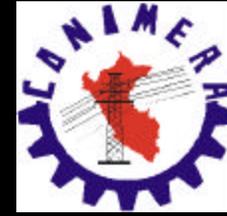




# XIV CONIMERA

## Conferencia Técnica



PROCOPRE - PERU

# Calidad De La Energía En Instalaciones Eléctricas De Baja Tensión

# Contenido

- Disturbios en el sistema eléctrico
- Origen de los armónicos
- Efecto de los armónicos en el sistema eléctrico
- Solución al problema de Los armónicos
- Normas de referencia

# Introducción

- La energía eléctrica que reciben los clientes debe cumplir con determinados requisitos que posibilite el correcto empleo de los medios que hacen uso de dicha energía y garantice la **seguridad de personas** así como la vida útil de equipos y materiales involucrados.



# ¿Qué es un suministro de Energía Eléctrica con Calidad?

- **Problema de calidad del Suministro Eléctrico:**

Cualquier problema manifestado en la tensión y la corriente o desviaciones de frecuencia que ocasionen una falla u operación inadecuada de equipo eléctrico



- Un suministro eléctrico de alta Calidad se entiende como aquel con **bajo nivel de disturbios**

# Introducción

- La calidad de la energía eléctrica se establece por cumplimiento de los límites indicados en las normas por parte de todo los actores; generadores, transmisores, distribuidores, clientes e incluso por fabricantes de equipos.



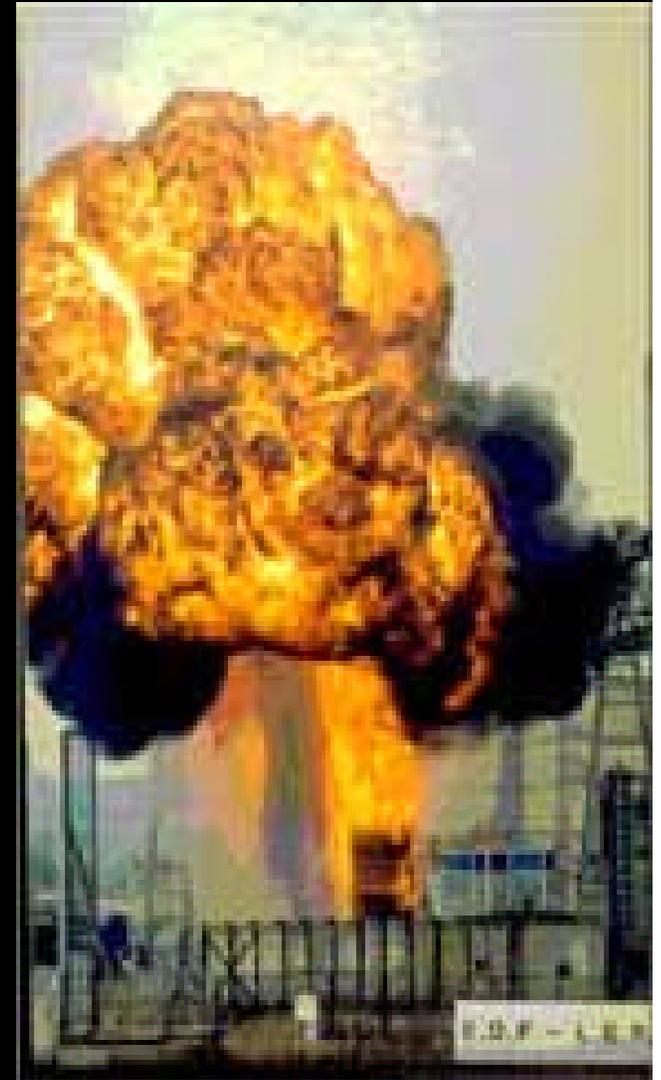
# Disturbios en el sistema eléctrico

## Introducción

**Idealmente:** la tensión de suministro debe ser una onda senoidal perfecta con un valor eficaz de 220V y una frecuencia firme de 60Hz

**En la práctica:** La tensión está sujeto a fluctuaciones que dependen de:

- La impedancia del sistema, la cantidad y clase de carga conectada al sistema eléctrico.
- La explotación del sistema eléctrico (Conexión desconexión de grandes bloques de carga).



# Cargas críticas y Sensibles

- **Carga Crítica:**

Aquella que al dejar de funcionar ocasiona

grandes perjuicios económicos y/o pone en riesgo la seguridad de las personas.

**Ejemplo:**

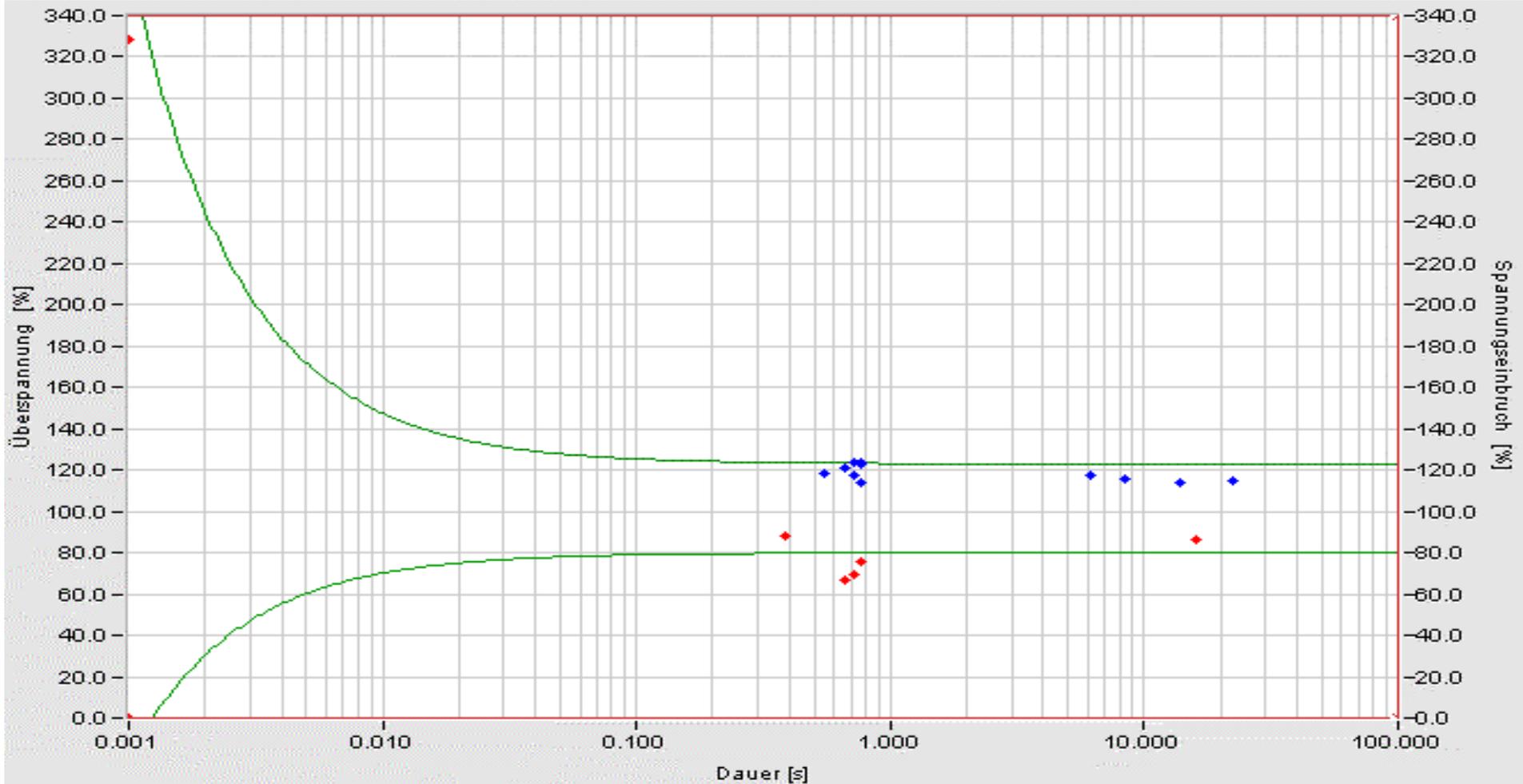
- Suspensión de energía en el centro de computo de un banco o paralización de una línea de producción textil es muy costoso.

- Mal funcionamiento del sistema de diagnóstico en un hospital puede ser catastrófico

- **Carga sensible:**

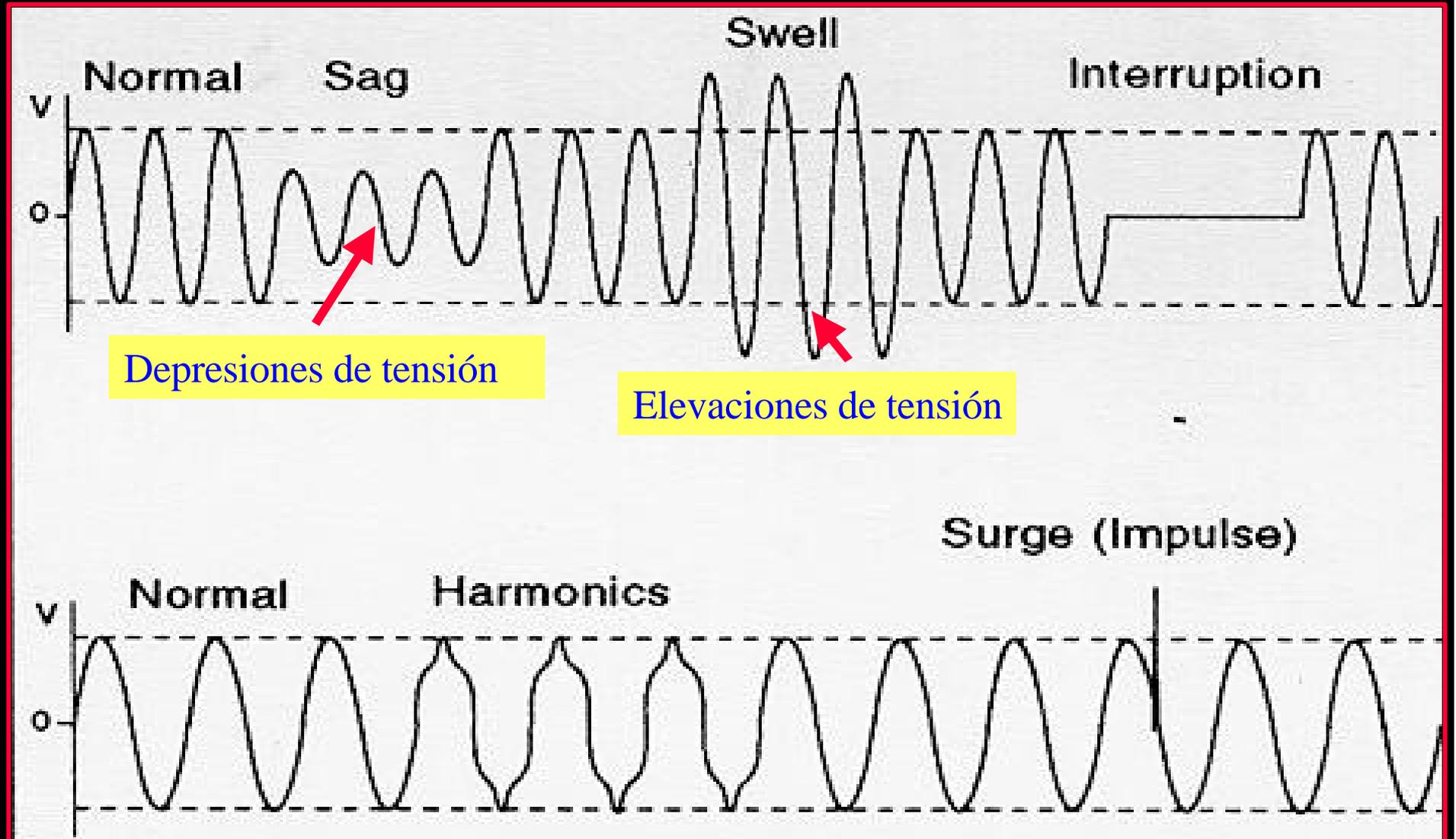
Aquella que requiere una alimentación de alta calidad, esto es, libre de **disturbios**.

# Curva de tolerancias en baja tensión según **CBEMA**(Asociación industrial de negocio de equipos de computación);



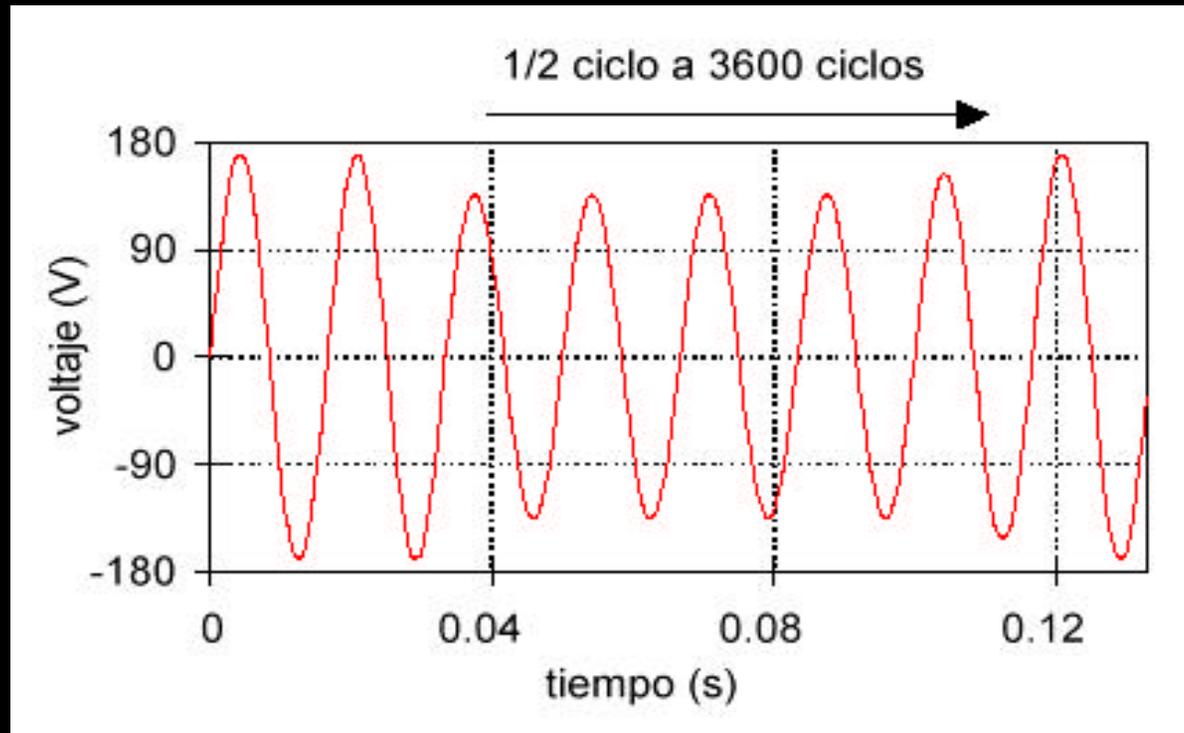
**Nota: Estos límites fueron definidos tomando en cuenta la sensibilidad de equipos eléctricos de oficina.**

# Tipos de disturbios en la tensión



# Depresiones De Tensión

(VOLTAGE SAGS) (8ms a 60s)



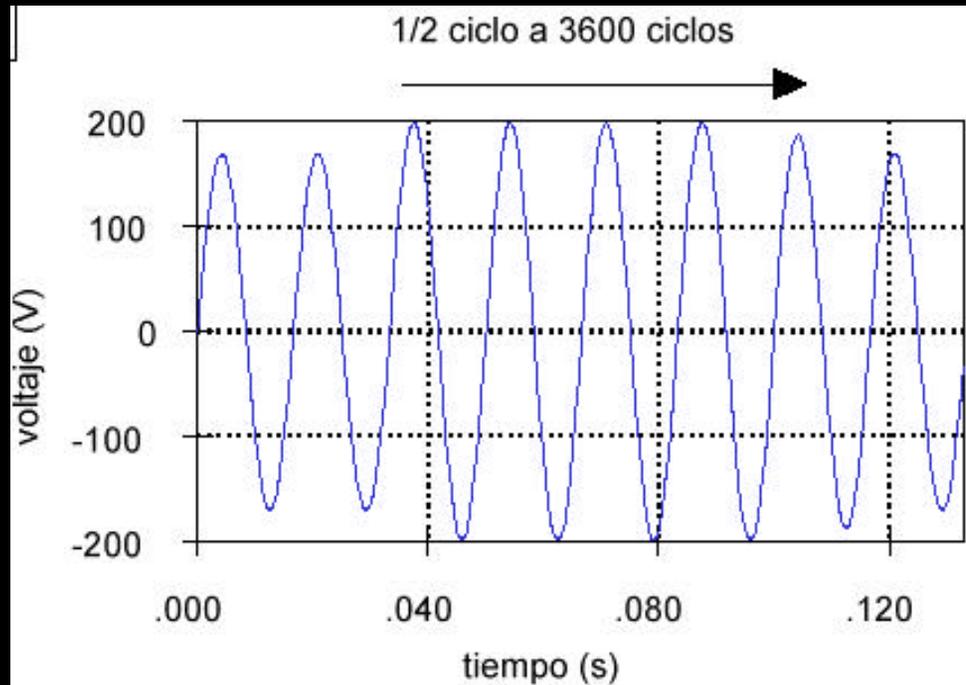
## Causas típicas :

- Descargas atmosféricas
- Corto Circuito
- Arranque de cargas grandes.

## Consecuencias:

- Congelamiento o mal funcionamiento de sistemas computacionales
- Afectan a todo usuario de los circuitos fallados y paralelos

# Elevaciones de Tensión (swells)



## Causas típicas:

- Disminuciones repentinas de carga
- Recuperaciones después de una falla
- Falla monofásica a tierra en sistemas con neutro aislado

## Consecuencias:

1. Mal funcionamiento de controles eléctricos y de reguladores de velocidad de motores que fallan debido a sus circuitos de protección internos;
2. Fatigas en componentes electrónicos delicados de computadoras hasta el punto de producir fallas prematuras.

# Sub y Sobre tensiones

- **Definición**

Variaciones de tensión de larga duración( minutos, horas), La magnitud rara veces supera los Swells o Sags

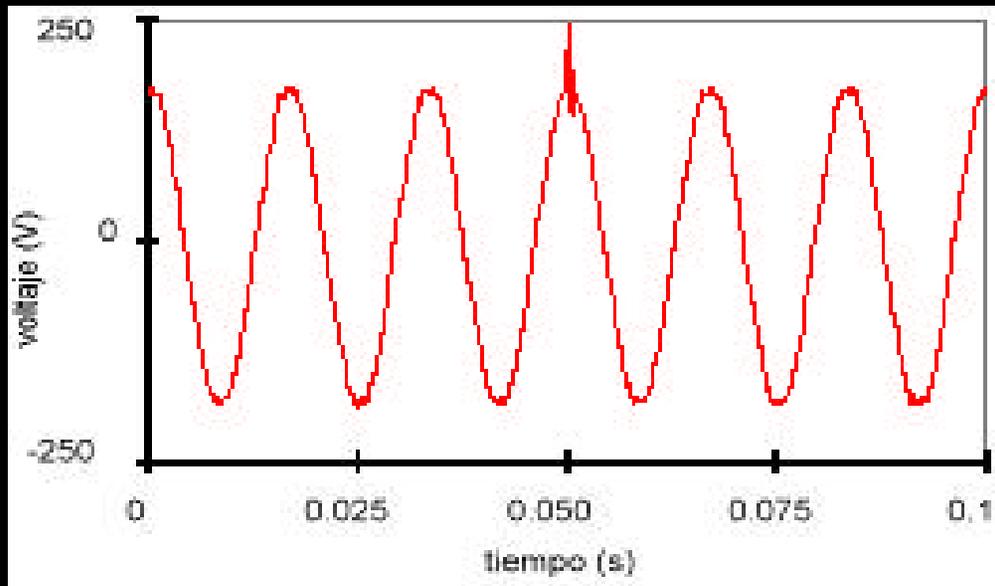
- **Origen**

Reducción deliberada para aliviar carga durante periodos de punta; o uso equivocado de taps en transformadores.

- **Consecuencias**

- Fatigan computadoras, controladores electrónicos, motores y otras cargas.
- **Sub tensiones**, Inconvenientes en capacitores instalados para mantener niveles de tensión o minimizar pérdidas
- **Sobretensiones**, Reducen vida útil del aislamiento.

# Sobre tensiones Transitorias



## •Causas

- Descargas atmosféricas
- Energización de Capacitores
- Desconexión de motores grandes
- Aislamiento de fallas

## •Tipos

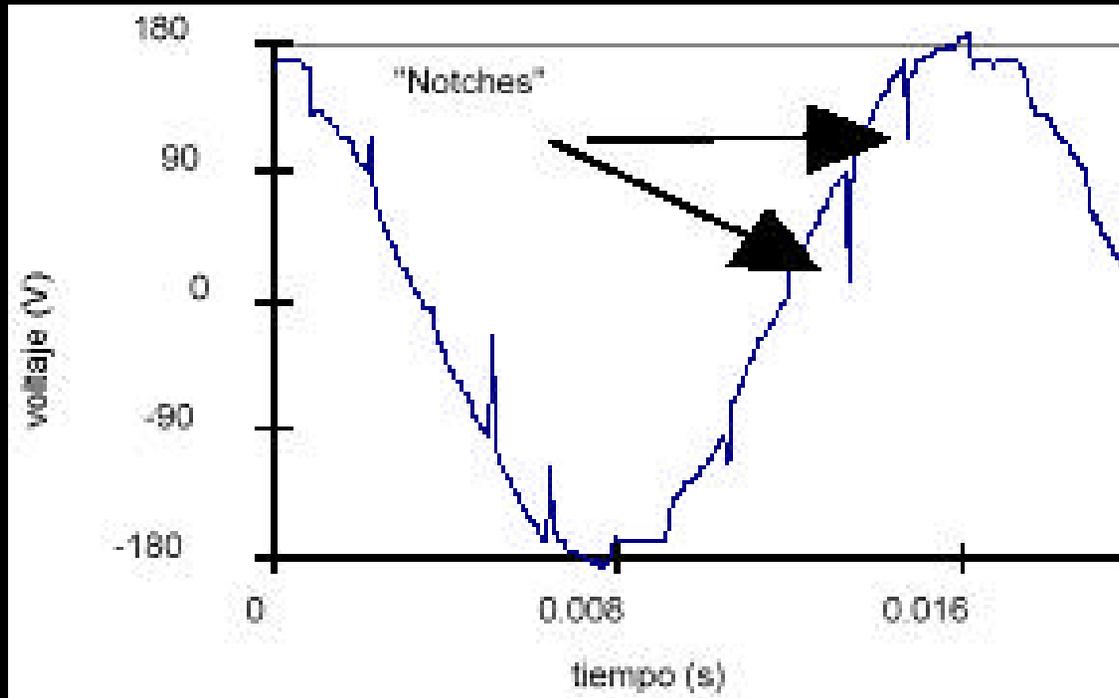
**Impulso:** rayos y conexión / desconexión de carga.

**Oscilatorio:** conexión / desconexión de capacitores.

## •Consecuencias:

Ruptura del aislamiento de los componentes eléctricos

# Wave Notching (Ruido, hendiduras)



## •Causa:

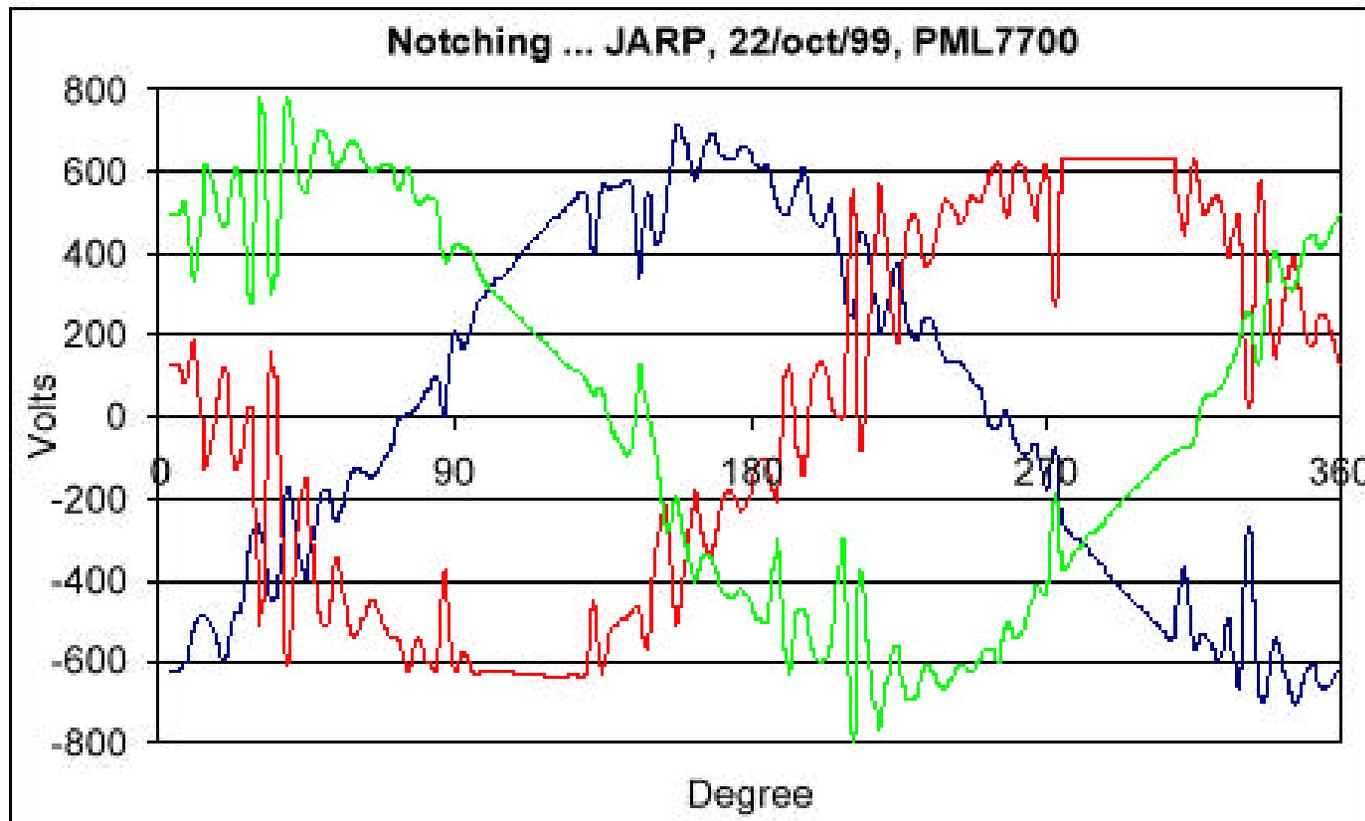
Es producido por la operación normal de dispositivos electrónicos de potencia, al obtener tensión DC a partir de una alimentación trifásica AC.

