



Libertad y Orden
UPME



CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA



ELABORADO POR:

UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO

GRUPO DE GESTIÓN EFICIENTE DE ENERGÍA, KAI:

DR. JUAN CARLOS CAMPOS AVELLA, INVESTIGADOR PRINCIPAL.

MSC. EDGAR LORA FIGUEROA, COINVESTIGADOR.

MSC. LOURDES MERIÑO STAND, COINVESTIGADOR.

MSC. IVÁN TOVAR OSPINO, COINVESTIGADOR.

ING. ALFREDO NAVARRO GÓMEZ, AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS, GIEN:

MSC. ENRIQUE CIRO QUISPE OQUEÑA, COINVESTIGADOR.

MSC. JUAN RICARDO VIDAL MEDINA, COINVESTIGADOR.

MSC. YURI LÓPEZ CASTRILLÓN, COINVESTIGADOR.

ESP. ROSAURA CASTRILLÓN MENDOZA, COINVESTIGADOR.

ASESOR

MSC. OMAR PRIAS CAICEDO, COINVESTIGADOR.

UN PROYECTO DE LA UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA DE COLOMBIA (UPME) Y EL INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS” (COLCIENCIAS).

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ¿QUÉ ES UN PROBLEMA DE CALIDAD DE LA ENERGÍA?.....	2
3. IMPORTANCIA ACTUAL.....	3
4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS DE TENSIÓN Y CORRIENTE..	4
5. FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	5
6. CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	7
6.1 TRANSITORIO IMPULSIVO.....	7
6.2 TRANSITORIOS OSCILATORIOS.....	7
6.3 VARIACIONES DE TENSIÓN DE CORTA DURACIÓN.....	9
6.3.1 Depresiones.....	9
6.3.2 Crestas.....	10
6.3.3 Interrupciones.....	11
6.4 VARIACIONES DE TENSIÓN DE LARGA DURACIÓN.....	11
6.4.1 Clasificación de las Variaciones de Tensión de Larga Duración.....	12
6.5 DESEQUILIBRIO DE TENSIONES.....	13
6.6 DISTORSIÓN DE LA FORMA DE ONDA.....	14
6.6.1 Corriente DC.....	14
6.6.2 Armónicos.....	15
6.6.3 Interarmónicos.....	17
6.6.4 Muecas de Tensión (Notching).....	17
6.6.5 Ruido.....	18
6.7 FLUCTUACIONES DE TENSIÓN.....	18
6.8 VARIACIONES DE FRECUENCIA EN EL SISTEMA DE POTENCIA.....	21
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	22

1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica representa el principal insumo que mueve al mundo industrial; sin ella, nuestras empresas se detendrían y las economías enteras entrarían en crisis. Por eso es vital saber administrarla.

Aproximadamente el 55% de la energía eléctrica producida es consumida por los sectores comercial e industrial. Por lo tanto el buen uso de la energía eléctrica le permite, a su empresa, ser cada vez más competitiva, en una economía que tiende a la globalización, así el ahorro de energía es una alternativa viable para reducir costos de operación y mejorar los niveles de competitividad dentro del mundo industrial.

La calidad de la energía eléctrica puede definirse como una ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje RMS suministrado al usuario; esto referido a la estabilidad del voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Asimismo se ha determinado que uno de los problemas más comunes que ocasiona el desperdicio de energía eléctrica en las empresas es la calidad de esta, pues influye en la eficiencia de los equipos eléctricos que la usan.

Actualmente, la calidad de la energía es el resultado de una atención continua; en años recientes esta atención ha sido de mayor importancia debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, las cuales por sí solas, resultan ser una causa de la degradación en la calidad de la energía eléctrica.

Este documento da una introducción a los fenómenos de la calidad de la energía eléctrica de acuerdo a las normas internacionales, punto de partida para iniciar un estudio mas profundo de los fenómenos de la calidad de la energía eléctrica.

2. ¿QUE ES UN PROBLEMA DE CALIDAD DE LA ENERGÍA?

Podemos decir que existe un problema de calidad de la energía eléctrica cuando ocurre cualquier desviación de la tensión, la corriente o la frecuencia que provoque la mala operación de los equipos de uso final y deteriore la economía o el bienestar de los usuarios; asimismo cuando ocurre alguna interrupción del flujo de energía eléctrica.

Los efectos asociados a problemas de calidad de la energía son:

- Incremento en las pérdidas de energía.
- Daños a la producción, a la economía y la competitividad empresarial
- Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, de la disponibilidad y del confort.

3. IMPORTANCIA ACTUAL

Actualmente, el estudio de la calidad de la energía eléctrica ha adquirido mucha importancia y tal vez la razón más importante es la búsqueda del aumento de productividad y competitividad de las empresas. Asimismo porque existe una interrelación entre calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad.

Para aumentar la competitividad las empresas requieren optimizar su proceso productivo mediante:

- Usando equipos de alta eficiencia como motores eléctricos, bombas, etc.
- Automatizando sus procesos mediante dispositivos electrónicos y de computación (microcontroladores, computadores, PLC, etc.).
- Reduciendo los costos vinculados con la continuidad del servicio y la calidad de la energía.
- Reduciendo las pérdidas de energía.
- Evitando los costos por sobredimensionamiento y tarifas.
- Evitando el envejecimiento prematuro de los equipos.

La proliferación de equipos de control y automatización han aumentado los problemas de confiabilidad en la producción. Pues los equipos electrónicos son una fuente de perturbaciones para la calidad de la energía eléctrica pues distorsionan las ondas de tensión y corriente. Por otro lado los equipos de control y automatización son muy sensibles a distorsión o magnitud de la onda de tensión por lo que una variación en la calidad de la energía eléctrica puede ocasionar fallas que paralicen la producción ocasionando tiempo perdido y costos de producción inesperados.

Entonces hay que convivir con el problema y encontrarle soluciones cada vez mas optimas, para lo cual el estudio de los fenómenos de la calidad de la energía es indispensable.

