



Universitat de Girona

Armónicos

Calidad del Servicio Eléctrico [Power Quality]

Juan José Mora Flórez

jjmora@silver.udg.es

Girona, Marzo 6 de 2003



Contenido



Introducción



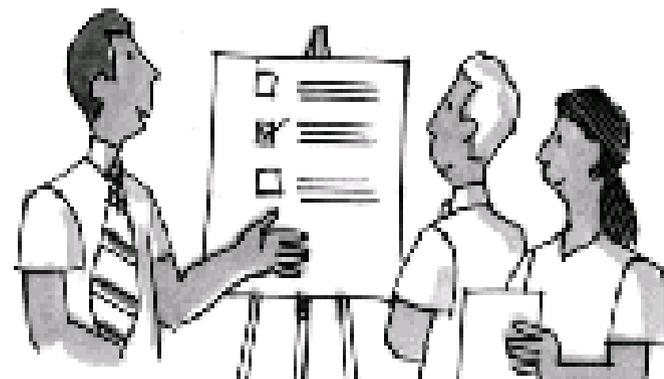
Compatibilidad Electromagnética



Análisis de Armónicos



Conclusiones

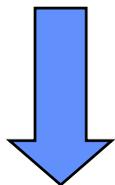




⇒ Introducción



**ENERGÍA
ELÉCTRICA**



**CALIDAD
DE SERVICIO**

- **Confiabilidad**
- **Seguridad**
- **Calidad**
- **Calidad comercial**
- **Continuidad**
- **Calidad del producto**
(Forma de Onda)

Armónicos

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

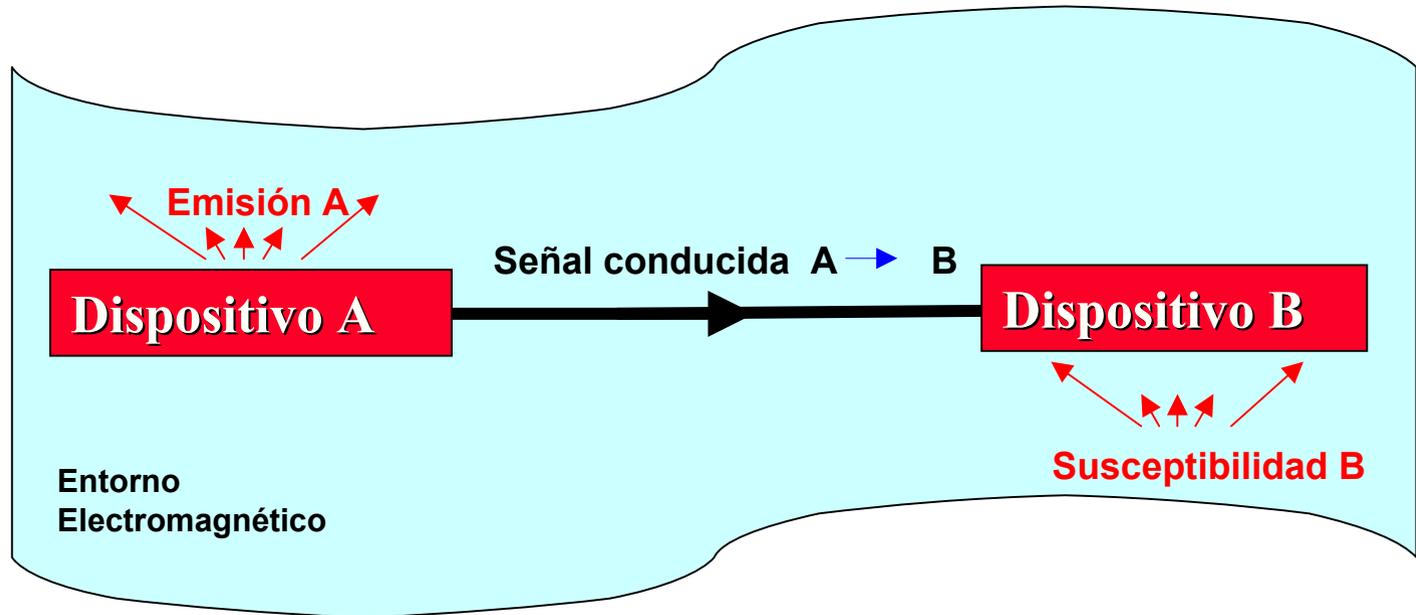
Análisis de
Armónicos

Conclusiones



⇒ Compatibilidad Electromagnética- CEM

Es la aptitud de un dispositivo, aparato o sistema para funcionar en su entorno electromagnético de forma satisfactoria, sin producir perturbaciones electromagnéticas intolerables para cualquier otro dispositivo situado en el mismo entorno.



Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones



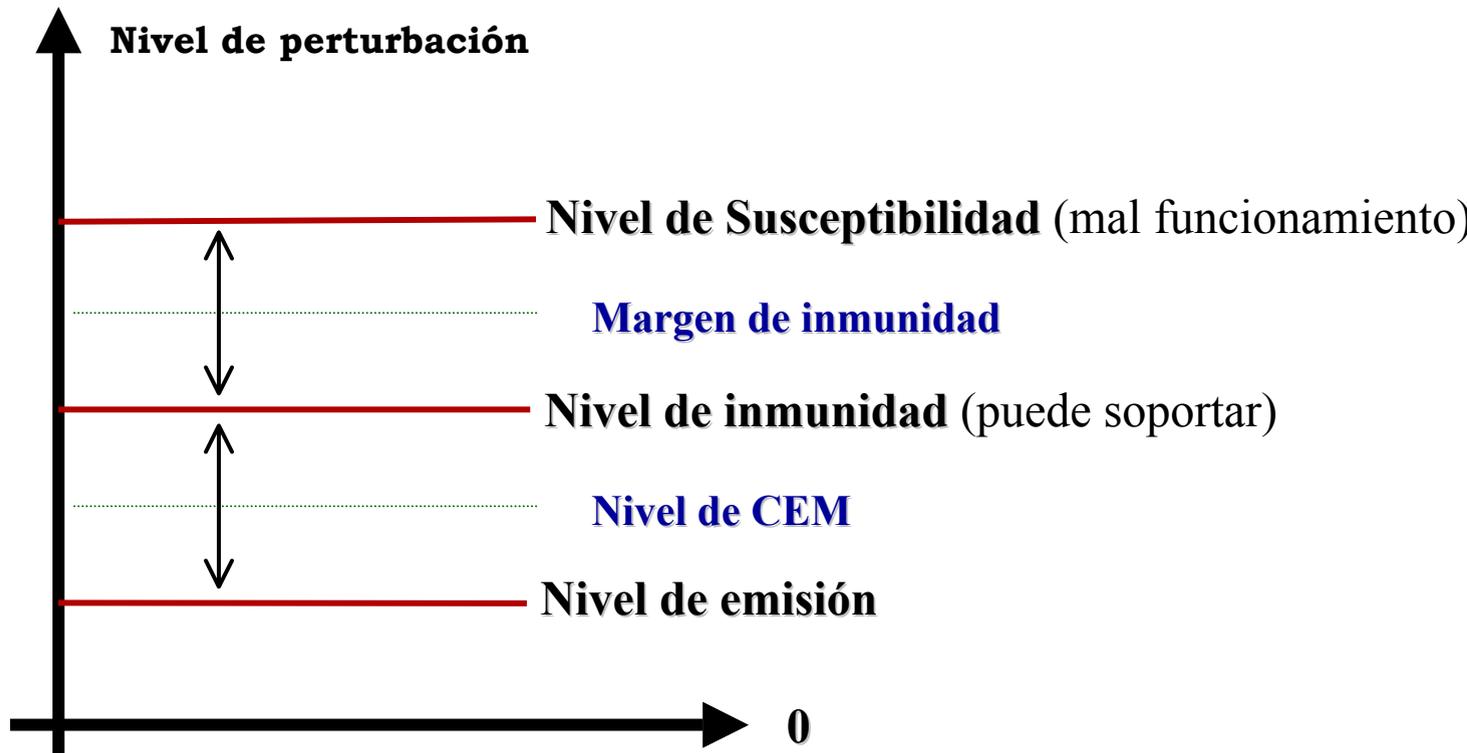
Compatibilidad Electromagnética de un Sistema

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
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.