## • Consecuencias:

- La onda de voltaje cruza el cero más de las 2 veces por ciclo que esperan los diseñadores de componentes electrónicos.
- Los relojes corren más rápido cerca de una carga que la produce.

# Wave Notching (Ondas de tensión con hendiduras)

*Notching..*



# Desbalance

- **Definición:**

Situación en la que las tensiones de una porción de la red trifásica no son idénticas en magnitud o la diferencia de fases no es de  $120^\circ$  eléctricos o ambos.

- **Origen:**

Cargas monofásicas conectadas caóticamente en redes trifásicas.

- **Consecuencias:**

Puede causar daños por recalentamiento; o torques pulsantes en motores u otros dispositivos que dependen de una fuente bien balanceada.

# Caídas de Tensión

- **Definición:**

Reducción permanente de la tensión de alimentación o por ciclos diarios coincidentes con las horas de máxima demanda.

- **Origen:**

Diseño o implementación defectuosos de las redes.

Obsolescencia / deterioro de instalaciones.

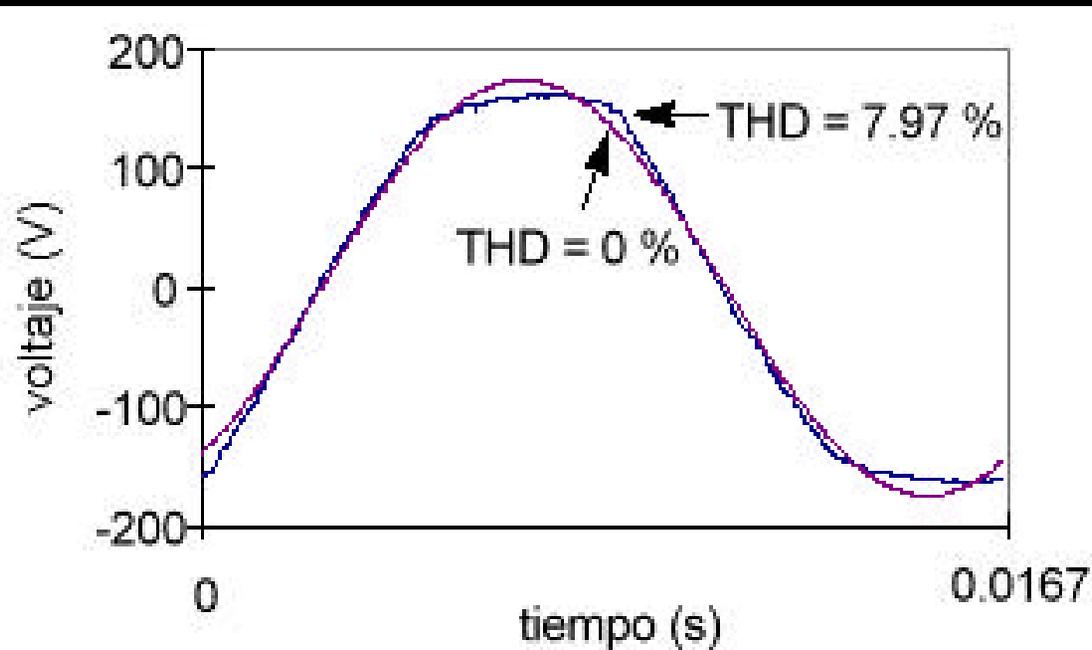
Falta de monitoreo y reforzamiento frecuente, acorde con el crecimiento de la demanda.

Deficiencias en la operación de las instalaciones.

- **Consecuencias:**

Mal funcionamiento de artefactos, disminución del poder lumínico de lámparas, recalentamiento de conductores y motores.

# Tensión con distorsión



Captura: THM565, regulador 2 julio de 1995

## Causas:

Todas las cargas no lineales como:

- Convertidores e Inversores
- Hornos de Arco Eléctrico
- Saturación de Transformadores

Tabla 2 IEEE 1159-1985

Categoría y características de fenómenos electromagnéticos en sistemas de potencia

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsos			
1.1.1 Nanosegundos	5 ns de elevación	<50 ns	
1.1.2 Microsegundos	1 $\mu$ s de elevación	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Milisegundos	0.1 ms de elevación	> 1 ms	
1.2 Oscilatorios			
1.2.1 Baja Frecuencia	< 5kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
1.2.2 Frecuencia Media	5 - 500 kHz	20 $\mu$ s	0 - 8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0.5 - 5MHz	5 $\mu$ s	0 - 4 pu
2.0 Variaciones de Corta duración			
2.1 Instantáneas			
2.1.1 Sag		0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
2.2 Momentáneas			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos - 3 seg	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 ciclos - 3 seg	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 Swell		30 ciclos - 3 seg	1.1 - 1.4 pu
2.3 Temporal			
2.3.1 Interrupción		3 seg - 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		3 seg - 1 min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 Swell		3 seg - 1 min	1.1 - 1.2 pu
3.0 Variaciones de larga duración			
3.1 Interrupción sostenida		> 1 min	0.0 pu
3.2 Bajo voltaje		> 1 min	0.8 - 0.9 pu
3.3 Sobrevoltaje		> 1 min	1.1 - 1.2 pu
4.0 Desbalance en voltaje		Estado Estable	0.5 - 2%
5.0 Distorsión de Forma de Onda			
5.1 Componente de directa		Estado Estable	0 - 0.1%
5.2 Contenido armónico	0 - 100th H	Estado Estable	0 - 20%
5.3 Interarmónicas	0 - 6 kHz	Estado Estable	0 - 2%
5.4 Muestras en el voltaje		Estado Estable	
5.5 Ruido	Banda amplia	Estado Estable	0 - 1%
6.0 Fluctuaciones de Voltaje	< 25 Hz	Intermitente	0.1 - 7%
7.0 Variaciones en la Frecuencia		<10 sec	

# Armónicas y flicker

- Origen de las armónicas
- Efecto de las armónicas
- Medición de las armónicas
- Solución al problema

# INTRODUCCIÓN

- LAS CORRIENTES Y TENSIONES EN LAS REDES ELÉCTRICAS **NUNCA HAN SIDO EXACTAMENTE SENOIDALES.**
- HASTA HACE UNOS AÑOS **NO ERA FRECUENTE ENCONTRARSE EN LA PRÁCTICA CON ALGÚN PROBLEMA ORIGINADO POR LA DEFORMACIÓN DE DICHAS ONDAS O LO QUE ES LO MISMO, POR LA PRESENCIA DE ARMÓNICOS .**

# INTRODUCCIÓN

- **EL RESPONSABLE PRINCIPAL DE ESTA DEFORMACIÓN ES EL DESARROLLO ESPECTACULAR DE LA ELECTRÓNICA, QUE HA GENERALIZADO EL USO DE RECTIFICADORES, TANTO EN APARATOS DE POTENCIA (ACCIONAMIENTO DE CORRIENTE CONTINUA, VARIADORES DE FRECUENCIA) COMO EN OTROS PEQUEÑOS, PERO MUY NUMEROSOS (ORDENADORES, TV)**

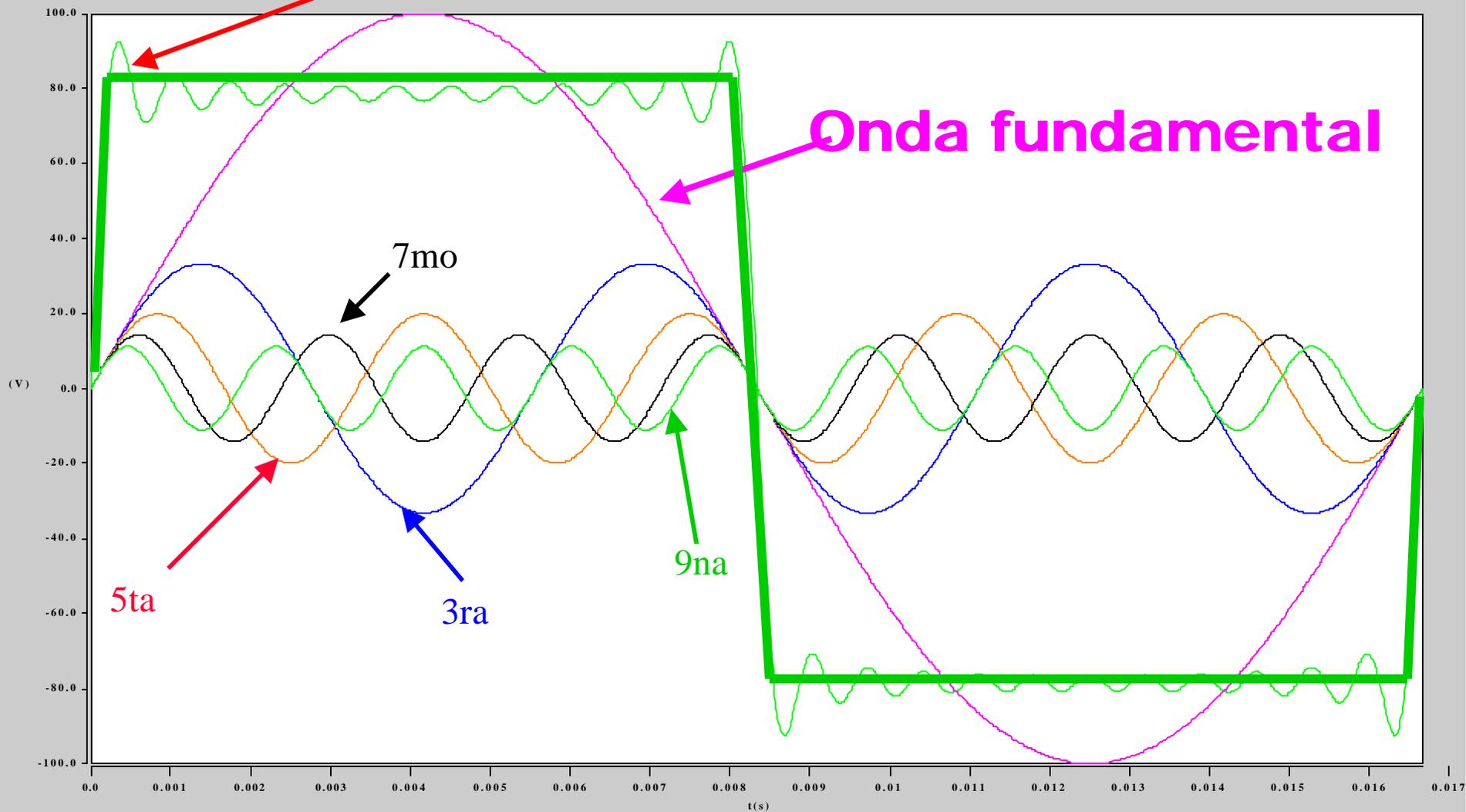
# Definiciones

- **DEFINICIÓN: ARMÓNICOS DE POTENCIA SON ONDAS DE CORRIENTE O TENSIÓN CUYA FRECUENCIA SON MULTIPLOS ENTEROS DE LA FRECUENCIA FUNDAMENTAL**
- **Ejemplo:**

Si la  $F = 60\text{Hz}$  el armónico de segundo orden tendrá una frecuencia de  $120\text{Hz}$ .  
El tercer armónico  $180\text{Hz}$ , etc.

# Onda resultante deformada

Graph0



# Teoría de Armónicos

**Joseph FOURIER** demostró que toda función periódica no senoidal puede representarse por una suma de términos senoidales donde el primer término es la fundamental y los otros, a la frecuencia múltiplo de la fundamental son los armónicos.

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \text{sen}(n\omega t + j_n)$$

**$Y_0$**  : Valor de la componente continua, generalmente nula para sistemas de distribución.

**$Y_n$**  : Valor eficaz del armónico de orden  $n$ ,

**$\omega$**  : Pulsación de la frecuencia fundamental,

**$j_n$**  : Desfasaje de la componente armónica  $n$ .

Adecuando para la **tensión** se tiene:

$$u(t) = u_0 + \sum_{n=1}^{\infty} u_n \sqrt{2} \text{sen}(n\omega t + j_n)$$

para la **corriente**:

$$i(t) = i_0 + \sum_{n=1}^{\infty} i_n \sqrt{2} \text{sen}(n\omega t + j_n)$$

## Valor eficaz de una magnitud alterna no senoidal

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad \dots(a)$$

ó

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt}$$

$$P = RI_{\text{rms}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2 dt$$

## Valor eficaz de una magnitud alterna senoidal

Si  $i = I_m \cos(\omega t + \phi)$  corriente senoidal

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \cos^2(\omega t + \phi) dt}, \quad \int_0^{2\pi/\omega} \cos^2(\omega t + \phi) dt = \frac{\pi}{\omega}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \text{y} \quad I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{\omega \cdot I_m^2}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} \cos^2(\omega t + \phi) dt}$$

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{\omega \times I_m^2}{2\pi} \times \frac{\pi}{\omega}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{\text{rms}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad V_{\text{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

# Tasa de distorsión total de armónicos (TDA) o (THD)

Define globalmente la deformación de la magnitud alterna.

## CIGRE:

Factor de distorsión total

$$TDA (\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} Y_n^2}}{Y_1}$$

## IEC 555-1:

Factor de distorsión:  $0 < DF < 1$

$$DF (\%) = 100 \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} Y_n^2}{\sum_{n=1}^{\infty} Y_n^2}}$$

## NTCSE:

Factor de distorsión total de armónicos

$$THD = \left( \sqrt{\sum_{i=2..40} (V_i^2 / V_N^2)} \right) \cdot 100\%$$

# Tasa de distorsión total de armónicos (TDA) o (THD)

**Estándar IEEE-519**

$$THD = \sum_{h=2}^H \left( \frac{I_h^2}{I_{Ldemanda}} \right)^{1/2} \times 100\%$$

De la comparación se deduce que el THD según la NTCSE es similar al empleado por CIGRE

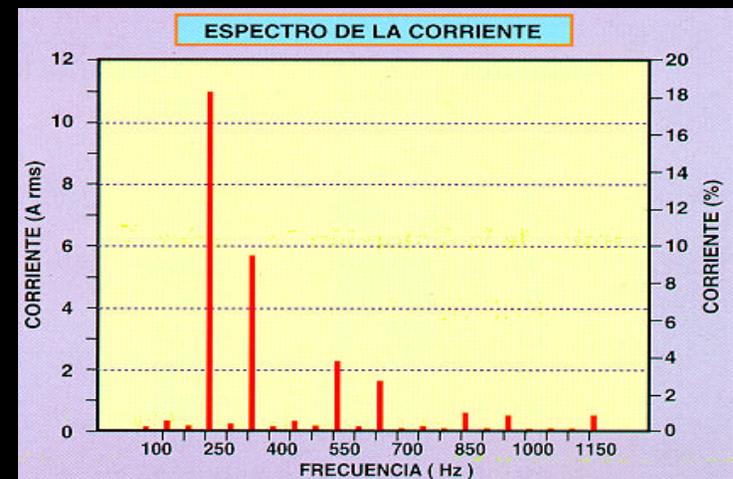
## Tasa individual de armónicos (An o Ih,Vh)

Esta magnitud representa la razón del valor eficaz de un armónico (Yn), respecto al valor eficaz de la fundamental (Y1)

$$A_n (\%) = 100 \frac{Y_n}{Y_1}$$

### Espectro (de frecuencia)

Es la representación de la amplitud de los armónicos en función de su orden o rango; el valor de los armónicos se suele expresar en porcentaje de la fundamental



# Factor de potencia y $\cos \mathbf{f}_1$

Cuando hay armónicos es importante no confundir estos dos términos, que son iguales solamente cuando la corriente y tensión son perfectamente senoidales.

**Factor de potencia ( $\lambda$ ):**

Es la razón entre la potencia activa y aparente

$$\lambda = \frac{P}{S}$$

**El factor de Desfasaje ( $\cos \mathbf{f}_1$ ):**

Se refiere a las magnitudes fundamentales

El  $\cos \mathbf{f}_1$  o DFP (Desplazamiento del F.P. )

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

En régimen senoidal puro:

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi = \lambda$$

# Factor de deformación

Según la IEC 146-1-1, es la razón entre el factor de potencia y el  $\cos \phi_1$ , siempre es menor o igual a uno.

$$v = \frac{\lambda}{\cos \phi_1}$$

## Factor de cresta (Fc):

Es la razón del valor pico respecto al valor eficaz de una magnitud periódica:

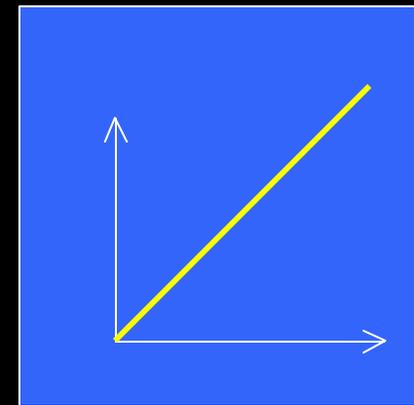
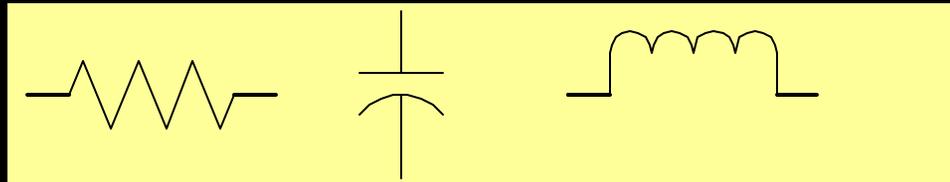
$$F_c = \frac{Y_{\text{pico}}}{Y_{\text{eficaz}}}$$

## ORIGEN DE LAS ARMÓNICAS

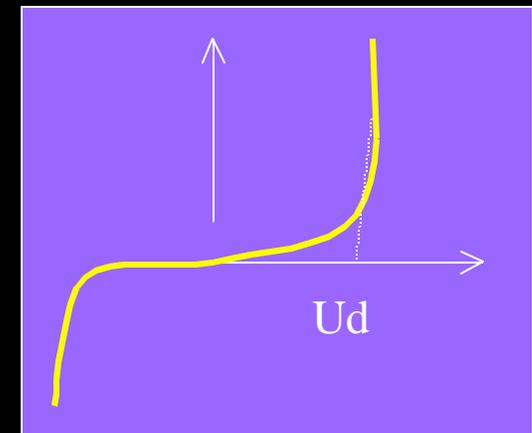
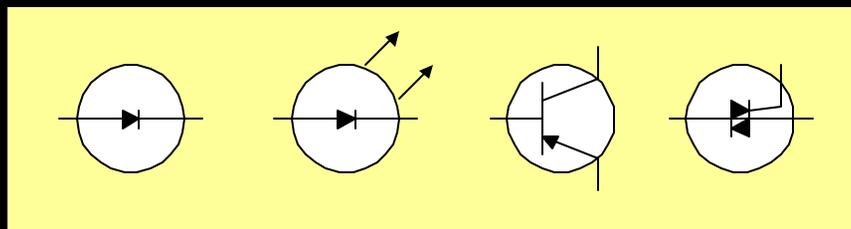
- Debido a que hay cargas denominadas no lineales que toman la corriente en forma de impulsos bruscos en vez hacer en forma sinusoidal, éstos impulsos crean ondas de corriente o tensión distorsionadas que retornan a la red sumándose a la onda fundamental.

# TIPO DE CARGAS

- Cargas lineales



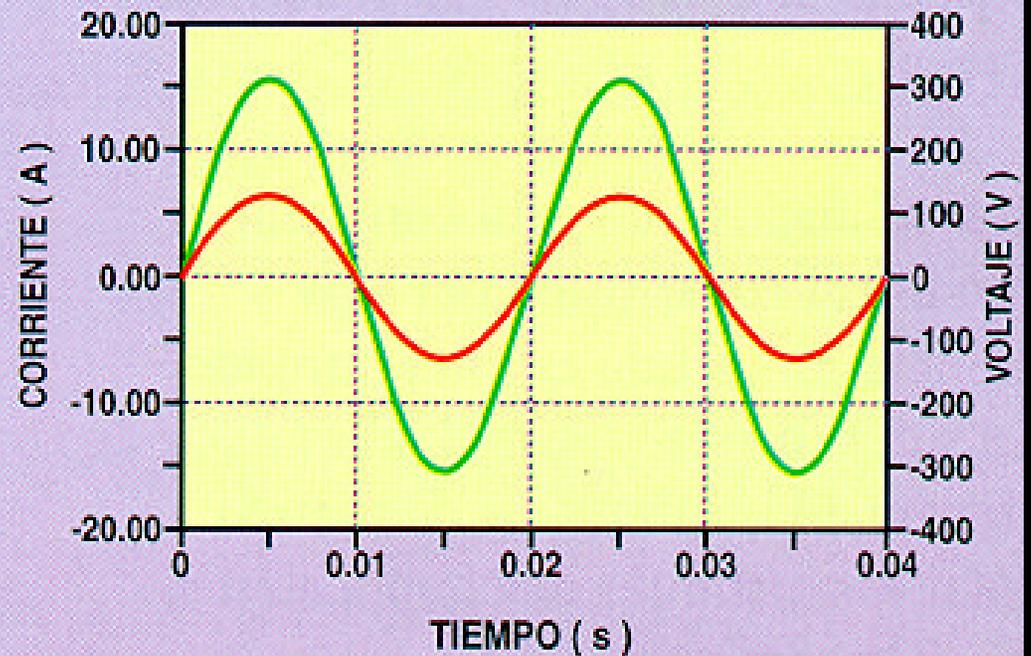
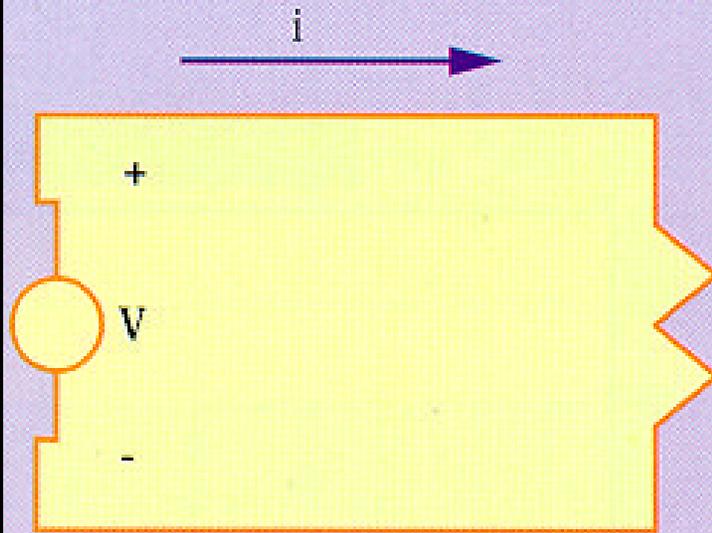
- Cargas no lineales



# TIPO DE CARGAS

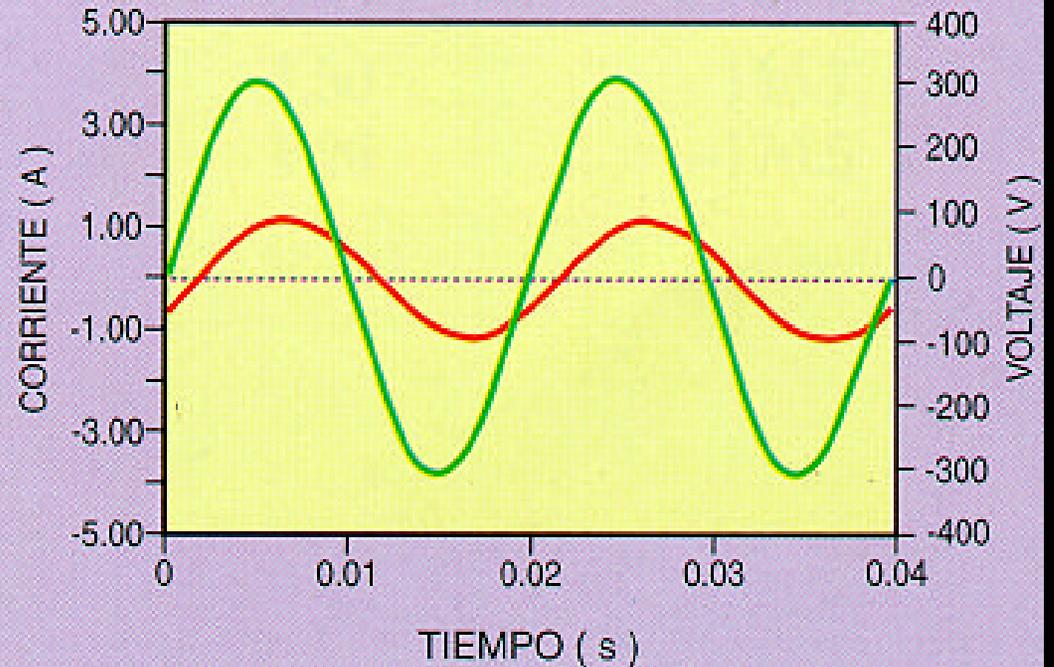
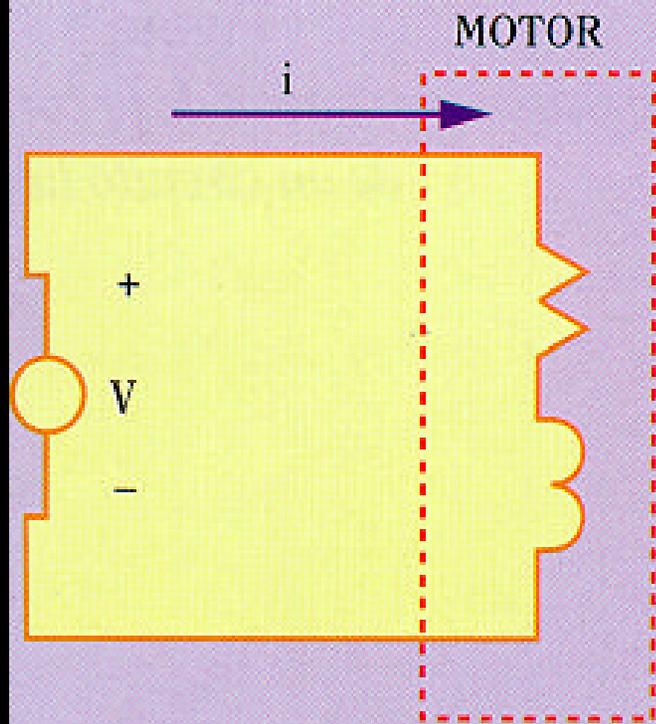
## 1. CARGAS LINEALES

CONSUMO DE UN CALEFACTOR DE 1 kW



# CARGAS LINEALES

CONSUMO DE UN MOTOR MONOFASICO DE 1/6 HP



CORRIENTE VOLTAJE

## 2. CARGAS NO LINEALES

- La electrónica de potencia puso a disposición de los hogares y las empresas productivas diversos equipos capaces de controlar el producto final: **Iluminación variable, velocidad ajustable**, etc. Así aproximadamente un **50% de la energía eléctrica pasa por un dispositivo de electrónica** de potencia antes de ser aprovechada .