4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS DE TENSIÓN Y CORRIENTE

Las ondas de tensión y corriente están definidas por las siguientes características principales:

- Número de Fases. La fase indica la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varia cíclicamente.
- Amplitud de la onda: la amplitud de una onda es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a adquirir la onda senoide.
 - El valor máximo positivo que toma la amplitud de una onda sinusoidal recibe el nombre de "pico o cresta".
 - El valor máximo negativo, "vientre o valle".
 - El punto donde el valor de la onda se anula al pasar del valor positivo al negativo, o viceversa, se conoce como "nodo", "cero" o "punto de equilibrio".
- Frecuencia de la onda: La frecuencia (f) del movimiento ondulatorio se define como el número de oscilaciones completas o ciclos por segundo ($f=1/T$).
- Forma de la onda.

5. FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS

Si tan sólo ayer se prestaba atención a un grupo relativamente limitado de fenómenos, hoy es necesario tomar en consideración un conjunto más amplio de indicadores de calidad, debido a sus efectos sobre el confort, la confiabilidad, el costo, el consumo, la demanda y el diseño de los sistemas de suministro eléctrico.

Paradójicamente, hay más problemas y son escasas o no existen personas preparadas o dedicadas a enfrentarlos.

Según la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995 los fenómenos electromagnéticos pueden ser de tres tipos:

- Variaciones en el valor RMS de la tensión o la corriente.
- Perturbaciones de carácter transitorio.
- Deformaciones en la forma de onda.

La Tabla 1 muestra un resumen de las características típicas de los fenómenos electromagnéticos.

Tabla 1. Clasificación y Características Típicas de los Fenómenos Electromagnéticos

CATEGORÍAS	CONTENIDO ESPECTRAL	DURACIÓN	MAGNITUD DE VOLTAJE
TRANSIENTES			
IMPULSIVOS			
Nanosegundos	5 ns rise	< 50 ns	
Microsegundos	1 μ s rise	50 ns - 1 ms	
Milisegundos	0.1 ms rise	> 1 ms	
OSCILATORIOS			
Baja Frecuencia	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
Media Frecuencia	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 pu
Alta Frecuencia	0.5 - 5 MHz	5 μ s	0 - 4 pu
VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN			
INSTANTÁNEAS			
Sag (Valles)		0.5 - 30 cycles	0.1 - 0.9 pu
Swell (Crestas)		0.5 - 30 cycles	1.1 - 1.8 pu
MOMENTÁNEAS			
Interrupciones		0.5 cycles - 3 s	< 0.1 pu
Sag (Valles)		30 cycles - 3 s	0.1 - 0.9 pu
Swell (Crestas)		30 cycles - 3 s	1.1 - 1.4 pu

Cont.

CATEGORÍAS	CONTENIDO ESPECTRAL	DURACIÓN	MAGNITUD DE VOLTAJE
VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN			
TEMPORALES			
Interrupciones		3 s - 1 min	< 0.1 pu
Sag (Valles)		3 s - 1 min	0.1 - 0.9 pu
Swell (Crestas)		3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu
VARIACIONES DE LARGA DURACIÓN			
Interrupciones sostenidas		> 1 min	0.0 pu
Bajo Voltaje		> 1 min	0.8 - 0.9 pu
Sobrevoltajes		> 1 min	1.1 - 1.2 pu
Desbalance de Voltaje		Estado Estable	0.5 - 2%
DISTORSIÓN DE FORMA DE ONDA			
Desplazamiento de C.D.		Estado Estable	0 - 0.1%
Armónicos	0 - 100th H	Estado Estable	0 - 20%
Interarmónicos	0 - 6 kHz	Estado Estable	0 - 2%
Hendiduras		Estado Estable	
Ruidos	Banda - ancha	Estado Estable	0 - 1%
FLUCTUACIONES	< 25 Hz	intermitente	0.1 - 7%
VARIACIONES DE FRECUENCIA		< 10 s	

Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

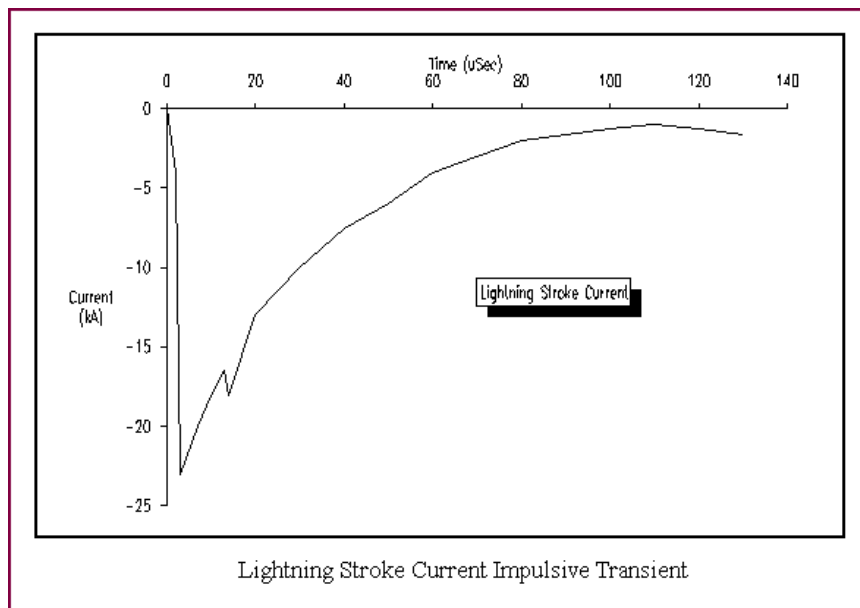
6. CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LOS FENÓMENOS ELECTROMAGNÉTICOS

6.1 TRANSITORIO IMPULSIVO

Es un cambio súbito y unidireccional (positivo o negativo) en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos y de frecuencia diferente a la frecuencia del sistema de potencia.

Son de moderada y elevada magnitud pero de corta duración medida en microsegundos. Normalmente están caracterizados por sus tiempos de ascenso (1 a 10 μsec) y descenso (20 a 150 μsec) y por su contenido espectral.

Figura 1. Transitorios Impulsivos.



