

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**



**“Evaluación de las Normas de Calidad del Servicio en  
los Sistemas de Distribución de SIGET”**

**PRESENTADO POR:**

**BLANCA HEIDI CASTANEDA MARTINEZ  
YANCY CARINA CRUZ HENRIQUEZ  
EDGARDO ERNESTO MENDEZ RECINOS**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2008**

## **PREFACIO**

La “Evaluación de las Normas de Calidad del Servicio en los Sistemas de Distribución de SIGET”, es un estudio que se originó tomando en cuenta que a partir del año 2008 entraron en vigencia las penalizaciones al consumidor final por transgresiones en los límites establecidos de corrientes armónicas y de flicker (Acuerdo 192-E-2004).

Este estudio está orientado principalmente a determinar si los límites establecidos en el acuerdo 192-E-2004 son correctamente aplicables a nuestro sistema eléctrico nacional, para poder evaluar el grado de transgresión por parte de grandes consumidores (principalmente), además de evaluar a consumidores con pequeñas cargas.

Una vez verificado el correcto empleo de límites, este estudio está orientado a establecer la calidad de energía que la distribuidora provee en el punto de suministro así como en el punto de conexión del consumidor final. Para poder evaluar la calidad de energía se empleará un método de análisis aplicado a mediciones de calidad de energía realizadas del lado de la distribuidora y del lado del consumidor.

# TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION.</b> ....	<b>9</b>
<b>OBJETIVOS.</b> .....	<b>11</b>
Objetivo General:.....	11
Objetivos Específicos:.....	11
<b>CAPITULO 1:</b> .....	<b>12</b>
1.  DEFINICIONES RELACIONADAS A CALIDAD DE ENERGÍA. ....	12
1.1  Variaciones de Estado Estable. ....	13
1.1.1  Variaciones Lentas de Voltaje:.....	13
1.1.2  Armónicos:.....	14
1.1.3.  Flicker .....	15
1.1.4.  Desbalance: .....	16
1.2  Perturbaciones. ....	17
1.2.1.  Interrupción: .....	17
1.2.2.  Sags/Dips:.....	19
1.2.3.  Swells:.....	22
1.2.4.  Transitorios (transient o surge):.....	25
1.3  Referencias Bibliográficas: .....	28
<b>CAPITULO 2:</b> .....	<b>29</b>
2.  NORMAS INTERNACIONALES RELACIONADAS AL ACUERDO NACIONAL DE CALIDAD DE ENERGIA.  (192-E-2004) .....	29
2.1  Aplicación de Límites de Distorsión Armónica de Voltaje y Corriente.....	29
2.1.1 <i>Límites de Armónicos de voltaje:</i> .....	29
2.1.1.1  Estándar IEC 61000-3-6:.....	29
2.1.1.2  Estándar EN 50160:.....	32
2.1.2  Límites de Armónicos de corriente:.....	32
2.1.2.1  Estándar IEC 61000-3-2:.....	32
2.1.2.2  Estándar IEEE 519-1992:.....	35
2.2  Flicker .....	36
2.2.1  Norma IEC 61000-4-15 .....	37
2.2.2  Norma IEC 61000-3-3 .....	39
2.2.3  Norma IEC 61000-3-5. ....	41
2.2.4  Norma IEC 61000-3-7 .....	42

2.3	Referencias Bibliográficas.....	51
<b>CAPITULO 3:.....</b>		<b>52</b>
3	EVALUACION DE LA NORMATIVA SALVADOREÑA DE CALIDAD DE SERVICIO DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION.....	52
3.1	Calidad de Servicio Técnico:.....	53
3.2	Método de Cálculo de los Indicadores Técnicos:.....	54
3.2.1	Comparación de los Indicadores Técnicos (El Salvador, Guatemala y Panamá).....	55
3.3	Calidad de Producto Técnico:.....	56
3.4	Comparación de los Indicadores Individuales de Producto Técnico.....	57
3.4.1	Variaciones de Estado Estable tomadas en cuenta por el Producto Técnico	58
3.4.2	Deficiencias en la Normativa de Calidad de Servicio en los Sistemas de Distribución.....	67
3.5	Referencias Bibliográficas:.....	69
<b>CAPITULO 4:.....</b>		<b>70</b>
4	ANALISIS Y RESULTADOS DE CALIDAD DE ENERGIA PARA DIFERENTES SITIOS EN ESTUDIO.....	70
4.1	Método de Evaluación.....	71
4.2	Análisis de Calidad de Servicio Técnico.....	72
4.3	Análisis de Calidad de Producto Técnico.....	72
4.3.1	Niveles de Tensión.....	73
4.3.1.1	Variaciones lentas de voltaje.....	73
4.4	Desbalance de Voltaje.....	78
4.5	El Flicker.....	80
4.6	Armónicas.....	81
4.7	Eventos.....	83
4.8	Referencias Bibliográficas:.....	87
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>88</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>91</b>
	ANEXO A:.....	92
	PROPUESTA DE PROGRAMA DE APLICACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA.....	92

ANEXO 1:.....	103
ANEXO 2 .....	104

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Problemas más comunes en la Calidad de Energía y sus Orígenes .....	12
Figura 1.2: Fenómeno de distorsión armónica de una onda senoidal .....	14
Figura 1.3a): Forma de onda del flicker .....	15
Figura 1.3b): Variación de voltaje para $P_{st} = 1$ .....	15
Figura 1.4: Forma de onda del desbalance de voltaje .....	17
Figura 1.5: Forma de onda al momento de una interrupción. ....	19
Figura 1.6: Forma de onda al momento de un sag (medido con el Topas 2000 sitio 5). 21	
Figura 1.7: Forma de onda al momento de un swell .....	22
Figura 1.8: Definición según: EN-50160, .....	24
Figura 1.9: Definición según: IEEE Std. 1159-1995 .....	24
Figura 1.10: Propagación de una descarga atmosférica al sistema de distribución. ....	26
Figura 1.11: Forma de onda de Transitorio tipo impulso .....	26
Figura 2.1: Ilustración de conceptos de calidad de voltaje básicos con estadística de tiempo/posición que cubre todo sistema. ....	44
Figura 2.2: Ilustración de conceptos de calidad de voltaje básicos con estadística de tiempo relevante a un sitio dentro de todo el sistema. ....	44
Figura 2.3: Diagrama de proceso de evaluación .....	46
Figura 4.1: Tendencia de Voltaje del sitio 1. ....	73
Figura 4.2: Aproximación de la Curva Normal .....	74
Figura 4.3: Aproximación de la curva normal y la curva acumulada .....	75
Figura 4.4: Variaciones de voltaje (STAV) .....	78
Figura 4.5: Desbalance de Voltaje .....	80
Figura 4.6: Índice de severidad de flicker $P_{st}$ por fase. ....	81
Figura 4.7: Valor del 95% de las armónicas individuales .....	82
Figura 4.8: Valores obtenidos de Distorsión armónica total. ....	83
Figura 4.9: Representación de eventos en la curva ITIC .....	84

## LISTA DE TABLAS.

Tabla 1.1: Clasificación de interrupción según IEEE 1159-1995 .....	18
Tabla 1.2: Clasificación de interrupción según EN50160.....	18
Tabla 1.3: Clasificación de interrupción según Acuerdo 192-E-2004.....	18
Tabla 1.4: Definición de sag IEEE 1159-1995.....	20
Tabla 1.5: Definición de swell IEEE 1159-1995.....	23
Tabla 1.6: Categorías de transitorios según la norma IEEE 1159. ....	27
Tabla 2.1: Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos, en porcentaje del voltaje nominal. IEC 61000-3-6.....	30
Tabla 2.2: Niveles de planeación para voltajes armónicos en porcentaje del voltaje nominal para MV, HV y EHV. IEC 61000-3-6.....	31
Tabla 2.3: Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos, en porcentaje del voltaje nominal, EN 50160.....	32
Tabla 2.4: Límites IEC 61000-3-2, clase A y B.....	33
Tabla 2.5: Límites IEC 61000-3-2, clase C y D. ....	34
Tabla 2.6: Límites de distorsión armónica de corriente IEEE 519-1992.....	35
Tabla 2.7: Métodos de Evaluación. ....	40
Tabla 2.8: Niveles de Tensión europeos. ....	42
Tabla 2.9: Niveles de Compatibilidad Pst y Plt.....	43
Tabla 2.10: Niveles de Planificación. ....	43
Tabla 2.11: Límites para variaciones de potencia relativa en función del número de variaciones por minuto.....	47
Tabla 2.12: Niveles de Pst Globales. ....	48
Tabla 2.13: Niveles Básicos de emisión individual.....	49
Tabla 3.1: Límites de indicadores globales e individuales de calidad de Servicio Técnico SIGET. ....	53
Tabla 3.2: Comparación de indicadores Urbanos.....	55
Tabla 3.3: Comparación de indicadores Rurales.....	55
Tabla 3.4: Niveles de regulación de voltajes permitidos en BT y MT. ....	56
Tabla 3.5: Niveles de tensión manejados en BT y MT en El Salvador. ....	56

Tabla 3.6: Regulación de tensión mínima y máxima permitida en BT y MT.....	57
Tabla 3.7: Comparación de los niveles de regulación de voltajes permitidos en BT....	57
Tabla 3.8: Comparación de los niveles de regulación de voltajes permitidos en MT....	57
Tabla 3.9: Límites de Distorsión armónico de voltaje en el punto de suministro.....	60
Tabla 3.10: Límites de distorsión armónica individual de corriente (%) en MT.....	63
Tabla 3.11: Límites de distorsión armónica de corriente en MT y BT.....	64
Tabla 3.12: Comparación de límites de flicker.....	65
Tabla 3.13: Pst de usuarios individuales, con potencia total con cargas conectadas en MT para un sistema saturado $S_{MT}=1$ .....	67
Tabla 3.14: Pst de usuarios individuales, con potencia total con cargas conectadas en BT y MT.....	67
Tabla 4.1: Niveles de Calidad.....	71
Tabla 4.2: Valores máximos y mínimos de frontera.....	75
Tabla 4.3: Límites de frontera usados para aplicación del método STAV. ....	77
Tabla 4.4: Calificación a la calidad de energía resultante del sitio 1.....	81
Tabla 4.5: Límites de THD, valores obtenidos con las mediciones y su respectiva calificación. ....	82
Tabla 4.6: Tabla resumen del análisis de calidad de energía aplicado a los sitios de medición en estudio. ....	85

## INTRODUCCION.

Cada vez más nuestra vida cotidiana es gobernada por la electrónica, para proporcionar un correcto funcionamiento de esta infraestructura electrónica existe una demanda creciente por un suministro de energía firme y de alta calidad.

Existen muchas definiciones de calidad de energía, dependiendo del punto de vista del autor. Una definición sencilla aceptada por el cliente interpreta que la calidad de energía es buena si los dispositivos conectados al sistema eléctrico funcionan satisfactoriamente.

La calidad de la energía suministrada se establece mediante los siguientes criterios: Disponibilidad del suministro, tolerancias de tensión dentro de los límites permitidos y debe presentar un perfil de onda senoidal libre de perturbaciones. El buen o mal funcionamiento de la carga eléctrica dependerá de las aplicaciones y del tipo de equipo que se tenga instalado. Cualquier desviación de los estándares de calidad que ocasione mal funcionamiento y daño en los equipos eléctricos establece un suministro de Mala Calidad de Energía. Las carencias en calidad de energía generan un creciente número de problemas, que se traducen en pérdidas económicas significativas a los propietarios de bienes de producción.

En nuestro país existe un ente regulador llamado SIGET (Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones) que es el que se encarga de exigir una buena calidad de energía a las distribuidoras, éste ente regulador monitorea que las distribuidoras del país cumplan con lo establecido en la normativa de calidad de servicio de los sistemas de distribución, hasta el 31 de diciembre del año 2007 la normativa de calidad se encontraba en la etapa de régimen y entró en vigencia el primero de enero del presente año (Año 2008, Acuerdo 192-E-2004).

Tomando en cuenta lo anterior es necesario realizar un análisis detallado de los requerimientos que según el acuerdo 192-E-2004 deben cumplirse para brindar *“energía de calidad”*.

Este estudio está dividido en cuatro capítulos, en el primer capítulo establecemos las definiciones de cada uno de los conceptos relacionados con el tema de la Calidad de Energía.

El segundo capítulo hace un análisis comparativo de diferentes estándares internacionales en los cuales se establecen los límites permitidos referentes las variaciones de estado estable: Armónicos (distorsiones de voltaje y corriente) y flicker.

En el tercer capítulo presentamos un análisis comparativo entre el Acuerdo 192-E-2004, las normas de algunos países centroamericanos y los estándares internacionales IEC (haciendo énfasis en límites de distorsiones armónicas y flicker).

En el cuarto capítulo presentamos un método de análisis para evaluar la calidad de energía usando mediciones realizadas en puntos de entrega de la distribuidora y en puntos de conexión del consumidor final, con el propósito de establecer el cumplimiento de la normativa en cuanto a la calidad de servicio y calidad de producto.

## OBJETIVOS.

### ***Objetivo General:***

Evaluar la normativa de calidad de los sistemas de distribución, Acuerdo 192-E-2004, con el propósito de establecer limitantes o deficiencias que la normativa pueda presentar ante las necesidades que las distribuidoras y el consumidor final requieran para un buen servicio de energía eléctrica.

### ***Objetivos Específicos:***

- ✓ Establecer fallos o limitaciones que pudieran presentar las actuales normas de calidad de energía eléctrica de los sistemas de distribución.
  
- ✓ Evaluar los diferentes elementos de Calidad del Producto, relativa a las características de la onda de tensión.
  
- ✓ Además de los elementos del producto técnico incluidos en la normativa, serán evaluados los sags/Dips, swells, transitorios y desbalance de voltaje debido a la importancia e incidencia que estos elementos tienen en el buen funcionamiento de los equipos eléctricos.
  
- ✓ Determinar los problemas de calidad globales del sistema de distribución.

# CAPITULO 1:

## 1. DEFINICIONES RELACIONADAS A CALIDAD DE ENERGÍA.

**Calidad de energía (power quality):** Es el concepto de alimentación y de puesta a tierra de equipo electrónico sensible en una manera que sea adecuado para su operación [1]. Se tiene una buena calidad de la energía cuando la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin afectar su desempeño ni provocar fallas a sus componentes. Cualquier problema relacionado con potencia, conlleva un problema de calidad de energía.

En relación al tema de calidad de energía, se debe proporcionar una introducción a los términos de calidad de energía más comunes, entre estos podemos mencionar: Interrupciones, regulación de tensión, desbalance de voltaje, flicker, armónicos, sags/Dips, swells y transitorios.

En la figura 1.1 se muestran algunos de los conceptos más relevantes, relacionados con la calidad de energía. Como puede apreciarse, éste concepto involucra la interacción existente entre el sistema y las cargas conectadas a éste. Los diferentes fenómenos que afectan la calidad de energía en los sistemas eléctricos son ocasionados por cargas sensibles o efectos de cargas no lineales que afectan al sistema.

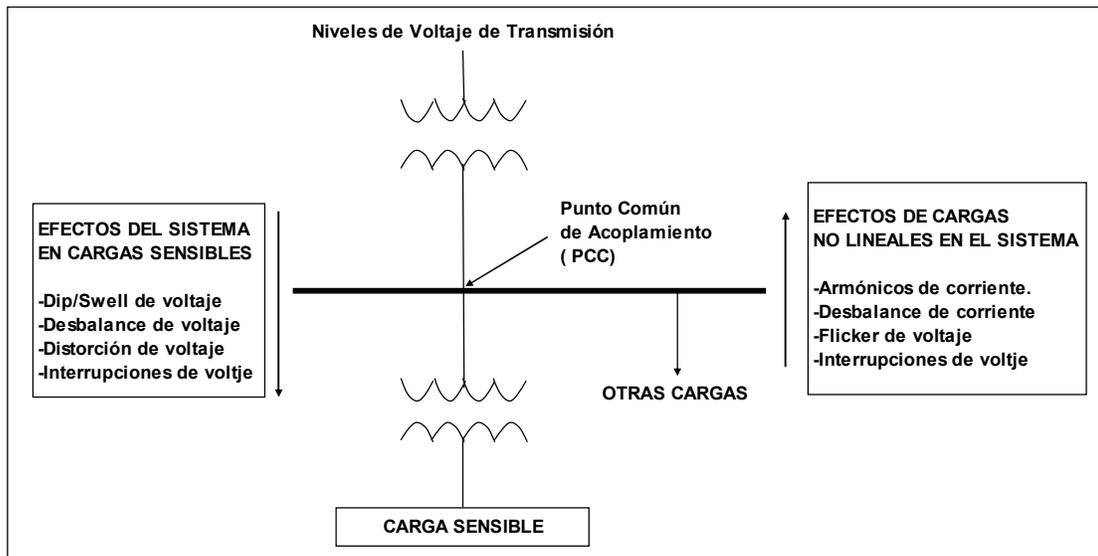


Figura 1.1: Problemas más comunes en Calidad de Energía y sus Orígenes

Los problemas de calidad de energía en los sistemas eléctricos de potencia se dividen en dos categorías:

- 1- Variaciones de estado estable: Se refiere a aquellas variaciones en la onda sinusoidal de voltaje y corriente que siempre están presente en el sistema eléctrico debido a cargas no lineales y mala distribución en el sistema.
- 2- Perturbaciones: Son fenómenos aleatorios o eventos de corta duración que generan disturbios en la onda de tensión.

#### Variaciones de Estado Estable:

- Variaciones Lentas de Voltaje (Regulación de Tensión)
- Armónicos
- Flicker
- Desbalance

#### Perturbaciones:

- Interrupciones
- Sags/Dips
- Swells
- Transitorios

### **1.1 Variaciones de Estado Estable.**

#### 1.1.1 Variaciones Lentas de Voltaje:

Las variaciones lentas de voltaje son conocidas con el término regulación de voltaje y es un parámetro de gran importancia en lo que se refiere al buen funcionamiento del equipo eléctrico conectado al sistema de potencia.

Todo equipo eléctrico ha sido diseñado para trabajar de forma óptima a un voltaje de referencia ya sea de 110, 120, 240, 480 y 600 voltios, empleando un margen de variación generalmente del  $\pm 10\%$  del voltaje nominal (ANSI C84.1) para solventar las variaciones de voltaje en el sistema eléctrico debido a la conexión y desconexión de equipos. Toda variación en el voltaje de referencia fuera de los límites establecidos puede causar daños en los equipos conectados al sistema eléctrico.

### 1.1.2 Armónicos:

Son distorsiones de la onda sinusoidal de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas no lineales.

La forma de onda resultante está compuesta por la suma de la onda de voltaje y/o corriente fundamental con un número de ondas sinusoidales puras con frecuencias múltiplos de la fundamental. [2] (ver figura 1.2)

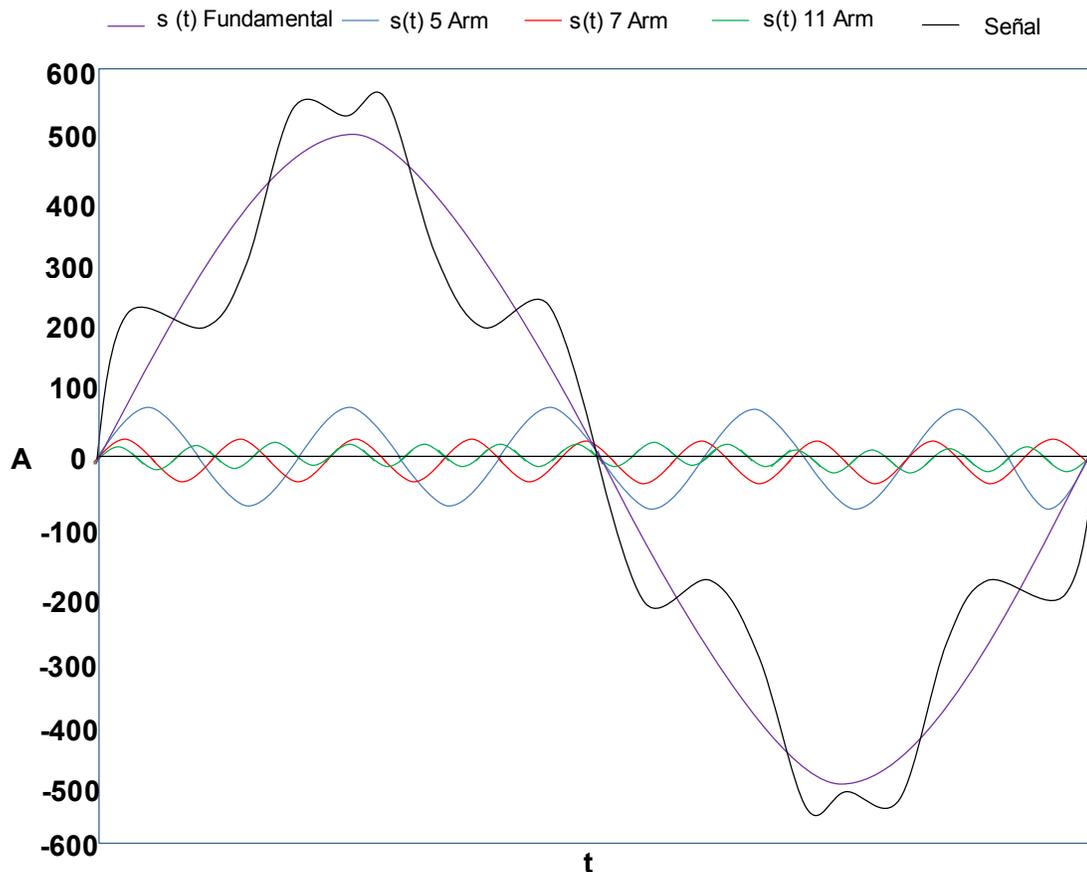


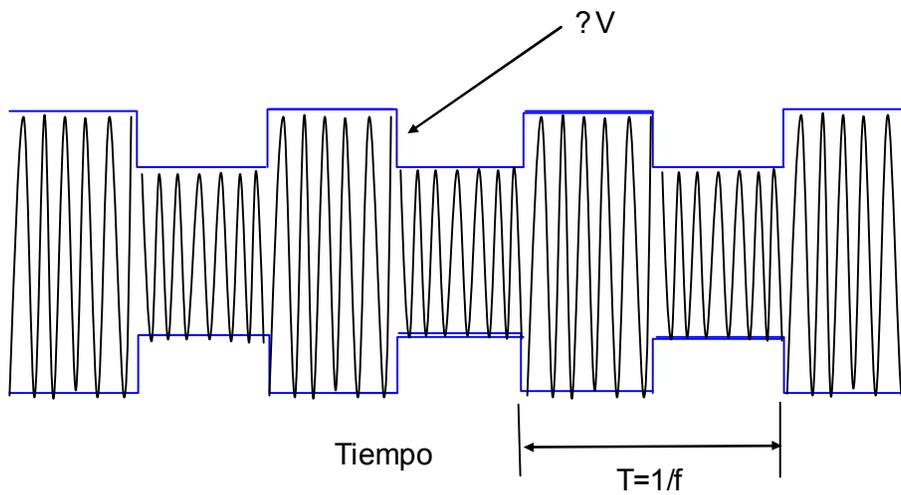
Figura 1.2: Fenómeno de distorsión armónica de una onda senoidal.

Los armónicos generalmente no son producidos por la empresa de energía, son más bien generados por los consumidores como cargas industriales no lineales y si estos armónicos son de suficiente magnitud, pueden desplazarse hacia el sistema de potencia y afectar a otros consumidores.

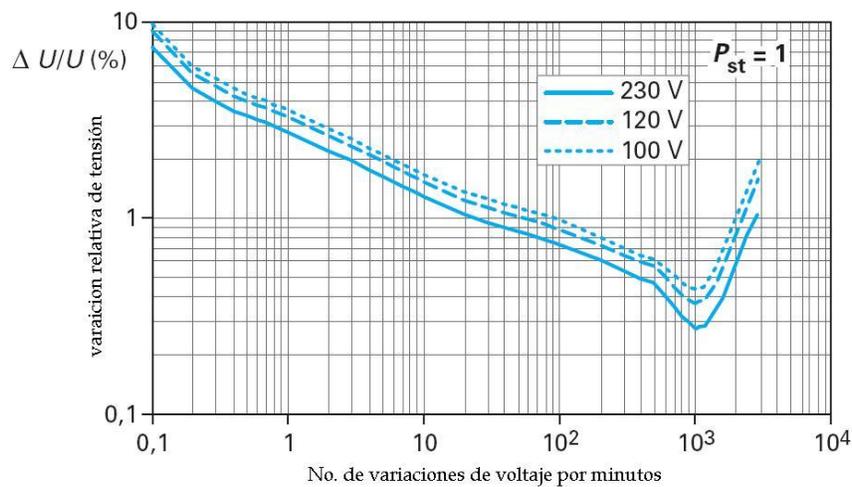
Los armónicos generan problemas tales como: Aumento de pérdidas de potencia activa, sobre tensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos y disminución de la vida útil de los equipos.

### 1.1.3. Flicker

Es una variación rápida en la amplitud del voltaje (variación periódica) o fluctuación de suficiente duración que permite ser observada como un cambio en la intensidad luminosa de las lámparas incandescentes de 60watts. [3]



**Figura 1.3a): Forma de onda del flicker**



**Figura 1.4b): Variación de voltaje para  $P_{st} = 1$ .**

El flicker suele ser provocado por cargas fluctuantes muy importantes: Hornos de Arcos, soldadores, motores con arranques frecuentes, laminadoras, molinos industriales, etc.

Los efectos causados son: Molestias visuales en los espacios iluminados con lámparas incandescentes, mal funcionamiento de receptores de televisión, de ordenadores, de radares, etc.

Para medir el grado de afectación se emplea el índice de severidad de Flicker:

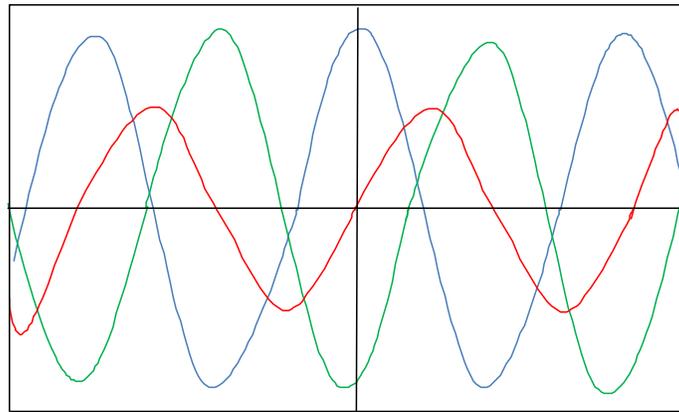
- 1- **Pst** (corto plazo, cada 10min): Se calcula el promedio cúbico de cada 10 minutos de los valores momentáneos [3,4].
- 2- **Plt** (largo plazo, 2 horas): Se calcula, tomando el promedio cúbico de 12 valores Pst continuos (12 intervalos de 10 minutos = 1 intervalo Plt de 2 h) [3,4].

