



## **CAPITULO 2**

# **2.- CALIDAD EN EL SUMINISTRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA**

### **2.1.- CONCEPTO DE CALIDAD**

Uno de los aspectos que preocupa y día a día adquiere más relevancia entre consumidores industriales, comerciales, residenciales y las compañías suministradoras de energía, es el concepto de “Calidad en el Suministro de la Energía Eléctrica”.

El término “calidad” es entendido de muy distinta manera por distintos usuarios y por las propias compañías suministradoras, y en efecto existen muchas definiciones de calidad.

Muchos autores han dado su propia definición al término “calidad”:

- W. Edwards Deming: “Calidad no significa alcanzar la perfección, significa conseguir una eficiente producción con las características que espera obtener el mercado.”
- Joseph M. Juran: “Adecuación al uso.”
- Phillip Crosby: “Conformidad con los requisitos.”
- Armand V. Feigebaum: “La composición total de las características de los productos y los servicios de “marketing”, ingeniería, fabricación y mantenimiento, a través de los cuales los productos y los servicios cumplirán las expectativas de los clientes.”



- Norma ISO 9001:2000: “Grado en que un conjunto de características inherentes cumplen con los requisitos.”

De las definiciones anteriores concluimos que la “calidad” es el grado en que el conjunto de propiedades y características (implícitas o establecidas) de un producto o servicio cumplen con las necesidades o expectativas establecidas, implícitas u obligatorias de los clientes o consumidores. Es decir, decimos que existe calidad si un producto o servicio cumple con una serie de requisitos que eran los esperados por los potenciales usuarios del mismo.

## **2.2.- CALIDAD DE LA ENERGÍA**

En relación con la energía eléctrica, el término “Calidad” lo podemos definir como: “grado en que la energía eléctrica suministrada satisface las expectativas de los usuarios”.

Los problemas asociados a la calidad de la energía eléctrica no son nuevos. Lo que es nuevo es que ahora los usuarios están más conscientes de las consecuencias de estos fenómenos y que las técnicas para su detección y corrección son más accesibles que en años pasados. Todos los sistemas eléctricos están expuestos a contingencias y diversos problemas causados por fenómenos naturales, accidentes o por la propia operación de la red, lo cual repercute en la calidad de la energía.

Este concepto de calidad incluye todo lo relacionado con una gran variedad de disturbios, que se generan en los sistemas eléctricos y que causan desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia resultando en



fallas de los sistemas, en operaciones erráticas de los equipos o en la suspensión del servicio. Las fallas más comunes son sobre tensión, baja tensión, variaciones en la frecuencia, distorsiones armónicas e interrupción del servicio (apagones), mismas que describiremos mas adelante en este capitulo.

### **2.3.- PERTURBACIONES EN LAS REDES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN**

Podemos decir que el objetivo de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para corregir distintos fenómenos que derivan en fallas, proponiendo soluciones para corregir dichas fallas que se presentan en el sistema eléctrico.

#### **2.3.1 SOBRETENSION**

Una sobre tensión es una elevación momentánea o mantenida en el nivel de tensión y pueden ser causadas por motores eléctricos de alta potencia, desconexiones y el ciclo normal de los sistemas de aire acondicionado y ventilación (figura 2.1).



Figura 2.1 Sobretensión

Los dispositivos de protección contra sobre tensión, también conocidos como supresores de sobre tensión, son un recurso efectivo y económico para



proteger aplicaciones y equipos estratégicos. Estos equipos reducen las sobretensiones a niveles adecuados para los equipos de CA.

### 2.3.2 TENSION TRANSITORIA O PICOS DE TENSION (IMPULSOS)

Son incrementos considerables y súbitos de tensión, por ejemplo, los ocasionados cuando un rayo cae sobre una línea de alta tensión o la conexión a tierra adyacente, pueden hacer que entren en los equipos electrónicos impulsos nocivos de tensión y destruyan delicados circuitos de estado sólido.



Figura 2.2. Impulsos

De apenas pocos milisegundos de duración los picos de tensión o transitorios originados por las descargas atmosféricas, causan enormes pérdidas todos los años. También pueden ser causados por conmutación de la red del servicio eléctrico, generadores y motores de gran tamaño.

### 2.3.3 REGULACIÓN DE TENSION

En lapsos de gran demanda de energía, las fluctuaciones de tensión tienen siempre un efecto negativo en las cargas de cualquier tipo. En México la regulación de la tensión (Figura 2.3) puede variar  $\pm 10\%$  con respecto a la



nominal, pero no es extraño encontrar variaciones de 12% y hasta 15% en algunos casos.