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

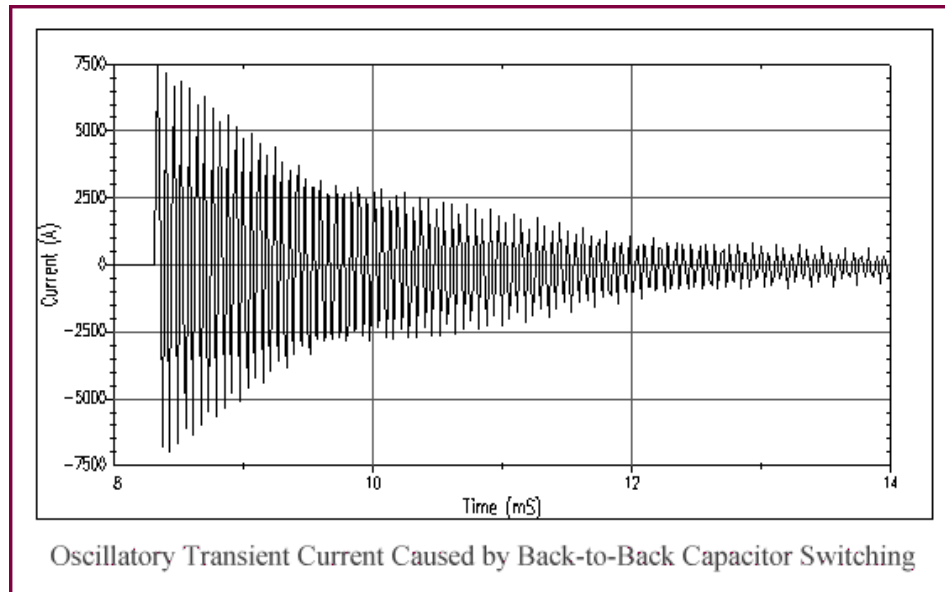
6.2 TRANSITORIOS OSCILATORIOS

Son un cambio súbito en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos, con polaridades positivas y negativas y de frecuencia diferente a la frecuencia de operación del sistema.

Este tipo de transitorio se describe por su contenido espectral, duración y magnitud. Por su frecuencia se clasifican en: transitorios de alta, media y baja frecuencia.

- Los transitorios oscilatorios con una frecuencia mayor de 500 kHz y una duración típica medida en microsegundos (o varios ciclos de la frecuencia fundamental) son considerados transitorios oscilatorios de **alta frecuencia**.
- Cuando la frecuencia se encuentra entre 5 y 500 kHz se considera un transitorio de **frecuencia media**.

Figura 2. Transitorios Oscilatorios.



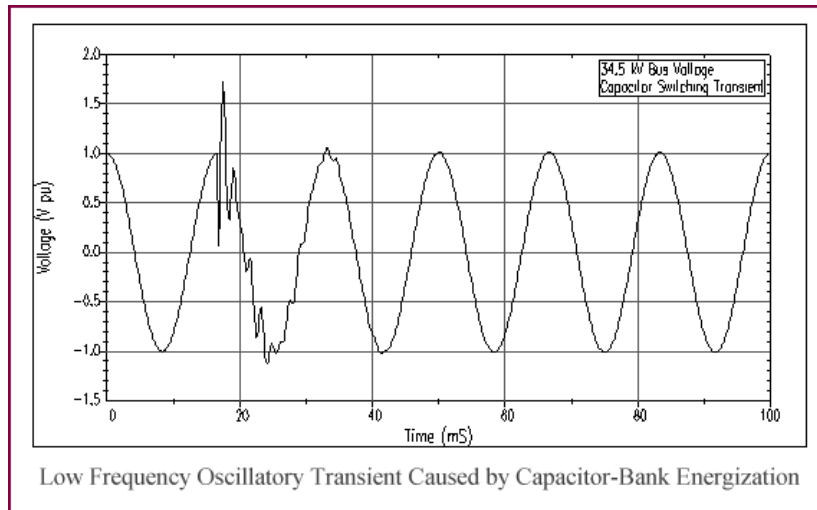
Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

- Un transitorio con una frecuencia inferior a 5 kHz, y una duración de 0,3 ms a 50 ms, se considera un transitorio de **baja frecuencia**.

Sucede en los niveles de subtransmisión y distribución y en los sistemas industriales y es causado por diversos tipos de eventos.

El más frecuente es la energización de bancos de capacitores que hacen oscilar la tensión con una frecuencia primaria entre 300 y 900 Hz. La magnitud pico observada normalmente es de 1,3 -1,5 p.u. con una duración entre 0,5 y 3 ciclos dependiendo del amortiguamiento del sistema.

Figura 3. Transitorios de Baja Frecuencia.



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

6.3 VARIACIONES DE TENSIÓN DE CORTA DURACIÓN

6.3.1 Depresiones

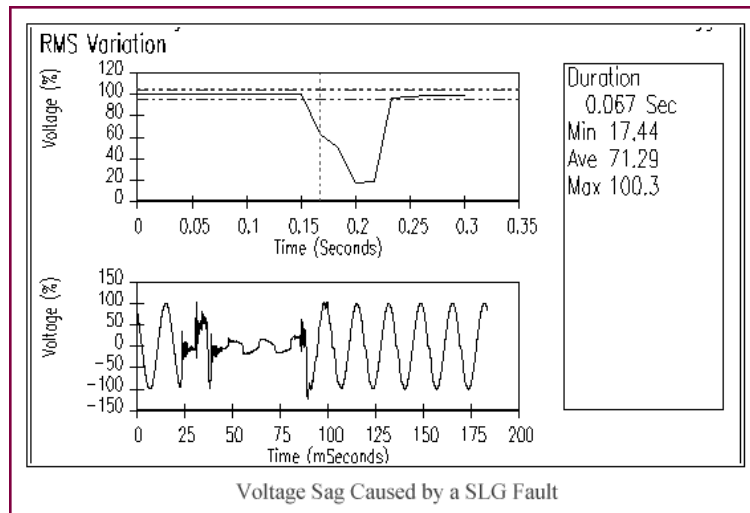
Las depresiones (Sag o Dip), también conocidas como valles o huecos consisten en una reducción entre 0,1 y 0,9 p.u. en el valor R.M.S. de la tensión o corriente con una duración de 0,5 ciclo a un minuto.