## 2. CARGAS NO LINEALES

- La electrónica de potencia hace uso de **diodos , transistores y tiristores**; estos dispositivos trabajan en el modo de interrupción (switching) que significa en dos estados: **CONDUCCIÓN Y BLOQUEO**.

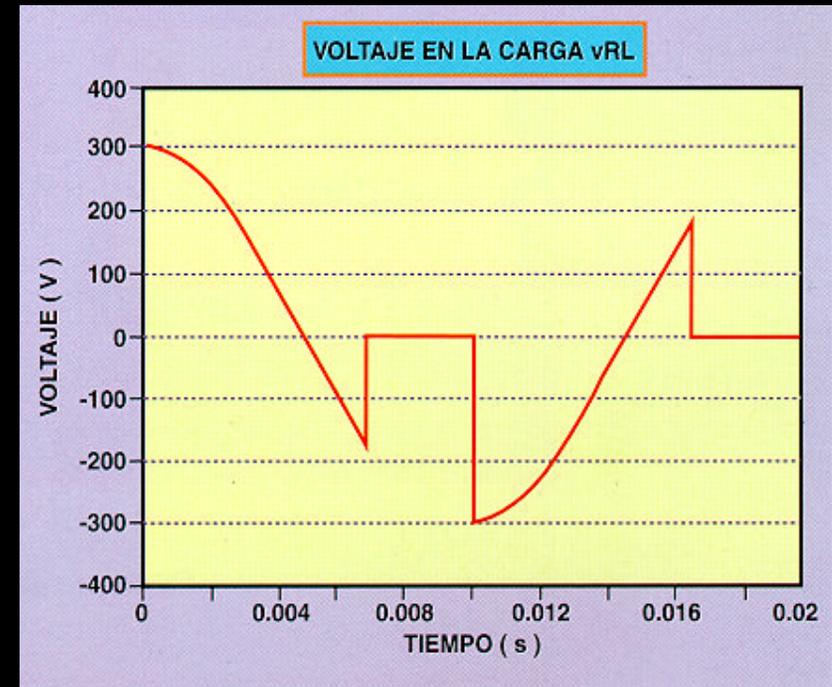
# Modos de operación de las Cargas No Lineales

- **ESTADO DE CONDUCCIÓN:** (interruptor cerrado), la corriente puede alcanzar valores elevados , pero la tensión es nulo y, por tanto, la disipación de potencia es muy pequeña.



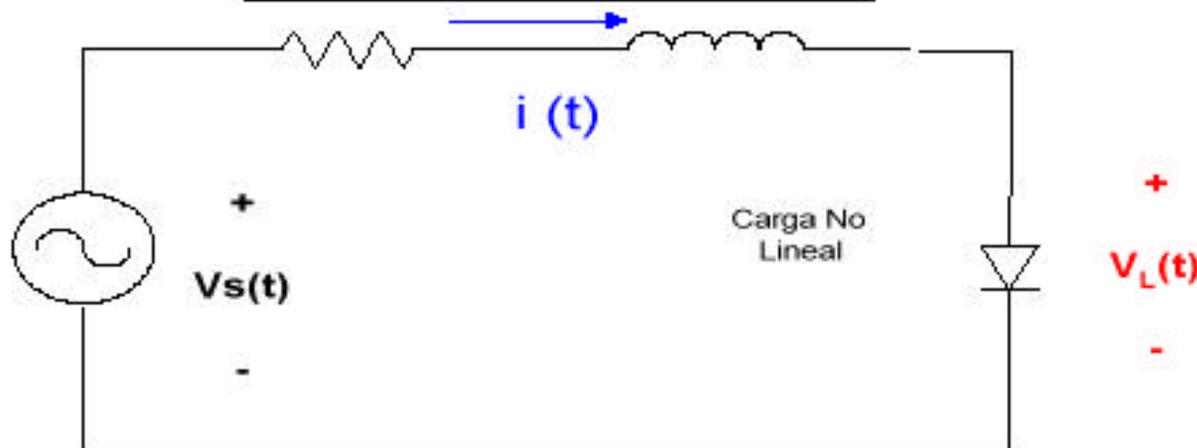
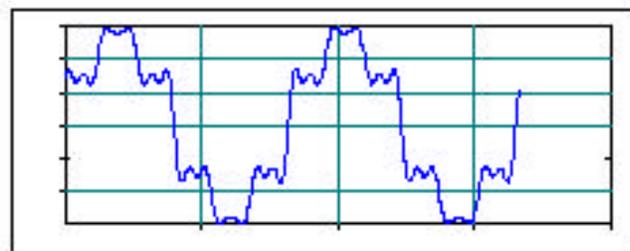
# Modos de operación de las Cargas No Lineales

- **ESTADO DE BLOQUEO:** (interruptor abierto). La corriente es muy pequeña y la tensión es muy elevado; así, la disipación de potencia es también pequeña en este estado.

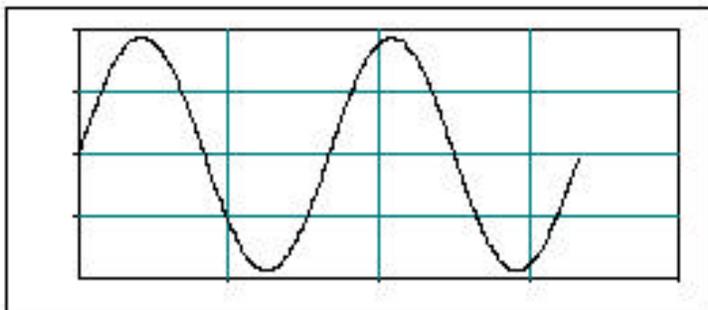


# Distorsión de tensión provocada por la carga no lineal

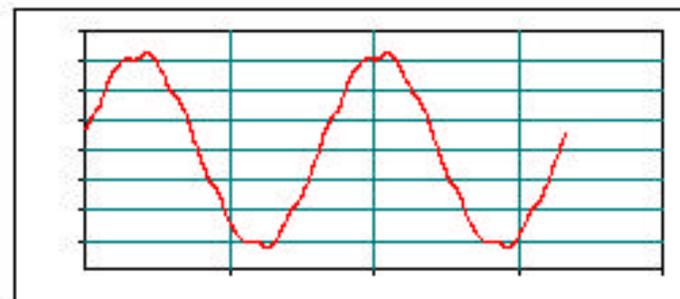
Corriente de la carga



Voltaje de la Fuente

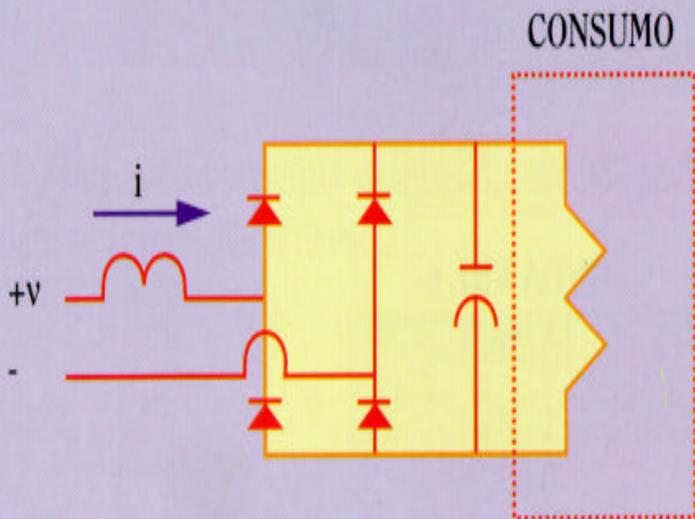


Voltaje de la Carga (distorsionado)

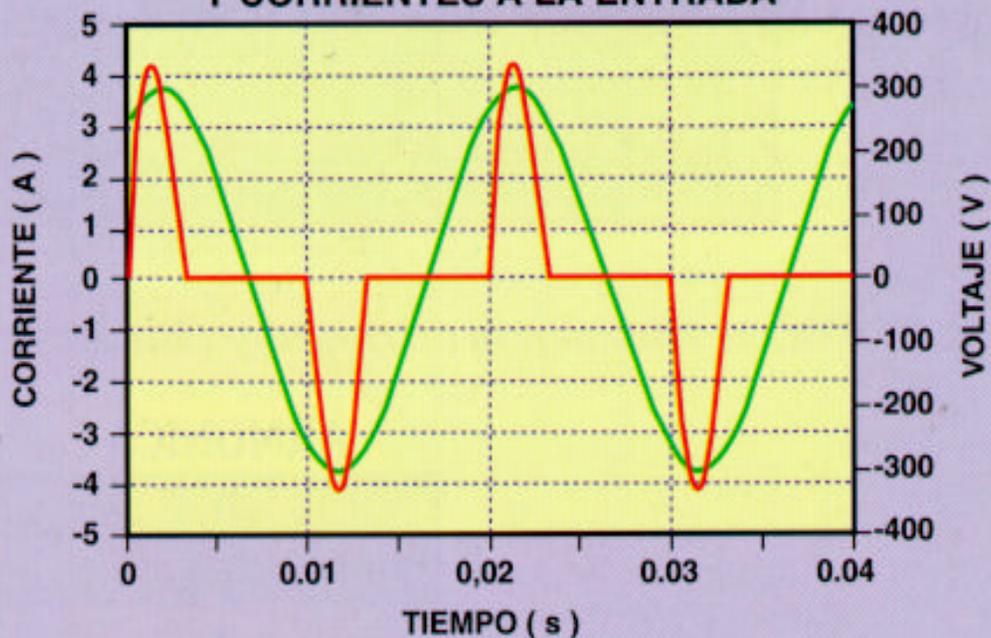


# CARGAS NO LINEALES

DIAGRAMA BASICO DE LA FUENTE DE PODER DE UN COMPUTADOR Y DE UNA GRAN VARIEDAD DE EQUIPOS ELECTRONICOS



FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE Y CORRIENTES A LA ENTRADA



CORRIENTE VOLTAJE

# Tipos De Cargas No Lineales

- **Circuitos magnéticos:** Transformadores, motores.
- **Elementos de plasma:** Lámparas de descarga, soldadura de arco, hornos de inducción.
- **Semiconductores:** Las grandes fuentes armónicas son los **rectificadores con conmutación natural**; **accionamiento de corriente continua, convertidores de frecuencia con circuito intermedio de continua, sistemas de alimentación permanente(UPS), etc.**

# Cargas No Lineales simétricas

- La mayor parte de las cargas conectadas a la red son, sin embargo, simétricas, es decir, que las dos semiondas de corriente son iguales y opuestas.

En este caso, los armónicos de orden par son nulos. En efecto, si se supone que la corriente contiene un armónico de 2<sup>º</sup> orden, es posible escribir, por ejemplo:

$$f(\omega t + \pi) = -f(\omega t)$$

# Cargas No Lineales

## Rectificadores

$$h = np \pm 1$$

$$I_h = \frac{I}{h}$$

Donde:

h: orden de armónico generado

p: numero de pulsos del rectificador

n: numero entero positivo ( 1,2,3,4,5...)

I<sub>h</sub>: magnitud de la corriente armónica.

### Ejemplo:

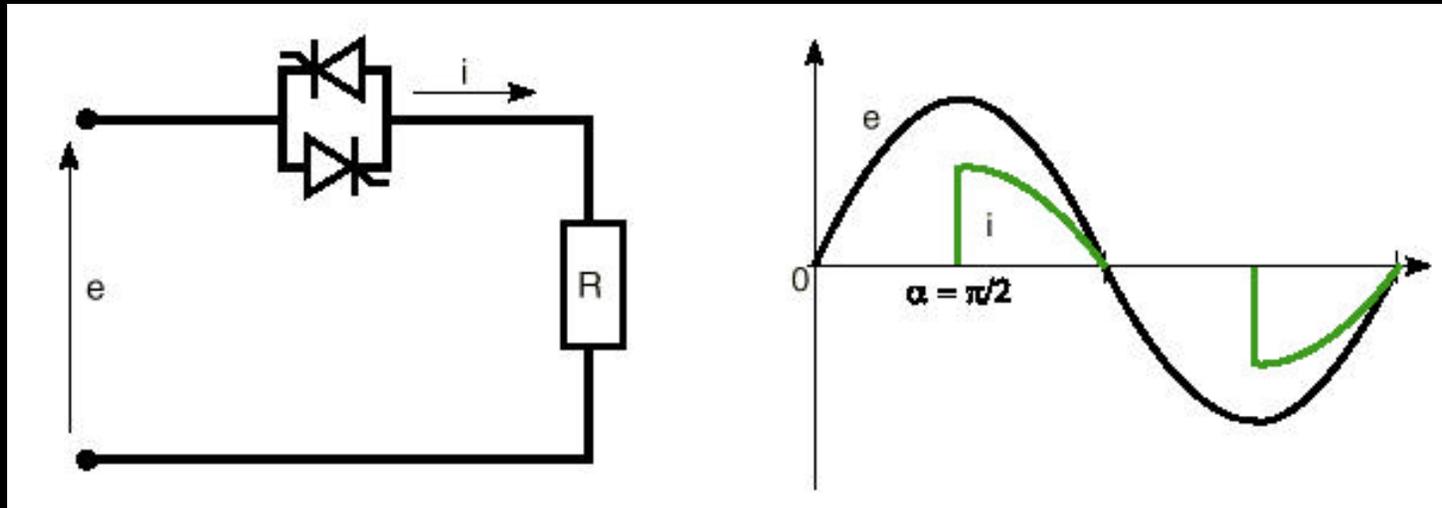
#### Rectificadores de dos pulsos:

P=2 , h=3,5,7,9,11,13,15,17,19..

Computadoras, equipos de telecomunicación, equipos de radiodifusión en general.

# Ejemplo del espectro de armónicos de las corrientes absorbidas por las cargas no lineales

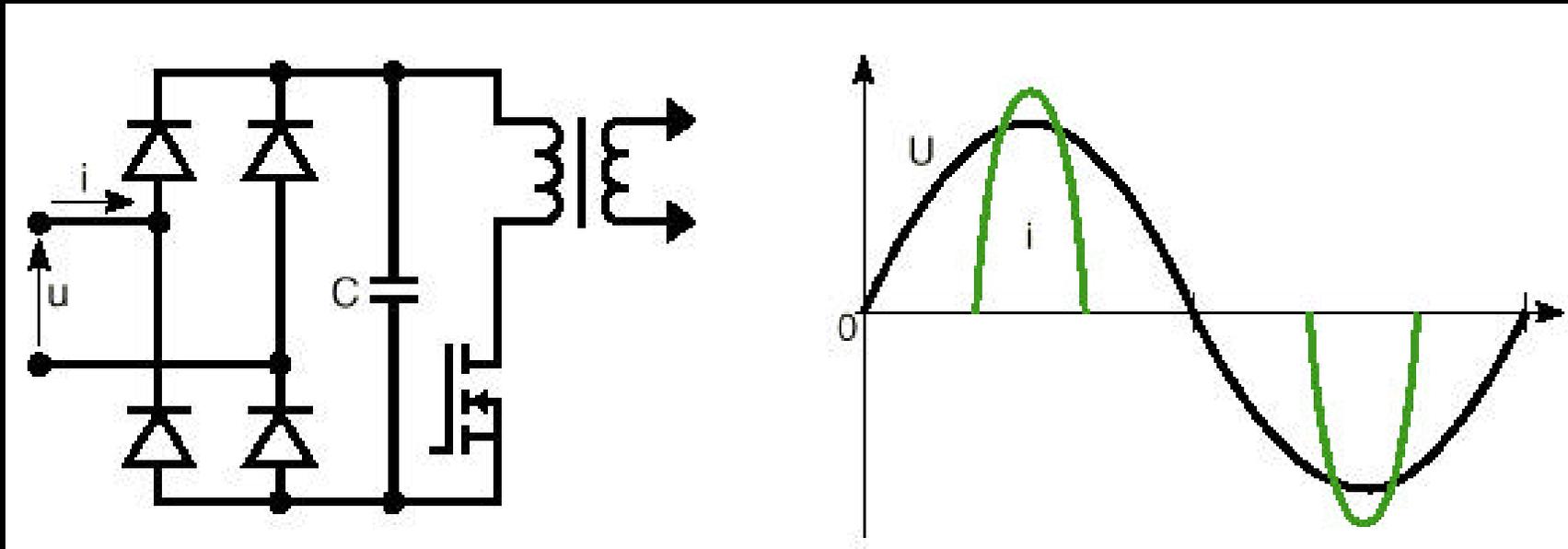
## 1: Regulador de luz o de temperatura



N°	H <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>9</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>13</sub>	H <sub>15</sub>	H <sub>17</sub>	H <sub>19</sub>
1	54	18	18	11	11	8	8	6	6

2: Rectificador de una fuente de alimentación conmutada, por ejemplo:

- de un ordenador,
- de un electrodoméstico

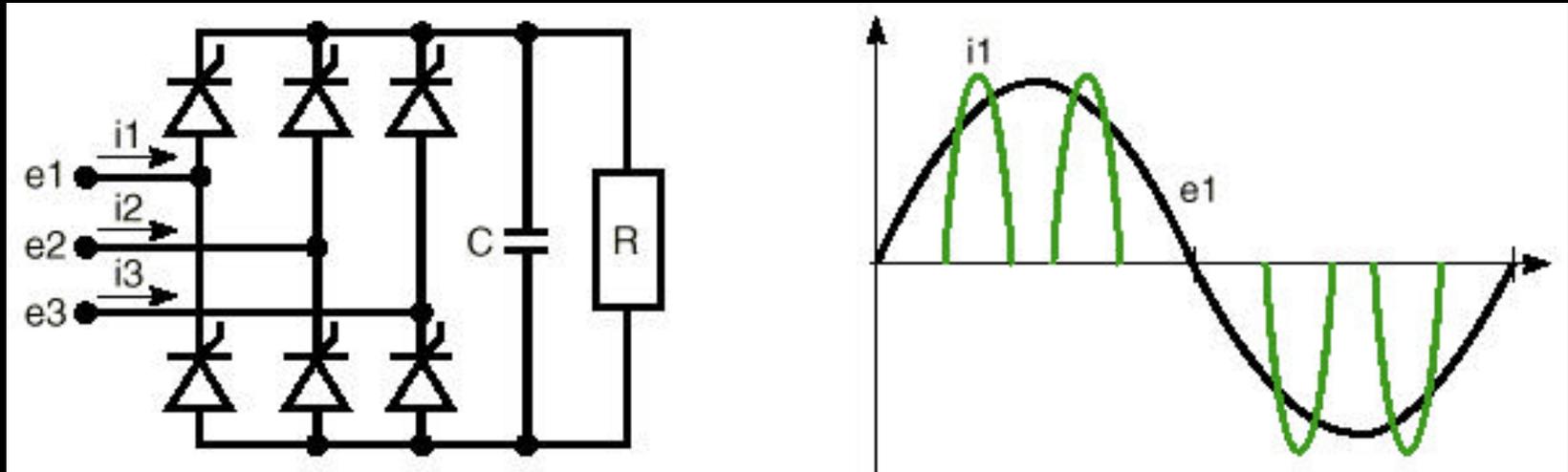


N°	H <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>9</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>13</sub>	H <sub>15</sub>	H <sub>17</sub>	H <sub>19</sub>
2	75	45	15	7	6	3	3	3	2

## Armónico de corriente en función al tipo de televisor (Amperio)

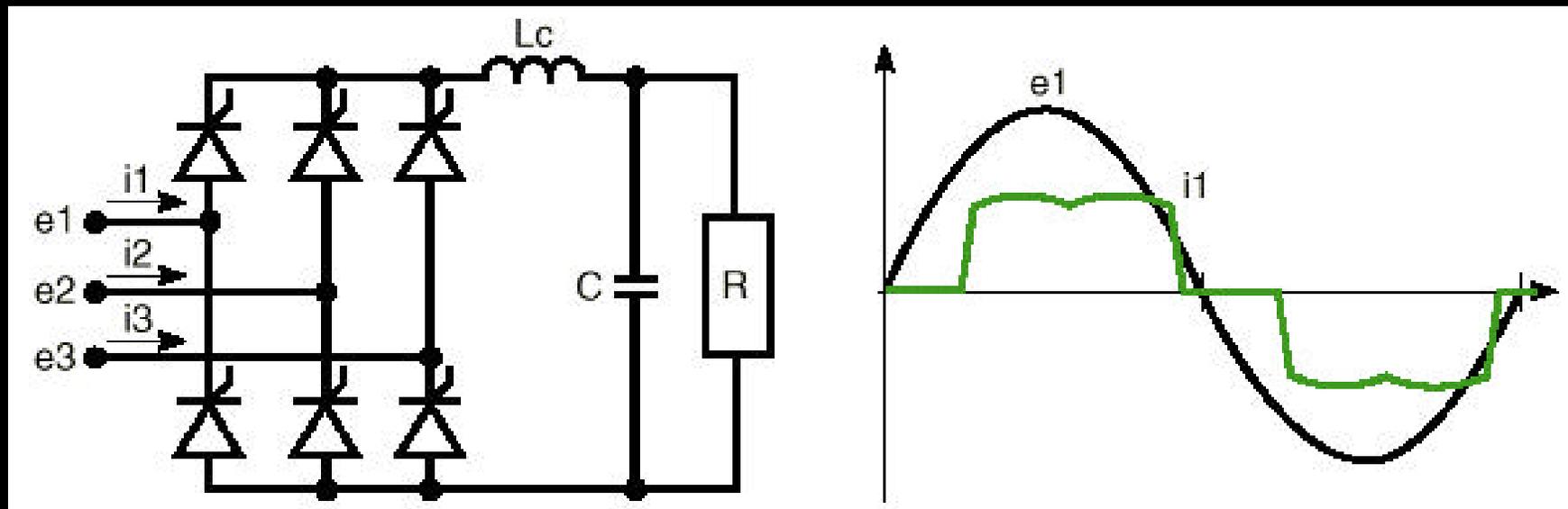
h	B y N, Tubo	B y N, Transistor	COLOR puente de diodos	COLOR tiristor
3	0,53	0,32	0,73	0,82
5	0,31	0,25	0,59	0,66
7	0,13	0,15	0,43	0,34
9	0,055	0,08	0,27	0,14
11	0,045	0,04	0,15	0,09
15	0,03	0,03	0,045	0,04

**3:** Rectificador trifásico con entrada a condensador en la parte de corriente continua, por ejemplo, de un variador de velocidad para motores asíncronos



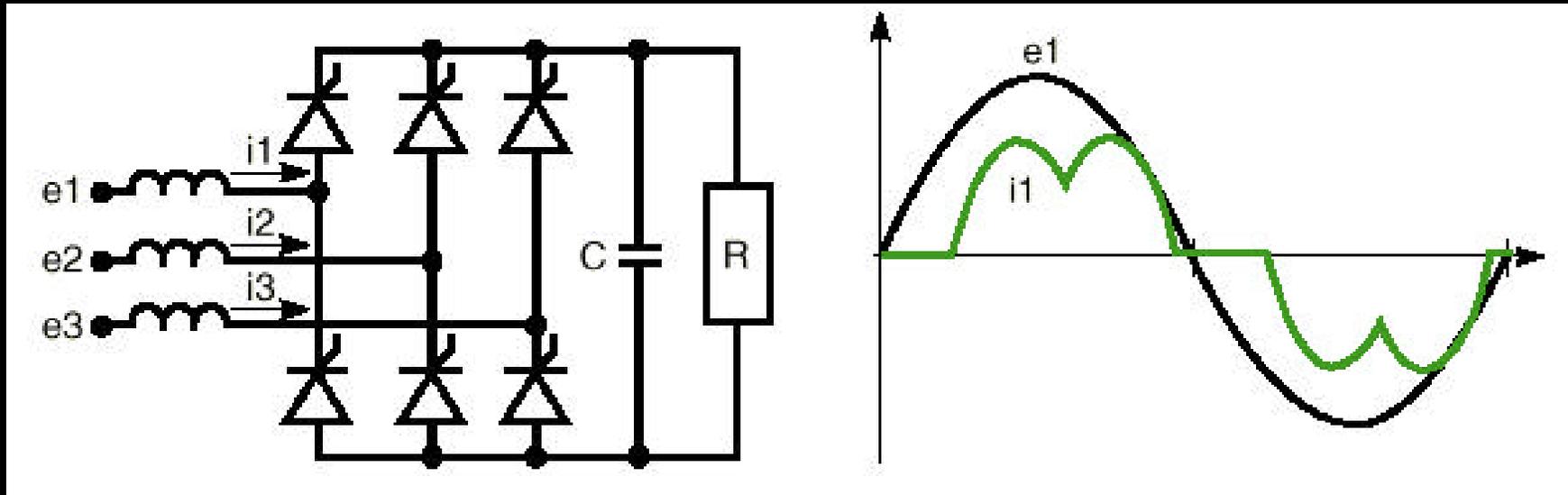
N°	H <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>9</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>13</sub>	H <sub>15</sub>	H <sub>17</sub>	H <sub>19</sub>
3	0	80	75	0	40	35	0	10	5

## 4: Rectificador trifásico con autoinducción en el filtro en corriente continua, por ejemplo, de un cargador de batería