La intensidad de la fluctuación no debe exceder un valor de  $Pst=1.0$  durante el 95% de una semana. Este índice sin embargo ha sido establecido por la IEC como un método subjetivo: Cuando el 50% de las personas en una sala apenas notan variaciones en una lámpara incandescente representa un Índice de severidad Flicker con  $Pst=1.0$ .

#### 1.1.4. Desbalance:

Se considera que existe un desbalance o desequilibrio de la tensión o corriente suministrada cuando el valor eficaz (amplitud de la onda) y la separación entre las fases no son iguales (desfase requerido,  $120^\circ$ ).

El desbalance **de voltaje** permitido debe ser menor al 2% (normas europeas [5]) o menor al 3% (normas americanas [6]).



**Figura 1.5: Forma de onda del desbalance de voltaje.**

El desbalance se origina por cargas monofásicas importantes, cargas trifásicas desequilibradas, hornos de arco, distribución de una o dos fases, mala planificación de las cargas, etc.

El desbalance produce los siguientes efectos: Pares de frenado parásitos y sobrecalentamiento de máquinas rotatorias, disminución de capacidad de transporte, mal funcionamiento de equipos electrónicos de control y protección, fallos en la operación de rectificadores controlados, entre otros.

## **1.2 Perturbaciones.**

### **1.2.1. Interrupción:**

Una interrupción se define como una pérdida absoluta de la tensión durante un cierto tiempo.

La norma IEEE 1159-1995 [6] define que una interrupción se produce cuando la tensión de alimentación es inferior a 0.1 p.u. durante un tiempo inferior a 1 minuto.

Interpretándose como se detalla en la tabla 1.1:

**Tabla 1.1: Clasificación de interrupción según IEEE 1159-1995**

<b>Clasificación</b>	<b>Duración</b>
Momentánea	de 0.5 ciclo a 3 segundos con una magnitud menor a 0.1 p.u.
Temporal	de 3 segundos a 1 minuto con una magnitud menor a 0.1 p.u.
Sostenida	mayores a 1 minuto y magnitud de 0.0 p.u.

De acuerdo a la norma EN50160 [5] una interrupción de la alimentación se define como: Condición en que la tensión en los puntos de suministro es inferior al 1% de la tensión nominal. La interrupción se clasifica de acuerdo a la tabla 2.2:

**Tabla 1.2: Clasificación de interrupción según EN50160.**

<b>Clasificación</b>	<b>Duración</b>
Temporal/ Sostenida	Si su duración sobrepasa los 3 minutos.
Momentánea	Si su duración es inferior a los 3 minutos.

La norma de Calidad de Servicio de los sistemas de distribución de SIGET [7] define una Interrupción, como la falta de suministro de energía eléctrica en el punto de entrega al usuario y la clasifica como:

**-Momentánea:** Interrupciones que tienen una duración limitada hasta de tres minutos, el cual es el tiempo requerido para restablecer los dispositivos de control y protección.

**-Sostenida:** Cualquier interrupción no clasificada como momentánea. (Definición utilizada a lo largo de éste estudio, para el análisis de calidad de energía: “Mayores a 3min”).

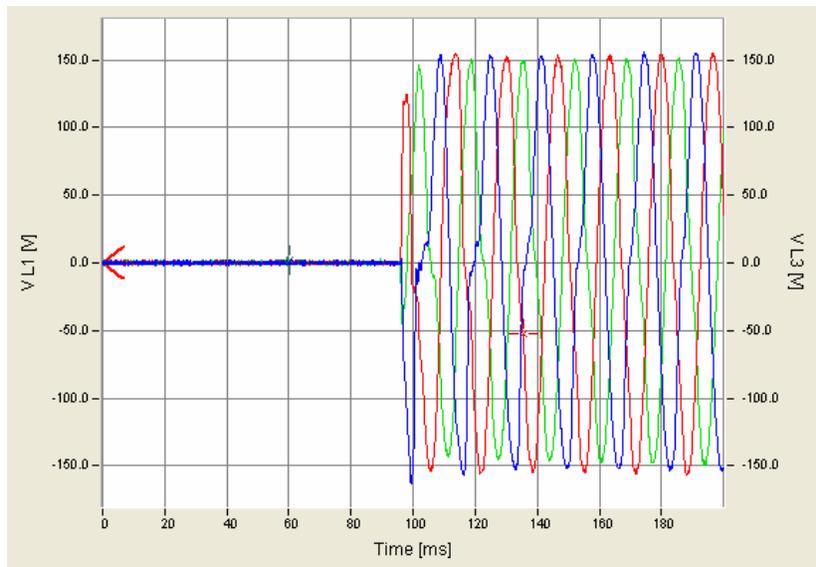
**Tabla 1.3: Clasificación de interrupción según Acuerdo 192-E-2004.**

<b>Clasificación</b>	<b>Duración</b>
Momentánea	Menor de 3 minutos.
Sostenida	Mayor de 3 minutos.

Las interrupciones se originan por operaciones de mantenimiento de la red o por fallas en los sistemas de potencia y equipos de control. Las interrupciones de tensión, incluso las instantáneas, pueden producir el mal funcionamiento o la desconexión de equipos electrónicos o de los equipos de iluminación.

Las interrupciones producen casi siempre la parada de los controladores electrónicos, el mal funcionamiento de las fuentes de alimentación, computadores, equipos de control de máquinas eléctricas y pueden producir también la desconexión de contactores en motores de inducción.

En la figura 1.5 se muestra un ejemplo de interrupción.



**Figura 1.6: Forma de onda al momento de una interrupción.**

### 1.2.2. Sags/Dips:

De acuerdo con el estándar EN-50160, un sag o hueco en la tensión de alimentación se define de la siguiente forma: “Disminución brusca de la tensión de alimentación a un valor situado entre el 90% y el 1% de la tensión de alimentación declarada “nominal”, seguida del restablecimiento de la tensión después de un corto lapso de tiempo. Por convenio, un hueco de tensión dura de 10 ms a 1 minuto. La profundidad de un hueco de tensión se define como la diferencia entre la tensión eficaz mínima durante el hueco de tensión y la tensión declarada. Las variaciones de tensión que no reducen la tensión de alimentación a un valor inferior al 90% de la tensión declarada nominal no se consideran como huecos de tensión.

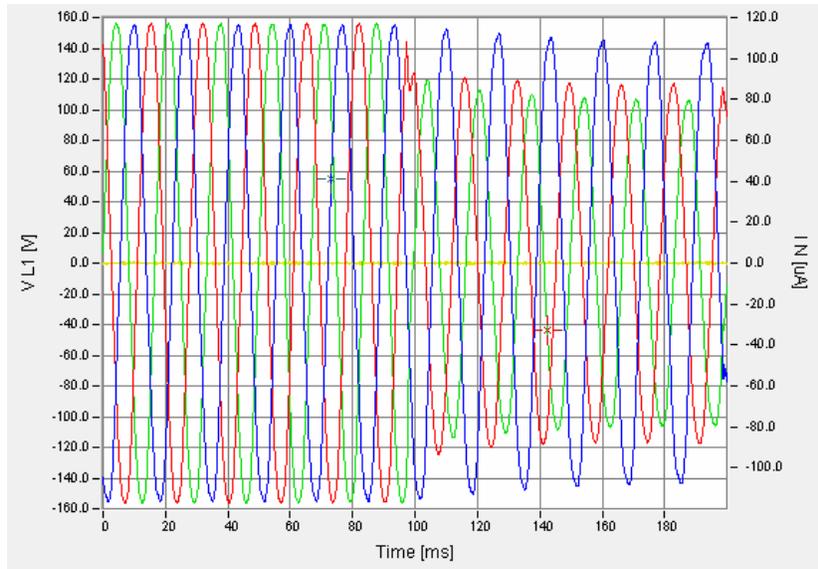
Mientras que el Standard IEEE 1159-1995 define un hueco de tensión como una disminución de la tensión eficaz de corta duración comprendida entre un valor del 90% y del 10% de la tensión nominal y con una duración comprendida entre 0.5 ciclos y 1 minuto. Las disminuciones de tensión inferiores a medio ciclo no se pueden caracterizar por medio de la variación de su valor eficaz, y por eso se incluyen dentro de la categoría de fenómenos transitorios. Por otro lado, las disminuciones de la tensión con una duración mayor a 1 minuto pueden estar asociadas a una gran variedad de causas distintas de los fallos en la red y se pueden controlar por medio de los dispositivos de regulación de tensión. Debido a ello, el estándar incluye estas perturbaciones dentro del grupo de las variaciones de tensión de larga duración.

El Standard IEEE 1159-1995 divide los huecos de tensión en tres categorías en función de su duración y coinciden con las tres categorías de interrupciones y de swells. Estas duraciones están escogidas en función de los tiempos de operación típicos de los dispositivos de protección. Las categorías de Huecos de tensión se detallan en la tabla 1.4:

**Tabla 1.4: Definición de sag IEEE 1159-1995.**

<b>Clasificación</b>	<b>Duración</b>
Instantáneo	De 0.5 a 30 ciclos
Momentáneo	De 30 ciclos a 3 seg
Temporal	De 3seg. a 1 minuto

En la figura 1.6 se muestra un Sag de voltaje de la categoría instantánea.



**Figura 1.7: Forma de onda al momento de un sag (medido con el Topas 2000 sitio 5).**

**Los Sags/Dips pueden ser clasificados en dos tipos, según su origen:**

1. **Sags/Dips externos:** Se originan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, estos sags tienen una variedad de causas tales como tormentas eléctricas, actividad humana y animal, y la operación propia, normal y/o anormal, de los equipos de generación y distribución y pueden viajar miles de kilómetros afectando así a miles de usuarios durante un único evento. Algunas veces, sags causados externamente puede estar siendo generados por otros usuarios cercanos. El arranque de grandes cargas eléctricas o el apagado de bancos de capacitores shunt, pueden generar un sag lo suficientemente grande como para afectar el área local. Si un usuario final está sujeto a bajas de voltaje crónicas, incluso un sag de una amplitud relativamente baja puede tener efectos perjudiciales.
  
2. **Sags/Dips internos:** Generados dentro de las instalaciones del usuario, típicamente son causados por el arranque de grandes cargas tales como motores o magnetos. El gran influjo de corriente requerido para arrancar este tipo de carga, causa una disminución en el nivel de voltaje disponible para otros equipos que comparten el mismo sistema eléctrico. Al igual que los sags causados

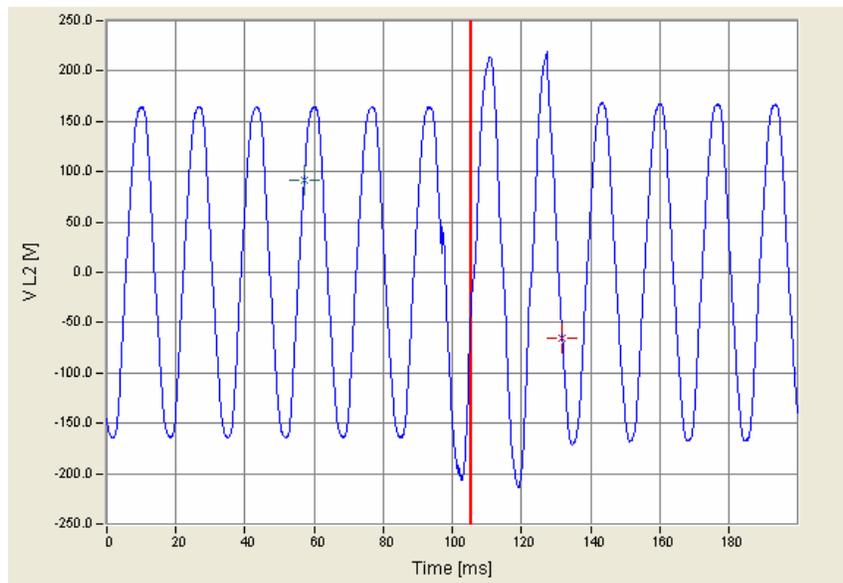
externamente, los generados internamente serán exacerbados por situaciones de bajo-voltaje crónicas.

### **Efectos negativos que producen los Sags/Dips:**

Mal funcionamiento de los equipos electrónicos de control y protección, variación de la velocidad de motores o parada de éstos, inconvenientes derivados de arranques de motores y máquinas, fallas y errores en procesos informáticos, apagado de lámparas de arco, etc.

### **1.2.3. Swells:**

Según el Standard IEEE 1159-1995 un swell se define como un aumento de la tensión eficaz de una duración comprendida entre 0.5 ciclos y 1 minuto. La magnitud típica de un swell está comprendida entre el 110% y el 180% de la tensión nominal. Al igual que los huecos de tensión, los swells son producidos normalmente por fallos en la red, pero son mucho menos frecuentes que los huecos de tensión. Un swell se puede producir como resultado de un fallo de línea a tierra que puede dar origen al aumento de la tensión en la fase no afectada por el fallo. La magnitud del aumento de la tensión es función de la localización del fallo, de la impedancia del sistema y del tipo de conexión a tierra.



**Figura 1.8: Forma de onda al momento de un swell.**

Los swells se caracterizan al igual que los Sags, de la siguiente manera:

**Tabla 1.5: Definición de swell IEEE 1159-1995.**

<b>Clasificación</b>	<b>Duración</b>
Instantáneo	De 0.5 a 30 ciclos
Momentáneo	De 30 ciclos a 3 seg
Temporal	De 3seg. a 1 minuto

Según la norma EN 50160 los swells se clasifican como:

**-Sobre tensión Temporal:** Con magnitud mayor a 110%, con una duración relativamente larga.

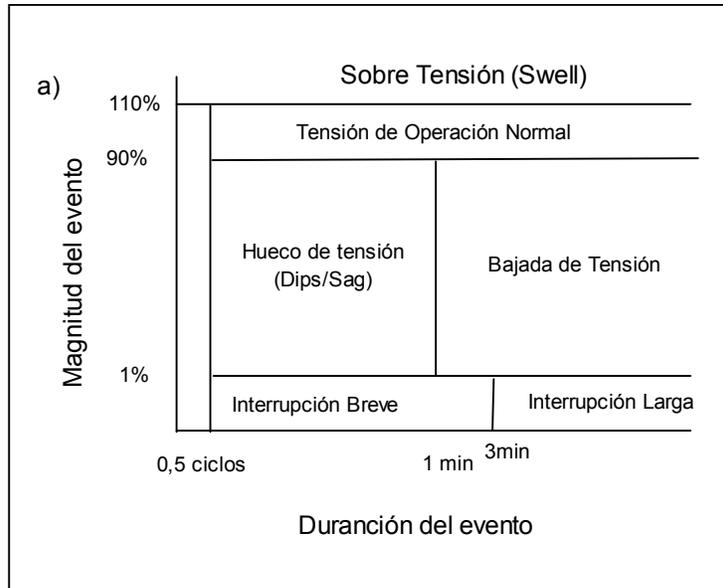
**-Sobre tensión Transitoria:** Con magnitud mayor a 110%, con una duración de algunos milisegundos.

**Efectos negativos que produce el swell:**

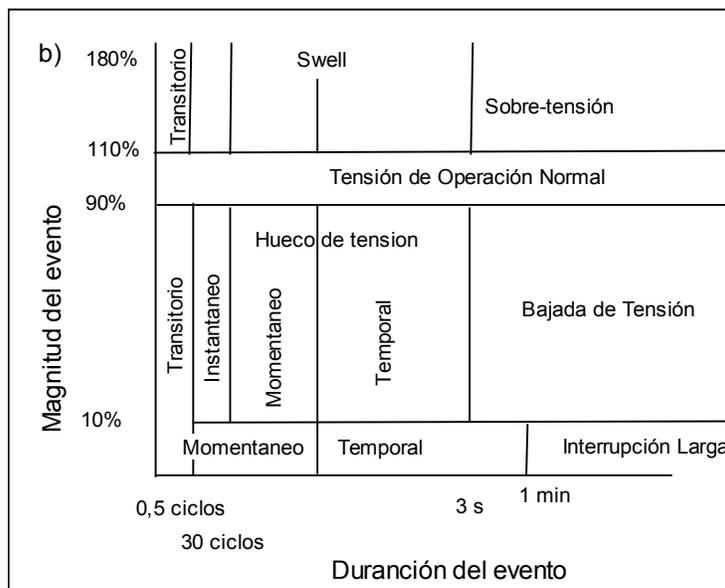
Mal funcionamiento de los equipos electrónicos como controladores de velocidad, computadores y controladores electrónicos. Otros equipos como transformadores, cables, transformadores de medida de tensión y de corriente y máquinas eléctricas rotatorias, pueden experimentar una reducción importante en su tiempo de vida medio.

De acuerdo con las definiciones dadas por el estándar EN-50160 y por el IEEE Std. 1159-1995 no hay unanimidad ni en las magnitudes ni en las duraciones de las perturbaciones en la tensión de suministro “interrupciones, sags y swells”, incluso, el estándar EN-50160 no define de forma específica ni magnitudes ni rangos de algunas de las perturbaciones.

En la figura 1.9 y 1.10 se presentan gráficamente las definiciones de eventos en la magnitud de la tensión de suministro dadas en los dos estándares.



**Figura 1.9: Definición según: EN-50160**



**Figura 1.10: Definición según: IEEE Std. 1159-1995.**

Tomando en cuenta lo anterior, y para fines de análisis de la calidad de energía, serán evaluados como sags/swells todas aquellas caídas/subidas de voltaje catalogadas entre 0.5 ciclos hasta menores a un minuto (siempre y cuando una reducción en el voltaje no haya caído de tal forma de suspender el suministro de energía).

#### 1.2.4. Transitorios (transient o surge):

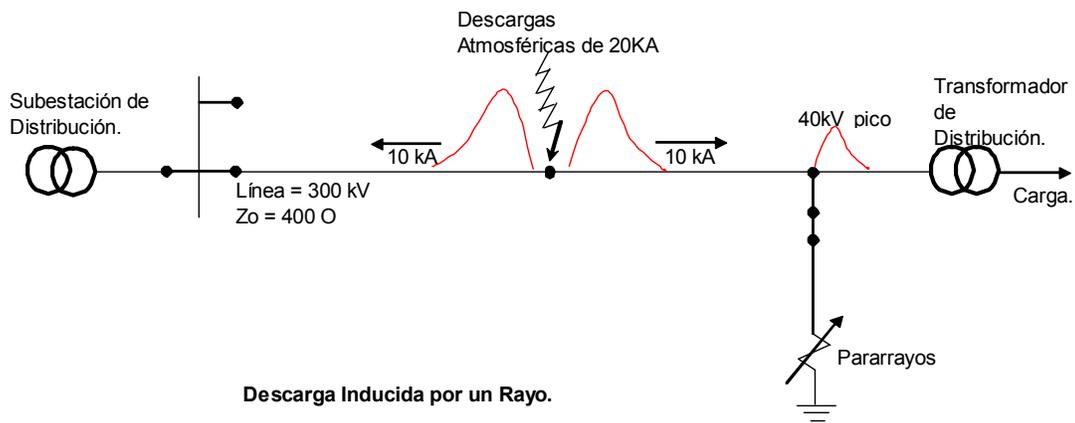
Es un disturbio que ocurre en la forma de onda de CA con una duración inferior a medio ciclo y que es evidente por la abrupta discontinuidad que presenta. Puede ser de cualquier polaridad y puede ser aditiva o substractiva a la onda nominal. [1]

Los transitorios de voltaje son clasificados de la siguiente forma:

- 1- De Conmutación: Conexión y desconexión de equipo, son generados por el mismo usuario y por las distribuidoras.
- 2- Por descargas atmosféricas: Rayos.

**Transitorios de conmutación:** Son generados por la conmutación de equipos en la red de distribución y por las instalaciones del mismo usuario (por ejemplo el encendido y apagado del aire acondicionado, suicheo de bancos de capacitores, o por el despeje de una falla algunas veces dentro del mismo equipo electrónico). En estos casos, el transitorio de tensión se debe al rápido cambio a través de la inductancia del cableado, las magnitudes de estos transitorios pueden ser muy altas.

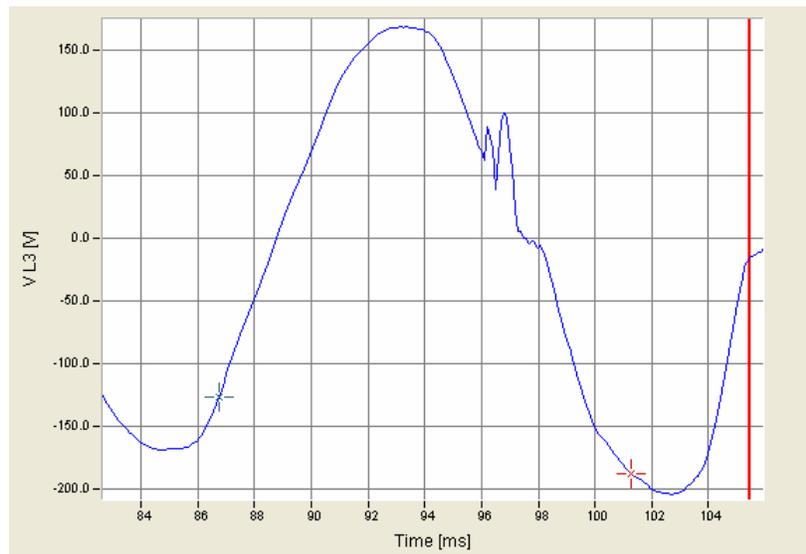
**Transitorios por descargas atmosféricas:** Son causados por las condiciones geográficas y meteorológicas locales. Las descargas atmosféricas producen salidas momentáneas o caídas momentáneas de tensión debido a fallas línea-línea o línea-tierra. Los transitorios por descargas atmosféricas en el sistema de baja tensión pueden ocurrir por descarga directa a los circuitos secundarios o por descargas en el circuito primario y que pasan a través del transformador de distribución.



**Figura 1.11: Propagación de una descarga atmosférica al sistema de distribución.**

Los transitorios pueden ser de dos tipos: Transitorio tipo impulso y tipo oscilatorio.

**Transitorio tipo impulso:** Tiene una rápida elevación y cae más suavemente pero contiene alta energía (se eleva a cientos o aún a miles de voltios) y es unipolar. Puede durar desde unos pocos microsegundos hasta 200 microsegundos. Si el transitorio es un sobre voltaje adicionado a la onda seno es llamado spike (pico) o surge, si es un bajo voltaje o se resta de la onda seno es llamado notch (hendidura).



**Figura 1.12: Forma de onda de Transitorio tipo impulso.**

**Transitorio tipo oscilatorio:** Se eleva rápidamente en el tiempo, las oscilaciones decaen exponencialmente y contienen más baja energía que el impulso (250 a 2500

voltios). Un transitorio oscilatorio puede durar un ciclo (16.7ms) o aún más, y puede tener frecuencias desde unos pocos cientos de ciclos hasta muchos MHz.

Categorías y duración de los transitorios:

**Tabla 1.6: Categorías de transitorios según la norma IEEE 1159.**

<b>Categoría</b>	<b>Contenido Típico Espectral</b>	<b>Duración Típica</b>	<b>Magnitud Típica del Voltaje</b>
<b>1.0 Transitorios</b>			
<b>1.1 Impulsos</b>			
<b>1.1.1 Nanosegundos</b>	<b>5 ns de elevación</b>	<b>&lt; 50 ms</b>	
<b>1.1.2 Microsegundos</b>	<b>1 µs de elevación</b>	<b>50 ns - 1 ms</b>	
<b>1.1.3 Milisegundos</b>	<b>0.1 ms de elevación</b>	<b>&gt; 1ms</b>	
<b>1.2 Oscilatorios</b>			
<b>1.2.1 Baja Frecuencia</b>	<b>&lt; 5 kHz</b>	<b>0.3 - 50 ms</b>	<b>0 - 4 p.u.</b>
<b>1.2.2 Frecuencia Media</b>	<b>5 - 500 kHz</b>	<b>20 µs</b>	<b>0 - 8 p.u.</b>
<b>1.2.3 Alta Frecuencia</b>	<b>0.5 - 5 MHz</b>	<b>0.5 µs</b>	<b>0 - 4 p.u.</b>

Los transitorios vistos por el equipo electrónico pueden ser la causa de pérdidas de datos, falsos disparos y fallas de equipo. Los transitorios reducen la vida media de los equipos y pueden causar daños irreparables al quemar componentes electrónicos en los equipos conectados en el momento que se llevó a cabo el transitorio.

### **1.3 Referencias Bibliográficas:**

[1] Libro Esmeralda de la IEEE. Std 1100-1999 (Emerald Book - IEEE Recommended Practice for Powering & Grounding Electronic Equipment).

[2] IEEE Standard 519-1992. Recommended Practice for Harmonic Control in Industrial Systems.

[3] IEC 61000-4-15, “Flickermeter – Functional and design specifications” 1997.

[4] IEC 61000-3-7, Evaluación de límites de emisión de Cargas Fluctuantes.

[5] UNE EN 50160. Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. 1999.

[6] -IEEE Std 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE New York, USA, 1995.-Electric Power Systems and Equipment— Voltage Ratings (60 Hertz),ANSI Standard Publication no. ANSI C84.1-1995.

[7] SIGET. Acuerdo 192-E-2004, Normas salvadoreñas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución.

## **CAPITULO 2:**

### **2. NORMAS INTERNACIONALES RELACIONADAS AL ACUERDO NACIONAL DE CALIDAD DE ENERGIA. (192-E-2004)**

En este capítulo se analizará dos de los problemas de calidad de energía que más afectan al consumidor: El flicker y los armónicos de voltaje, tomando en cuenta que a partir del primero de enero del corriente año entraron en vigencia las penalizaciones por incidencia del usuario en la calidad del producto [1].

En primer lugar analizaremos el problema de las armónicas de voltaje por el grado de afectación en las instalaciones eléctricas.

#### **2.1 Aplicación de Límites de Distorsión Armónica de Voltaje y Corriente.**

Los límites establecidos para regular la incidencia de distorsión armónica de voltaje y corriente tiene sus orígenes principalmente de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, mediante los estándares 61000-3-2 y 61000-3-6), en la normativa EN 50160 y en Estándares Nacionales Americanos (ANSI, mediante el estándar IEEE 519-1992).

Los estándares establecen los límites de distorsión armónica separándolos en dos categorías: Armónicos de voltaje y armónicos de corriente.

##### **2.1.1 *Límites de Armónicos de voltaje:***

Establece los límites de máxima distorsión armónica que las empresas distribuidoras deben garantizar en el punto de suministro a sus usuarios.