Las depresiones de tensión son normalmente asociadas a fallas del sistema, a la energización de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y a la energización de transformadores de potencia.

Los efectos nocivos de las depresiones de tensión dependen de su duración y de su profundidad, estando relacionados con la desconexión de equipos de cómputo, PLC y contactores entre otros dispositivos. También presenta efectos sobre la velocidad de los motores.

Diferentes posibilidades existen para mitigar los efectos de los sags. La primera consiste en estabilizar la señal de tensión a través de acondicionadores de red, los cuales existen con diferentes principios y tecnologías.

Figura 4. Depresiones de Tensión.



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

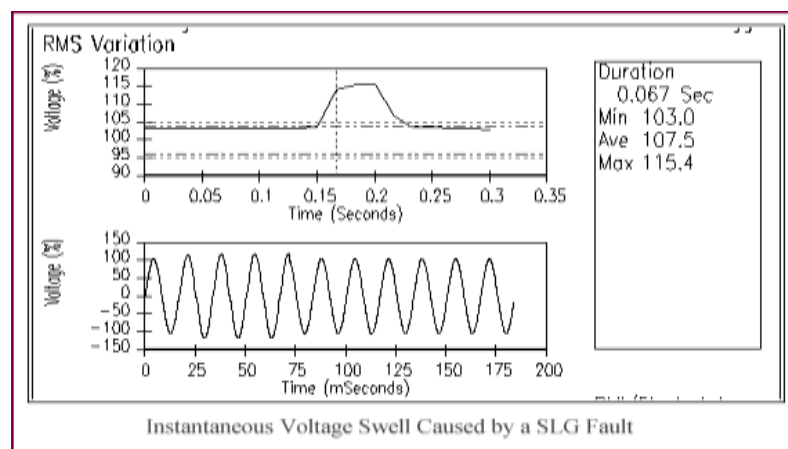
6.3.2 Crestas

Una cresta (Swell) se define como un incremento del valor R.M.S. de la tensión o la corriente entre 1,1 y 1,8 p.u. con una duración desde 0,5 ciclo a un minuto.

Como en el caso de las depresiones, las crestas son asociadas a fallas en el sistema aunque no son tan comunes como las depresiones. Un caso típico es la elevación temporal de la tensión en las fases no falladas durante una falla línea a tierra.

También pueden ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores.

Figura 5. Cresta.



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

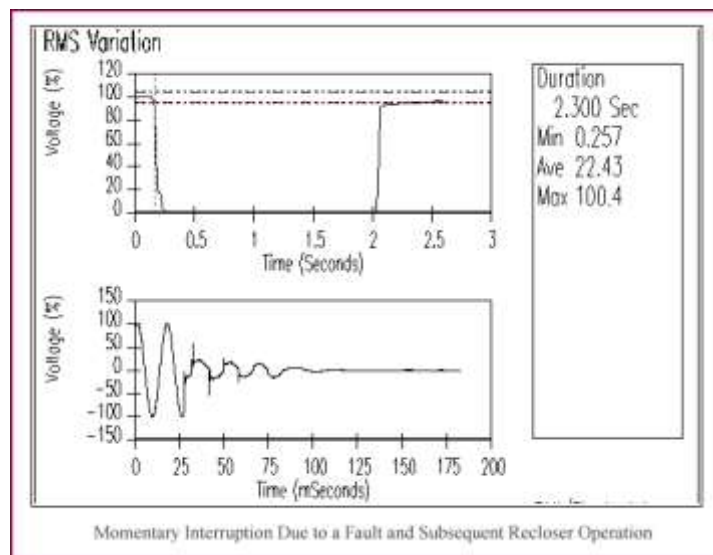
6.3.3 Interrupciones

Una interrupción ocurre cuando la tensión o la corriente de la carga disminuyen a menos de 0,1 p.u. por un período de tiempo que no excede un minuto.

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados o debidas al mal funcionamiento de los sistemas de control. Las interrupciones se caracterizan por su duración ya que la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10% de su valor nominal.

El recierre instantáneo generalmente limita la interrupción causada por una falla no permanente a menos de 30 ciclos. La duración de una interrupción motivada por el funcionamiento indebido de equipos o pérdidas de conexión es irregular.

Figura 6. Interrupciones.



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

6.4 VARIACIONES DE TENSIÓN DE LARGA DURACIÓN

Son aquellas desviaciones del valor R.M.S. de la tensión que ocurren con una duración superior a un minuto.

La norma ANSI C84.1 especifica las tolerancias en la tensión de estado estable en un sistema de potencia. Una variación de voltaje se considera de larga duración cuando excede el límite de la ANSI por más de un minuto. Debe prestarse atención a los valores fuera de estos rangos.

En Colombia los límites están definidos por la Resolución CREG 024 de 2005 entre +10% y -10% de la tensión nominal.

Tabla 2. Tolerancia para las Tensiones de acuerdo a la Norma ANSI.

VALOR NOMINAL	RANGO DESEABLE	RANGO ACEPTABLE
120	126 - 114	127 - 110
208	218 - 197	220 - 191
240	252 - 228	254 - 220
277	291 - 263	293 - 254
480	504 - 456	508 - 440
2.400	2.525 - 2.340	2.540 - 2.280
4.160	4.370 - 4.050	4.400 - 3.950
4.800	5.040 - 4.680	5.080 - 4.560
13.800	14.490 - 13.460	14.520 - 13.110
34.500	36.230 - 33.640	36.510 - 32.780

Fuente: Norma ANSI C84.1.

