

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

Ing. Gerardo Robledo Leal,  
Comisión Federal de Electricidad  
[gerardo.robledo@cfe.gob.mx](mailto:gerardo.robledo@cfe.gob.mx)



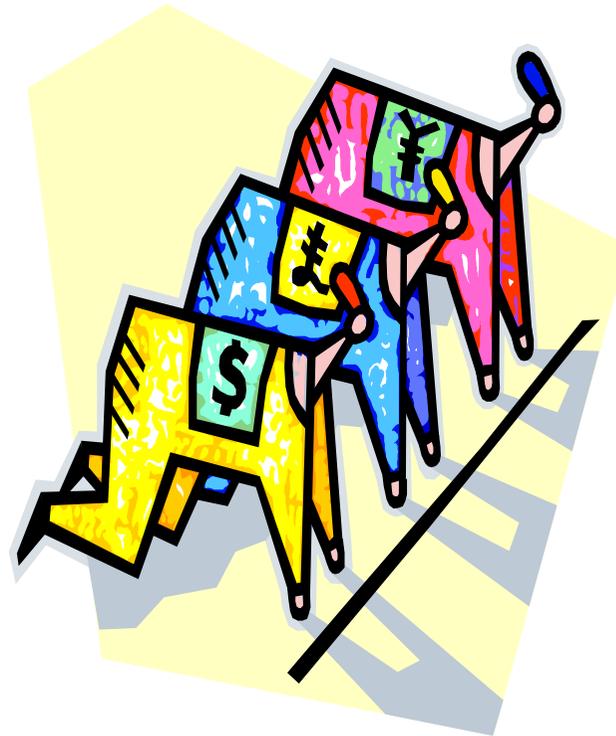
Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

→ Electromagnetismo  
→ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
→ Tiempo y Frecuencia



## Camino a la normalización de la Calidad de Energía

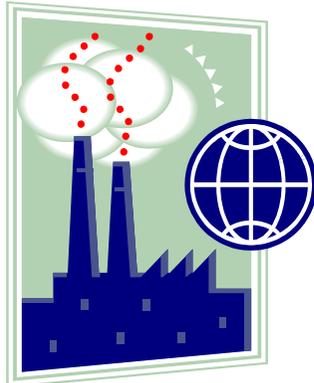
LA COMPETITIVIDAD DE UN MUNDO GLOBALIZADO EXIGE CADA VEZ MEJORES PRODUCTOS.



EL SECTOR ELECTRICO NO ES AJENO A ESTA REALIDAD.

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## CLIENTES



- **ELECTRICIDAD**  
Insumo vital e importante para el proceso productivo.

- REQUERIMIENTOS DE CONTROL CALIDAD
- CONFIABILIDAD DEL SUMINISTRO



**“CALIDAD DE LA ENERGIA”**



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

¿Cómo evaluar el producto entregable?

¿Cómo medirlo?

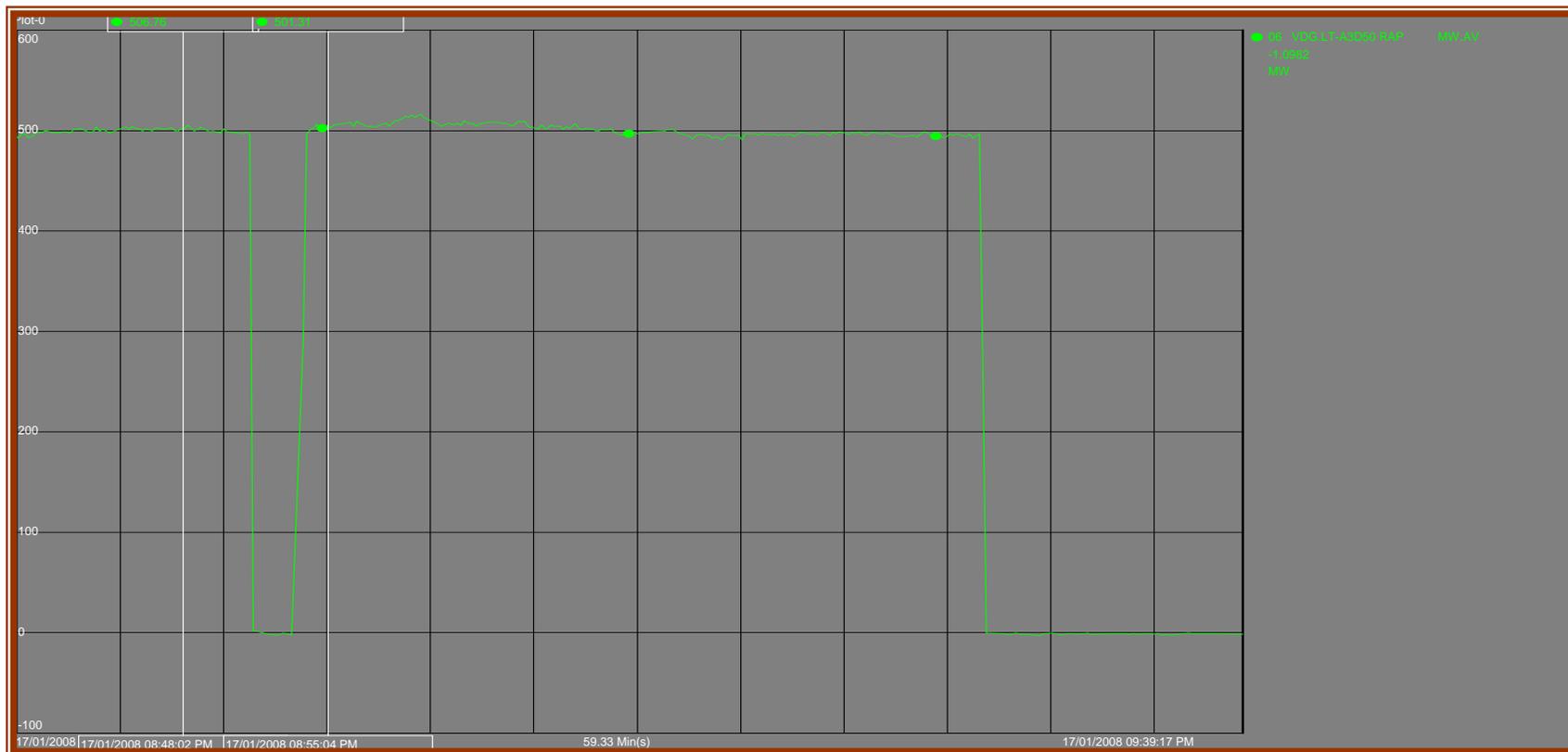
¿Cómo determinar la incertidumbre apropiada al proceso de medición?

¿Se esta en condiciones de dar trazabilidad a la medición?



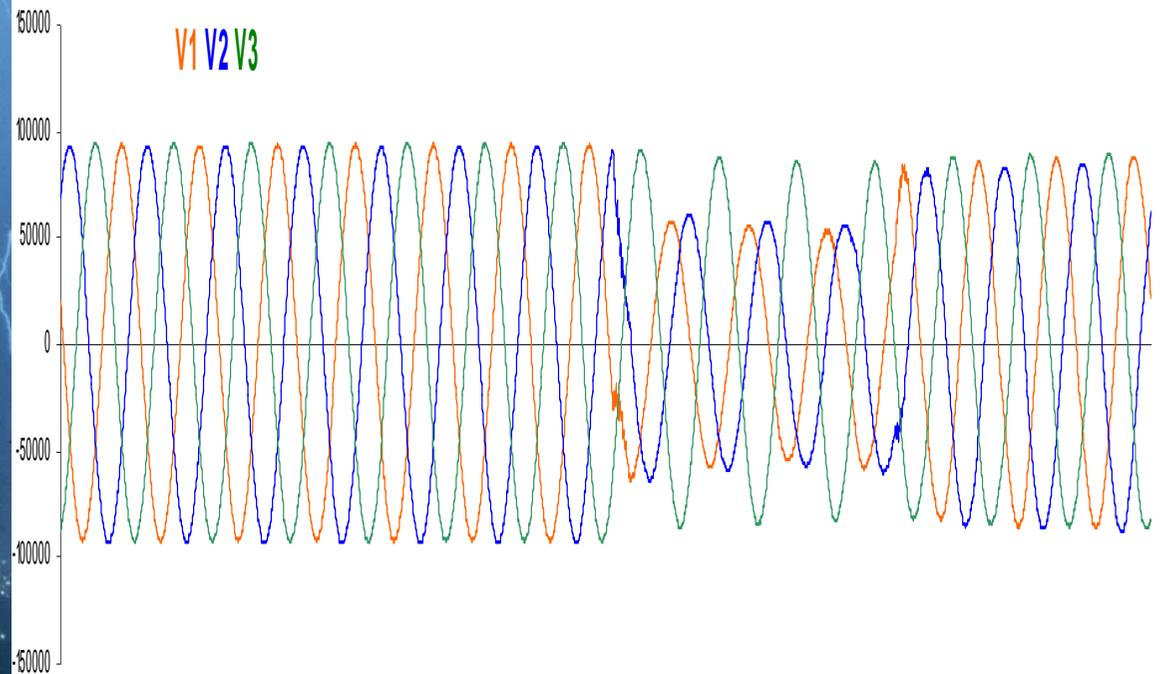
# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

