

GENERACION DISTRIBUIDA Y CALIDAD DE POTENCIA

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

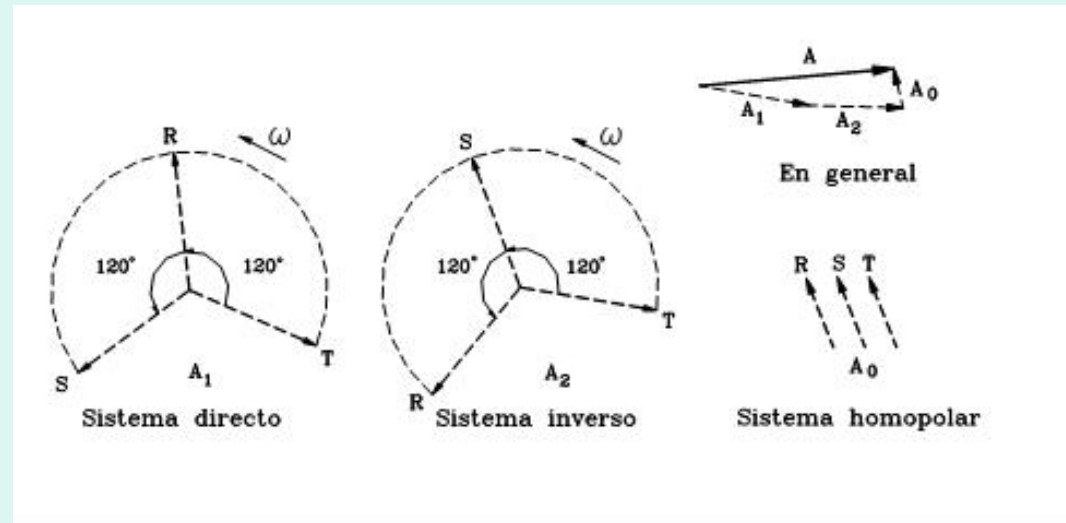
Una Terna Trifásica de tensiones (o de corrientes) es desequilibrada cuando:

- Las magnitudes de las tres tensiones no son iguales
- Las fases de las tres tensiones no son iguales a 120°
- Una combinación de ambas situaciones anteriores

Los desequilibrios de las tensiones o de las corrientes aparecen en los Sistemas Eléctricos porque:

- Las corrientes son equilibradas pero las impedancias del sistema no lo son
- Las impedancias de los componentes del sistema (transformadores, líneas, etc.) son equilibradas pero las corrientes de carga no lo son

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS



$$a = -0,5 + j0,87 = 1\angle 120^\circ \quad a^2 = -0,5 - j0,87 = 1\angle 240^\circ$$

$$A_R = A_{1R} + A_{2R} + A_0$$

$$A_S = A_{1S} + A_{2S} + A_0 = a^2 A_{1R} + a A_{2R} + A_0$$

$$A_T = A_{1T} + A_{2T} + A_0 = a A_{1R} + a^2 A_{2R} + A_0$$

$$\begin{bmatrix} A_R \\ A_S \\ A_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \end{bmatrix}$$

$$A_{RST} = A \cdot A_{012}$$

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

$$A^{-1} \cdot A_{RST} = A^{-1} A \cdot A_{012}$$

$$A_{012} = A^{-1} \cdot A_{RST}$$

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

Sobre las tensiones:

$$V_{RST} = A \cdot V_{012}$$

$$V_{012} = A^{-1} \cdot V_{RST}$$

Sobre las corrientes:

$$I_{RST} = A \cdot I_{012}$$

$$I_{012} = A^{-1} \cdot I_{RST}$$

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Potencias de secuencia:

$$S_{3\phi} = V_{RST}^T \cdot I_{RST}^*$$

$$S_{3\phi} = (A \cdot V_{012})^T \cdot (A \cdot I_{012})^* = V_{012}^T \cdot A^T \cdot A^* \cdot I_{012}$$

Se puede demostrar que $A^T = A$, y que $A^T \cdot A^* = 3$,

$$S_{3\phi} = 3(V_{012}^T \cdot I_{012}^*) = 3 \cdot V_0 \cdot I_0^* + 3 \cdot V_1 \cdot I_1^* + 3 \cdot V_2 \cdot I_2^*$$

Impedancias de secuencia:

$$Z_{RST} = \begin{bmatrix} Z_{RR} & Z_{RS} & Z_{RT} \\ Z_{SR} & Z_{SS} & Z_{ST} \\ Z_{TR} & Z_{TS} & Z_{TT} \end{bmatrix}$$

$$V_{RST} = Z_{RST} \cdot I_{RST} \quad A \cdot V_{012} = Z_{RST} \cdot A \cdot I_{012} \quad V_{012} = A^{-1} \cdot Z_{RST} \cdot A \cdot I_{012} = Z_{012} \cdot I_{012}$$

$$Z_{012} = A^{-1} \cdot Z_{RST} \cdot A$$

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Algunas conclusiones:

1- Sistema trifásico de cuatro hilos alimentando a una carga conectada en estrella:

$$I_{012} = A^{-1} \cdot I_{RST} \quad I_0 = \frac{1}{3}(I_{RR} + I_{SS} + I_{TT}) \quad I_N = I_{RR} + I_{SS} + I_{TT}$$

$$I_0 = \frac{1}{3}I_N$$

2.- Una terna trifásica de tensiones de línea:

$$V_{0L} = \frac{1}{3}(V_{RS} + V_{ST} + V_{TR})$$

3.- En un sistema trifásico que no se encuentre en falta, que todas sus cargas son equilibradas y sea alimentado por una terna trifásica de secuencia positiva pura, circularán solo corrientes de secuencia positiva y producirán caídas de tensión equilibradas de secuencia positiva. No existirán caídas de tensión de secuencia negativa ni cero.

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Otras conclusiones:

4.- En un sistema simétrico, las corrientes y tensiones de diferente secuencia no afectan a las otras; o sea, las corrientes de secuencia positiva producen solo caídas de tensión de secuencia positiva. Ésta última afirmación también se refiere a las otras dos secuencias.

5.- Las corrientes de secuencia negativa y cero son propias de circuitos con impedancias desequilibradas; O sea, un juego de impedancias desequilibradas en un sistema simétrico puede considerarse como una fuente de corriente de secuencia negativa o cero

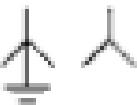
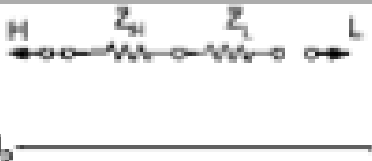

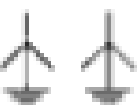


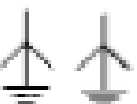


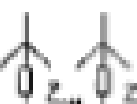
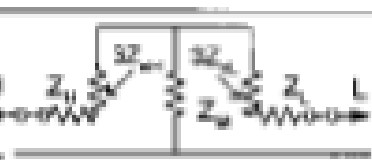


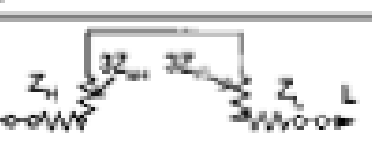

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

La red de secuencia cero (transformadores):

No	Winding Connections	Zero Sequence Circuit	Positive or Negative Sequence Circuit
1			
2			
3			
4			
5			

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

La red de secuencia cero (transformadores):

6			
7			
8			
9			
10			

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

DEFINICIONES:

La Nema Standard MG1-1993 define Line Voltage Unbalance Rate (*LVUR*)

$$\%LVUR = \frac{MVDALV \cdot 100}{ALV}$$

MVDALV : Maximum Voltage Deviation from Average Line Voltage,

ALV : Average Line Voltage.

NEMA standards assume that the average voltage is always the rated value.

La IEEE Std 112-1991, Dec. 1991 y IEEE Std 112-2004, May. 2004 define Phase Voltage Unbalance Rate (*PVUR*) :

$$\%PVUR = \frac{MVDAPV \cdot 100}{APV}$$

MVDAPV : Maximum Voltage Deviation from Average Phase Voltage,

APV : Average Phase Voltage,

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

DEFINICIONES:

La IEEE Guide for Self-Commutated Converters, IEEE Std 936-1987, Mar. 1987, define:

$$\%LVUR_{IEEE936} = \frac{DBH \& LV}{ALV}$$

DBH&LV : Difference Between the Highest and the Lowest Fundamental rms Values.

La IEEE Std 141-1993, Dec. 1993 y la IEC-60034-26, 2002 definen:

$$VUF = \frac{V_2}{V_1}$$

V_2 : Negative Sequence Voltage,

V_1 : Positive Sequence Voltage.

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

DEFINICIONES:

En algunas publicaciones se sugiere el Complex Voltage Unbalance Factor (*CVUF*) :

$$\overline{CVUF} = \frac{\overline{V_2}}{\overline{V_1}} = \frac{V_2 \angle \theta_2}{V_1 \angle \theta_1} = K_v \angle \theta_v$$

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

DEFINICIONES:

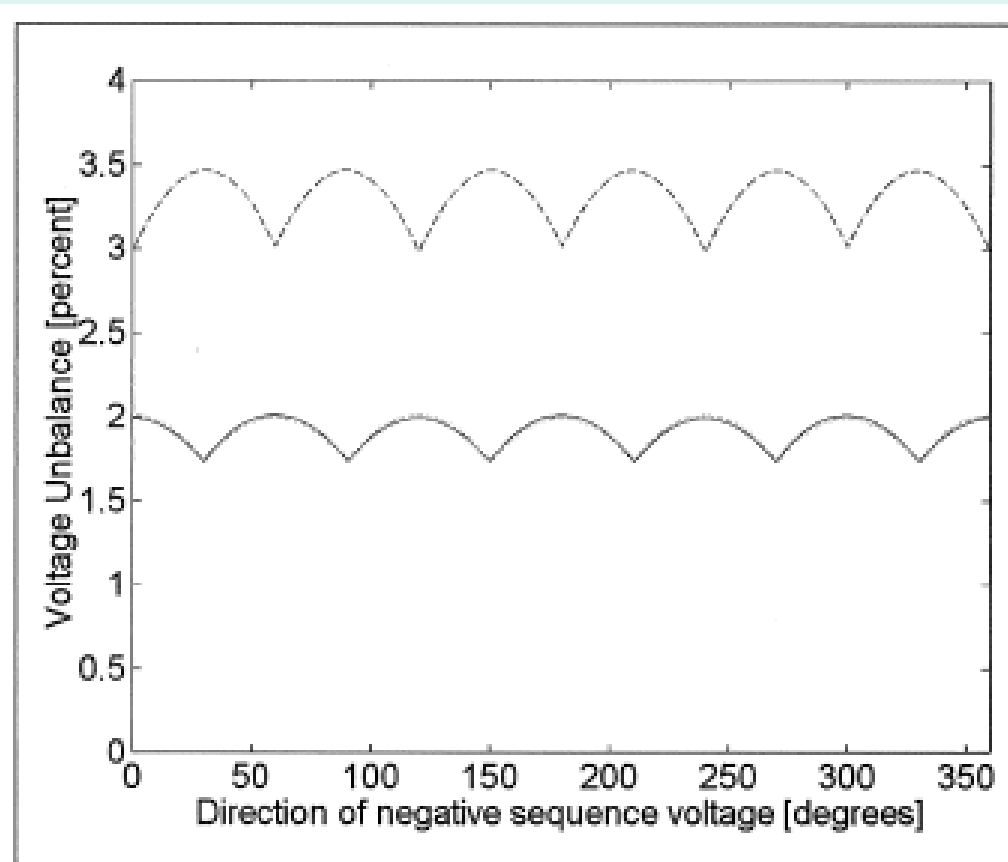


Figure 1. Voltage unbalance according to the different definitions for 2% negative-sequence voltage: %LVUR (dotted line), %PVUR₉₃₆ (dashed line), and %PVUR₁₁₂ (solid line).

