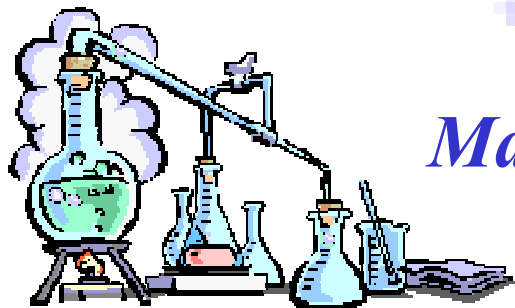




CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO “EFECTOS”

Magda Liliana Ruiz Ordóñez



OBJETIVOS

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Cortes

Sobretensiones

Armonicos

Conclusiones

- Reconocer los diferentes eventos que alteran la calidad del servicio eléctrico.
- Estudiar el impacto “los efectos” de los eventos en los equipos eléctricos.

INTRODUCCIÓN

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Lugares

Exhibiciones

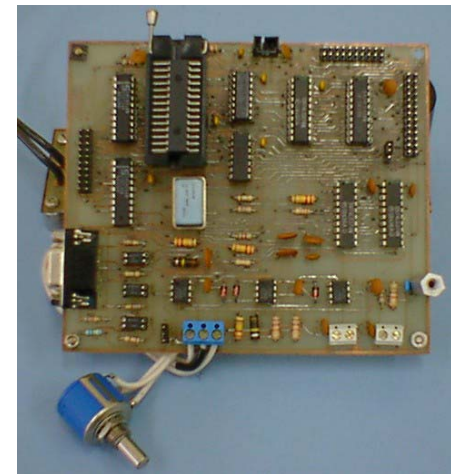
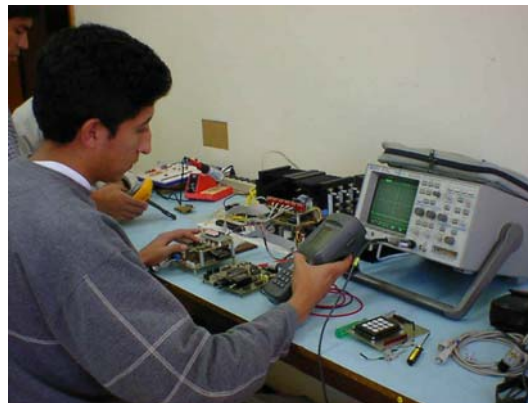
Armónicos

Conclusiones



INTRODUCCIÓN

- Objetivos
- Introducción
- Interrupciones
- huecos
- sobretensiones
- armónicos
- Conclusiones



Definición de un problema de calidad de potencia

- “Cualquier perturbación que se manifieste en tensión o corriente o las desviaciones de frecuencia que tengan como resultado un fallo o mala operación de un equipo”
- R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, H.W.. Beaty
“Electrical Power Systems Quality” McGraw-Hill 1996

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Circuitos

Sobretensiones

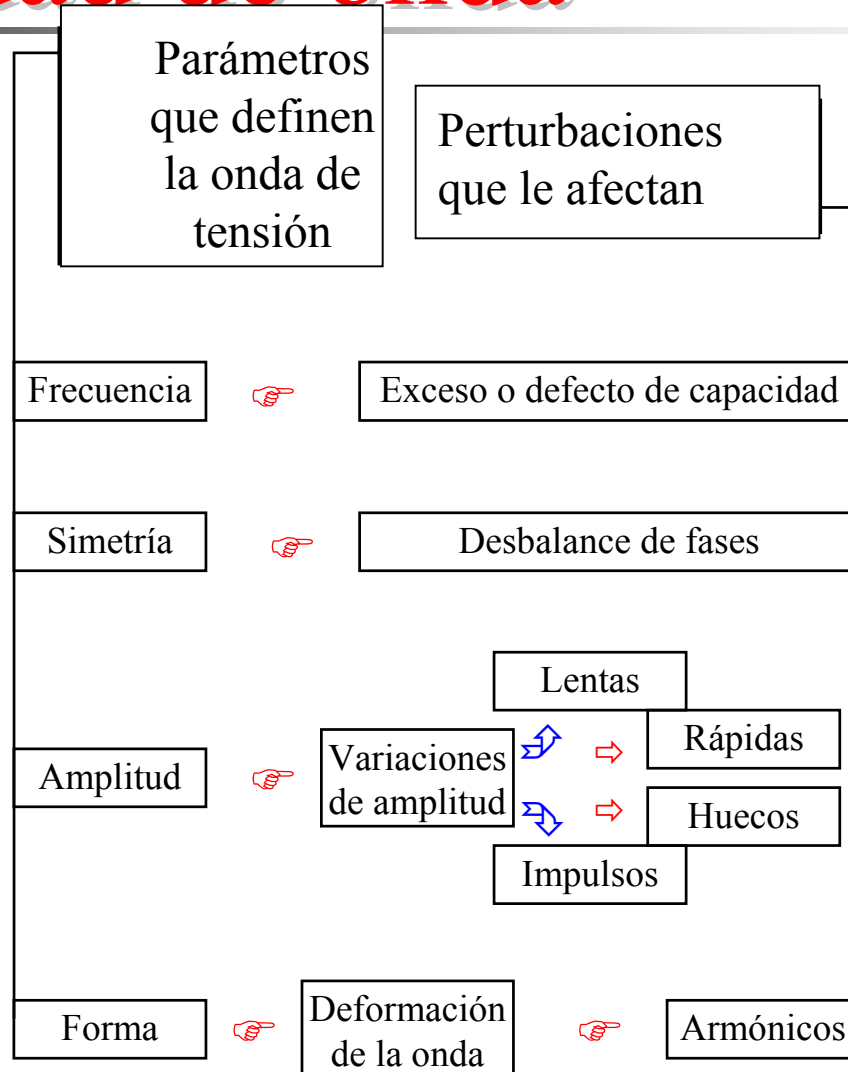
Armónicos

Conclusiones

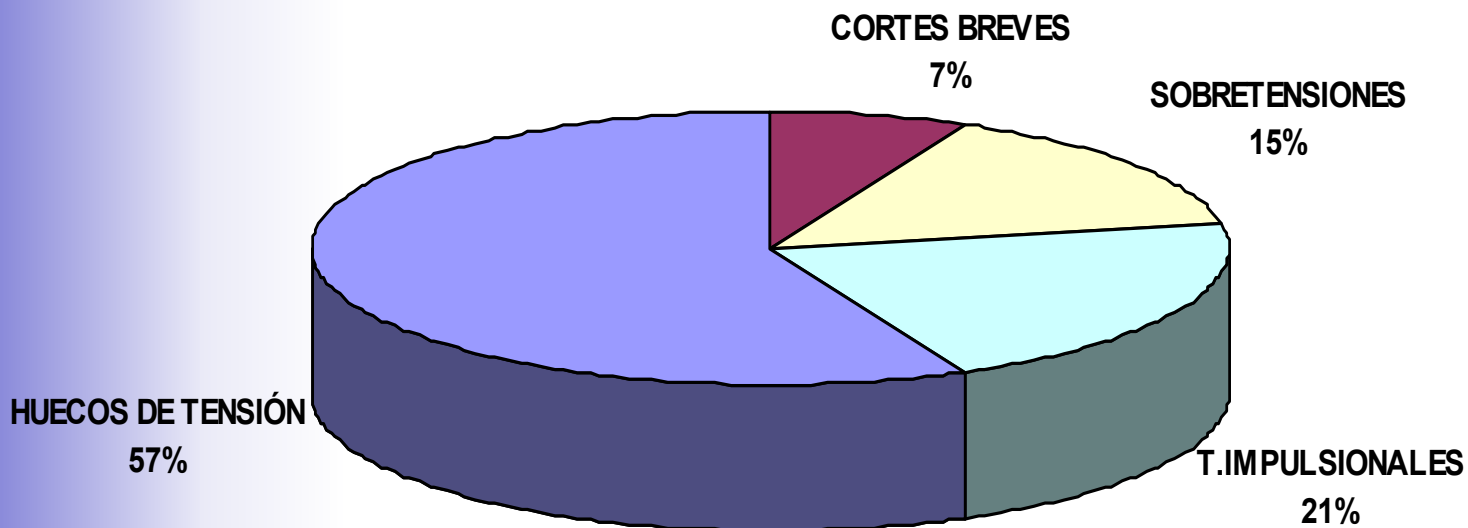


Parámetros Asociados a la Calidad de onda

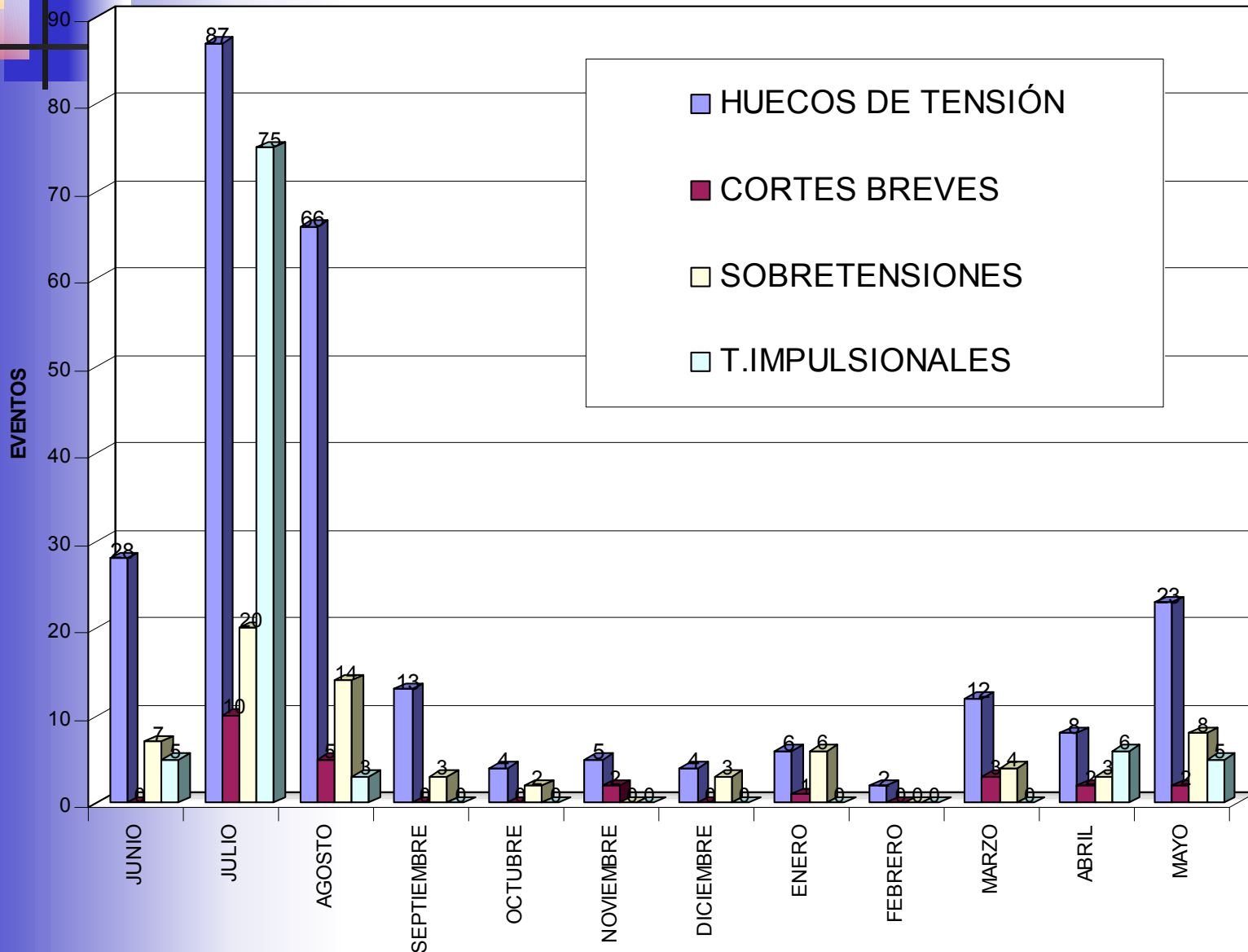
- Objetivos
- Introducción
- Interrupciones
- Huecos
- Sobretensiones
- Armónicos
- Conclusiones



Comparativo de Perturbaciones



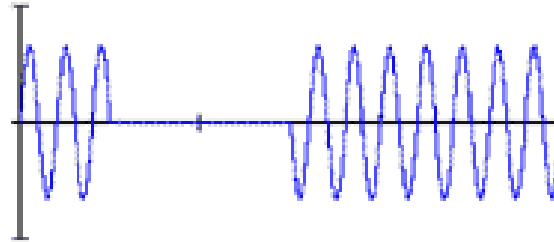
Perturbaciones durante un año



Interrupciones



■ Definición



- Existencia o no de tensión en el punto de conexión **Continuidad del suministro**
- Se tienen en cuenta las $>$ de 3 minutos
- Suelen necesitar reparación de tramos, elementos o al menos inspección