En los Comités Regionales de Confiabilidad y Suministro Noreste y Central, se ha observado y dado seguimiento a una problemática de grandes afectaciones de tiro de carga.



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

Los casos observados de variación de la tensión es ocasionado por alguna falla en la red eléctrica aun y cuando la liberación sea oportuna en tiempo y forma.



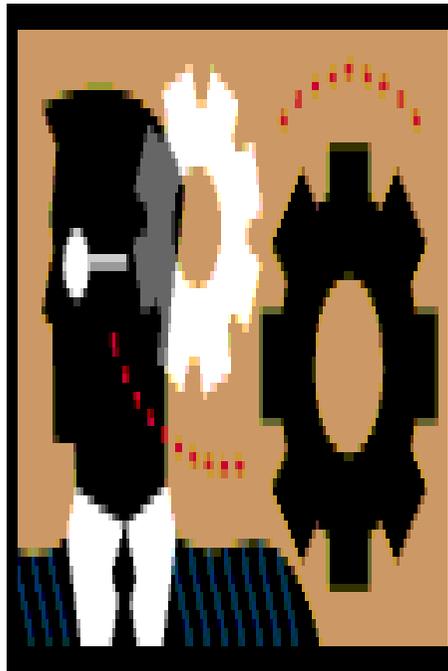
Líneas de Transmisión Monterrey  
Nuevo León, México

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## RAZONANDO EL PROBLEMA

Uno de los principales factores de las afectaciones de tiro de carga por variación de la tensión:

- Los equipos de control de procesos son más sensibles que sus antecesores de hace 10 o 20 años.
- Sistemas basados en microprocesadores, robótica, electrónica de potencia.



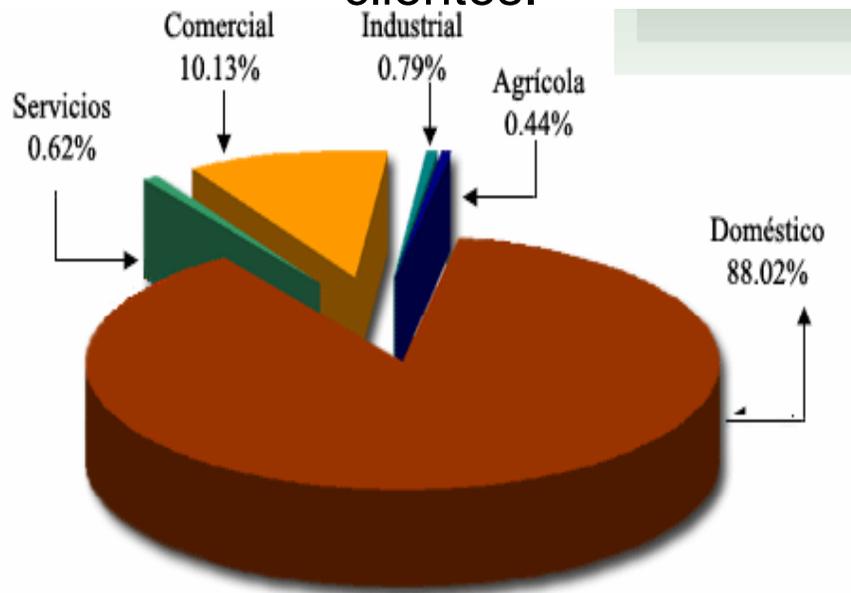
Las perturbaciones y problemas a la que se puede enfrentar la CFE, derivado de las características de los centros de consumo:

- Sobrecalentamiento de cables, conductores, transformadores.
- Incremento de las pérdidas reactivas de los transformadores.
- Errores en la medición.
- Operación incorrecta de sistemas de protección
- Daño en elementos primarios de la red.

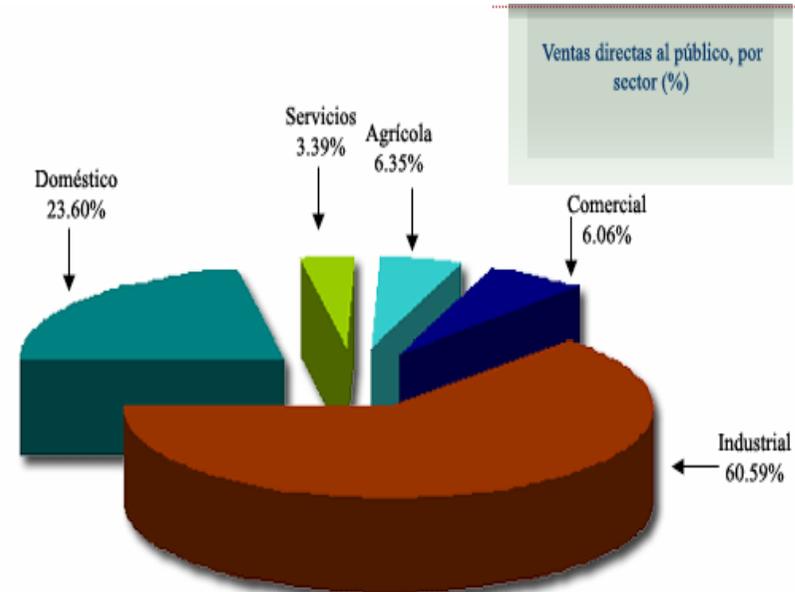
# Camino a la normalización de la Calidad de Energía



25,8 millones de clientes.



Volumen de ventas:  
76,2 % venta directa  
23,1 % LyFC  
0,7 % Exportación



Encuentro Nacional de  
**Metrología Eléctrica 2009**  
18-20 de noviembre

- ↔ Electromagnetismo
- ↔ Temperatura y Propiedades Termofísicas
- ↔ Tiempo y Frecuencia



## Camino a la normalización de la Calidad de Energía

Volumen de ventas por entidad federativa.

Estados	Usuarios	Ventas MWh
Aguascalientes	362,400	541,723
Baja California	1,016,919	1,979,044
Baja California Sur	209,610	350,457
Campeche	227,082	227,009
Coahuila	830,007	2,122,665
Colima	231,677	362,052
Chiapas	1,146,785	580,379
Chihuahua	1,103,041	1,963,018
Durango	443,614	649,575
Guanajuato	1,538,324	2,229,242
Guerrero	869,238	671,753
Hidalgo	228,371	129,643
Jalisco	2,236,989	2,680,005
México	376,549	620,480
Michoacán	1,409,304	2,020,378
Morelos	422,305	430,192
Nayarit	353,610	256,728
Nuevo León	1,397,864	3,466,341
Oaxaca	1,043,285	558,315
Puebla	1,495,185	1,768,047
Querétaro	500,172	916,503
Quintana Roo	399,936	801,254
San Luis Potosí	747,103	1,676,519
Sinaloa	862,147	879,394
Sonora	872,879	1,436,646
Tabasco	586,457	623,471
Tamaulipas	1,112,961	1,706,804
Tlaxcala	331,977	455,983
Veracruz	2,181,108	2,333,037
Yucatán	596,267	657,457
Zacatecas	485,399	409,582
Sector	25,618,565	35,503,696

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía



Estándares de actuales de calidad.