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

DEFINICIONES:

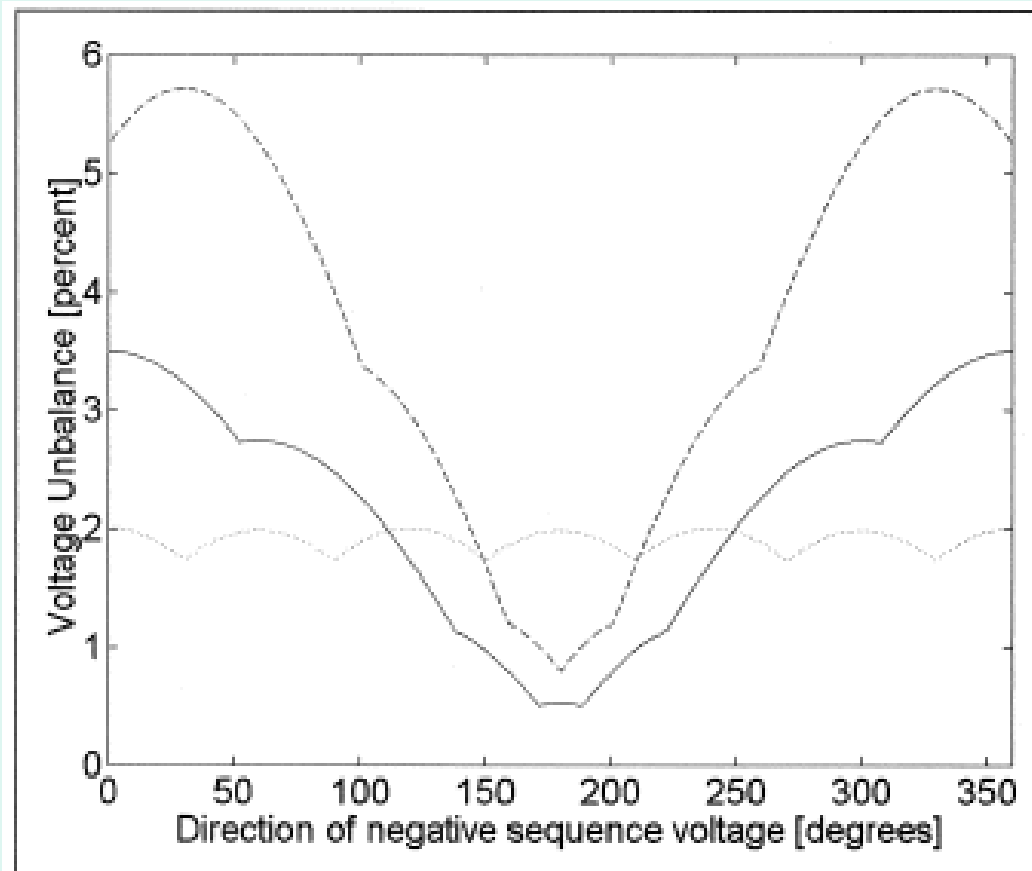


Figure 2. Voltage unbalance according to different definitions for 2% negative-sequence and 1.5% zero-sequence: %LVUR (dotted line); %PVUR₉₃₆ (dashed line); and %PVUR₁₁₂ (solid line).

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

DEFINICIONES:

$$\%LVUR_{approx} = \frac{82\sqrt{V_{abe}^2 + V_{bce}^2 + V_{cae}^2}}{ALV}$$

V_{abe} , diferencia entre V_{ab} y el valor medio de las tensiones de línea

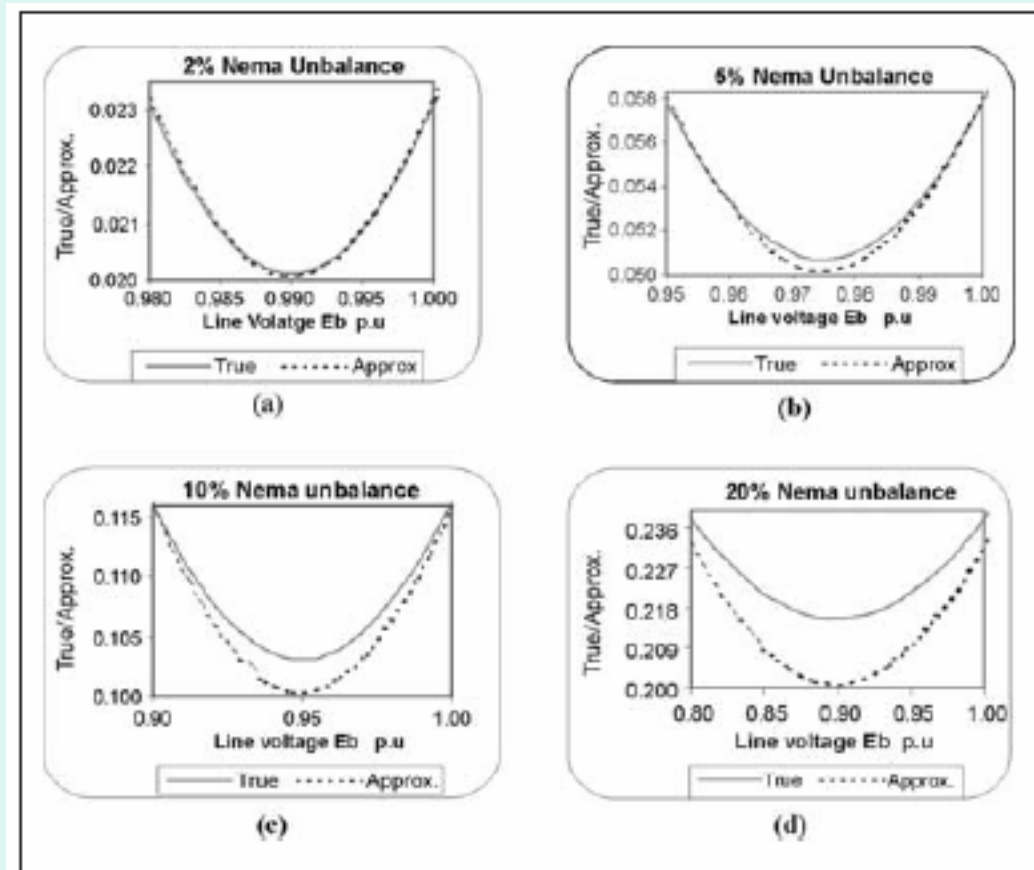


Figure 1. Relationship between the true definition of voltage unbalance and NEMA definition for 2%, 5%, 10%, and 20% values of NEMA unbalance

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Causas y propagación:

- ✓ Corrientes equilibradas “circulando por impedancias de sistemas” desequilibrados
- ✓ Impedancias equilibradas pero corrientes desequilibradas

En general:

- ✓ Cargas trifásicas desequilibradas
- ✓ Cargas monofásicas o bifásicas
- ✓ Operación por fase de dispositivos de protección
- ✓ Reguladores de tensión ajustados para compensación de caída en línea operando con corrientes desequilibradas
- ✓ Otras

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Causas y propagación:

Tensiones de secuencia a través de un transformador:

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{U}_A^+ = \underline{I}_A^+ \cdot \underline{Z}^+ - K \cdot \underline{U}_a^+ \\ \underline{U}_B^+ = \underline{U}_A^+ \cdot a^2 \\ \underline{U}_C^+ = \underline{U}_A^+ \cdot a \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{U}_A^- = \underline{I}_A^- \cdot \underline{Z}^- - K \cdot \underline{U}_a^- \\ \underline{U}_B^- = \underline{U}_A^- \cdot a \\ \underline{U}_C^- = \underline{U}_A^- \cdot a^2 \end{array} \right.$$

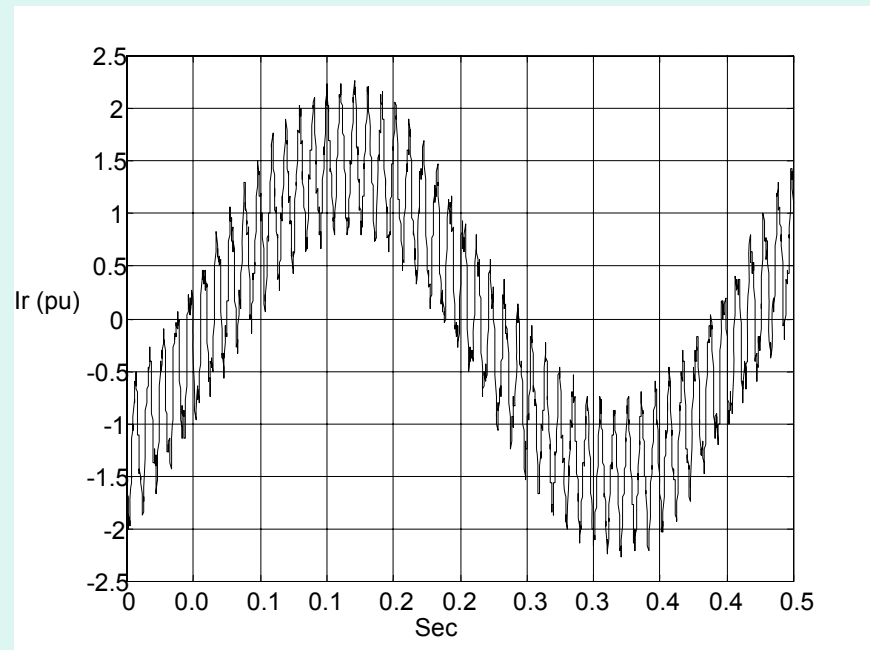
Connection	K	Connection	K
Yy	$\frac{N_p}{N_s}$	Dy	$\frac{N_p}{\sqrt{3} \cdot N_s}$
Yd	$\frac{\sqrt{3} \cdot N_p}{N_s}$	Dd	$\frac{N_p}{N_s}$
Yz	$\frac{2 \cdot N_p}{\sqrt{3} \cdot N_s}$	Dz	$\frac{2 \cdot N_p}{3 \cdot N_s}$

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

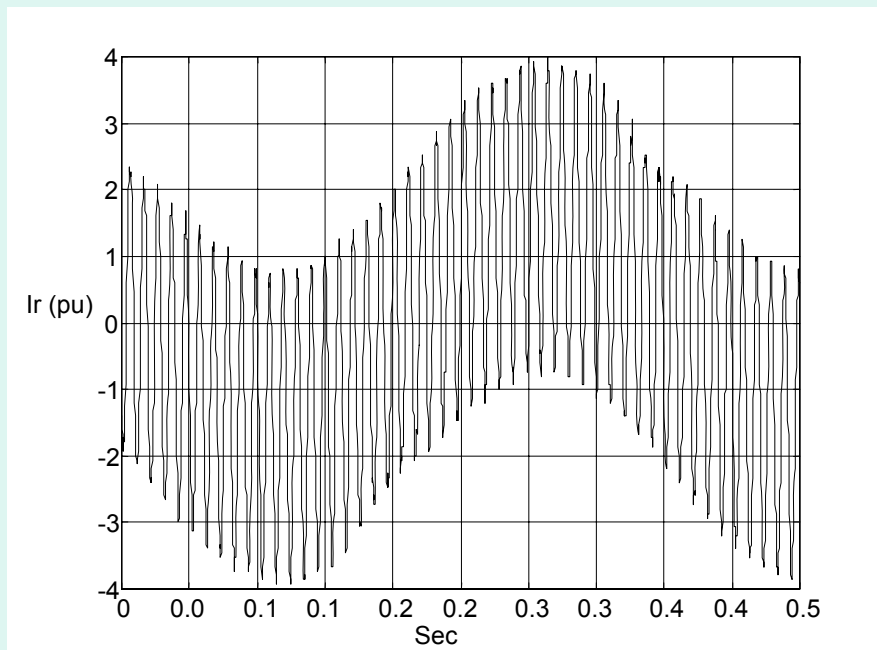
Efectos:

Motores trifásicos de inducción:

Corrientes rotóricas



$K_v = 1.49$



$K_v = 5.37$

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Efectos:

Derating de motores:

Incremento de las corrientes estatóricas, efecto skin en el rotor, disminución del torque efectivo...