Figura 2.4. Regulación de Tensión

Los problemas de tensión generados por la conexión y desconexión de grandes cargas, arranques de motores, o las condiciones de baja tensión de las distribuidoras de electricidad durante las horas pico, normalmente pueden controlarse con reguladores de tensión. Aquí también se presentan las caídas de tensión debido a la conexión de grandes cargas.

#### **2.3.4 VARIACIONES DE FRECUENCIA**

Las variaciones en la frecuencia (figura 2.5) se suelen producir por la conexión o desconexión de cargas importantes en el sistema de distribución, lo cual puede producir ligeros descensos de la velocidad en los generadores.



Figura 2.5 Variaciones de Frecuencia



Los límites de variación aceptados para promedios de 10 segundos son muy pequeños:

- Para sistemas interconectados: desviación máxima entre +4% y -6%.
- Para sistemas en isla: desviación máxima entre el +- 15%

Las consecuencias más importantes de la variación de frecuencia se dan en industrias donde exista cogeneración acoplada a la red, donde el generador propio seguirá las variaciones impuestas por el sistema eléctrico, generalmente mucho más potente. En el caso de autogeneradores en isla, las variaciones de frecuencia deben prevenirse con un adecuado sistema de acoplamiento de cargas. La variación de la frecuencia también afecta a la velocidad de los motores.

### **2.3.5 DISTORSIÓN ARMÓNICA**

Los equipos de hoy en día son más sensibles a las variaciones en el suministro de la energía eléctrica que los utilizados en años anteriores. Muchos dispositivos contienen control basado en microprocesadores e instrumentos electrónicos que son sensibles a los disturbios eléctricos.

La tarea constante de disminuir costos en el uso de la energía eléctrica, ha llevado a la implementación de equipos de alta eficiencia como son: variadores de velocidad en motores, bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia y el uso extensivo de equipos de cómputo para optimizar procesos.



Como resultado adverso del uso de los equipos mencionados y de la enorme gama de equipos electrónicos en innumerables aplicaciones, se tiene la presencia indeseable de ondas armónicas en las redes eléctricas, problema que no solo afecta a los usuarios sino también a las propias compañías suministradoras (CFE, Luz y Fuerza del Centro).

Las perturbaciones más importantes que afectan a la forma de onda son los denominados armónicos (Figura 2.6). Se trata de perturbaciones de frecuencia relativamente baja (hasta 2500 Hz). Las armónicas pueden presentarse en corriente, tensión o ambas y se pueden combinar con la frecuencia fundamental para crear distorsión. El nivel de distorsión está directamente relacionado a las frecuencias y amplitudes de las corrientes armónicas.



Figura 2.6 Distorsión Armónica

Las armónicas no se producen normalmente por el sistema eléctrico de potencia, pero sí, en la mayoría de los casos, por las cargas conectadas al mismo.

Las principales consecuencias de estos fenómenos sobre las cargas son:



- Sobre los transformadores y generadores: El contenido armónico provoca un calentamiento considerable en el núcleo debido a la histéresis y a las corrientes parásitas.
- Sobre los motores: Produce un sobrecalentamiento debido a las corrientes armónicas de secuencia negativa (5<sup>a</sup> armónica) y las corrientes parásitas.
- Sobre los conductores: Las armónicas provocan un sobrecalentamiento del conductor neutro ello se debe a que las armónicas de secuencia cero se suman en el neutro en vez de cancelarse como sucedería con cargas lineales balanceadas.
- Sobre la barra de neutro: Se sobrecarga debido a las armónicas de secuencia cero.
- Sobre el tablero de distribución: Calentamientos debido a corrientes parásitas que generan vibraciones y zumbidos.
- Sobre los capacitores empleados para corregir el factor de potencia: Debido a que los capacitores puede ser la impedancia más baja de un sistema, las armónicas pueden quemar los fusibles.
- Sobre los dispositivos de protección contra sobre-corrientes: Los dispositivos de protección contra sobre-corrientes como fusibles y desconectadores son afectados por el calentamiento debido al efecto Kelvin por corrientes con alto contenido armónico.



- Sobre los dispositivos de protección: Estos se ven afectados por las armónicas provocando disparos en situaciones en las que no debiera producirse este fenómeno, ello se debe al calentamiento adicional en el tablero generado por la circulación de corriente de la 3ª armónica en el conductor neutro.
- Sobre los instrumentos de medición: Las armónicas pueden provocar errores en la medición de energía cuando se utilizan equipos de inducción.
- Sobre los equipos electrónicos: Al distorsionarse su forma de onda los equipos pueden sufrir fallas en su funcionamiento.
- Sobre los reguladores de tensión: Muchos de estos dispositivos de control emplean circuitos que miden el punto de cruce por cero de las ondas de tensión o corriente, pero con un contenido elevado de armónicas puede haber muchos cruces, lo que provocaría la inestabilidad en la velocidad y en el control de frecuencia.