##### **2.1.1.1 Estándar IEC 61000-3-6:**

Establece los límites de distorsión de armónicos de voltaje para los niveles de tensión manejados en Europa: Baja Tensión (LV:  $V_n=1kV$ ), Media Tensión (MV:  $1kV < V_n < 35kV$ ), Alta Tensión (HV:  $35kV < V_n < 230kV$ ) y Extra Alta Tensión (EHV:  $V_n > 230V$ ).

La tabla 2.1 presenta los niveles de compatibilidad o límites de armónicos voltaje en baja y media tensión. Estos son valores de referencia para coordinar la emisión y la inmunidad de los equipos conectados a la red de distribución de potencia, estableciendo que el 95% de las mediciones realizadas deben de cumplir con estos límites, de tal forma que la distribuidora entregue el usuario voltaje de sin distorsión o voltaje capaz de hacer funcionar correctamente al equipo conectado al punto de suministro de la empresa distribuidora.

**Tabla 2.1: Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos, en porcentaje del voltaje nominal. IEC 61000-3-6.**

Armónicos Impares		Armónicos Impares Múltiplos de 3		Armónicos Pares	
Orden h	Armónicos de Voltaje %	Orden h	Armónicos de Voltaje %	Orden h	Armónicos de Voltaje %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
25	1,5				
>25	$0.2+1.3*(25/h)$				
NOTA: Distorsión Armónica Total (THD): 8%					

La tabla 2.2 muestra los límites o niveles planeados que pueden ser usados con el propósito de evaluar el impacto en la fuente de suministro de las cargas de los consumidores. Los niveles planeados son especificados para todos los niveles de voltaje de las distribuidoras y pueden ser considerados como objetivos de calidad de la

empresa. Estos niveles son menores a los límites regulados y pueden variar dependiendo de la estructura y circunstancias de la red.

**Tabla 2.2: Niveles de planeación para voltajes armónicos en porcentaje del voltaje nominal para MV, HV y EHV. IEC 61000-3-6**

Armónicos Impares			Armónicos Impares Múltiplos de 3			Armónicos Pares		
Orden h	Armónicos de Voltaje %		Orden h	Armónicos de Voltaje %		Orden h	Armónicos de Voltaje %	
	MV	HV-EHV		MV	HV-EHV		MV	HV-EHV
5	5	2	3	4	2	2	1,6	1,5
7	4	2	9	1,2	1	4	1	1
11	3	1,5	15	0,3	0,3	6	0,5	0,5
13	2,5	1,5	21	0,2	0,2	8	0,4	0,4
17	1,6	1	>21	0,2	0,2	10	0,4	0,4
19	1,2	1				12	0,2	0,2
23	1,2	0,7				>12	0,2	0,2
25	1,2	0,7						
>25	$0.2+0.5*(25/h)$	$0.2+0.5*(25/h)$						

NOTA: Distorsión Armónica Total (THD): 6.5% (MV), 3% (HV)

2.1.1.2 Estándar EN 50160:

Estándar europeo que establece los límites de distorsión armónicos de voltaje y son en su mayoría los mismos valores del estándar IEC 61000-3-6.

**Tabla 2.3: Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos, en porcentaje del voltaje nominal, EN 50160**

Armónicas Impares		Armónicas Impares Múltiplos de 3		Armónicas pares	
Orden h	Armónica de Voltaje (%)	Orden h	Armónica de Voltaje (%)	Orden h	Armónica de Voltaje (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6 ... 24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

NOTA: Distorsión Armónica Total (THD): 8%

2.1.2 Límites de Armónicos de corriente:

Establece los límites de distorsión armónica que los usuarios pueden inyectar a la red.

2.1.2.1 Estándar IEC 61000-3-2:

Establece los límites de distorsión de armónicos de corriente manejados en Europa, es necesario aclarar que los límites especificados en las tablas 2.4 y 2.5 son definidos para el sistema eléctrico conectado a 220/380, 230/400 y 240/415 V operando a 50 o 60Hz

El estándar está limitado para equipos con emisiones de corrientes armónicas menores a 16 amperios. Para propósitos de limitar las corrientes armónicas se clasifican los equipos de la siguiente manera:

**Clase A:** Equipo trifásico balanceado, utensilios domésticos (excluyendo equipos clasificados como clase D), herramientas (excluyendo herramientas portátiles), controladores de lámparas incandescentes y equipo de audio.

**Clase B:** Herramientas portátiles y equipos de soldadura de arco que no son equipos profesionales.

**Clase C:** Equipo de iluminación.

**Clase D:** Computadores personales y televisores.

En las tablas 2.4 y 4.5 se resumen los límites permitidos que establece la norma 61000-3-2 para los equipos clase A (se aplican los mismos límites para los equipos clase D), clase B y clase C detalladas anteriormente.

**Tabla 2.4: Límites IEC 61000-3-2, clase A y B**

Armónico Orden [n]	Corriente Armónica Máxima Permisible [A]	
	Clase A	Clase B
<b>Armónicos Impares</b>		
3	2,30	3,45
5	1,14	1,71
7	0,77	1,16
9	0,40	0,60
11	0,33	0,50
13	0,21	0,32
15=n=39	$0.15 \cdot 15/n$	$0.23 \cdot 15/n$
<b>Armónicos Pares</b>		
2	1,08	1,62
4	0,43	0,65
6	0,3	0,45
8=n=40	$0.23 \cdot 8/n$	$0.35 \cdot 8/n$

Tabla 2.5: Límites IEC 61000-3-2, clase C y D.

<b>Clase C</b>		
<b>Armónico Orden [n]</b>	<b>Máxima Corriente Armónica Permitida expresada como un porcentaje de la corriente de entrada a la frecuencia fundamental [%]</b>	
2	2	
3	30.? <sup>*</sup>	
5	10	
7	7	
9	5	
11=n=39 Solo armónicas Impares	3	
* ? : Factor de Potencia del Circuito		
<b>Clase D</b>		
<b>Armónico Orden [n]</b>	<b>Corriente Armónica máxima permisible mAW</b>	<b>Corriente Armónica máxima permisible [A]</b>
2	3,4	2,3
3	1,9	1,14
5	1	0,77
7	0,5	0,4
9	0,35	0,33
11=n=39 Solo armónicas Impares	3,85/n	Ver Clase A

2.1.2.2 Estándar IEEE 519-1992:

Establece los límites de distorsión armónica de corriente, tomando en cuenta la relación de la máxima corriente de corto-circuito y la máxima corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de suministro o punto de acople común del sistema de distribución.

Este estándar establece que los armónicos pares están limitados al 25% de los límites de armónicos impares. Además establece que todos los equipos de generación de potencia están limitados al valor de distorsión de corriente  $I_{sc}/I_L < 20$ , sin importar el valor real de la relación  $I_{sc}/I_L$ .

**Tabla 2.6: Límites de distorsión armónica de corriente IEEE 519-1992.**

V=69kV						
Isc/IL	h<11	11=h<17	17=h<23	23=h<35	35=h	TDD
<20	4.00	2.00	1.50	0.60	0.30	5.00
20-50	7.00	3.50	2.50	1.00	0.50	8.00
50-100	10.00	4.50	4.00	1.50	0.70	12.00
100-1000	12.00	5.50	5.00	2.00	1.00	15.00
>1000	15.00	7.00	6.00	2.50	1.40	20.00
69kV < V = 161kV						
Isc/IL	h<11	11=h<17	17=h<23	23=h<35	35=h	TDD
<20	2.00	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
20-50	3.50	1.75	1.25	0.50	0.25	4.00
50-100	5.00	2.25	2.00	1.25	0.35	6.00
100-1000	6.00	2.75	2.50	1.00	0.50	7.50
>1000	7.50	3.50	3.00	1.25	0.70	10.00
V > 161kV						
Isc/IL	h<11	11=h<17	17=h<23	23=h<35	35=h	TDD
<50	2.00	1.00	0.75	0.30	0.15	2.50
=50	3.50	1.75	1.25	0.50	0.25	4.00

## 2.2 Flicker

Es un fenómeno fisiológico visual causado a los usuarios de lámparas alimentadas por una fuente común, debido a fluctuaciones rápidas y de pequeña amplitud de la tensión producida por cargas perturbadoras. En presencia de este tipo de cargas en las redes de distribución, se ve la necesidad de emplear normas para definir responsabilidad por la calidad del servicio de una distribuidora en cuanto al producto técnico. Estas normas definen límites en el punto de acoplamiento común entre una carga y la red de suministro.

Para determinar los niveles de fluctuación de tensión producida por las diversas cargas conectadas en los diferentes puntos de la red de distribución se emplea el índice de severidad de flicker expresado con las magnitudes del Pst y Plt donde el Pst se calcula sobre un periodo de 10 minutos, y el Plt se calcula para 12 valores de Pst en un periodo de 2 horas [6] estos parámetro que miden la fluctuación de tensión puede analizarse con un aparato de medida llamado Flickermetro, que está construido en base a normas [6] que describen las especificaciones funcionales de este aparato.

El efecto de las fluctuaciones de tensión producida en la iluminación para un valor de  $Pst = 1.0$  (umbral de molestia experimentado por un observador medio) tiene un significado físico en redes de distribución de baja tensión [3]; por el contrario en media tensión y alta tensión estos valores de Pst no tienen significado físico directo, ya que no hay iluminación conectada a esos niveles. Debido a la relación que hay entre los diferentes niveles de tensión se ve también la necesidad de establecer límites en alta tensión y media tensión que sean compatibles con los límites establecidos en baja tensión, de acuerdo a este criterio y al cumplimiento de los niveles de compatibilidad electromagnética que deben seguir las distribuidoras, la IEC (International Electrotechnical Comisión) a realizado sus esfuerzos para estandarizar la medida y la evaluación del flicker que se obtienen con la utilización de los parámetros Pst y Plt, estableciendo niveles de compatibilidad para equipos de baja tensión que consumen corriente = 16 [7], equipos en BT que consumen corriente > 16 [8] y para equipos conectados en AT y MT [9], dándose un breve resumen de estas normas a continuación.

### 2.2.1 Norma IEC 61000-4-15

Esta sección establece los detalles que debe tener un medidor de flicker describiendo cada una de las partes en diagrama de bloque (como se muestra en la figura 1 del anexo 2). Las principales partes del flickermetro son: Entrada de procesamiento, dispositivo de simulación de la percepción humana (este bloque se subdividen en tres bloques) y proceso de salida que muestra la señal representativa de molestia.

Para determinar el Pst se muestrea el flicker instantáneo en función del tiempo, esta medida se agrupa en clases según su valor (figura 1 en el anexo 2), esto permite trazar la función de densidad de probabilidad acumulada (figura 2, anexo 2).

El Pst se calcula a partir de las estadísticas nivel–tiempo (figura 1, 2 y 3 del anexo 2) obtenidas del clasificador de nivel en el bloque 5.

Se emplea la siguiente formula.

$$Pst = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (2-1)$$

Donde  $P_{0.1}$ ,  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{50}$  son los niveles de flicker excedidos a lo largo del 0.1, 1, 3, 10 y 50% del tiempo de duración del periodo de observación.

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{st}^3}{N}} \quad (2-2)$$

Donde  $P_{st}$  ( $i=1, 2, 3, \dots$ ) son las lectura consecutivas de la severidad de flicker a corto plazo Pst.

A modo de ejemplo y para simplificar el trazo en la figura 3 del anexo 2 se ha limitado el numero de clases a 10, en la curva se expresan 5 valores,  $P_{0.1}$ ,  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_{10}$  y  $P_{50}$ , que expresan el valor de flicker instantáneo durante 0.1, 1, 3, 10 y 50% del periodo de observación.

Los fabricantes del flickermetro deben determinar el margen de magnitud de variaciones de tensión para los cuales los correspondientes valores de Pst se dan con una predicción del 5% o mejor.

### **Descripción de los bloques según norma IEC 61000-4-15 (figura 3 anexo 2)**

Bloque 1:

**Adaptador de la tensión de entrada y circuito para comprobación de calibración:**

Este bloque contiene un generador de señal para comprobar la calibración del medidor en servicio y un circuito adaptador de tensión que escala el valor eficaz medio de la tensión de frecuencia de la red a la entrada a un nivel de referencia interno. De esta manera, las medidas de flicker pueden hacerse independientes del nivel real de la tensión de entrada.

Bloque 2:

**Demodulador cuadrático:** El propósito de este bloque es recuperar la fluctuación de tensión elevando al cuadrado la tensión de entrada escalada al nivel de referencia y por tanto simulando el comportamiento de una lámpara.

Bloque 3 y 4:

**Filtros de ponderación Cuadrático y Aislado:** Estos bloques se componen de dos filtros de corriente continua y un selector de margen para la medida.

Bloque 5:

**Análisis estadístico en tiempo real:** Este bloque incorpora un microprocesador que realiza un análisis estadístico en tiempo real del nivel de flicker permitiendo así el cálculo directo de parámetros de evaluación significativos.

### 2.2.2 Norma IEC 61000-3-3

El estándar da límites y los procedimientos de la evaluación para el equipo de baja tensión con corrientes nominales menores a 16 A.

La base para la evaluación del flicker, es el cambio en la forma de onda de voltaje en las terminales del equipo bajo prueba, que es la diferencia  $\Delta V$  de dos valores sucesivos de voltaje fase a neutro  $V(t1)$  y  $V(t2)$ .

$$\Delta V = V(t1) - V(t2) \quad (2-3)$$

El cambio de voltaje se debe al cambio de la caída de tensión en la impedancia compleja de referencia  $Z$ , causada por el cambio de corriente compleja fundamental  $\Delta I$ , de los equipos bajo prueba. Los cambios de la corriente  $\Delta I$  se establecen en dos partes que es el cambio de la corriente activa  $\Delta I_p$  y el cambio de la corriente reactiva  $I_q$  donde:

$$\Delta I = \Delta I_p - \Delta I_q = I(t1) - I(t2) \quad (2-4)$$

Para equipos monofásicos y trifásicos simétrico, el cambio de voltaje puede aproximarse a.

$$\Delta V = |\Delta I_p \cdot R - \Delta I_q \cdot X| \quad (2-5)$$

Donde R y X son elementos de la impedancia compleja de referencia Z.

El cambio de voltaje relativo se expresa por:

$$d = \frac{\Delta V}{V_n} \quad (2-6)$$

El valor de severidad de flicker a corto plazo Pst se define en la IEC 61000-4-15.

La tabla 2.7 muestra los métodos alternativos para la evaluación de Pst, debido a los diferentes tipos de fluctuaciones de voltaje.

**Tabla 2.7: Métodos de Evaluación.**

Tipo de fluctuaciones de voltaje	Método de Evaluación
Todas las fluctuaciones de tensión (evaluación en la línea).	Medición directa
Todas las fluctuaciones de tensión donde $V(t)$ es definido.	Simulación medición directa
Cambio de la onda de voltaje de acuerdo a la figura 8 a 10 del Anexo 2, con una tasa de incidencia inferior a 1 por ciento	Método analítico Simulación Medición Directa
Cambios de tensión rectangular a intervalos iguales	El Uso del Pst=1 curva de la figura 7 del Anexo 2

**Medición Directa:** Todos los tipos de fluctuaciones de voltaje pueden ser evaluados por medición directa utilizando un flickermetro que cumpla con las especificaciones dadas en la norma IEC 61000-4-15 (figura 3 anexo 2). Este es el método de referencia para la aplicación de los límites.

**Método de Simulación:** En caso de que el cambio de onda de tensión relativa  $d(t)$  es conocida, el Pst puede ser evaluado utilizando una simulación por computadora.

**Método Analítico:** Empleado cuando se presentan cambios de onda de voltaje de los tipos mostrado en las figuras 8, 9 y 10 del anexo 2.

**El uso de la curva Pst = 1.**

En el caso de los cambios de tensión rectangular, de la misma amplitud "d", separadas por intervalos de tiempo la igualdad, la curva de la figura 7 anexo 2, podrán servir para deducir la amplitud correspondiente a Pst = 1 para una tasa de repetición de cursos; Esta amplitud se llama  $d_{lim}$ . El valor Pst correspondiente a la tensión de cambio "d", es administrado por  $Pst = d_{lim}$ .

**Límites:** Los límites serán aplicables a las fluctuaciones y parpadeo de tensión en las terminales de suministro de los equipos bajo prueba. Los siguientes límites de aplicación son:

- El valor de Pst no deberá ser superior a 1,0.
- El valor de Plt no podrá ser superior a 0,65.
- El equipo no producirá una fluctuación relativa máxima,  $d_{max}$ , de voltaje rms, no excederá a más del 4%.
- Los cambios de voltaje de estado estable, dc, no excederá a más del 3%.

El período de medición para los métodos de análisis de flicker será:

- Para Pst = 10 minutos.
- Para Plt = 2 horas

La prueba de los equipos se realizara en el marco de la impedancia de referencia,  $Z_{ref}$ , según establece esta norma, es una convención de impedancia utilizada en el cálculo y la medición del cambio relativo de voltaje, y valores del Pst y Plt.

Los valores inmersos en la impedancia de prueba en los equipos son los siguientes

$$\begin{array}{llll} R_A = 0.24\Omega & jX_A = 0.15\Omega & a & 50Hz \\ R_N = 0.16\Omega & jX_N = 0.10\Omega & a & 50Hz \end{array}$$

### 2.2.3 Norma IEC 61000-3-5.

Esta norma establece límites y procedimientos de evaluación para el equipo de baja tensión con corriente nominales mayores que 16 A. Los límites en 1000-3-5 son dados en 1000-3-3. Se reconoce, sin embargo, que una impedancia más baja de la fuente será requerida para resolver estos requisitos para un equipo más grande. Además, la norma IEC 1000-3-5 reconoce que el equipo puede producir fluctuaciones del voltaje en un índice de menos de uno por hora. En estos casos, los límites de Pst y los Plt no son aplicables. La desviación del voltaje máximo rms se limita a 1.33 veces el límite del 4% de la norma IEC 1000-3-3. la norma IEC 1000-3-5 reconoce especialmente que el

equipo de baja tensión con una corriente nominal mayor que 75A debe ser evaluada basada en la impedancia real de la fuente en el punto de la conexión. El Pst puede ser estimado basado en el tamaño relativo del VA de la carga y del grado del VA del transformador de la fuente. El límite de Plt se fija igual a 0.65Pst para el equipo con corrientes nominales >75A.

#### 2.2.4 Norma IEC 61000-3-7

El reporte técnico CEI IEC 1000-3-7 se refiere a la evaluación de límites de emisión de cargas fluctuantes en media tensión (MT) y Alta tensión (AT). Trata los principios de contorno que son requeridos como las bases para determinar los requerimientos para conexiones de grandes cargas fluctuantes (produciendo flicker) para los sistemas de potencia público.

Los problemas relacionados con las fluctuaciones de voltajes se clasifican en dos categorías:

- 1- El efecto del Flicker para las fuentes de luz.
- 2- El riesgo de la magnitud de voltaje que esta fuera de tolerancias aceptadas.

Este reporte contempla los siguientes niveles de tensión de referencia (tabla 2.8):

**Tabla 2.8: Niveles de Tensión europeos.**

Baja Tensión (VL)	$V_n = 1 \text{ kV}$
Media Tensión (NT)	$1 \text{ kV} < V_n = 35 \text{ kV}$
Alta Tensión (AT)	$35 \text{ kV} < V_n = 230 \text{ kV}$
Extra Alta Tensión (EAT)	$230 \text{ kV} < V_n$

Las mediciones de flicker son generalmente hechas en el punto de acoplamiento común (PCC) de las cargas fluctuantes para MT y HT. Hay que recordar las molestias que causan las cargas fluctuantes en MT y HT son transferidas en una cierta proporción a los consumidores en baja tensión.

### Niveles de Compatibilidad.

Estos son valores (tabla 2.9) de referencia que son impuestos o exigidos por un ente regulador para garantizar niveles de calidad tomando en cuenta el suministro de red más equipos conectados en el mismo PCC.

Los niveles de compatibilidad son generalmente basados sobre el nivel del 95% del periodo de medición.

**Tabla 2.9: Niveles de Compatibilidad Pst y Plt**

Niveles de Compatibilidad	
Pst	1.0
Plt	0.8

### Niveles de Planeación.

El nivel de planeación es un nivel interno de las distribuidoras (pueden tenerlo o no), y estos deben ser menores o iguales a los niveles de compatibilidad. Estos son niveles que pueden ser usados para procesos de planeación en evaluación de las repercusiones sobre el sistema de suministro de todas las cargas del consumidor.

Valores recomendados para el nivel de planeación según reporte IEC 1000-3-7 (tabla 2.10).

**Tabla 2.10: Niveles de Planificación.**

Niveles de Planificación		
	MV	HV - EHV
Pst	1.0	0.8
Plt	0.8	0.6

El reporte IEC 1000-3-7 también describe procedimientos para el uso de los niveles de planificación a evaluar requerimiento de conexión para consumidores individuales.

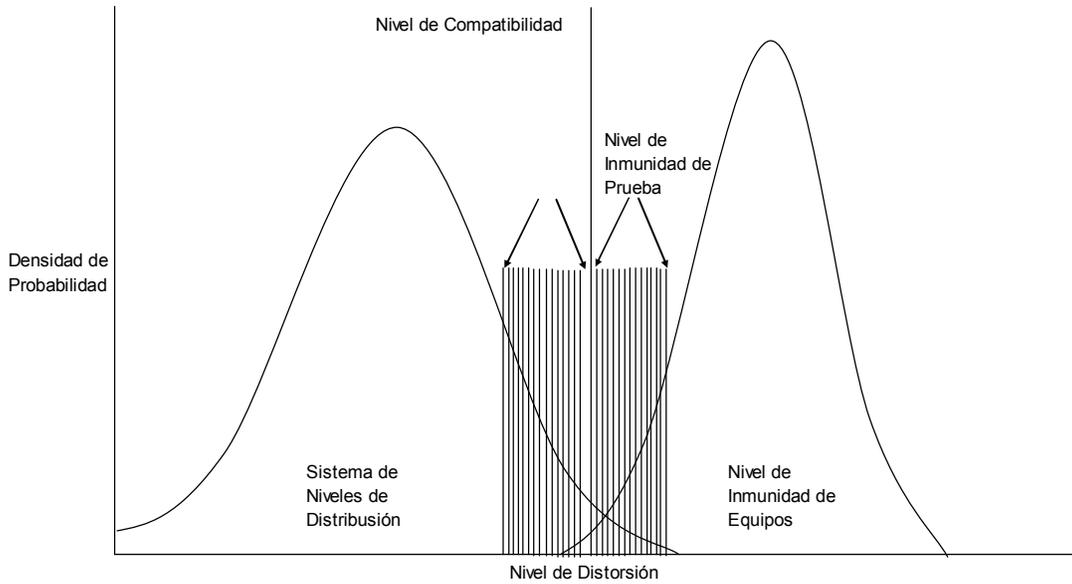
### Procedimiento de evaluación.

Las mediciones podrían llevarse a cabo conforme a la IEC 1000-4-15 con un periodo de medición por lo menos de una semana. El Pst así como el Plt pueden medirse en este periodo de la función de probabilidad acumulativa obtenerse el percentil del  $P_{st95\%}$ ,  $P_{st99\%}$  esto puede mostrarse de la siguiente manera:

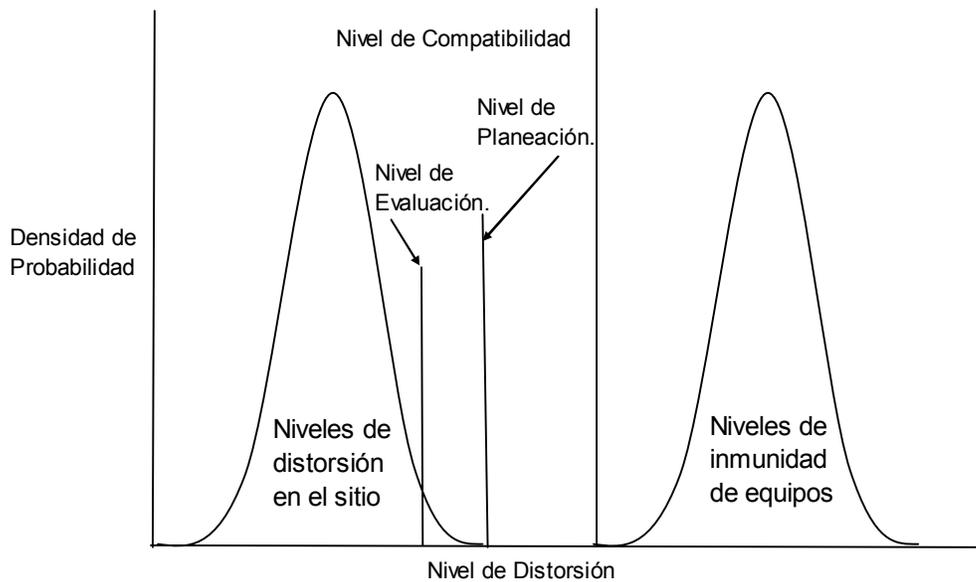
$P_{st99\%}$  = Nivel de Planeación

$P_{lt99\%}$  = Nivel de Planeación

En las figuras 2.1 y 2.2 se muestra de una manera más ilustrativa como se relaciona el nivel de compatibilidad, nivel de planeación y el límite de inmunidad de equipos.



**Figura 2.1: Ilustración de conceptos de calidad de voltaje básicos con estadística de tiempo/posición que cubre todo sistema.**



**Figura 2.2: Ilustración de conceptos de calidad de voltaje básicos con estadística de tiempo relevante a un sitio dentro de todo el sistema.**

### **Niveles de Emisión.**

Los niveles de emisión para cargas fluctuantes es el nivel de flicker que puede ser producido en el sistema de potencia si no hay otras cargas fluctuantes presentes.

Este nivel de emisión podría obtenerse con un periodo de medición de 1 semana.

Para el  $P_{sti}$  y  $P_{lti}$  usando la función de probabilidad acumulativa será el  $P_{st99\%}$  y  $P_{lt99\%}$  y puede ser mostrada de la siguiente forma.

- $P_{st99\%} = E_{p_{sti}}$
- $P_{lt99\%} = E_{p_{lti}}$

En la práctica el nivel de emisión es generalmente evaluado en el punto de conexión de la carga y el sistema. Si el  $P_{st} = 0.5$  el nivel de flicker en el PCC podrá ser medido de la siguiente manera:

- $P_{st1} =$  Cargas fluctuantes conectadas al Sistema.
- $P_{st2} =$  Sin cargas fluctuantes conectadas al Sistema.