Objetivos

Introducción

Interrupciones

huecos

sobretensiones

armónicos

conclusiones

Interrupciones

Objetivos

Introducción

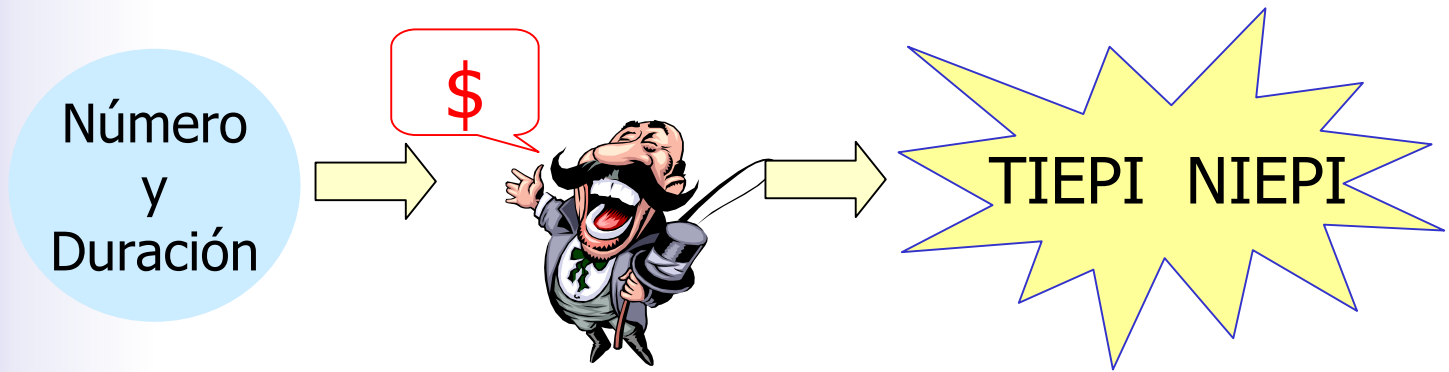
Interrupciones

Lugares

Obstrucciones

Armónicos

Conclusiones



$$TIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k PI_i H_i}{\sum PI}$$

$$NIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k PI_i}{\sum PI}$$

Interrupciones

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Causas

Subtensiones

Armonicos

Conclusiones

Media tensión (de 1 a 36 Kv)

Clasificación	Nº Horas	Nº Interrupciones
zona urbana	4	8
zona semiurbana	8	12
zona rural concentrada	12	15
zona rural dispersa	16	20

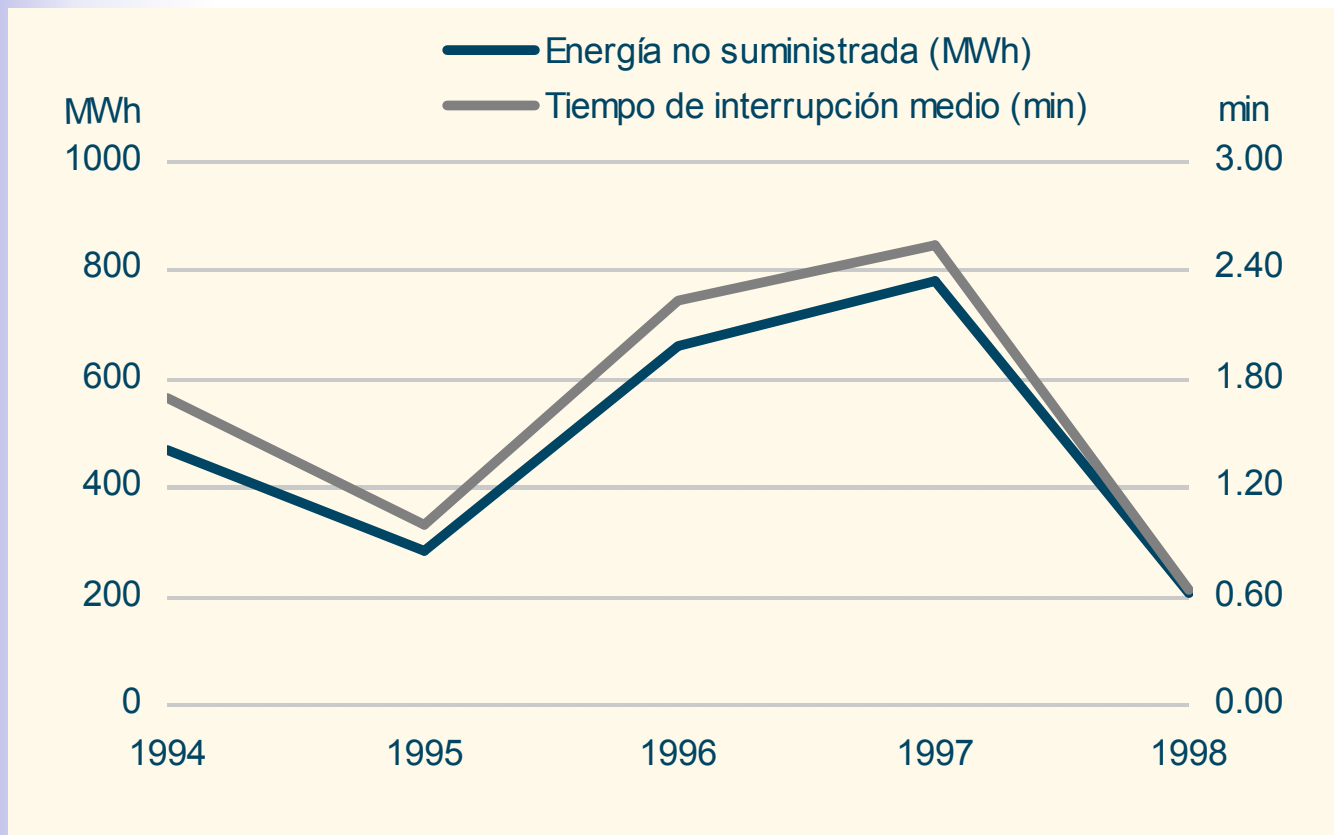
Baja tensión (menor o igual a 1 Kv)

Clasificación	Nº Horas	Nº Interrupciones
zona urbana	6	12
zona semiurbana	10	15
zona rural concentrada	15	18
zona rural dispersa	20	24

Evolución de la energía no suministrada

Evolución de la energía no suministrada y

del tiempo medio de interrupción en España (fuente REE)



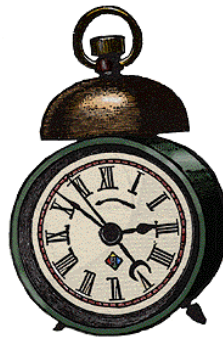
COSTE



- Coste de consecuencia directa (en un industria la parada de un proceso productivo, la pérdida de bienes como alimentos congelados)
- Importante también son costes directos las medidas que se tomen para paliar el efecto de la falta de calidad (la instalación de un sistema de alimentación ininterrumpida SAI)

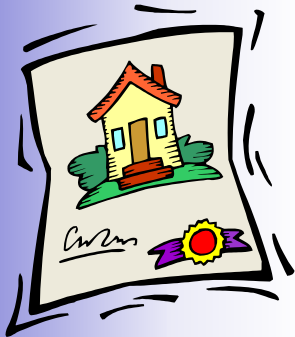
COSTE

- El suministro de electricidad también es un suministro de comodidad:
- Cuánto se valora poder subir o no uno, dos o más pisos en ascensor?
- Tener que poner una y otra vez todos los despertadores conector a la red



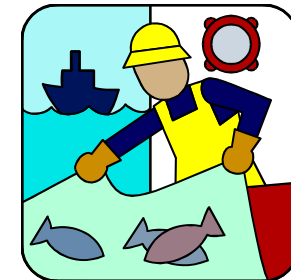
PROBLEMAS

- Determinar los costes ocasionados a los clientes (que tipo de cliente?)
- Según el tipo de cliente son distintos
- Primera distinción:



Residenciales

comerciales



Industriales

SOLUCIÓN

- Valorizar la falta de calidad utilizada como criterio de FIABILIDAD en planificación de los sistemas de energía eléctrica.

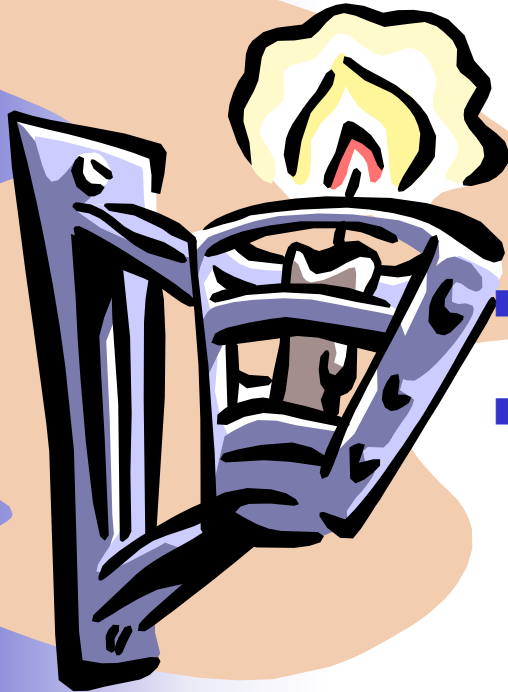
- Índice elegido

Energía No Suministrada

- Solo incluye el aspecto de continuidad del suministro, no tiene valorización distinta entre cada cliente, dando un único valor



Metodología



- Cuánto invertiría en pólizas de seguros para proteger la producción de las interrupciones?
- Que cuantía?
- Qué medida tomaría para protegerse frente a eventuales interrupciones: velas, linternas, SAI,...

Metodología

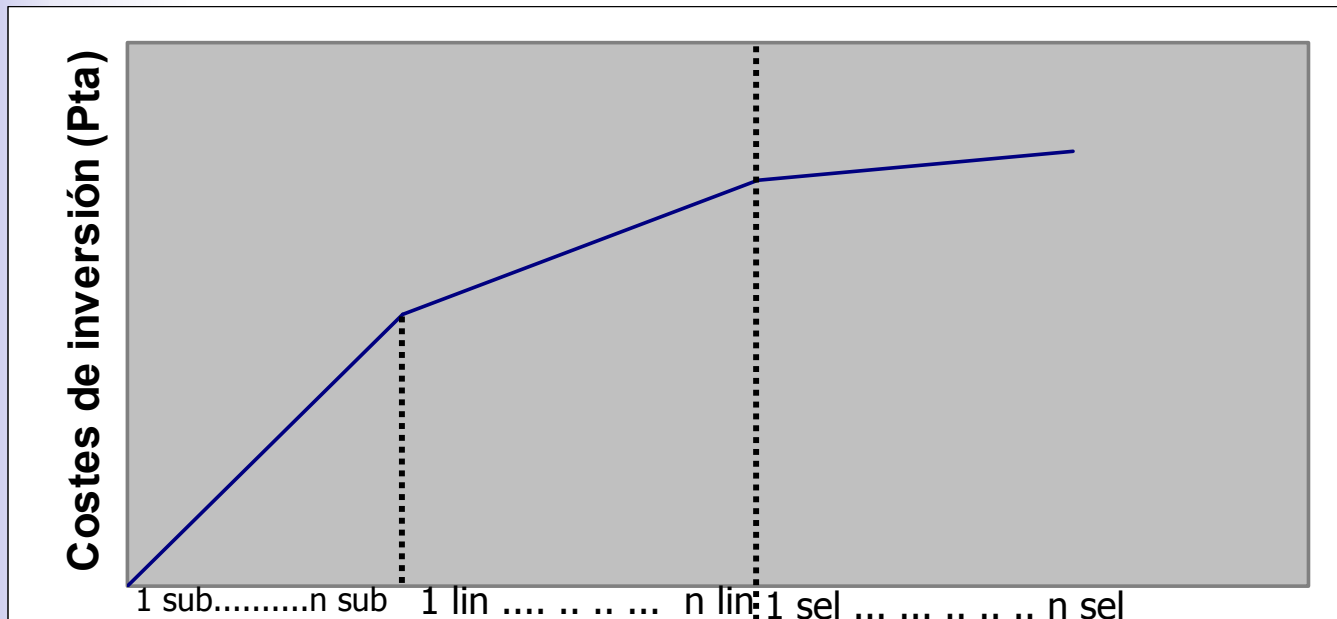
- Normalizar el Customer Interruption Costs (CIC)
- Cómo?
 1. Obtener la demanda punta o la energía consumida por el cliente CDF (Customer Damage Function)
 2. Calcular SCDF (Sector Customer Damage Function): coste medio que sufre un cliente del tipo considerado

Costo estimado de energía no consumida

	datos suministrados por SSD CI \$/kWh				
Mes	1997	1998	1999	2000	2001
Enero		271,594	318,123	344,388	373,648
Febrero		280,502	323,531	352,309	380,710
Marzo		287,795	326,572	358,333	386,344
Abril		296,141	329,119	361,916	390,787
Mayo		300,761	330,699	363,798	392,428
Junio		304,430	331,625	363,726	392,585
Julio		305,861	332,653	363,580	392,585
Agosto		305,953	334,316	364,744	392,585
Septiembre		306,840	335,420	366,312	392,585
Octubre		307,914	336,594	366,861	392,585
Noviembre	265,2	308,437	338,209	368,072	392,585
Diciembre	266,81772	311,244	340,002	369,765	392,585