Tipos de Perturbaciones

Introducción

Compatibilidad

Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones

	Baja Frecuencia (BF)	Alta Frecuencia (AF)
Rango de frecuencias	$0 < f < 1\text{MHz}$	$f > 1\text{MHz}$
Forma de propagación	Por conducción	Por Radiación
Medio de propagación	Cables	Aire
Duración	Transitoria y Permanente	Transitoria y Permanente



Perturbaciones comunes en los sistemas de distribución

Introducción

Compatibilidad

Electromagnética

Análisis de
armónicos

Conclusiones

Tensión		Variaciones, cortes, caídas, sobretensiones
Frecuencia		Variaciones
Forma de onda		Armónicos, transitorios
Fases		Desequilibrios
Potencia		Cortocircuito, sobrecargas



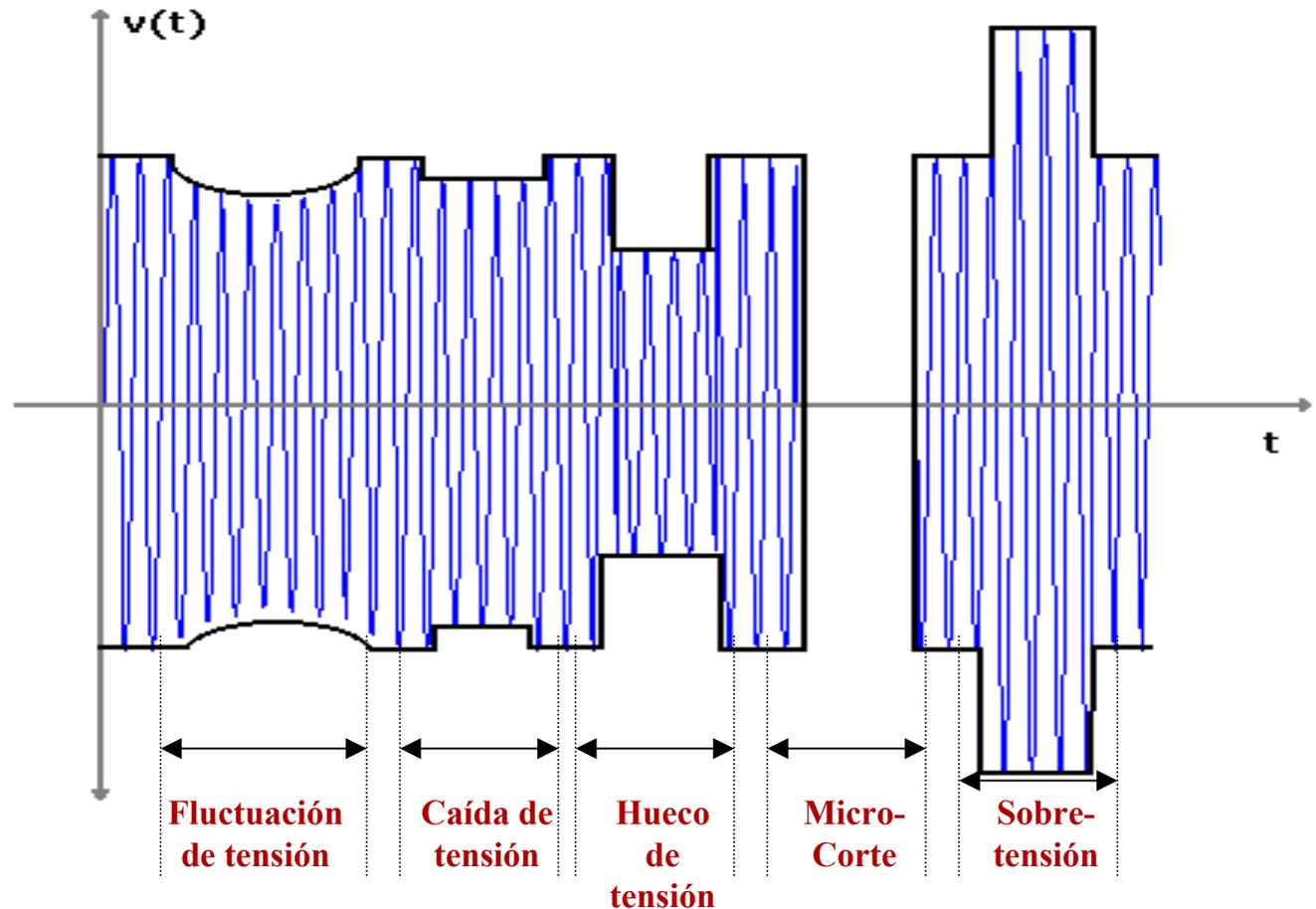
Ejemplos de perturbaciones en tensión comunes en la red

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones





⇒ Armónicos

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

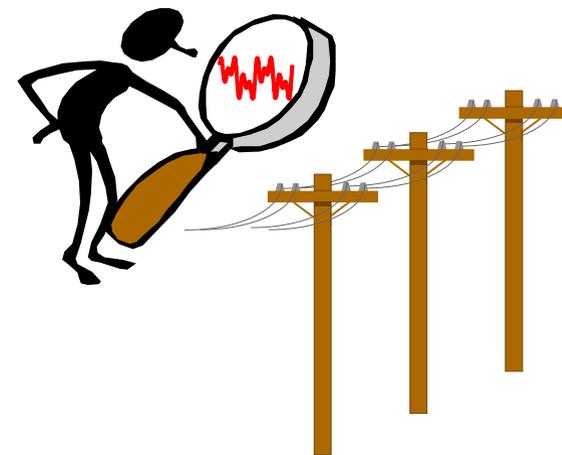
Conclusiones



Los armónicos son perturbaciones de baja frecuencia que se transmiten principalmente por conducción.



Cómo se evidencia la existencia de Armónicos ?



Se dice que una señal tiene perturbaciones armónicas si la forma de onda difiere de la señal senoidal en régimen permanente.

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

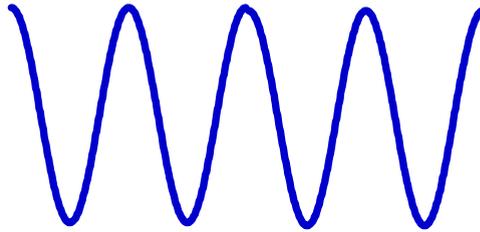
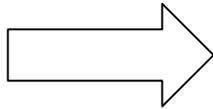
Análisis de
Armónicos

Conclusiones

Por qué hoy en día hay que hacer estudios de los armónicos ?