- Calidad en el servicio

Calidad en el servicio										
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008*
Plazo de conexión a nuevos usuarios (días)	1.3	1.3	1.2	1.18	1.12	1.1	1.05	1.33	1.02	0.91
Cumplimiento de los compromisos de servicio (%)	96.9	96.2	96.8	95.39	95.93	96.11	95.59	92.01	94.35	91.70 <sup>1/</sup>
Inconformidades por mil usuarios-mes	5.2	4.92	4.53	4.23	4.09	3.75	3.93	4.98	5.44	3.45 <sup>3/</sup>

- Calidad del suministro de energía eléctrica

Calidad del suministro de energía eléctrica										
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008*
Tiempo de interrupción por usuario (min.) sin afectación	134	129	128	124	121	89	77	79	84	29
Población con acceso al servicio de energía eléctrica (%)	94.5	94.7	94.7	95	95	96.0	96.5	97.00	97.33	97.33 <sup>2/</sup>



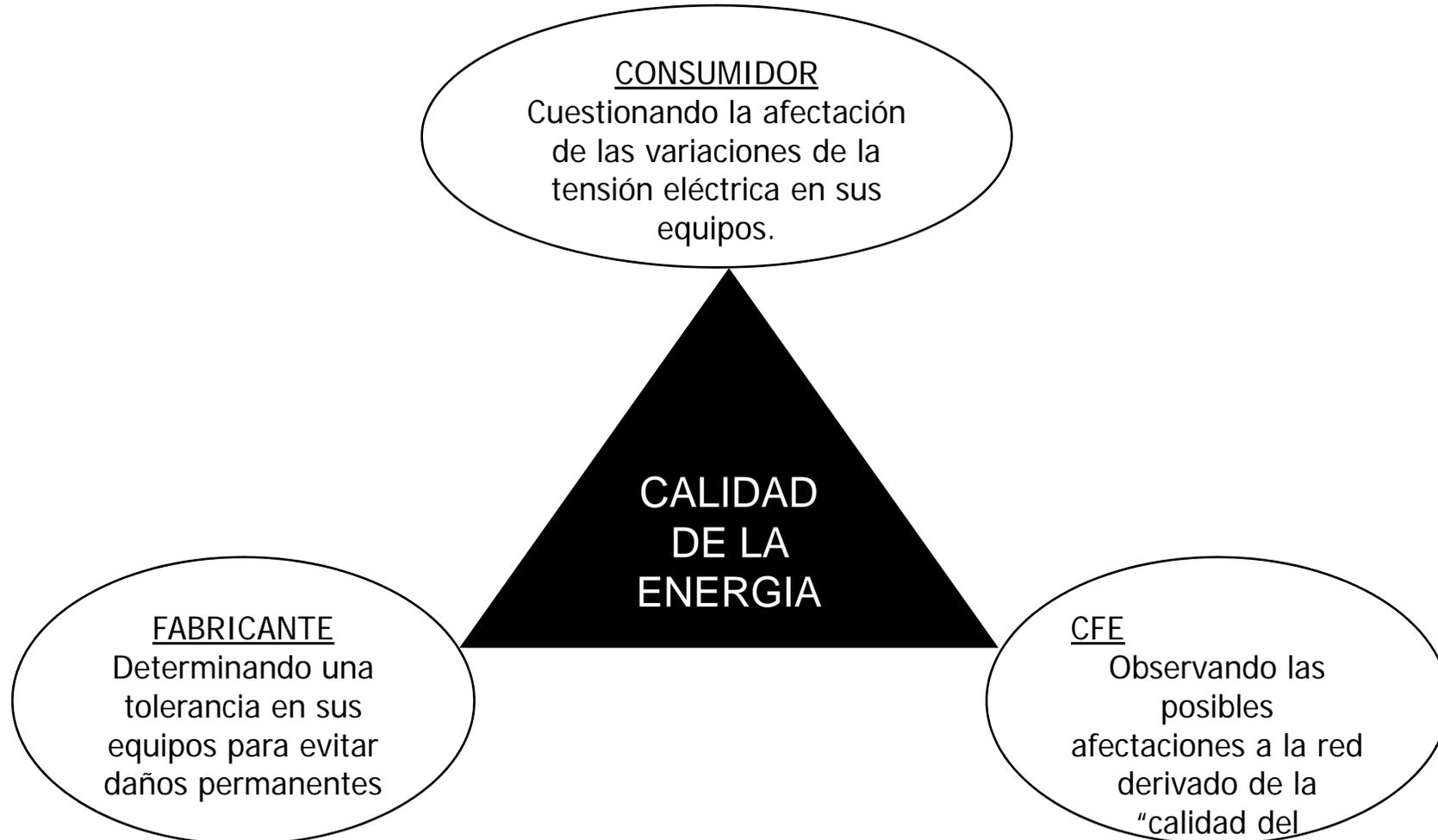
Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

↔ Electromagnetismo  
↔ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
↔ Tiempo y Frecuencia



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD DE LA ENERGIA



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## PERSPECTIVAS DE LA CALIDAD DE LA ENERGIA



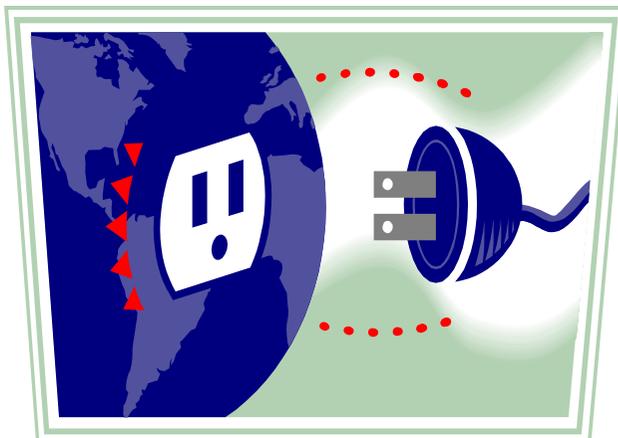
Con una misma perspectiva de competencia y mejora continua, se facilita el entender los requerimientos del producto y en conjunto tener las mismas perspectivas en torno a la calidad de la energía.

Para dar un ejemplo de unificar las perspectivas se puede mencionar el documento Directive 85/374/ECC en la Unión Europea, en este se cataloga a la electricidad como un producto; esto provoca la necesidad de determinar las características del producto y las formas en las que debe ser adquirido por el consumidor.

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## NORMALIZACION

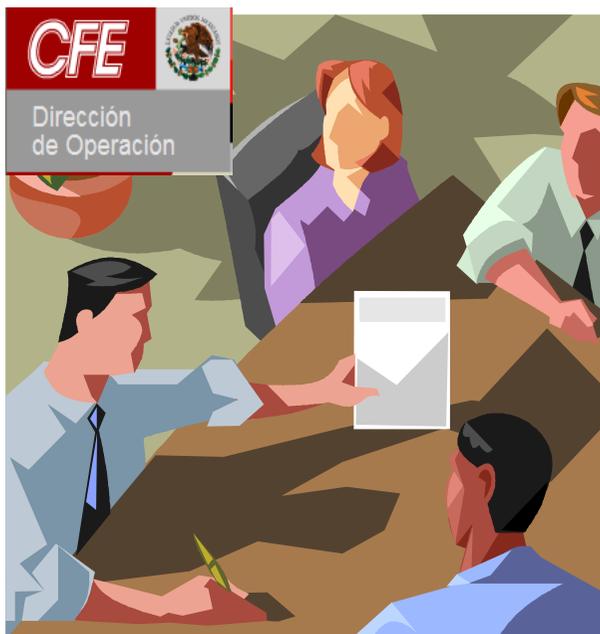
El definir los estándares y características del producto es indispensable. Es relevante e indispensable que el cliente del servicio eléctrico, entienda las características del producto y su compromiso al adquirirlo; de tal forma que sean concientes y tengan el aliciente de usar la información para proteger adecuadamente sus equipos y minimizar el impacto de los distintos fenómenos que se presentan en la red eléctrica.