Coste de inversiones en mejora de la calidad

Curva de costes de inversión en función de las variables de decisión de las Distribuidoras

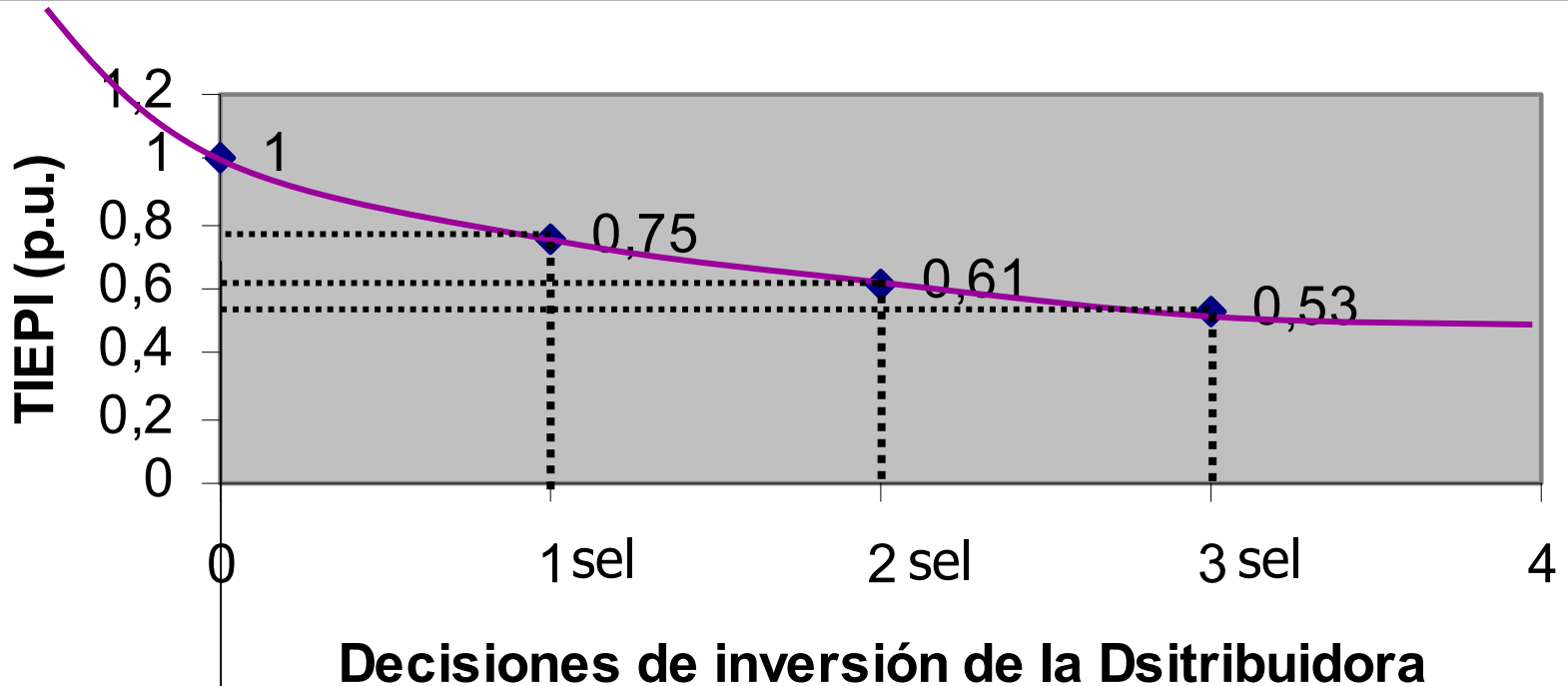


Inversiones de primera
magnitud

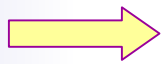


Inversiones de segunda
magnitud

Curva de mejora del TIEPI



Inversiones de primera magnitud



Inversiones de segunda magnitud

FUNCIONES VEC

- VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CONTINUIDAD (VEC)
- Se asocia a cada aspecto de calidad un coste, de forma que se puedan sumar los costes de los distintos índices y obtener por tanto un valor único de coste para la calidad.
- La ENS es incompleta solo tiene en cuenta la duración de las interrupciones sin tener en cuenta el número

FUNCIONES VEC

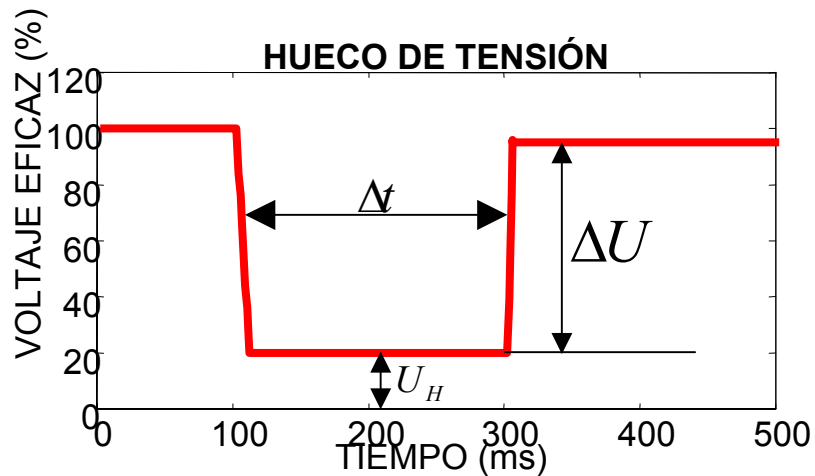
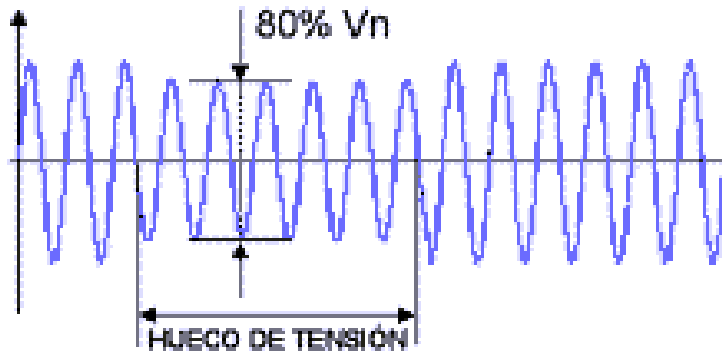
$$f_{VEC}(TIEPI, NIEPI, DMI) = A(DMI)NIEPI PI + B TIEPI PI$$

- PI: Potencia instalada
- TIEPI
- NIEPI
- DMI: duración media de una interrupción
- A(DMI): Coeficiente de coste del kVA interrumpido, valora el # de interrupciones
- B: coeficiente de coste del kVA no suministrado, valora el tiempo de interrupción

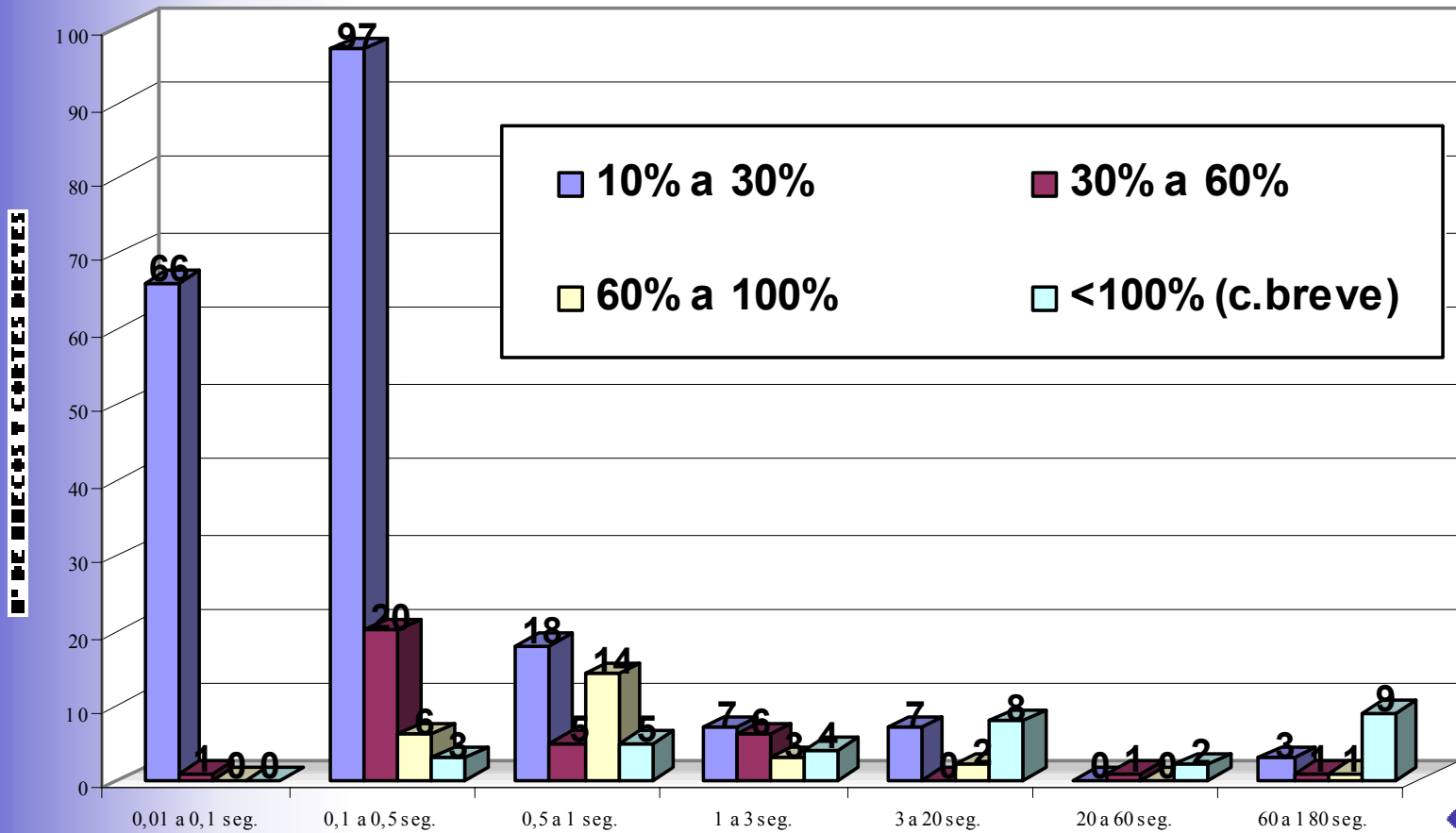
Huecos



Definición



Huecos



Huecos



Huecos

Objetivos

Introducción

Interrupciones

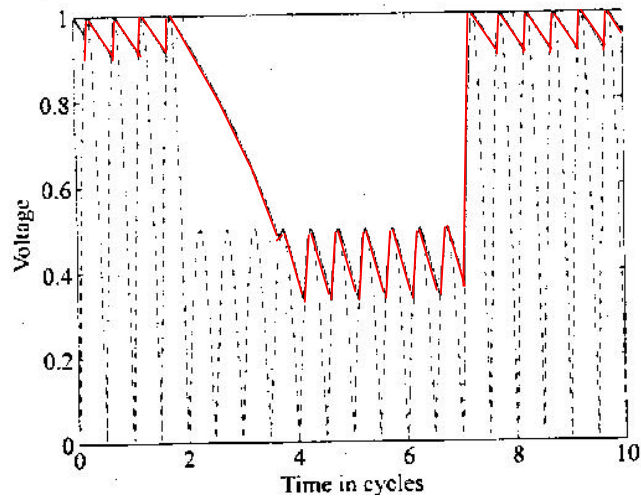
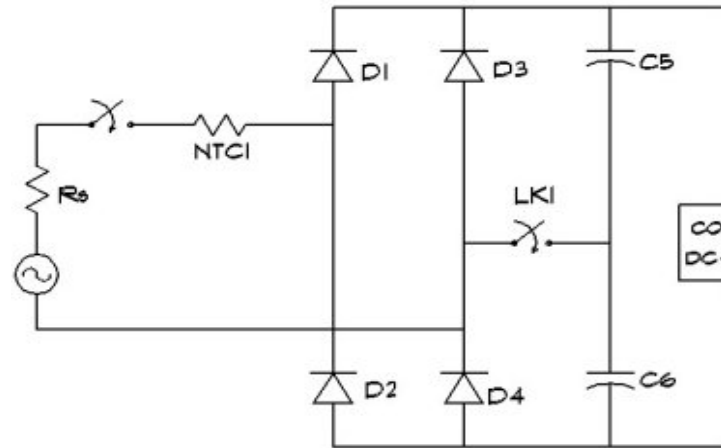
Huecos