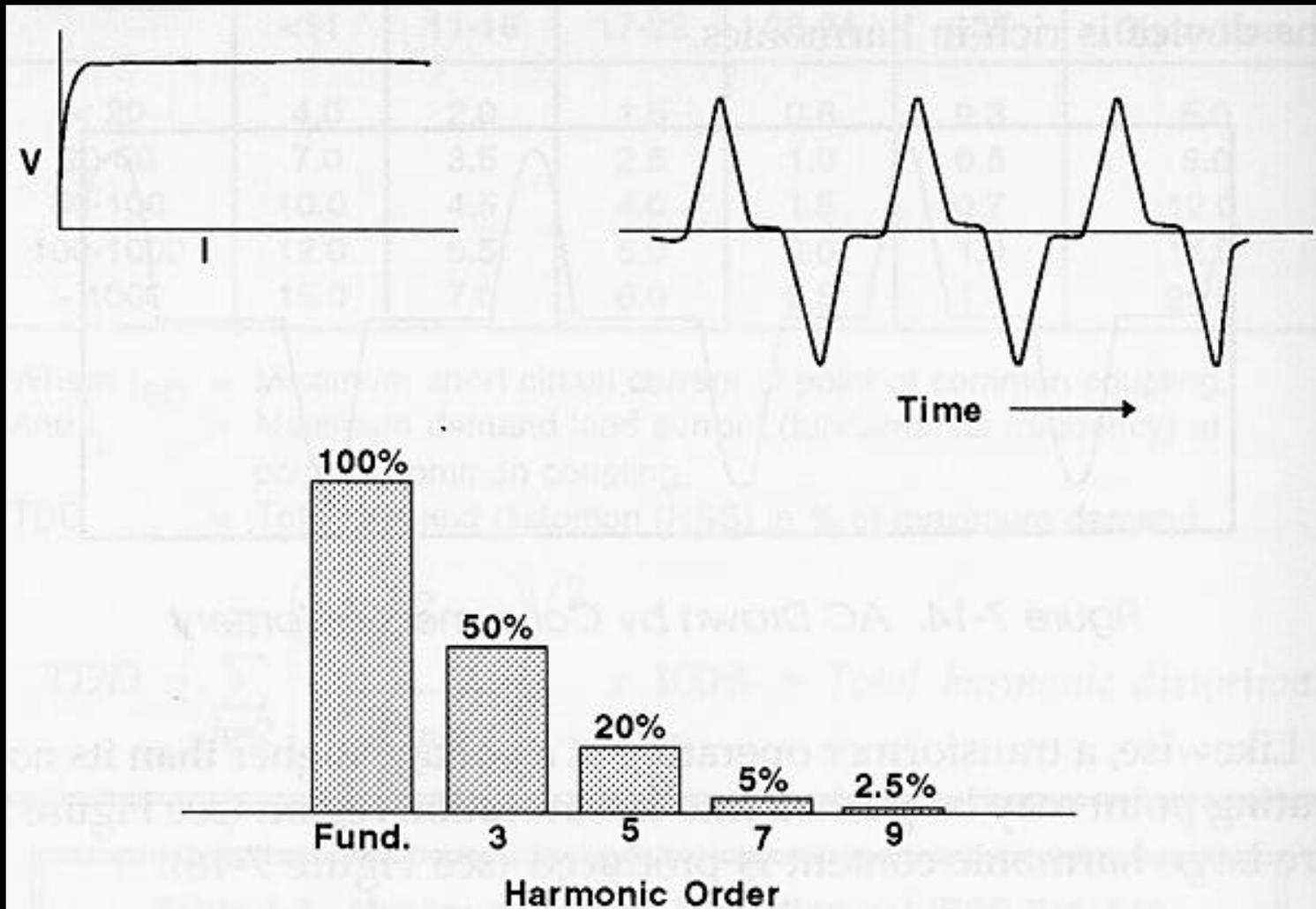
N°	H <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>9</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>13</sub>	H <sub>15</sub>	H <sub>17</sub>	H <sub>19</sub>
4	0	25	7	0	9	4	0	5	3

**5:** Rectificador trifásico con autoinducción de alisado en la entrada de la alimentación de la corriente alterna de red, por ejemplo, de un SAI de gran potencia



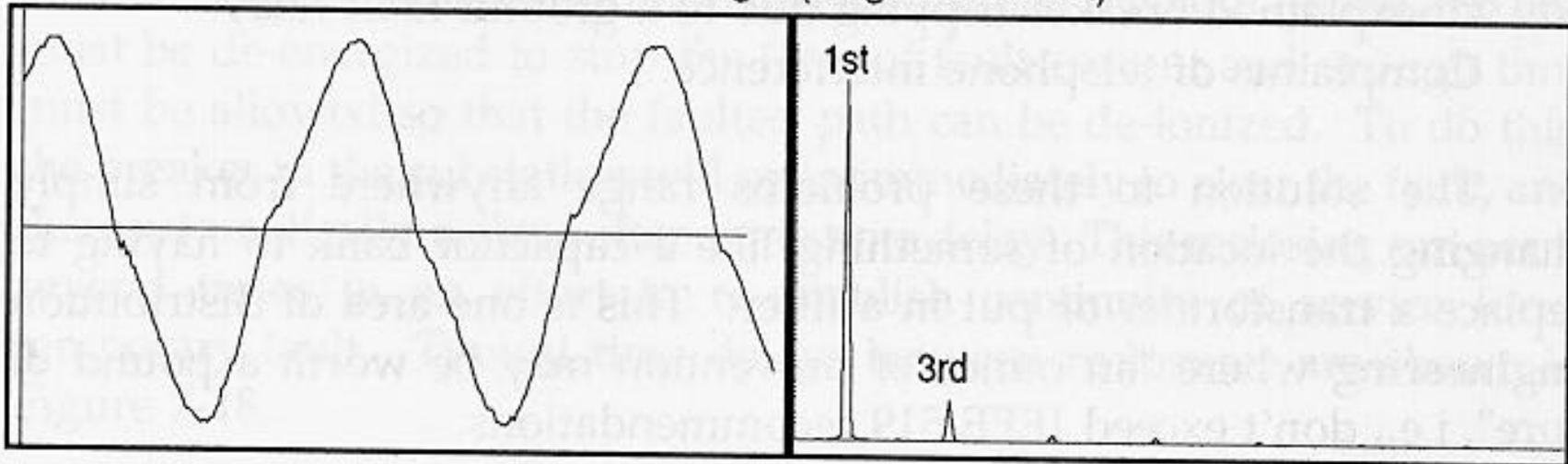
N°	H <sub>3</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>9</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>13</sub>	H <sub>15</sub>	H <sub>17</sub>	H <sub>19</sub>
5	0	33	3	0	7	2	0	3	2

# Contenido de armónicos de la corriente de magnetización para el acero al silicio

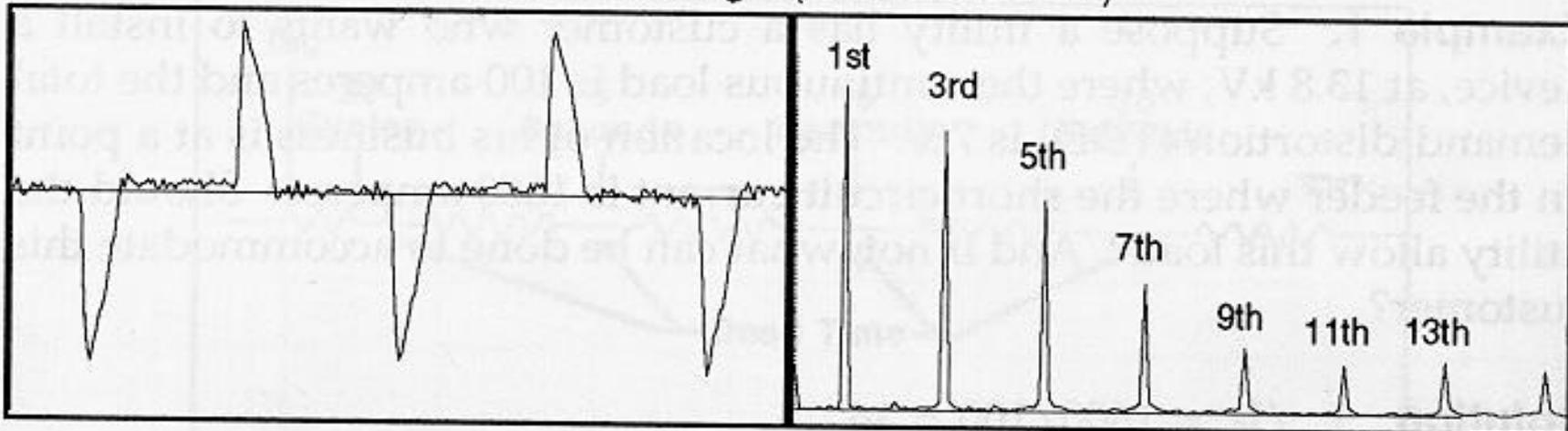


# Cargas No Lineales

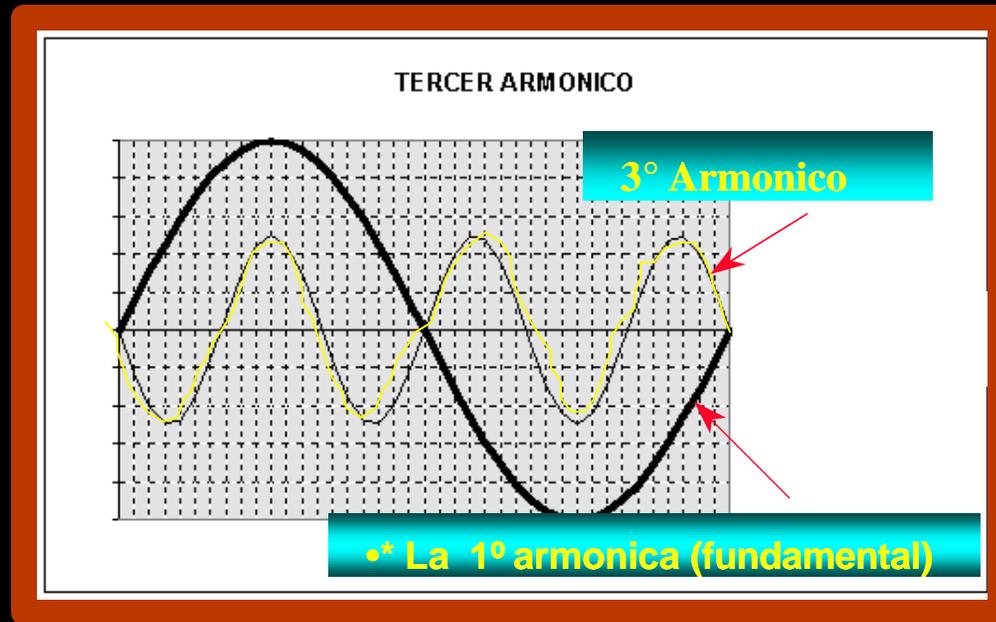
Fluorescent Light (Magnetic Ballast)



Fluorescent Light (Electronic Ballast)

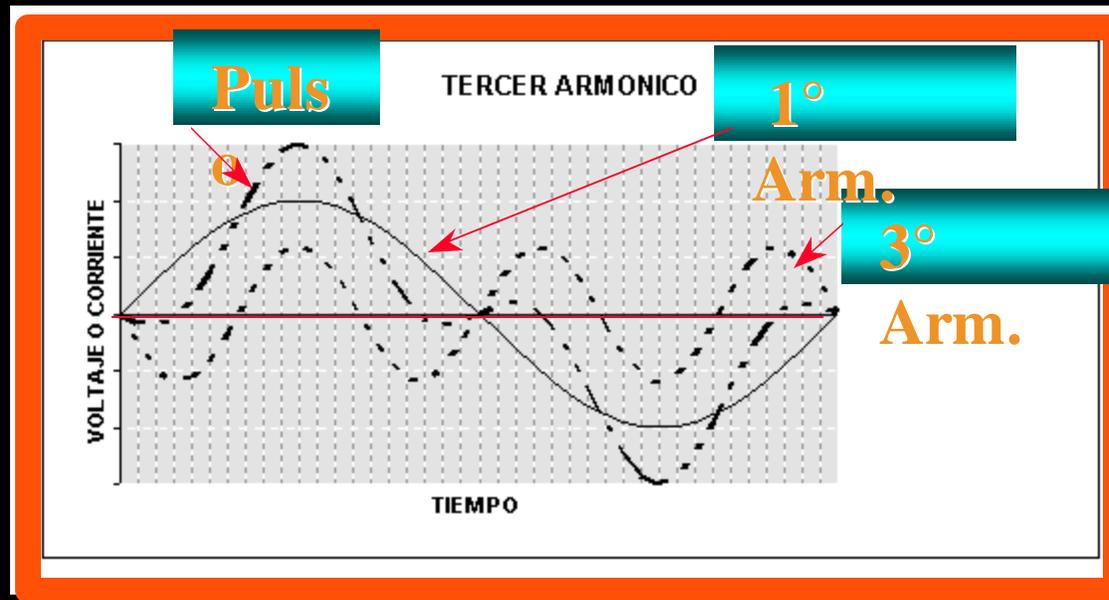


# Sistemas monofásicos



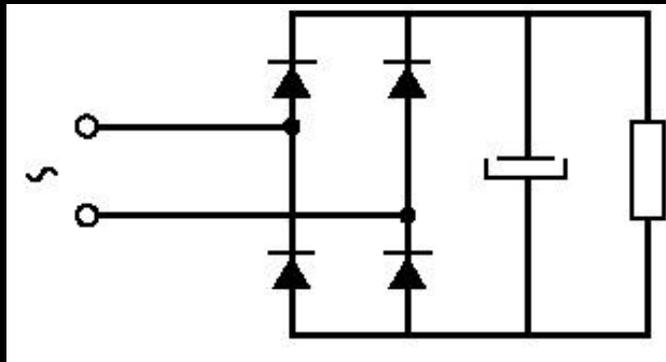
- \* La 1° armónica o fundamental ( 60 Hz )
- \* La componente de 3° armónica ( 180 Hz ) .

# Sistemas monofásicos

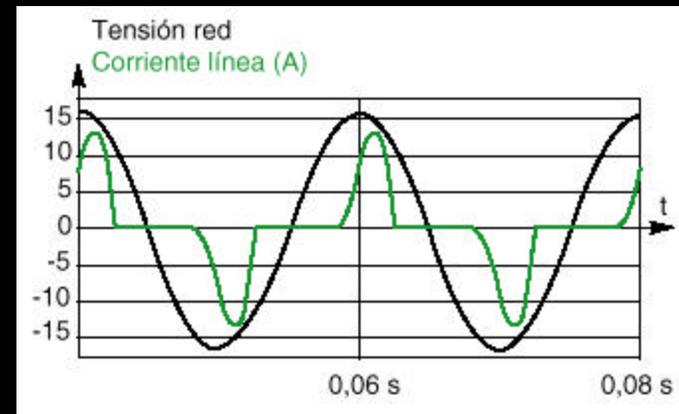


- Sumando las dos señales sinusoidales, se llega a una “semionda No sinusoidal” que se representa en la fig.

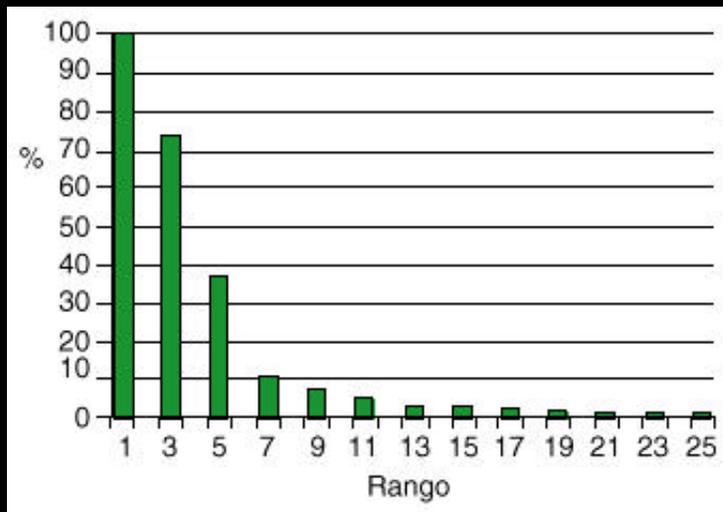
# Sistemas monofásicos



Rectificador monofásico con filtro capacitivo



Grafica de la corriente absorbida



Espectro de armónicos

Actividad	Aparatos
Doméstica	TV, hi-fi, vídeo, horno microondas, ...
Terciaria	Micro-ordenadores, impresoras, fotocopiadoras, fax, ...
Industrial	Alimentación conmutada, variadores de velocidad

Aparatos que tienen rectificador monofásico con filtro capacitivo

# SISTEMAS TRIFASICOS

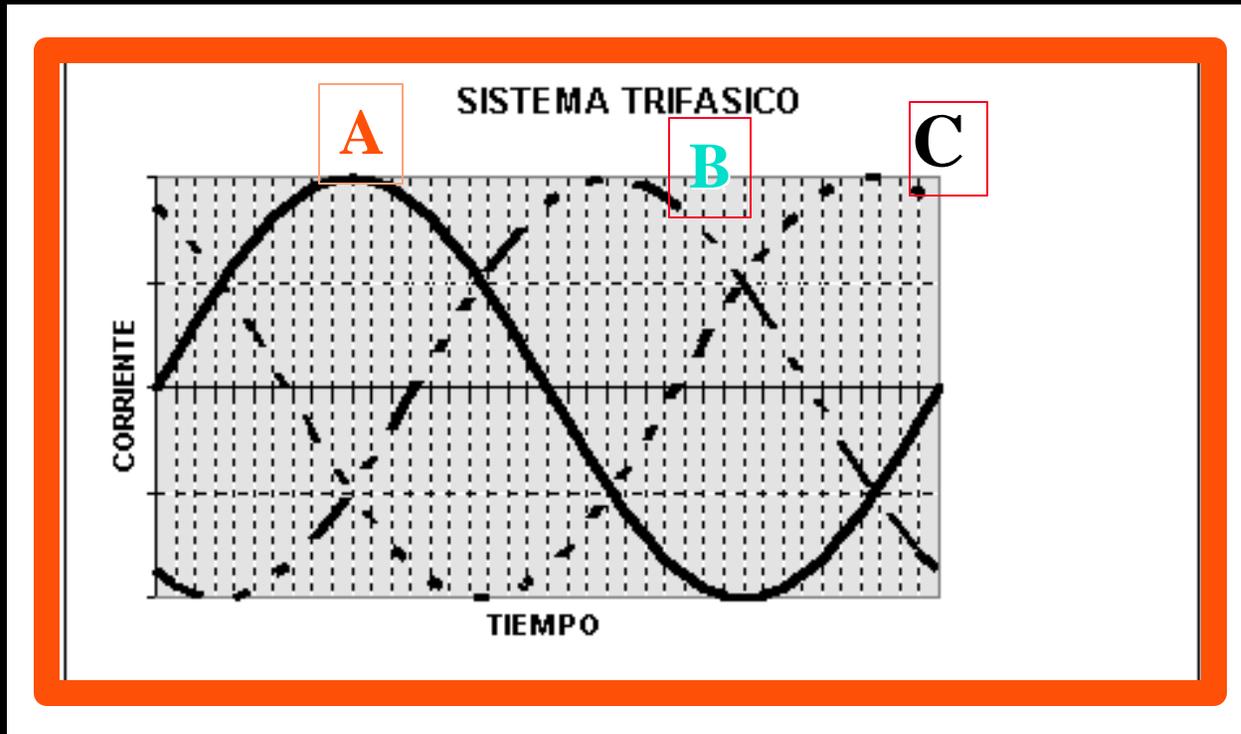
En un sistema trifásico:

Las tensiones por fase se encuentran desfasadas en  $120^\circ$ .  
Se demuestra matemáticamente que con cargas trifasicas Lineales, equilibradas en una conexión estrella la corriente por el neutro es cero.

$$\overline{I}_R = 1 + j0 ; \overline{I}_S = -0.5 - j0.866 ; \overline{I}_T = -0.5 + j0.866$$
$$\sum \overline{I} = 0$$

Luego la protección de sobrecarga de los conductores de fase, también protegerá al conductor neutro.

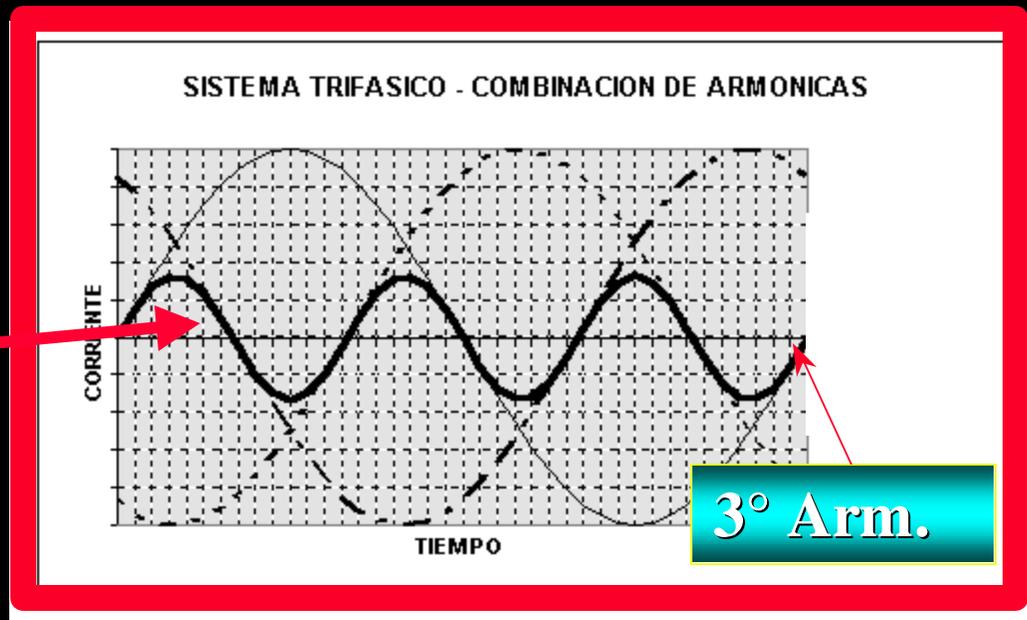
# SISTEMAS TRIFASICOS



# SISTEMAS TRIFASICOS

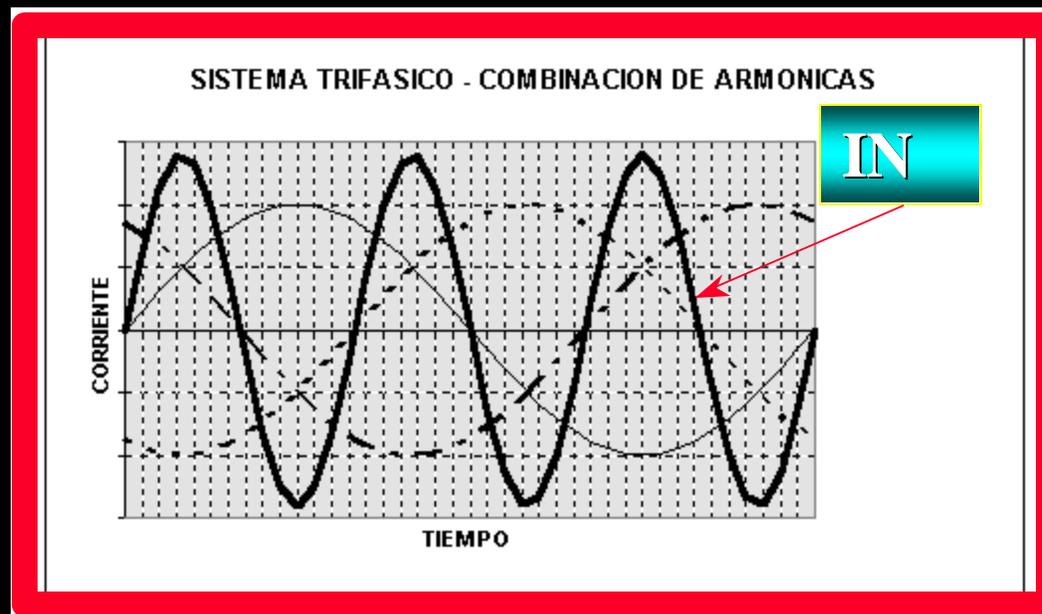
- \* Cuando aparece una componente de tercer armónico en cada una de las fases, podemos observar que esta, se encuentra en fase en cada una de las líneas.

En fase



# SISTEMAS TRIFASICOS

- Las corrientes armónicas se suman en el neutro y en vez de anularse, pueden originar, corrientes a través del neutro, de mayor magnitud a la fases.



# Cálculo del valor eficaz de la corriente de neutro

$$I_L = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_l^2 dt}$$

- El valor eficaz de la corriente de neutro puede calcularse para un intervalo igual a  $T/3$ .

$$I_N = \sqrt{\frac{1}{T/3} \int_0^{T/3} i_n^2 dt}$$

$$I_N = \sqrt{3} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/3} i_n^2 dt}$$

$$I_N = \sqrt{3} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_l^2 dt} = \sqrt{3} I_L$$

Por tanto, la corriente en el conductor neutro tiene aquí un valor eficaz 1,73 veces superior a la corriente en una fase.



La solución que normalmente se utiliza es instalar un conductor de neutro de sección doble de la del conductor de fase.

# SISTEMAS TRIFASICOS

- Las protecciones de sobrecarga de las fases, no resultan ser efectivas para el neutro.
- Estas corrientes armónicas producirán disipación de calor a través de los conductores neutros.
- Incrementaran las pérdidas de energía, caídas de tensión y sobrecargas en los equipos de potencias (Tableros, Protecciones, Transformadores, etc.)

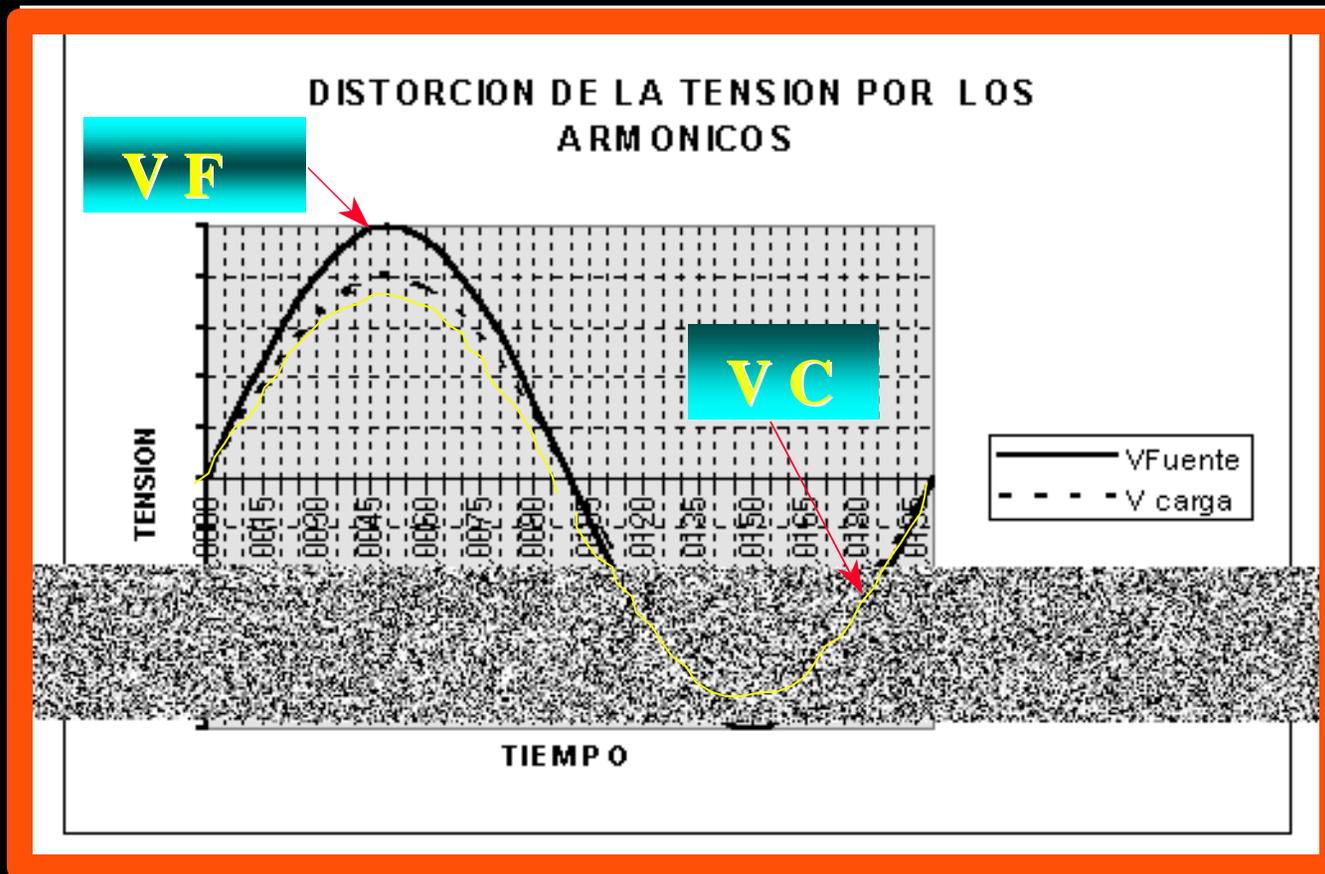
# DISTORSIÓN EN LA FORMA DE LA SEÑAL DE TENSIÓN

- \* Efecto de la caída de tensión, sobre V Carga

## CONSUMO LINEAL

- Se asume un 10%de caída de tensión en los conductores de la instalación.
- Sin Armónicas de 3<sup>o</sup> y 5<sup>o</sup> orden, presentes en la señal de corriente.