ANTERIORMENTE

tensión



Anormalidades:

Transitorios

Cortocircuitos

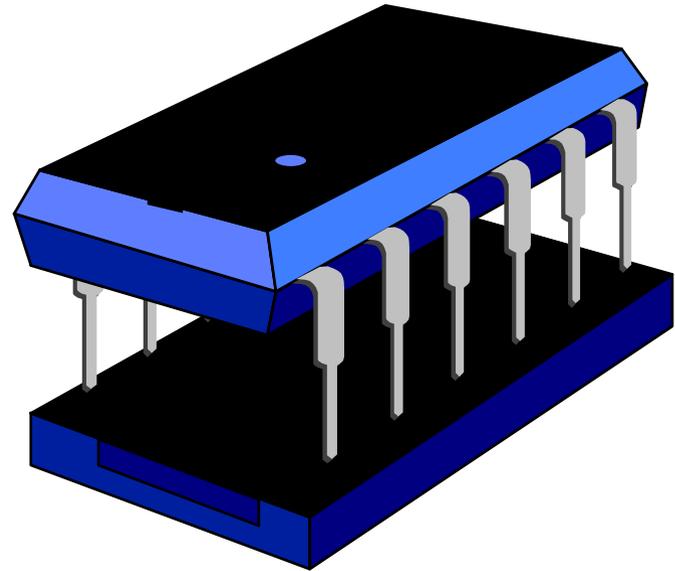
Descargas

TRFs
Cargas especiales

**Sistema
inmune**

Con el advenimiento de Cargas Electrónicas: “Mayor uso y de mayor potencia”

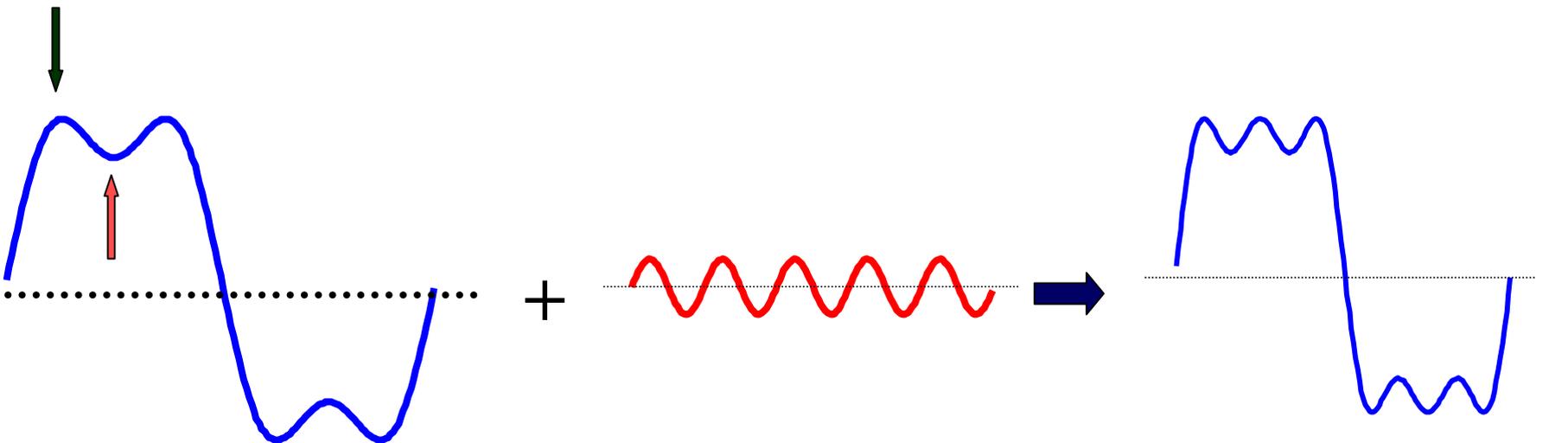
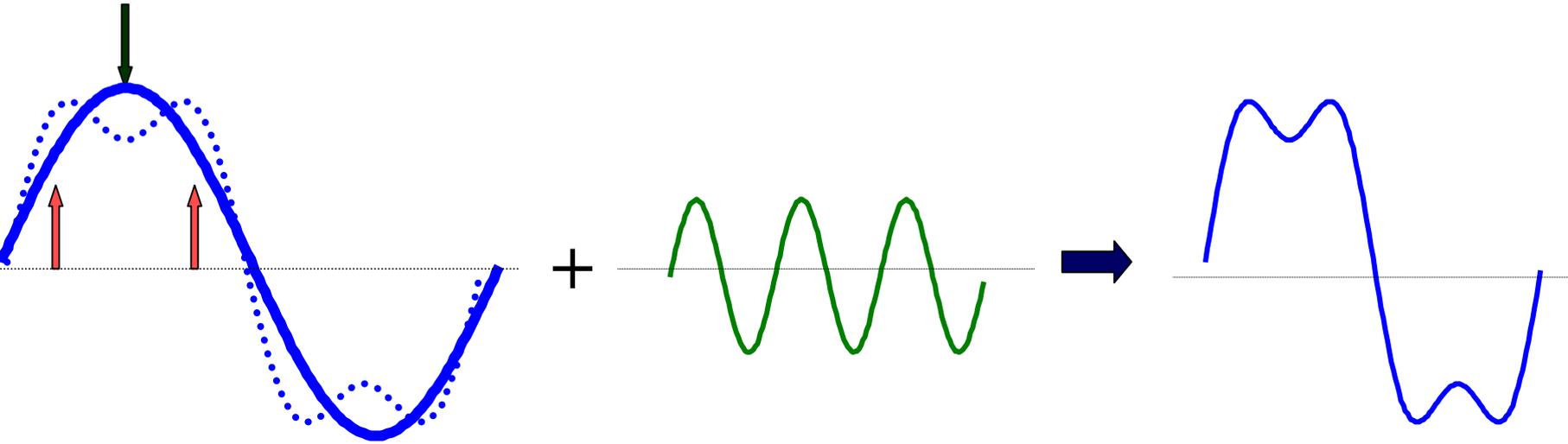
Convertidores
Variadores de velocidad
Rectificadores
Computadores, etc



Aumenta



Cómo se representan las señales que tienen perturbaciones armónicas ?