Sobretensiones

Armónicos

Conclusiones

1ϕ



Huecos

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Huecos

Sobretensiones

Armónicos

Conclusiones

- Rizado de la tensión DC

$$\varepsilon = \frac{PT}{2V_0^2 C}$$

- Tensión DC durante el periodo de descarga

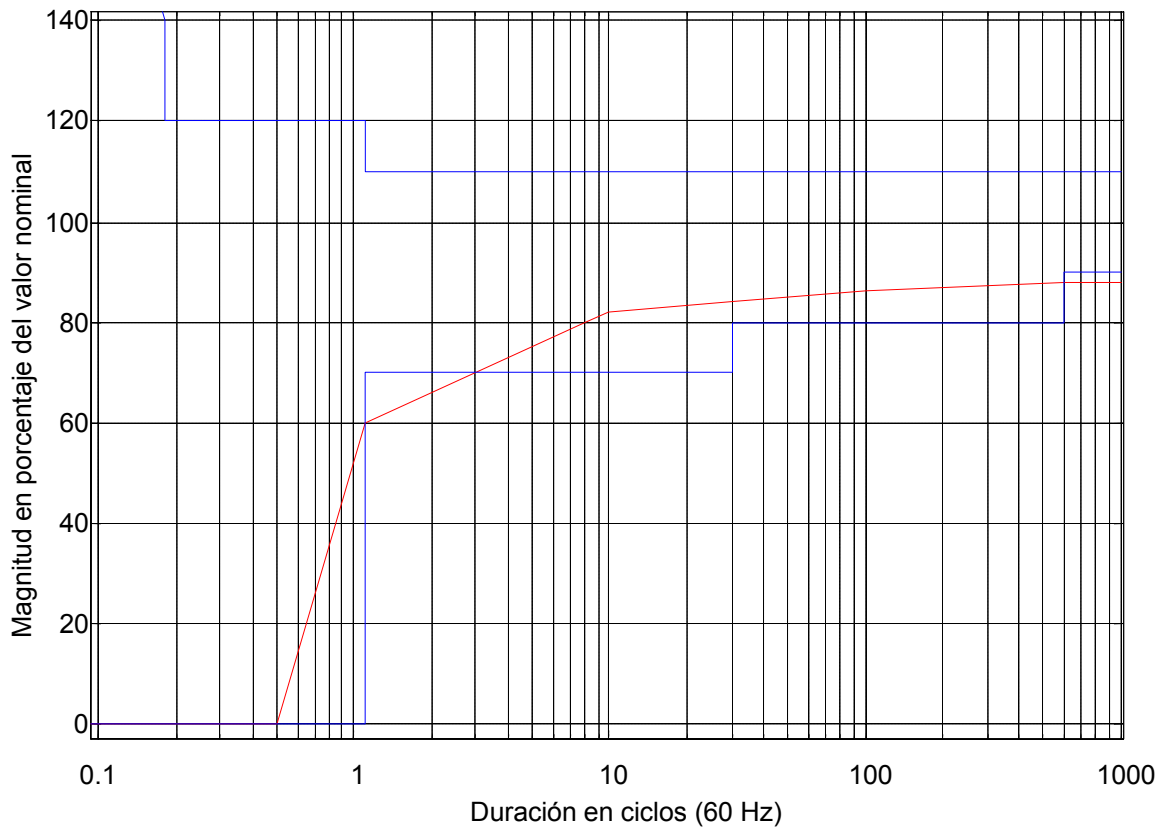
$$V(t) = V_0 - \sqrt{1 - 4\varepsilon \frac{t}{T}}$$

- Tiempo de tolerancia

$$t_{\max} = \frac{1 - V_{\min}^2}{4\varepsilon} T$$

Huecos

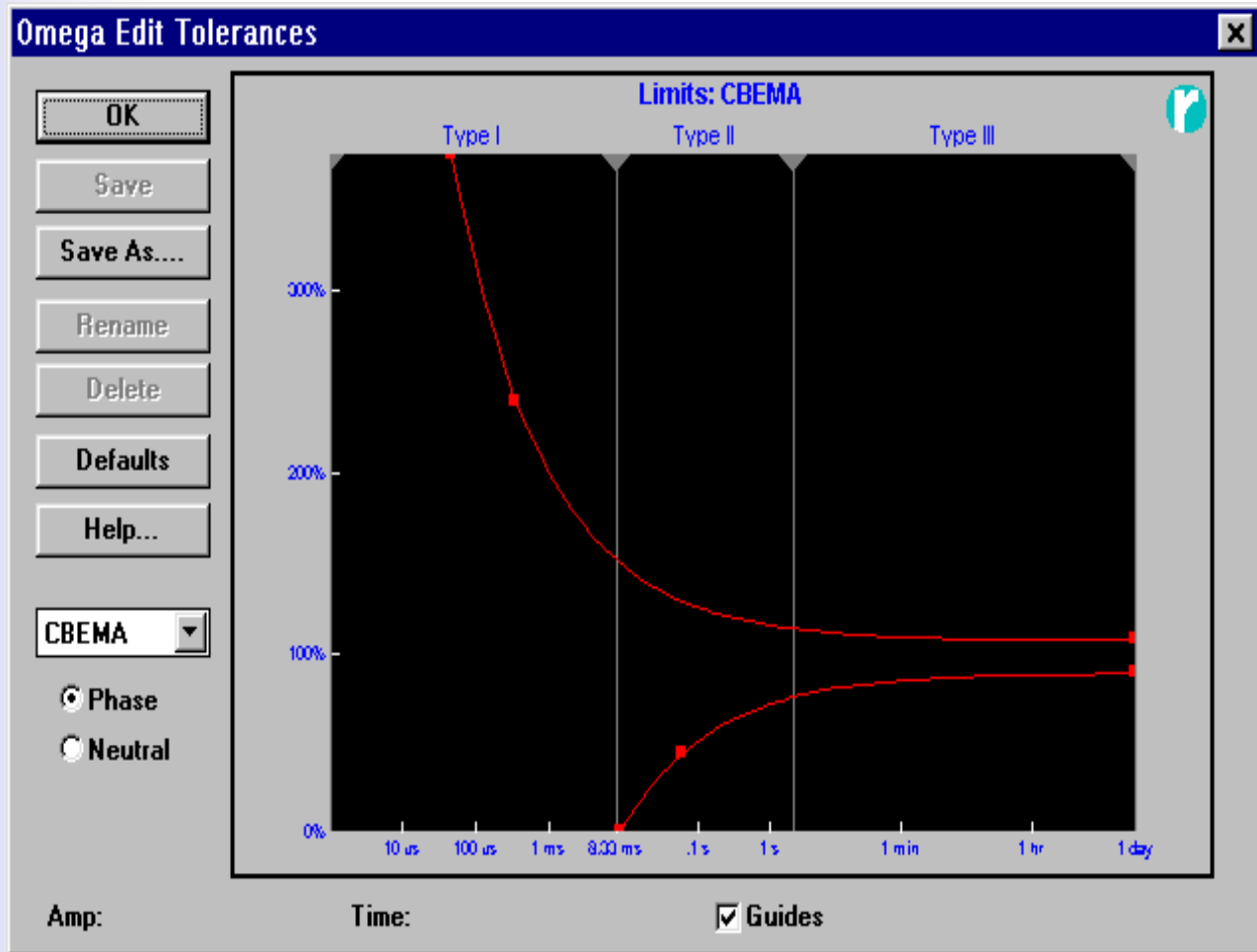
■ Curvas de Tolerancia



CBEMA —

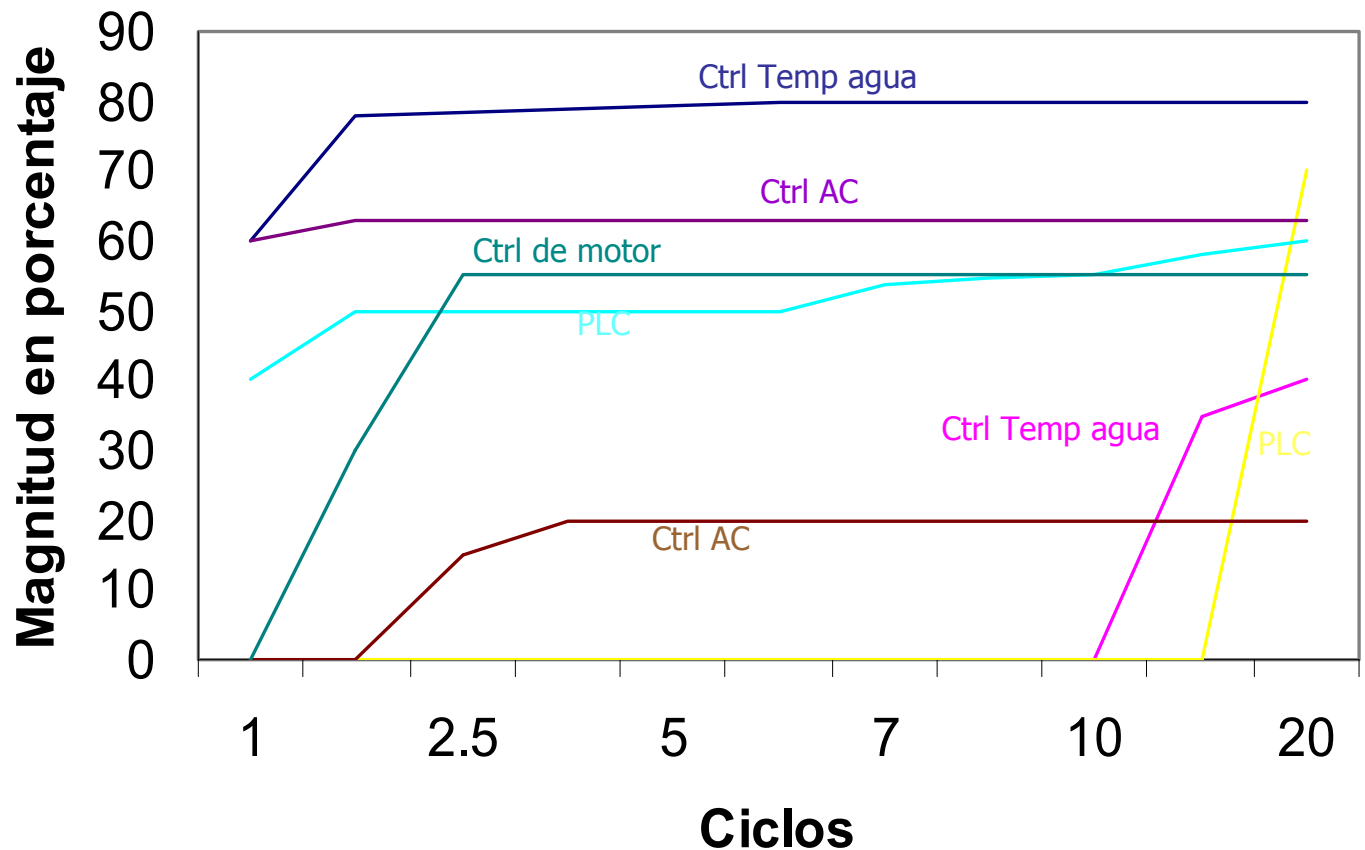
ITIC —

Huecos



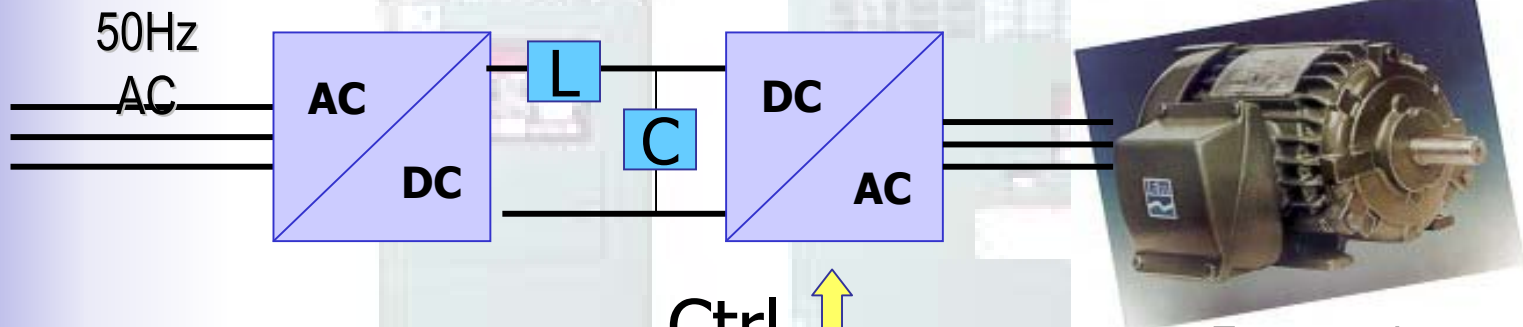
Huecos

■ Curvas de Tolerancia (ejemplos)



