía, la primera actividad a realizar en esta etapa de la AE, es la realización de los balances de energía.

Por otra parte con la finalidad de asegurar que se están evaluando todas las medidas de ahorro posibles, es muy importante el contar con una lista de verificación de áreas de oportunidad de ahorro por tipo de aplicación.

#### **a) Elaboración de balances de energía**

Los balances de energía pueden ser presentados en forma tabular, o gráficamente en forma de diagrama de pastel, en el que cada rebanada represente el consumo de energía de cada sistema analizado, como se indica en la figura siguiente.



Balance de energía

Es muy importante verificar que la suma de los consumos de energía de las rebanadas que conforman el pastel coincida con el consumo de energía promedio de la instalación de acuerdo a la facturación de la compañía suministradora.

**b) Listas de medidas de ahorro de energía**

En esta sección se presentan las listas de medidas de ahorro de energía más comunes por aplicación, las cuales servirán como listas de verificación. Es conveniente tomar en cuenta que estas listas de verificación son solamente una guía para el auditor.

Medidas de ahorro de energía en iluminación	
Áreas de Oportunidad	Medidas Típicas de Ahorro
Balastos en lámparas de Descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>Balastos electrónicos en lugar de los electromagnéticos.</li> <li>Utilización de balastos inteligentes en aplicaciones con requerimientos de iluminación variable.</li> <li>Reemplazo de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas o LED's.</li> </ul>
Reemplazo de lámparas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazo de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas o LED's.</li> <li>Utilización de lámparas fluorescentes T8 y T5.</li> </ul>