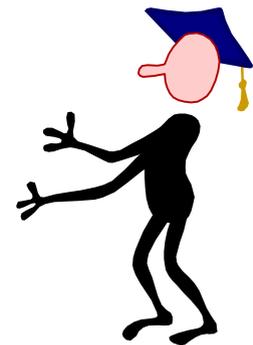


Series de Fourier

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \cos(k\omega_0 t) + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \text{sen}(k\omega_0 t)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_T x(t) dt \quad B_k = \frac{2}{T} \int_T x(t) \cos(k\omega_0 t) dt$$

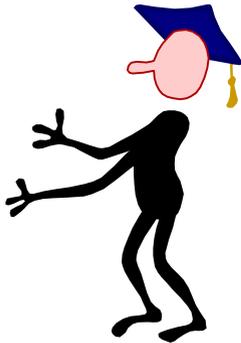
$$C_k = \frac{2}{T} \int_T x(t) \text{sen}(k\omega_0 t) dt$$



Series de Fourier

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

$$D_k = \sqrt{B_k^2 + C_k^2} \quad \theta_k = -\tan^{-1} \left(\frac{C_k}{B_k} \right)$$





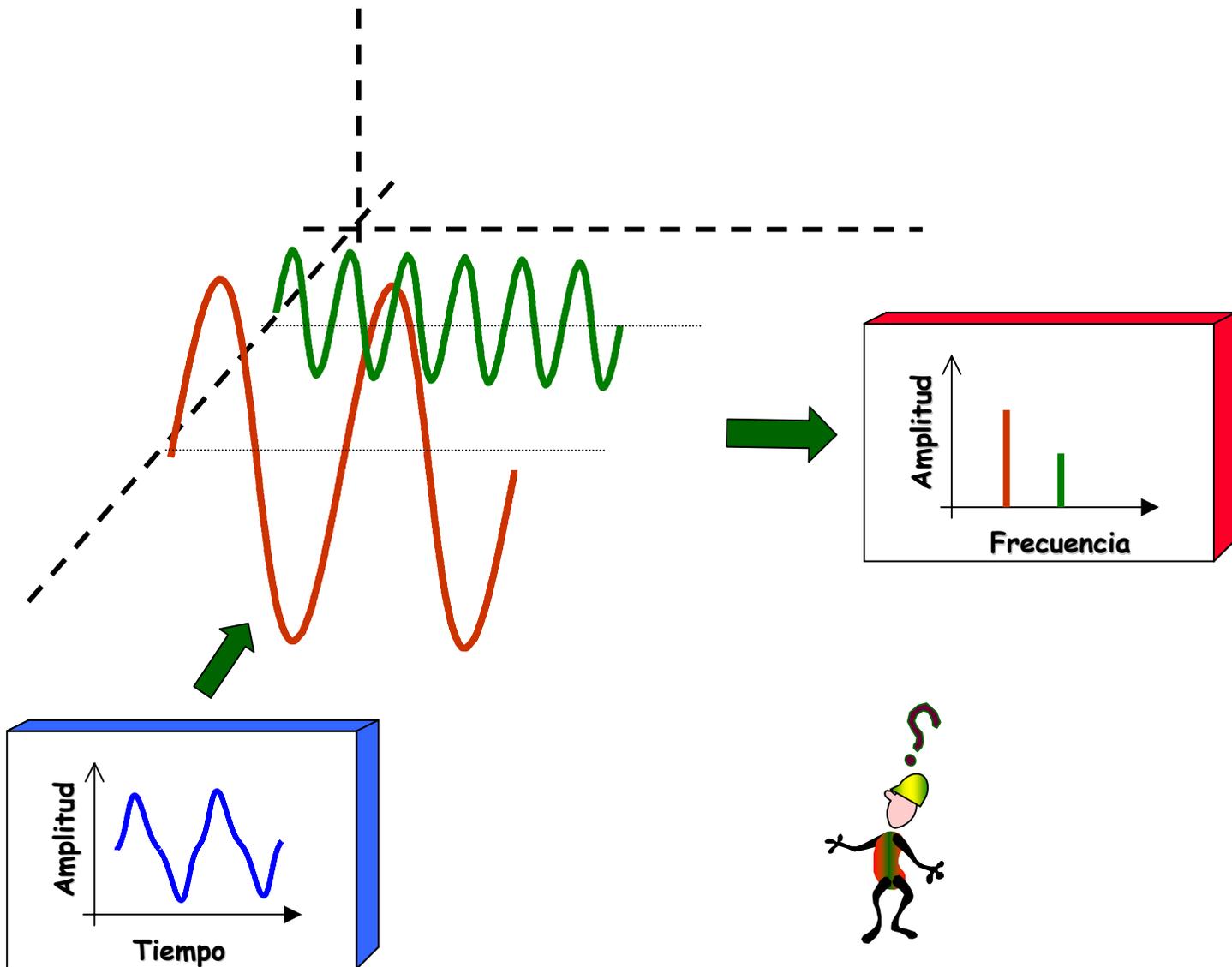
Dominios del Tiempo y de la Frecuencia ($j\omega$)

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones





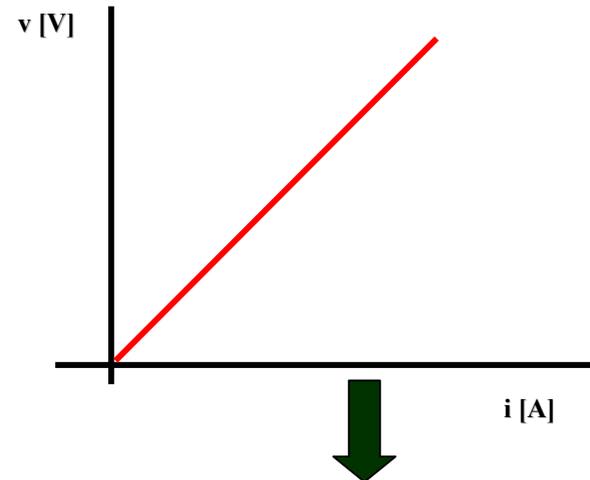
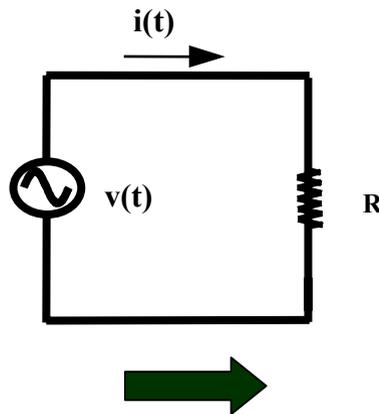
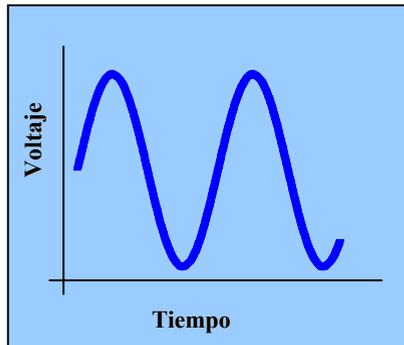
Cómo se generan las perturbaciones armónicas ?

Introducción

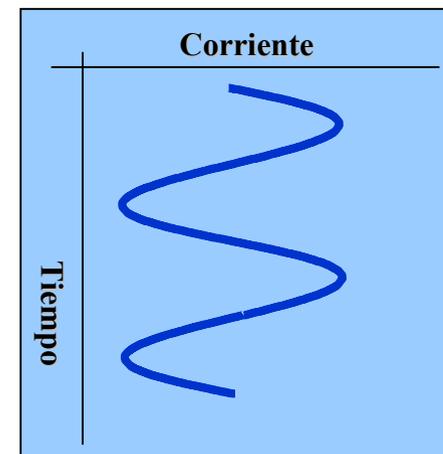
Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
armónicos