**La tarea es determinar las características del producto y además el como deben de ser medidas, predichas, garantizadas y mejoradas.**

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## NORMALIZACION



La CFE esta trabajando en la elaboración de un documento normativo con el objetivo de definir los estándares y características del producto entregado al cliente.



Describir a los clientes los fenómenos que afectan la tensión, alentando a los usuarios para la protección adecuada de sus equipos y minimizar el impacto posible de daño.

Elaborar las recomendaciones y obligaciones ha cumplir por los centros de consumo para que no se contaminen a si mismo o la red.

Para el desarrollo del documento normativo la Gerencia de Normalización ha convocado a la participación de representantes de las Subdirecciones de Generación, Transformación, Distribución y del CENACE; así como de la UIE y del LAPEM. Conformando un grupo de trabajo para la investigación y documentación requerida del documento.

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## PLAN DE TRABAJO

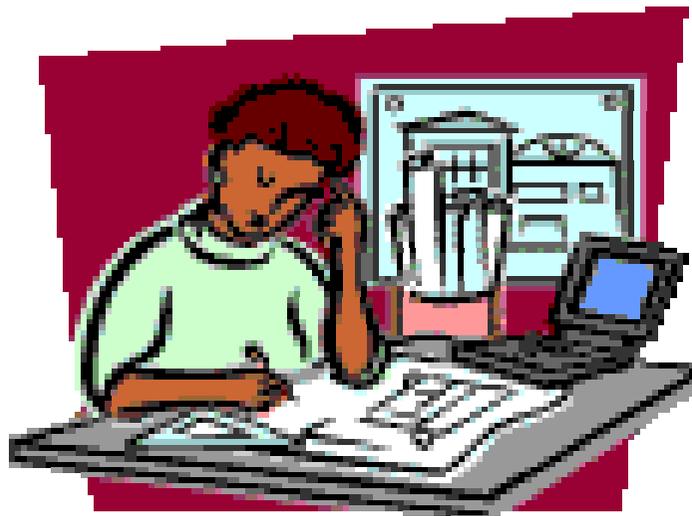
-  1. Describir los términos, definiciones y vocabulario de los fenómenos asociados a la calidad de energía.
-  2. Describir problemas actuales en la red eléctrica que han impactado en la calidad de la energía.
-   3. Estructurar los estándares de calidad de la energía en indicadores.
-  4. **Indicar los requisitos de los equipos de medición.**
-  5. Analizar causa-efecto de los parámetros de calidad de la energía.
-  6. Elaboración de recomendaciones para lograr compatibilidad electromagnética entre el suministrador-cliente.
-   7. Indicar las características de sistemas informáticos para la adquisición, administración de la información.
-  8. **Investigar y describir la metodología para tener trazabilidad de la medición hacia patrones nacionales de referencia.**

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

1. Describir los términos, definiciones y vocabulario de los fenómenos asociados a la calidad de energía.

Objetivo:

Desarrollar la descripción de los términos, vocabulario, así como las definiciones de los fenómenos inherentes a la calidad de la energía.

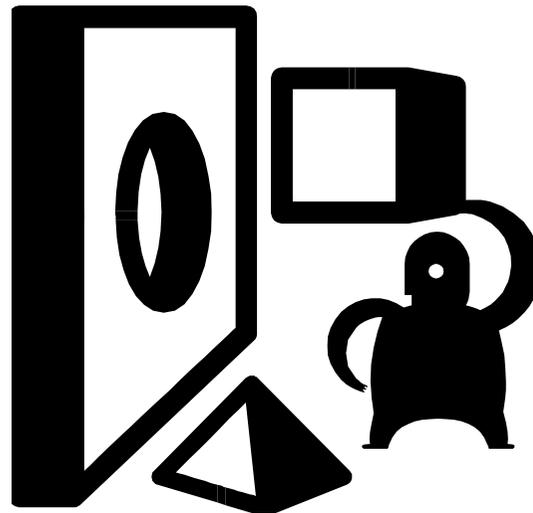


# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## 2. Describir problemas actuales en la red eléctrica que han impactado en la calidad de la energía.

Objetivo:

Desarrollar los antecedentes del tema y el impacto de los problemas en la red de potencia que inciden en los procesos de consumo productivo .



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## 3. Estructurar los estándares de calidad de la energía en indicadores.

Objetivo:

Homologar la tablas de los indicadores de calidad de energía de los procesos operativos.

PARAMETROS E INDICES						
VALORES TIPICOS EN NODOS xx kV						
Eventos de Tensión	Umbral:	MAGNITUD	DURACION	95 % de nodos	50 % de nodos	Periodo de Evaluación
Interrupción	Momentánea	< 0,1 pu	0,5 ciclo – 3 s	#	#	Anual
	Temporal	< 0,1 pu	3 s – 1 min.	#	#	Anual
	Sostenida	0%	> 1 min.	#	#	Anual
Sag	Instantánea	0,1 - 0,9 pu	0,5 – 30 ciclos	#	#	Anual
	Momentánea	0,1 - 0,9 pu	30 ciclos – 3 s	#	#	Anual
	Temporal	0,1 - 0,9 pu	3 s – 1 min.	#	#	Anual
Swell	Instantánea	1,1 - 1,8 pu	0,5 – 30 ciclos	#	#	Anual
	Momentánea	1,1 - 1,4 pu	30 ciclos – 3 s	#	#	Anual
	Temporal	1,1 - 1,2 pu	3 s – 1 min.	#	#	Anual
Variaciones de Tensión	Ventana de Medicion	Limite de variación	Indice de cumplimiento operación	Indice de cumplimiento planeación	Periodo de Evaluación	Metodo de Evaluación
Magnitud	10 minutos	+/- 10 % Vnom	95%	99%	Semanal	El 95 (99) % de los promedios de 10 minutos debe estar dentro del limite de variación en un periodo semanal
Desbalance	10 minutos	2%	95%	99%	Semanal	El 95 (99) % de los promedios de 10 minutos debe estar dentro del limite de variación en un periodo semanal
Distorsión Armónica	10 minutos	Ver Tabla	95%	99%	Semanal	El 95 (99) % de los promedios de 10 minutos debe estar dentro del limite de variación en un periodo semanal
Frecuencia	10 s	+/- 0,8%	95%	99%	Semanal	El 95 (99) % de los promedios de 10 s debe estar dentro del limite de variación en un periodo semanal
Fluctuaciones (flicker)	2 horas	1	95%	99%	Semanal	El 95 (99) % de los promedios de 2 horas debe estar dentro del limite de variación en un periodo semanal

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## 4. Indicar los requisitos de los equipos de medición.

Objetivo:

Investigar y conformar sección del documento con las características que deben de cumplir los medidores a ser utilizados en medición de calidad de la energía.