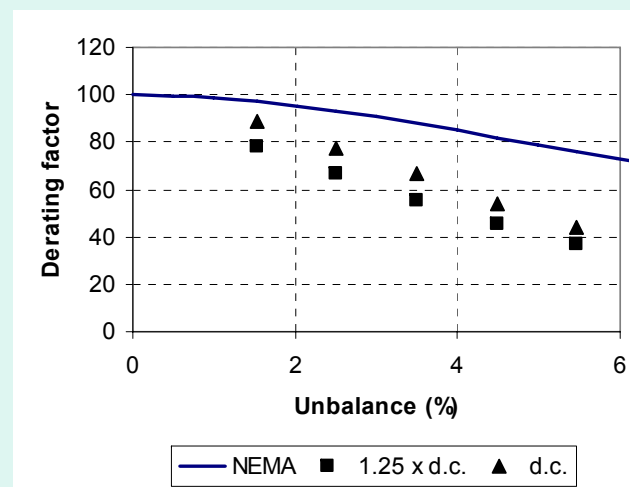
Según NEMA

Voltage unbalance	Derating
1%	None
2%	95%
3%	88%
4%	82%
5%	75%

Según IEC

Voltage unbalance	Derating
1%	None
2%	96%
3%	90%
4%	83.5%
5%	76%

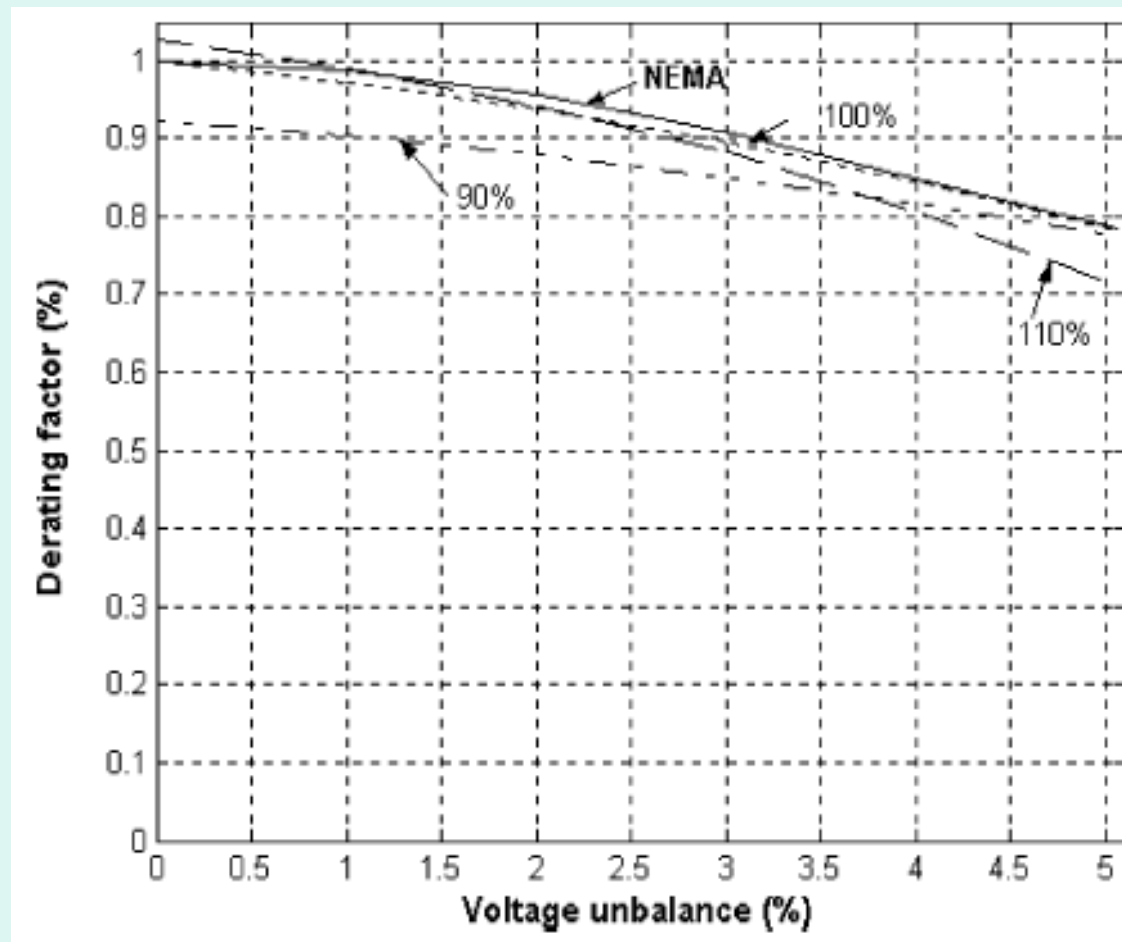
Si se considerase efectivamente el calentamiento rótico



DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Efectos:

Derating de motores por desequilibrio y sobretensiones y/o subtensiones:



DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Efectos:

Rectificadores:

Se verá con Armónicos

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

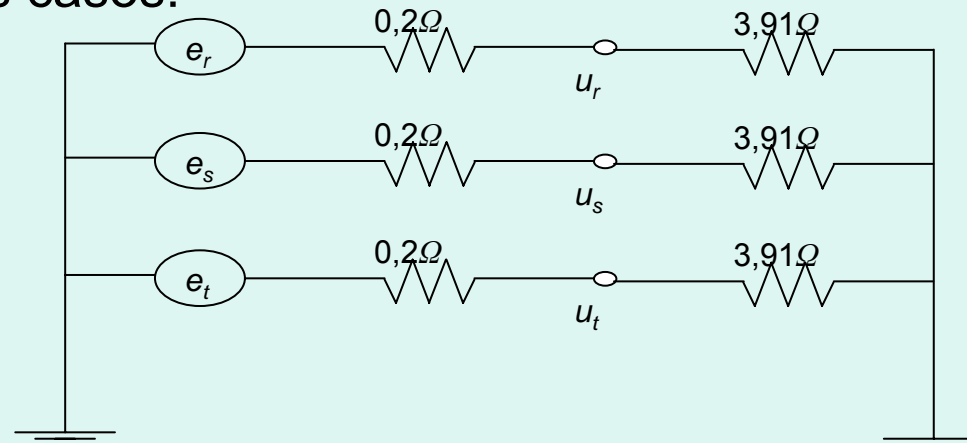
Efectos:

Operativos: Desequilibrio y pérdidas

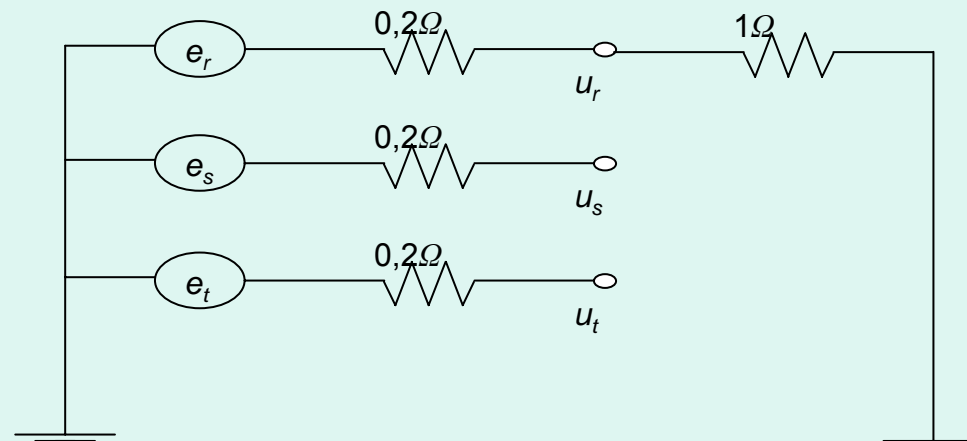
Se suponen dos casos:

$e_{rms}: 100V$

CASO A



CASO B



DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Efectos:

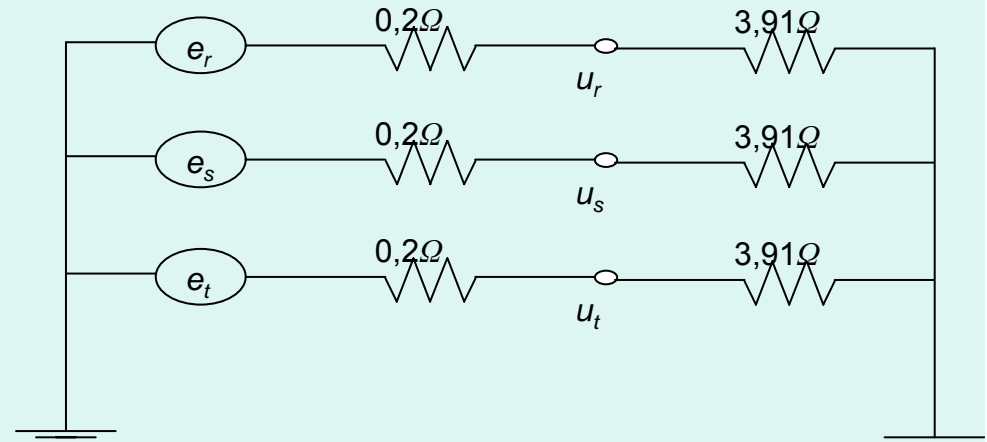
Operativos: Desequilibrio y pérdidas

Se suponen dos casos:

CASO A:

$$i_c = \frac{100}{0,2 + 3,91} = 24,33 A$$

$$u_r = 24,33 * 3,91 = 95,13 V$$



$$P_{consumida} = 3 * 95,13 * 24,33 = 3 * 24,33^2 * 3,91 = 6,95 kW$$

$$P_{generada} = 3 * 100 * 24,33 = 7,3 kW$$

DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Efectos:

Operativos: Desequilibrio y pérdidas

Se suponen dos casos:

CASO B:

$$i_c = \frac{100}{0,2 + 1} = 83,33 A$$

$$P_{consumida} = 83,33^2 * 1 = 6,95 kW$$

$$u_r = 83,33 \angle 0^\circ$$

$$u_s = 100 \angle -120^\circ$$

$$u_r = 100 \angle 120^\circ$$

$$u_{012} = A^{-1} * u_{rst} \Rightarrow u_0 = -5,55V; u_1 = 94,44V; u_2 = -5,55V$$

$$i_s = i_t = 0 \Rightarrow i_0 = i_1 = i_2 = i_c / 3 = 27,78 A$$

$$P_T = P_0 + P_1 + P_2$$

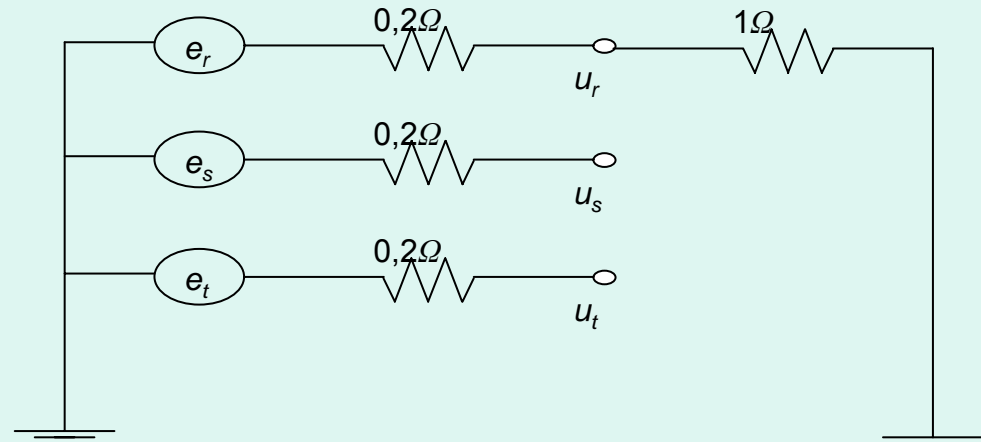
$$P_0 = 3 \cdot u_0 \cdot i_0 \cdot \cos(\theta_0) = -0,46 kW$$

$$P_1 = 3 \cdot u_1 \cdot i_1 \cdot \cos(\theta_1) = 7,87 kW$$

$$P_2 = 3 \cdot u_2 \cdot i_2 \cdot \cos(\theta_2) = -0,46 kW$$

$$P_T = P_0 + P_1 + P_2 = 6,95 kW$$

$$P_{generada} = 3 * 100 * 27.78 = 100 * 83.33 = 8,334 kW$$



DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Efectos:

Operativos: Desequilibrio y Factor de Potencias

Factor de potencia caso monofásico:

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

Dos definiciones de Factor de Potencia caso trifásico de la IEEE

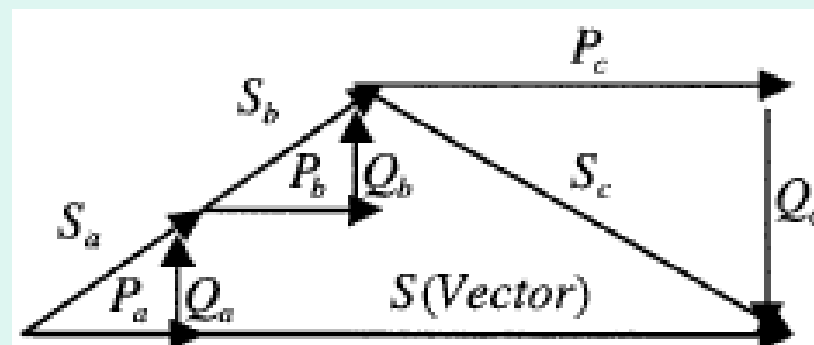
$$PF = \frac{(P_a + P_b + P_c)}{(|S_a| + |S_b| + |S_c|)} \qquad PF = \frac{(P_a + P_b + P_c)}{|P_a + P_b + P_c + j(Q_a + Q_b + Q_c)|}$$