Conclusiones

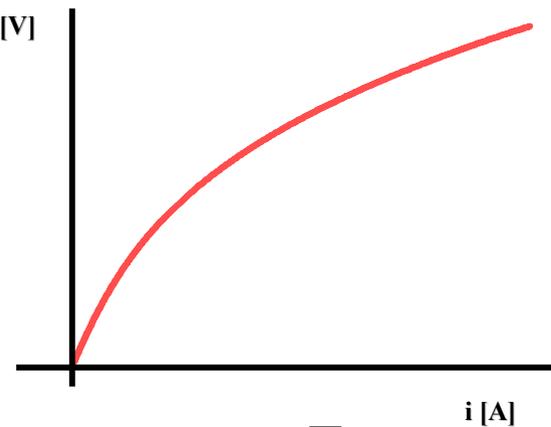
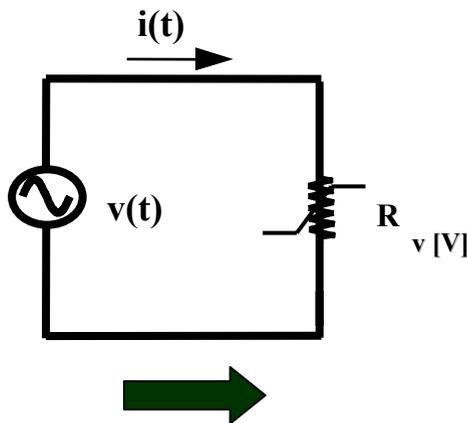
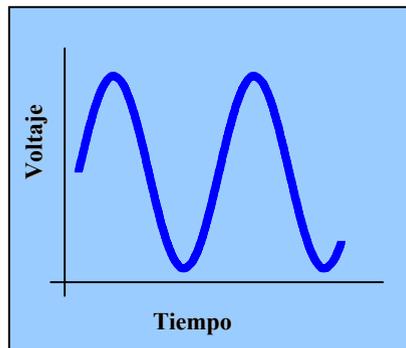


**Fuente de tensión
senoidal y Carga lineal**

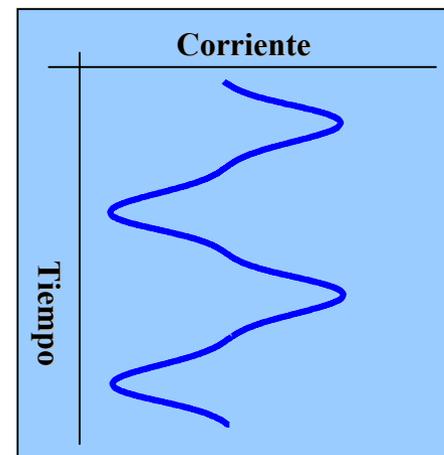
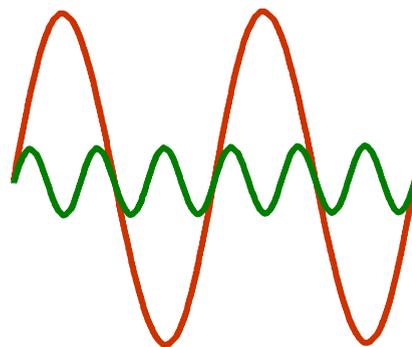




Cómo se generan las perturbaciones armónicas ?



Fuente de tensión senoidal y Carga no-lineal



Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones



Generación de armónicos

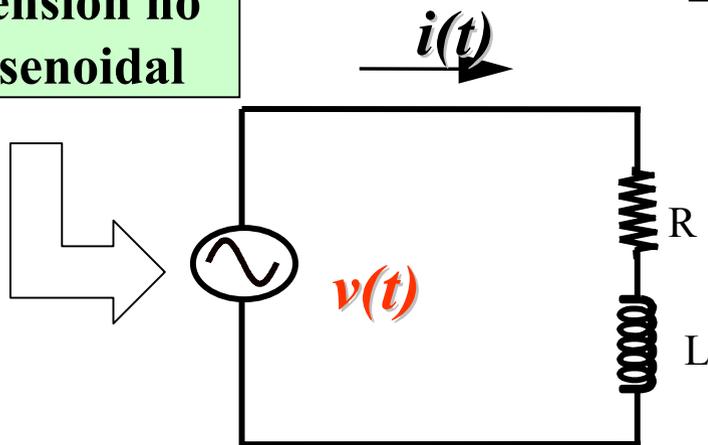
Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

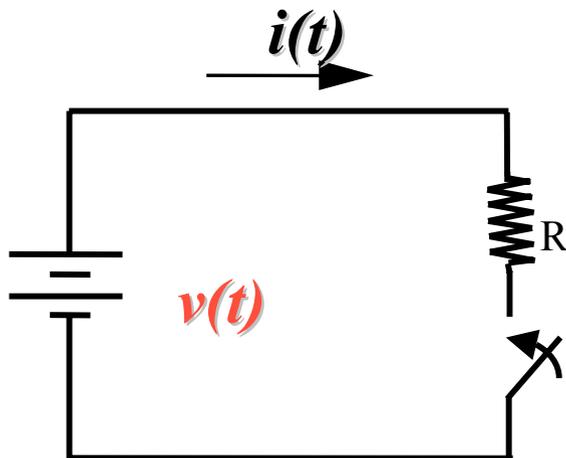
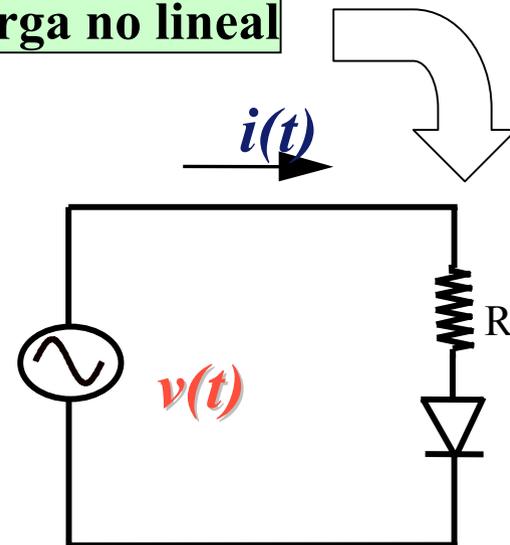
Análisis de
Armónicos