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

---

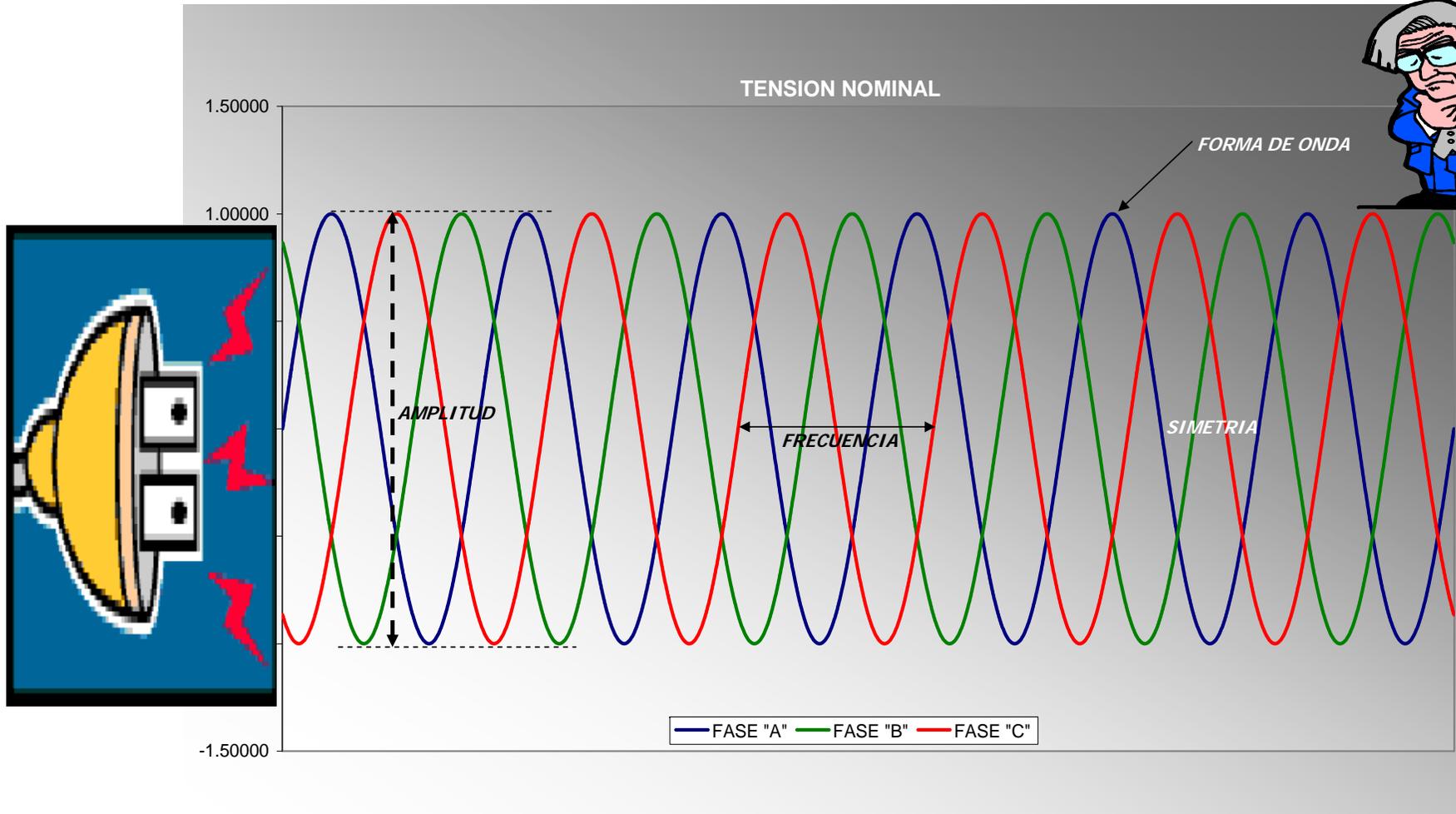
## REQUISITOS EQUIPOS DE MEDICION

Actualmente los requerimientos de los equipos de medición instalados en los puntos de la red eléctrica con el propósito de intercambio y/o entrega de energía eléctrica están especificados exclusivamente en parámetros de demanda eléctrica (kW), energía activa (kWh), energía reactiva (kvarh), así como de valores instantáneos tales como: tensión eléctrica (V), (A), factor de potencia, etc.

Para definir los requerimientos de los equipos de medición de parámetros de calidad de la energía, es necesario evaluar las propiedades del producto, es decir de la tensión eléctrica.

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## CLASIFICACION DE CARACTERISTICAS



### ESTABILIDAD DE LA TENSION.

En esta área se puede referir a todos los eventos que ocasionan sobretensiones, bajatensiones, sag, swells, fluctuaciones de tensión, desviación de la frecuencia fundamental

### CONTINUIDAD EN EL SERVICIO

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

### DISTORSION DE LA FORMA DE ONDA

En esta área quedan ubicados los eventos que provocan distorsión en la forma de onda tales como: transitorios, distorsión armónica, notches, ruido.

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## REQUISITOS EQUIPOS DE MEDICION

UN-EN-50160 “Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”.

La propuesta del documento se concentra en los siguientes parámetros:

- Frecuencia.
- Amplitud de la tensión.
- Variaciones de la tensión.
- Variaciones rápidas de la tensión.
- “Sag, dips, huecos” de tensión.
- Interrupciones breves de la tensión.
- Interrupciones largas de la tensión.
- Sobretensiones temporales.
- Sobretensiones transitorias.
- Desequilibrio de la tensión.
- Tensiones armónicas.
- Tensiones interarmónicas.
- Transmision de señales de información por la red.*

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## REQUISITOS EQUIPOS DE MEDICION

- IEC-61000-4-30
- “Testing and measurement techniques- Power quality measurement methods”
- NMX-J-550/4-30-ANCE-2007

Tienen el objetivo de describir la metodología de la medición y la interpretación de resultados para los parámetros enlistados en la referencia EN50160.

### Tipo A:

**Recomendado a usarse en aplicaciones de medición con fines contractuales, evaluación de la conformidad con normas. Aplicaciones en donde se requiera un mínimo de incertidumbre.**

### Tipo S:

**Recomendación elaborada para aplicaciones donde no se requiere una baja incertidumbre, tales como mediciones para fines estadísticos, análisis de problemas de operación por mencionar algunos ejemplos.**

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

---

## REQUISITOS EQUIPOS DE MEDICION

La tarea a realizar en esta etapa del programa de trabajo es conformar los requisitos de los equipos de medición, para ello serán consideradas las recomendaciones de las normas EN50160 y la aplicación de la metodología de la medición de la IEC 61000-4-30.

Adicionalmente será necesario validar los parámetros a evaluar en nuestro sistema eléctrico, de acuerdo a los problemas reportados y a la incidencia de estos.



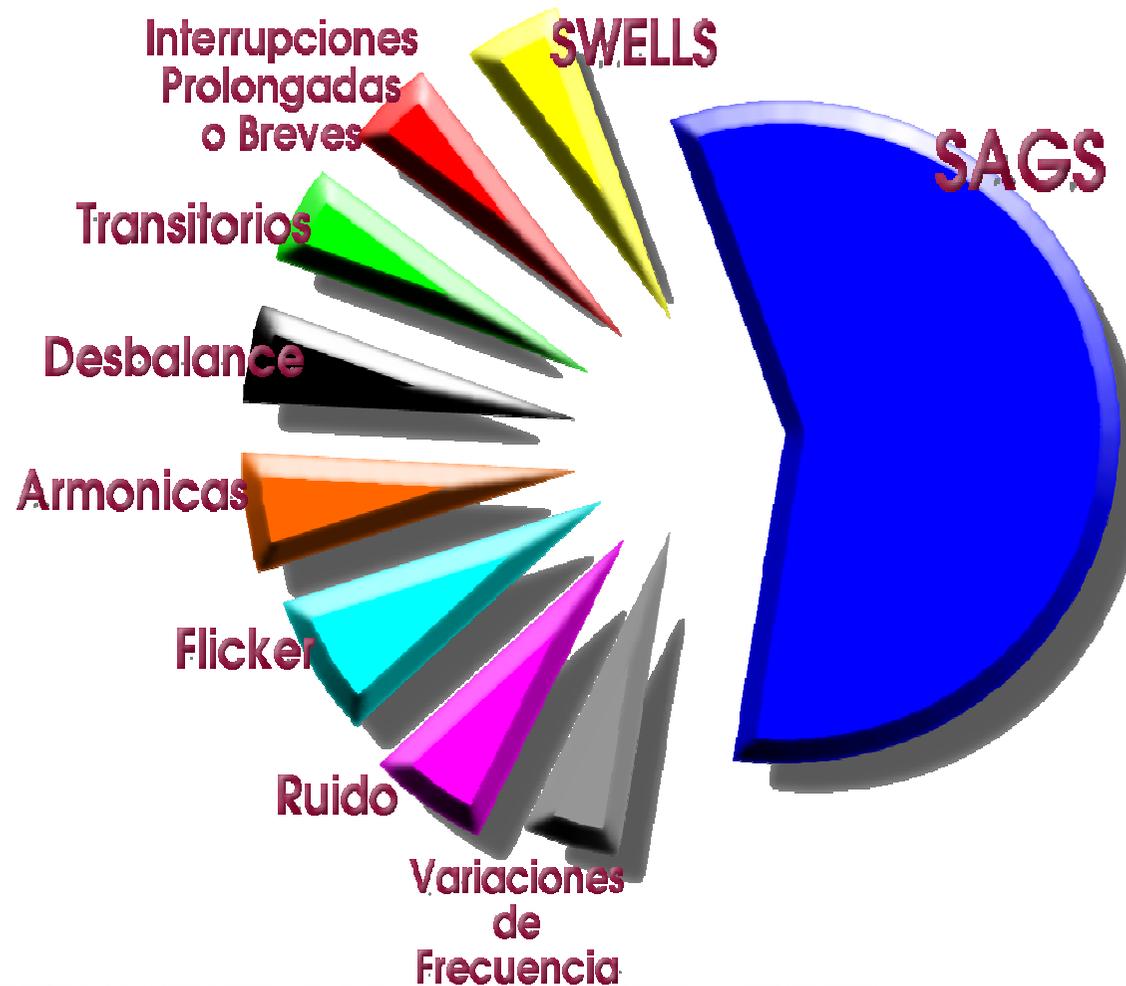
Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