### **2.3.6 CONTINUIDAD (APAGONES)**

La electricidad tiene, como se sabe, un grave inconveniente con respecto a otros tipos de energía y es que no permite su almacenamiento en cantidades significativas, lo cual implica que hay que generarla y transportarla en el preciso momento de su utilización. Al no tener continuidad en el servicio se



interrumpe completamente el suministro de energía eléctrica, tal interrupción puede durar segundos, horas o aún más, deteniendo muchos procesos industriales, que finalmente se traducen en pérdidas económicas para la industria y para el país mismo.

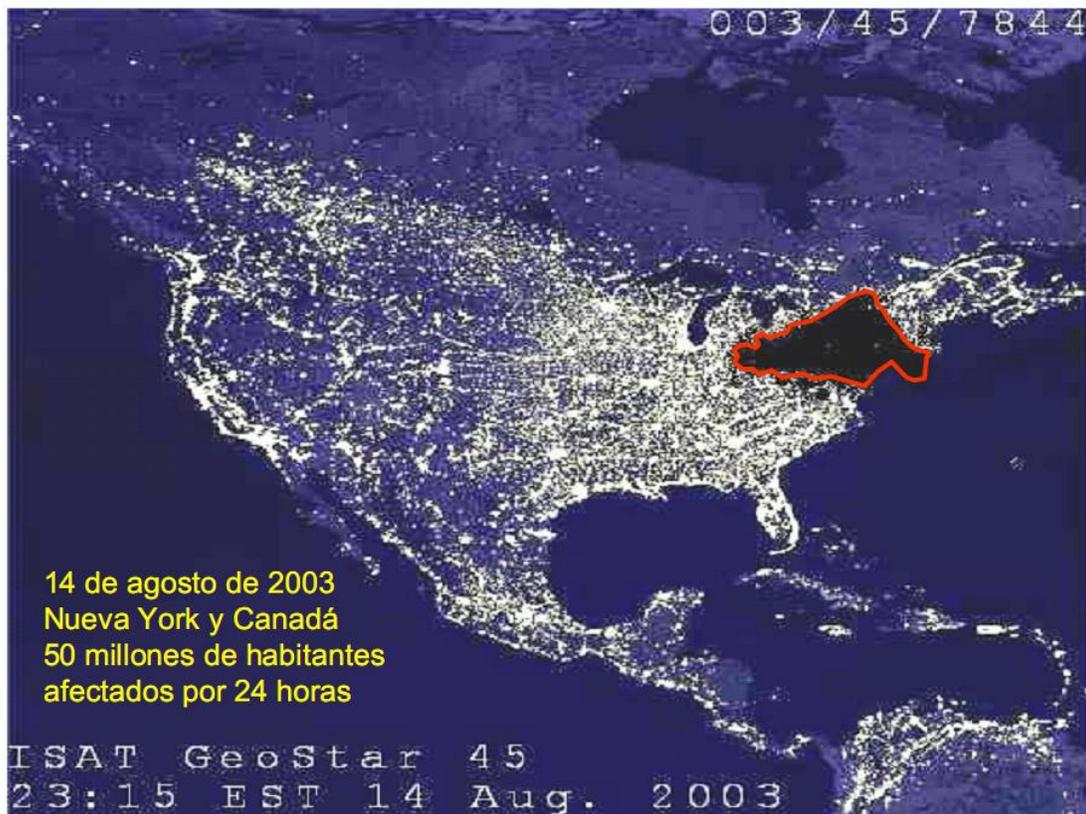


Figura 2.7 Apagón en Norte América, 2003.

Cabe mencionar que en Estados Unidos el costo de las pérdidas por fallas en el suministro de energía es del orden de 119 mil millones de dólares al año, y para el caso de América Latina, de entre 10 y 15 mil millones de dólares anuales.



En la tabla 2.1 se presentan costos estimados de interrupciones por tipo de empresa. De manera comparativa, en las fábricas de papel de México, de un tamaño mediano (de acuerdo a su producción e ingresos), el costo por interrupciones en los procesos es de 10 a 20 mil dólares americanos por día, según la calidad del papel.