Donde:

$$P_{st_i} = \sqrt[3]{P_{st_1}^3 - P_{st_2}^3} \quad (2-7)$$

### **Principios Generales.**

El principio general de este reporte es evaluar los límites de aceptabilidad de cargas fluctuantes producidas por grandes consumidores en el sistema de potencia. El proceso de evaluación se lleva a cabo por etapas tal y como se muestra en la figura 2.3

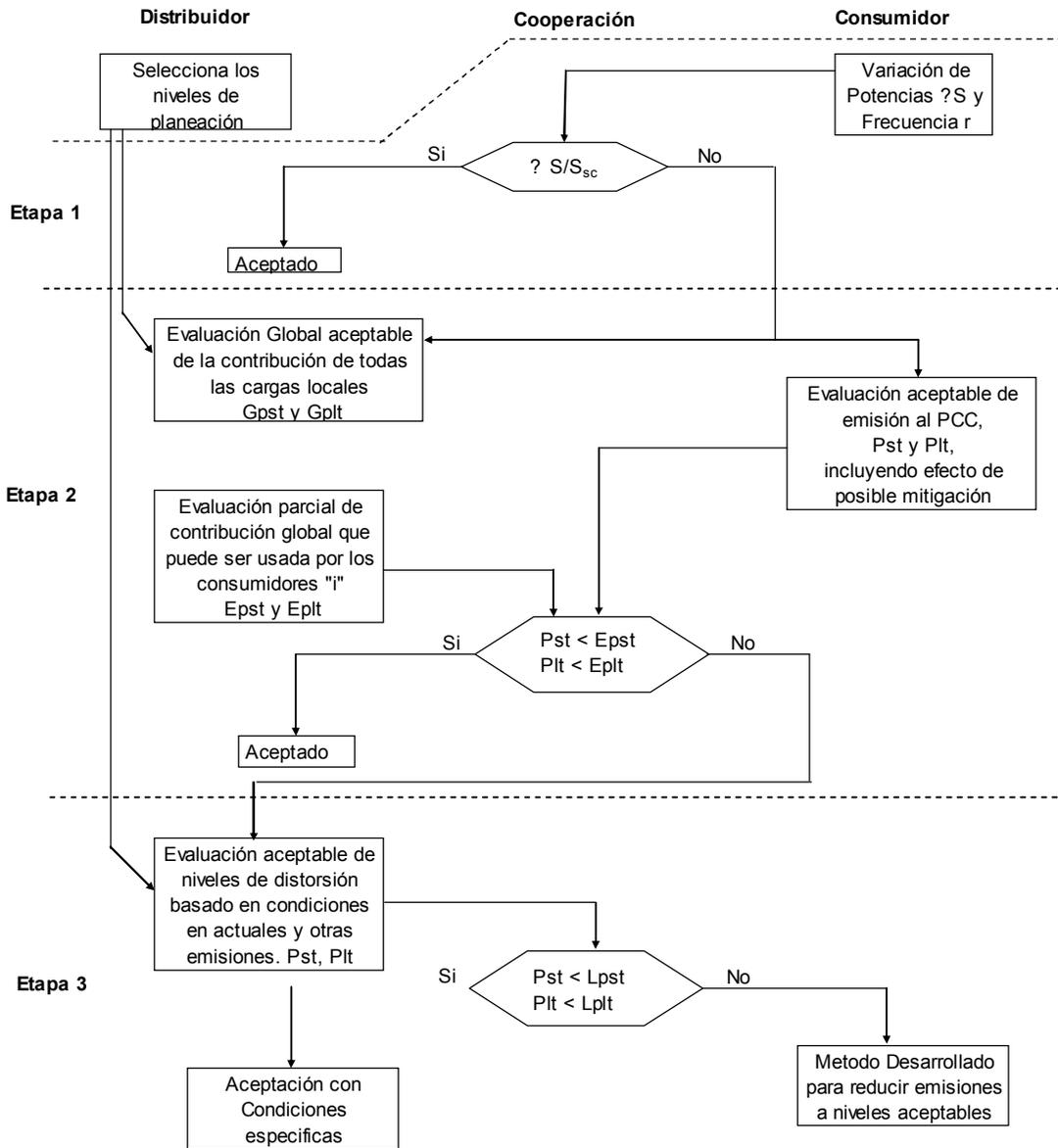


Figura 2.3: Diagrama de proceso de evaluación.

En general la combinación de relacionar el índice de severidad a corto plazo  $Pst^1$  causado por varias cargas fluctuantes en el mismo punto seda de la siguiente manera:

$$Pst = \sqrt[m]{\sum_i Pst_i^m} \quad (2-8)$$

<sup>1</sup> Para simplificar los cálculos es conveniente sustituir el  $Pst$  por  $Ast$ ,  $Plt$  por  $Alt$ , aplicando la ley de la sumatoria de los cubos de tal forma que  $Ast = Pst^3$

Donde m:

- m = 4 usado para la sumatoria de cambio de voltaje producidos por un horno de Arco.
- m = 3 usado para la mayoría de los cambios de tensión en los que el riesgo de que coincidan pequeñas tensiones se producen.
- m = 3.2 esta opción coincide con la pendiente de la recta de la parte en la curva  $Pst = 1$  (véase el Figura 4, anexos).
- m = 2 es usado donde coinciden ruidos estocásticos.
- m = 1 El Pst resultante puede evaluarse obteniendo los coeficiente donde se da con frecuencia alta la variación de cambio de voltaje.

**Procedimiento de evaluación por etapas.**

**Etapa 1:** La conexión de una carga fluctuante puede ser aceptada sin análisis a futuro si la variación de potencia  $\Delta S$  están dentro de los siguientes límites (tabla 2.11) en el punto de acoplamiento común (PCC). Estos límites dependen del número r de los cambios de voltaje por minuto.

**Tabla 2.11: Límites para variaciones de potencia relativa en función del número de variaciones por minuto.**

r min <sup>-1</sup>	$K = \left( \frac{\Delta S}{S_{sc}} \right)_{\max} (\%)$
r > 200	0.1
10 = r = 200	0.2
r < 10	0.4

**Etapa 2:** Evaluación de los niveles de emisión proporcional a la potencia de los consumidores.

La propagación de las distorsiones en los sistemas de potencia radial sigue el siguiente procedimiento:

- El parpadeo de los valores presentes en un determinado nivel de tensión será plenamente transferidas a las partes del sistema de menor tensión con alguna atenuación (coeficiente de transmisión inferior a 1, 0.8)
- Debido al aumento de los niveles de voltajes aguas arriba y la coincidencia de los cambios en baja tensión, contribución de parpadeo en sistemas de bajo a alto voltaje puede considerarse prácticamente insignificante (coeficiente de transmisión igual a 0).

**Emisión global distribuida entre los consumidores.**

La emisión global determina la contribución de todas las cargas fluctuantes que son alimentadas por el sistema MT. El nivel real de parpadeo en un sistema MT resulta de la combinación del nivel de parpadeo procedente aguas arriba del sistema de HT y el nivel de parpadeo resultante de la fluctuación de todas las cargas conectadas al sistema MT. Este parpadeo no deberá exceder el nivel de planificación del sistema MT.

Los índices de emisión global son:

$$G_{PstMT} = \sqrt[3]{L^3_{PstMT} - T^3_{PstHM} * L^3_{PstHT}} \tag{2-9}$$

$$G_{PltMT} = \sqrt[3]{L^3_{PltMT} - T^3_{PltHM} * L^3_{PltHT}} \tag{2-10}$$

A efectos de ilustración, las ecuaciones (2-9) y (2-10) se aplican en el caso particular de un sistema de MT, en el supuesto de que el coeficiente de transmisión ( $T_{HM}$ ) de aguas arriba del sistema HT es igual a 0,8 y en el supuesto de que los niveles de planificación en los sistemas HT y MT son los de la tabla 2.10 Los resultados se presentan en el tabla 2.12.

**Tabla 2.12: Niveles de Pst Globales.**

$G_{PstMT}$	$G_{PltMT}$
0.79	0.63

### Límites de Emisión:

El límite de Emisión individual es una parte del valor de flicker en términos de Pst que se le puede permitir a un usuario, debido a la presencia de cargas perturbadoras de otros usuarios, esta porción es determinada a través de la relación de potencia contratada y potencia total del sistema de MT.

Para todas las cargas no fluctuantes el uso puede ser no simultáneo, debido a esto se introduce el concepto de factor coincidental  $F_M$ , que para valores diferente de uno, puede ser introducido como valores típicos de 0.2 a 0.3.

Tomando en cuenta la ley de sumatoria recomendadas en las ecuaciones del Pst y Plt (2-1 y 2-2), el límite de emisión individual se calcula como:

$$E_{psti} = G_{PstMT} * \sqrt[3]{\frac{Si}{S_{MB}} * \frac{1}{F_{MW}}} \quad (2-11)$$

$$E_{plti} = G_{PltMV} * \sqrt[3]{\frac{Si}{S_{MV}} * \frac{1}{F_{FM}}} \quad (2-12)$$

Para los usuarios que tienen una potencia contratada comparativamente baja, el enfoque anterior puede dar limitaciones demasiado estrictas. Para superar este problema, se propone que un mínimo de los niveles de emisión siempre será concedido para severidad a corto y largo plazo. Estos valores fundamentales se indican en el tabla 2.13.

**Tabla 2.13: Niveles Básicos de emisión individual.**

$E_{Psti}$	$E_{Plti}$
0.35	0.25

**Etapas 3:**

Nivel de aceptación bajo condiciones especiales:

Con la aplicación de las etapas 1 y 2, el resultado puede conducir a la restricción indebida de los niveles de flicker con respecto a valores que deben estar por debajo de los niveles de planificación. Para mantener los principios generales y permitir interpretación flexible de este informe, la distribuidora puede utilizar el margen disponible cuando sea necesario. Sin embargo, la aceptación de límites superiores a la normal, de emisión puede darse a los consumidores sólo en circunstancias excepcionales y sobre una base precaria. Debido a que muchos usuarios conectados al sistema de distribución, no producen flicker significativamente, debido a que estos usuarios no tienen cargas fluctuantes de magnitud significativa.

## 2.3 Referencias Bibliográficas.

- [1] Acuerdo 192-E-2004, SIGET. Norma de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución. Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.
- [2] CEI IEC 61000-3-6 (TR3) OCTUBRE 1996  
Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3:Limits Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems Basic EMC publication.
- [3] Norma Italiana CEI EN 50160. Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. 1997-06.
- [4] CEI IEC 61000-3-2 .2001.-.CEI.IEC.-.EMC.-.Part.3.-.2.  
Limits.for.harmonic.current.emissions.equipment.input.current.up.to.and.including.  
16.A.per.phase
- [5] IEEE Standard 519-1992. Recommended Practice for Harmonic Control in Industrial Systems.
- [6] Norma IEC 61000-4-15 Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnica de ensayo y de medida. Sección 15: Medidor de flicker. Especificaciones funcionales y de diseño
- [7] Norma IEC 61000-3-3 Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current  $\leq 16 \text{ A}$
- [8] Norma IEC 61000-3-5 Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A
- [9] Norma IEC 61000-3-7 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems – Basic EMC publication

## CAPITULO 3:

### 3 EVALUACION DE LA NORMATIVA SALVADOREÑA DE CALIDAD DE SERVICIO DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION.

La calidad de servicio de los sistemas de distribución de energía eléctrica es el conjunto de propiedades y estándares normales que, conforme a la ley y el reglamento vigentes, son inherentes a la actividad de distribución de electricidad concesionada, y constituyen condiciones bajo las cuales dicha actividad debe desarrollarse.

El acuerdo 192-E-2004 constituye las Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución en El Salvador, creadas con el fin de proteger tanto los derechos de los usuarios como de las entidades que desarrollan actividades en el sector eléctrico.

La normativa está dividida en tres áreas de gran importancia:

- ✓ **Calidad del Producto Técnico:** Persigue analizar las características y nivel de la señal de voltaje en el punto de acoplamiento común, además de las perturbaciones.
- ✓ **Calidad del Servicio Técnico:** Persigue analizar, controlar y sancionar lo referente a cortes de suministro, frecuencia de las interrupciones y duración de éstas.
- ✓ **Calidad de Servicio Comercial:** Busca dar plazos y cualidades de la atención por parte de la compañía distribuidora, para el cumplimiento de las solicitudes e información requerida por el usuario.

La calidad de Servicio Técnico es evaluada en función de la continuidad del suministro de energía eléctrica a los usuarios y para el cálculo de indicadores solo son tomadas en cuenta las interrupciones sostenidas [1].

La calidad del Producto suministrado por el distribuidor es evaluada mediante el sistema de Medición y Control de la calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, realizado por el propio distribuidor y supervisado por SIGET para identificar las transgresiones a las tolerancias permitidas respecto a los parámetros establecidos para: Regulación de Tensión, Distorsión Armónica y Flicker.

Este estudio únicamente aborda el análisis de los dos aspectos mencionados anteriormente: Calidad de servicio y calidad de producto.

### 3.1 Calidad de Servicio Técnico:

El acuerdo 192-E-2004 establece los límites de los índices de continuidad del suministro eléctrico que deben cumplir las empresas distribuidoras para brindar un buen servicio de energía al usuario final, en la tabla 3.1 se muestran los límites en los indicadores globales e individuales que anualmente deberían cumplirse para considerar que el suministro eléctrico es de calidad.

**Tabla 3.1: Límites de indicadores globales e individuales de calidad de Servicio Técnico SIGET.**

		IMPLEMENTACION ETAPA DE REGIMEN			
		Urbano		Rural	
Indicador	Unidad	Período año 2005 al 2007	Período a partir del año 2008	Período año 2005 al 2007	Período a partir del año 2008
<b>FMIK</b>	Global Int/año/KVA	8	<b>5</b>	14	<b>12</b>
<b>TTIK</b>	Global horas/año/KVA	14	<b>10</b>	30	<b>24</b>
<b>SAIFI</b>	Global Int/año	9	<b>7</b>	15	<b>12</b>
<b>SAIDI</b>	Global horas/año	18	<b>14</b>	30	<b>24</b>
<b>SAIFI US</b>	Individual Int/año/usuario	10	<b>8</b>	20	<b>15</b>
<b>SAIDI US</b>	Individual horas/año/usuario	20	<b>16</b>	40	<b>30</b>

#### Indicadores globales:

FMIK: Frecuencia Media de Interrupción por kVA

TTIK: Tiempo Total de Interrupción por kVA

SAIFI: Índice de Frecuencia de Interrupción Promedio del Sistema (interrupciones /usuarios del sistema /año)

SAIDI: Índice de Duración de Interrupción Promedio del Sistema (horas/ usuarios del sistema /año).

#### Indicadores Individuales:

SAIFIUS: Índice de Frecuencia de Interrupción por Usuario (interrupciones /usuario /año)

SAIDIUS: Índice de Duración de Interrupción por Usuario (horas /usuario /año)

### 3.2 Método de Cálculo de los Indicadores Técnicos:

Los indicadores globales de calidad reflejan el comportamiento del sistema de distribución en cuanto a la frecuencia y duración de las interrupciones vistas por los usuarios o por la potencia interrumpida, debido a una suspensión del suministro eléctrico. Para calcular los indicadores globales de calidad de energía es necesario disponer de un sistema eléctrico que incluya potencia suministrada y clientes conectados al sistema, a los cuales podrá aplicárseles las siguientes ecuaciones.

$$SAIFI = \frac{\sum_i^N Usu_i}{Usu_T} \quad SAIDI = \frac{\sum_i^N (Dur_i Usu_i)}{Usu_T}$$

$$FMIK^{RED} = \frac{\sum_{i=1}^N KVA_i^{RED}}{KVA_{TOTAL}^{RED}} \quad TTIK^{RED} = \frac{\sum_{i=1}^N KVA_i^{RED} x Hs_i}{KVA_{TOTAL}^{RED}} \quad (3-1)$$

El indicador global puede obtenerse por empresa distribuidora, por circuito, por subestación, etc. Para ello necesitamos conocer el número total de Usuarios/KVA conectados y el número de Usuarios/KVA que fueron interrumpidos, dependiendo de la desagregación que se necesite. Por ejemplo:

$$SAIFI \text{ empresa} = \frac{\text{Usuarios Interrumpidos}}{\text{Total Usuarios por Empresa}}$$

$$SAIFI \text{ circuito} = \frac{\text{Usuarios Interrumpidos}}{\text{Total Usuarios por circuito}} \quad (3-2)$$

Los indicadores individuales de calidad reflejan el comportamiento del sistema de distribución en cuanto a la frecuencia y duración de las interrupciones vistas por los usuarios que fueron interrumpidos, debido a una suspensión del suministro eléctrico. Para calcular los indicadores individuales de calidad de energía es necesario conocer la totalidad de interrupciones q afectaron a un cliente específico y la duración de las mismas:

$$SAIDI_{US} = \sum_i^N Tiempo_{(i)} \quad SAIFI_{US} = \sum_i^N Interrupciones \quad (3-3)$$

### 3.2.1 Comparación de los Indicadores Técnicos (El Salvador, Guatemala y Panamá)

Indicadores Urbanos Etapa de Régimen:

**Tabla 3.2: Comparación de indicadores Urbanos.**

País	Indicador						
	FMIK	TTIK	SAIFI	SAIDI	SAIFI <sub>US</sub>	SAIDI <sub>US</sub>	CAIFI
El Salvador	5	10	7	14	8	16	14
Guatemala	2,5	8	-	-	6	12	-
Panamá	-	-	6	8,76	-	-	-

Indicadores Rurales Etapa de Régimen:

**Tabla 3.3: Comparación de indicadores Rurales.**

País	Indicador						
	FMIK	TTIK	SAIFI	SAIDI	SAIFIUS	SAIDIUS	CAIFI
El Salvador	12	24	12	24	15	30	18
Guatemala	3,5	10	-	-	8	14	-
Panamá	-	-	10	43,8	-	-	-

De las tablas 3.2 y 3.3 podemos observar que a partir del 1 de enero del año 2008, El Salvador presenta indicadores de calidad de servicio técnico menos estrictos en relación a los que actualmente tienen otros países del área como Guatemala y Panamá.

Para conocer el cumplimiento de dichos índices serán analizados únicamente los indicadores individuales.

### 3.3 Calidad de Producto Técnico:

Al igual que los indicadores técnicos, en producto técnico se evaluará únicamente el indicador individual. Este mide el nivel de tensión o regulación de voltaje admisible para establecer energía eléctrica de calidad suministrada al consumidor final.

**Niveles de Tensión:** El Indicador de Calidad para evaluar la tensión de entrega en un intervalo de medición k, es la diferencia  $V_k$  entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos medidos en el punto de entrega y el valor de la tensión nominal  $V_N$  del mismo punto. Este indicador está expresado como un porcentaje de la tensión nominal del punto:

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100\% \quad (3-4)$$

Los niveles máximo y mínimo de tensión, según las zonas de servicio, en el punto de suministro o entrega al usuario, se indican en la tabla 3-4:

**Tabla 3.4: Niveles de regulación de voltajes permitidos en BT y MT.**

NIVEL DE TENSION	?Vk		
	Régimen período año 2005 en adelante		
	Urbano	Rural	Aislado
Baja Tensión (=600V)	±7%	±8%	±8,5%
Media Tensión(600V<V<115kV)	±6%	±7%	±8,5%

Los niveles de tensión manejados por las distribuidoras salvadoreñas se muestran en la tabla 3.5:

**Tabla 3.5: Niveles de tensión manejados en BT y MT en El Salvador.**

Nivel de Tensión	Voltajes Manejados
Baja Tensión	240/120, 208/120, 480/270, 440 y 600 V
Mediana Tensión	4.16/2.3, 13.2/7.6, 23/13.2, 35 y 46 KV

La regulación de tensión permitida para los niveles de voltajes manejados en el país se muestra en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6: Regulación de tensión mínima y máxima permitida en BT y MT.**

BT (V)	Urbano		Rural	
	-7%	7%	-8%	8%
110	102,30	117,70	101,20	118,80
120	11,60	128,40	110,40	129,60
208	193,44	222,56	191,36	224,64
240	223,20	256,80	220,80	259,20
270	251,10	288,90	248,40	291,60
440	409,20	470,80	404,80	475,20
480	446,40	513,60	441,60	518,40
600	558	642	552	648
MT (kV)	-6%	6%	-7%	7%
2,3	2,16	2,44	2,14	2,46
4,16	3,91	4,41	3,87	4,45
7,6	7,14	8,06	7,07	8,13
13,2	12,41	13,99	12,28	14,12
23	21,62	24,38	21,39	24,61
35	32,90	37,10	32,55	37,45
46	43,24	48,76	42,78	49,22

### 3.4 Comparación de los Indicadores Individuales de Producto Técnico.

Indicadores en BT Etapa de Régimen:

**Tabla 3.7: Comparación de los niveles de regulación de voltajes permitidos en BT.**

Pais	Nivel de Tension		
	Urbano	Rural	Aislado
El Salvador	± 7%	± 8%	± 8,5
Guatemala	± 8%	± 6%	-
Panama	± 5%	± 7,5%	± 8%

Indicadores en MT Etapa de Régimen:

**Tabla 3.8: Comparación de los niveles de regulación de voltajes permitidos en MT.**

Pais	Nivel de Tension		
	Urbano	Rural	Aislado
El Salvador	± 6%	± 7%	± 8,5
Guatemala	± 10%	± 7%	-
Panama	± 5%	± 7%	± 8%

De la comparación anterior podemos ver que el indicador de regulación de voltaje es mucho más estricto en la normativa de Panamá.

### 3.4.1 Variaciones de Estado Estable tomadas en cuenta por el Producto Técnico

El incremento de cargas no lineales genera disturbios que provocan una mala calidad de energía, la cual debe ser analizada y adecuada para que los equipos que la utilicen puedan funcionar correctamente. Para regular el problema de la mala calidad de energía se creó el acuerdo 192-E-2004 estableciendo límites que deben cumplirse a la entrada en vigencia a partir del primero de enero del presente año, por lo cual tanto el distribuidor como el consumidor final deben adecuar sus instalaciones eléctricas de tal forma de cumplir con lo estipulado en el acuerdo antes mencionado.

Desde el primero de enero del presente año (2008) el problema de flicker y armónicos producidos dentro de las instalaciones del consumidor será objeto de penalizaciones, por esta razón esta sección está orientada a analizar y validar los límites permitidos de emisión de flicker y armónicos establecidos en el acuerdo 192-E-2004. La base de esta regulación la constituyen diversos estándares internacionales que han sido adaptados de tal forma de usar los límites medidos y niveles de referencia en cuanto a niveles de distorsión de tensión y corriente manejados en nuestro país.

En primer lugar estudiaremos el problema de las armónicas por el grado de afectación en las instalaciones eléctricas, por el daño causado en los equipos y continuación evaluaremos los índices de severidad de flicker, causado por cargas fluctuantes, que afectan directamente a los usuarios en BT (fenómeno fisiológico visual que se pone en manifiesto en lámparas de 60 watts).

#### 3.4.1.1 Armónicos

Se considera que tiene lugar una distorsión armónica cuando la onda senoidal, prácticamente perfecta, que generan las centrales eléctricas sufre deformaciones en las redes de alimentación a los consumidores. Los armónicos se miden como la amplitud

relativa de su valor eficaz (promedio en períodos de 10 minutos) frente al valor de la componente fundamental.

Los armónicos incrementan las pérdidas en la red y acortan la vida útil de las instalaciones, además pueden propagarse por la red de distribución y afectar a otros usuarios. Dependiendo del equipo y de la potencia que el usuario maneje en sus instalaciones, así será el grado de afectación de armónicos que presente.

Los límites de distorsión armónica se evalúan desde dos puntos de vista: Del lado de la distribuidora y del lado del consumidor, con esto se podrá determinar si es el cliente quien está generando distorsión de corriente o es la distribuidora quien está suministrando voltaje con distorsión armónica debido a la incidencia de usuarios perturbadores.

#### **Regulación a la Distribuidora:**

Las compañías distribuidoras deben garantizar que el nivel de tensión en el punto de suministro al usuario cumpla con ciertos límites establecidos, limitando la distorsión armónica en MT y BT ( $600V < \text{Media Tensión} < 115kV$  y Baja Tensión  $= 600V$  respectivamente).

Los límites de distorsión armónica individual de voltaje establecidos en el acuerdo 192-E-2004 son similares a los de la norma europea EN50160 [1] pero fueron adoptados de la norma IEC 61000-3-6 [2] únicamente para voltajes de MT y BT.

Los límites de distorsión armónica de voltaje manejados en El Salvador son exactamente los mismos del estándar IEC 61000-3-6 y su aplicación es válida puesto que el voltaje manejado en el país se encuentra dentro del rango de voltaje especificado en el estándar IEC 61000-3-6.

La tabla 3.9 muestra los límites de distorsión individual de voltaje que como mínimo debe entregar la distribuidora en el punto de suministro, con un límite de distorsión armónica total del 8%.

**Tabla 3.9: Límites de Distorsión armónico de voltaje en el punto de suministro.**

Orde de la Armónica (n)	Tasa de distorsión individual (TDI) %
(impares no múltiplos de 3)	
5	6
7	5
11	3,5
13	3
17	2
19	1,5
23	1,5
25	1,5
> 25	$0.2+1.3 \times 25/n$
(impares múltiplos 3)	
3	5
9	1,5
15	0,3
21	0,2
> 21	0,2
(pares)	
2	2
4	1
6	0,5
8	0,5
10	0,5
12	0,2
> 12	0,2
Tasa de Distorsión Total (VDAT) %	8

La distorsión armónica de tensión producida por una fuente de corriente armónica dependerá de la potencia del usuario, del nivel de tensión al cual se encuentra conectado, y del orden de la armónica.

## **Regulación al Consumidor Final**

### **Incidencia del Usuario en BT:**

Los límites de corrientes armónicas establecidos en el acuerdo 192-E-2004 fueron adoptados del estándar IEC 61000-3-2 [3], en este estándar se subdivide o clasifica los límites de emisión en cuatro categorías de acuerdo al equipo que tenga conectado el consumidor: Clase A, B, C o D.

Es necesario aclarar que los límites especificados para armónicos de corriente fueron definidos para el sistema eléctrico europeo conectado a 220/380, 230/400 y 240/415 V operando a 50 o 60Hz.

Para adecuar estos límites al nivel de 120V y 60Hz manejados en nuestro país, únicamente se tienen que multiplicar por 2 los valores máximos de intensidad de corriente armónica permitida (presentadas en la tabla 2.4 del capítulo 2). El acuerdo 192-E-2004 al igual que las normativas de diferentes países de América latina ha adoptado como límites de distorsión de corriente los límites especificados para equipos clase A (ver columna 2 de la tabla 2.4 del capítulo 2). La aplicación de estos límites es discutible puesto que los equipos clase A están limitados a corrientes de distorsión menores a 16 amperios, por tanto no pueden aplicarse estos mismos límites a usuarios perturbadores con cargas mayores.