↪ Electromagnetismo  
↪ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
↪ Tiempo y Frecuencia



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

Distribución de incidencias de parámetros de la calidad de la energía.

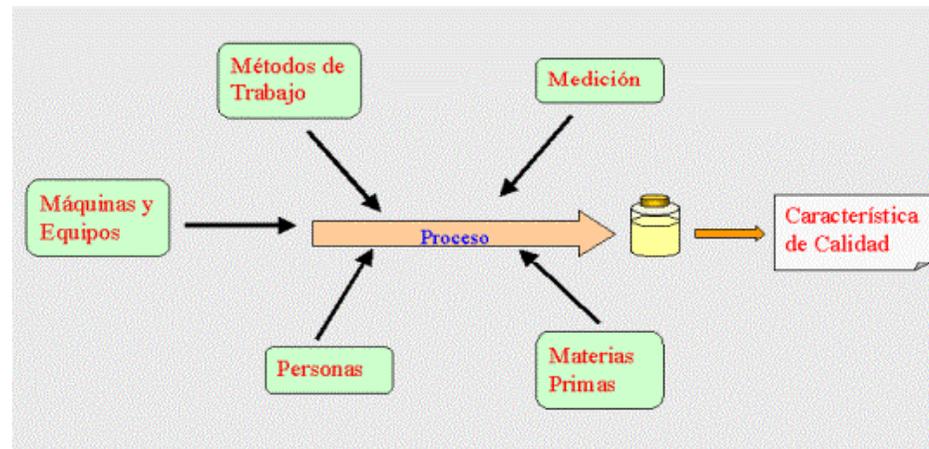


# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## 5. Analizar causa-efecto de los parámetros de calidad de la energía.

Objetivo:

Desarrollar la clasificación de las causas-efectos de los parámetros de la calidad de la energía.



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## 6.- Elaboración de recomendaciones para lograr compatibilidad electromagnética entre el suministrador-cliente.

Objetivo:

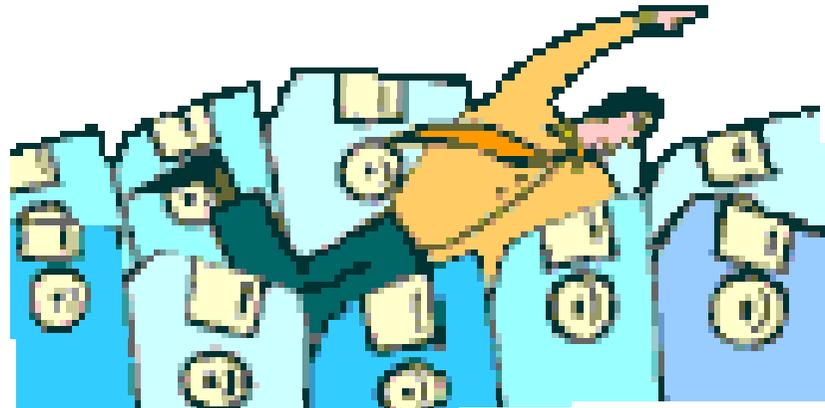
- Desarrollar las recomendaciones técnico-operativas que apliquen.
- Describir las características de compatibilidad entre suministrador-cliente.
- Describir requisitos que deben cumplir los clientes.



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

---

7. Indicar las características de sistemas informáticos para la adquisición, administración de la información.



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

---

## 8. Investigar y describir la metodología para tener trazabilidad de la medición hacia patrones nacionales de referencia.

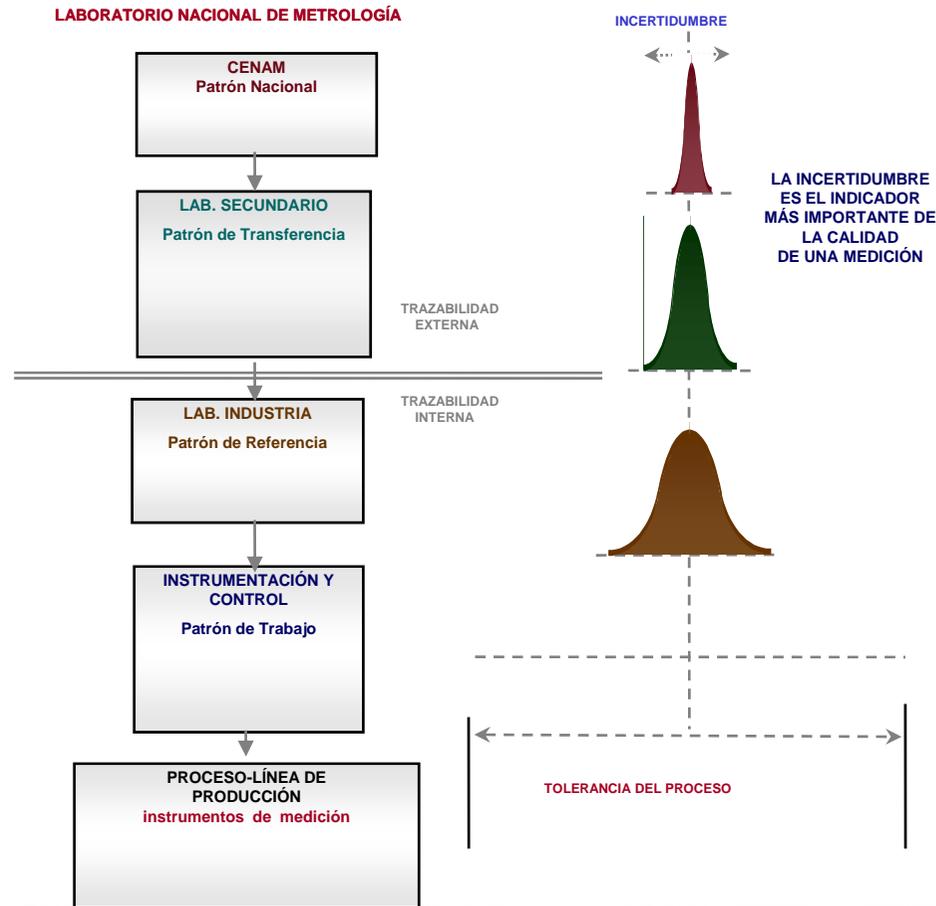
Objetivo:

Desarrollar los procedimientos de calibración de los medidores de calidad de la energía

El desarrollo de los procedimientos y/o métodos para la calibración de los dispositivos de medición estará de la mano de los requerimientos de la incertidumbre que puede tolerar el proceso involucrado

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

La IEC-61000-4-30 proporciona los niveles de incertidumbre para la medición con una clase de desempeño tipo A.



La referencia de incertidumbre proporcionada por la norma sería la base para expresar la tolerancia del proceso.