por equipos de mayor eficacia luminosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilización de lámparas de inducción.</li> <li>• -Utilización de lámparas de vapor de sodio.</li> </ul>
Utilización de luminarias con mayor coeficiente de utilización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reemplazo de luminarias con bajo coeficiente de iluminación.</li> <li>• Instalación de reflectores especulares para incrementar el coeficiente de utilización de luminarias.</li> </ul>
Entorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar colores claros en paredes, techo y pisos, así como en el mobiliario.</li> <li>• Aprovechar la luz natural en interiores.</li> </ul>
Sistema de control	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilización de fotoceldas en sistemas de iluminación exterior.</li> <li>• Utilización de fotoceldas en sistemas de iluminación interior que reciban luz natural.</li> <li>• Utilización de sensores de presencia en áreas interiores, tales como pasillos de poco tránsito, privados, salas de juntas, almacenes y sanitarios.</li> <li>• Utilización de temporizadores en aplicaciones con horarios definidos.</li> <li>• Automatizar la operación de los sistemas de iluminación.</li> </ul>
<b>Medidas de ahorro de energía en aire acondicionado</b>	
<b>Áreas de Oportunidad</b>	<b>Medidas Típicas de Ahorro</b>
Disminuir las ganancias de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aislamiento de muros y techos</li> <li>• Eliminar o disminuir infiltraciones por hendiduras puertas y ventanas que no cierran bien</li> <li>• Instalación de dobles puertas, cortinas de aire o puertas automáticas en accesos de alto tránsito</li> <li>• Instalar elementos sombreadores o cortinas en superficies transparentes por las que entre la radiación solar directa o reflejada.</li> <li>• Evitar fuentes de calor dentro de las áreas acondicionadas</li> </ul>
Utilización de variadores de velocidad de estado sólido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En compresores centrífugos.</li> <li>• En equipos de bombeo de sistemas tipo chillers o bombas de agua de enfriamiento.</li> <li>• En ventiladores de sistemas de volumen variable.</li> </ul>
Control de la temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar la temperatura del termostato como función de la humedad relativa y la actividad que se realice en el área a acondicionar.</li> </ul>
Disminuir el consumo en equipos de oficina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Habilitar el modo de ahorro de energía en computadoras.</li> <li>• Des-energizar reguladores al terminar la jornada de trabajo.</li> <li>• Vaciar el café recién preparado a un “termo” y no dejarlo en la cafetera.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No sobrecargar los circuitos.</li> </ul>
<b>Medidas de ahorro de energía en refrigeración</b>	
<b>Áreas de Oportunidad</b>	<b>Medidas Típicas de Ahorro</b>
Mejora de la eficiencia del Equipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustitución de equipo (compresores, condensadores, evaporadores y/o la cámara) que se encuentre trabajando con baja eficiencia.</li> <li>• Dar mantenimiento preventivo a evaporadoras, condensadores y rodamientos.</li> <li>• Utilización de dispositivos que incrementen la eficiencia del ciclo, tales como intercambiadores de calor o turbuladores.</li> <li>• Mejorar las condiciones de ventilación en los condensadores.</li> </ul>
Disminuir las ganancias de Calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejorar el aislamiento de cámaras de refrigeración.</li> <li>• Eliminar o disminuir infiltraciones por hendiduras en empaques de puertas que no cierran bien.</li> <li>• Instalación de cortinas de aire y/o cortinas hawaianas en accesos a cámaras frigoríficas de alto tránsito.</li> <li>• Evitar introducir cargas térmicas no necesarias, como empaques y contenedores.</li> <li>• Evitar aperturas innecesarias de las puertas de cámaras y refrigeradores.</li> </ul>
Operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acomodar los productos dentro de las cámaras y refrigeradores de manera tal que se permita la circulación de aire alrededor de ellos (no amontonarlos).</li> <li>• Acomodar los productos en diferentes cámaras o refrigeradores, como función de la temperatura a la que deban estar.</li> <li>• Fijar el termostato de la cámara o refrigerador como función a la temperatura recomendada para el producto refrigerado.</li> </ul>
<b>Medidas de ahorro de energía en motores</b>	
<b>Áreas de Oportunidad</b>	<b>Medidas Típicas de Ahorro</b>
Mejorar la eficiencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustituir motores viejos con su eficiencia depreciada por motores nuevos de alta eficiencia.</li> <li>• Sustituir motores sobredimensionados o sub dimensionados, por motores de alta eficiencia que trabajen alrededor del 70% de carga.</li> <li>• Proporcionar mantenimiento preventivo al motor (mantener limpia la superficie de la carcasa de polvo y grasa, lubricar, reemplazar y mantener en buen estado los rodamientos).</li> </ul>
Control de operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar variadores de velocidad en equipos de bombeo para control de presión.</li> <li>• Instalar variadores de velocidad en equipos de bombeo para control de caudal.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar variadores de velocidad en ventiladores para control de caudal.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>

<b>Medidas de ahorro de energía en sistemas de calentamiento por resistencias</b>	
<b>Áreas de Oportunidad</b>	<b>Medidas Típicas de Ahorro</b>
Utilización de energía solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar calentadores solares para precalentar el fluido y disminuir el uso de las resistencias.</li> </ul>
Conservación de la energía térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aislar los depósitos y tuberías de transporte del fluido caliente.</li> </ul>
Control de la demanda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar energía calorífica y disminuir el uso de las resistencias cuando se presenten picos de demanda.</li> </ul>

<b>Medidas de ahorro de energía en sistemas de bombeo</b>	
<b>Áreas de Oportunidad</b>	<b>Medidas Típicas de Ahorro</b>
Mejora la eficiencia de la bomba	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustituir bombas que se encuentren trabajando fuera de su zona de máxima eficiencia.</li> <li>• Sustituir impulsores desgastados, por nuevos impulsores que operen en su zona de máxima eficiencia</li> <li>• Reemplazo de sellos y prensaestopas que presenten fugas de líquido</li> <li>• Lubricación o reemplazo de rodamientos.</li> </ul>
Mejorar la eficiencia de Pozos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Darle mantenimiento a los pozos, para recuperar su capacidad de captación y por lo tanto mejorar el nivel dinámico de bombeo</li> </ul>
Disminución de pérdidas de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reemplazo de tuberías que presenten altas pérdidas de carga.</li> <li>• Eliminar accesorios (válvulas, codos, reducciones, etc.) innecesarios en las tuberías de conducción.</li> </ul>
Operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operar los equipos de bombeo en su zona de máxima eficiencia, para ello considerar la instalación de variadores de velocidad</li> </ul>