# CONSUMO LINEAL



# DISTORSIÓN EN LA FORMA DE LA SEÑAL DE TENSIÓN

\* Efecto de la caída de tensión, sobre V Carga

## COSUMO NO LINEAL

- Se asume un **10% de caída de tensión** en los conductores de la instalación
- Consumo No lineal
- Armónicas de 3<sup>o</sup> y 5<sup>o</sup> orden, presentes en la señal de corriente.

# CONSUMO NO LINEAL



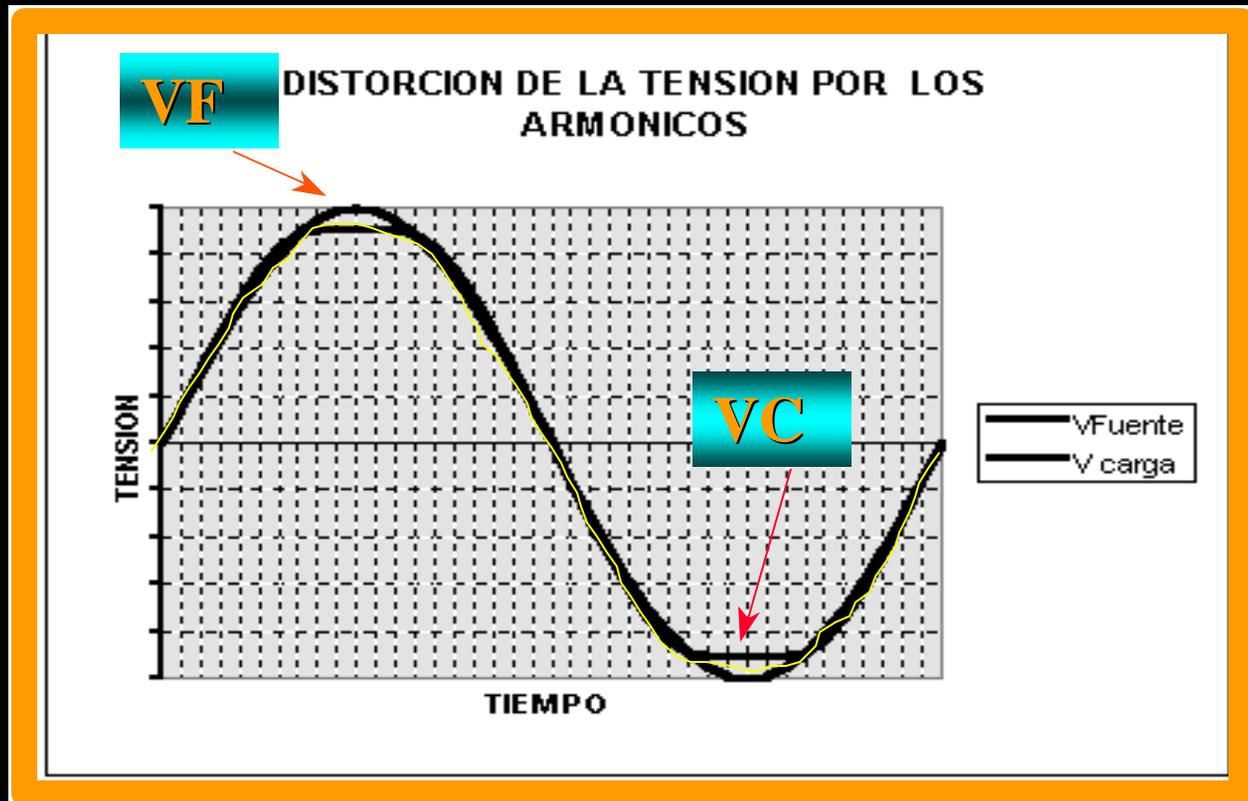
# DISTORSIÓN EN LA FORMA DE LA SEÑAL DE TENSIÓN

\* Efecto de la caída de tensión , sobre V Carga

## COSUMO NO LINEAL

- Se asume un 2% de caída de tensión en los conductores de la instalación
- Consumo No lineal
- Armónicas de 3° y 5° orden, presentes en la señal de corriente.

# CONSUMO NO LINEAL



# CLASIFICACIÓN DE LOS ARMONICOS

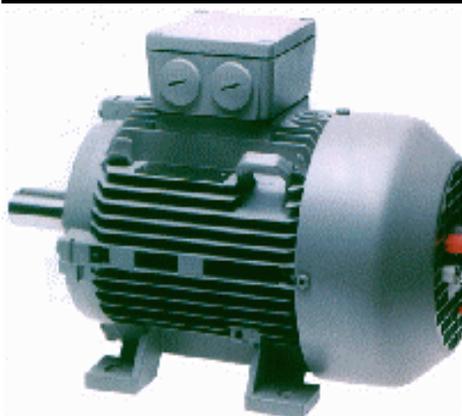
- En conclusión TIENEN: Nombre, Frecuencia y secuencia

NOMBRE	F	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
FRECUENCIA	60	120	180	240	300	360	420	480	540
SECUENCIA	+	-	0	+	-	0	+	-	0

\*Los Armónicos desaparecen cuando son simétricos

Secuencia	Rotación	Efecto En Motores	Efectos En El Sistema
Positiva	Directa(RST)	Crea un CM de rot directa	Calentamiento
Negativa	Inversa(RTS)	Crea un CM de rot. Inversa	Calentamiento
Cero	Ninguna	Ninguno	Calentamiento Crea una corriente en el neutro (TRIPLENS)

# Efecto de los armónicos en la instalación eléctrica

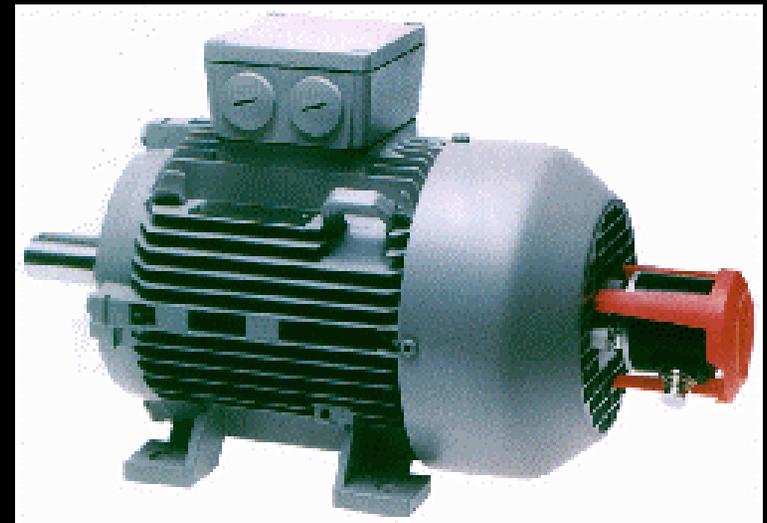


**Las instalaciones eléctricas industriales se ven afectados por las corrientes y tensiones armónicas así como existe influencia en equipos de medición control y protección.**

# Efecto de los armónicos en la instalación eléctrica

## Efecto en motores :

- **Funcionamiento irregular en Máquinas Eléctricas incrementándose las pérdidas por calentamiento en el núcleo (histéresis y corrientes parásitas).**
- **Bajo torque de partida, en Motores de gran potencia.**
- **El flujo de las corrientes armónicas de secuencia negativa: 5th, 11th etc, producen frenado en los motores AC creando vibración e inestabilidad mecánica.**



# Efecto de los armónicos en la instalación eléctrica

## Efecto en grupos electrógenos :

- Los generadores al ser dimensionados para la carga son muy susceptibles de calentamientos por la presencia de armónicos por lo que deben sobredimensionados.

## Efecto en tableros

- Éstos son diseñados para la frecuencia fundamental, y pueden presentar resonancia mecánica debido a campos magnéticos producidos por las corrientes armónicas.
- y empieza a vibrar a frecuencias superiores, frecuencia de los armónicos.

# Efecto de los armónicos

## Efecto en conductores

Las corrientes armónicas producen pérdidas en los conductores debido a:

- Pérdidas por efecto joule.
- Pérdidas por efecto pelicular.
- Pérdidas por efecto de proximidad entre cables, debido a las corrientes parásitas entre cables próximos entre sí.



# Efecto de los armónicos

## Efecto en conductores

Sin Armónicos la corriente por el neutro es aproximadamente igual a cero.

Con Armónicos, en redes de cuatro hilos en el neutro se suman los Armónicos TRIPLENS

El neutro al no tener protección por sobre corriente puede originar incendio.

La CBEMA recomienda que el neutro sea el doble de sección de los conductores de fase, para alimentadores de cargas no lineales.

**ARMÓNICOS TRIPLENS:** Extraños múltiplos impares de la tercera Armónica. (  $9^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $21^{\circ}$  etc.. )

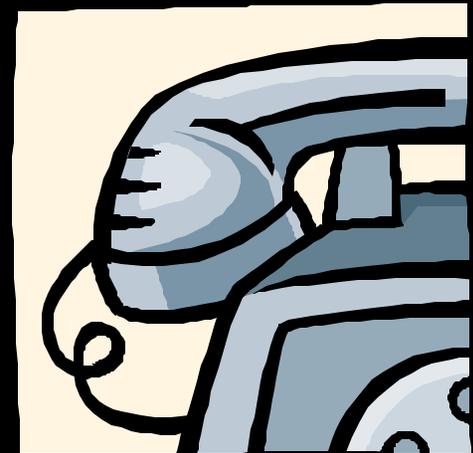
## Efecto en interruptores automáticos

- Los elementos térmicos que están diseñados para sobrecarga actúan debido al incremento de la corriente armónica.
- Los interruptores electrónicos detectores de picos reaccionan ante los picos de la onda de corriente armónica.



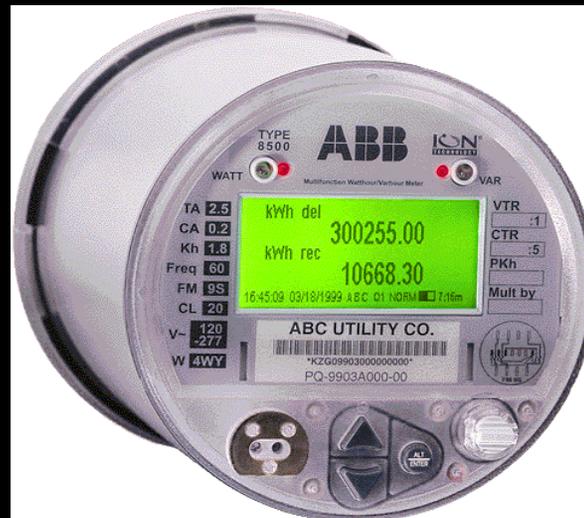
## Efecto en telecomunicaciones

- Las corrientes armónicas causan interferencia en equipos telefónicos, por estar las armónicas cercanas a las frecuencias de telefonía.



## Efecto en equipos de medición

- Las lecturas erróneas de los contadores de energía calibrados para potencia senoidal pura
- En contadores de inducción presentan mayor consumo, por ejemplo un contador clase 2 dará un error suplementario de 0,3% con una tasa del 5% para el 5to armónico de I y U.



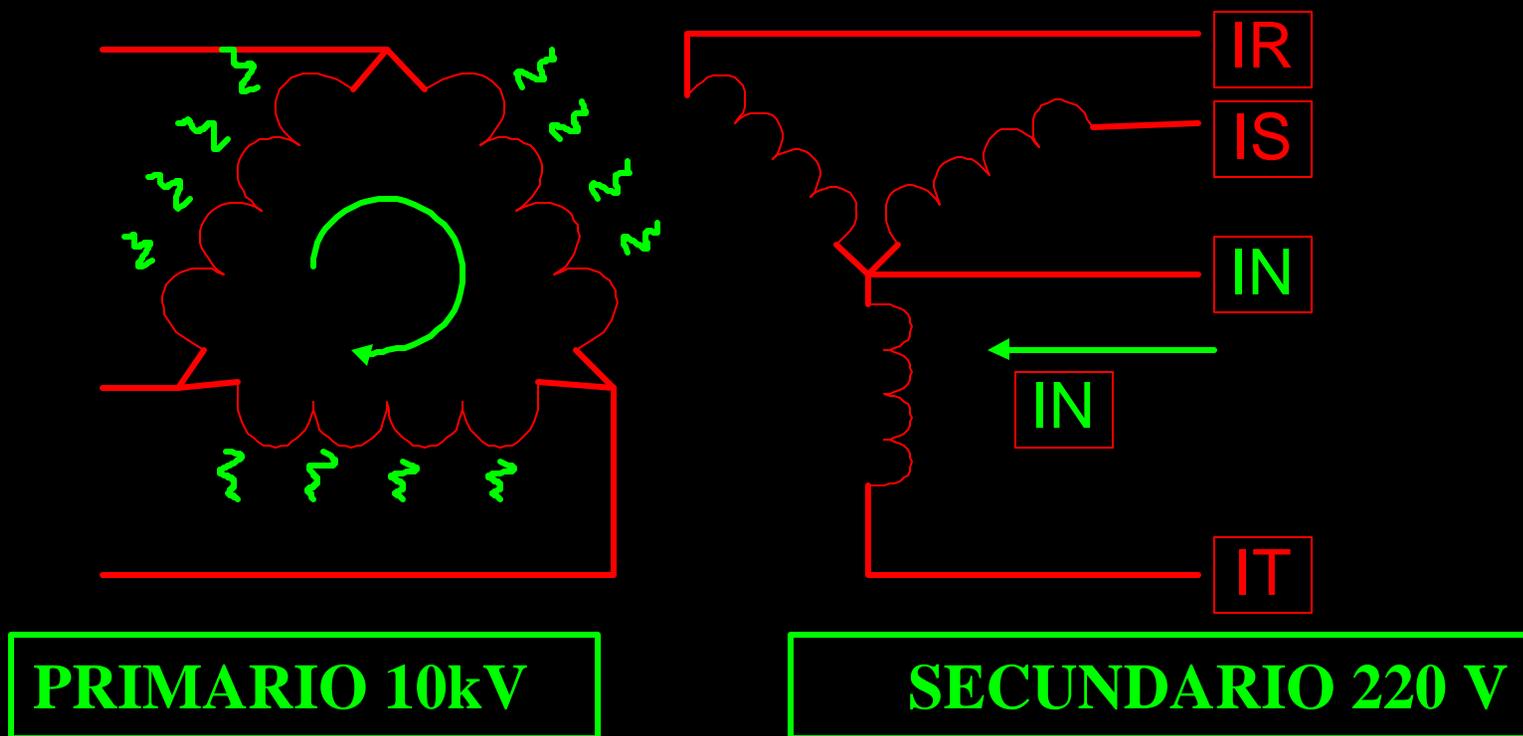
## Efecto en transformadores

- Los transformadores estándares están diseñados para operar a frecuencia 60 HZ. Por lo que no trabajan en la presencia de armónicos.
- Las terceras armónicas crean perdidas en el hierro del núcleo, debido a las corrientes parásitas y causan saturación del núcleo.
- Todo ello conlleva a temperaturas altas, degradación del aislamiento y disminución de la vida útil.
- Por lo que es necesario ante la presencia de armónicos descalificarlo.



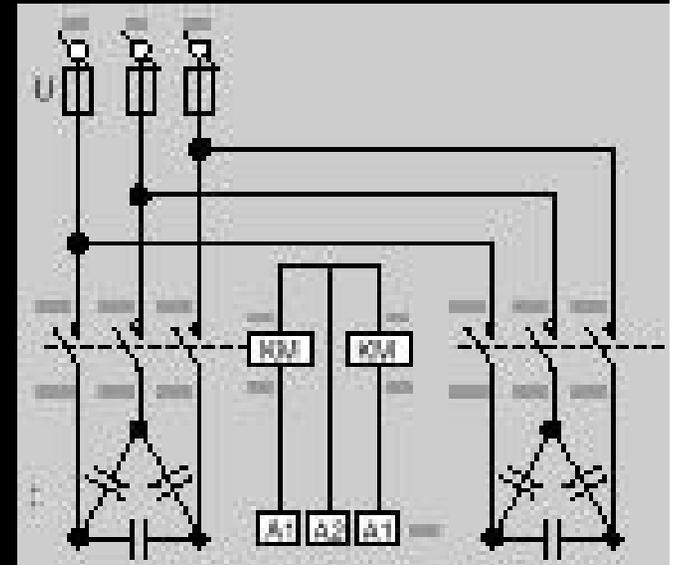
## Efecto en transformadores

Se refleja la corriente Armónica **TRIPLENS** en el primario del transformador y origina calentamiento en el núcleo.



## Efecto en capacitores

- Se origina incremento de la corriente en los capacitores por la presencia de armónicos , debido a que la corriente y la frecuencia en un condensador son directamente proporcionales.
- Estas corrientes altas destruyen fusibles, interruptores y al mismo capacitor y erróneamente los fusibles son reemplazados por uno de mayor capacidad, sin revisar el problema de fondo.

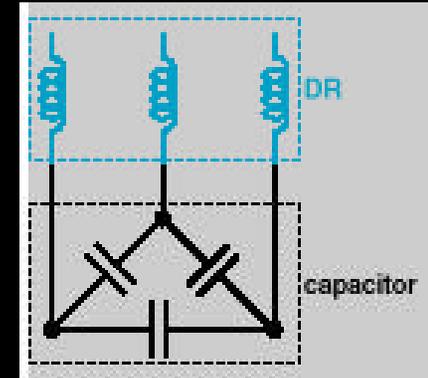


$$I_c = \frac{U}{X_c} = U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

# Efecto en capacitores

- La presencia de distorsión de la onda de tensión, origina perdidas adicionales en los condensadores



$$\text{perdidas} = \sum_{n=1}^{\infty} C \cdot \tan d \cdot W_n V_n^2$$

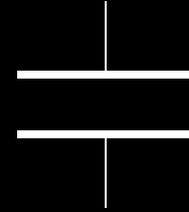
$\tan d = WRC$  es el factor de perdidas

$$W_n = 2\pi f_n$$

$V_n$  = valor eficaz de la tensión armonica n.

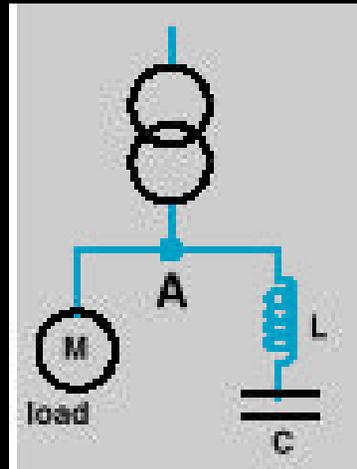


# Efecto en capacitores

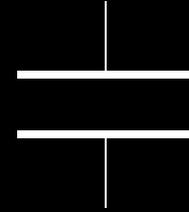


- La potencia reactiva de diseño incluyendo la fundamental y la de los armónicos no debe exceder la potencia reactiva nominal, se calcula según:

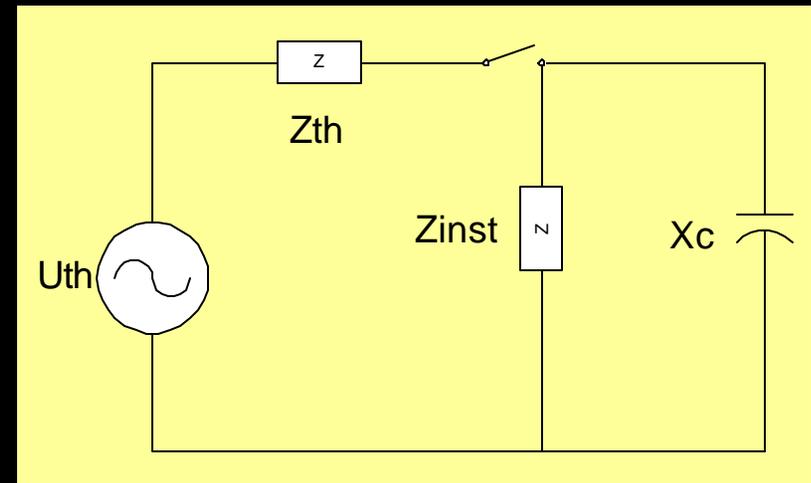
$$Q_D = \sum_{n=1}^{\infty} Q_n$$



# Efecto en capacitores



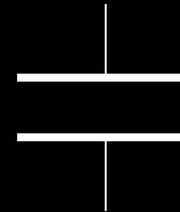
- La existencia de resonancia serie o paralelo, pueden causar sobre tensiones y sobre intensidades que aumenta considerablemente las perdidas y sobrecalentamiento de los condensadores.
- En el diseño del condensador hay que tener en cuenta toda las posibilidades de resonancia en la red.



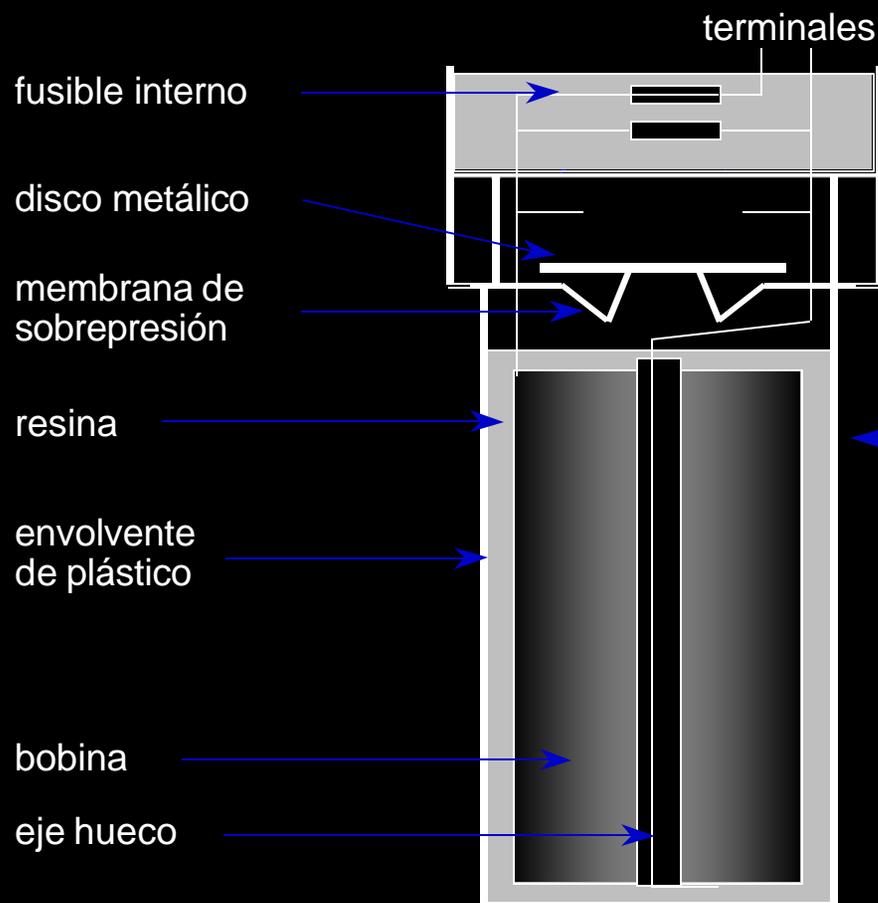
$$h_0 = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Sb_{co}}}$$

$$f_{res} = h_0 \times f_{red}$$

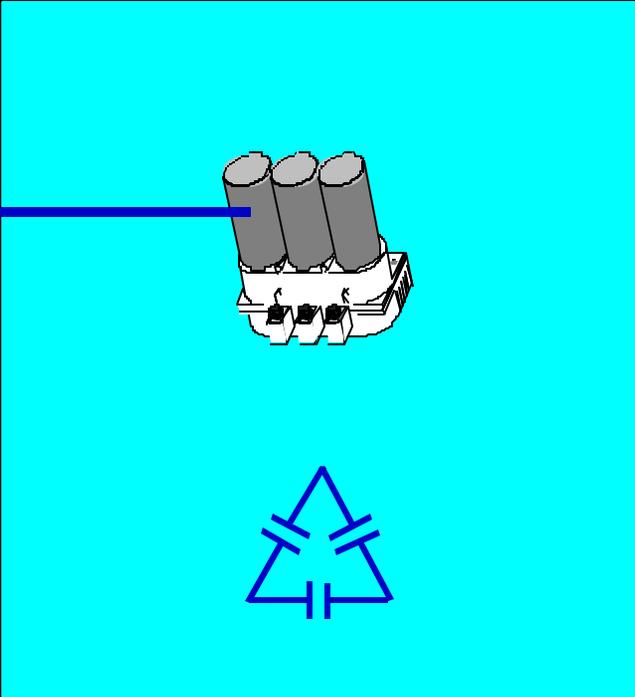
# Efecto en capacitores



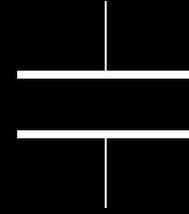
## VARPLUS LA SEGURIDAD HQ - COMPONENTES