La IEC ha creado el estándar 61000-3-4 (posteriormente será sustituido por el estándar IEC 61000-3-12), definido para manejar corrientes de distorsión armónica menores a 75 amperios. Por tanto, los límites presentados en este estándar podrían ser adoptados y adaptados en el acuerdo 192-E-2004 para verificar el nivel de incidencia que tiene el usuario conectado a la red.

### **Incidencia del Usuario en MT:**

Los límites de distorsión armónica individual de corriente en MT expresados en % fueron adoptados de la normativa argentina de calidad de energía. Estos límites fueron establecidos empleando un método desarrollado por españoles [4].

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

Los límites se calculan empleando la ecuación 3-5:

$$I_h(\%) = \frac{r_{sc} * U_h(\%)}{K_a * f_{(h)}} \quad (3-5)$$

Donde:

$r_{sc}$ : Es la relación entre la potencia de corto circuito en el punto de suministro y la relación de potencia del transformador donde se encuentra conectado el usuario. Para BT y MT se asume que  $r_{sc} = 10$ .

$U_k(\%)$ : Límites de Distorsión armónico de voltaje en el punto de suministro presentados en la tabla 3.9.

$K_a$ : Factor de compensación según orden de la armónica.

Para  $h=15$   $k_a = 1$

Para  $5 < h < 10$   $0.63 = k_a = 0.83$

Para  $10 < h$   $0.331 = k_a = 0.71$ .

$f_{(k)}$ : Coeficiente lineal entre la impedancia armónica de la red y la impedancia a frecuencia fundamental.

$f(h) = h$  para  $2 < h < 13$

$f(h) = 13 + (h-13)/2.5$  para  $13 < h < 25$

$f(h) = 13 + 12/2.5 + (h-25)/7.5$  para  $25 < h < 40$

Sustituyendo los valores indicados y empleando el límite superior de los rangos de  $K_a$  y  $f(h)$  se obtienen los valores mostrados en la tabla 3.10 (columna 6), estos valores deberían ser idénticos a los valores presentados en la columna 3 de la tabla 3-11 (tabla # 5 del acuerdo 192-E-2004). Como puede notarse existen diferencias entre algunos de los valores calculados y los valores especificados en el acuerdo 192-E-2004, esto podría deberse al rango de valores de  $K_a$  y  $f(h)$  con los cuales se calcularon los límites, además de la asunción de  $r_{sc} = P_{sc}/PL = I_{sc}/I_L = 10$  cuando según el estándar IEEE 519-

1992 establece el rango de  $I_{sc}/I_L < 20$ , por lo tanto existe un margen de error por las variables involucradas. Sin embargo podría decirse que los valores de distorsión de corriente en media tensión establecidos en la normativa pueden aplicarse.

**Tabla 3.10: Límites de distorsión armónica individual de corriente (%) en MT.**

<b>h</b>	<b>%V</b>	<b>f(h)</b>	<b>Ka</b>	<b>rsc</b>	<b>%I</b>
5	6	5	1	10	12,0
7	5	7	0,83	10	8,6
11	3,5	11	0,71	10	4,5
13	3	13	0,71	10	3,3
17	2	14,6	0,71	10	1,9
19	1,5	15,4	0,71	10	1,4
23	1,5	17	0,71	10	1,2
25	1,5	17,8	0,71	10	1,2
3	5	3	1	10	16,7
9	1,5	9	0,83	10	2,0
15	0,3	13,8	0,71	10	0,3
21	0,2	16,2	0,71	10	0,2
2	2	2	1	10	10,0
4	1	4	1	10	2,5
6	0,5	6	0,83	10	1,0
8	0,5	8	0,83	10	0,8
10	0,5	10	0,83	10	0,6
12	0,2	12	0,71	10	0,2

El acuerdo 192-E-2004 establece que el límite máximo de distorsión armónica total de corriente es del 20%, según el estándar IEEE 519 este límite se aplica para aquellos valores de  $I_{sc}/I_L > 1000$  en MT, establece también que todos los equipos de generación de potencia están limitados al valor de distorsión de corriente  $I_{sc}/I_L < 20$  (para fines de cálculo  $I_{sc}/I_L = 10$ ) sin importar el valor real de la relación  $I_{sc}/I_L$ . Por tanto el límite del 20% de distorsión armónica total se tomó de tal forma de poder incluir todo el rango de  $I_{sc}/I_L$ .

**Tabla 3.11: Límites de distorsión armónica de corriente en MT y BT.**

Orden de la armónica (n)	P = 10kW V = 600 V	P > 10kW 600 < V = 115kV
	Intensidad Armónica Máxima [A]	Distorsión Armónica Individual de Corriente DAI, en %
Impares no Múltiplos de 3		
5	2,28	12,0
7	1,54	8,5
11	0,66	4,3
13	0,42	3,0
17	0,26	2,7
19	0,24	1,9
23	0,2	1,6
25	0,18	1,6
> 25	4.5/n	0.2+0.8*25/n
Impares Múltiplos de 3		
3	4,6	16,6
9	0,8	2,2
15	0,3	0,6
21	0,21	0,4
> 21	4.5/n	0,3
Pares		
2	2,16	10,0
4	0,86	2,5
6	0,6	1,0
8	0,46	0,8
10	0,37	0,8
12	0,31	0,4
> 12	3.68/n	0,3
Distorsión Armónica Total de Corriente DATI, en %	--	20

### 3.4.1.2 Flícker:

El índice de Severidad por Flícker Pst no debe superar la unidad (Pst= 1) en AT, MT ni BT [7].

Se considera el límite  $Pst=1$  como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

En la normativa salvadoreña se especifica en el Art. 41 que el valor de Pst debe ser igual a 1.00, valor que debe garantizar las distribuidoras a los usuarios, debido a que en un sistema de distribución se tienen cargas perturbadoras generando diferentes niveles de flicker por lo que en un sistema de distribución no se puede fijar un valor de Pst, en base a esto el Art. 41 es incorrecto en el cual debe corregirse a  $Pst=1$ , como se especifica en la normativa internacional [5].

A manera de ejemplo en la tabla 3.12 se compara el nivel de flicker establecido por el ente regulador de Guatemala con el ente regulador de El Salvador

**Tabla 3.12: Comparación de límites de flicker**

País	Flicker
El Salvador	$Pst = 1$
Guatemala	$Pst = 1$

### **Índice de Flicker Generado por el usuario.**

Para la norma SIGET, el Art. 55 y 58, menciona que para la medición de flicker generado por el usuario debe usarse una impedancia de referencia fijada por la norma IEC 1000-3-3. Esta norma establece que la impedancia de referencia es usada solamente en laboratorios de prueba para equipos electrodomésticos menores a 16 amperios donde esta impedancia representa una simulación de la RED.

Lo anterior solo es válido para equipos bajo prueba en BT, lo cual no es aplicable para sistemas de MT, ante esta situación es necesario hacer una separación de los límites Pst generados por los usuarios, que se muestran en la Tabla # 6 del acuerdo 192-E-2004 [5]. Donde los límites para sistemas en BT y sistemas en MT, deben evaluarse con diferentes criterios.

Para los índices individuales de flicker en sistemas de MT deberían adaptarse al reporte técnico IEC [7]. Embase a la interpretación del Reporte técnico hecha en el capítulo 2 se tiene que:

$$G_{PstMT} = \sqrt[3]{L_{PstMT}^3 - T_{PstHM}^3 * L_{PstAT}^3} \quad (3-6)$$

Donde:

$G_{PstMT}$  : Índice global de Pst en media Tensión.

$L_{PstMT}$  : Pst del nivel de planeación en sistemas de Media Tensión.

$T_{PstHM}$  : Coeficiente de transferencia de AT a MT

$L_{PstAT}$  : Pst del nivel de planeación en sistemas de Alta Tensión.

$$E_{Psti} = G_{PstMT} * \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{MT}} * \frac{1}{F_{MT}}} \quad (3-7)$$

Donde:

$E_{Psti}$  : Índice de Pst individual

$\frac{S_i}{S_{MT}}$  : Relación de la potencia contratada con la capacidad de suministro de potencia del

sistema

$F_{MT}$  : Factor de coincidencia.

Del reporte técnico [7]

$$E_{Psti} = \sqrt[3]{L_{PstMT}^3 - T_{PstHM}^3 * L_{PstAT}^3} * \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{MT}} * \frac{1}{F_{MT}}} \quad (3-8)$$

Tomando los valores de Pst de planificación igual a 1, para BT y MT, un factor de transferencia de 0.8, con un valor de potencia saturada igual a 1 y un factor coincidental igual a 0.2, se tiene que:

$$E_{Psti} = 0.79 * \sqrt[3]{S_i * \frac{1}{0.2}} \quad (3-9)$$

Evaluando la formula (3-9) se obtiene el nivel de severidad de flicker para los usuarios como se muestra en la tabla 3-13.

**Tabla 3.13: Pst de usuarios individuales, con potencia total con cargas conectadas en MT para un sistema saturado  $S_{MT}=1$**

Si/SMT	Psti
k = 0.02	0,37
0.02 < k = 0.08	0,58
0.08 < k = 0.2	0,74
k > 0.2	0,8

Los limites de severidad de flicker presentados en el acuerdo 192-E-2004 se muestran en la tabla 3-14 y coinciden a los limites calculados para MT.

**Tabla 3.14: Pst de usuarios individuales, con potencia total con cargas conectadas en BT y MT.**

Carga (SI) kW	Pst
Tensión ( = 600 V)	
SI = 20	1
20 < SI = 30	1,26
30 < SI = 50	1,58
SI > 50	1,86
Tensión (600 < V = 115 kV)	
SI/Scc = 0.005	0,37
0.005 < SI/Scc = 0.02	0,58
0.02 < SI/Scc = 0.04	0,74
SI/Scc > 0.04	0,8

### 3.4.2 Deficiencias en la Normativa de Calidad de Servicio en los Sistemas de Distribución.

Con la finalidad de hacer un buen uso de energía eléctrica, se han incrementado las cargas electrónicas, para hacer los procesos de fabricación más eficientes y obtener productos de mejor calidad. Este tipo de cargas son más sensibles a los efectos

asociados a los huecos de tensión, las sobre tensiones temporales y las interrupciones de la tensión de suministro, produciéndose desconexiones o mal funcionamiento de los equipos. Por esta razón es importante tomar en cuenta las siguientes perturbaciones a la hora de realizar un estudio de calidad de energía: Sags, swells y transitorios, ya que estos eventos varían en relación al voltaje de suministro.

Otro de los problemas que más afectan el rendimiento de las cargas sensibles, relacionado a las condiciones de los voltajes de alimentación en el sistema eléctrico, es el desbalance de voltaje. Un sistema de suministro eléctrico con voltajes desbalanceados provoca mal funcionamiento y fallas en los equipos eléctricos y electrónicos. Por esta razón esta variación de estado estable será analizada y tomada en cuenta en el estudio de calidad de energía.

### 3.5 Referencias Bibliográficas:

[1] Norma Italiana CEI EN 50160. Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. 1997-06.

[2] CEI IEC 61000-3-6 (TR3) OCTUBRE 1996  
Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3: Limits Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems Basic EMC publication

[3] CEI IEC 61000-3-2 .2001.-.CEI.IEC.-.EMC.-.Part.3.-.2.  
Limits.for.harmonic.current.emissions.equipment.input.current.up.to.andincluding.  
16.A.per.phase

[4] Power Quality Regulation in Argentina: Flicker and Harmonics.  
Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas (Madrid)  
IEEE Transactions on Power Delivery, vol 13, No 3, Julio 1998

[5] Acuerdo 192-E-2004. Normativa salvadoreña de Calidad de Servicio de los Sistemas de Distribución.

[6] Norma IEC 61000-3-3 Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current  $\leq 16$  A

[7] Report IEC 61000-3-7 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems – Basic EMC publication

## **CAPITULO 4:**

### **4 ANALISIS Y RESULTADOS DE CALIDAD DE ENERGIA PARA DIFERENTES SITIOS EN ESTUDIO**

Este capítulo está orientado a la aplicación de la calidad de servicio técnico y producto técnico, realizando un análisis de los datos obtenidos en diferentes puntos de medición.

Los puntos de medición a analizar son los siguientes:

Del lado del distribuidor: SITIO 1, SITIO 4.

Del lado del Consumidor: SITIO 2, SITIO 3 y SITIO 5.

Se evaluará la Calidad del Servicio Técnico y Producto Técnico analizando únicamente los indicadores individuales debido a la naturaleza de las mediciones realizadas.

Además de los elementos de calidad de producto técnico incluidos en el acuerdo 192-E-2004 serán evaluados otros aspectos de gran importancia en el tema de calidad de energía como son: El desbalance de voltaje, sags, swells y transitorios de voltaje.

Para la realización de las mediciones que se contemplan en este estudio se usaran instrumentos analizadores de redes clase A (Topas 2000) debido a la exactitud confiabilidad y trazabilidad con la que cuenta este instrumento, rigiéndose con patrones donde la incertidumbre de cada parámetro medido es mínima; Tomando en cuenta lo anterior y lo crítico de la evaluación de las normas regidas por un ente regulador, se empleara este medidor. Un instrumento clase B, se usa mayormente para análisis estadísticos donde la captura de parámetros de medición no es tan exacta como el de clase A.

Todos los instrumentos clase A, clase B, usan el concepto de Datos Bandera (Data Flaggin) o datos marcados para delimitar cualquier intervalo de medición donde ocurran interrupciones, sag y swell, los resultados en las mediciones de otros parámetros que duren este intervalo de tiempo son marcados y no se toman en cuenta

para el análisis de voltaje (regulación y desbalance), voltaje armónico, voltaje Inter. Armónicos y flicker.

#### 4.1 Método de Evaluación.

Una forma sencilla de evaluar el producto técnico es a través de ponderar en categoría los niveles de energía existente en un determinado lugar. Se clasificará de la siguiente manera ABC dichas letras indican el nivel de calidad del voltaje tal como se describe en la tabla 4.1 [4]. El primer paso hacia una definición de sistema de clasificación es normalizar todas las características de calidad de la energía. Para cada característica podemos calcular el nivel de calidad normalizado usando la ecuación (4-1):

$$r_{(v,q,p)} = 1 - \frac{m_{(v,q,p)}}{l_{(q)}} \quad (4-1)$$

Donde:

$r_{(v,q,p)}$  : Es la característica de calidad normalizada q, en el sitio v, para la fase p:

$m_{(v,q,p)}$  : Es el nivel real de la característica q, en el sitio v, para la fase p

$l_{(q)}$  : Es el nivel de compatibilidad de la característica q

Tabla 4.1: Niveles de Calidad.

1	<b>A</b>	Muy Alta Calidad
0,66	<b>B</b>	Alta calidad
0,33	<b>C</b>	Calidad Normal
0	<b>D</b>	Calidad Pobre
-0,33	<b>E</b>	Calidad Muy Pobre
-0,66	<b>F</b>	Calidad Extremadamente Pobre
-1		

Cuando no hay problemas de calidad de energía, el valor normalizado será 1.0 ( $m=0$ ). Si el nivel de calidad se encuentra justamente en el límite de la norma aplicable, entonces el valor normalizado será cero. Si la calidad excede el límite especificado, el índice de desempeño se vuelve negativo.

#### **4.2 Análisis de Calidad de Servicio Técnico.**

La Calidad de Servicio Técnico evalúa la continuidad del suministro en el punto de medición, mediante los siguientes indicadores:

SAIFIUS: Índice de Frecuencia de Interrupción por Usuario (interrupciones /usuario /año)

$$SAIFI_{US} = \sum_i^N Interrupciones \quad (4-2)$$

SAIDIUS: Índice de Duración de Interrupción por Usuario (horas /usuario /año)

$$SAIDI_{US} = \sum_i^N Tiempo_{(i)} \quad (4-3)$$

Las interrupciones a tomar en cuenta en los indicadores individuales deben ser catalogadas como interrupciones sostenidas (mayores a 3min) de lo contrario no son tomadas en cuenta en los indicadores.

Para las mediciones realizadas en el SITIO 1 y 2 presentaron interrupciones temporales de corta duración, por tanto no serán tomadas en cuenta en los indicadores técnicos evaluados en la normativa.

#### **4.3 Análisis de Calidad de Producto Técnico.**

Es importante entender los problemas relacionados con la calidad de Energía (PQ) referente a las variaciones de estado estable y perturbaciones ya que estas pueden causar problemas en cargas sensibles o en las redes de distribución (debido a grandes cargas no lineales). Tomando en cuenta lo anterior se han desarrollado normas que regulan la

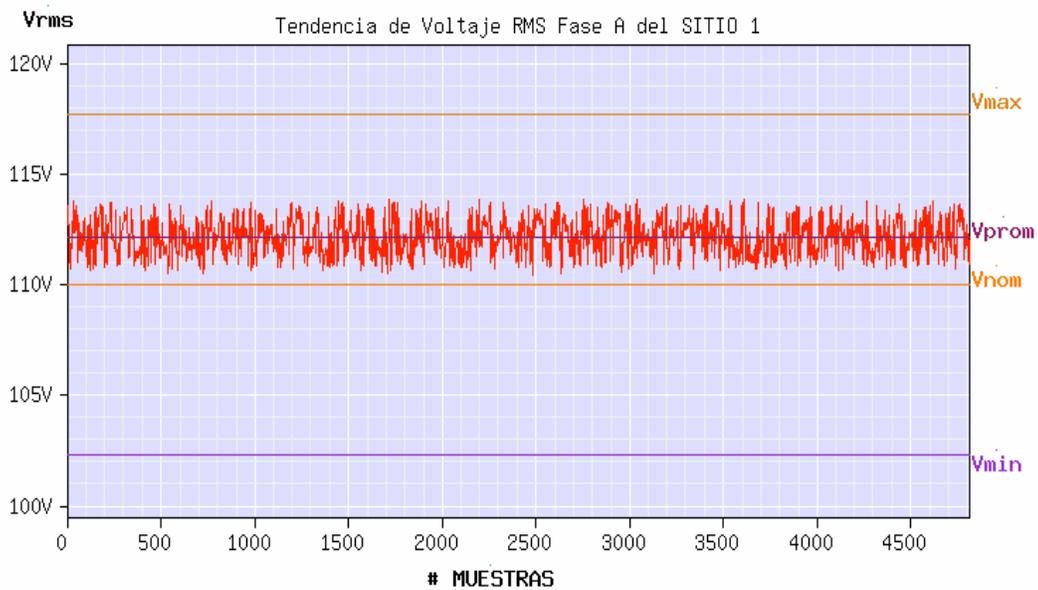
calidad de energía, que establecen límites que permiten el buen funcionamiento de equipos o cargas electrónicas. A continuación se evaluarán los datos de voltaje de mediciones realizadas en los diferentes sitios, aplicando el Acuerdo 192-E-2004 [3] (para calidad de Producto Técnico), comparado con otras normas y aplicando métodos de evaluación.

### 4.3.1 Niveles de Tensión.

#### 4.3.1.1. Variaciones lentas de voltaje.

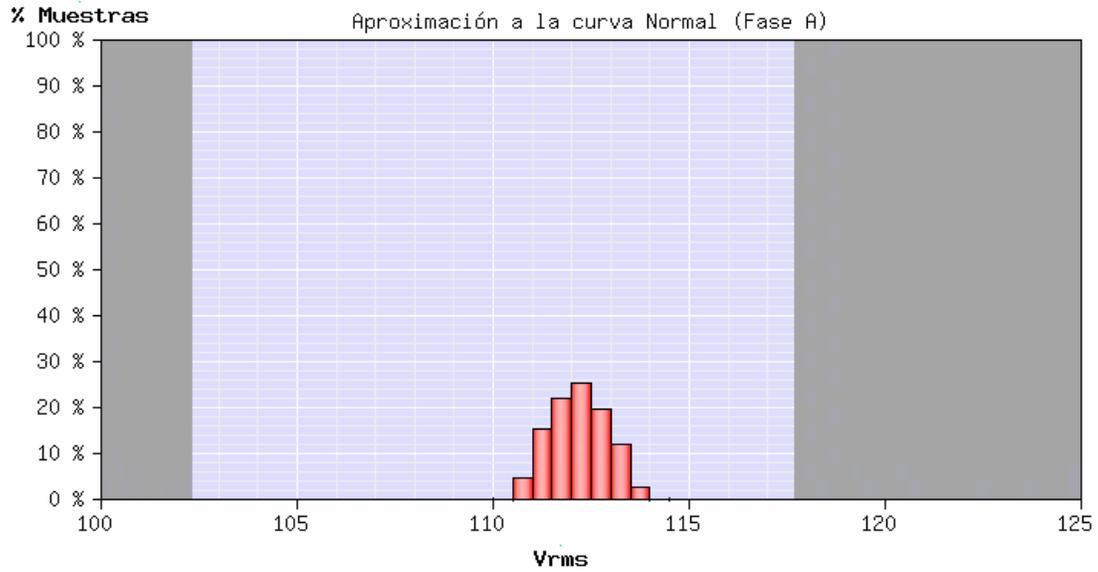
Los límites permisibles para el nivel de tensión SIGET [3] es de  $\pm 7\%$  para baja tensión (= 600v), en zona de servicio Urbano, con un percentil del 95%, en un periodo de medición de una semana (7 días), tomando valores promedios eficaces cada 15 minutos.

En la figura 4.1 podemos observar la tendencia de voltaje de las fases A, B y C del sitio 1 con un periodo de medición de 4 semanas, 6 días, 11 horas, 46 minutos y 42 segundos, obteniendo un promedio de VRMS cada 10 minutos, haciendo un total aproximado de 4813 datos, además el voltaje nominal de sitio es de 110V.



**Figura 4.1: Tendencia de Voltaje del sitio 1.**

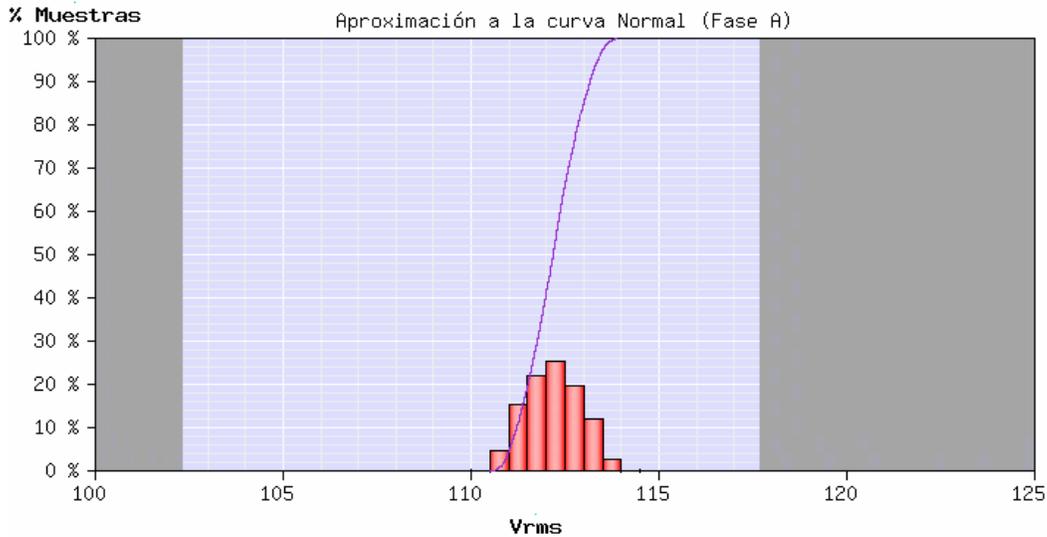
De la figura 4.1 podemos obtener una aproximación de la curva normal como se muestra en la figura 4-2 (diagrama de barras).



**Figura 4.2: Aproximación de la Curva Normal.**

En el SITIO 1 se tiene un voltaje nominal de 110V. Observando la figura 4.2, se determina que el voltaje promedio es aproximadamente de 112.5V, con este promedio obtenemos la línea continua (figura 4.3) siendo aproximadamente el 66% del voltaje, menor o igual a 112.5V, y el 34% es mayor que 112.5V.

Evaluando el sitio 1 mediante la norma SIGET vemos que el 100% de los datos están dentro del rango de  $\pm 7\%$  ( $102.3 = VRMS = 117.7$ ), cumpliendo con la norma, aunque el 100% de las muestras están por arriba del valor nominal.



**Figura 4.3: Aproximación de la curva normal y la curva acumulada.**

Podemos clasificar las variaciones lentas de voltaje a través del método de clasificación STAV (desviación estándar, valor promedio), el cual brinda la información de la desviación real, que no pueden ser obtenidas por el método del percentil; Con referencia a la figura 4.2, se tienen valores de voltajes promediados cada 10 minutos, medidos en un punto de distribución sobre un periodo aproximado de 5 semanas, donde el valor promedio y desviación estándar se muestra en la tabla 4.2. Además la norma SIGET establece un suministro de voltaje  $V_{\text{Nominal}} \pm 7$  para zonas urbanas, donde el 95% los valores medidos deben estar dentro del rango; Interpretando la norma EN50160 [1] establece adicionalmente que el 100% de los valores medidos estará en el rango  $V_{\text{nominal}} -15\%$  a  $V_{\text{nominal}} +10\%$ .

**Tabla 4.2: Valores máximos y mínimos de frontera.**

Valor Promedio	Fases	VRMS	V p.u.
	L1	112,182	1,020
L2	112,556	1,023	
L3	112,067	1,019	
desviación estándar	s L1	0,714	0,006
	s L2	0,710	0,006
	s L3	0,728	0,006

Para utilizar el método y crear una clasificación se deben definir los límites de clasificación entre C y D, para ello se utilizan los límites dados por el ente regulador nacional (SIGET) [3], que es  $\pm 7\%$ . El límite superior no puede ser excedido, y no más del 5% de los valores medidos puede caer por debajo del límite inferior.

Asumiendo un voltaje de suministro distribuido normalmente, podemos calcular la probabilidad de que el voltaje se salga de esos límites. Para el límite superior, el requerimiento del 100% se suaviza al 99.9% por razones prácticas. Esto da como resultado:

$$P\{X \leq x\} = P\{Y \leq (x - V_m) / \sigma\} = P\{X \leq (V_{Limite} - V_m) / \sigma\} = 99.9\% \quad (4-4)$$

Usando una tabla de estadística para la distribución normal tenemos que.

$$(V_{limite} - V_m) / \sigma < 3.1 \quad (4-5)$$

Haciendo lo mismo para el límite inferior se obtiene que:

$$P\{X \leq x\} = P\{Y \leq (x - V_m) / \sigma\} = P\{X \leq (V_{Limite} - V_m) / \sigma\} = 5.0\% \quad (4-6)$$

Usando una tabla de estadística para la distribución normal tenemos que.

$$(V_{limite} - V_m) / \sigma > -1.65 \quad (4-7)$$

Tanto para el límite superior y el inferior, se puede dibujar la relación entre el voltaje promedio y la desviación estándar como líneas en el plano  $(V_m, s)$ . Esto se muestra en la figura 4-4.