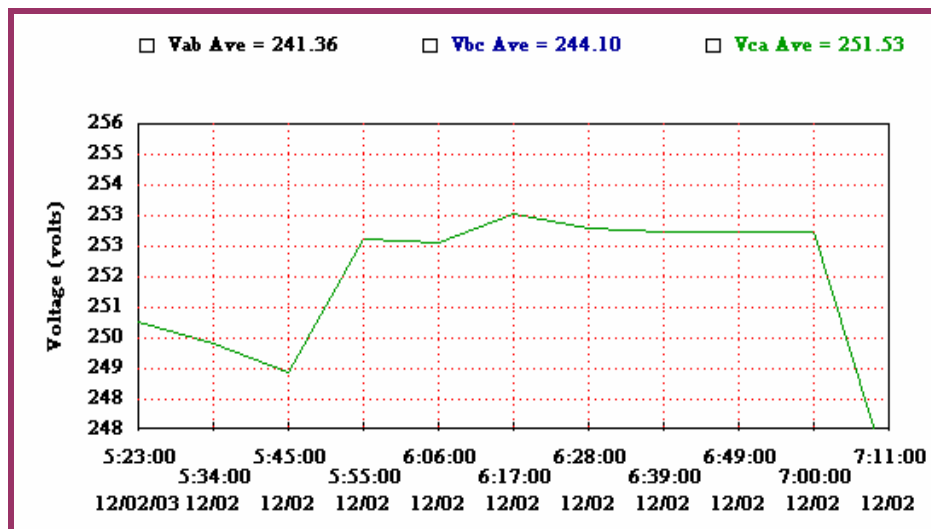
6.4.1 Clasificación de las Variaciones de Tensión de Larga Duración

- a. **Sobretensión** es el incremento de la tensión a un nivel superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.

Las sobretensiones son usualmente el resultado de la desconexión de grandes cargas o debido a la conexión de bancos de capacitores. Generalmente se observa cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.

La incorrecta selección del TAP en los transformadores ocasiona sobretensión en el sistema.

Figura 7. Sobretensiones.



- b. Se entiende por **baja tensión** la reducción en el valor R.M.S. de la tensión a menos del 90% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.

La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores pueden causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo.

Los circuitos sobrecargados pueden producir baja tensión en los terminales de la carga.

La sobretensión y la baja tensión generalmente no se deben a fallas en el sistema. Estas son causadas comúnmente por variaciones de la carga u operaciones de conexión y desconexión.

Estas variaciones se registran cuando se monitorea el valor R.M.S. de la tensión contra el tiempo.

- c. Se considera una **interrupción sostenida** cuando la ausencia de tensión se manifiesta por un período superior a un minuto. Este tipo de interrupciones frecuentemente son permanentes y requieren la intervención del hombre para restablecer el sistema.

6.5 DESEQUILIBRIO DE TENSIONES

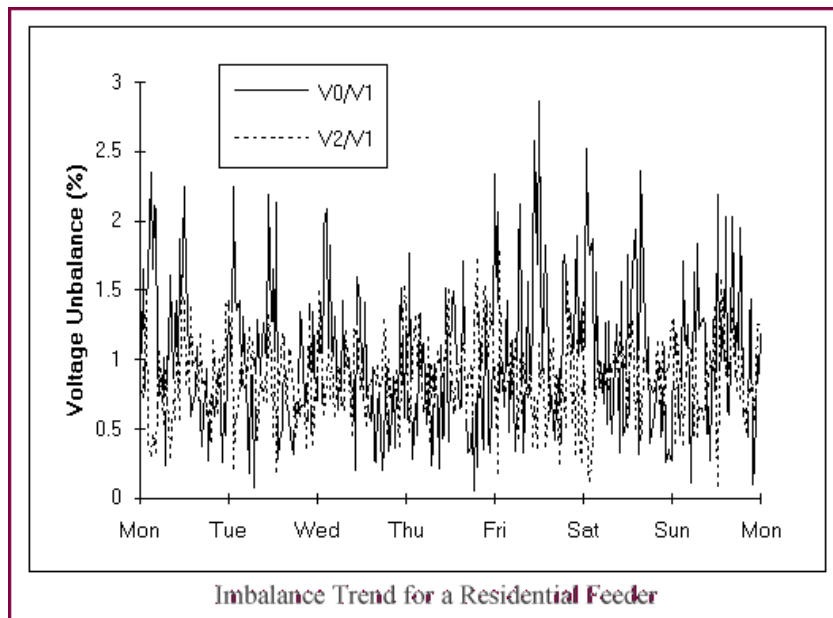
El desequilibrio de Tensiones en un sistema eléctrico ocurre cuando las tensiones entre las tres líneas no son iguales y puede ser definido como la desviación máxima respecto al valor promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresado en porcentaje.

El desbalance también puede ser definido usando componentes simétricas como la relación de la componente de secuencia cero ó la componente de secuencia negativa entre la componente de secuencia positiva, expresada en porcentaje.

Las fuentes más comunes del desequilibrio de tensiones son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, los transformadores conectados en delta abierto, fallas de aislamiento en conductores no detectadas.

Se recomienda que el desequilibrio de tensiones sea menor al 2%.

Figura 8. Desequilibrio de Tensiones.



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

6.6 DISTORSIÓN DE LA FORMA DE ONDA

La distorsión de la forma de onda es una desviación estable del comportamiento idealmente sinusoidal de la tensión o la corriente a la frecuencia fundamental del sistema de potencia. Se caracteriza, principalmente, por el contenido espectral de la desviación.

Existen cinco formas primarias de distorsión de la forma de onda:

- Corrimiento DC
- Armónicos
- Interarmónicos
- Hendiduras
- Ruido

6.6.1 Corriente DC

La presencia de una tensión o corriente directa (DC) en un sistema de corriente alterna (AC) de potencia se denomina corrimiento DC (DC offset).

Esto puede ocurrir debido al efecto de la rectificación de media onda, extensores de vida o controladores de luces incandescentes. Este tipo de controlador, por ejemplo, puede consistir en diodos que reducen el valor R.M.S. de la tensión de alimentación por rectificación de media onda.

Efectos de la presencia de DC en redes de AC:

La corriente directa en redes de corriente alterna produce efectos perjudiciales al polarizar los núcleos de los transformadores de forma que se saturan en operación normal causando el calentamiento y la pérdida de vida útil en estos equipos.

La corriente directa es una causa potencial del aumento de la corrosión en los electrodos de puesta a tierra y en otros conductores y conectores.