INDUSTRIA/EMPRESA	COSTO (USD/H)
Comunicaciones celulares	41,000
Venta de boletos por teléfono	72,000
Reservaciones de aerolíneas	90,000
Operaciones de tarjetas de crédito	2'580,000
Operaciones bursátiles	6'480,000
Fabricación de microchips	60'000,000

Tabla 2.1 Estimación de costos de interrupciones por tipo de empresa

Para suministrar la energía eléctrica con la calidad que el usuario requiere, es necesario que las empresas tomen las medidas necesarias para minimizar y, en su caso, eliminar, todas las causas que alteran el funcionamiento del sistema. Entre las medidas necesarias podemos citar las siguientes: tener capacidad de generación de reserva, instalar circuitos de respaldo, un adecuado sistema de protección, instalación de reguladores de tensión, compensadores de potencia reactiva, entre otras.



Por otra parte el mantenimiento preventivo y predictivo a todos los equipos y, especialmente, a los equipos de protección y de control, son parte de las herramientas que pueden utilizarse para asegurar una adecuada calidad de la energía eléctrica.

## **2.4.- LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA**

Todas las perturbaciones vistas hasta este momento tienen efectos negativos sobre la calidad de la energía en las redes de distribución de media y baja tensión.

La generación distribuida puede representar un medio para resolver problemas generados por las perturbaciones en la red, por ejemplo:

- Para regular la tensión el generador puede ser un buen medio de generación de reactivos por lo que puede reducirse y, en algunos casos, evitarse la conexión de capacitores, y con esto reducir los casos de resonancia armónica con los consabidos problemas.
- Los costos por transmisión y distribución se reducen, por ende se minimiza el costo final de la energía.
- Menores inversiones totales en infraestructura y mayor rapidez en su instalación.
- La presencia de la generación distribuida da como resultado redes eléctricas más robustas, lo cual trae como consecuencia redes menos sensibles a los disturbios que impactan a la calidad de energía eléctrica.



Esta misma robustez también permite una mejor operación de los esquemas de protección.

- Menor impacto ambiental que el generado por un esquema centralizado tradicional, obtenido de la posibilidad de empleo de tecnologías en extremo limpias y eficientes, como es el caso de la biomasa y los generadores eólicos, o por eliminarse las emisiones producidas por las pérdidas inherentes a los sistemas de transmisión y distribución. Todo lo anterior sin mencionar el hecho de la dificultad de encontrar nuevos corredores para líneas de transmisión, que impliquen un mínimo impacto en el medio ambiente.

En relación con la Generación Distribuida existen algunos aspectos que deben ser considerados para el desarrollo de la misma, entre los cuales se cuentan:

- Falta de conocimiento y experiencia del personal técnico y profesional nacional para la instalación, operación, mantenimiento y reparación, de algunos sistemas de Generación Distribuida, así como la carencia de redes de comercialización de equipos y repuestos,
- Por el cambio en la topología del sistema eléctrico, derivado de la conexión de equipos de Generación Distribuida en la red local, se tendrían que reconfigurar los ajustes de las protecciones eléctricas del sistema.
- Por ser tecnologías, que en la mayoría de los casos se encuentran aún en etapas de desarrollo e investigación, inicialmente se tendrán altos costos por unidad de potencia, comparados con las alternativas convencionales de Generación Eléctrica.



Las consideraciones anteriores han sido objeto de discusión y debate en el mundo y, frente a ellas, actualmente se cuenta con normas internacionales, como es el caso de la “IEEE 1001 Guide for Interfacing Dispersed Storage and Generation Facilities with Electric Utility Systems - Withdrawn 5/96”. Esta fue la única guía que parcialmente cubría la conexión de sistemas de generación a redes de distribución. Este estándar incluía aspectos básicos de la calidad en el servicio, protección de equipos y seguridad. El estándar expiró y de tal modo en 1998, el IEEE Working Group SCCC221 P1547 comenzó a trabajar en recomendaciones generales para la interconexión de la generación distribuida, el IEEE Standard for interconnecting Distributed Resources with electric Power system. Cuatro años después, en septiembre de 2002, el grupo de trabajo finalmente completó el desarrollo de un nuevo estándar.

Así pues, este trabajo no pretende afirmar que la Generación Distribuida debe o será aplicada inminentemente en nuestro país, lo que se busca es presentar el entorno energético al que nos enfrentaremos. En este sentido, tratamos de anticipar el camino a seguir, presentando una alternativa que no solamente ayudará a mejorar la operación de los sistemas eléctricos, sino que también traerá un enorme beneficio ambiental.

Es necesario ver en la generación distribuida una oportunidad y no una amenaza y le demos la importancia que merece basada en las importantes implicaciones que su presencia puede tener en la planeación, diseño y operación de los sistemas eléctricos de potencia.