Conclusiones

Carga lineal
tensión no
senoidal



Carga no lineal



Carga variante
en el tiempo



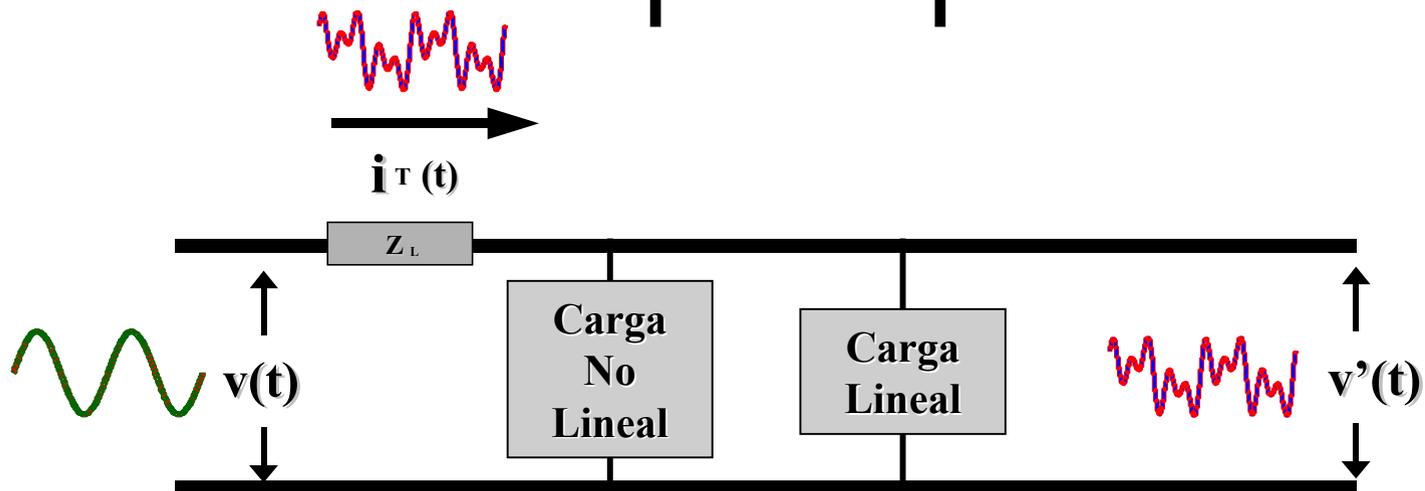
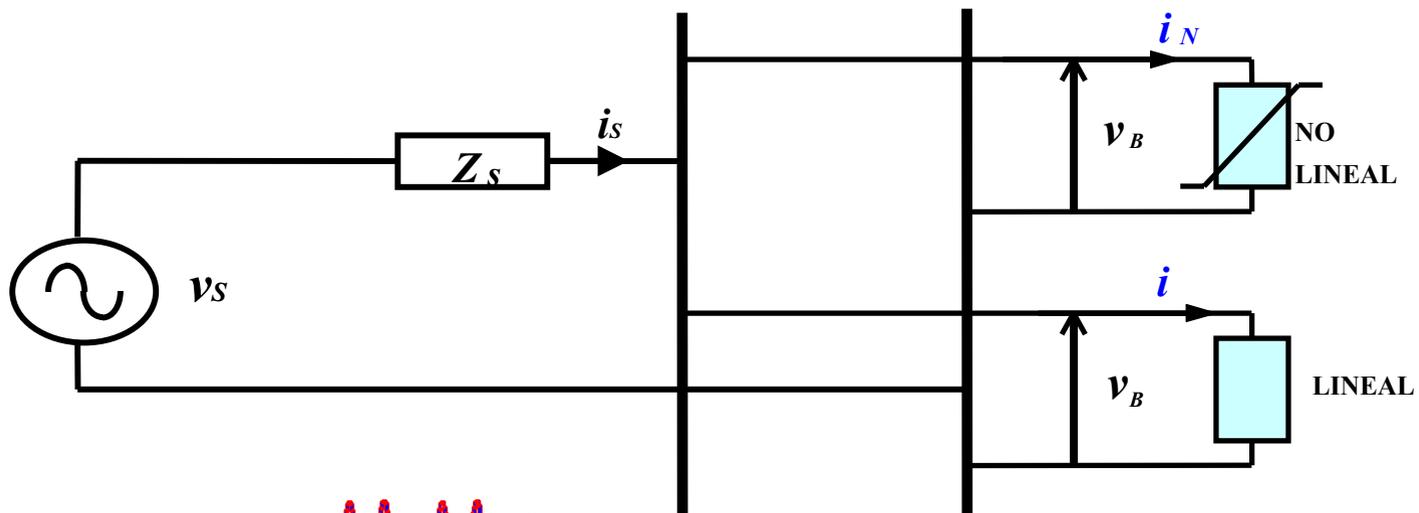
Otras formas de generación: Generación de tensiones armónicas en una red eléctrica por propagación corrientes armónicas

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones





Categorías de fuentes de generación armónicas

Introducción

Compatibilidad

Electromagnética

Análisis de armónicos

Conclusiones

➤ Fuentes de pequeña potencia y comportamiento predecible

- Equipos domesticos y residenciales

➤ Fuente de gran potencia y comportamiento aleatorio

- Hornos de arco

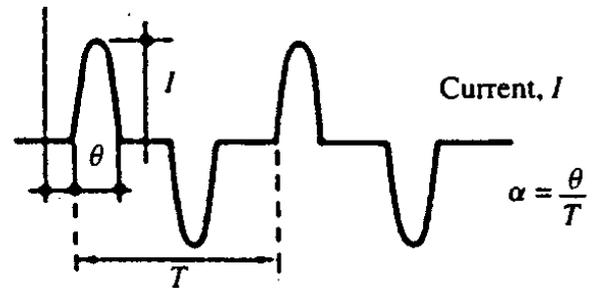
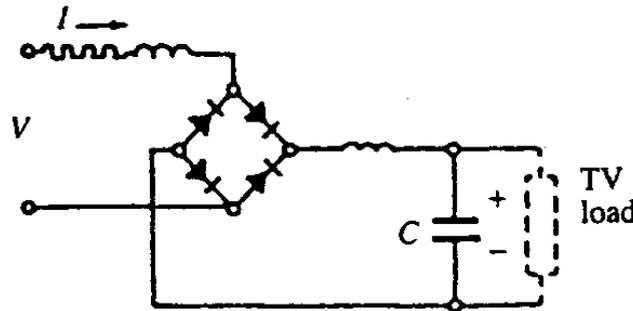
➤ Fuente de gran potencia y comportamiento predecible

- Convertidores estáticos (HVdc, Hornos de fundición)



Fuentes de pequeña potencia

- Mayoritariamente monofásicos: TV's, PC's, convertidores.
- Individualmente no son significativos, pero su efecto combinado produce gran distorsión (armónicos impares).
- Su comportamiento es predecible y de estado estacionario o cuasiestacionario



Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones



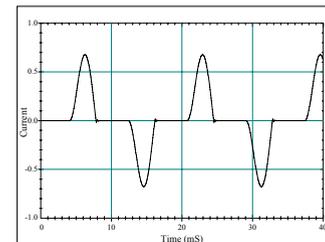
Otros Ejemplos

Introducción

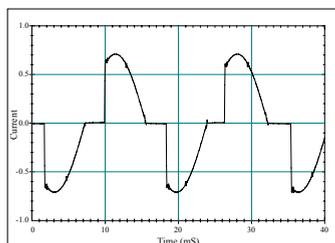
Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

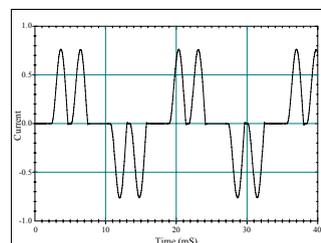
Conclusiones



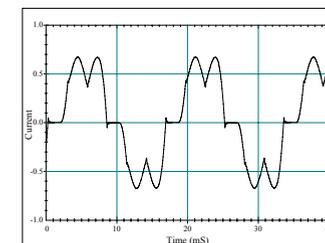
Single Phase Power Supply (DAT=80%)



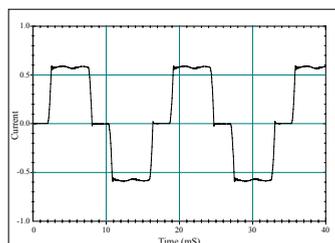
Semiconverter (DAT=alto)



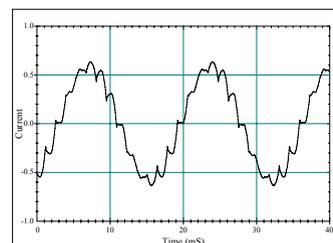
6 Pulse Converter, capacitive smoothing, no series inductance (DAT=80%)



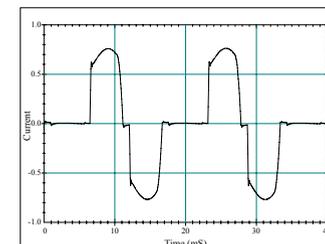
6 Pulse Converter, capacitive smoothing with series inductance > 3%, or dc drive (DAT=40%)



6 Pulse Converter with large inductor for current smoothing (DAT=28%)



12 Pulse Converter (DAT=15%)



AC Voltage Regulator (DAT=varía con alfa)



Cómo afectan las perturbaciones armónicas ?