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## REPORTE DE PRUEBAS A MEDIDORES DE CALIDAD DE LA ENERGIA

Las pruebas efectuadas se realizaron a los siguientes parámetros eléctricos:

- Frecuencia.
- Amplitud de la tensión.
- SAG
- Interrupciones de la tensión.
- Sobretensiones temporales.
- Desequilibrio de la tensión.
- Tensiones armónicas.
- Flicker.



Encuentro Nacional de  
Metrología Eléctrica 2009  
18-20 de noviembre

→ Electromagnetismo  
→ Temperatura y  
Propiedades Termofísicas  
→ Tiempo y Frecuencia

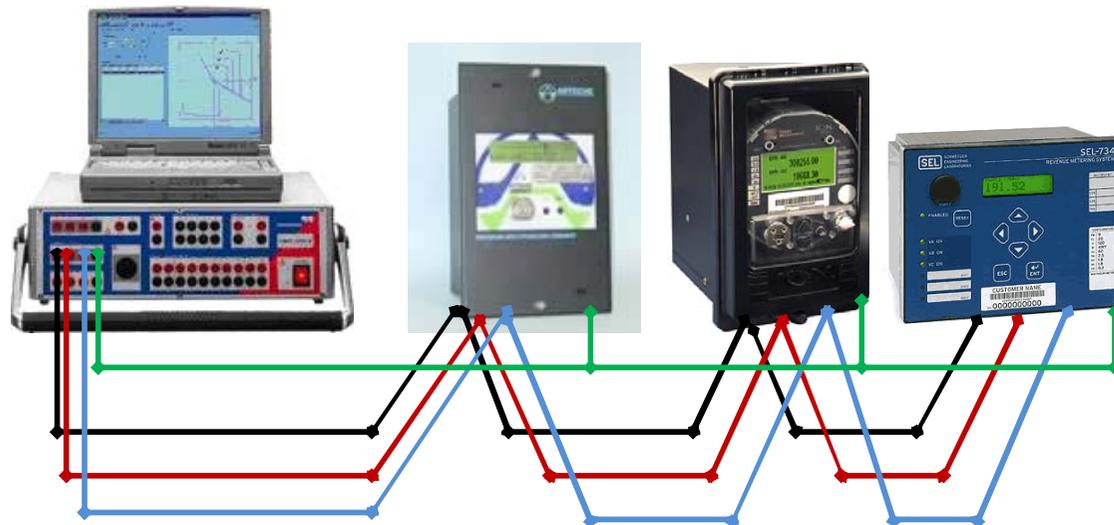


# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## •Método de prueba

### Tipo de conexión

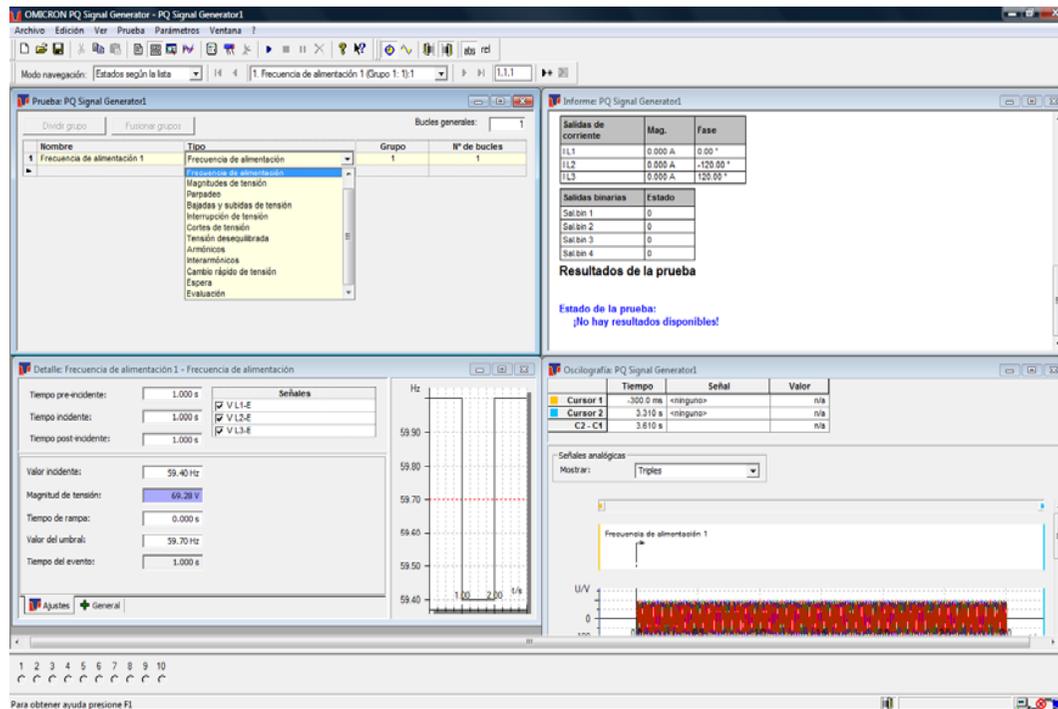
El método de prueba se realizó en conexión directa desde la fuente trifásica a los 3 elementos de tensión de cada medidor, conectados en paralelo. Conexión en estrella 3 elementos, 4 hilos.



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## Metodología y desarrollo de las pruebas

La metodología consistió tener una referencia de cada uno de los parámetros de calidad de energía, la forma en que se simula cada uno de los parámetros esta en concordancia con la recomendación de la norma IEC 61000-4-30.



La fuente tiene un modulo de generación de pruebas de parámetros de PQ, la configuración se realiza mediante software. En la imagen se ilustra el modulo de pruebas.

Se despliega cada parámetro, se puede automatizar el ciclo de prueba, esto se hace programado bucles de secuencia

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## Análisis de las pruebas efectuadas.

Como se menciona con anterioridad las pruebas se efectuaron en concordancia con la norma IEC 61000-4-30, esto implica que los medidores deben de cumplir con el método de medición propuesto para cada uno de los parámetros de PQ.

## DESCRIPCION DE METODOLOGIA DE MEDICION DE LA IEC-61000-4-30

Para describir en forma general la metodología de medición propuesta en la norma, es necesario agrupar los parámetros en dos grupos:

- 1) Parámetros continuos, en donde se tiene que evaluar una desviación con respecto a un valor deseado. Ejemplo frecuencia, desbalance de tensión, armónicas, etc.
- 2) Parámetros fortuitos o también llamados eventos. Ejemplo: (sag, swell, interrupción).

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## METODOLOGIA DE MEDICION PARA PARAMETROS CONTINUOS

El método de medición de parámetros continuos requiere que este implementado en los medidores un algoritmo de medición llamado “TIME AGGREGATION”, se describe en español como: “Agregación de los intervalos de tiempo de medición”.

Los intervalos de tiempo de medición se agregan sobre tres intervalos de tiempo diferentes.

Intervalo de 3 s (180 ciclos para 60 Hz).

Intervalo de 10 min.

Intervalo de 2 h.

La definición del algoritmo de agregación es:

Las agregaciones se realizan utilizando la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de los valores que se obtienen en los intervalos de tiempo de medición básicos.

Expresado matemáticamente para una agregación de un intervalo de 10 minutos sería:

$$C_{10min} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C^2(i)}$$

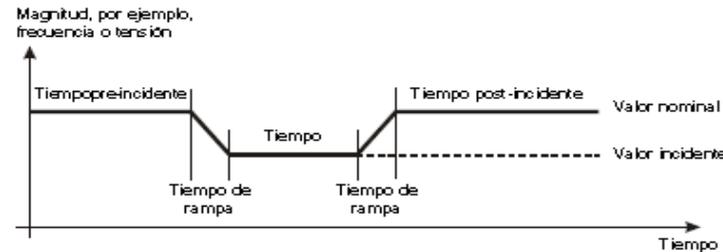
Los intervalos de agregación de los medidores bajo prueba, NO cubren la metodología propuesta en los medidores tipo clase A y clase S, la norma propone los mismos intervalos para ambas clases, la variante de las clases se da en la sincronía del tiempo de los intervalos.