## **7.4 Elaboración de la cartera de proyectos**

Una vez que las oportunidades de ahorro de energía han sido identificadas y analizadas, se deberá realizar una cartera de proyectos, donde para cada una de las medidas de ahorro propuestas se presente la siguiente información:

- Número descripción de la medida
- Resumen que contiene:

- 
- Ahorro de Energía (kWh/año).
  - Emisiones evitadas de gases de efecto invernadero (tCO<sub>2</sub>/año).
  - Ahorro económico (USD/año).
  - Inversiones necesarias (USD).
  - Periodo de Recuperación de la Inversión (años).
- Descripción de la situación actual. Breve descripción de la situación actual que dé pie a la medida propuesta.
  - Descripción de las acciones concretas a realizar para la implementación de la medida. Describir brevemente las acciones para implantar la medida.
  - Cálculo de los ahorros. Describir los ahorros que se pretenden obtener al implantar esta medida.
  - Desglose de las inversiones (cotización). El desglosar las inversiones necesarias para implementar la medida de ahorro de energía.
  - Evaluación económica. Dicha evaluación deberá contener al menos el cálculo del período de retorno de la inversión.

## **7.5 Elaborar el informe de la calidad de energía**

El paso final es el de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones de la auditoría energética, haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía, y el plan de acción para implantarlas, conteniendo las bases y los pasos seguidos en el análisis.

Este informe también deberá de presentar todos los datos energéticos básicos de la planta en una forma consistente para que se puedan comparar con los parámetros energéticos de diferentes plantas.

El informe deberá contener al menos la siguiente información:

### **1. Resumen Ejecutivo**

### **2. Descripción de la Planta**

- Datos generales de la planta: localización, tamaño, edad.



- 
- Tipos de líneas de producción; departamentos y productos principales
  - Consumos energéticos anuales; incluyendo demanda eléctrica máxima
  - Costos de combustibles y tarifas eléctricas aplicables.

### **3. Análisis de Consumos Energéticos**

- Repartición de consumos y costos de energía
- Balance energético global de la planta
- Variaciones mensuales de consumo de energía y producción
- Análisis de indicadores energéticos.

### **4. Análisis de los diferentes sistemas**

- Levantamiento
- Mediciones
- Medidas de ahorro
- Evaluación económica
- Conclusiones y recomendaciones

### **1. ENCUESTA DE MANTENIMIENTO**

**PROYECTO:** Realización de Calidad de la energía en la Industria, Comercio etc.

#### **1. Perfil del Personal de Mantenimiento.**

- a) Licenciatura en Ingeniería (\_\_\_\_)
- b) Técnicos en mantenimiento (\_\_\_\_)
- c) Otros (\_\_\_\_)

---

2. Indique en porcentaje, ¿cuáles son los problemas más comunes que se presentan en la gestión del mantenimiento?. Nota: Los porcentajes deben sumar 100%.

a) Trámites administrativos % (\_\_\_\_)

b) Falta de planeación % (\_\_\_\_)

c) Falta de recursos económicos% (\_\_\_\_)

d) Falta de capacitación % (\_\_\_\_)

e) Otros. ¿Cuáles %? \_\_\_\_\_(\_\_\_\_)

3. ¿Cuenta la empresa con un Programa de mantenimiento predictivo?