La gravedad de su aparición depende de la susceptibilidad de la carga o la fuente

Elementos Menos Susceptibles: *Generadores de Calor*

Elementos Más Susceptibles: *Diseñados con entrada completamente Senoidal*

Elementos con Susceptibilidad Intermedia: *Motores*

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones



Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
armónicos

Conclusiones

Efectos de los armónicos



- 1. Probabilidad de resonancias serie y paralelo**
- 2. Saturación de Transformadores (dimensionamiento)**
- 3. Reducción de la eficiencia del sistema**
- 4. Envejecimiento y reducción de vida útil de equipos**
- 5. Probabilidad de operación incorrecta de:**
 - a) Relés**
 - b) Controladores**
 - c) Contadores (pérdidas)**
- 6. Incremento de pérdidas**
- 7. Incremento de ruido e interferencia**
- 8. Existencia de torques vibratorios y de frenado**



Cómo se cuantifica el nivel de las perturbaciones armónicas ?

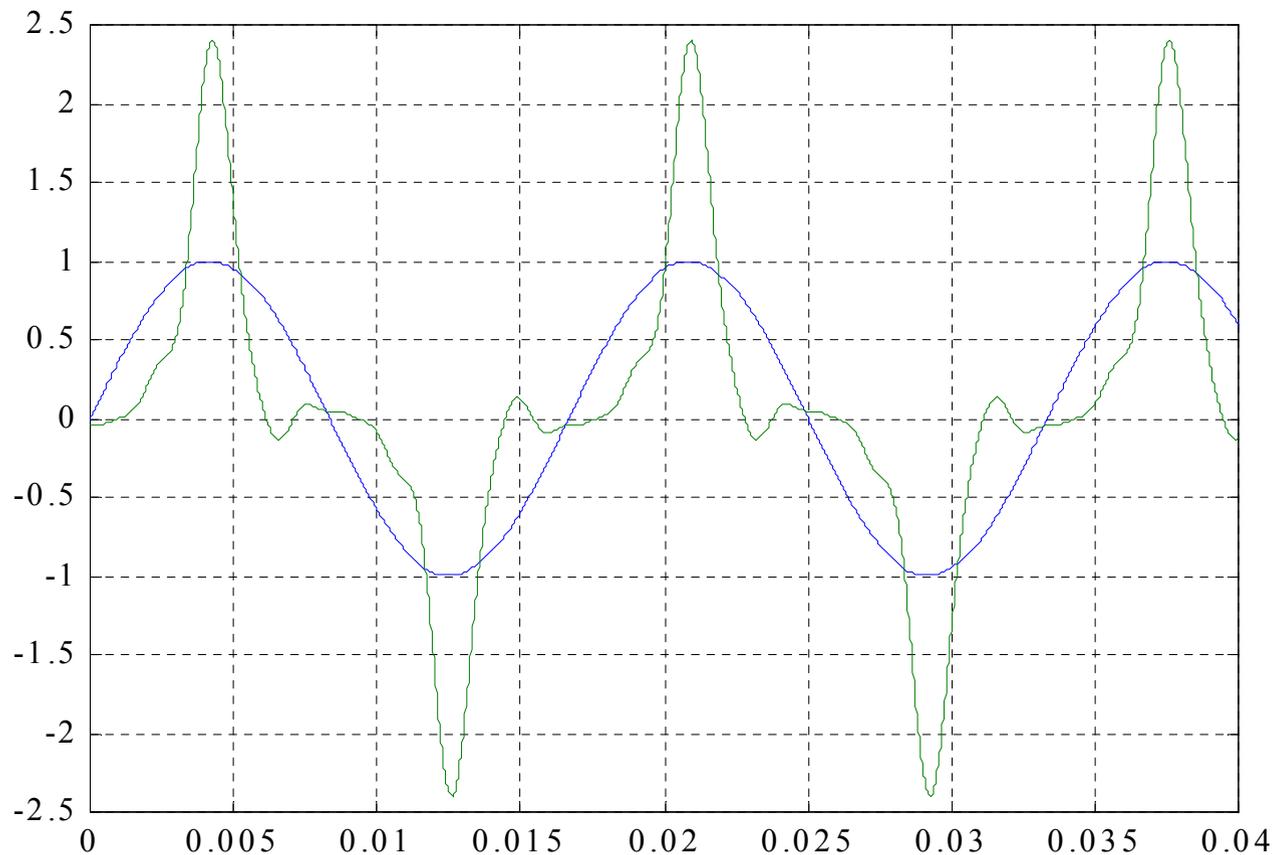
Distorsión Armónica

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
armónicos

Conclusiones





Distorsión Armónica

Introducción

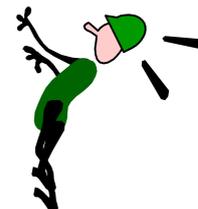
Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones

$$DAT_V = \frac{\sqrt{\sum_{n \neq 1} V_n^2}}{V_1}$$

$$DAT_I = \frac{\sqrt{\sum_{n \neq 1} I_n^2}}{I_1}$$





Distorsión Armónica

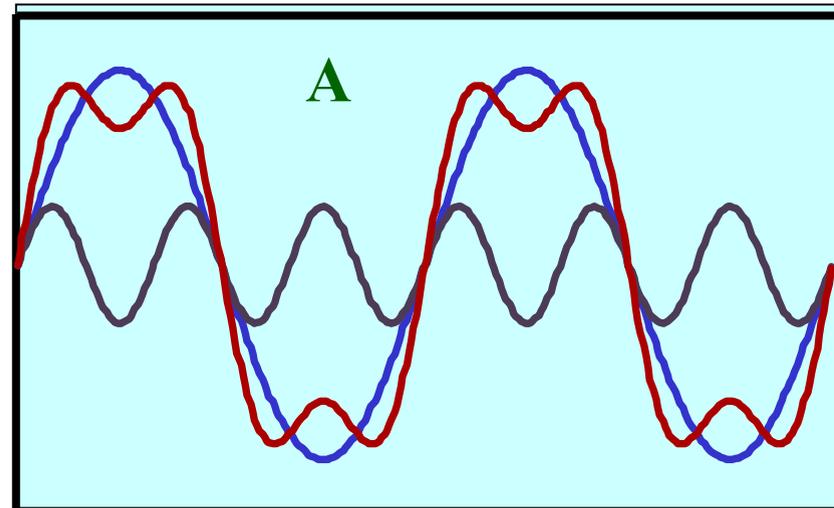
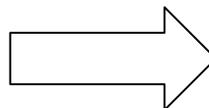
Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