Huecos

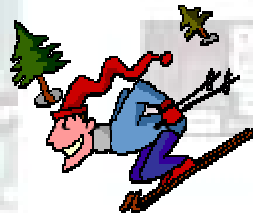
3φ Control AC



Frecuencia variable

PWM

$$\tau_{MAX} = \frac{V^2}{f^2}$$



Objetivos

Introducción

Interrupciones

Huecos

Sobretensiones

Armónicos

Conclusiones

Huecos

- Huecos balanceados

$$V(t) = \sqrt{V_0^2 - \frac{2P}{C}t} \quad t = \frac{C}{2P} (V_0^2 - V_{MIN}^2)$$

Un controlador tiene un V nominal de 620 V y una capacitancia de 4400 μf . Potencia de 86 KW y un hueco de 560 V

$$t = \frac{4400 \mu\text{F}}{2(86 \text{KW})} \left((620 \text{V})^2 - (560 \text{V})^2 \right)$$

$$t = 1.81 \text{mS}$$

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Huecos

Sobretensiones

Armónicos

Conclusiones

Huecos

- Tamaño del Condensador

$$C = \frac{2P(t_{MAX})}{V_0^2 - V_{MIN}^2}$$

- $V=620$ V; $C=4400$ μ f; $P=86$ KW; $Sag=560$ V para un tiempo de 500 mS

$$C = \frac{2(86KW)(500mS)}{(620)^2 - (560)^2} = 1.12F$$

- Costo 1.12F es \$ 200.000
- área= 2.5×18 m² y 60 cms de altura

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Huecos

Subtensiones

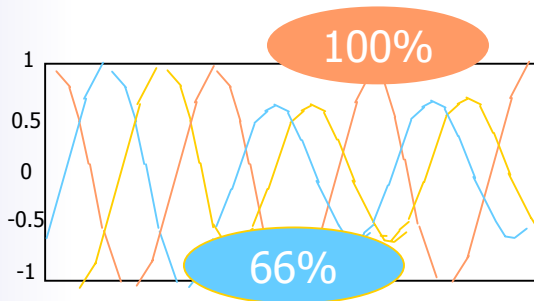
Armónicos

Conclusiones

Huecos

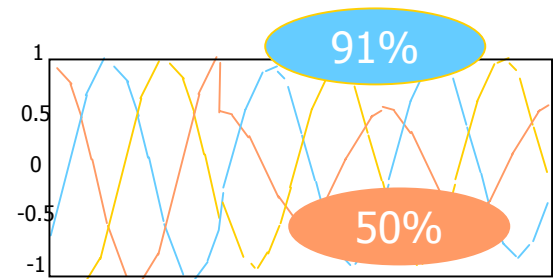
Huecos desbalanceados

Tipo C



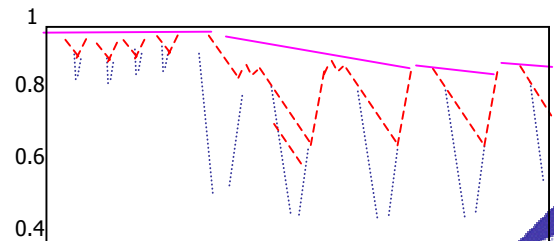
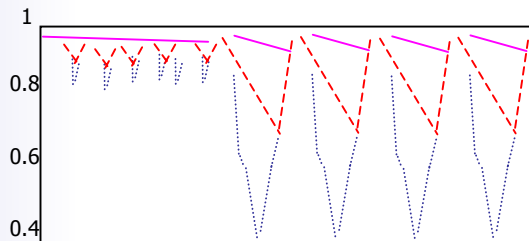
BUS AC

Tipo D



Fase R — Fase S — Fase T —

BUS DC



C grande — C pequeño - - - Sin C ·····

Huecos

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Huecos

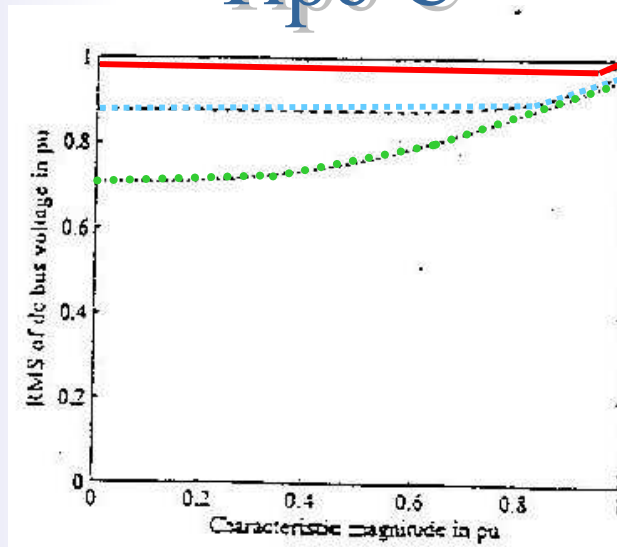
Sobretensiones

Armónicos

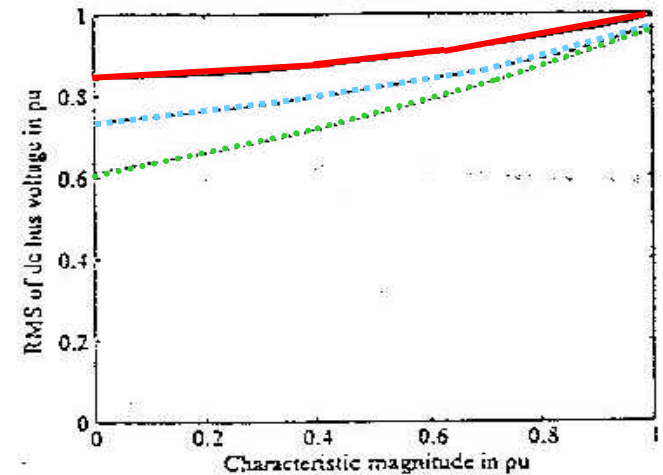
Conclusiones

- Influencia del tamaño del condensador

Tipo C



Tipo D



C grande — C pequeño - - Sin C ·····

$$C = \frac{P}{V_0 \frac{dV}{dt}}$$

Huecos

- Huecos Balanceados

El hueco causa una caída de tensión en los terminales del motor

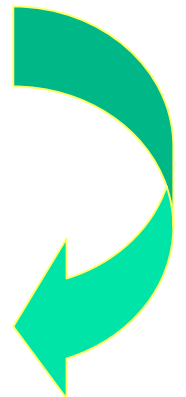


$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} J \omega^2 \right) = \omega (\tau_{elec} - \tau_{mech})$$

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$$

ω f angular a un
 H cte inercia

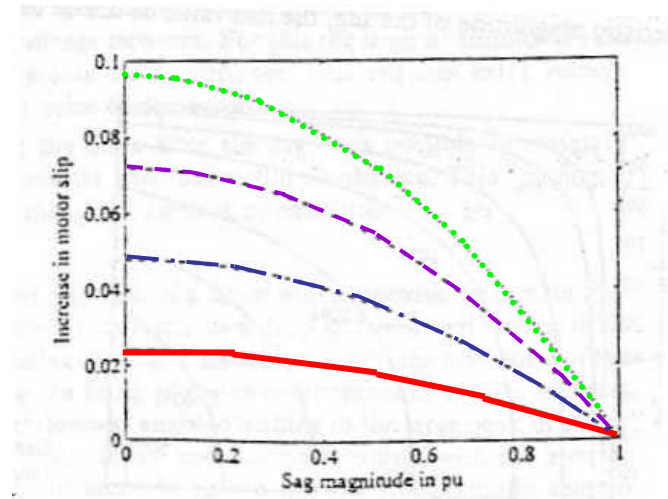
$$\Delta s = \frac{ds}{dt} \Delta t = \frac{1 - V^2}{2H} \Delta t$$



Huecos

- Para $H=0.96$ sec

$$\Delta s = \frac{ds}{dt} \Delta t = \frac{1-V^2}{2H} \Delta t$$



2.5 ciclos — 5 ciclos - · - · 7.5 ciclos - - - 10 ciclos ·····

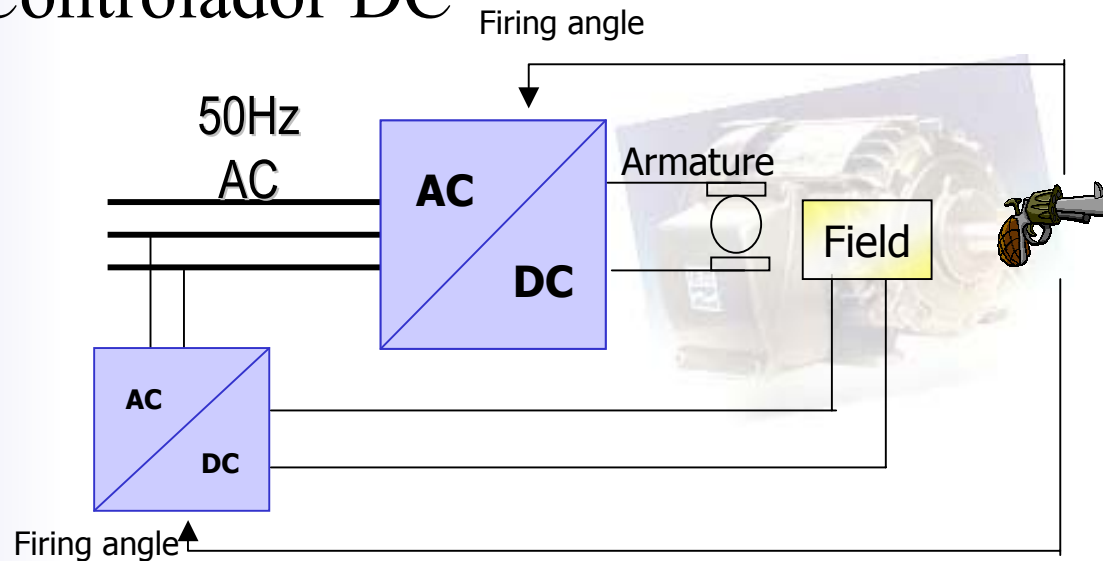
- Huecos desbalanceados



C grande da balance a los terminales del motor

Huecos

■ Controlador DC



$$V_f = R_f I_f$$

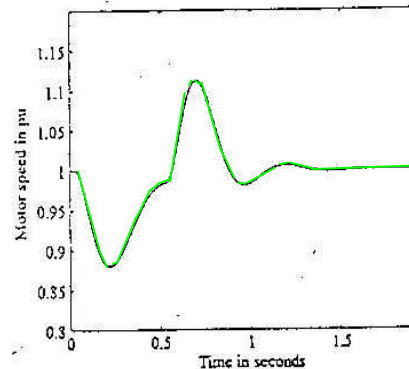
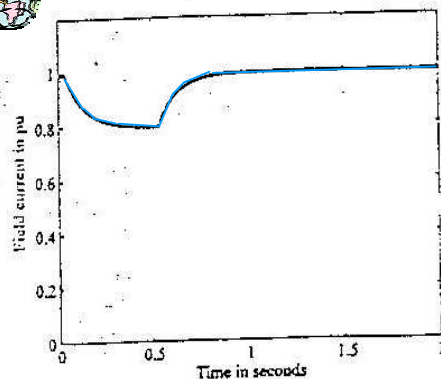
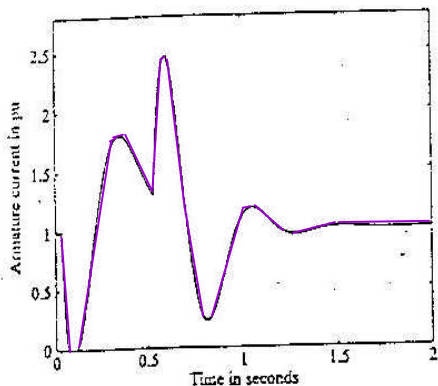
$$V_a = E + R_a I_a$$

$$V_a \approx E = k \omega_m I_f$$

$$\omega_m = \frac{R_f V_a}{k V_f}$$

Huecos

■ Balanceados

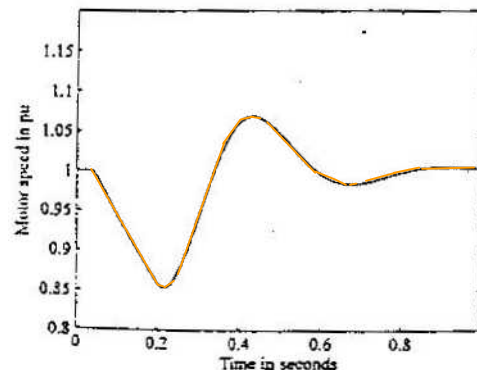
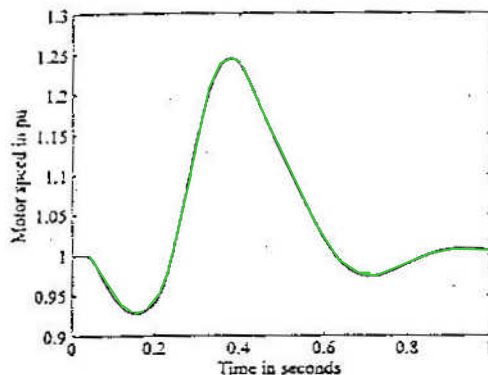