Se alcanza un mejor resultado cuando el voltaje es más probable que se encuentre alrededor del voltaje nominal. Usando los mismos valores de riesgo del 99.9% para el límite superior, y 5% para el límite inferior y reduciendo proporcionalmente los límites de voltaje permitidos, se pueden definir fronteras para las restantes categorías 'ABC'.

Definiendo fronteras para el límite superior.

$$r = 1 - \frac{m}{l} = 1 - \frac{(Vm - Vn)}{(V_{MAX} - Vn)} \Rightarrow Vm = V_{MAX} - r(V_{MAX} - Vn) \quad (4-8)$$

Definiendo fronteras para el límite inferior.

$$r = 1 - \frac{m}{l} = 1 - \frac{(Vm - Vn)}{(V_{MIN} - Vn)} \Rightarrow Vm = V_{MIN} - r(V_{MIN} - Vn) \quad (4-9)$$

Evaluando las formulas anteriores se obtiene los limites de voltaje en por unidad, mostrados en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3: Límites de frontera usados para aplicación del método STAV.**

<b>Para el límite Inferior</b>	
<b>Vlímite = Vm= Vmax-r*(Vmax-Vn)</b>	
Va= Vmax-r*(Vmax-Vn)	<b>0,98</b>
Va/b= Vmax-r*(Vmax-Vn)	<b>0,95</b>
Vb/c= Vmax-r*(Vmax-Vn)	<b>0,93</b>
Vc/d= Vmax+r*(Vmax-Vn)	<b>0,91</b>
Vd/e= Vmax+r*(Vmax-Vn)	<b>0,88</b>
Ve/f= Vmax+r*(Vmax-Vn)	<b>0,86</b>
<b>Para el límite Superior</b>	
<b>Vlímite = Vm= Vmax-r*(Vmax-Vn)</b>	
Va= Vmax-r*(Vmax-Vn)	<b>1,02</b>
Va/b= Vmax-r*(Vmax-Vn)	<b>1,05</b>
Vb/c= Vmax-r*(Vmax-Vn)	<b>1,07</b>
Vc/d= Vmax+r*(Vmax-Vn)	<b>1,09</b>
Vd/e= Vmax+r*(Vmax-Vn)	<b>1,12</b>
Ve/f= Vmax+r*(Vmax-Vn)	<b>1,14</b>

Para las mediciones del voltaje de suministro, mostrado en la tabla 4.3, podemos determinar el voltaje promedio y la desviación estándar, ubicarlo en el plano ( $V_m, s$ ) como un punto simple tal como se muestra en la figura 4.4, obteniendo una calificación de B con una categoría de alta calidad, dando como resultado una alta calidad de PQ.

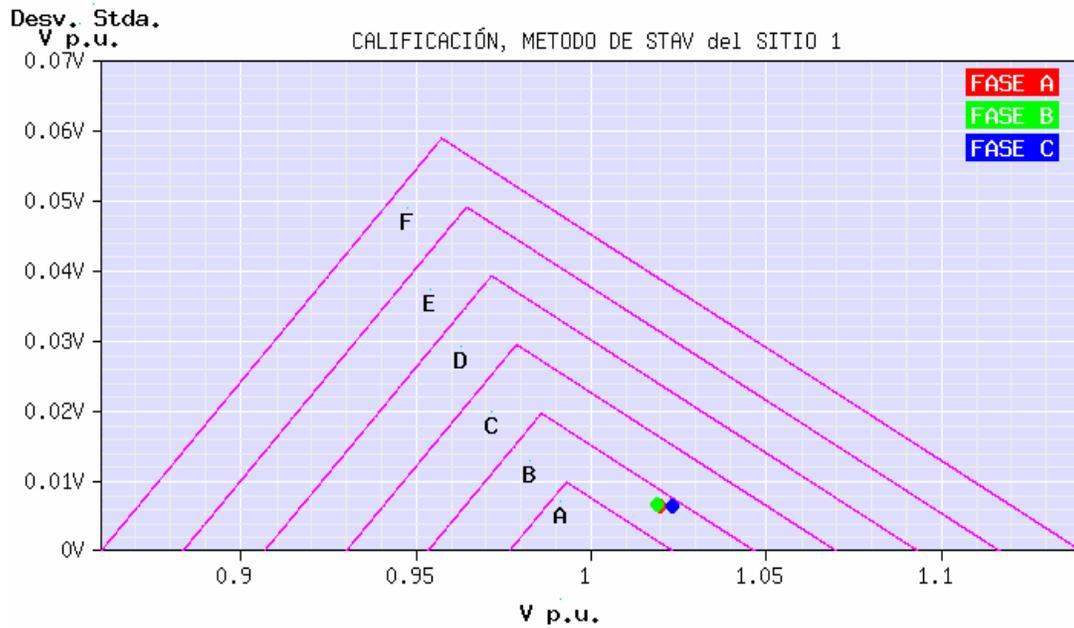


Figura 4.4: Variaciones de voltaje (STAV)

#### 4.4 Desbalance de Voltaje.

En El Salvador el desbalance de voltaje no es tomado en cuenta, ya que la norma SIGET no establece límites para este tipo de variación de estado estable. Cualquier desequilibrio causa operación ineficiente de los sistemas de transmisión que frecuentemente están muy cargados. En el diseño de los sistemas de distribución (voltajes más bajos), el suministro a cargas monofásicas es uno de los propósitos importantes, así el sistema y las cargas conectadas deben diseñarse e implementarse para ser más tolerante al desequilibrio. Algunos países centro americanos toman en cuenta el desequilibrio. Las normas de calidad de energía de Guatemala [5] (Resolución CNEE No-09-99) y Panamá establece un 3% de desequilibrio de voltaje en baja y media tensión para los sistemas de distribución definidos por la ecuación 4-10 y el 1% para alta tensión.

$$\Delta DTD(\%) = \frac{3(V_{MAX} - V_{MIN})}{V_A + V_B + V_C} 100 \quad (4-10)$$

Donde.

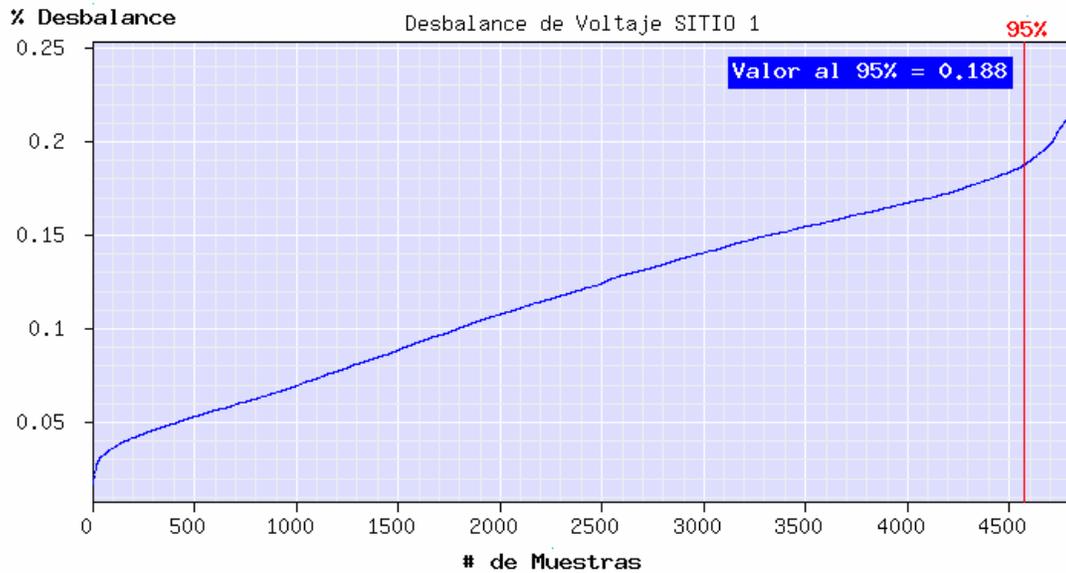
- $\Delta DTD(\%)$ : Porcentaje de desbalance de tensión por parte del distribuidor.
- $V_{MAX}$ : Tensión máxima de cualquiera de las fases, registradas en el intervalo de medición k
- $V_{MIN}$ : Tensión mínima de cualquiera de las fases, registradas en el intervalo de medición k
- $V_A, V_B, V_C$ : Tensión de las fases A, B y C, registradas en el intervalo de medición k.

Las Normas internacionales como la EN-50160 [1] o las series IEC 1000-3-X, establecen límites para la proporción de desequilibrio definida por la ecuación 4-11) con un valor  $< 2\%$  para sistemas de BT y  $< 1\%$  para AT, empleando valores medidos cada 10 minutos, con un máximo instantáneo de 4%. La norma IEC 61000-2-4 establece un nivel de desbalance del 3%.

$$V_U = \frac{V_i}{V_d} 100\% \quad (4-11)$$

Donde la proporción de  $V_U$  (voltaje) y  $V_i$  (corriente) entre las magnitudes de las componentes de secuencia negativa y positiva de voltaje y corriente respectivamente es una medida del desequilibrio (en %). En base a lo anterior se avalúan las mediciones de los sitios en cuestión.

En la figura 4-5 se muestra el comportamiento del desbalance de voltaje en el sitio 1, del cual podemos observar que cumple con los límites de la norma EN 50160 [1] y las series IEC 1000-3-x, debido a que el 100% de los datos obtenidos cada 10 minutos están por debajo del 2%, y las normas establece que no mas del 5% deben de sobrepasar el límite del 2%.



**Figura 4.5: Desbalance de Voltaje.**

Aplicando el criterio del percentil del 95% a los datos, podemos dar una calificación de la calidad de energía. De los datos de desbalance obtenemos, que el valor del 95% del periodo de medición es de 0.18768%, que también puede ser observado en la figura 4-5, marcado con la línea azul. A este valor del 95% le aplicamos la ecuación 4-1 y comparando con la tabla 4.1, obtenemos una calificación A: Categoría de muy alta calidad.

#### **4.5 El Flicker.**

El Flicker o parpadeo, en la norma 192-E-2004, es evaluado por medio del índice de severidad de parpadeo de corto plazo Pst, y establece que el Pst debe ser igual a 1.00 para todos los niveles de tensión de distribución. En base a esto podemos decir que la norma establece una mala definición ya que es imposible mantener un valor de Pst=1, normas de otros países como la de Guatemala, Panamá, normas europeas y americanas definen un Pst = 1. Estos valores deben de ser tomados en un intervalo de 10 minutos con un periodo de dos semanas y el 95% del periodo de medición deber estar por debajo del límite Pst.

La figura 4.6 muestra los valores de Pst obtenidos en el sitio 1, podemos ver que más del 95% del periodo de medición están por debajo del valor Pst =1.0, cumpliendo de

esta manera con la norma SIGET. Aplicando la ecuación 4-1 podemos obtener los límites (valores “r”) de la tabla 4-4 y compararlos con los presentados en la figura 4.6, como resultado obtenemos una calificación B: Alta Calidad de Energía.

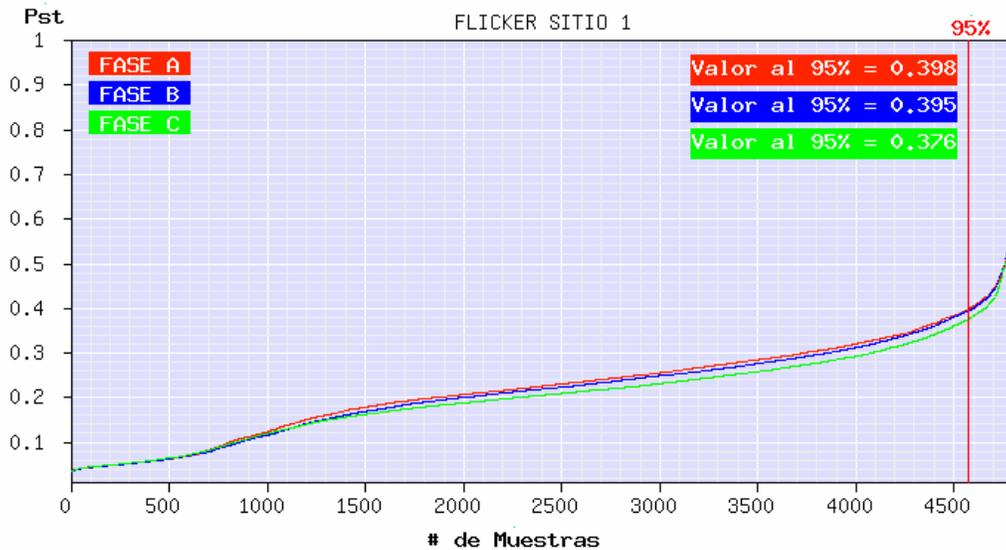


Figura 4.6: Índice de severidad de flicker Pst por fase.

Tabla 4.4: Calificación a la calidad de energía resultante del sitio 1

Fase	A	B	C
r	0,596	0,600	0,618
Calificación	B	B	B
Categoría	Calidad Alta		

#### 4.6 Armónicas.

La norma SIGET [3] establece que para la distorsión armónica total THD no debe sobrepasar el 8% y para las armónicas individuales para la 3ª y 7ª armónica el 5%, la 5ª armónica el 6% y la 9ª el 1.5% , para la evaluación de armónica del sitio 1 solo se evaluarán hasta la 9ª armónica, debido a que el resto de armónica el porcentaje es muy pequeño y cumplen la norma [SIGET] como se muestra en la figura 4-7, que representa el valor del 95% del periodo de medición.

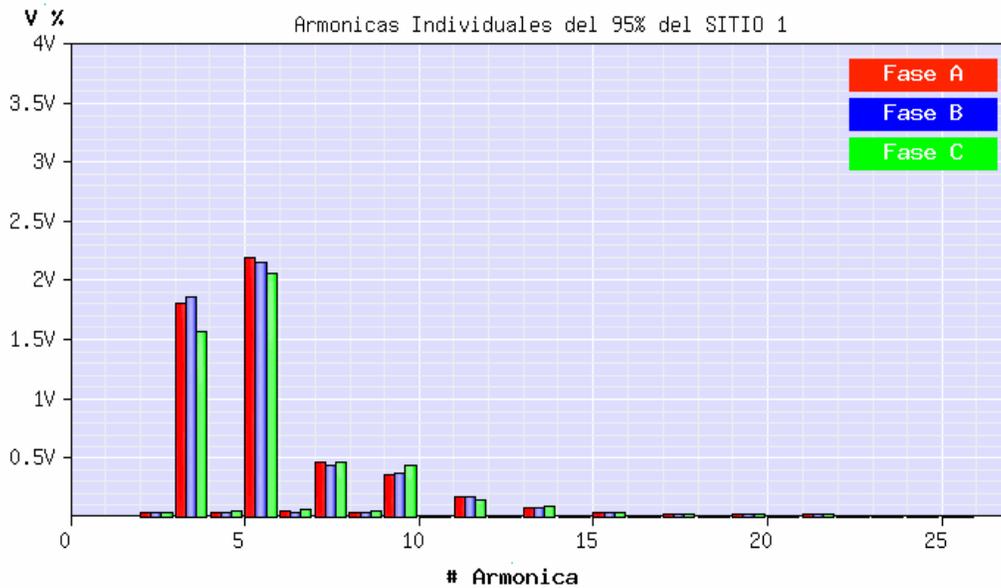


Figura 4.7: Valor del 95% de las armónicas individuales.

En la figura 4-8 podemos ver que el THD cumple la norma SIGET, ya que el 95% del periodo de medición esta por debajo del 8%. Aplicando la ecuación 4-1 y comparando con la tabla 4-1, tenemos los resultados que se muestran en la tabla 4-5.

Tabla 4.5: Limites de THD, valores obtenidos con las mediciones y su respectiva calificación.

Fase	L1	L2	L3
THD al 95%	2,828	2,810	2,558
r	0,647	0,649	0,680
Calificacion	B	B	A
3ª al 95%	1,800	1,858	1,568
r	0,640	0,628	0,686
Calificacion	B	B	A
5ª al 95%	2,187	2,143	2,053
r	0,636	0,643	0,658
Calificacion	B	B	B
7ª al 95%	0,455	0,441	0,456
r	0,909	0,912	0,909
Calificacion	A	A	A
9ª al 95%	0,362	0,373	0,434
r	0,759	0,751	0,711
Calificacion	A	A	A

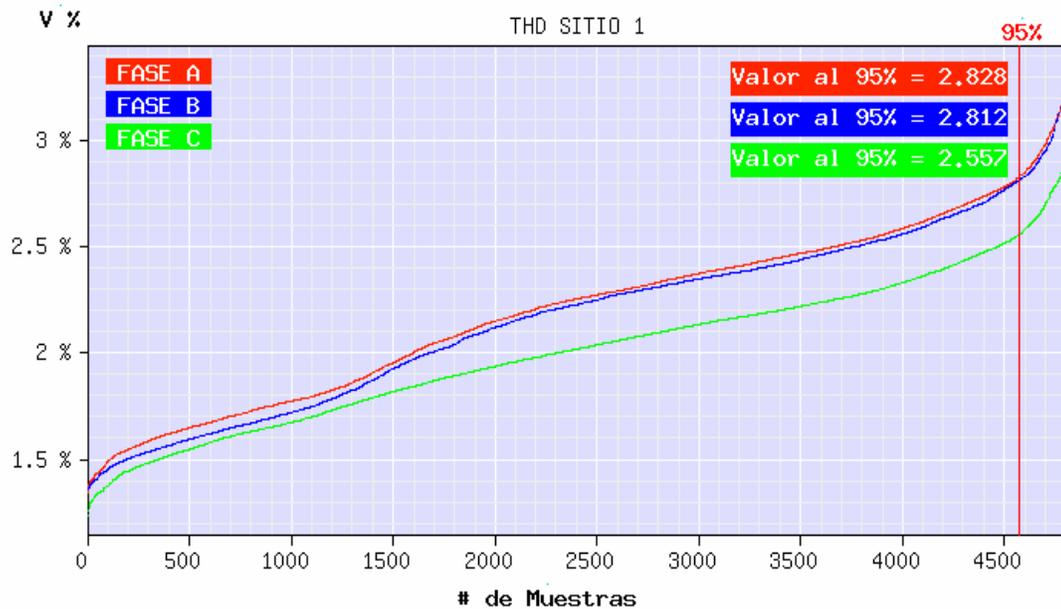


Figura 4.8: Valores obtenidos de Distorsión armónica total.

#### 4.7 Eventos.

En la curva ITIC muestra el área aceptable y el área de peligro (tanto en la parte superior como en la parte inferior derecha). La zona de peligro superior compromete la tolerancia de los equipos a niveles excesivos de tensión. La zona de peligro de la parte baja indica la tolerancia del equipo a una pérdida o reducción en la potencia aplicada. Si el suministro de tensión permanece dentro del área aceptable, el equipo operará bien, para el SITIO 1, podemos ver en la figura 4-9 los eventos de voltaje registrados en todo el periodo de medición, donde obtenemos que fuera del área aceptable parte inferior de la derecha, obtenemos el SARFI 70= 10 eventos.



Tabla 4.6: Tabla resumen del análisis de calidad de energía aplicado a los sitios de medición en estudio.

TABLA RESUMEN															
	SITIO1			SITIO2			SITIO 3			SITIO 4			SITIO 5		
Tipo de Consumidor	Distribuidor			Comercial			Comercial			Distribuidor			Comercial		
Periodo de Medición	4 sem.y 6 dias			1 Semana			4 Semana			8 Semana			1 Semana		
Intervalo de Medición	cada 10 minutos														
Variaciones lentas de voltaje															
	Cumplimiento SIGET (%)	Abajo de Rango	Arriba de rrange	Cumplimiento SIGET (%)	Abajo de Rango	Arriba de rrange	Cumplimiento SIGET (%)	Abajo de Rango	Arriba de rrange	Cumplimiento SIGET (%)	Abajo de Rango	Arriba de rrange	Cumplimiento SIGET (%)	Abajo de Rango	Arriba de rrange
L1	100,000	0,000	0,000	72,470	0,000	27,530	99,950	0,000	0,050	100,000	0,000	0,000	99,120	0,000	0,000
L2	100,000	0,000	0,000	80,060	0,000	19,940	99,950	0,000	0,050	99,970	0,000	0,030	98,830	0,000	0,000
L3	100,000	0,000	0,000	59,310	0,000	40,690	99,970	0,000	0,030	99,920	0,000	0,080	99,020	0,000	0,000
Valor promedio (V) y p.u.)	L1	112,182 v	1,020 p.u.	126,662 v	1,056 p.u.	123,357	1,028	113,893	1,035	55,000	0,981				
	L2	112,556 v	1,023 p.u.	126,273 v	1,052 p.u.	123,276	1,027	114,277	1,039	0,589	0,970				
	L3	112,067 v	1,019 p.u.	127,420 v	1,062 p.u.	122,739	1,023	114,398	10,400	0,549	0,014				
desviación Estándar	L1	0,714 v	0,006 p.u.	2,438 v	0,020 p.u.	1,954	0,016	1,356	0,012	1,356	0,014				
	L2	0,710 v	0,006 p.u.	2,558 v	0,020 p.u.	1,921	0,016	1,336	0,012	1,336	0,014				
	L3	0,728 v	0,006 p.u.	2,285 v	0,020 p.u.	2,033	0,016	1,316	0,012	1,316	0,012				
Calificación	L1	B		F		D		D		B					
	L2	B		F		D		D		B					
	L3	B		F		D		D		C					
Desbalance de Voltaje															
% de cumplimiento de la norma EN50160 y series IEC 1000-3-x	Limite < 2%		100,000	100,000		100,000		100,000		100,000		100,000			
Valor al 95%	0,188		0,862	0,327		0,404		0,476							
Calificación	A		A	A		A		B							

Tabla 4-6: Continuación.

	SITIO1		SITIO2		SITIO 3		SITIO 4		SITIO 5				
<b>Flicker ( Índice de severidad de efecto de parpadeo de corto plazo Pst)</b>													
cumplimiento de la norma SIGET (%)	L1	99,940	98,990	99,620	99,530	99,120							
	L2	99,920	98,890	99,680	99,490	98,820							
	L3	99,900	98,890	99,610	99,540	99,020							
Valor del Pst al 95%	L1	0,398	0,409	0,324	0,426	0,550							
	L2	0,395	0,415	0,305	0,448	0,589							
	L3	0,376	0,409	0,323	0,410	0,549							
Calificación	L1	B	B	A	B	B							
	L2	B	B	A	B	B							
	L3	B	B	A	B	B							
<b>Armónicos de Voltaje</b>													
	Limite 8% (SIGET)	Limite 5% (EEE-519)	Limite 8% (SIGET)	Limite 5% (EEE-519)	Limite 8% (SIGET)	Limite 5% (EEE-519)	Limite 8% (SIGET)	5% (EEE-519)	Limite 8% (SIGET)	Limite 5% (EEE-519)			
THD Cumplimiento	L1	100,000	100,000	99,900	99,900	100,000	98,540	100,000	100,000	100,000	97,360		
	L2	100,000	100,000	99,900	99,900	100,000	98,630	100,000	100,000	100,000	99,800		
	L3	100,000	100,000	99,900	99,900	100,000	98,160	100,000	100,000	100,000	89,410		
THDV al 95%, y Calificación según norma SIGET	L1	0,028	B	3,429	B	4,359	B	3,405	B	4,919	B		
	L2	0,028	B	3,525	B	4,352	B	3,173	B	4,742	B		
	L3	0,026	A	3,697	B	4,605	B	3,101	B	5,189	B		
Calificación según norma IEEE 519	L1		B		C		C		C		B		
	L2		B		C		C		C		C		
	L3		B		C		C		C		C		
3- Armónica, cumplimiento SIGET (TDI=5%)	% cumplimiento	95%	Calificación	% cumplimiento	95%	Calificación	% cumplimiento	95%	Calificación	% cumplimiento	95%	Calificación	
	L1	100,000	1,800	B	100,000	3,147	B	99,950	3,375	C	100,000	2,037	B
	L2	100,000	1,858	B	100,000	3,277	B	100,000	2,967	B	100,000	2,005	B
	L3	100,000	1,568	B	100,000	3,436	C	99,990	3,222	B	100,000	1,790	B
5- Armónica, cumplimiento SIGET (TDI=6%)	L1	100,000	2,187	B	100,000	3,291	B	100,000	3,127	B	100,000	2,762	B
	L2	100,000	2,143	B	100,000	3,291	B	100,000	3,469	B	100,000	2,514	B
	L3	100,000	2,053	B	100,000	3,291	B	100,000	3,586	B	100,000	2,572	B
7- Armónica, cumplimiento SIGET (TDI=5%)	L1	100,000	0,455	A	100,000	0,649	A	100,000	0,546	A	100,000	0,379	A
	L2	100,000	0,441	A	100,000	0,142	A	100,000	0,528	A	100,000	0,363	A
	L3	100,000	0,456	A	100,000	0,471	A	100,000	0,626	A	100,000	0,359	A
9- Armónica, cumplimiento SIGET	L1	100,000	0,362	A	100,000	0,948	A	99,970	0,946	A	100,000	0,359	A
	L2	100,000	0,373	A	100,000	0,764	A	100,000	0,823	A	100,000	0,316	A
	L3	100,000	0,434	A	100,000	0,848	A	99,990	0,823	A	100,000	0,344	A

#### **4.8 Referencias Bibliográficas:**

- [1] CENELEC. European Standard EN50160, 1994. Voltage Characteristic of Electricity supplied by public distribution systems, CENELEC, Brussels, Belgium, 1994.
- [2] ANSI Standard C84.1-1995. American National Standard for Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings (60 Hz). American National Standards Institute, 11 West 42 Street, New York, NY 10036.
- [3] SIGET. Norma de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución. Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones, Acuerdo 192-E-2004.
- [4] Goben & Van Casteren. Classifications Methodologies for Power Quality. Continuum and University of Technology, Eindhoven
- [5] Normas técnicas del servicio de distribución –ntsd-resolución CNEEN Nª.- 09-99 Guatemala, 7 de abril de 1999.

## 5 CONCLUSIONES.

- ✓ En base a las mediciones realizadas en los diferentes sitios analizados, los problemas globales de la calidad de energía son principalmente la regulación de voltaje y las perturbaciones principalmente los sags de voltaje. Tomando en cuenta lo anterior, los equipos electrónicos están propensos a sufrir mal funcionamiento e incluso detener su operación normal.
  