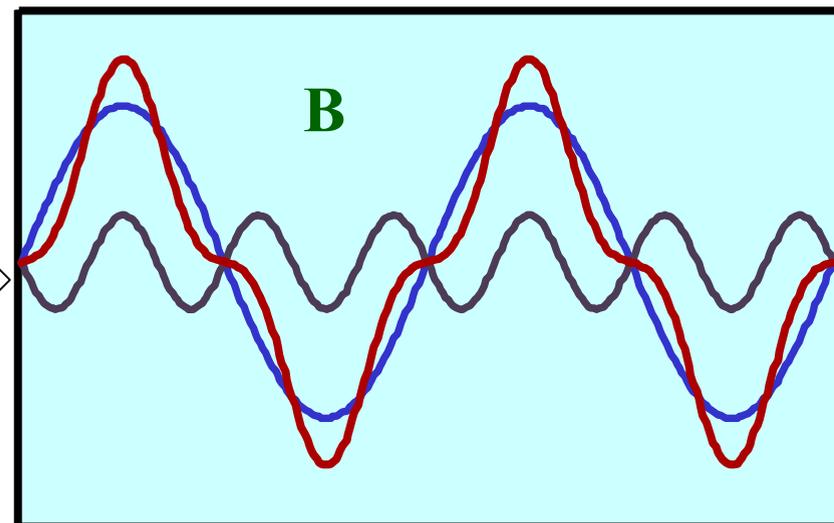
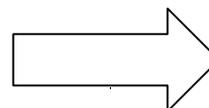
Conclusiones

armónicos
en fase



$$D.A.T.A = D.A.T.B$$

Armónicos
en contrafase





Otros índices

- **Factor de cresta.**

$$FC = \frac{V_{max}}{V_{RMS}}$$

- **Factor de forma**

$$FF = \frac{V_{RMS}}{V_{AAV}}$$

- **Factor de desviación**

$$FD = \delta_{max}$$

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

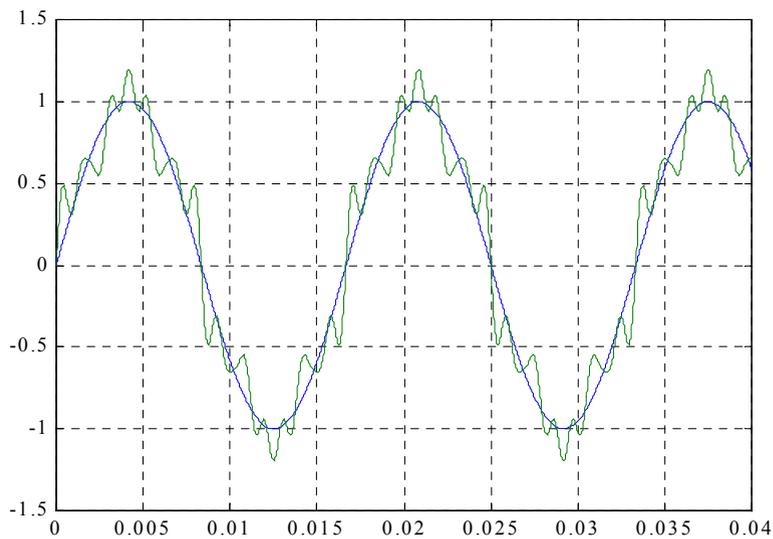
Análisis de
armónicos

Conclusiones



⇒ Conclusiones

¿De quien depende?



Tensión



EMPRESAS DISTRIBUIDORAS

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

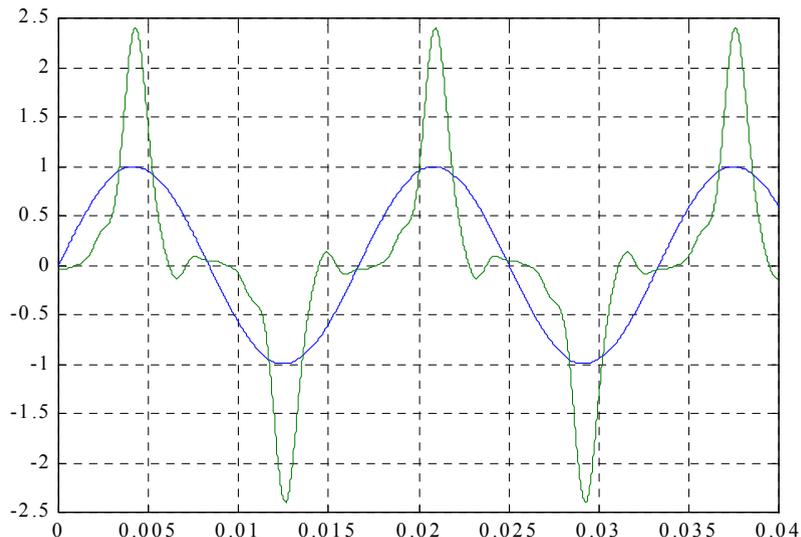
Análisis de
Armónicos

Conclusiones

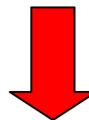


⇒ Conclusiones

¿De quien depende?



Corriente



USUARIOS

Introducción

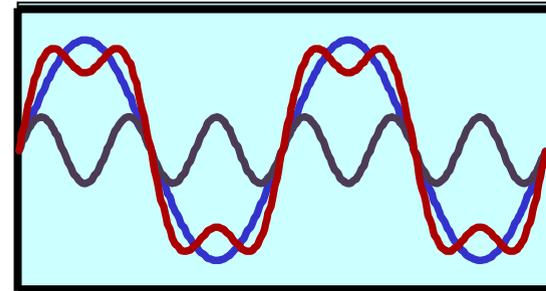
Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones



⇒ Conclusiones



Los armónicos son distorsiones de la forma de onda de voltaje y de corriente, debidas a la presencia de señales senoidales de frecuencias múltiplo de la frecuencia fundamental.

Introducción

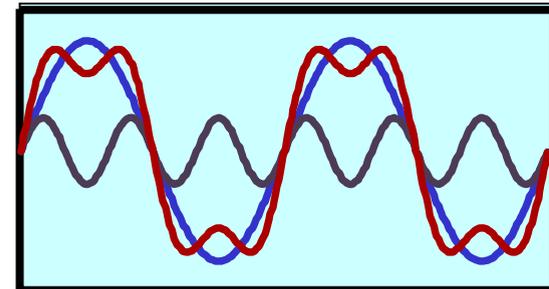
Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones



⇒ Conclusiones



El grado en el que los equipos se afectan por los armónicos y el grado de contaminación que produce cada equipo está enmarcado dentro de su compatibilidad electromagnética.

Introducción

Compatibilidad
Electromagnética

Análisis de
Armónicos

Conclusiones



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

**Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y
Telecomunicaciones**

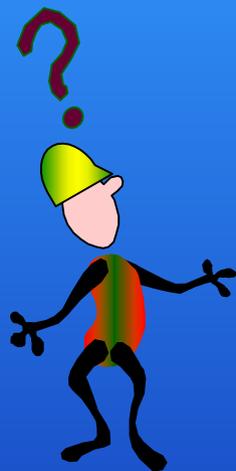
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Carrera 27, Calle 9. Ciudad Universitaria. — A. A. 678

Conmutador: +(7) 6344000, Extensiones: 2373 - 2479

Teléfonos: +(7) 6342085 / 6359622 — Fax: +(7) 6451156

BUCARAMANGA — COLOMBIA



Preguntas ?