Si ( ) No ( )

## VIII. Conclusiones

La instalación de cargas no lineales en los sistemas eléctricos genera corrientes y tensiones con frecuencias y niveles diferentes a los diseñados para la correcta operación de la red eléctrica. Estas nuevas condiciones son llamadas perturbaciones y distorsiones de las ondas sinusoidales de los parámetros eléctricos.

Por esta razón definir y establecer los límites y tiempos de medición para cada una de estas perturbaciones ya sean de tipo de larga o corta duración es primordial para establecer el instrumento de medición pertinente para determinados casos, es ahí donde las normas nacionales e internacionales juegan un papel vital en todo proceso de medición de calidad d de energía eléctrica, puesto que ellas brindan directrices y normatividades necesarias para los equipos, pasos y metodologías de monitoreo y la recopilación de datos.

Las mediciones de las que se habla en este documento, se pueden realizar en sistemas monofásicos o polifásicos de energía eléctrica dependiendo del tipo de medición, ya que

---

puede ser necesario para medir tensiones entre conductores de fase y neutro (de línea a neutro) o entre los conductores de fase (línea a línea) o entre el neutro y la tierra.

Las mediciones de corriente se pueden realizar en cada conductor de los sistemas de suministro, incluido el conductor neutro y el conductor de puesta a tierra. La magnitud eléctrica a medir puede tomarse de forma directa así como en el caso de los sistemas de baja tensión, a través de transductores de medida.

La metodología desarrollada en este proyecto está basada en las normas nacionales e internacionales vigentes relacionadas con la medición, monitoreo y recopilación de datos de las perturbaciones de calidad de energía eléctrica.

La norma internacional IEEE 1159 proporciona algunas directrices y lineamientos para el planteamiento de la metodología propuesta en este proyecto teniendo en cuenta las características del sistema eléctrico dependiendo el lugar, condiciones, objetivos, tiempos y límites de medición. , mientras que los estándares y normativas tales como IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-30, NTC 5000 (norma colombiana) y la IEEE 519 aporta los límites, métodos y tiempos de medición para cada perturbación.

En esta propuesta se logró realizar una guía para los informes, formatos de inspección, revisión y registro de los parámetros de referencia establecidos en las normas IEEE, IEC 61000-4 y NTC 5000.

Se logró plantear una metodología la cual permitirá ser aplicada en los estudios de calidad de la energía eléctrica.

También se logró estudiar los problemas de calidad de la energía eléctrica: transitorios, armónicas, parámetros eléctricos, consumo, factor de potencia.

Al final se logró plantear cuales con las alternativas para las soluciones a cada uno de los problemas detectados en su sistema, por medio de recomendaciones y sugerencias del equipo necesario.

---

## IX. Bibliografía

1. ENRÍQUEZ H. G. El ABC de la Calidad de la Energía Eléctrica. México, Limusa, 1999.
2. IEEE 519-1992, Recomendaciones Prácticas y Requerimientos para el control de Armónicos en Sistemas Eléctricos.
3. Theodore Wildi, Sistemas de Potencia, Sexta Edición, Armónicos y Calidad de Energía, 2007
4. Esteban, L., Feijoó, M., & Hernández, J. (2002). Eficiencia energética y regulación de la industria ante el cambio climático. Zaragoza: Dept.de Ánlisis Economico Universidad de Zaragoza.
5. Investigación del Buró de eficiencia energética de la India. [http://beeindia.in/content.php?page=miscellaneous/useful\\_download.php](http://beeindia.in/content.php?page=miscellaneous/useful_download.php))
6. Roberto Hernández Sampieri. Metodología de la Investigación. Editorial, MCGRAW HILL.
7. VARGAS P. P. Ahorro de Energía Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, 1996.
8. [http://ipes.anep.edu.uy/documentos/investigacion/materiales/inv\\_cuanti.pdf](http://ipes.anep.edu.uy/documentos/investigacion/materiales/inv_cuanti.pdf)
9. Ley 272 de la industria eléctrica de Nicaragua, la gaceta, 2001

---