**el sistema HQ  
... componentes**



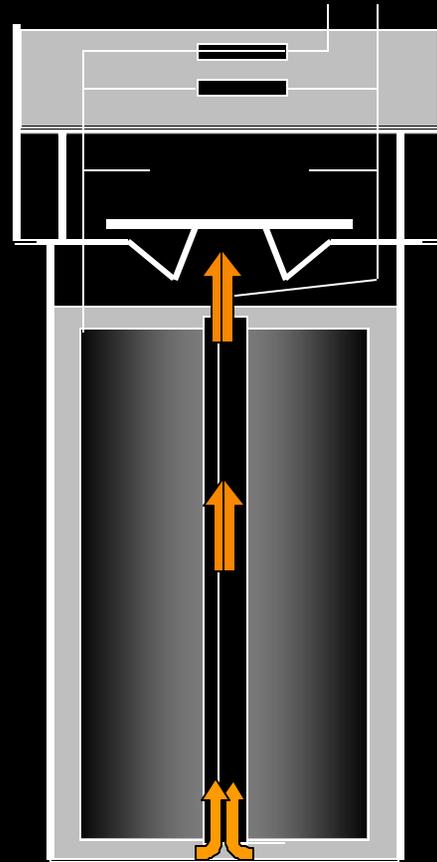
# Efecto en capacitores



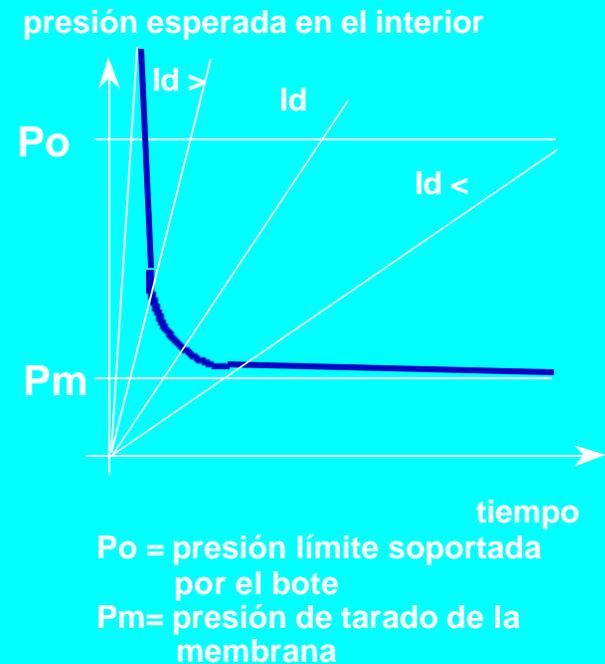
## VARPLUS ACTUACION DEL SISTEMA HQ (III)

■ el dieléctrico pierde su propiedad autocicatrizante

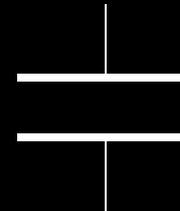
□ la presión de los gases aumenta paulatinamente y se transmite hasta la membrana.



el sistema HQ:  
la membrana de presión



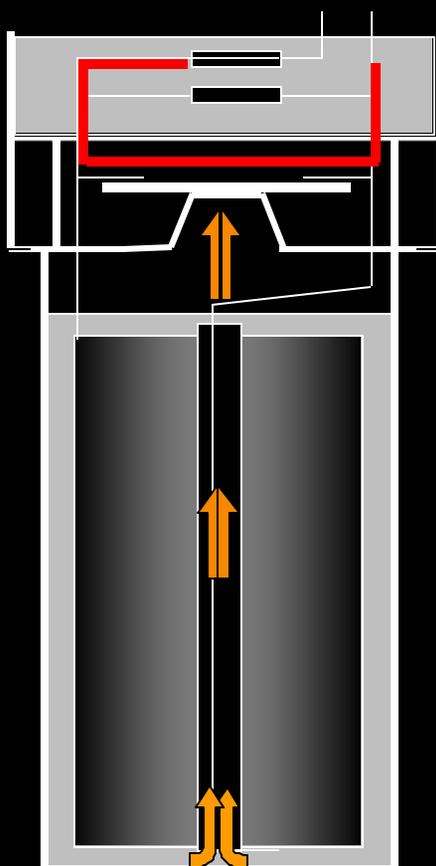
# Efecto en capacitores



## VARPLUS ACTUACION DEL SISTEMA HQ (IV)

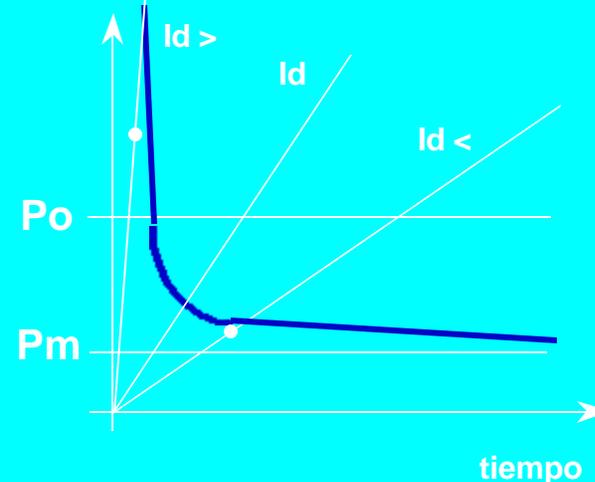
- ❑ la membrana cede
- ❑ el disco metálico solidario cortocircuita los bornes a través del fusible.
- ❑ el condensador deteriorado queda fuera de servicio

**ATENCIÓN:  
ACTUACION ÓPTIMA  
SOLO PARA  $I_d \ll$**



**el sistema HQ:  
la membrana depresión**

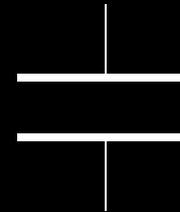
presión esperada en el interior



$P_o$  = presión límite soportada por el bote

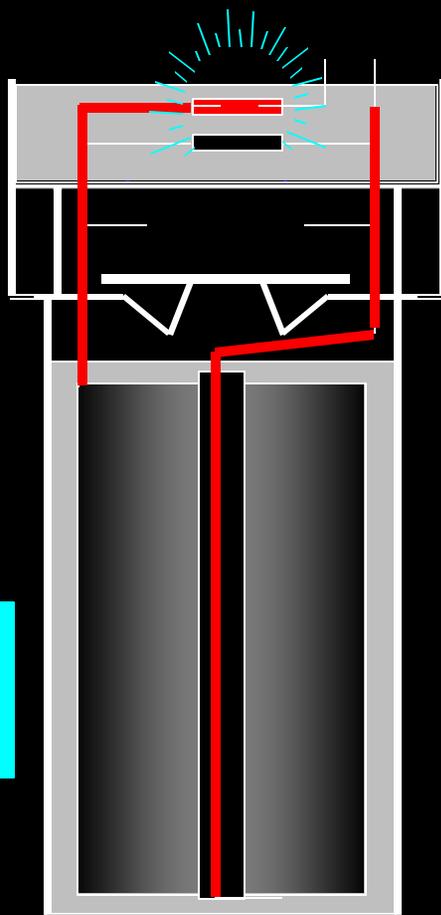
$P_m$  = presión mínima de tarado de la membrana

# Efecto en capacitores



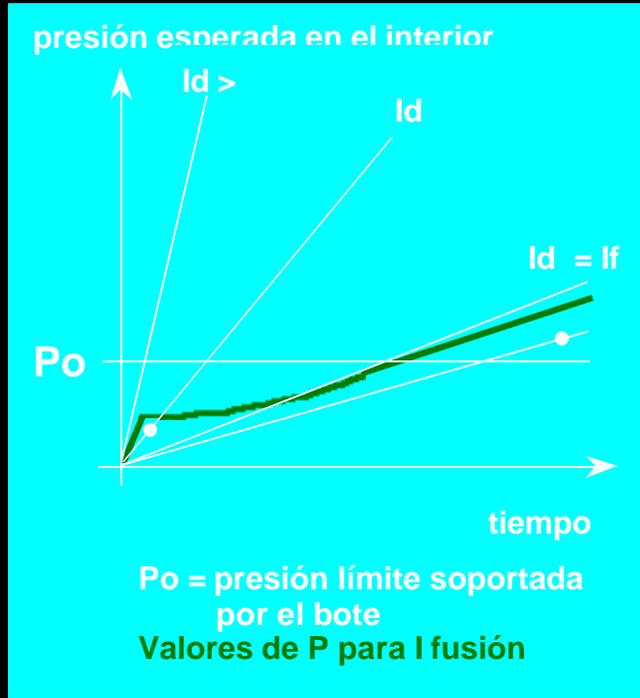
## VARPLUS ACTUACION DEL SISTEMA HQ (V)

□ el fusible funde para valores de  $I_d > I_{\text{fusión}}$



ATENCIÓN:  
ACTUACION ÓPTIMA  
SOLO PARA  $I_d \gg$

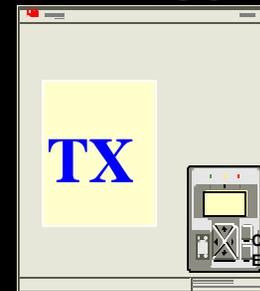
el sistema HQ:  
el fusible interno



## Efecto en equipos de Protección

Los armónicos pueden afectar el funcionamiento de los relees de protección, dependiendo de su diseño y principio de funcionamiento. La presencia de armónicos afecta, especialmente, a sistemas de protección digitales basados en muestreo de información y en los cruces por cero de las señales de tensión o corriente.

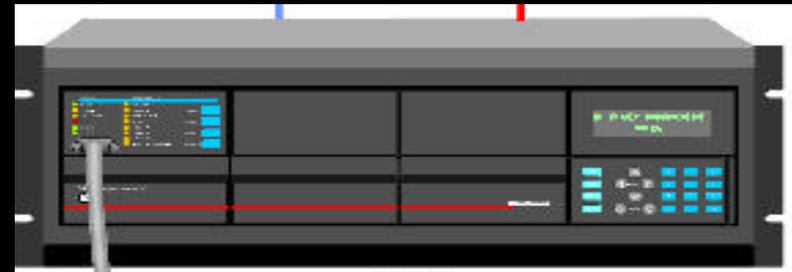
REL 561



## Efecto en equipos de Protección

En la actualidad no existen normas con indicación de los niveles de armónicos que deben soportar los relees, fusibles y disyuntores.

La respuesta de relees a señales distorsionadas varia, incluso, entre unidades de idénticas características nominales de distintos fabricantes o de distintos lotes de fabricación.



## Encontrando Armónicos

1. Medir corriente en cada línea (pinza normal)  $I_1$
2. Medir corriente en cada línea (pinza verdadero valor eficaz)  $I_2$
3. Divida  $I_1/I_2$  si es  $=1$  no hay armónicos si es  $=0.5$  hay armónico considerable
4. Analice la situación : **INVENTARIO DE CARGAS**, Verificando si hay cargas no lineales.
5. Comprobar calentamiento de Transformadores.
6. Medir en el secundario del transformador;  $V$  y  $I$  y determine su potencia  $S=1.73*VI$  si es menor a la nominal y se calienta hay armónicos

# ENCONTRANDO ARMÓNICOS

- MIDA La corriente del neutro y comparar con las otras fases (se permite 10% de desequilibrio)
- MIDA la frecuencia de la corriente del neutro si es 180Hz hay 3<sup>o</sup> armónica
- **COMPROBAR CORRIENTE EN LOS SUB PANELES** :verificando calentamiento de Barra colectora
- **COMPROBACIÓN DE LA TENSIÓN ENTRE NEUTRO Y TIERRA** :Esta tensión debe ser menor o igual a 2v.

## SOLUCIONANDO EL PROBLEMA

- **SOBRECARGA EN NEUTROS:** Balancear cargas entre fases aumentar neutros (neutros individuales), Instalar filtros en la carga.
- **REDUCCION DE LA CARGA DEL TRANSFORMADOR:** Proteger a los transformadores limitando su capacidad, calculando el Factor de Distorsión Total (**THDF**)  
 **$KVA(\text{corregido}) = THDF * KVA(\text{placa})$**

**$THDF = 1.4142 * I_{ef}(\text{promedio}) / I_{rms}(\text{promedio})$**

- **Relación de potencia:**

**DONDE;**

**$L_{ni}$**  = carga no lineal

**$L_t$**  = carga total

$$RP = \sqrt{\frac{\sum L_{nl}}{\sum L_T}} \leq 0.2$$

**EJEMPLO:** Se tiene un transformado 500kVA, 10/0.23 KV Dy5 se obtiene las siguientes mediciones.

Calcular la nueva potencia del transformador.

Fase	I <sub>ef</sub> (A)	I <sub>rms</sub> (A)
R	900	1700
S	905	1800
T	600	1600

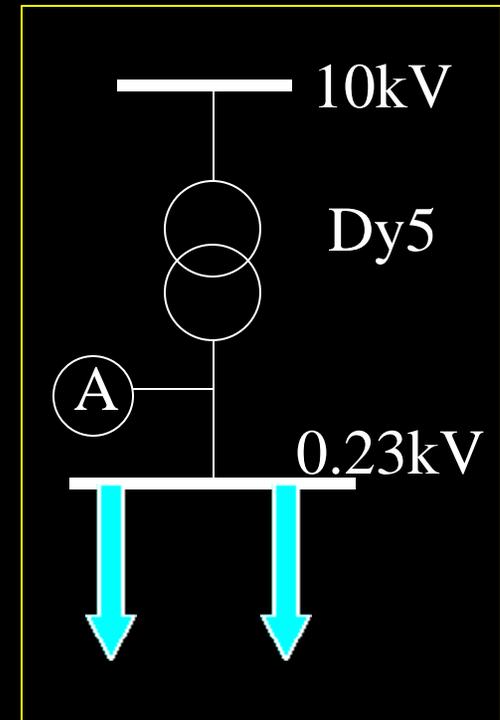
**SOLUCIÓN:**

$$I_{ef}(prom.) = 801.6A$$

$$I_{rms}(prom.) = 1700A$$

$$THDF = 1.4142 * 801.6 / 1700 = 66.7\%$$

$$KVA (corregido) = 0.667 * 500 = 333.5kVA$$



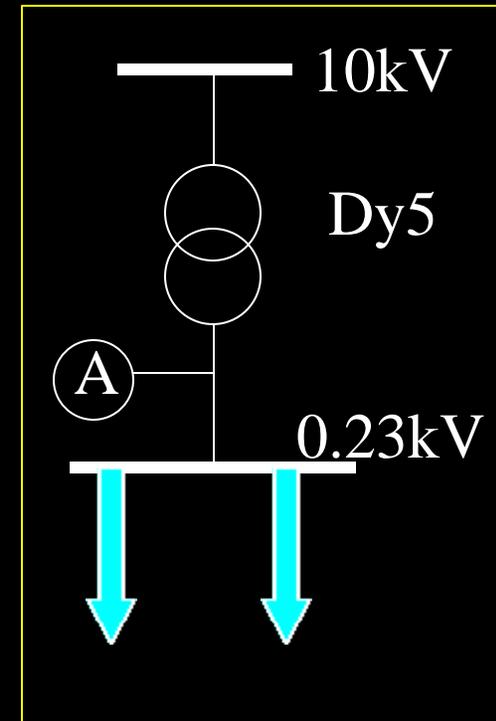
**A  
P  
L  
I  
C  
A  
C  
I  
O  
N**

## Factor K, en función del orden de armónico medido:

$$K = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1 \sum_{n=2}^{n=\infty} H_n^2 n^{1,6}}}$$

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

Calcular el factor K de un transformador si:  
 H5=25% ; H7=14% ; H11=9% ; H13=8%  
 K= ?



$$K = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[ (0,25)^2 (5)^{1,6} + (0,14)^2 (7)^{1,6} + (0,09)^2 (11)^{1,6} + (0,08)^2 (13)^{1,6} \right]}} = 0,9128$$

$$S_{nk} = 500 \times 0,9128 = 456 \text{ KVA}$$

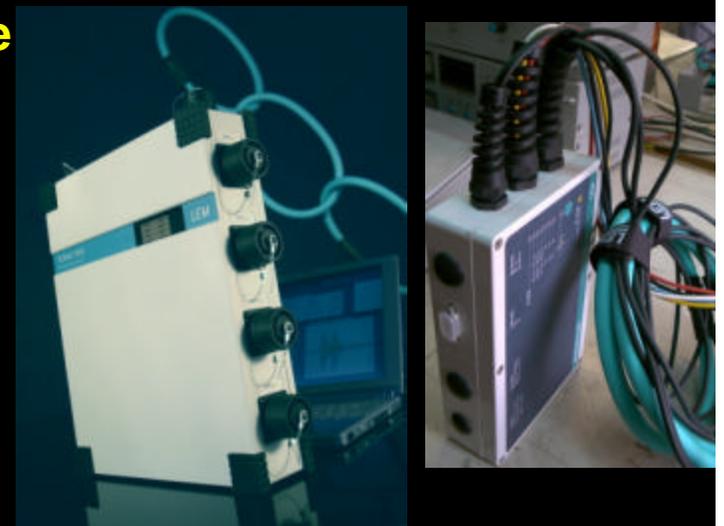
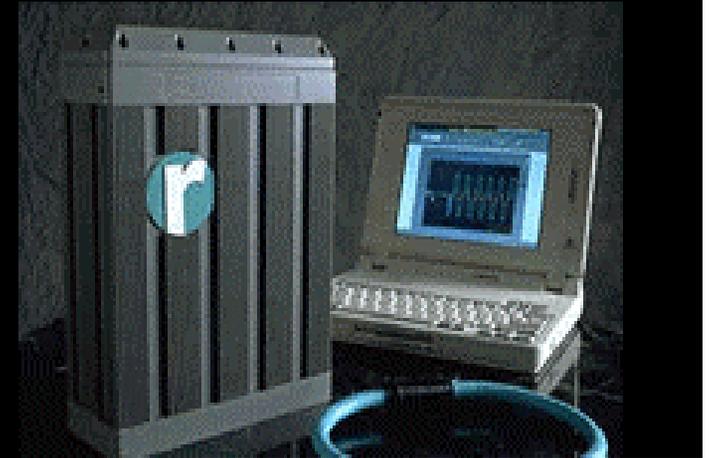
## Medición de ARMONICOS

UTILIZAR  
INSTRUMENTOS  
DE MONITOREO  
INTEGRALES Y  
MULTIFUNCION



# Selección de equipos

1. Fácil traslado y permitir almacenamiento de la información en memoria no volátil mínimo por un tiempo de 2 periodos de medición, sin descargas parciales.
2. Deberán ser adecuados a la norma de seguridad eléctrica
3. Deben asegurar la inviolabilidad de los datos de programación y registro.
4. Deben de disponer de interfase óptica, serial o paralela para computadora y posibilidad de exportación en formato ASCII.
5. Los valores representativos deben ser obtenidos por post procesamiento mediante software externo.
6. La clase de precisión de los TP y TC en conjunto con el equipo debe ser similar al usado en la facturación comercial.



# Selección de equipos

1. Los equipos de medición y registro deben tener :

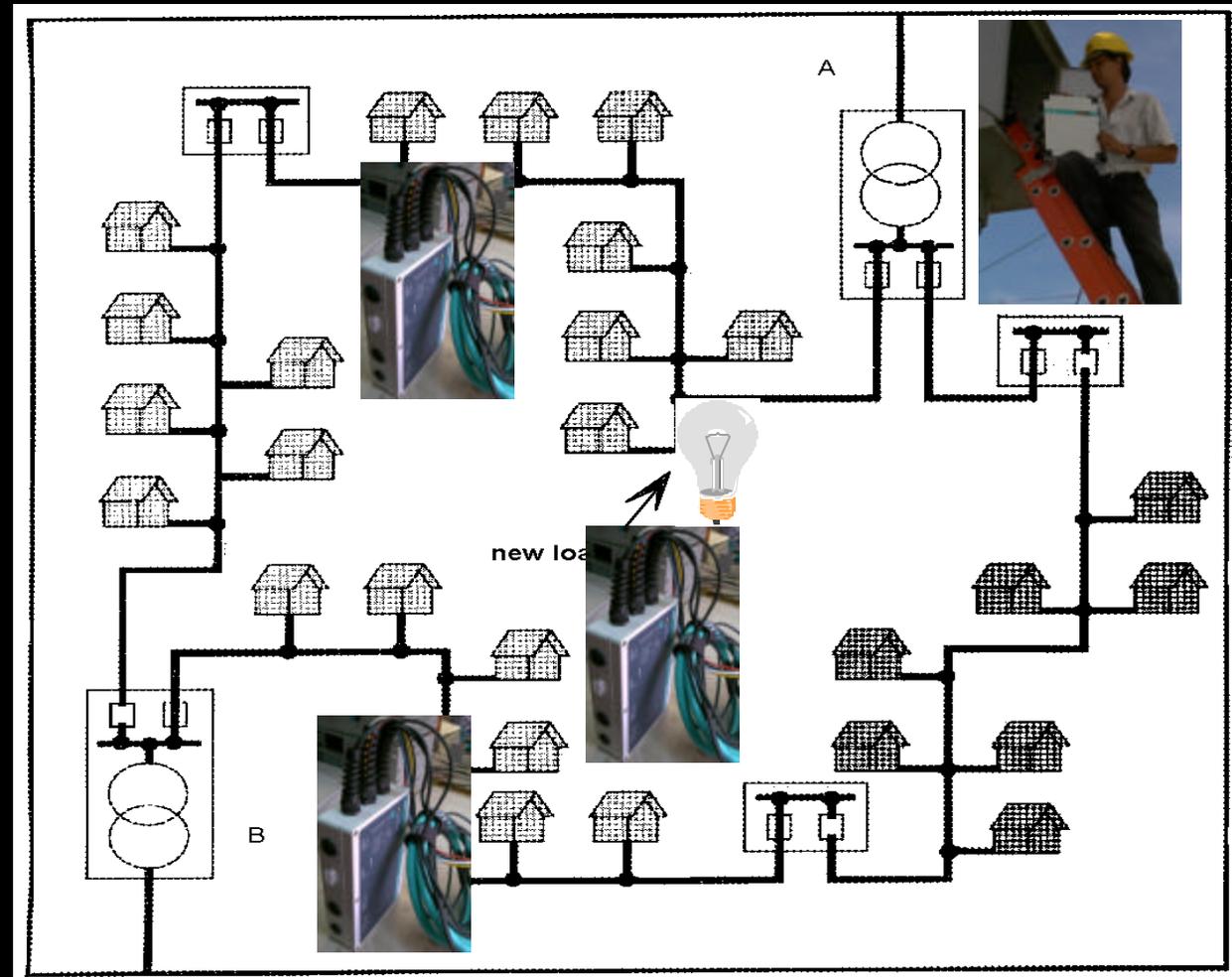
**Certificación** de organismos y/o entidades competentes y sus **especificaciones técnicas** deben ser aprobadas por **OSINERG** con anterioridad a su uso.(DS N° 13-2000- EM)

2. Certificación de los siguientes ensayos tipo según normas IEC. (Base Metodológica 09-09-00)

- Ensayos de aislamiento
- Ensayos de compatibilidad electromagnética
- Ensayos climáticos
- Ensayos mecánicos
- Ensayos de clase de precisión.



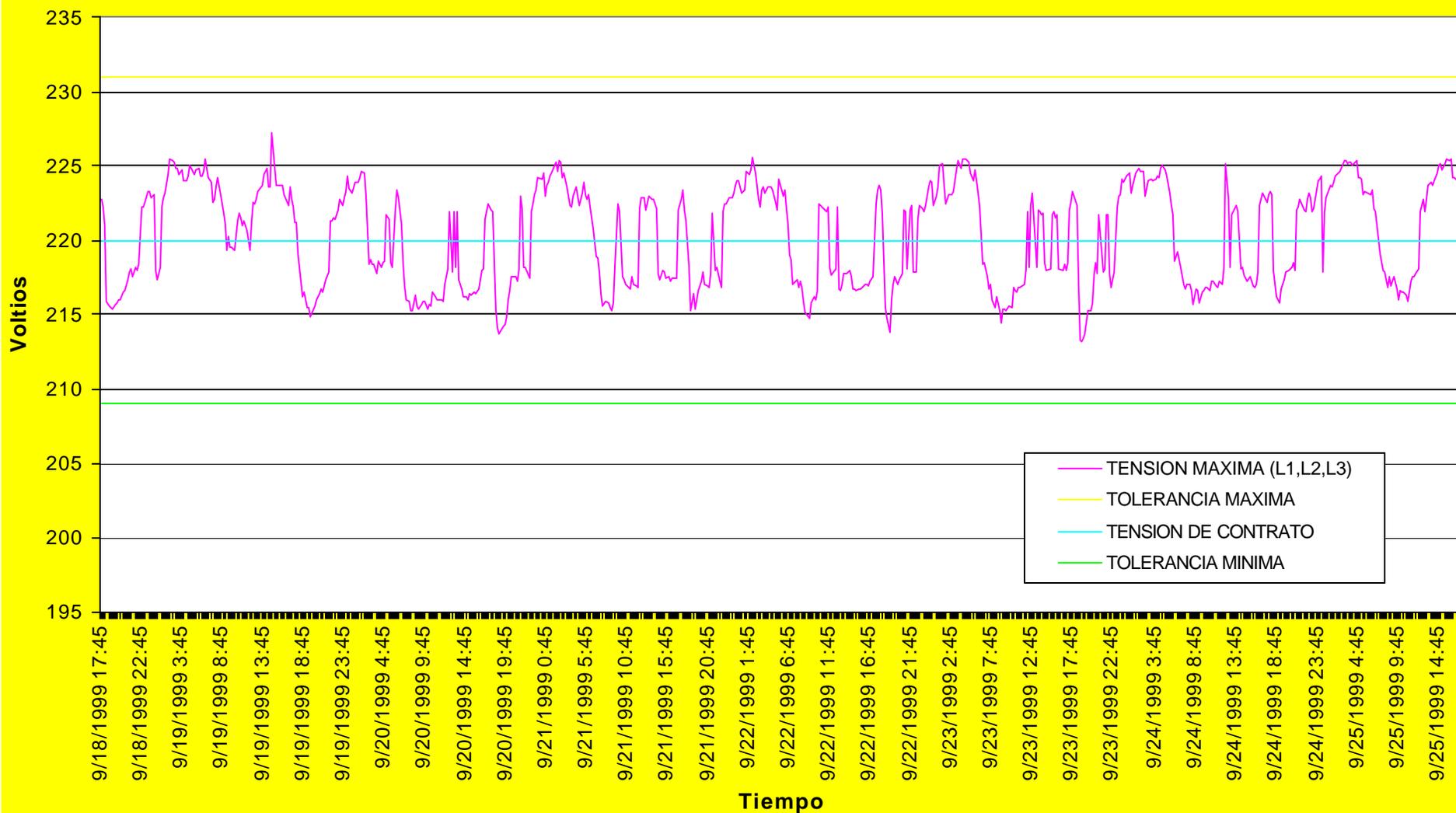
# Mediciones estratégicas simultaneas



# Resultado de mediciones de campo

TENSION MAXIMA (L1,L2,L3)