- ✓ Los límites de intensidad máxima de corrientes armónicas para clientes conectados en BT ( $P=10\text{kW}$ ,  $V<600\text{V}$ ) han sido adaptados de la norma IEC 61000-3-2, estos límites son válidos para puntos de medición que empleen equipos con corrientes menores a 16 A (clase A, equipos domésticos en su mayoría), a pesar que dentro de los equipos clase A se encuentran equipos trifásicos balanceados es cuestionable la correcta aplicación de estos límites para usuarios que manejen cargas mayores a 16 A. La IEC ha creado el estándar 61000-3-4 para corrientes menores a 75A que podrían ser límites más aceptables para regular la distorsión armónica de corriente para clientes con cargas mayores y que no pertenezcan a la clase A.
  
- ✓ Los límites de distorsión armónica individual de corriente (en %) para clientes conectados en MT ( $P>10\text{kW}$ ,  $600\text{V}<V<115\text{kV}$ ) han sido adoptados exclusivamente de la norma Argentina, la norma establece que el límite máximo de distorsión armónica total de corriente es del 20%, según el estándar IEEE 519 este límite se aplica para aquellos valores de  $I_{sc}/I_L > 1000$  en MT, establece también que todos los equipos de generación de potencia están limitados al valor de distorsión de corriente  $I_{sc}/I_L < 20$  (para fines de cálculo, según norma argentina,  $I_{sc}/I_L = 10$ ) sin importar el valor real de la relación  $I_{sc}/I_L$ . Por tanto el límite del 20% de distorsión armónica total se tomó de tal forma de poder incluir todo el rango de  $I_{sc}/I_L$ .

- ✓ En base a las mediciones realizadas en el punto de conexión entre subestaciones y usuarios finales, sabemos que del lado de la distribuidora existe una buena calidad de energía, aunque esta puede ser afectada por factores físicos de materiales y equipos conectados en la red o factores naturales. Mientras que del lado del usuario se observa una calidad aceptable de energía, esta calidad puede disminuir por causa de la operación de cargas no lineales que generan disturbios dentro de la red eléctrica.
  
- ✓ Las mediciones de armónicos del lado del distribuidor realizadas para el desarrollo de este estudio cumplen el 100% de los límites establecidos por SIGET, del lado de usuario el cumplimiento es aproximadamente del 99% de los límites establecidos por SIGET esto debido a conexión de cargas no lineales.
  
- ✓ Para la evaluación del índice de severidad de flicker  $P_{st}$  y  $Plt$ , las normas internacionales IEC establecen una metodología aceptable que puede ser adoptada y adaptada para determinar el  $P_{st}$  generado por los usuarios conectados en los sistemas de distribución de MT (Reporte Técnico IEC 61000-3-7), sin embargo el acuerdo 192-E-2004 hace referencia a la norma IEC 1000-3-3 en los Art. 55, 56 y 60, para determinar el nivel de  $P_{st}$  generado por los usuarios, a través de una impedancia de referencia, para sistemas de BT y MT, lo cual no es aplicable, ya que dicha impedancia es utilizada para hacer pruebas a equipos electrodomésticos de corriente menores a 16 A, en BT.

## 6 RECOMENDACIONES.

- ✓ Es necesario que el ente regulador SIGET realice un estudio minucioso de los estándares internacionales de calidad de energía, especialmente europeos puesto que de éstos estándares se han adoptado límites que están siendo aplicados erróneamente en la mayoría de países latinoamericanos de igual forma en El Salvador.
  
- ✓ Para los niveles de flicker se recomienda que las distribuidoras opten por tener Niveles de planeación así como se indica en la IEC 1000-3-7, para tener un margen de confiabilidad con respecto a los niveles compatibilidad de acuerdo a la norma 192-E-2004 establecida por SIGET.
  
- ✓ Mediante acuerdo 192-E-2004, la SIGET debe considerar a los usuarios generadores de flicker y que hallan realizado las correcciones necesarias en su red eléctrica para llegar al límite establecido y aun así no pueda cumplir con los niveles individuales, se le pueda permitir llegar a un común acuerdo con el distribuidor, así como lo recomienda la etapa tres del reporte IEC-1000-3-7. Además el acuerdo debe establecer que toda distribuidora tiene que hacer una evaluación de los niveles de flicker y armónicas, previa a la conexión de cargas perturbadoras (de igual forma en el sistema de distribución), para dar una factibilidad de conexión.

## **ANEXOS**

## ANEXO A:

### PROPUESTA DE PROGRAMA DE APLICACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA.

Para empezar este programa se analizo el programa que se hizo en tesis de Estudio Preliminar de Calidad de la Electricidad en El Salvador [1] para hacerle las mejoras y facilidades de los usuarios.

Se analizara a nivel de macro la manera de manipular datos, usando una preparación de los datos que se analizaron en el capitulo anterior.

Se usaran archivos \*.csv una plataforma de base de datos de MYSQL, a demás una plataforma de presentación ya sea PHP y Servidor Tomcat.

Diagrama de bloques para la aplicación de análisis de datos:



En la manera que se pretenden introducir los datos a una base de datos es adecuando los datos obtenidos de una medición es en un formato de archivo \*.csv

**Tabla 1 Descripción de Datos**

num	fecha	voltaje nominal	VOLTAJE RMS			FLICKER			DESVALANCE	THD %		
			FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C		FASE A	FASE B	FASE C
1	26,01,2007 12:10:00	110	112,86	113,22	112,78	0,1941	0,1867	0,1744	0,03208	2,3038	2,3056	2,0856
2	26,01,2007 12:20:00	110	113,39	113,77	113,35	0,1067	0,1426	0,1877	0,03156	2,3173	2,3284	2,1039
3	26,01,2007 12:30:00	110	113,59	114,01	113,59	0,2256	0,2401	0,2531	0,05124	2,3774	2,4025	2,1934
4	26,01,2007 12:40:00	110	112,77	113,16	112,75	0,2431	0,2197	0,2173	0,04127	2,3902	2,4278	2,1997
5	26,01,2007 12:50:00	110	112,62	113,01	113,57	0,2118	0,2037	0,1819	0,04526	2,4247	2,4538	2,2102

2 ARMONICA			3 ARMONICA			cliente	lugar	nombre
FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C			
1,43E-02	1,43E-02	1,11E-02	1,5154	1,5731	1,2614	Distribuidor	101	sa_antonio_Abav
1,57E-02	1,31E-02	1,18E-02	1,5211	1,5750	1,2654	Distribuidor	101	sa_antonio_Abav
1,76E-02	1,98E-02	1,82E-02	1,5281	1,5970	1,2823	Distribuidor	101	sa_antonio_Abav
1,95E-02	1,85E-02	2,08E-02	1,5925	1,6619	1,3314	Distribuidor	101	sa_antonio_Abav
2,11E-02	1,97E-02	1,87E-02	1,6182	1,3510	1,3510	Distribuidor	101	sa_antonio_Abav

## INTRODUCCION DE DATOS A MYSQL.

En este capítulo solo se describirán las variables que se muestran en la tabla anterior, conforme a la estructura de mysql.

Se llamara tabla de variaciones\_estables como se muestra en Figura 1 y Figura 2:

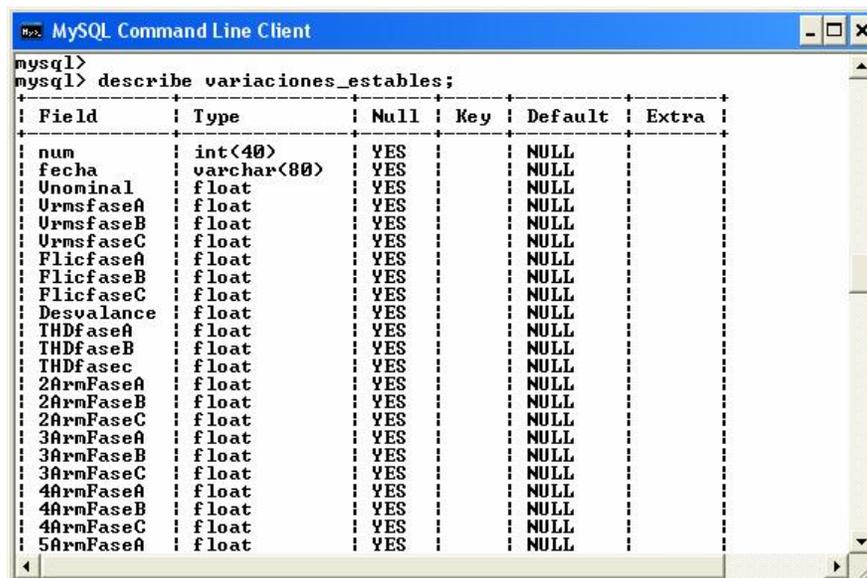
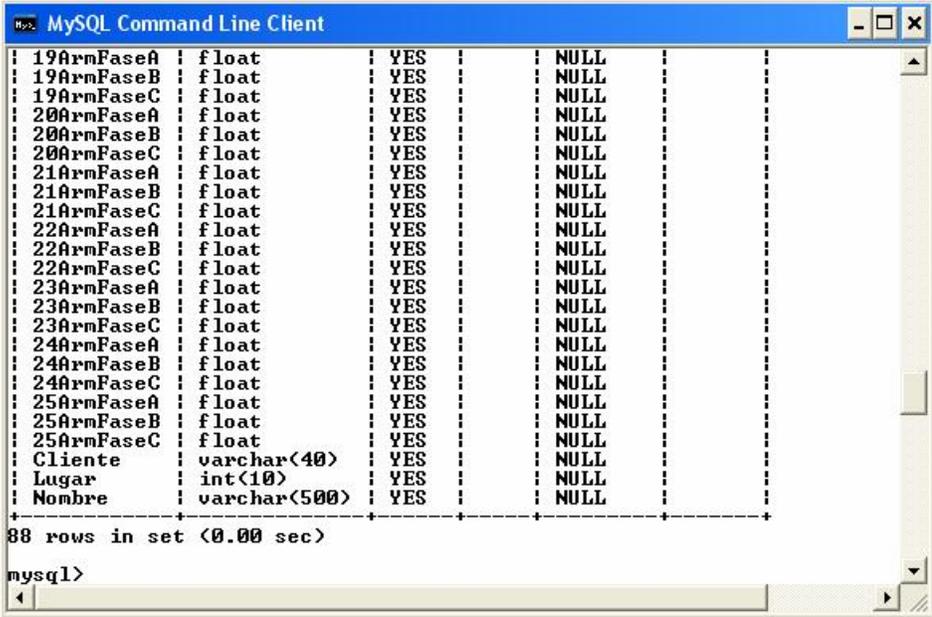


Figura 1

Se describen todas las armónicas desde la 2° hasta 25° armónica de la misma manera.



```
MySQL Command Line Client
+-----+-----+-----+-----+-----+
| 19ArmFaseA | float | YES | NULL |
| 19ArmFaseB | float | YES | NULL |
| 19ArmFaseC | float | YES | NULL |
| 20ArmFaseA | float | YES | NULL |
| 20ArmFaseB | float | YES | NULL |
| 20ArmFaseC | float | YES | NULL |
| 21ArmFaseA | float | YES | NULL |
| 21ArmFaseB | float | YES | NULL |
| 21ArmFaseC | float | YES | NULL |
| 22ArmFaseA | float | YES | NULL |
| 22ArmFaseB | float | YES | NULL |
| 22ArmFaseC | float | YES | NULL |
| 23ArmFaseA | float | YES | NULL |
| 23ArmFaseB | float | YES | NULL |
| 23ArmFaseC | float | YES | NULL |
| 24ArmFaseA | float | YES | NULL |
| 24ArmFaseB | float | YES | NULL |
| 24ArmFaseC | float | YES | NULL |
| 25ArmFaseA | float | YES | NULL |
| 25ArmFaseB | float | YES | NULL |
| 25ArmFaseC | float | YES | NULL |
| Cliente    | varchar(40) | YES | NULL |
| Lugar      | int(10) | YES | NULL |
| Nombre     | varchar(500) | YES | NULL |
+-----+-----+-----+-----+
38 rows in set (0.00 sec)

mysql>
```

Figura 2

Ver Página principal de aplicación es:

[http://localhost/PHPdiagram/php/principal\\_tesis\\_A.php](http://localhost/PHPdiagram/php/principal_tesis_A.php)

## VISTA PRELIMINAR DE APLICACION USANDO EL SERVIDOR WEB TOMCAT.

En esta aplicación se pretende enseñar los conceptos que se presentan en este documento sobre calidad de energía (Figura 3), además presentar los límites establecidos por las normas que se mencionan en este documento, haciendo una comparación entre ellas, además mostrar el análisis de datos de los distintos puntos de medición hechos en esta investigación, a través de la normativa de SIGET [2] entre otras, aplicando también el método de evaluación holandés [3]

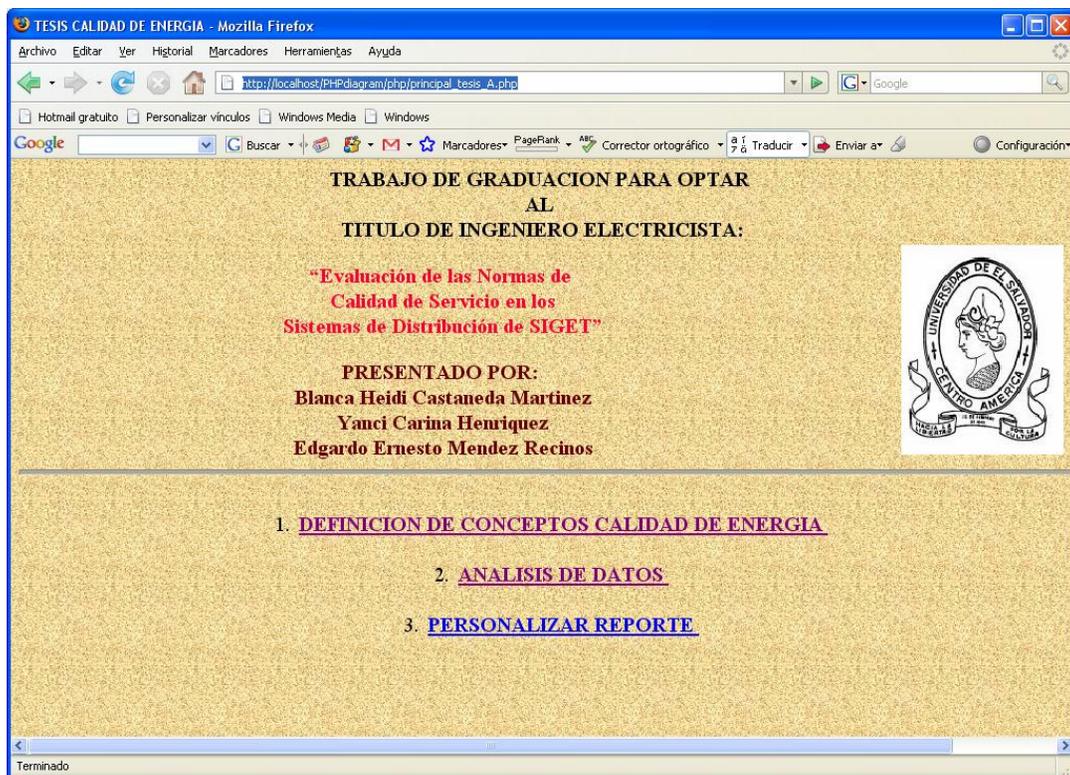


Figura 3

El **literal 1** contempla las definiciones de calidad de energía se muestra normas vigentes en centro América, además el trabajo de graduación tal como se muestra a continuación en la figura 4.

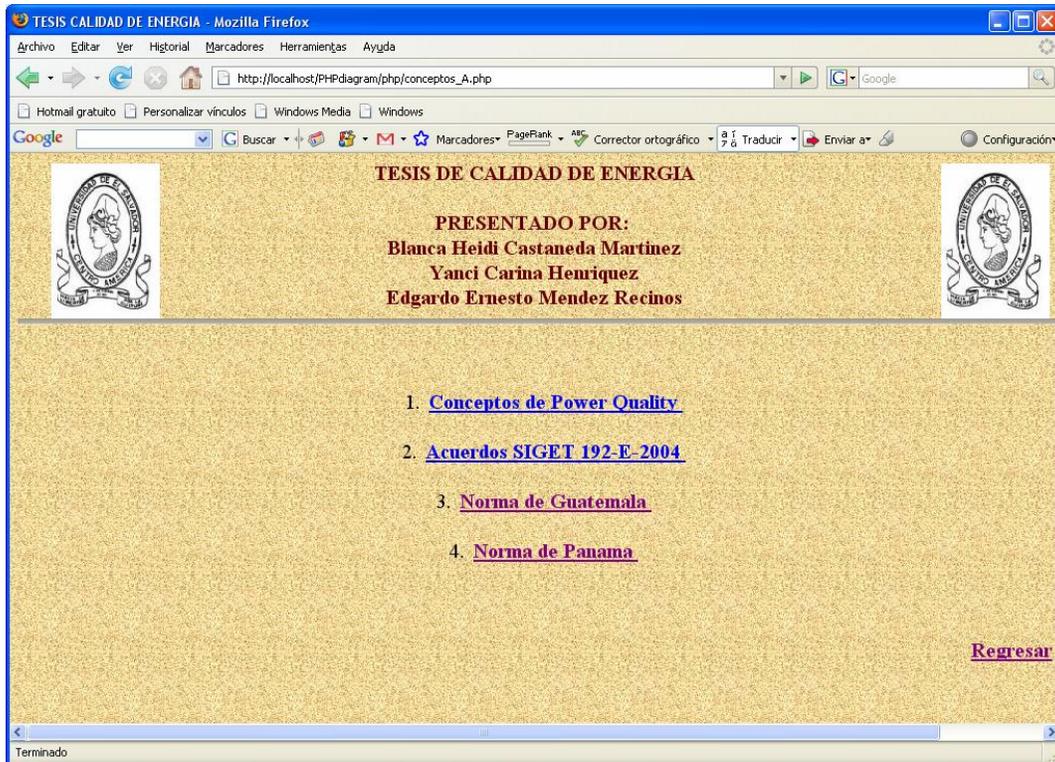


Figura 4

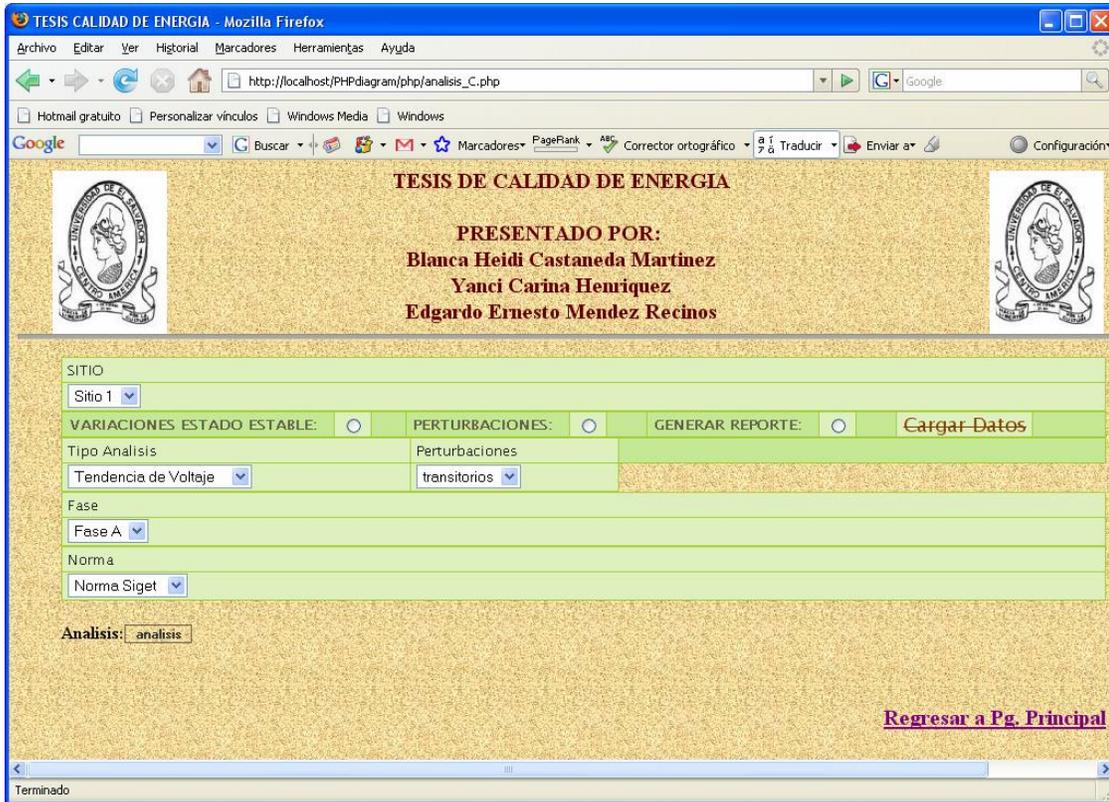
**Para el literal 2:** Análisis de Datos se usa de la siguiente manera:

Primero se elige el sitio que se desea analizar luego se elige variaciones de estado estable, después el tipo de análisis que se desea analizar, también debe elegirse la fase (solo en el caso de Tendencia de voltaje y aproximación a la curva), por último se hace un clic en el botón análisis.

Si se desea elegir otro tipo de análisis se repiten los pasos solamente eligiendo el tipo de análisis y nuevamente darle un clic en el botón de análisis.

También el programa es capaz de general un reporte de los diferentes sitios que ya existen en la base de datos y se usa de la siguiente manera: Se elige el sitio des pues generar reporte y hacer un clic en el botón análisis.

A continuación se muestra la pantalla principal de Análisis de datos.



**Figura 5**

Además el software tiene la opción de cargar datos sin necesidad de ir a mysql para introducirlos, la única condición es preparar con anticipación la tabla 1 y grabar con extensión csv (Figura 6); se le introduce el nombre del archivo y se da un clip en el botón Cargar.

De esta manera se puede regresar a la página de análisis de datos y analizarlos.

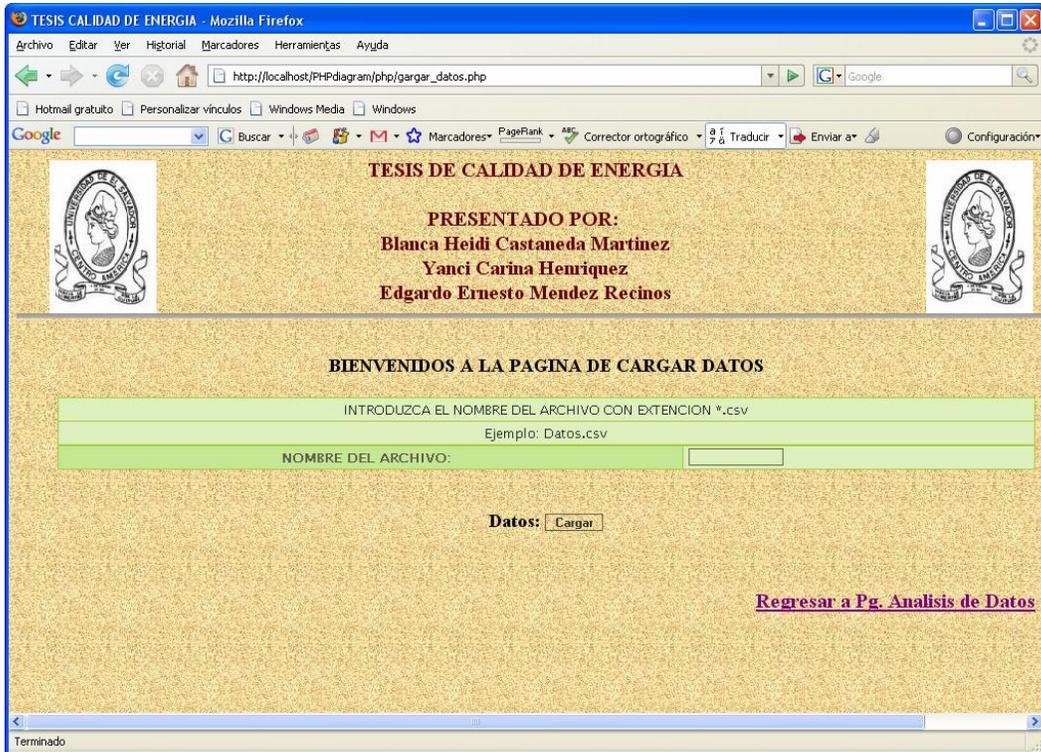


Figura 6







## **REFERENCIAS.**

- [1] Sánchez y Portillo. Estudio Preliminar de Calidad de la Electricidad en El Salvador. Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador, 2006
- [2] SIGET. Norma de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución. Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones, Acuerdo 192-E-2004.
- [3] Goben & Van Casteren. Classifications Methodologies for Power Quality. Continuum and University of Technology, Eindhoven

## **ANEXO 1:**

### **GLOSARIO:**

**ANSI:** Instituto de Normas Nacionales Americanas, es un cuerpo que administra numerosas normas industriales en el EE.UU. incluyendo varios que pertenece a la construcción de utilidad eléctrica

**AT:** Nivel de alta tensión.

**BT:** Nivel de baja Tensión.

**CNEE:** Comisión Nacional de Energía Eléctrica (Guatemala)

**Voltaje Swell:** Aumento temporal del Voltaje en un punto del sistema eléctrico sobre un umbral.

**Curva CBEMA:** Traza los puntos de la magnitud de voltaje y duración de evento para cada variación rms.

**Curva ITIC:** describe el límite de entrada voltaje ac que típicamente puede tolerar (sin interrupciones en el funcionamiento) la mayoría de equipos de tecnología de información.

**Distorsión de voltaje:** cambio de la forma de onda sinusoidal de voltaje nominal.

**Flicker:** Variación aparenta de luminancia de la iluminación con el tiempo a un observador.

**IEC:** Comisión Internacional Electrotécnica.

**IEEE:** Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

**Interrupción:** Reducción del voltaje a un punto en el sistema eléctrico debajo de un umbral.

**MT:** Nivel de media tensión.

**PCC:** Punto de acoplamiento común.

**SARFI-X:** corresponde a una cuenta o proporción de voltaje Sags/Dips, Swells y/o interrupciones bajo un umbral de voltaje.

**SARFI-70:** consideran el voltaje Sags/Dips e interrupciones que están debajo de 0.70 por la unidad, o el 70% de un voltaje base del sistema.