Ia

If

U

■ Desbalanceados



U



Objetivos

Introducción

Interrupciones

Huecos

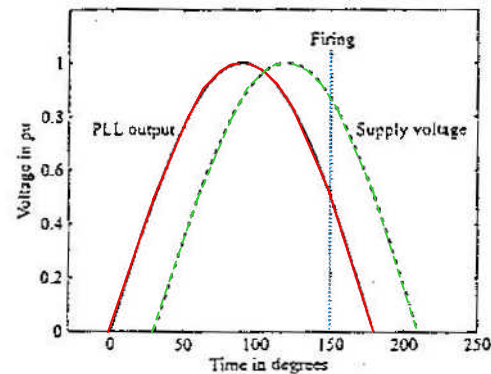
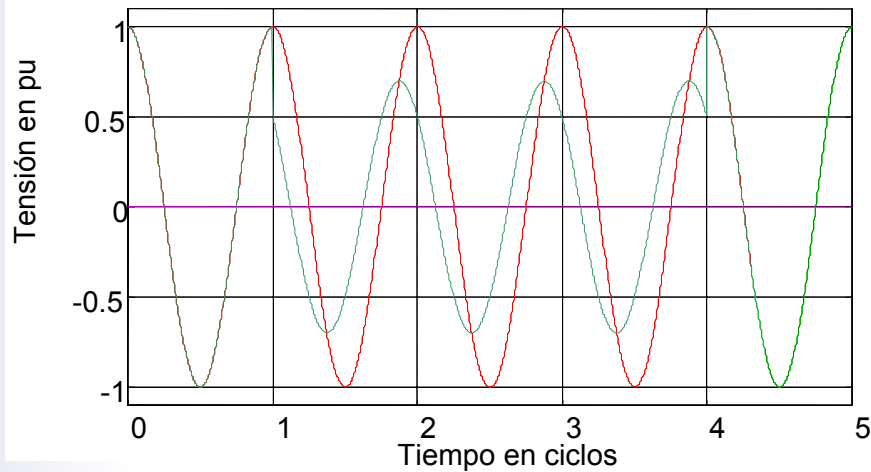
Sobretensiones

Armónicos

Conclusiones

Huecos

■ Salto en el ángulo de fase



Objetivos

Introducción

Interrupciones

Huecos

Sobretensiones

Armónicos

Conclusiones

Huecos

■ Equipos sensibles a los huecos

× Ordenadores

× Iluminación

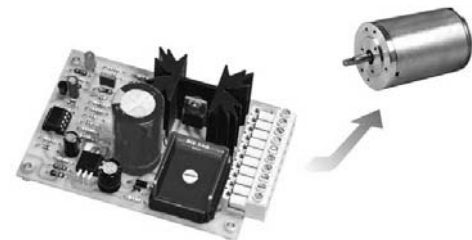
× PLC's

× Controladores de robotica

× Motores

× Controladores

× Disparo de relés de mínima tensión



Sobretensiones

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Lugares

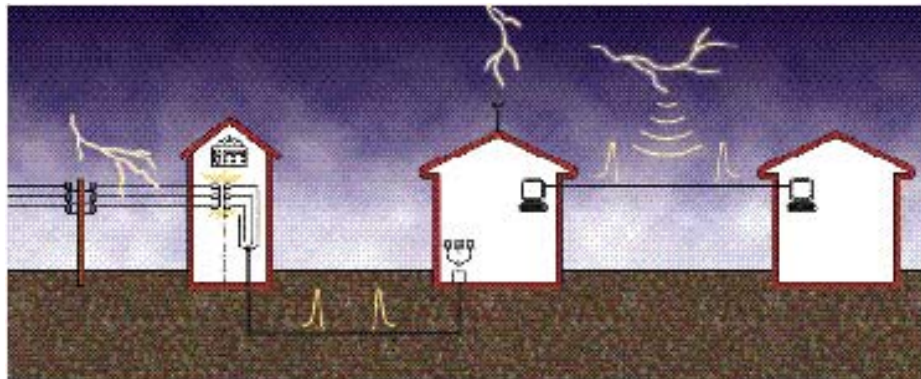
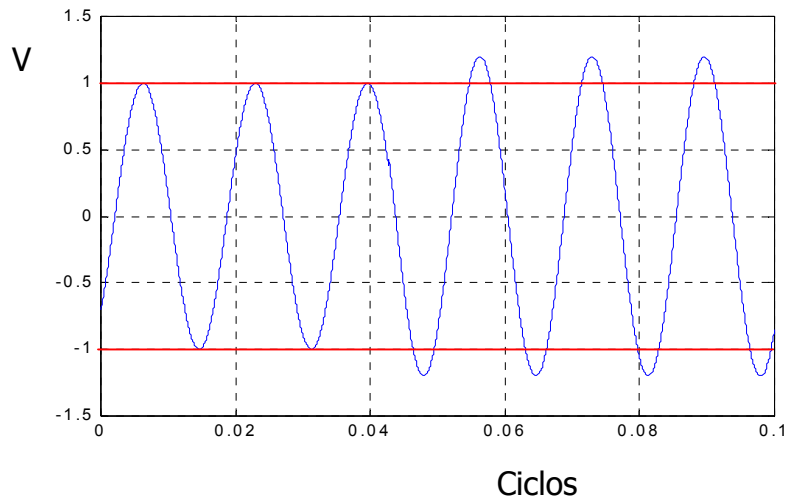
Sobretensiones

Armónicos

Conclusiones



Definición



Sobretensiones



210 kA

Fase a

Fase b

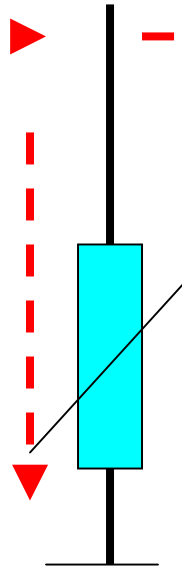
Fase c

70 kA / fase

35 kA en
cada
dirección

14 kA
hacia la
casa /
oficina

Punto de
impacto
del rayo



Autoválvula de
descarga (21 kA)



Conjunto de
casas u oficinas



Sobretensiones

Sobretensiones

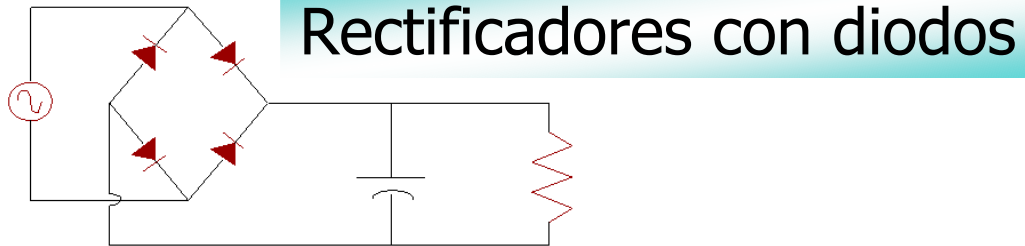
- Redes eléctricas y equipos

Tensión de
choque



Sobretensiones

■ Equipos receptores



Instrumentación



Controladores de velocidad



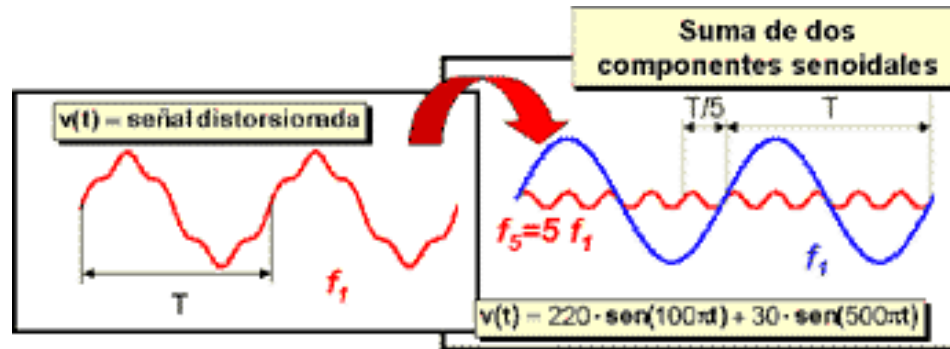
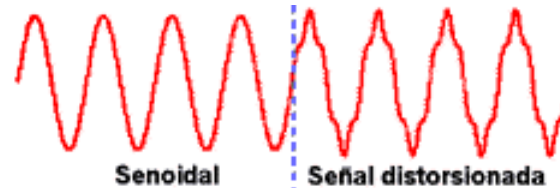
- Tiristores
- Triacs
- GTÓ's



Armónicos



Definición



Los armónicos son perturbaciones de baja frecuencia que se presentan en la forma de onda

Armónicos

Objetivos

Introducción

Interrupciones

huecos

sobretensiones

armónicos

conclusiones

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} D_k \cos(k\omega_0 t + \theta_k)$$

$$D_k = \sqrt{B_k^2 + C_k^2}$$

Simetría de media onda

- Dependiendo de la simetría algunos coeficientes son cero

$$f(t) = -f\left(t \pm \frac{T}{2}\right)$$

$$C_k = 0 \quad k \text{ par}$$

$$B_k = 0 \quad k \text{ par}$$

Armónicos

Dominios del Tiempo y de la Frecuencia ($j\omega$)