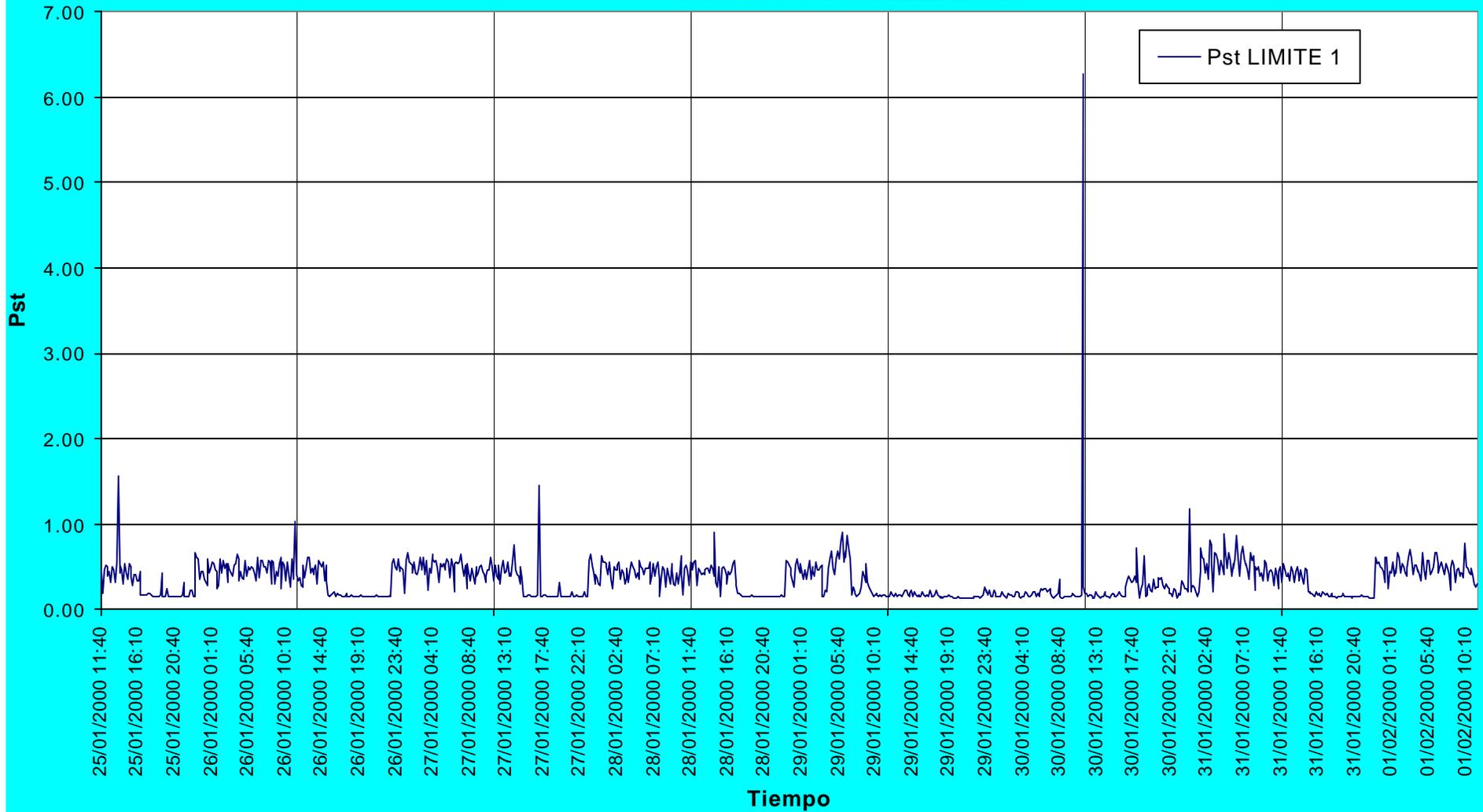
EMAPE\_220V





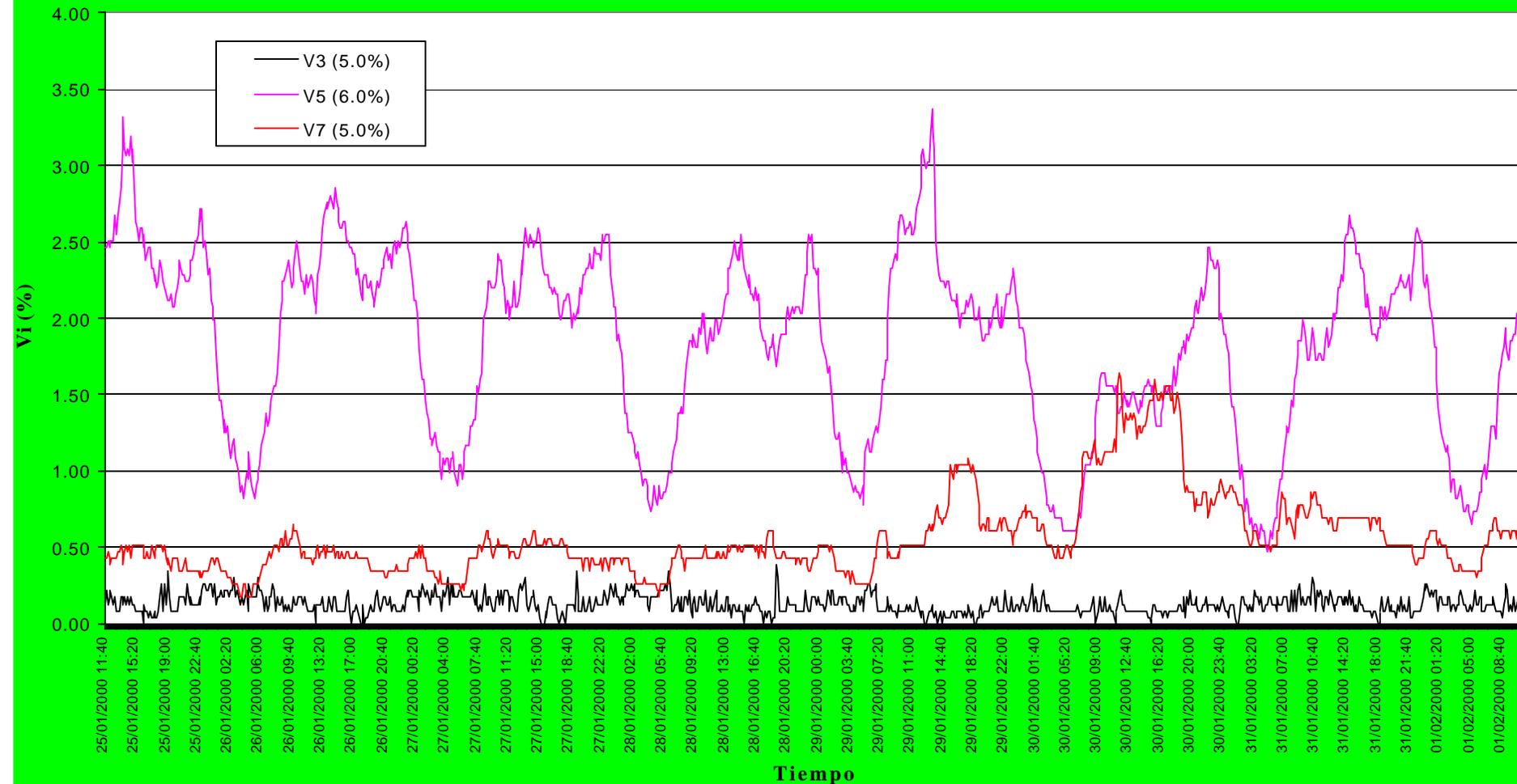
# Resultado de mediciones de campo

INDICE DE SEVERIDAD POR FLICKER  
CIRCUITO TOTALIZADOR



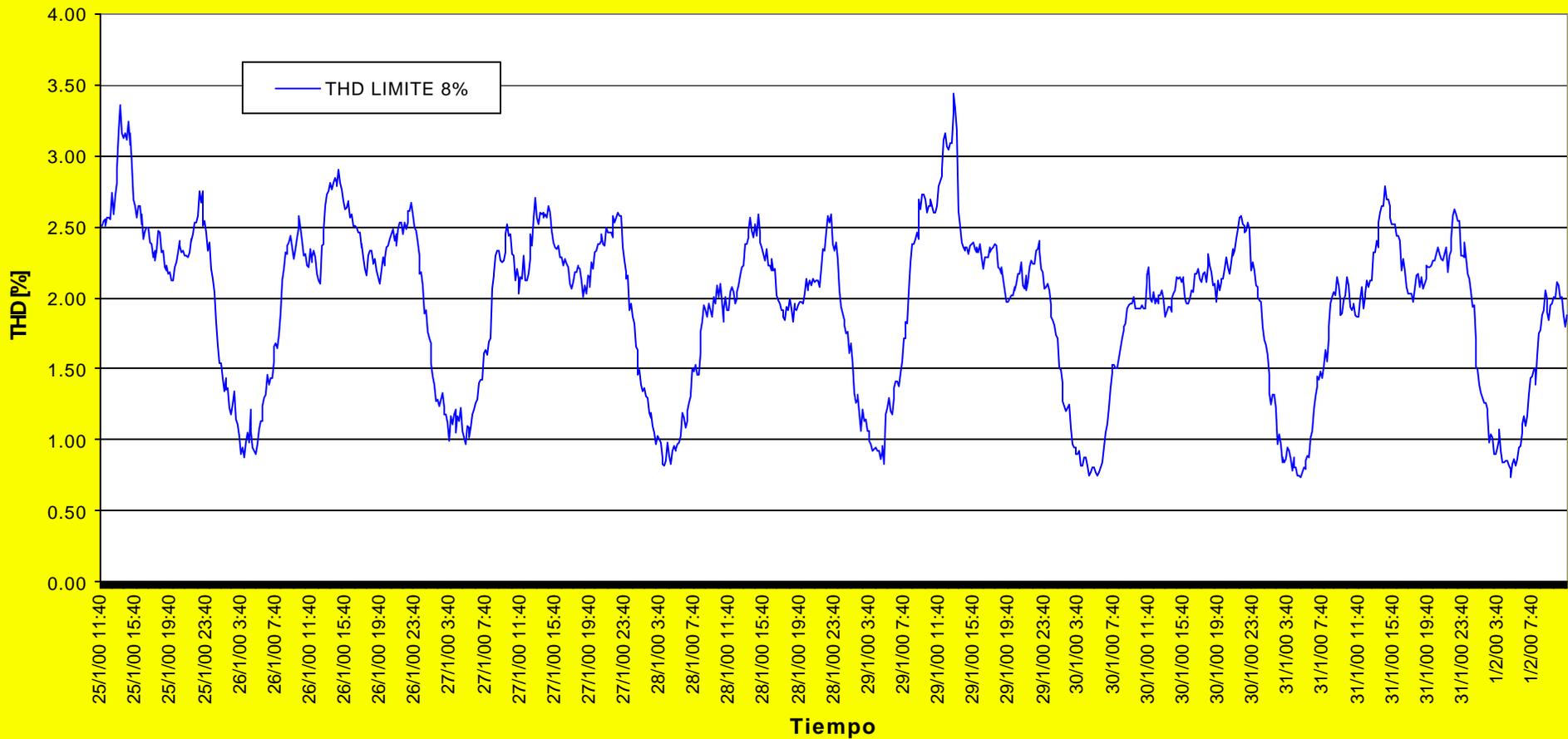
# Resultado de mediciones de campo

## TENSIONES ARMONICAS MAXIMAS CIRCUITO TOTALIZADOR



# Resultado de mediciones de campo

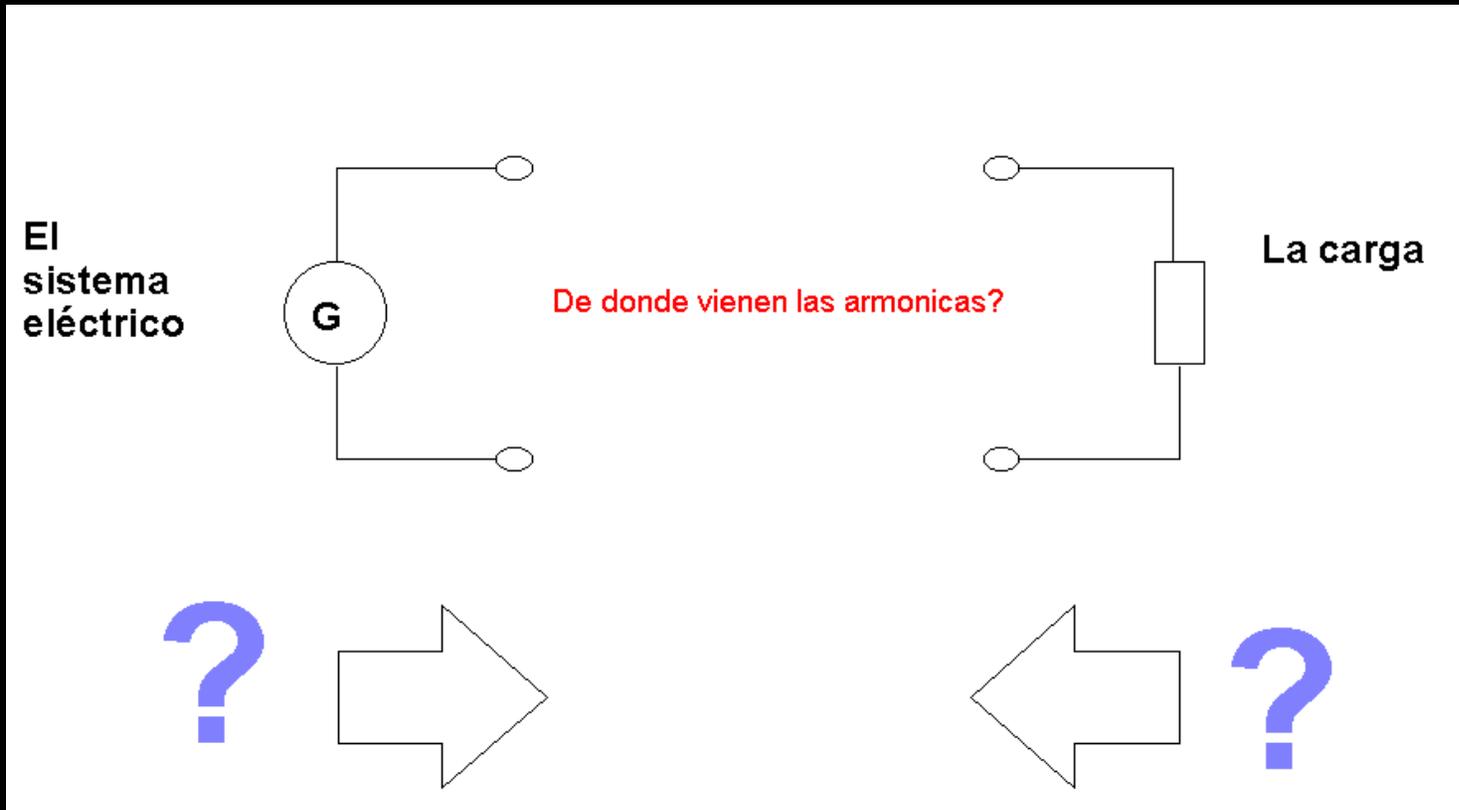
FACTOR DE DISTORSION TOTAL POR TENSIONES ARMONICAS  
CIRCUITO TOTALIZADOR



# METODOS PARA LA EVALUACION DE DIRECCIONALIDAD DE ARMONICAS

## 1. METODO DEL ANGULO ELECTRICO

Se entiende por direccionalidad al análisis de definir de donde provienen las armónicas.



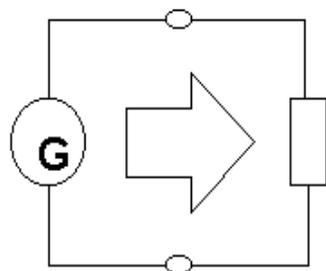
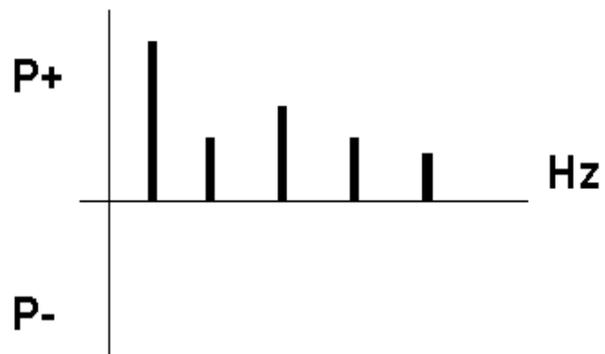
Para la aplicación del método expuesto se requiere efectuar mediciones de valores instantáneos de la armónicas de tensión y corriente en magnitud y en ángulo de Desfase.

$$P_h = V_h I_h \cos (\theta_{vh} - \theta_{ih})$$

(Potencia armónica = Tensión armónica x Corriente armónica x Cosenos)

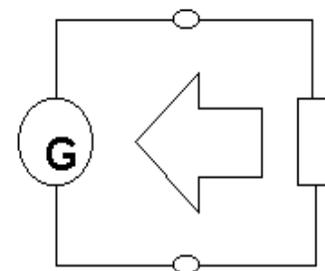
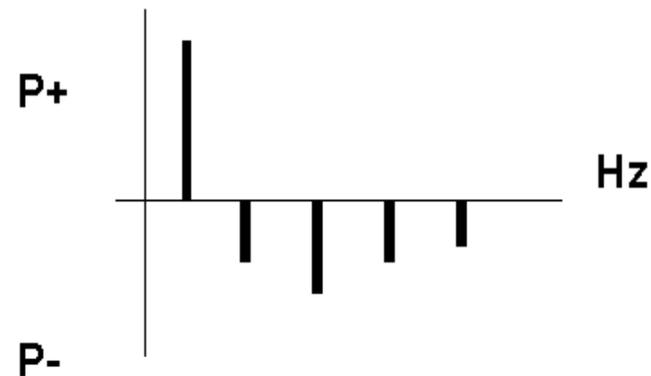
Potencia armónica  $\geq 0$ :

el sistema genera las armónicas



Potencia armónica  $< 0$ :

la carga inyecta al sistema



## 2. METODO DE Polaridad de la impedancia armónica

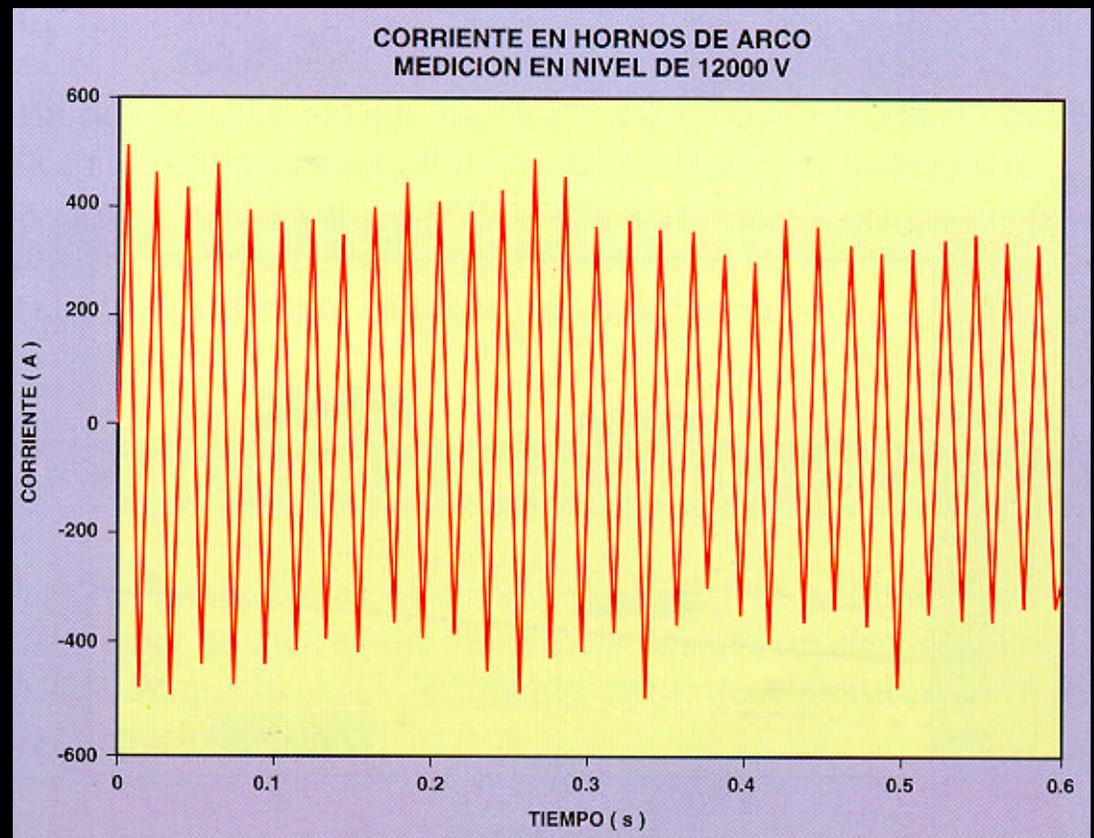
- La impedancia armónica(+)  $\geq$  a CERO La carga recibe energía armónica
- La impedancia armónica (-)  $<$  a CERO la carga inyecta al sistema.
- Solo valido Para armónicas significativas.

$$Z_h = \frac{V_h}{I_h} \cos(\Theta_{vh} - \Theta_{ih})$$

# Flicker

**Definición** : Son molestias visuales producidas en un usuario debido a fluctuaciones en la iluminación

**ORIGEN:** Cambios rápidos de carga producidos por equipos tales como **Hornos de arco**, **maquinas de soldadura** y **conexión-desconexión de grandes cargas**. Estas fluctuaciones, y sus correspondientes variaciones de corriente, son responsables de cambios en la Tensión.

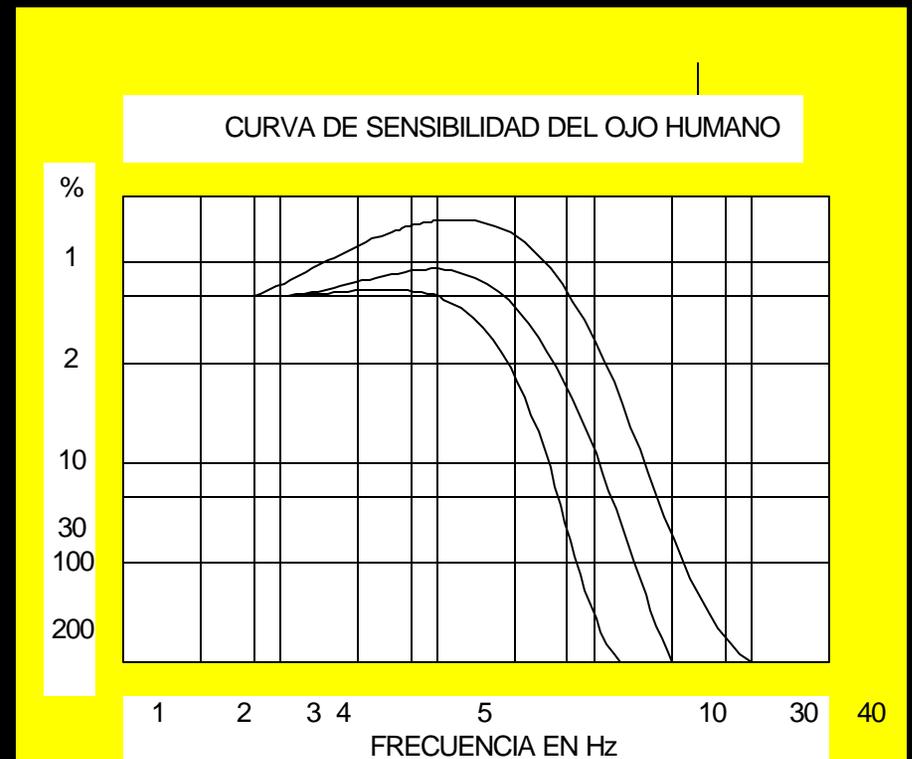


# Técnicas De Medición

Se evalúa el parpadeo a partir de un modelo del sistema **LAMPARA-OJO-CEREBRO** debido que a un cambio de iluminación corresponde un cambio en el valor eficaz de la tensión de línea (norma IEC-868-1986)

Se observa : **SENSIBILIDAD vs FRECUENCIA** Tiene un **comportamiento no lineal:**

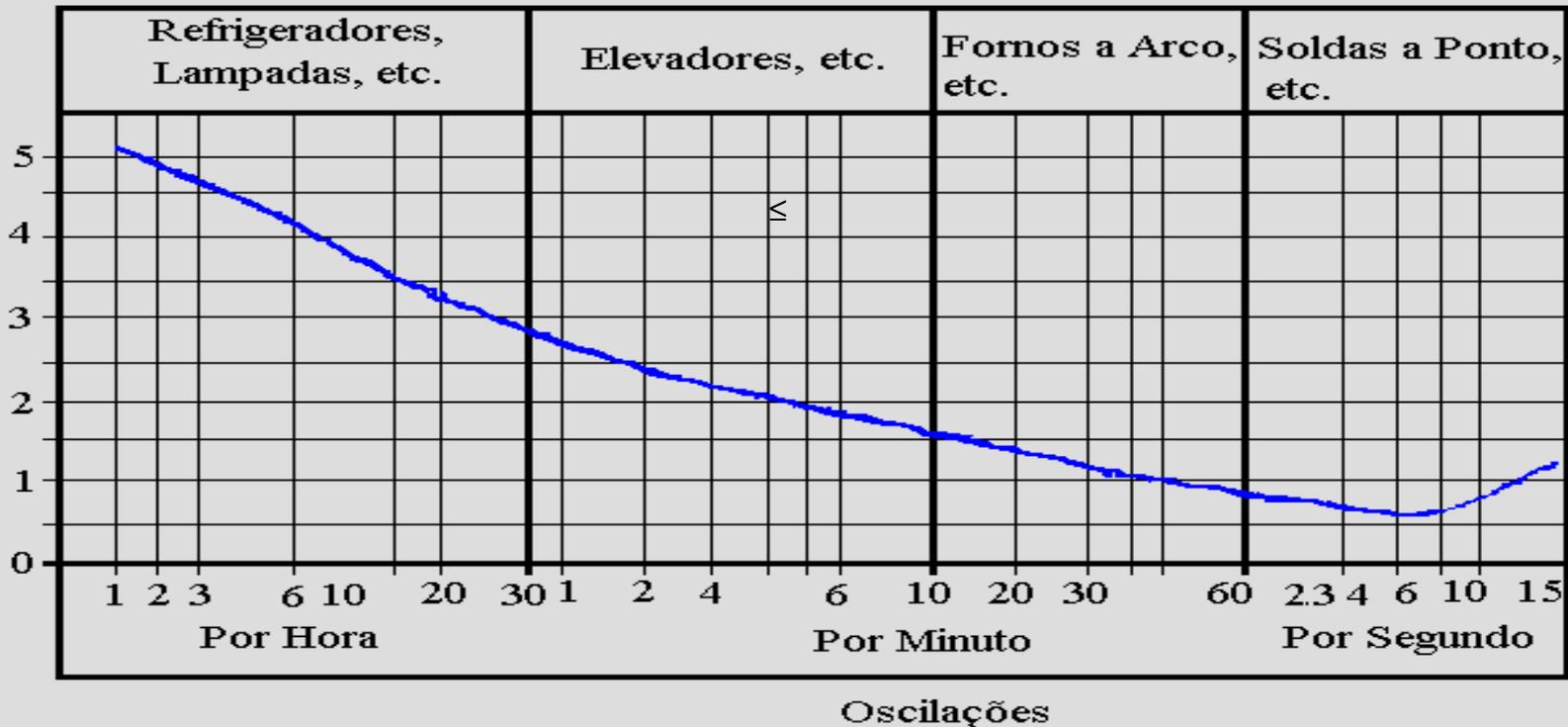
Para frecuencias < a 2 Hz es independiente de tensión y frecuencia ,Sensibilidad máximo para 9 Hz y decrece para mayores a 12 Hz