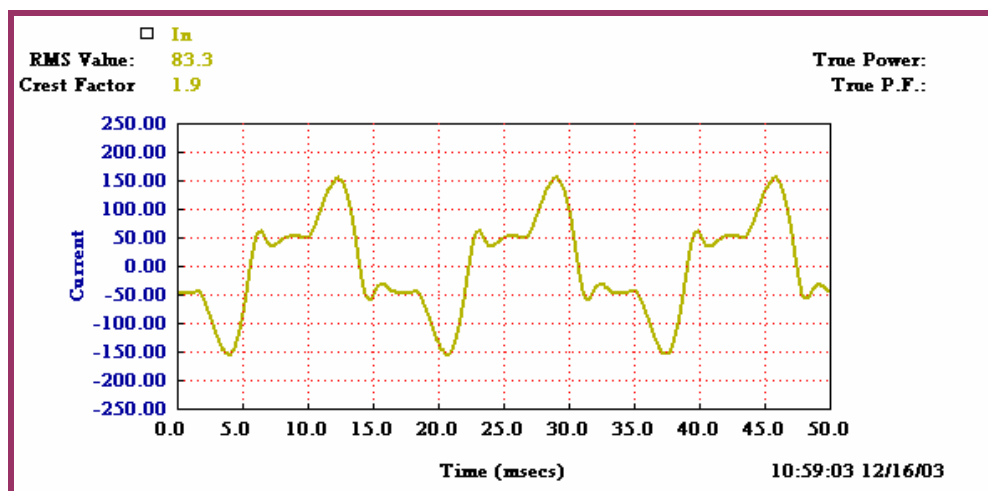
6.6.2 Armónicos

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo integral de la frecuencia fundamental del sistema la cual, para el caso de nuestro país es 60 Hz.

Las formas de onda distorsionadas son descompuestas, de acuerdo con Fourier, en la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas. La distorsión armónica se origina, fundamentalmente, por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia.

El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es común, además, utilizar un criterio denominado distorsión total armónica (THD) como una medida de la distorsión.

Figura 9. Corriente Armónica.



Dentro de los efectos nocivos que presentan los armónicos, se pueden citar los siguientes:

- Pueden causar errores adicionales en las lecturas de los medidores de electricidad, tipo disco de inducción.
- Las fuerzas electrodinámicas producidas por las corrientes instantáneas, asociadas con las diferentes corrientes armónicas, causan vibraciones y ruido acústico en transformadores, reactores y máquinas rotativas.
- Son la causa de interferencias en las comunicaciones y en los circuitos de control.
- Provocan la disminución del factor de potencia.
- Están asociados con el calentamiento de condensadores.
- Pueden provocar ferresonancia.
- Provocan calentamiento adicional debido al incremento de las pérdidas en transformadores y máquinas.
- Al incrementarse la corriente debido a los armónicos, se aumentan el calentamiento y de las pérdidas en los cables. Como caso específico, se puede mencionar la presencia de mayor corriente en los neutros de los sistemas de baja tensión.
- Causan sobrecargas en transformadores, máquinas y cables de los sistemas eléctricos.
- Los armónicos de tensión pueden provocar disturbios en los sistemas electrónicos. Por ejemplo, afectan el normal desempeño de los tiristores.

La mitigación de los efectos nocivos de los armónicos puede llevarse a cabo mediante:

- El monitoreo constante de los sistemas para detectar la presencia de armónicos indeseables.
- La utilización de filtros para eliminar los armónicos indeseables.
- El dimensionamiento los transformadores, máquinas y cables teniendo en cuenta la presencia de corrientes no sinusoidales (presencia de armónicos).

6.6.3 Interarmónicos

Se llaman interarmónicos a las tensiones o corrientes con componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual trabaja el sistema.

Los interarmónicos se pueden encontrar en redes de todas las clases de tensiones. Las principales fuentes de interarmónicos son los convertidores estáticos de frecuencia, los cicloconvertidores, los motores asincrónicos y los dispositivos de arco.

Efectos de calentamientos, similares a los producidos por los armónicos, son causados por los interarmónicos. Debido a que los interarmónicos son fuentes de fluctuaciones de tensión, se presenta alto riesgo de la generación de flicker.

La mitigación de los efectos de los interarmónicos se realiza con base en filtros pasivos

6.6.4 Muestras de Tensión (Notching)

Conocidas también como hendiduras, las muescas son perturbaciones periódicas en la forma de onda de tensión, causadas por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra.

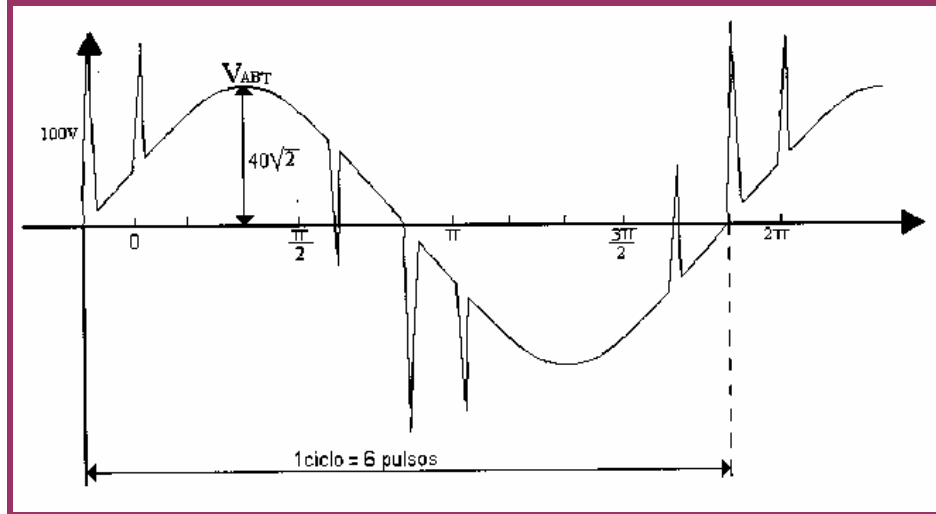
Como ocurren continuamente, son caracterizadas por el espectro armónico de la tensión afectada.

Generalmente son tratadas como un caso especial ya que los componentes de frecuencia asociados a ellas pueden ser tan altos que no son fácilmente detectados por los equipos de medición normalmente utilizados para el análisis armónico.