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## METODOLOGIA DE MEDICION PARA PARAMETROS “EVENTOS”

Los eventos son considerados cambios súbitos respecto a un valor nominal, se considera que ocurre un evento cuando el valor de la magnitud pasa un valor de referencia o valor umbral.

El evento tiene entonces dos valores a estimar, la magnitud y la duración. Para ambos casos la IEC 61000-4-30 recomienda el método de medición.



Ejemplo:

Evaluación de depresiones de tensión

Una depresión de tensión se caracteriza por tres datos, que son la tensión residual, la profundidad y la duración de la depresión de tensión.

- La tensión residual es el valor medido más bajo de  $U_{eficaz(1/2)}$  en cualquier canal de medición durante la depresión de tensión.
- La profundidad es la diferencia entre la tensión de referencia ( $U_{din}$  o  $U_{sr}$ ) y la tensión residual. Este valor generalmente se expresa en porcentaje de la tensión de referencia.
- La duración de una depresión de tensión es la diferencia de tiempo entre el inicio y el final de la depresión de tensión.

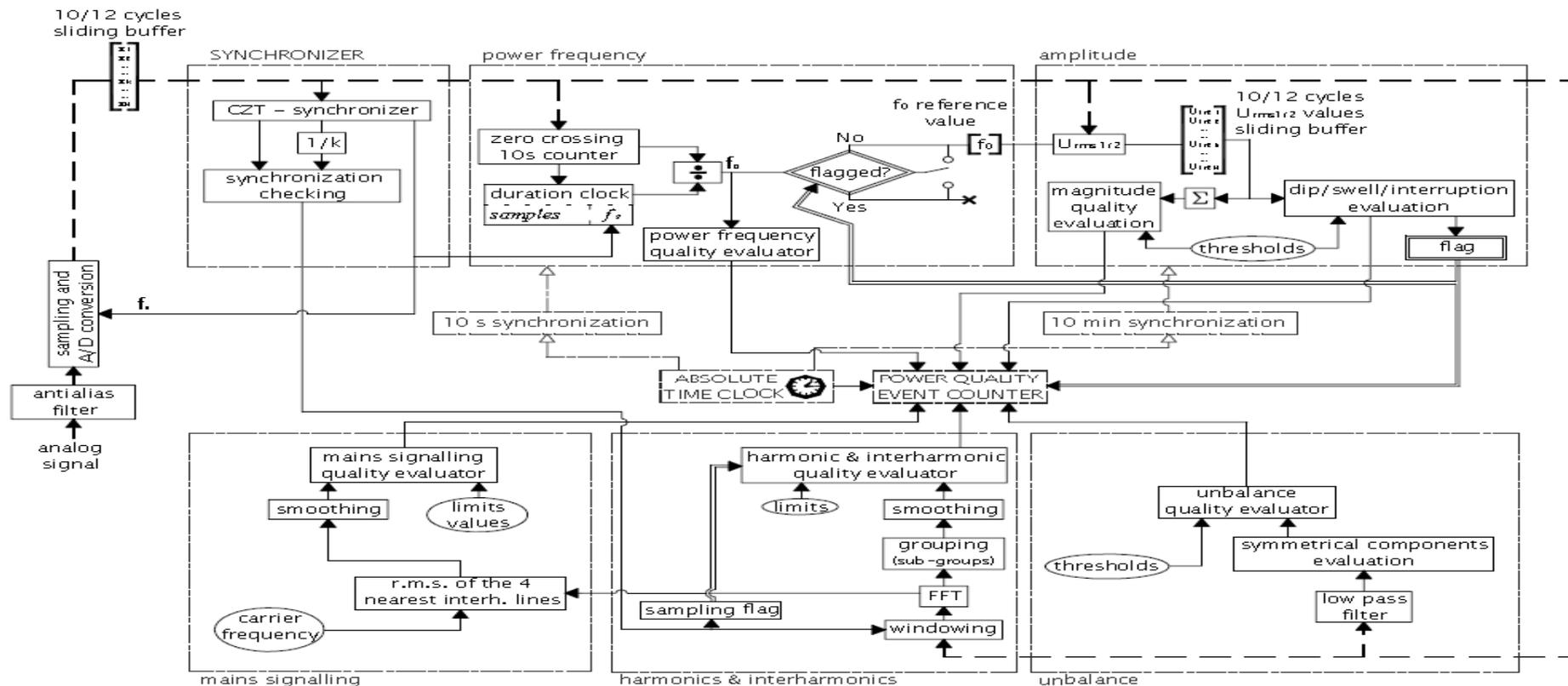
# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

## CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS

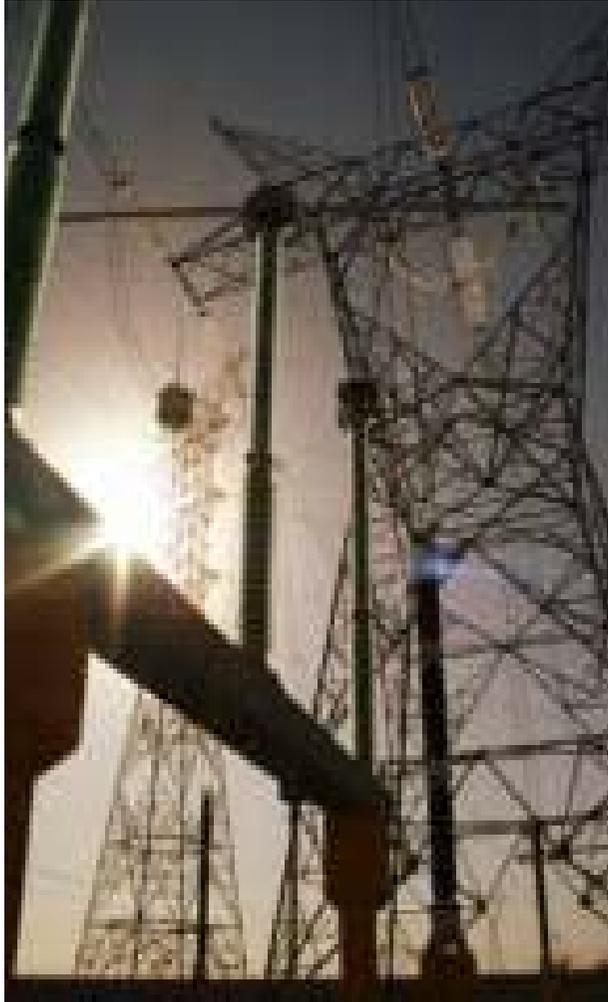
- Se tiene el equipo de referencia con las características de incertidumbre y el software necesario para desarrollar el proceso de pruebas a medidores de PQ.
- Los medidores bajo prueba no tienen la metodología recomendada por la norma que fue tomada como referencia. Al no tener la cobertura completa de la norma, se dificulta la programación del medidor bajo prueba, esto tiene que ser tomado en cuenta para futuras evaluaciones.

# Camino a la normalización de la Calidad de Energía

-Los resultados de las pruebas indican que será necesario de parte de los fabricantes considerar cambios en su metodología de medición, esto a fin de que cubran los requisitos de medidores de calidad de la energía.



# Camino a la normalización de la Calidad de Energía



## CONCLUSIONES

La normalización de la calidad de la energía, requiere de un programa continuo de análisis de la información y esta debe ser validada con la disciplina que exige la metrología, en las grandes redes eléctricas del mundo han iniciado ese camino de estudio

Para México es conveniente y necesario iniciar ese camino de investigación, al ser requerido y demandado por los mercados altamente competitivos y del que los procesos industriales de nuestro país no son ajenos.

## Camino a la normalización de la Calidad de Energía



La concientización y uso de la información inherentes a la calidad de la energía puede ser de gran beneficio a los procesos productivos, pues será esta una herramienta para proteger a sus equipos y evitar verse afectados en el proceso de producción.



La tarea pendiente es para los responsables del manejo de los patrones de transferencia o bien del mismo CENAM de poder ofertar la incertidumbre equivalente a patrones de referencia.



## Camino a la normalización de la Calidad de Energía

---

# GRACIAS!