Objetivos

Introducción

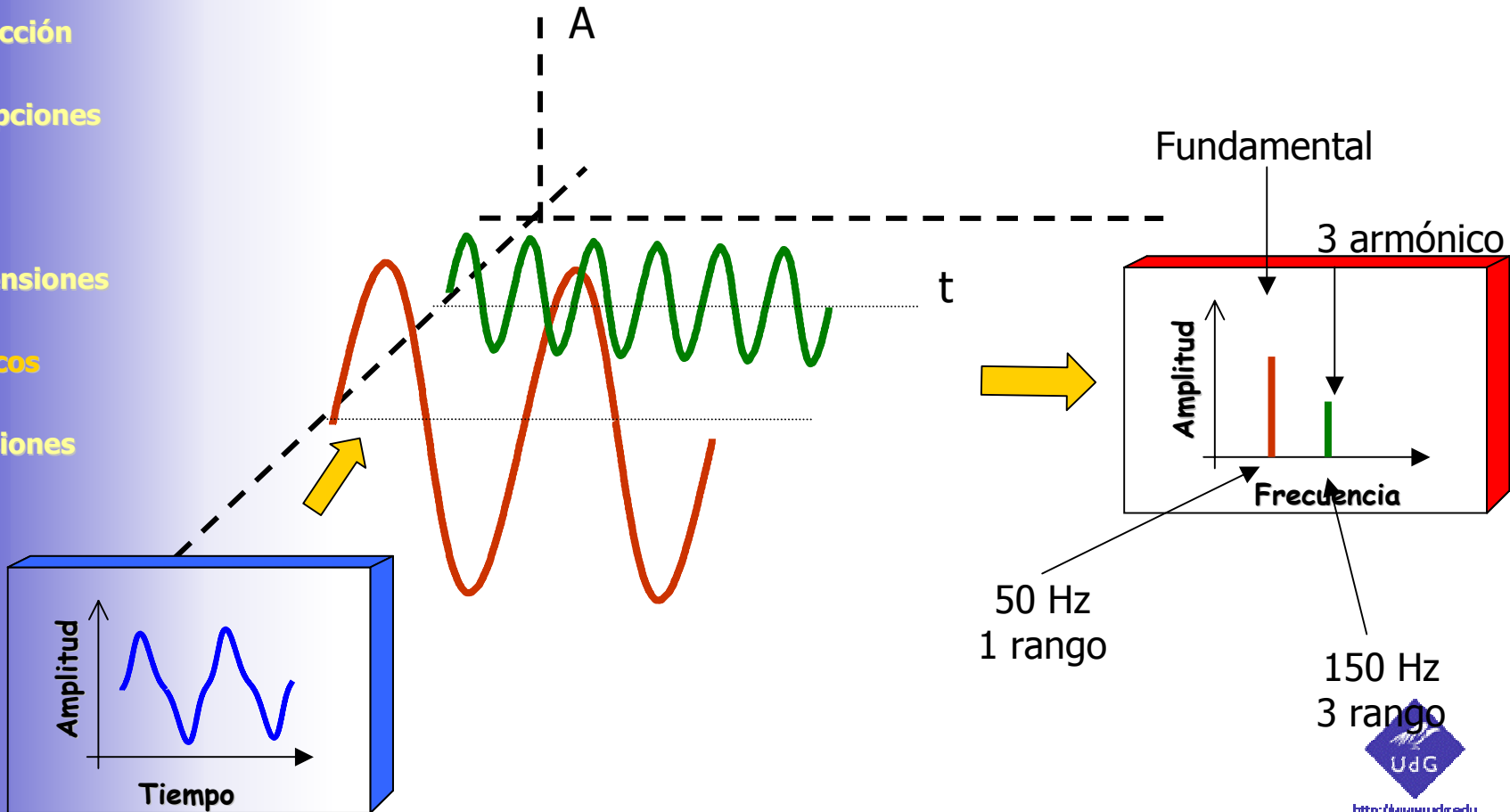
Interrupciones

Circuitos

Subtensiones

Armónicos

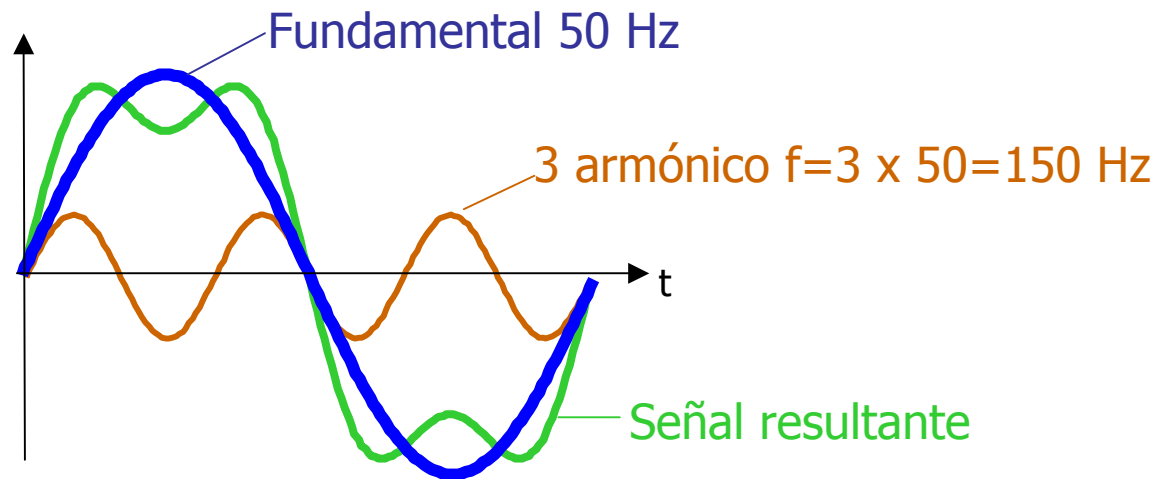
Conclusiones



Armónicos

- La distorsión de la sinusoide fundamental, ocurre en múltiplos de la frecuencia fundamental

$$f_{\text{armónica}} = n \times 50 \text{ Hz}$$



Objetivos

Introducción

Interrupciones

Circuitos

Subtensiones

Armónicos

Conclusiones

Armónicos

Objetivos

Introducción

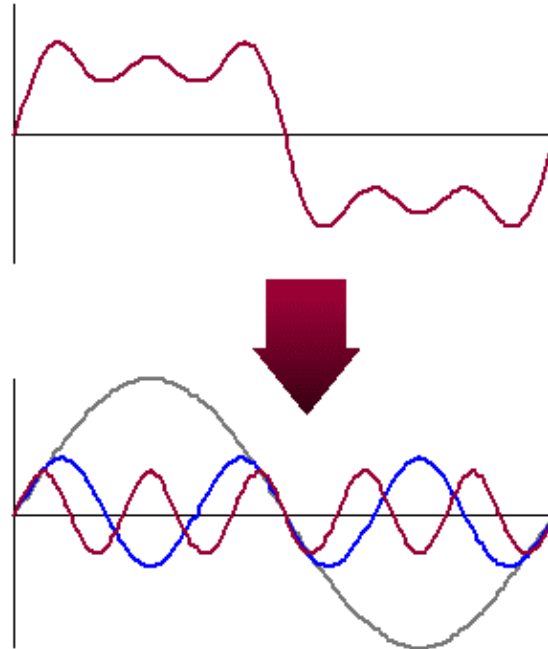
Interrupciones

Circuitos

Sobretensiones

Armónicos

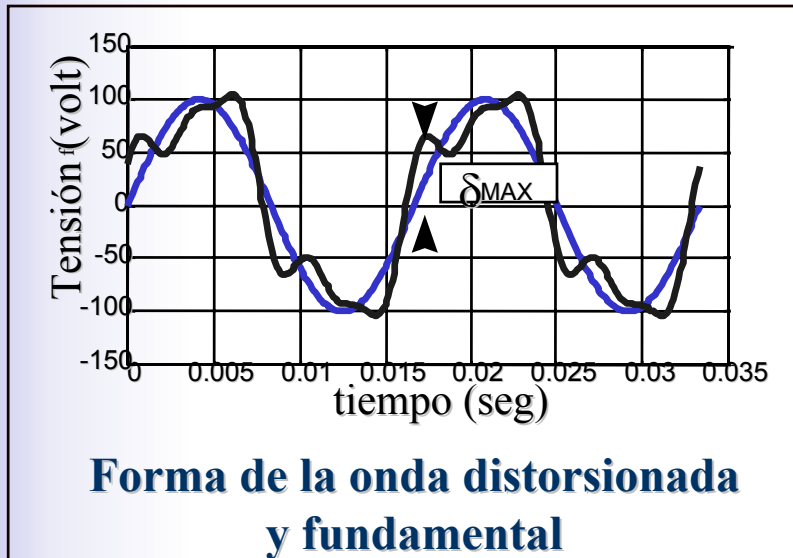
Conclusiones



- Superposición de una fundamental (50 Hz) y dos armónicos (3 y 5)

Armónicos

■ Caracterización



$$IDA_V = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n V_i^2}}{V_1}$$

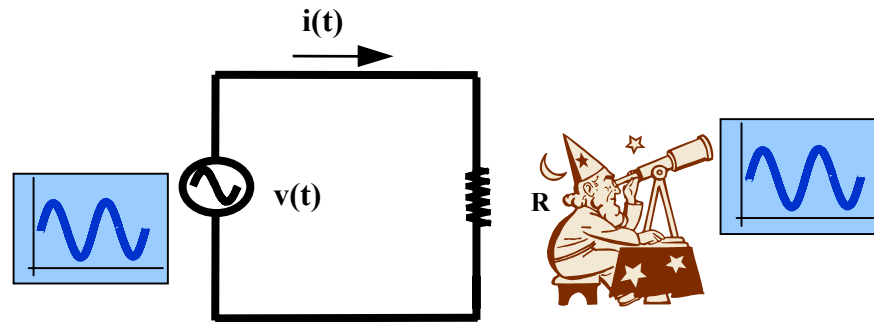
$$IDA_I = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_i^2}}{I_1}$$

Armónicos

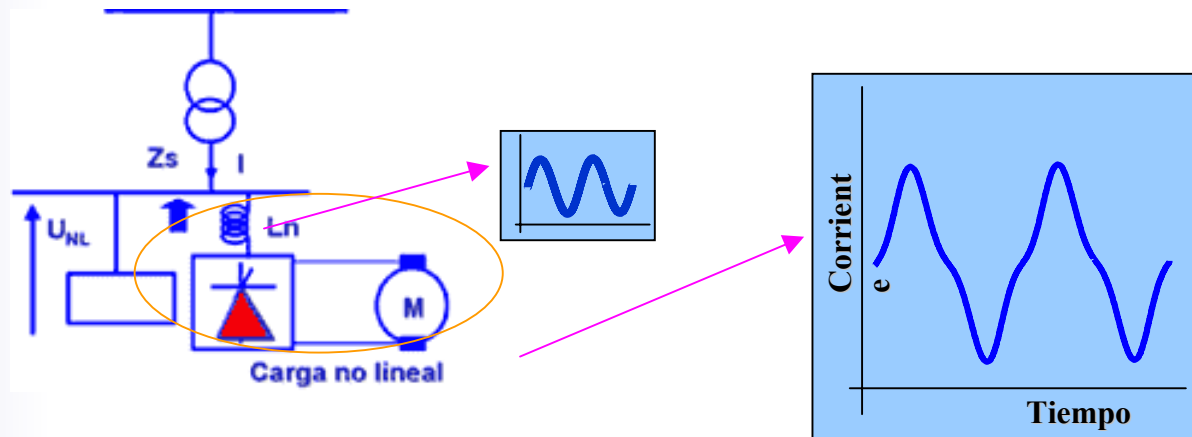


¿Cómo se generan los armónicos?

Cargas lineales



Cargas no lineales



Compatibilidad Electromagnética o CEM

Objetivos

Introducción

Interrupciones

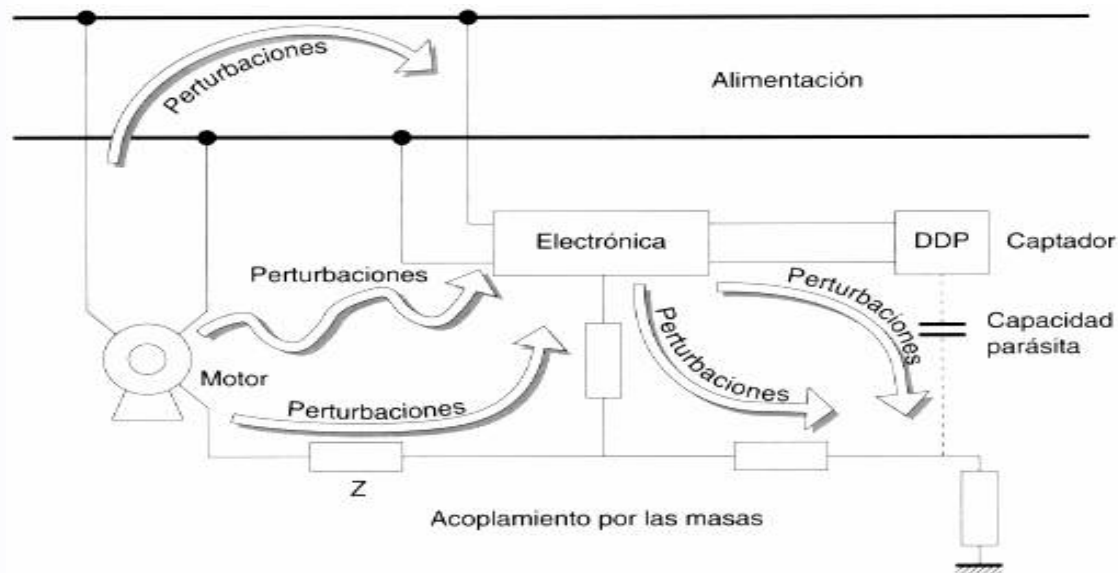
Bucos

Sobretensiones

Armónicos

Conclusiones

Habilidad de un equipo o sistema de funcionar satisfactoriamente en su entorno electromagnético sin producir perturbaciones electromagnéticas intolerables en dicho ambiente



Compatibilidad Electromagnética o CEM

Objetivos

Introducción

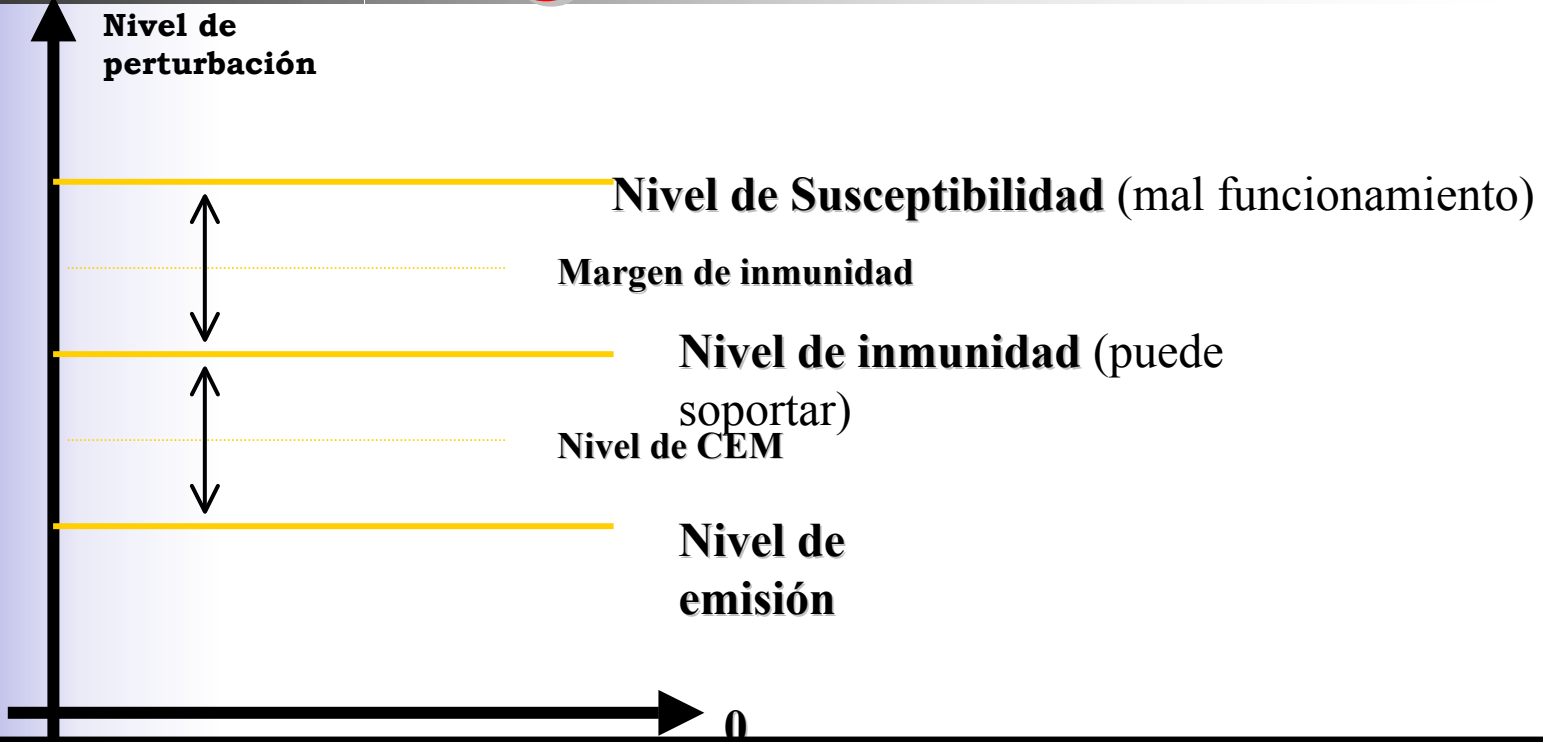
Interrupciones

Bucos

Sobretensiones

Armónicos

Conclusiones



El nivel de inmunidad de cada aparato debe ser tal que su entorno no lo perturbe y su nivel de emisión debe ser lo suficientemente bajo como para no perturbar a los aparatos situados en su entorno electromagnético