Se supone una carga trifásica:

$$S_a = P(1 + 0.5j)$$

$$S_b = P(1 + 0.5j)$$

$$S_c = 2P(1 - 0.5j)$$

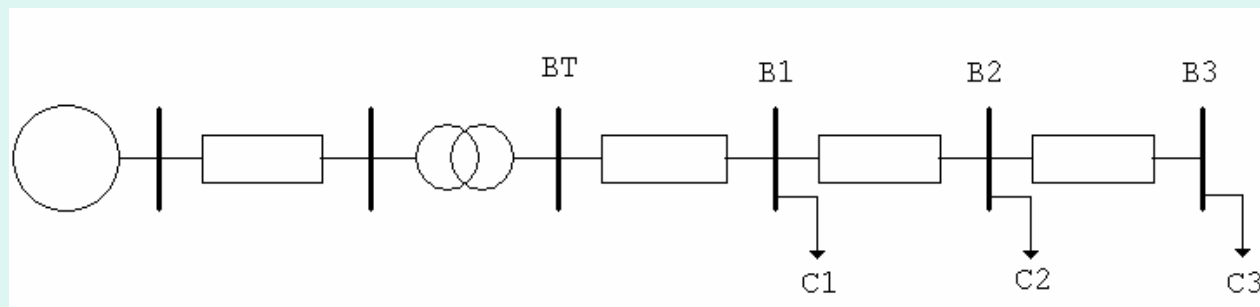


DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

OTRAS CONSIDERACIONES:

En un sistema equilibrado la dirección del flujo de potencia queda determinado por el ángulo de fase entre la tensión y la corriente (1er o 4to cuadrante significa una dirección del flujo positiva – de la fuente hacia la carga)

Si el desequilibrio, y con ello la “fuente” de secuencia negativa, está del lado de la carga, existirá un flujo de secuencia negativa con signo negativo (el ángulo de estará en el 2do o 3er cuadrante).



DESEQUILIBRIO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

OTRAS CONSIDERACIONES:

	Load C1	Load C2	Load C3
Case 1	Balanced	Balanced	Balanced
Case 2	Balanced	Unbalanced	Balanced
Case 3	Unbalanced	Balanced	Balanced
Case 4	Unbalanced (*)	Unbalanced	Unbalanced

(*) Idem Unbalanced Case 3

		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
S_T	S+	1.392	1.391	1.384	1.384
	θ^+	37.4	39.4	42.4	47.8
	S-	0.000	0.003	0.005	0.021
	θ^-	-	-99.56	-99.5	-99.5
S_1	S+	0.458	0.452	0.477	0.465
	θ^+	35.0	35.0	49.4	54.0
	S-	0.000	0.000	0.009	0.016
	θ^-	-	-	-106.8	-80.4
S_2	S+	0.419	0.430	0.408	0.423
	θ^+	36.5	43.0	36.6	44.3
	S-	0.000	0.005	0.002	0.007
	θ^-	-	-102.3	64.1	-125.3
S_3	S+	0.415	0.408	0.404	0.398
	θ^+	35.0	35.0	34.99	44.4
	S-	0.000	0.000	0.000	0.006
	θ^-	-	-	-	-123.6

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

- Saturación de Núcleos Magnéticos
- Cargas Electrónicas



Corrientes No Senoidales : I_H



$$I_H \cdot Z \Rightarrow \Delta V_H$$



$$V_{\text{Res}} = V_{\text{Buena}} + \Delta V_H = V_h$$

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

CAUSAS:

Tradicionales (Clásicos)

Transformadores

Máquinas rotantes

Hornos de arco

Modernos (Electrónica de Potencia)

Lámparas fluorescentes

Controles electrónicos, fuentes conmutadas, equipamientos electrónicos modernos de oficina

Dispositivos controlados (tiristores):

- Rectificadores

- Inversores

- Compensadores estáticos

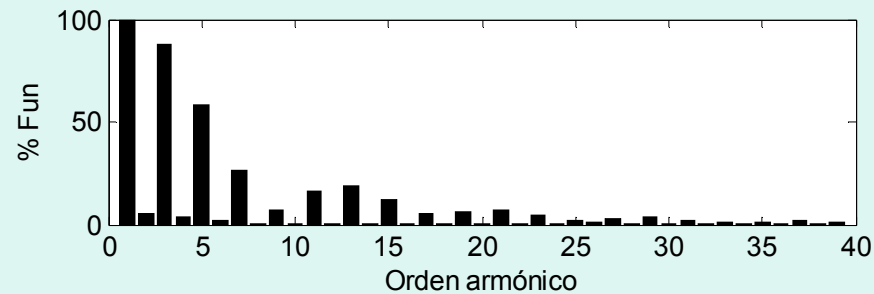
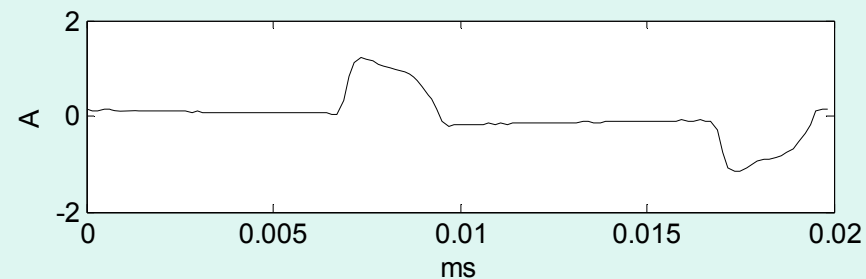
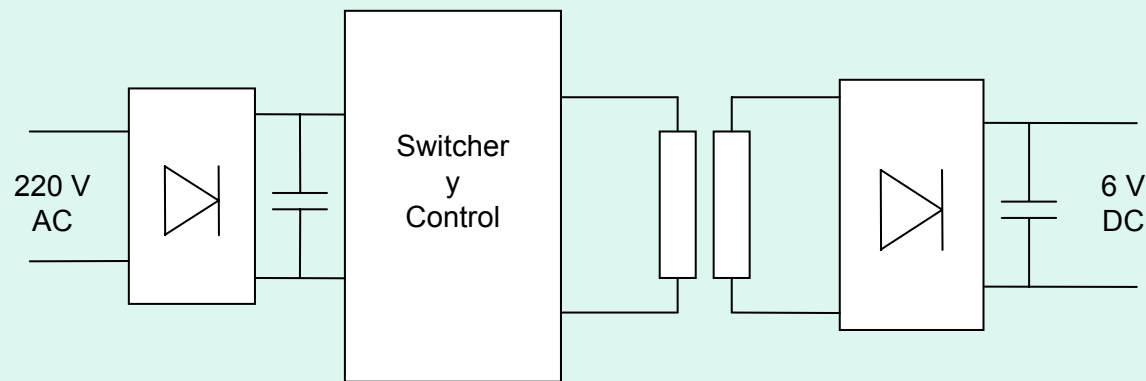
- Cicloconvertidores

- Transmisión HVDC

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

CAUSAS:

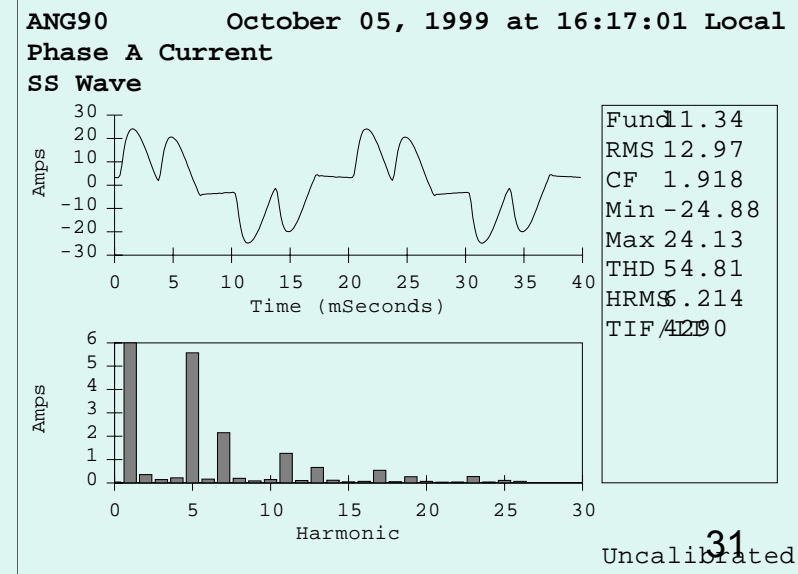
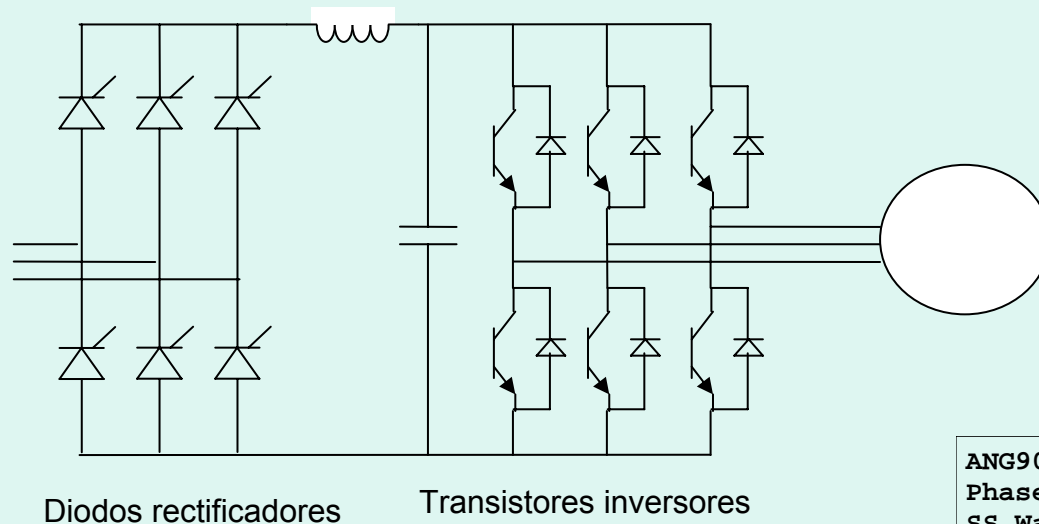
Fuentes conmutadas



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

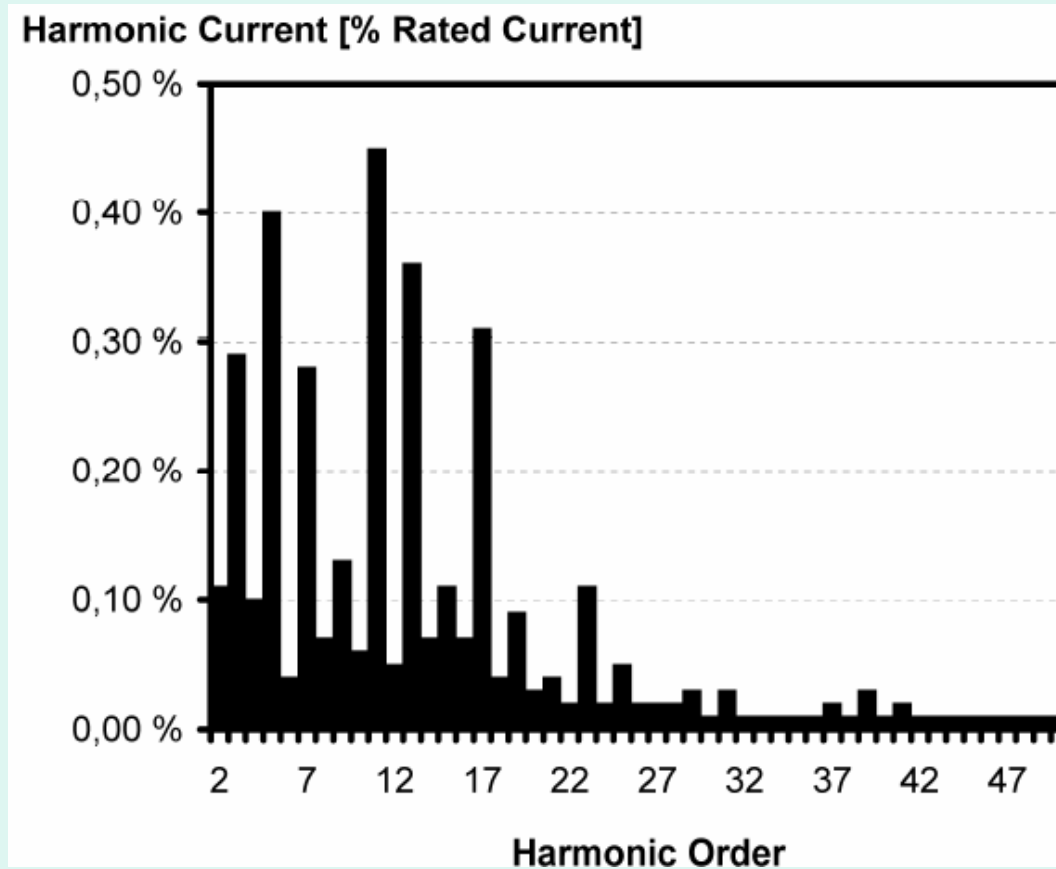
CAUSAS: Conversores trifásicos de potencia