Las muescas de tensión causan fallas en las CPU, impresoras láser y mal funcionamiento de algunos equipos electrónicos.

La eliminación de las muescas de tensión implica el aislamiento, de los equipos sensibles, de la fuente que las está produciendo. La inserción de reactancias inductivas también puede servir como solución, para mitigar el efecto de las muescas.

Figura 10. Muestras de Tensión (Notching).



6.6.5 Ruido

El ruido es una señal eléctrica indeseable con un contenido espectral inferior a 200 kHz superpuesto a la tensión o a la corriente del sistema en los conductores de las fases o en los conductores neutros o líneas de señales.

Puede ser causado por dispositivos de electrónica de potencia, circuitos de control, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido y fuentes conmutadas.

Una de las causas más frecuente de ruidos son los generadores de emergencia baratos de baja calidad donde se manifiesta el efecto de las ranuras en la forma de onda del voltaje de salida.

6.7 FLUCTUACIONES DE TENSIÓN

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas del envolvente de la tensión o una serie de cambios aleatorios de la tensión cuya magnitud no excede normalmente los rangos de tensión especificados por la norma ANSI C84.1.

Las cargas que muestran variaciones rápidas y continuas de la magnitud de la corriente pueden causar variaciones de tensión que son frecuentemente denominadas "flicker".

El término flicker se deriva del impacto de las fluctuaciones de tensión en las lámparas al ser percibidas por el ojo humano como titilaciones.

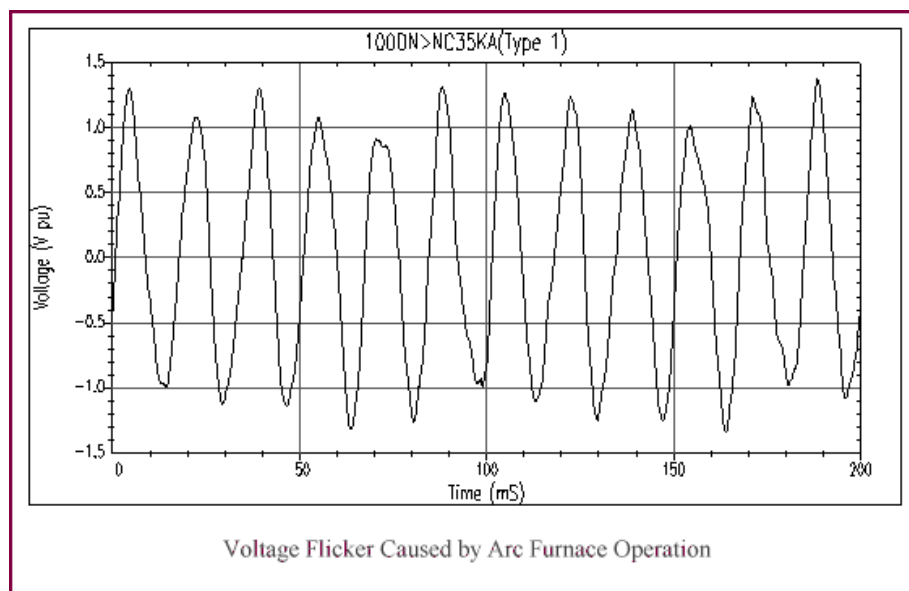
Una de las causas más comunes de las fluctuaciones de tensión en los sistemas de transmisión y distribución son los hornos de arco. En otros sistemas más débiles las fluctuaciones se pueden deber a la presencia de equipos de soldadura por arco y cargas similares.

La señal de flicker se define por su magnitud R.M.S. expresada como por ciento de la tensión nominal.

Típicamente magnitudes tan bajas como 0,5% de la tensión del sistema pueden producir un titileo perceptible en las lámparas si la frecuencia está en el rango de 6 a 8 Hz.

El flicker de tensión se mide con respecto a la sensibilidad del ojo humano.

Figura 11. Fluctuaciones de Tensión (Flicker).



Tomado de la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995

El Consejo de la Industria de Tecnología de la Información (ITIC) describe los valores tolerables y la duración de las variaciones de voltaje que pueden ocurrir sin dañar o interrumpir las funciones de sus productos.

Estos valores son aplicables a sistemas de 120 V R.M.S. a 60 Hz. Se definen tres regiones; la región prohibida, donde no es posible la explotación, la zona de operación sin interrupciones y la región donde no deben suceder daños permanentes a sus equipos ante variaciones de la magnitud mostrada.

Figura 12. Curva ITIC (Antigua CBEMA¹)