# Perceptibilidad de flicker

Máxima amplitud tolerable de las variaciones de tensión Vs variaciones de la frecuencia.  $P_{st} <= 1$  (MAT, AT, MT y BT)

Oscilações de Tensão [%]



**Límites de percepción de efecto flicker en lámparas incandescentes**

# Evaluación del flicker

Índice de severidad por Flícker de corta duración  
(Pst para 10 minutos)

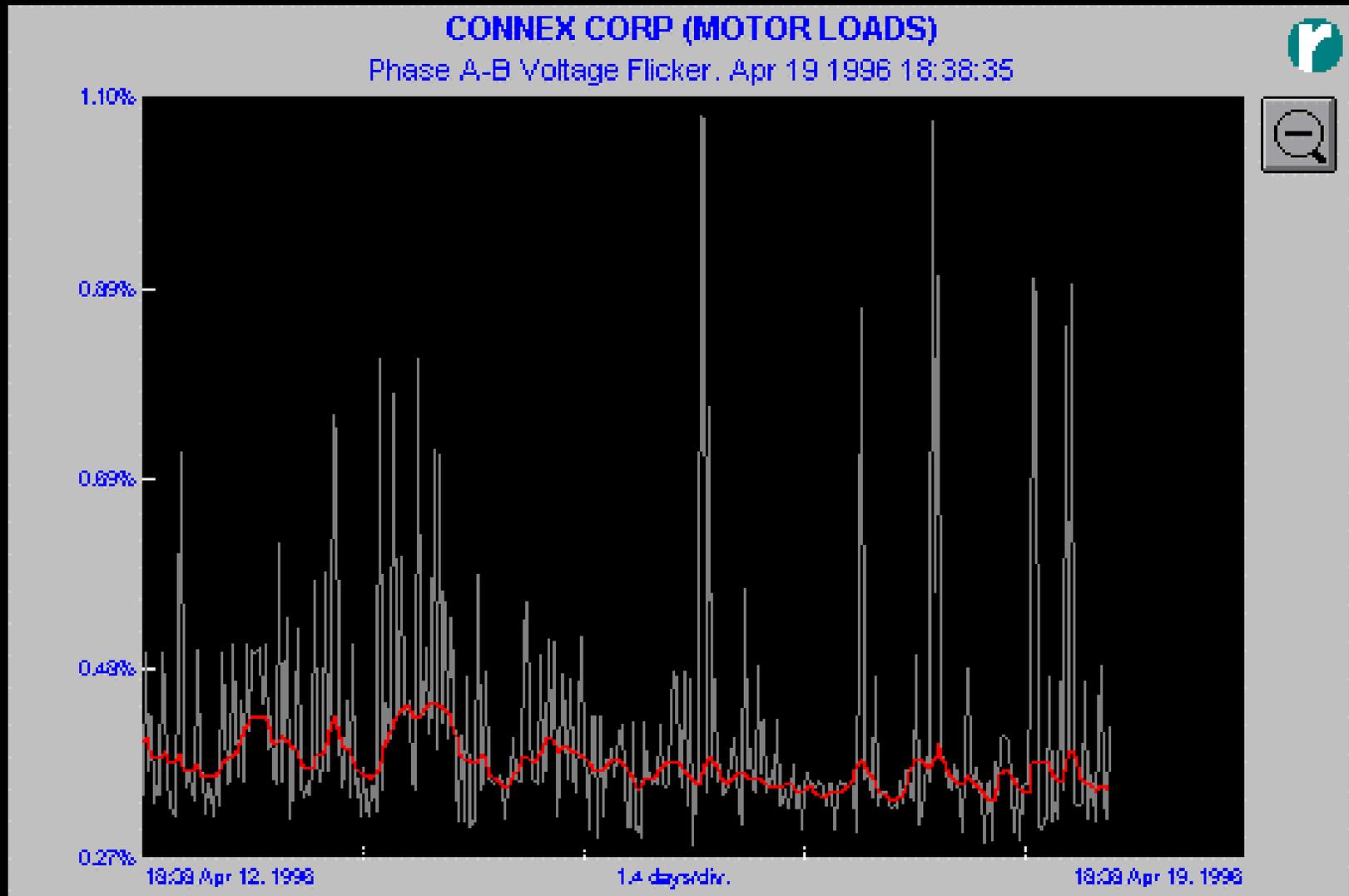
$$P_{st} = \sqrt{\sum_i a_i \cdot P_{ft}}$$

$P_{ft}$  = % de flicker a la frecuencia  $i$

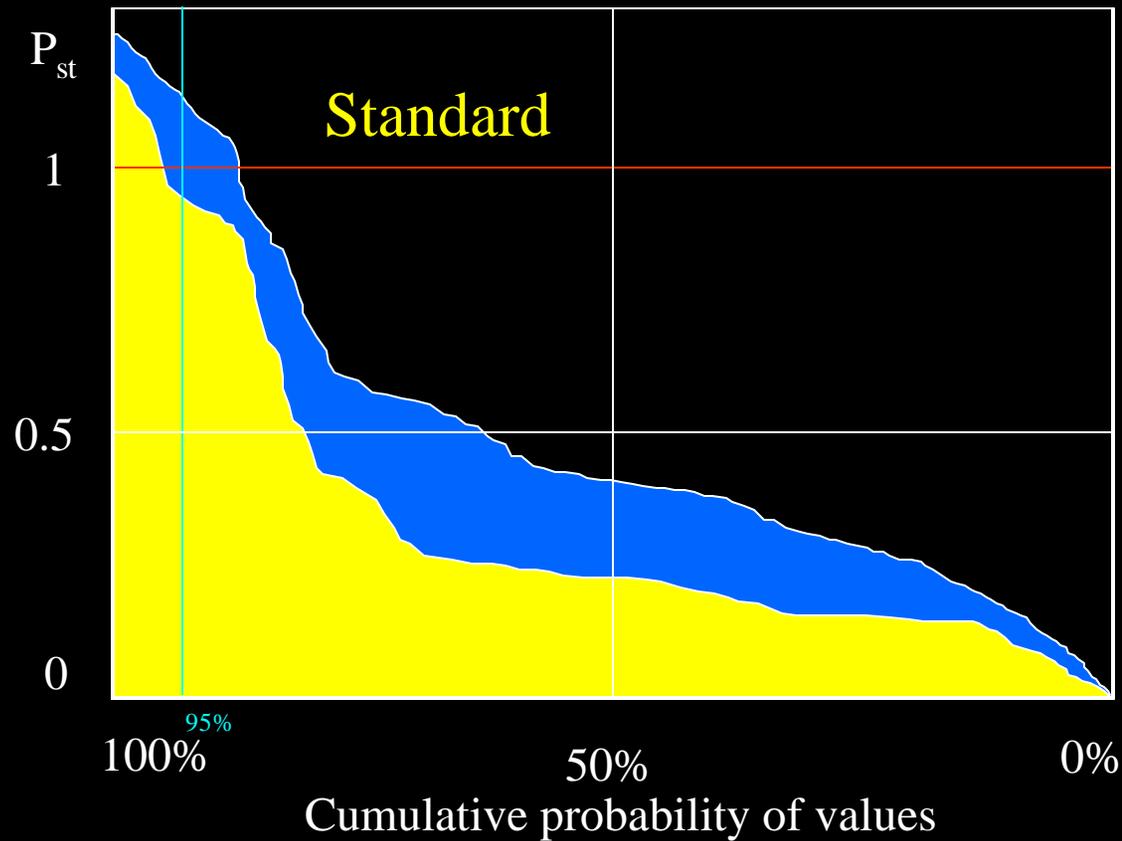
$a_i$  = coeficiente de Pst =1 a la frecuencia  $i$   
# de componentes

**Tolerancias:** máximo  $\leq 1$  (en MAT, AT, MT y BT)  
umbral de irritabilidad

# Visualización de Pst y Plt de flicker



# Limites de flicker según IEC 868 1000-3-7



**IEC 868, IEC 1000-3-7  
recommendations:**

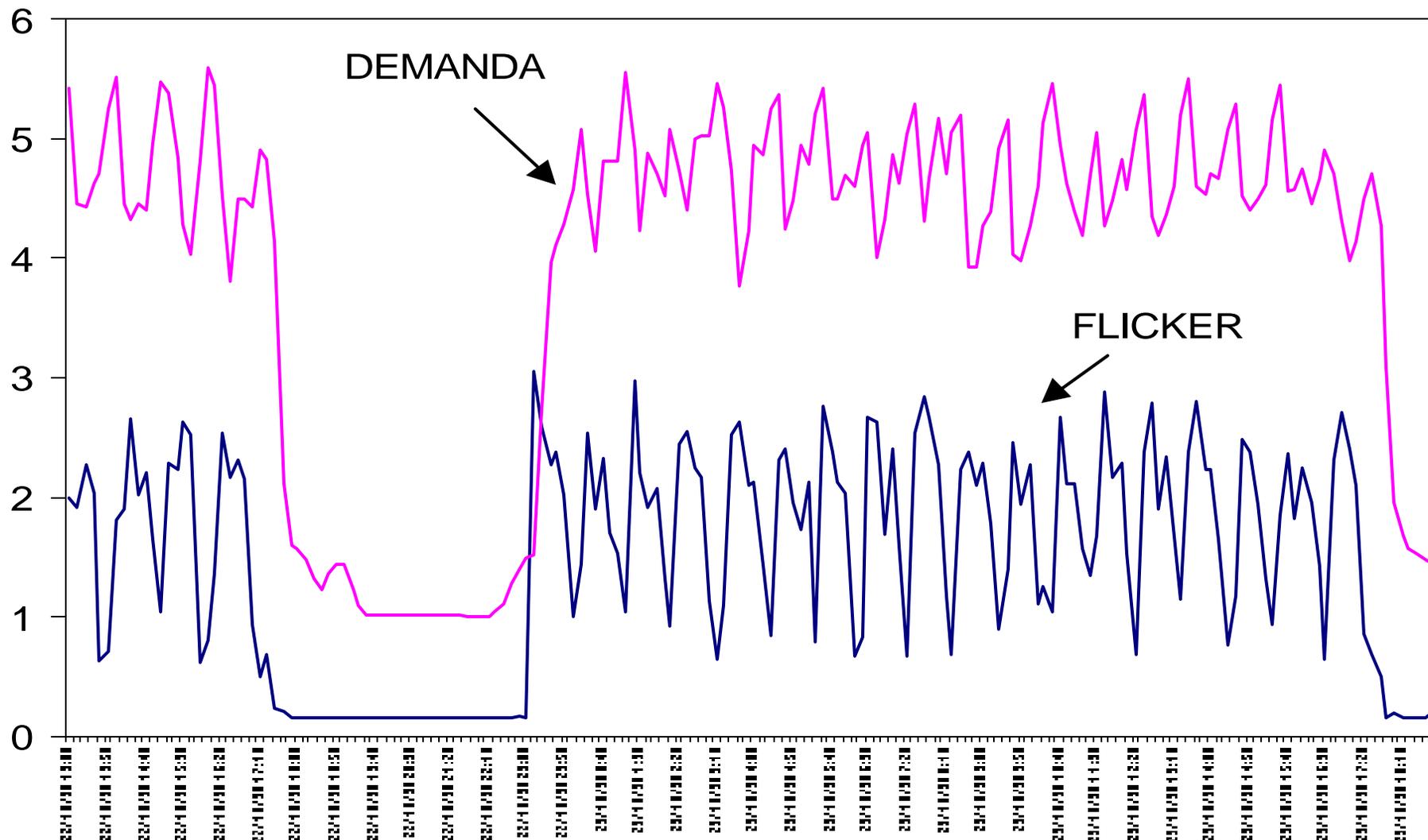
	<b>AT</b>	<b>MT</b>	<b>BT</b>
$P_{st} \text{ max}$	<b>0.8</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
$P_{lt} \text{ max}$	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>

# Metodología para determinar direccionalidad del Flicker

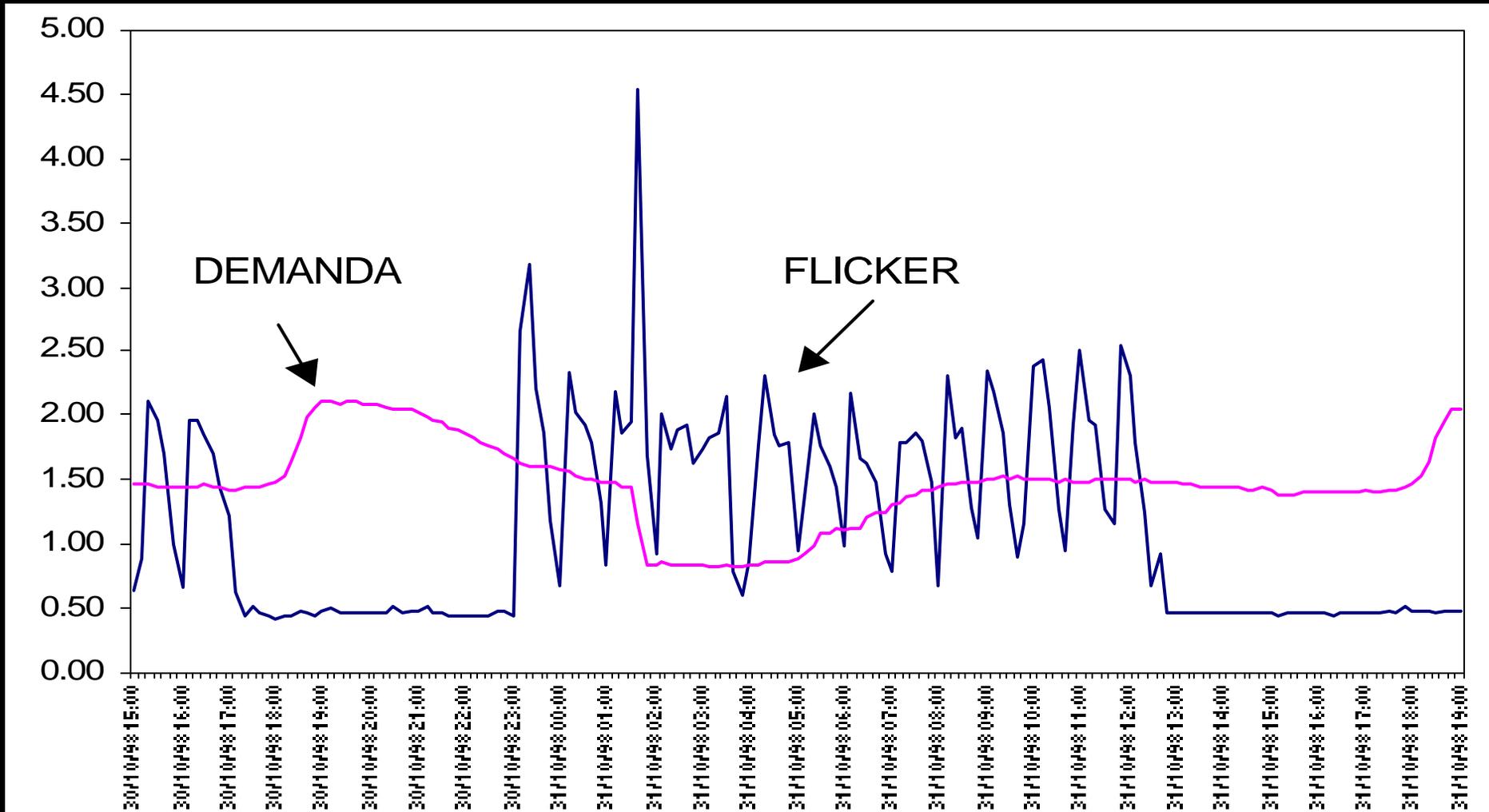
Este método consiste en determinar la curva característica del Flicker y la curva de la demanda para un mismo período de medición.

Para el análisis existen dos casos:

Si la carga es fuente generadora de Flicker entonces la curva del Flicker y la demanda tienen el mismo comportamiento, ver figura



Si la carga no genera Flicker entonces la curva del Flicker y la demanda tienen diferente comportamiento, lo que indica que el Flicker proviene del sistema, ver gráfico



# Solucionando Armónicos



# SOLUCION AL PROBLEMA DE LA CALIDAD DE LA ENERGIA

Podemos asegurar como el control de la caída de tensión a través del **DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES** puede llevar a minimizar los efectos originados por los consumos no lineales en la calidad de la señal de alimentación a los equipos.

## Soluciones a corto plazo:

- \* Reguladores de tensión.
- \* Usos de transformadores de Aislamiento.
- \* Uso de condensadores.

# SOLUCION AL PROBLEMA DE LA CALIDAD DE LA ENERGIA

## Soluciones a largo plazo:

- Reducción al mínimo la longitud de los circuitos.
- Aumentar el **DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES..**
- Aumento de la cantidad de circuitos finales
- El principio general es diseñar el sistema para que se ajuste a los perfiles de carga previsto.

# *Normas de referencia*

## CURVAS DE TOLERANCIA

Eventos registrados vs. Tolerancia

ANSI, CBEMA, ITIC

## ESPECIFICACIONES INDUSTRIALES

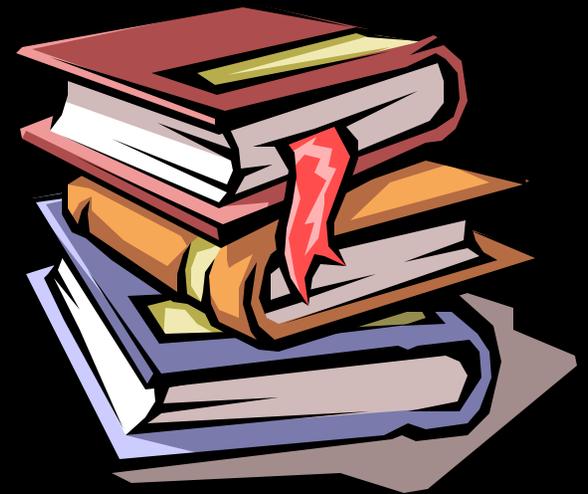
IEEE-1159-519 (USA)

IEC-61000-4-15, 61000-4-7

EN-50160 (UE)

NTCSE (PERU)

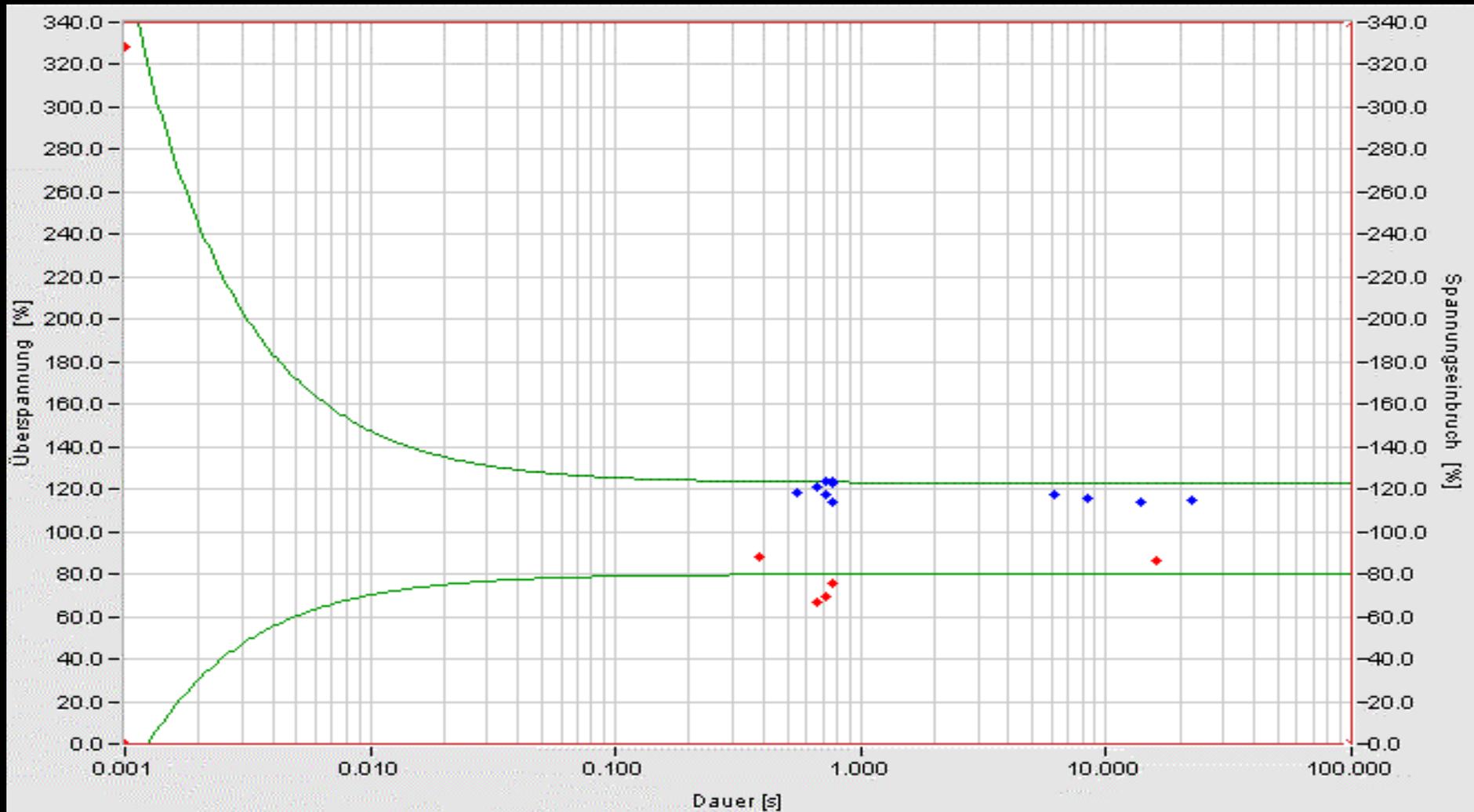
NCSPS (ARGENTINA)



# CURVAS DE TOLERANCIA

Eventos registrados vs. Tolerancia

ANSI, CBEMA, ITIC

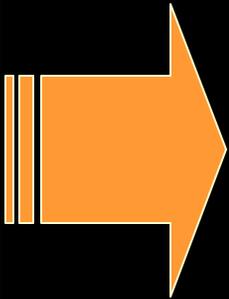


# *Normatividad Vigente*

## **Standar IEEE-1159-519**

La norma en referencia contempla los siguientes límites:

- Límites de armónicos de corriente individuales y distorsión total.
- Relación  $I_{sc}/I_L$  en el PAC
- Máxima distorsión de la tensión individual y total.



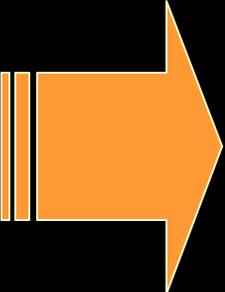
# Standar IEEE-519

## Limites de armónicos de corriente (%) IEEE Std. 519

Isc/ILoad	Orden de armónicos					THD
	< 11	11 a 16	17 a 22	23 a 24	> 35	
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 - 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 - 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 - 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0
Donde:						
Isc=Corriente máxima de cortocircuito en el PAC						
IL =Corriente de carga en demanda máxima a la frecuencia fundamental en el PAC						
THD=Distorsión total de armónicos						

## Standar IEEE-519

$$THD = \sum_{h=2}^H \left( \frac{I_h^2}{I_{Ldemanda}} \right)^{1/2} \times 100\%$$



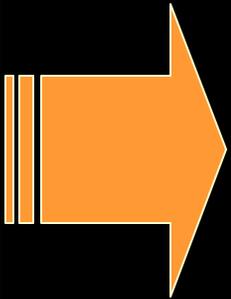
### Distorsión Máxima de Tensión

Distorsión Máxima (%)	Tensión del Sistema		
	< 69 kV	69 - 138 kV	> 138 kV
Armónicos Individuales	3,0	1,5	1,0
Armónicos Totales	5,0	2,5	1,5

# Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos-NTCSE

## Base legal :

- Decreto Supremo N° 020-97-EM del 09 de octubre de 1997.
- Primera modificación: Decreto Supremo N° 009-99-EM del 10 de abril de 1999.
- Segunda modificación: Decreto Supremo N° 013-00-EM del 27 de julio de 2000.
- Tercera modificación: Decreto supremo N° 040-2001-EM del 17 de julio de 2001



**NTCSE**

The diagram illustrates the NTCSE (Norma Técnica Colombiana) quality standards. A large cyan arrow labeled 'NTCSE' points to four categories of quality, each in a cyan box. Each category is linked by a smaller cyan arrow to a list of specific metrics in yellow boxes. The categories and their metrics are: 1. 'CALIDAD DEL PRODUCTO' (Product Quality) linked to 'TENSIÓN' (Voltage), 'FRECUENCIA' (Frequency), and 'PERTURBACIONES' (Disturbances). 2. 'CALIDAD DEL SUMINISTRO' (Supply Quality) linked to 'INTERRUPCIONES' (Interruptions). 3. 'CALIDAD DEL SERV. COMERCIAL' (Commercial Service Quality) linked to 'TRATO AL CLIENTE' (Customer Treatment), 'MEDIOS DE ATENCIÓN' (Attention Channels), and 'PRECISIÓN DE MEDIDA' (Measurement Precision). 4. 'CALIDAD DEL ALUMBRADO PUB.' (Public Lighting Quality) linked to 'DEFICIENCIAS' (Deficiencies).

**CALIDAD DEL PRODUCTO**

**TENSIÓN**

**FRECUENCIA**

**PERTURBACIONES**

**CALIDAD DEL SUMINISTRO**

**INTERRUPCIONES**

**CALIDAD DEL SERV. COMERCIAL**

**TRATO AL CLIENTE**

**MEDIOS DE ATENCIÓN**

**PRECISIÓN DE MEDIDA**

**CALIDAD DEL ALUMBRADO PUB.**

**DEFICIENCIAS**

# Direcciones web de interés

- [www.mem.gob.pe/nuevo/legal/elec](http://www.mem.gob.pe/nuevo/legal/elec)
  - [www.schneiderelectric.es](http://www.schneiderelectric.es)
  - [www.inet.cl/cpe/armon](http://www.inet.cl/cpe/armon)
  - [www.transcoil.com](http://www.transcoil.com)
  - [www.reliablemeters.com](http://www.reliablemeters.com)
  - [www.powerqualityinc.com](http://www.powerqualityinc.com)
- [Isayas@tecsup.edu.pe](mailto:Isayas@tecsup.edu.pe)    cel: 01-9009096

**Muchas gracias.....**

**Por favor aplaudir muy fuerte.....**



**PROCOBRE - PERU**