Accionamientos de AC



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

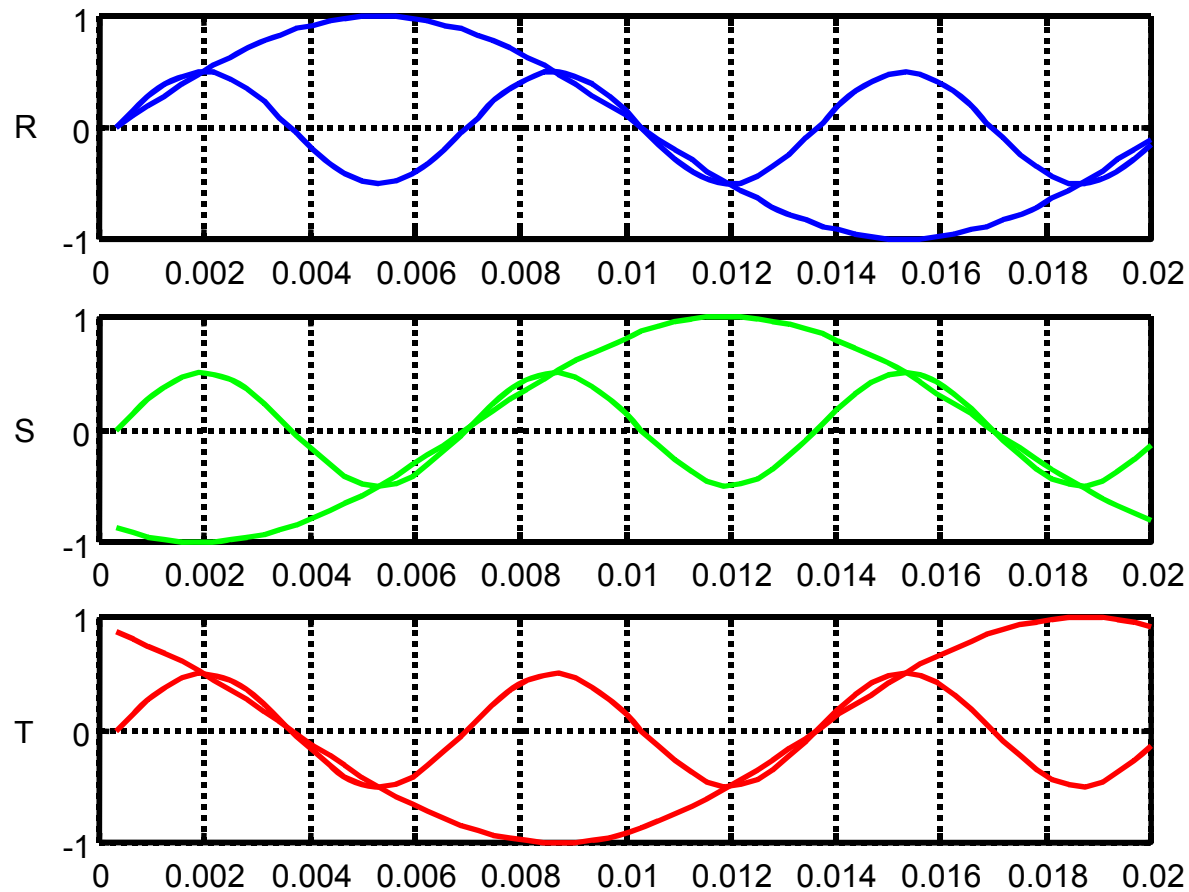
CAUSAS: Generadores eólicos (tecnología FC)



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

COMPONENTES SIMÉTRICAS Y ARMÓNICOS:

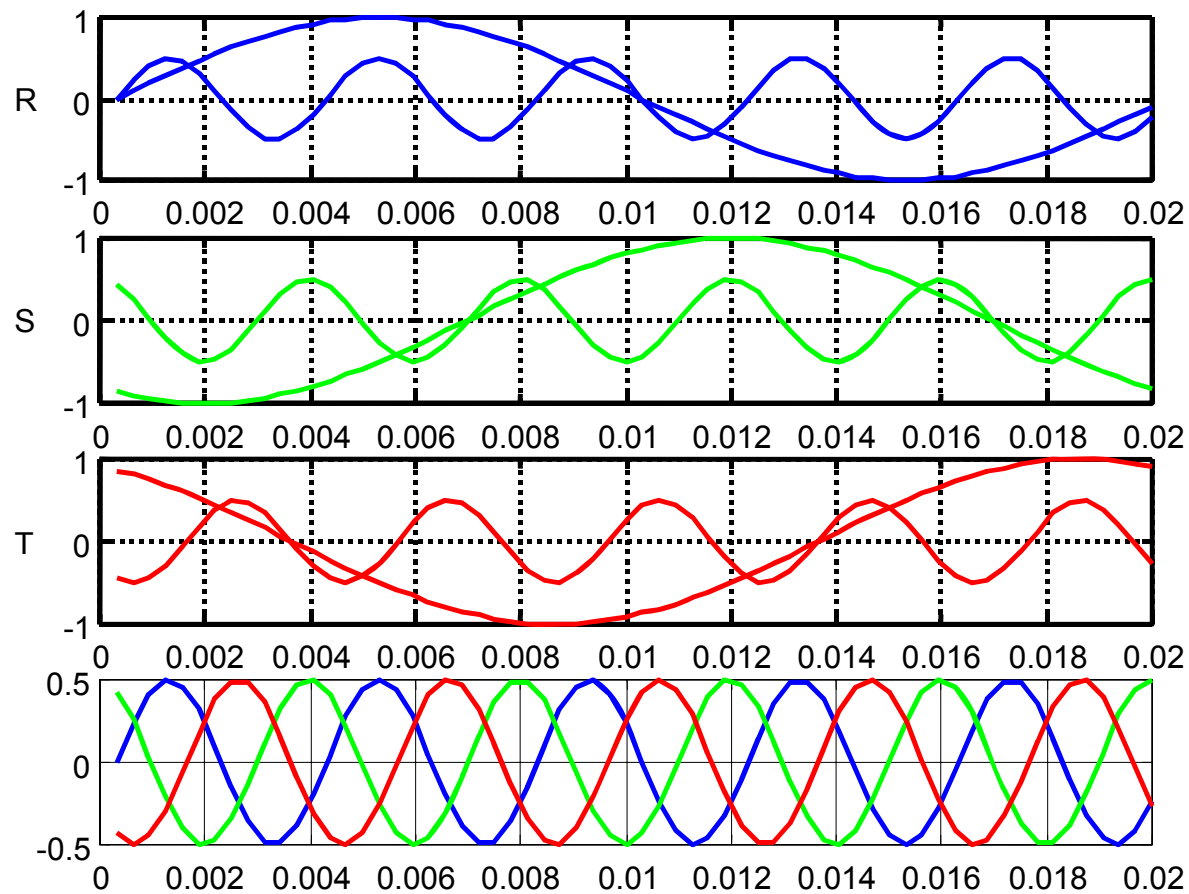
Tercer armónico



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

COMPONENTES SIMÉTRICAS Y ARMÓNICOS:

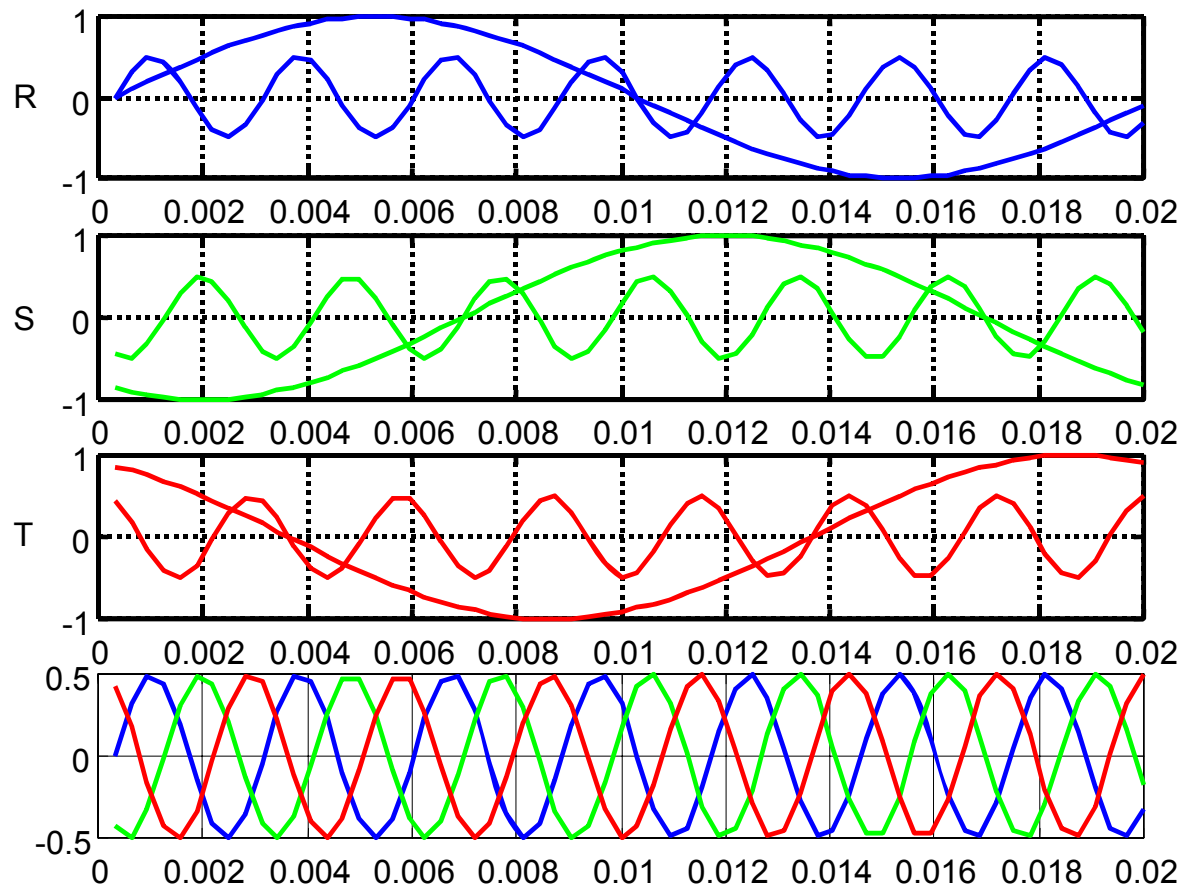
Quito armónico



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

COMPONENTES SIMÉTRICAS Y ARMÓNICOS:

Séptimo armónico



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

COMPONENTES SIMÉTRICAS Y ARMÓNICOS:

Secuencias de los componentes armónicos:

h	1	2	3	4	5	6	7
Sec	+	-	0	+	-	0	+
h	8	9	10	11	12	13	14
Sec	-	0	+	-	0	+	-
h	15	16	17	18	19	20	21
Sec	0	+	-	0	+	-	0

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

EFFECTOS:

- 1.- Amplificación de los niveles de armónicos resultante de resonancias serie o paralelo
- 2.- Reducción en la eficiencia de la generación, transmisión y utilización de la energía
- 3.- Envejecimiento prematuro del aislamiento de los componentes eléctricos de una planta y acortamiento de su vida útil
- 4.- Problemas de mala operación en una planta

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

EFFECTOS: Máquinas rotantes

1.- Calentamiento: pérdidas en el hierro y en el cobre
Factor de pérdidas en el cobre (comparativo):