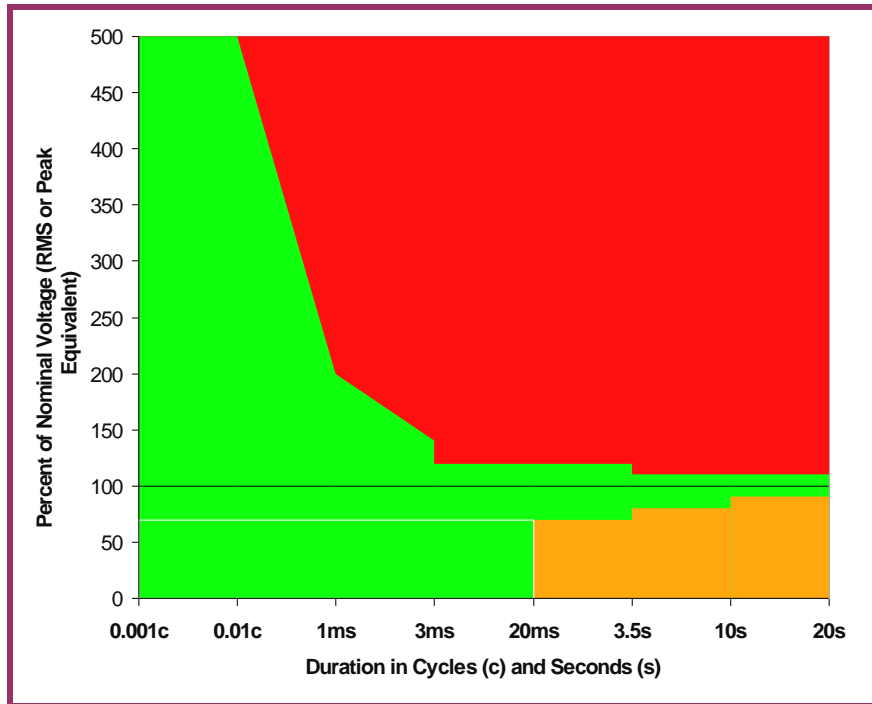
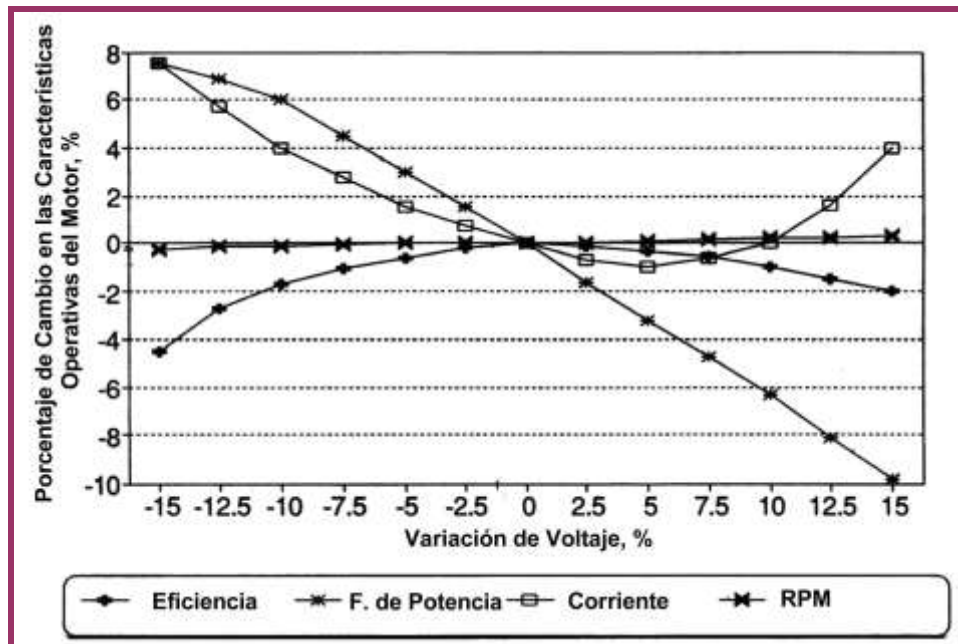


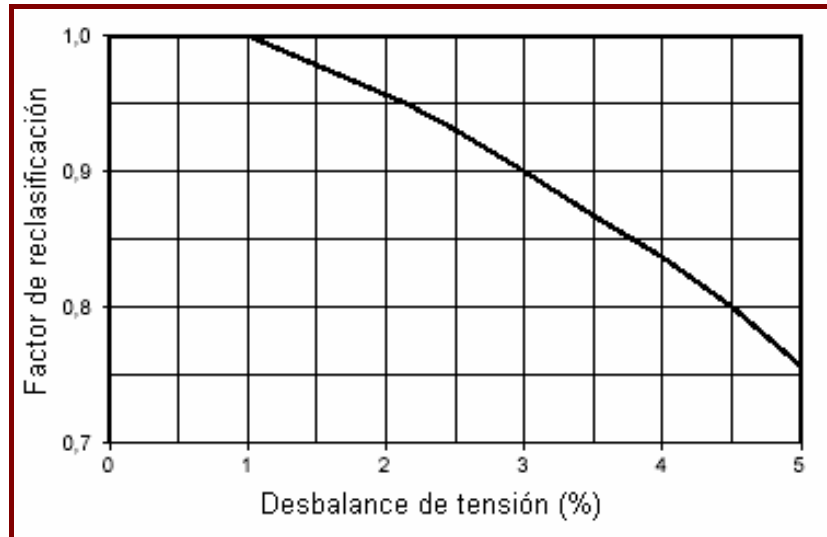
Figura 13. Efecto de las Variaciones de Tensión en los Motores



Fuente: Norma IEEE 141-1993. Recommended Practice for Electric Power Distribution for industrial Plant.

¹ CBEMA = Computer and Business Equipment Manufacturers' Association

Figura 14. Efecto de los Desequilibrios de Tensión en los Motores



Fuente: NEMA Standards Publication ANSI/NEMA MG 1-2003, "Motors and Generators". USA, 2004.

6.8 VARIACIONES DE FRECUENCIA EN EL SISTEMA DE POTENCIA

La variación de frecuencia es la desviación de la frecuencia fundamental del sistema de su valor nominal especificado (60 Hz en el caso de Colombia).

La frecuencia está directamente relacionada con la velocidad de rotación de los generadores que componen el sistema. Normalmente existen ligeras variaciones de frecuencia debido a la fluctuación del balance entre la generación y la demanda de potencia de un sistema.

El Consejo de la Industria de Tecnología de la Información (ITIC) describe los valores tolerables y la duración de las variaciones de voltaje que pueden ocurrir sin dañar o interrumpir las funciones de sus productos.

Estos valores son aplicables a sistemas de 120 V R.M.S. 60 Hz. Se definen tres regiones; la región prohibida, donde no es posible la explotación, la zona de operación sin interrupciones y la región donde no deben suceder daños permanentes a sus equipos ante variaciones de la magnitud mostrada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (IEEE Std. 1159-1995). Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISBN 1-55937-549-3. Estados Unidos, 1995.
2. Electrical Power Systems Quality. Roger C. Dugan, Mark F. Mc Granaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty. Ed. Mc Graw -Hill. Estados Unidos, 1996.
3. Característica de la tensión suministrada por las redes generales de distribución (UNE-EN 50160). Ed. AENOR. España, 2001.
4. NEMA Standards Publication ANSI/NEMA MG 1-2003, "Motors and Generators". National Electrical Manufacturers Association. Estados Unidos, 2004.
5. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems (IEEE Std. 519-1992). Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISBN 1-55937-239-7. Estados Unidos, 1993.
6. IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plant (IEEE Std.141-1994). ISBN 1-55937-333-4. New York, USA, 1994.