**SIGET:** Súper Intendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.

**STAV:** Desviación Estándar de Valor Promedio.

**Voltaje Sags/Dips:** Disminución temporal del Voltaje en un punto del sistema eléctrico bajo un umbral.

**Voltaje Nominal:** Voltaje con que se especifica o se diseña un sistema.

## ANEXO 2

### IEC 61000-4-15.

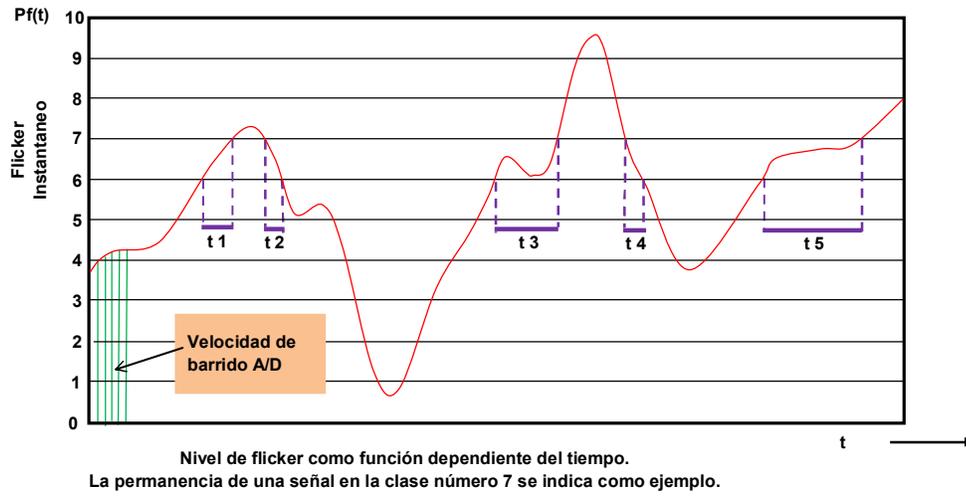


Figura 1:

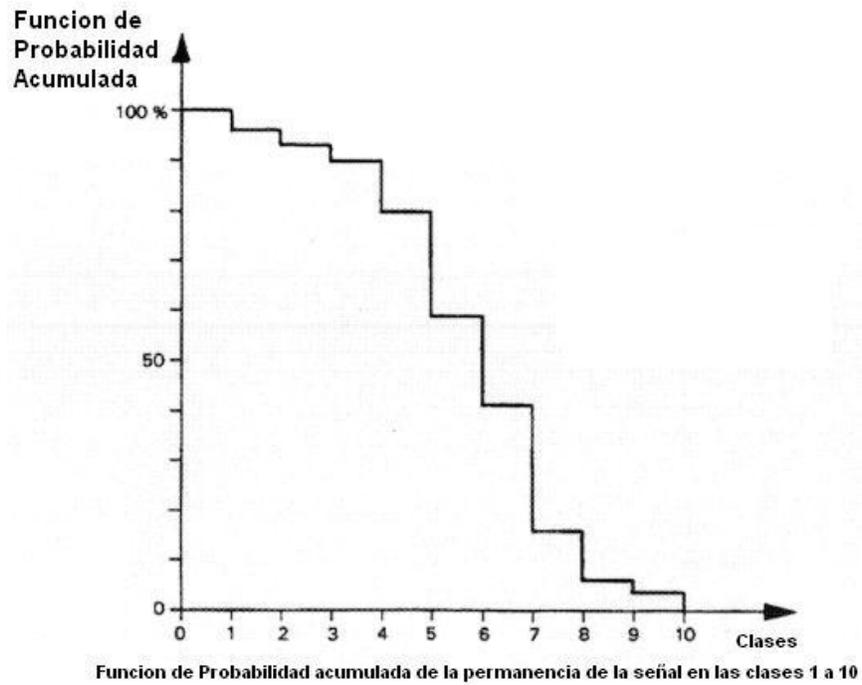
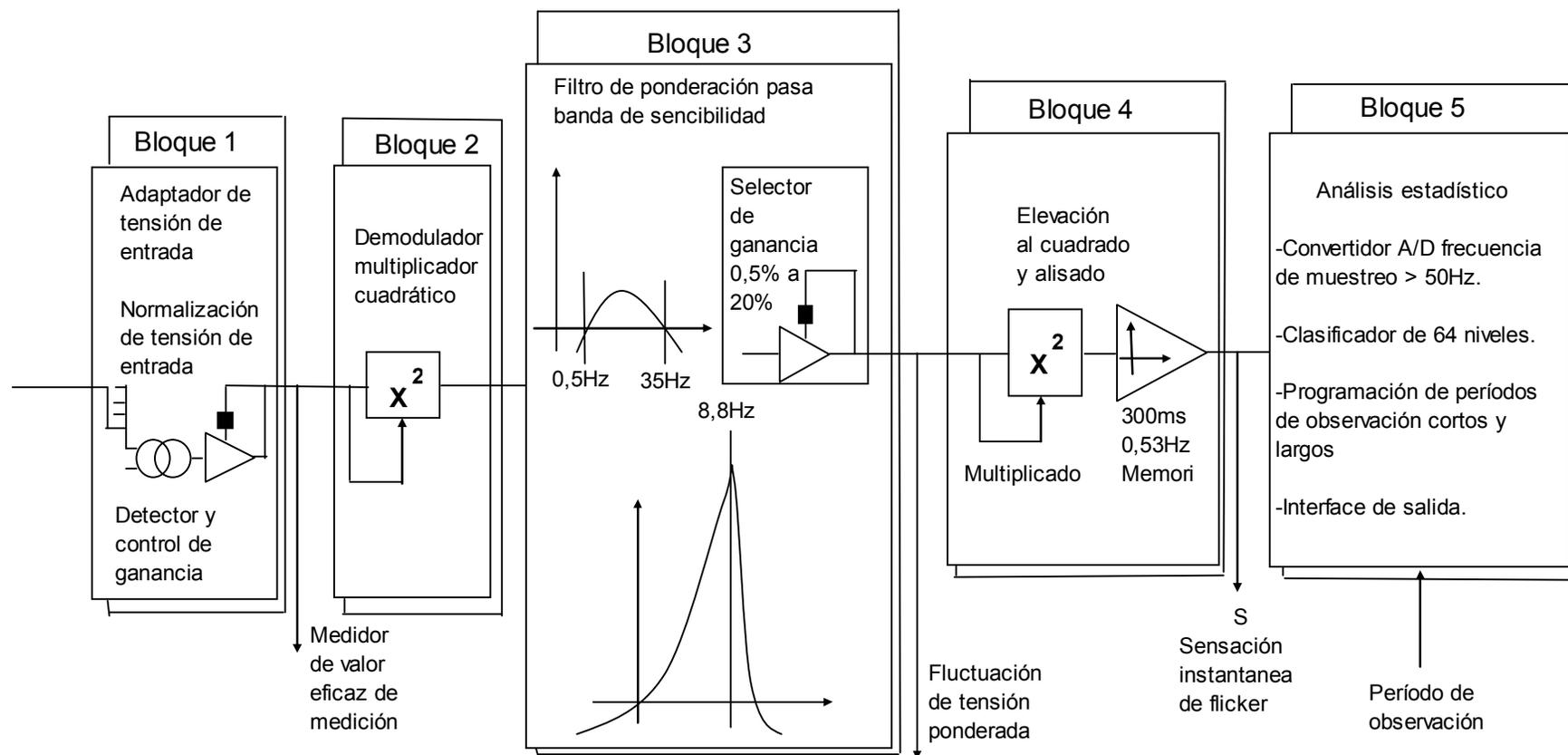


Figura 2:

Flickermetro:



**Esquema Principal de Flickermetro Internacional (IEC 61000-4-15)**

Figura 3: Diagrama funcional del medidor de Flicker.

### **Norma IEC 61000-3-3**

Las pruebas para demostrar el cumplimiento los límites de los equipos se efectuarán utilizando el circuito de pruebas en la figura. 4.

El circuito de pruebas se compone de:

La prueba de tensión de alimentación (voltaje de circuito abierto).

Será prueba de tensión nominal de los equipos. Si un rango de tensión se ha fijado para el equipo, la tensión de prueba será 230 V monofásica o 400 V trifásico. La tensión de prueba se mantendrá en  $\pm 2\%$  del valor nominal. La frecuencia será de 50 Hz  $\pm 0,5\%$

La impedancia de referencia.

IEC 6100-3-3 define un estándar, de impedancia de referencia  $Z_{ref}$ , acordado por IEC 725 para baja tensión en la impedancia del sistema monofásico, es una convención de impedancia utilizada en el cálculo y la medición del cambio relativo de voltaje "d", y valores del Pst y Plt.

El equipo bajo prueba.

Los valores de impedancia de los diversos elementos son dados en la figura 4.

En caso necesario, una flickermeter (IEC 61000-3-3).

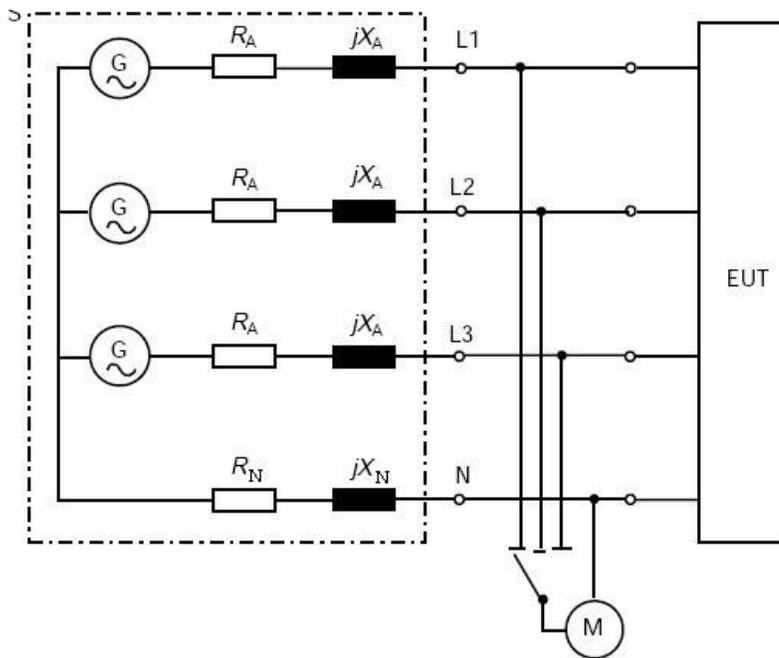


Fig 4: Esquema general para pruebas de laboratorio de equipos con corrientes  $< 16^a$ .

Donde:

EUT: Equipo bajo prueba.

M. Equipo de medición.

G: Fuente de voltaje.

S: Fuente de suministro, consistente al voltaje del Generador y la impedancia de referencia con los elementos:

$$\begin{array}{lll}
 R_A = 0.24 & jX_A = 0.15\Omega & a \quad 50Hz \\
 R_N = 0.16 & jX_N = 0.10\Omega & a \quad 50Hz
 \end{array}$$

Las características de voltaje  $V(t)$ , cambios de voltaje  $\Delta V(t)$ , cambios de voltaje máximo  $\Delta V_{max}$ , cambios de voltaje de estado estable  $\Delta V_c$ , son definiciones para propósitos de evaluación de flicker y muestran en la figura 2. A manera de ejemplo se muestra en la figura 5.

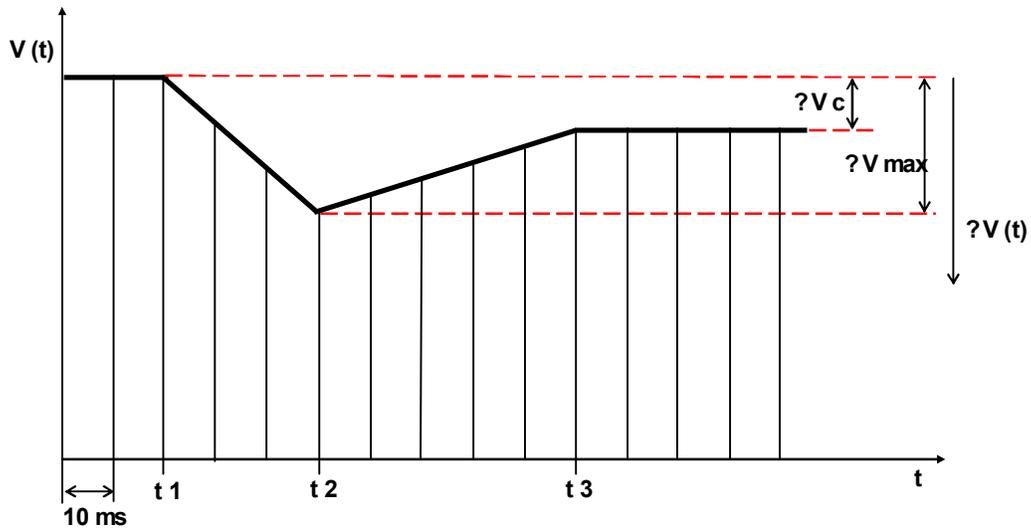


Fig 5: Histograma de Evaluación  $V(t)$

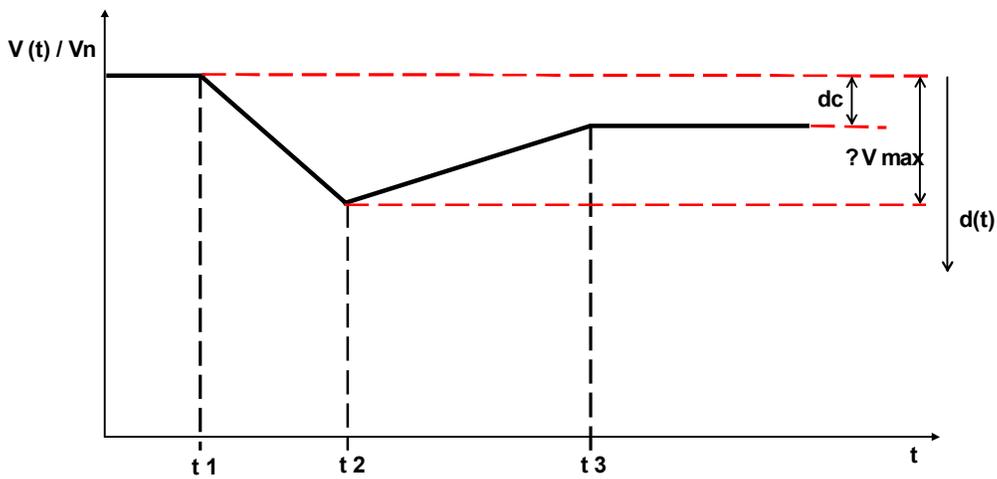


Figura 6: Características del cambio de voltaje relativo

En la figura 7 se muestra la curva correspondiente a  $P_{st}=1$ , para una forma de onda rectangular. Para los cambios de ondas de voltaje de los tipos mostrados en las Figura 8, 6 y 7, el valor del  $P_{st}$  puede ser evaluador por el método analítico.

Figura 4. IEC-1

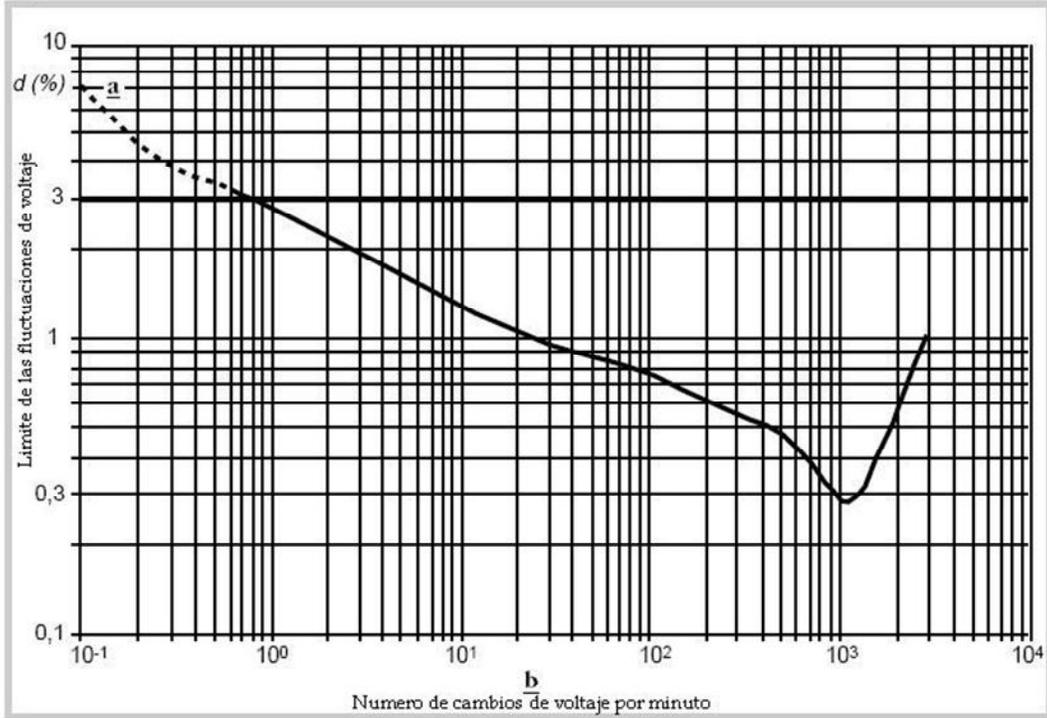


Figura 7:

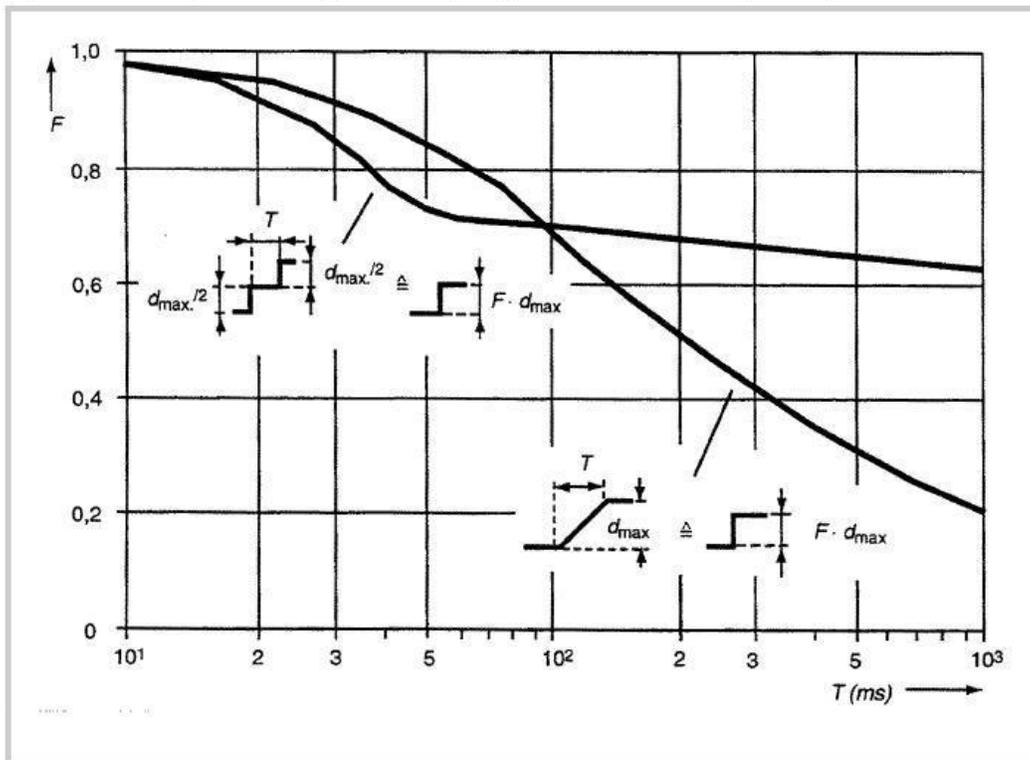


Figura 8: Factor pendiente F para doble paso y características de voltaje de rampa

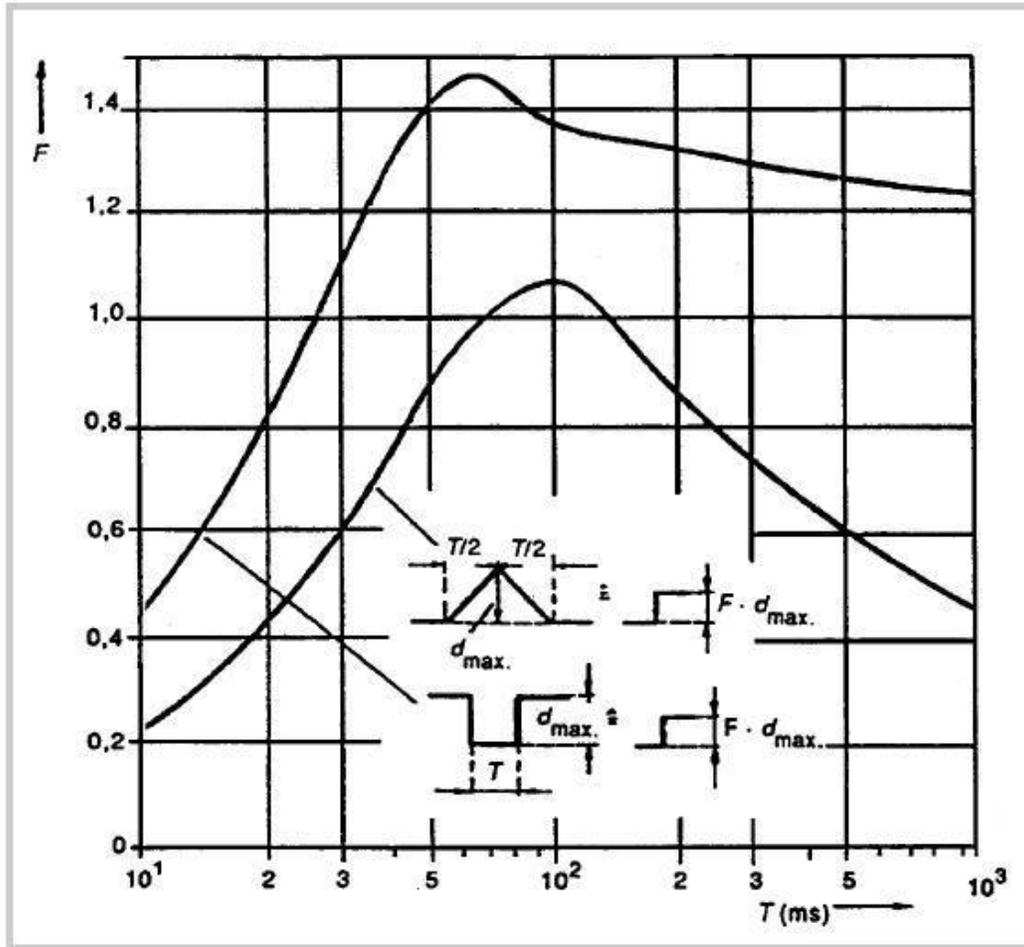


Figura 9: Factor pendiente  $F$  par rectangular y características de voltaje triangular

$T_t-t_3-t_2, T_f-t_2-t_1$

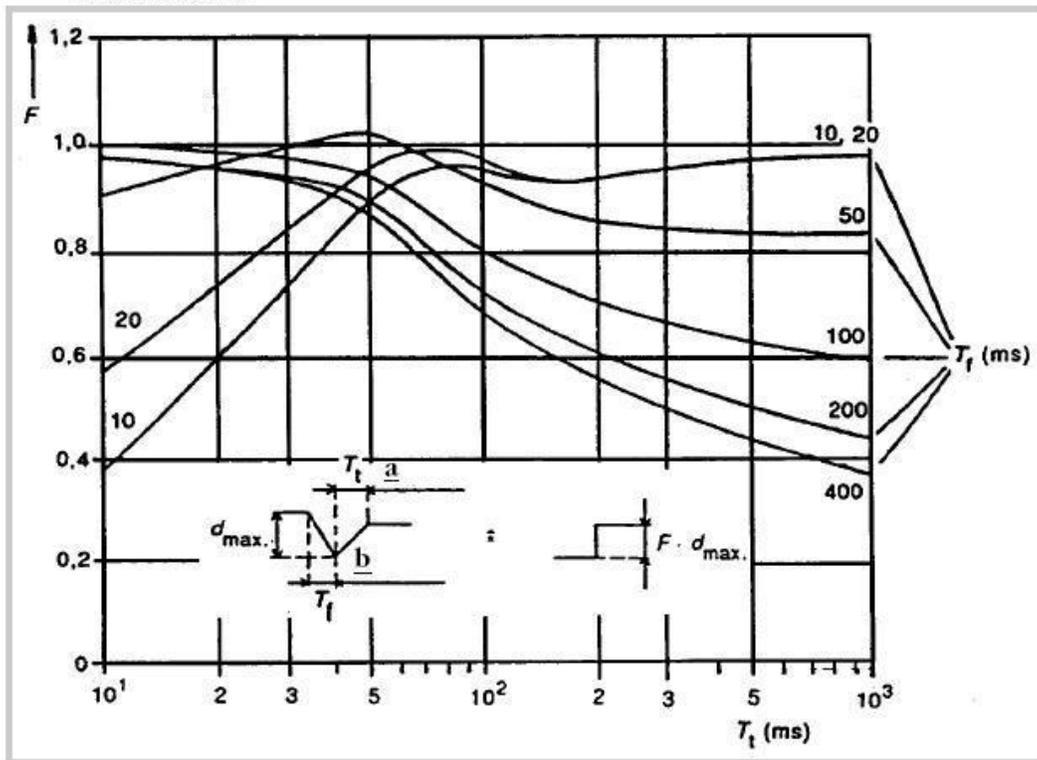
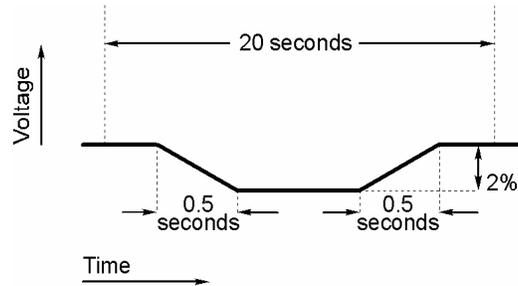


Figura 10: Factor de forma para la característica de voltaje en el arranque de motores, para varios tiempos.

Ejemplo c.1 de 1000-3-7

Para este ejemplo se propone conectar al sistema un equipo laminador con las siguientes características:



Datos:

$$G_{pst_{MV}} = 0.72$$

Capacidad del sistema ( $S_{sc}$ )= 30 MVA

$$? U/U = 2\%$$

$$t = 0.5s$$

Carga a agregar es 3MVA

$$F_{MV} = 0.3$$

Entonces calculando el  $E_{pst_{MV}}$

$$E_{Pst_{MT}} = G_{Pst_{MV}} * \sqrt{\frac{S_i}{S_{MV}} * \frac{1}{F_{MV}}}$$

$$E_{Pst_{MT}} = 0.72 * \sqrt{\frac{3}{30} * \frac{1}{0.3}} = 0.499$$

$$E_{Pst_{MT}} \approx 0.5$$

Si el limite de cambio de voltaje para un

$$E_{pst_{MT}} = 0.5$$

Del siguiente gráfico se obtiene:

Para  $F = F_M \cdot U = 0.3 \cdot 0.02 \cdot 100\% = 0.6\%$