Armónicos

- Efectos

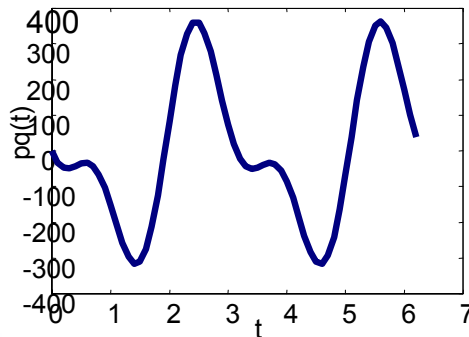
- Reducción de Dimensionamiento en Conductores

$$\begin{array}{l} \text{Pérdidas} \\ \text{fundamental} \\ \left(I_{fpu} \right)^2 R_{fpu} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Pérdidas} \\ \text{armónicos} \\ \sum \left(I_{hpu} \right)^2 R_{hpu} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Pérdidas} \\ \text{totales} \\ \left(\frac{I_{dim}}{I_{base}} \right)^2 R_{fpu} \end{array}$$

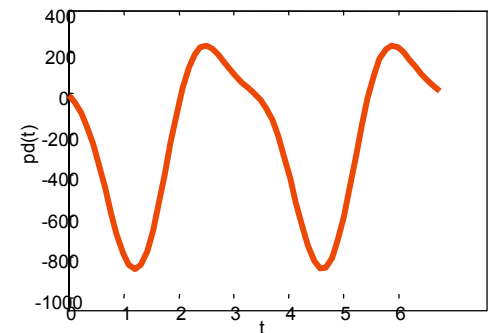
Armónicos

Medición incorrecta de reactiva

Potencia instantánea en cuadratura



Potencia instantánea desfasada



La potencia activa = 288W

$$Q_f = V \cdot I_q = 251,1063$$

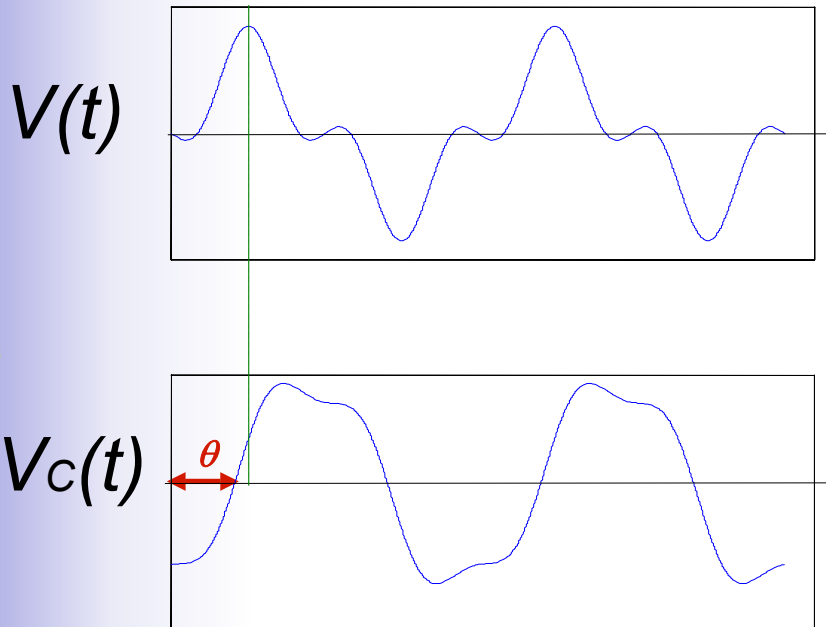
$$S = \sqrt{P^2 + Q_f^2} = 382,0973$$

$$Q_d = V \cdot I_d = 205,1343$$

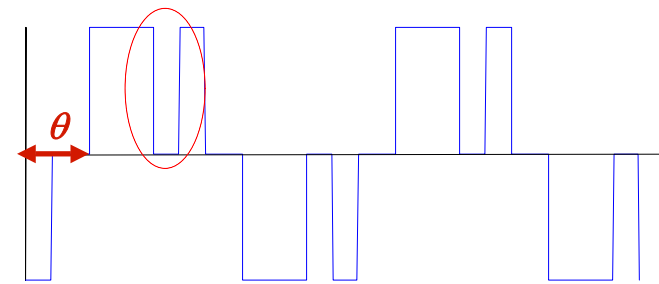
~~$$S = \sqrt{P^2 + Q_d^2} = 353,58$$~~

Armónicos

✚ Operación incorrecta de protecciones



Coincidencia



$$\theta < 90^\circ$$

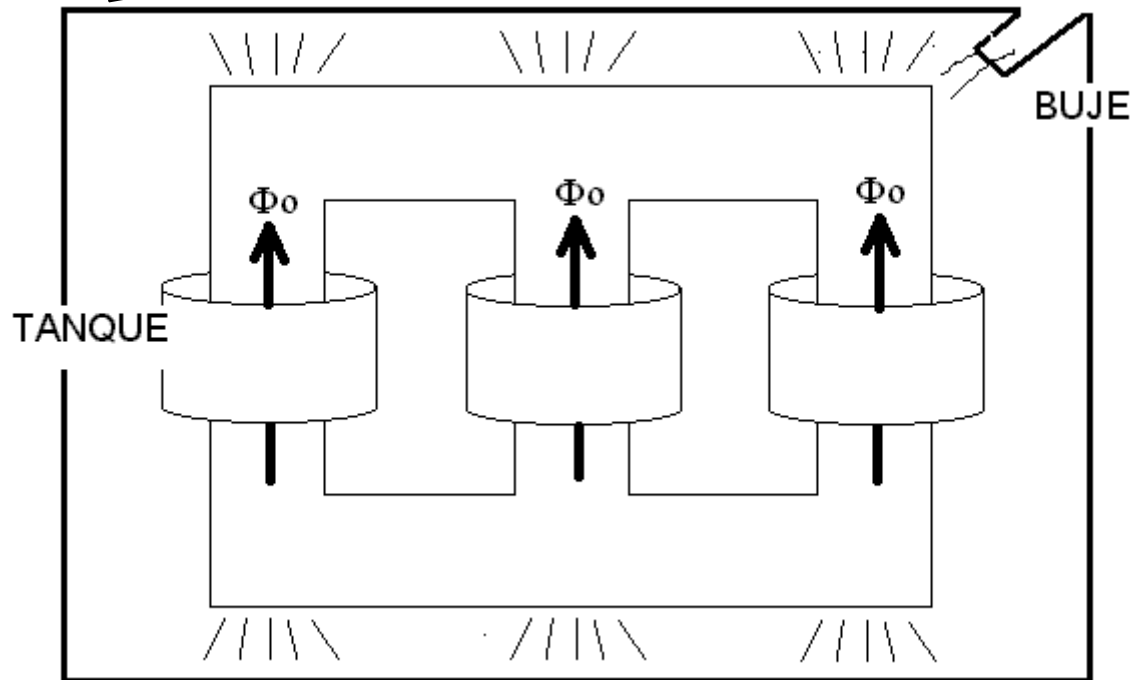
El Relé DEBERÍA OPERAR

Pueden causar coincidencias menores de 4 mS, provocando que el Relé NO OPERE CUANDO DEBIERA.

Armónicos

- ✚ En transformadores

Calentamiento por flujos



Armónicos

✦ Interferencia en líneas telefónicas

Influencia en Corriente

$$\text{Producto IT} = \left(\sum_{h=1}^H \left[I_H \cdot \text{TIF} \right]^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$



Influencia en Tensión

$$\text{Producto kVT} = \left(\sum_{h=1}^H \left[kV_H \cdot \text{TIF} \right]^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Armónicos

✚ Superposición de torque en los motores

$$\begin{aligned}i_a &= I_{\max} \cos wt \\i_b &= I_{\max} \cos (wt - 120) \\i_c &= I_{\max} \cos (wt + 120)\end{aligned}$$

Corrientes del estator
(frecuencia fundamental)

Fuerzas magnetomotrices

$$\begin{aligned}F_{a1} &= F_{\max} \cos \theta \cos wt \\F_{b1} &= F_{\max} \cos (\theta - 120) \cos (wt - 120) \\F_{c1} &= F_{\max} \cos (\theta + 120) \cos (wt + 120)\end{aligned}$$

Objetivos

Introducción

Interrupciones

huecos

sobretensiones

armónicos

conclusiones

Armónicos

- ✦ Superposición de torque en los motores

Armónico 3

$$i_{a3} = I_{a3} \cos 3\omega t$$

$$i_{b3} = I_{b3} \cos 3(\omega t - 120)$$

$$i_{c3} = I_{c3} \cos 3(\omega t + 120)$$

$$F_{a3} = F_{m3} \cos \theta \cos 3\omega t$$

$$F_{b3} = F_{m3} \cos (\theta - 120) \cos (3\omega t - 360)$$

$$F_{c3} = F_{m3} \cos (\theta + 120) \cos (3\omega t + 360)$$

$$F_3(\theta, t) = \frac{1}{2} (F_{a3} + F_{b3} + F_{c3}) = 0$$

Armónicos

- Superposición de torque en los motores

Armónico 5

$$i_{a5} = I_{m5} \cos 5\omega t$$

$$i_{b5} = I_{m5} \cos 5(\omega t + 120)$$

$$i_{c5} = I_{m5} \cos 5(\omega t - 120)$$

$$F_{a5} = F_{m5} \cos \theta \cos 5\omega t$$

$$F_{b5} = F_{m5} \cos (\theta - 120) \cos (5\omega t + 120)$$

$$F_{c5} = F_{m5} \cos (\theta + 120) \cos (5\omega t - 120)$$

$$F_5(\theta, t) = F_{a5} + F_{b5} + F_{c5} = \frac{3}{2} F_{m5} [\cos (\theta + 5\omega t)]$$

Armónicos

- ✦ Superposición de torque en los motores

Fuerza Magnetomotriz

$$F(\theta, t) = \frac{3}{2} F_{\text{máx}} [\cos(\theta - \omega t)] + \frac{3}{2} F_{m5} [\cos(\theta + 5\omega t)] + \frac{3}{2} F_{m7} [\cos(\theta - 7\omega t)] + \dots$$

Corriente del Rotor

$$I_r = I_{r1} \cos s\omega t + I_{r5} \cos(6 - s)\omega t + I_{r7} \cos(6 + s)\omega t + \dots$$

$$\tau \propto F(\theta, t) * I_r$$

Armónicos

- **Probabilidad de resonancias serie y paralelo**
- **Saturación de Transformadores**
- **Reducción de la eficiencia del sistema**
- **Envejecimiento y reducción de vida útil de equipos**
- **Probabilidad de operación incorrecta de**
 - Relés
 - Controladores
 - Contadores
- **Incremento de pérdidas**
- **Incremento de ruido e interferencia**
- **Existencia de torques vibratorios y de frenado**

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Flecos

Sobretensiones

Armónicos

Conclusiones

Conclusiones



- **El principal efecto de la falta de calidad es la salida de sistemas de control de procesos con ordenes erróneas.**
- **La interrupción de estos procesos causan grandes pérdidas de tipo económico.**
- **La apertura de relés hacen que se detengan procesos industriales.**

Objetivos

Introducción

Interrupciones

Lagunas

Obstrucciones

Armónicos

Conclusiones



¿ PREGUNTAS ?