2.- Torque pulsante

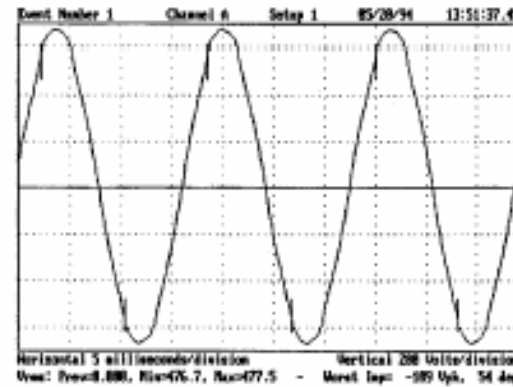
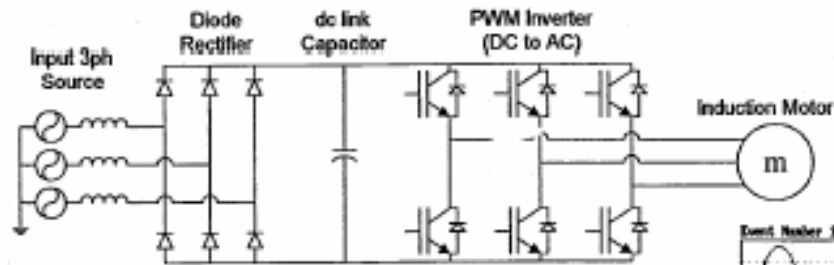
3.- Resonancia mecánica

4.- Ruidos

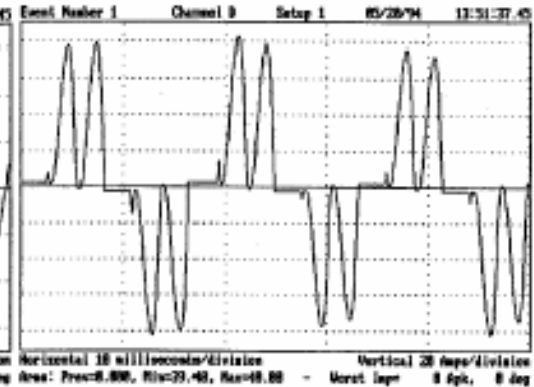
5.- Puntos calientes

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

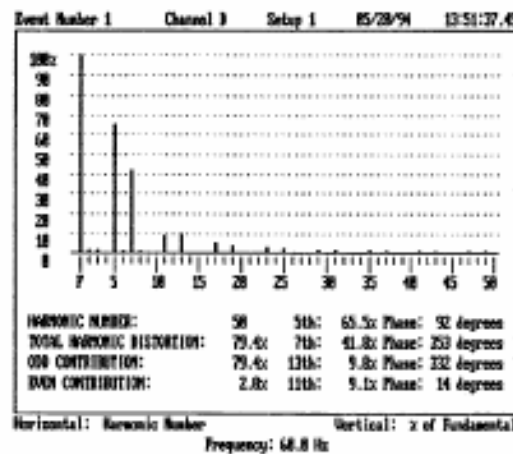
EFFECTOS: ASD



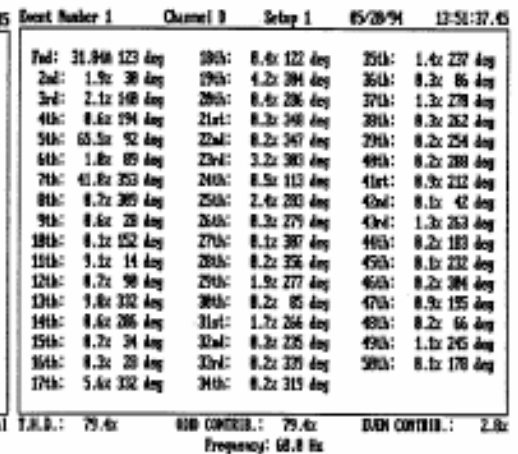
(a)



(b)



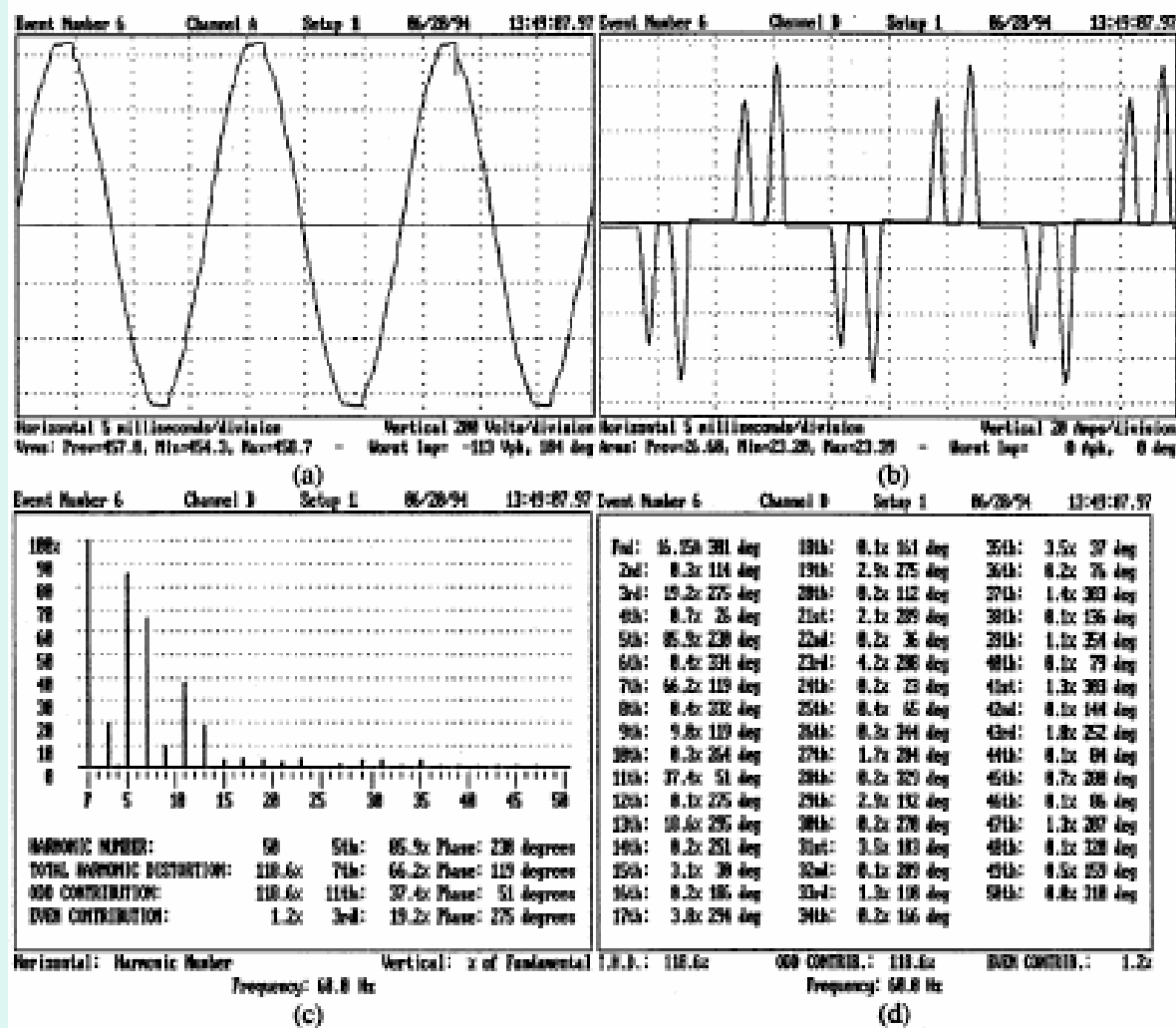
(c)



(d)

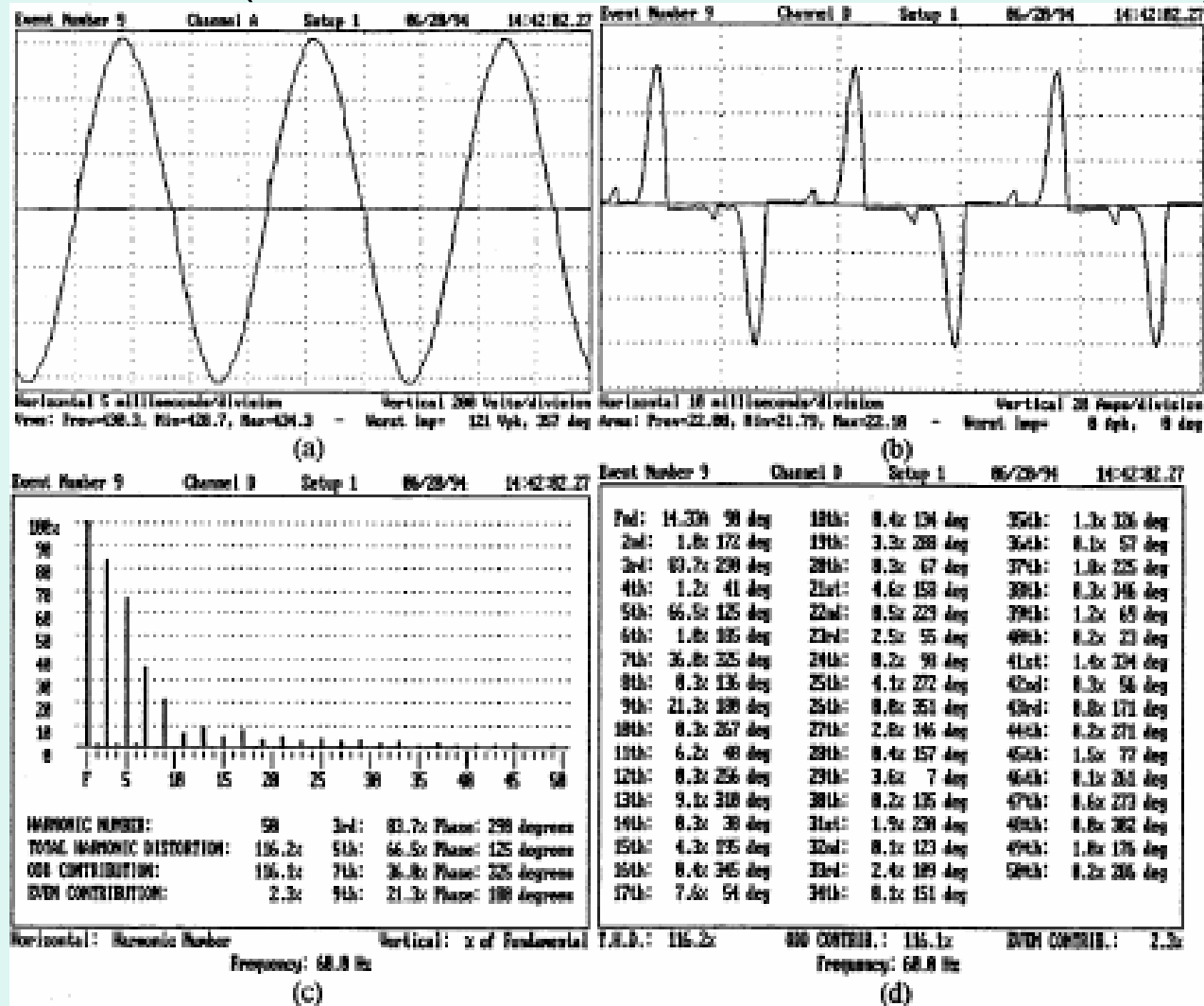
ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

EFFECTOS: ASD (Desbalance en tensiones de línea =0,3%)



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

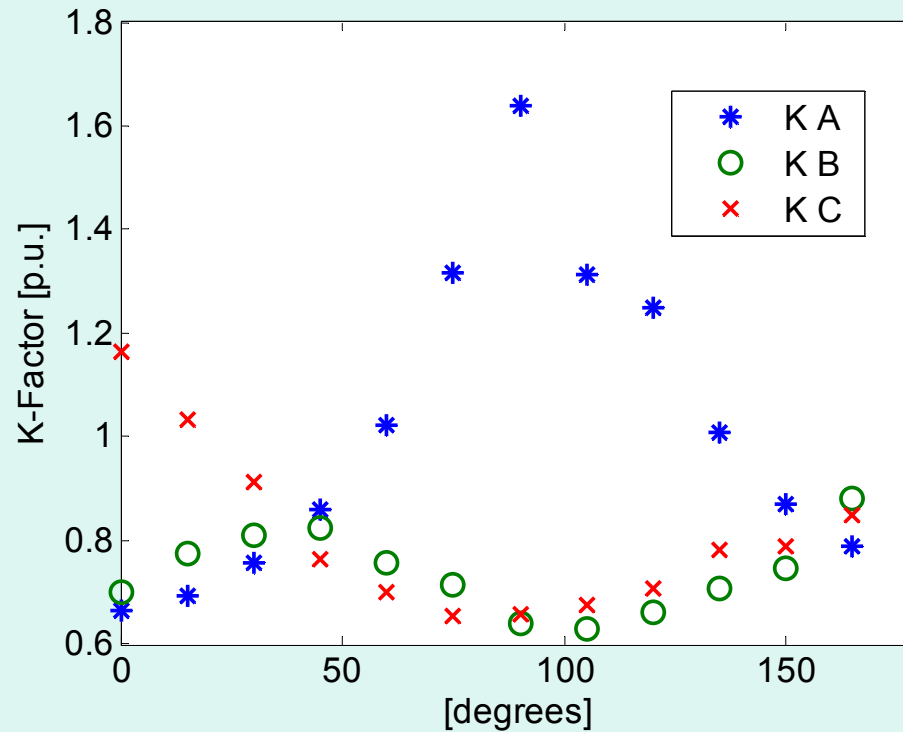
EFFECTOS: ASD (Desbalance en tensiones de línea =3,75%)



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

EFFECTOS: ASD

Factor K con $K_V = 4,5\%$



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

EFFECTOS: Condensadores

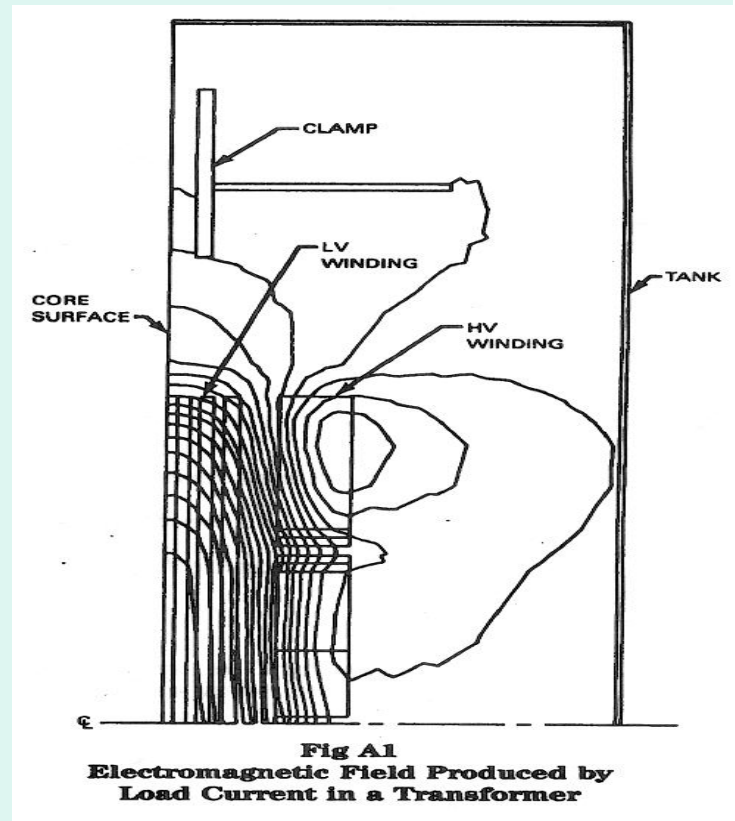
En la IEEE Standard 18-2002 se establece que los condensadores deberán ser capaces de operar de manera continua sin excederse ninguna de las siguientes condiciones

- 1.- 110 % del valor *rms* de la tensión nominal
- 2.- 120 % del valor pico de tensión nominal (o sea, el pico de tensión no debe exceder ; esto incluye armónicos pero excluye transitorios)
- 3.- 135 % del valor *rms* de la corriente nominal basada en los *kVAr* y tensión nominal
- 4.- 135 % de los *kVAr* nominales

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

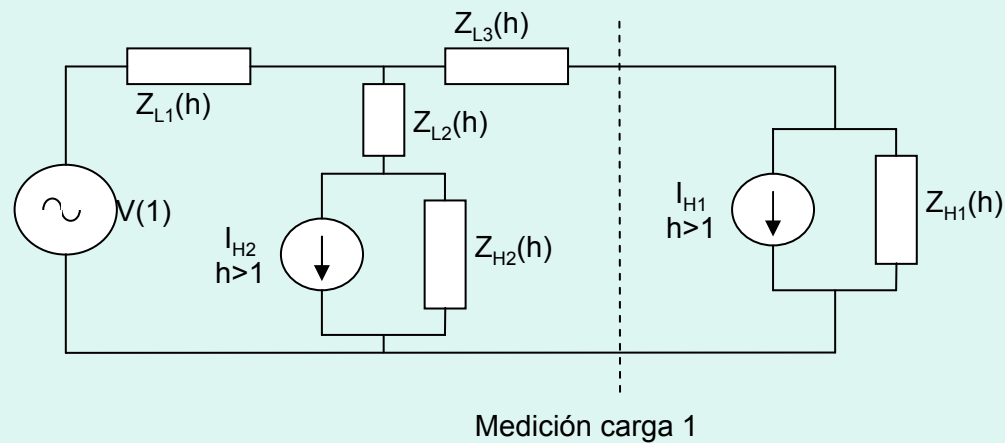
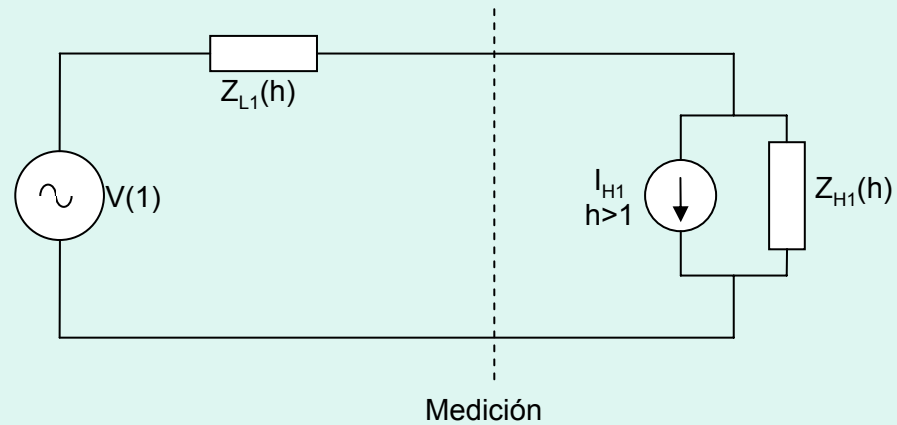
EFFECTOS: Transformadores

- 1.- Calentamiento adicional generado por las pérdidas de la corriente de carga
- 2.- Problemas de resonancia entre la inductancia del transformador y los condensadores del sistema
- 3.- Sobrecarga del aislamiento
- 4.- Vibraciones y ruidos



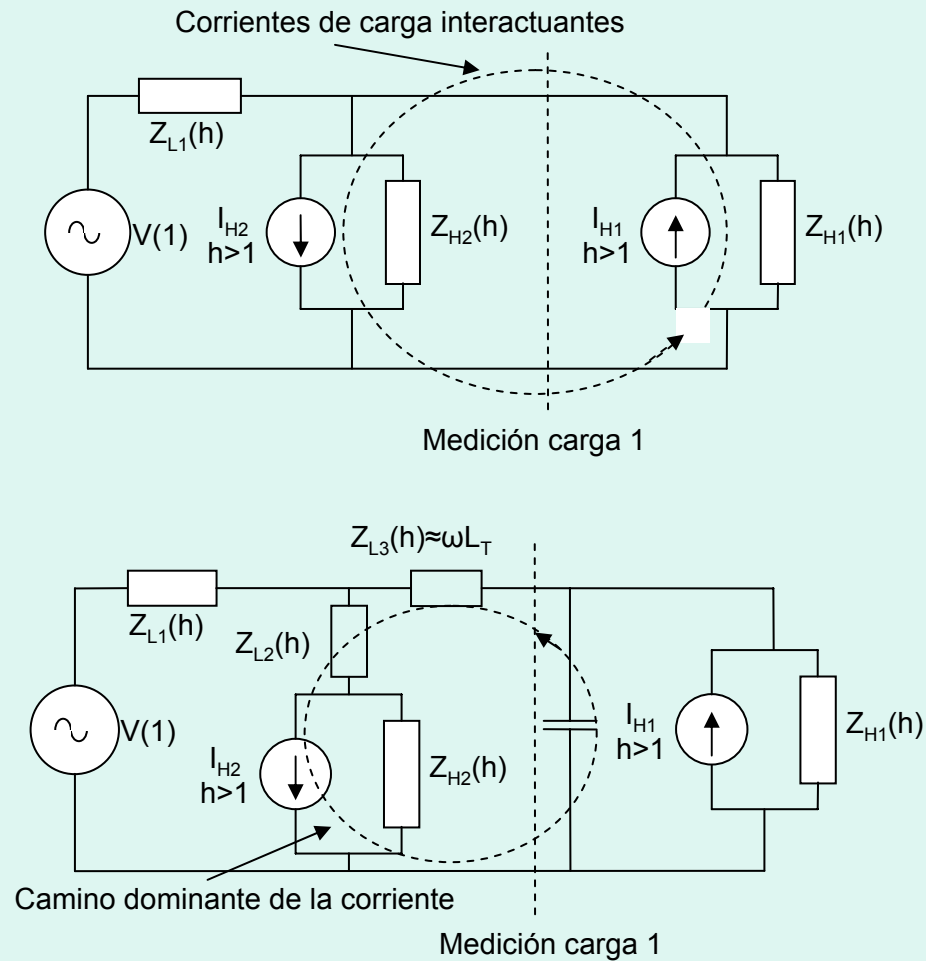
ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS Y LOS SISTEMAS:



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

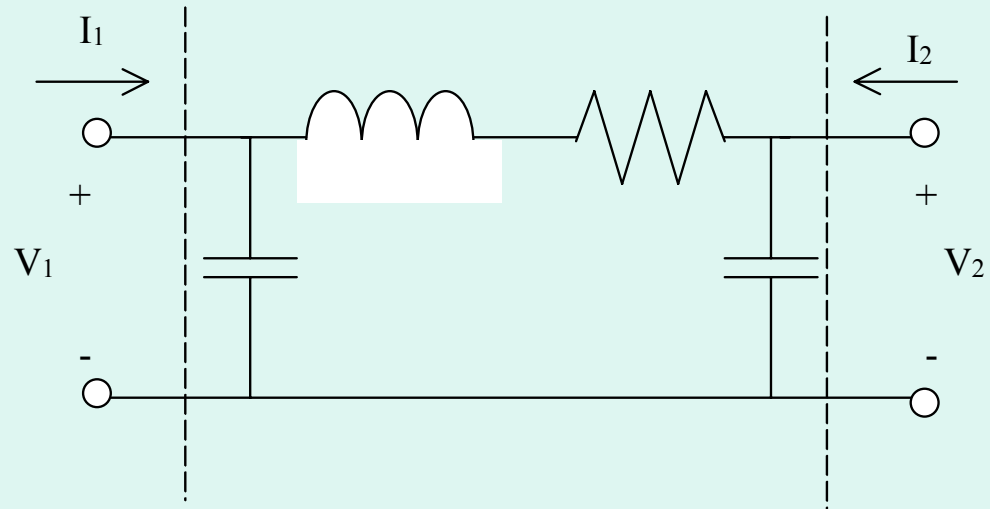
CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS Y LOS SISTEMAS:



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MODELADO DEL SISTEMA:

La matriz de admitancias:



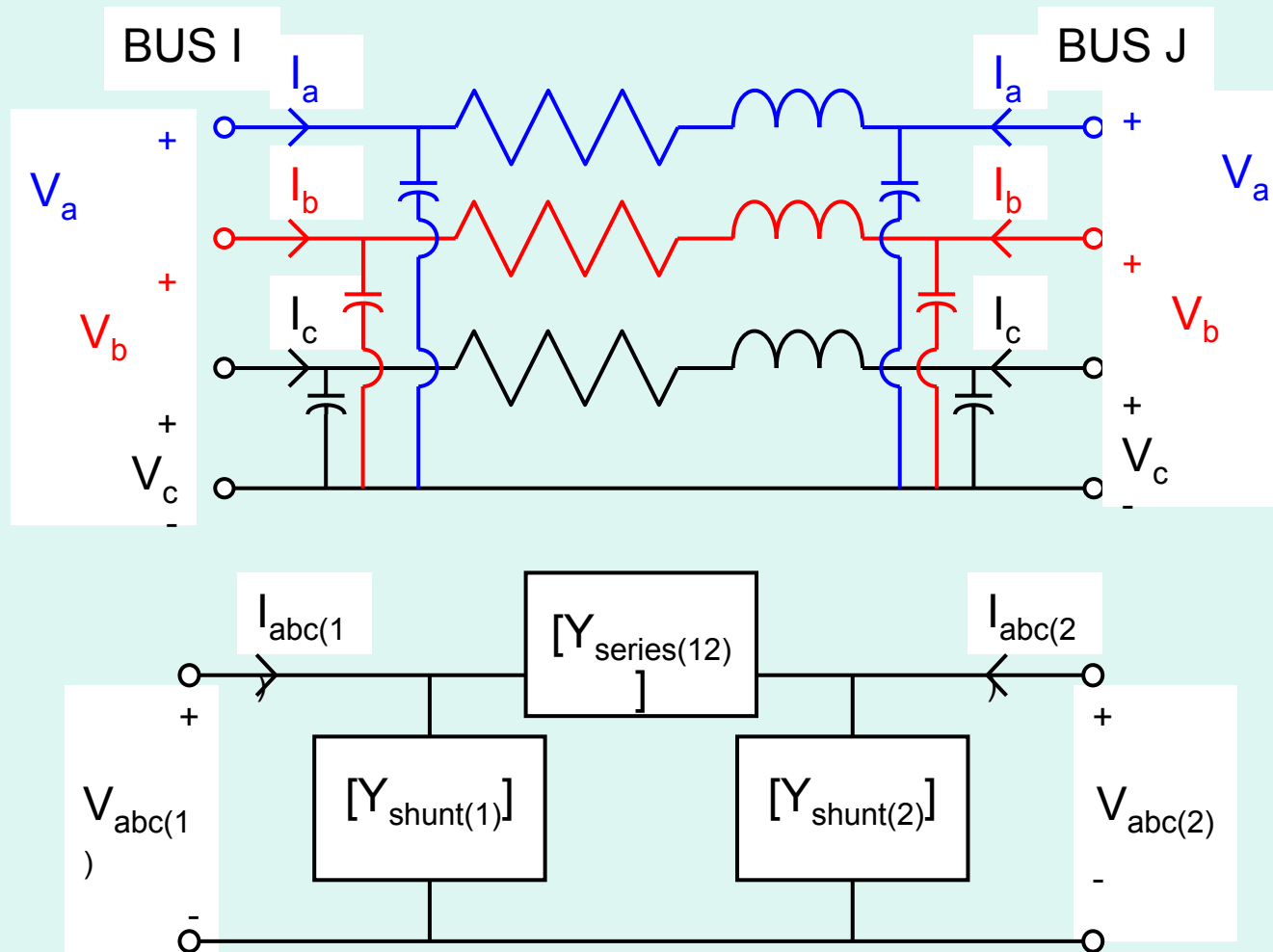
$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

$$\bar{I} = [Y]\bar{V}$$

$$\bar{I}(h) = [Y(h)]\bar{V}(h)$$

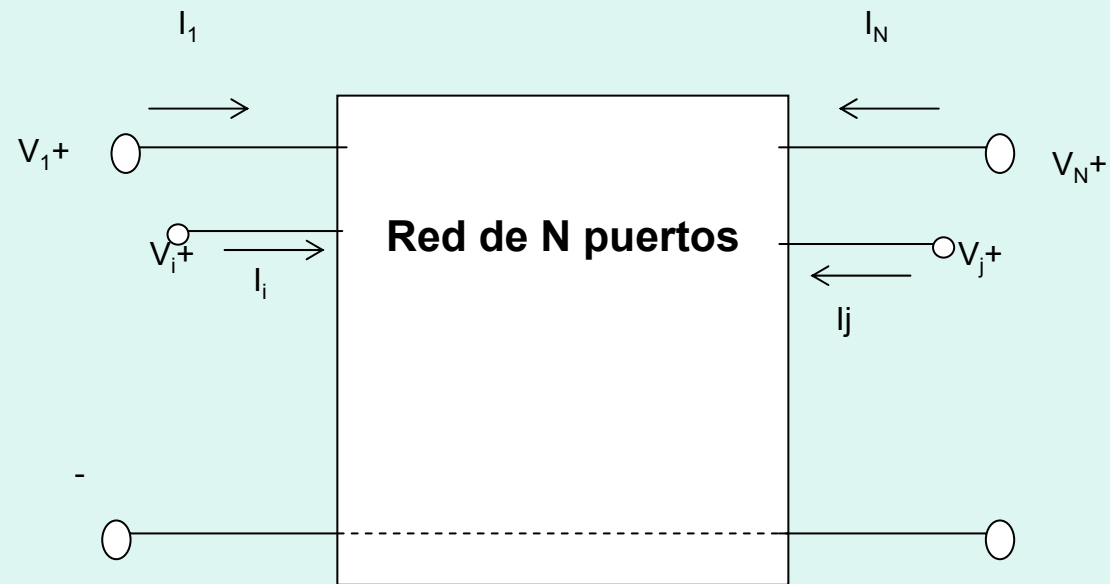
ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MODELADO DEL SISTEMA:



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MODELADO DEL SISTEMA:



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MODELADO DEL SISTEMA:

La matriz de admitancias:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \dots \\ I_i \\ I_j \\ \dots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{1i} & y_{1j} & y_{1N} \\ y_{i1} & y_{ii} & y_{ij} & y_{iN} \\ y_{j1} & y_{ji} & y_{jj} & y_{jN} \\ y_{N1} & y_{Ni} & y_{Nj} & y_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \dots \\ V_i \\ V_j \\ \dots \\ V_N \end{bmatrix}$$

O, matriz de impedancias

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ \dots \\ V_i \\ V_j \\ \dots \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{1i} & z_{1j} & z_{1N} \\ z_{i1} & z_{ii} & z_{ij} & z_{iN} \\ z_{j1} & z_{ji} & z_{jj} & z_{jN} \\ z_{N1} & z_{Ni} & z_{Nj} & z_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ \dots \\ I_i \\ I_j \\ \dots \\ I_N \end{bmatrix}$$

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MÉTODO DE ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA: ANÁLISIS POR VARIACIÓN DE FRECUENCIA (AVF)

El método caracteriza la respuesta de un sistema en función de la frecuencia.

Es la solución repetida para cada frecuencia de interés de:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \dots \\ I_i \\ I_j \\ \dots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{1i} & y_{1j} & y_{1N} \\ y_{i1} & y_{ii} & y_{ij} & y_{iN} \\ y_{j1} & y_{ji} & y_{jj} & y_{jN} \\ y_{N1} & y_{Ni} & y_{Nj} & y_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \dots \\ V_i \\ V_j \\ \dots \\ V_N \end{bmatrix}$$

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MÉTODO DE ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA:
ANÁLISIS POR VARIACIÓN DE FRECUENCIA (AVF)

“Calcula la respuesta en frecuencia de una red vista desde un nudo o barra del sistema”

AVF por inyección de corriente:

Se inyecta un valor 1 (A o p.u.) en una barra y se determinan las tensiones en los restantes nudos.

Esto significa resolver para los $h=n.f_0$ la ecuación:

$$\tilde{I}(h) = [Y(h)]\tilde{V}(h)$$

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MÉTODO DE ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA: ANÁLISIS POR VARIACIÓN DE FRECUENCIA (AVF)

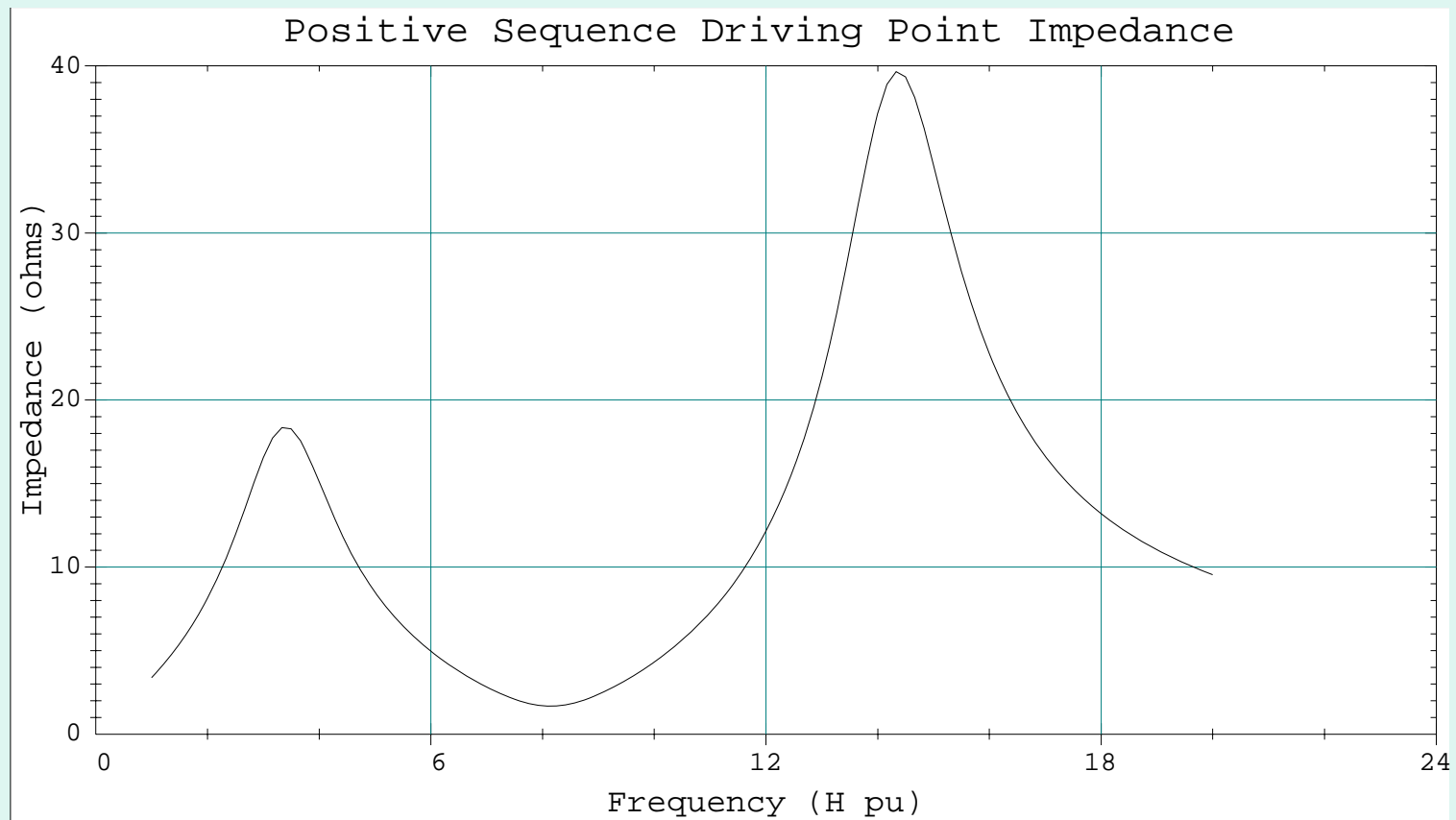
AVF por inyección de corriente:

La matriz Y contiene solamente modelos de elementos lineales, por lo tanto es posible estimar la tensión armónica que producirá esa corriente distorsionada en cualquier nudo del sistema

Mediante la variación de $h=n.f_0$ se obtiene una serie de impedancia que cubren el espectro de frecuencias de interés

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MÉTODO DE ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA: ANÁLISIS POR VARIACIÓN DE FRECUENCIA (AVF)



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MÉTODO DE ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA: ANÁLISIS POR VARIACIÓN DE FRECUENCIA (AVF)

AVF por inyección de corriente:

La figura anterior produce una buena indicación de condiciones resonantes:

Resonancia paralelo \Rightarrow alta impedancia al flujo de corriente \Rightarrow picos del plot

Resonancia serie \Rightarrow baja impedancia al flujo de corriente \Rightarrow valles del plot

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MÉTODOS DE ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA: ANÁLISIS POR VARIACIÓN DE FRECUENCIA (AVF)

AVF, función de transferencia de tensión:

En un nudo del sistema se conecta una tensión de 1 (V o p.u.)

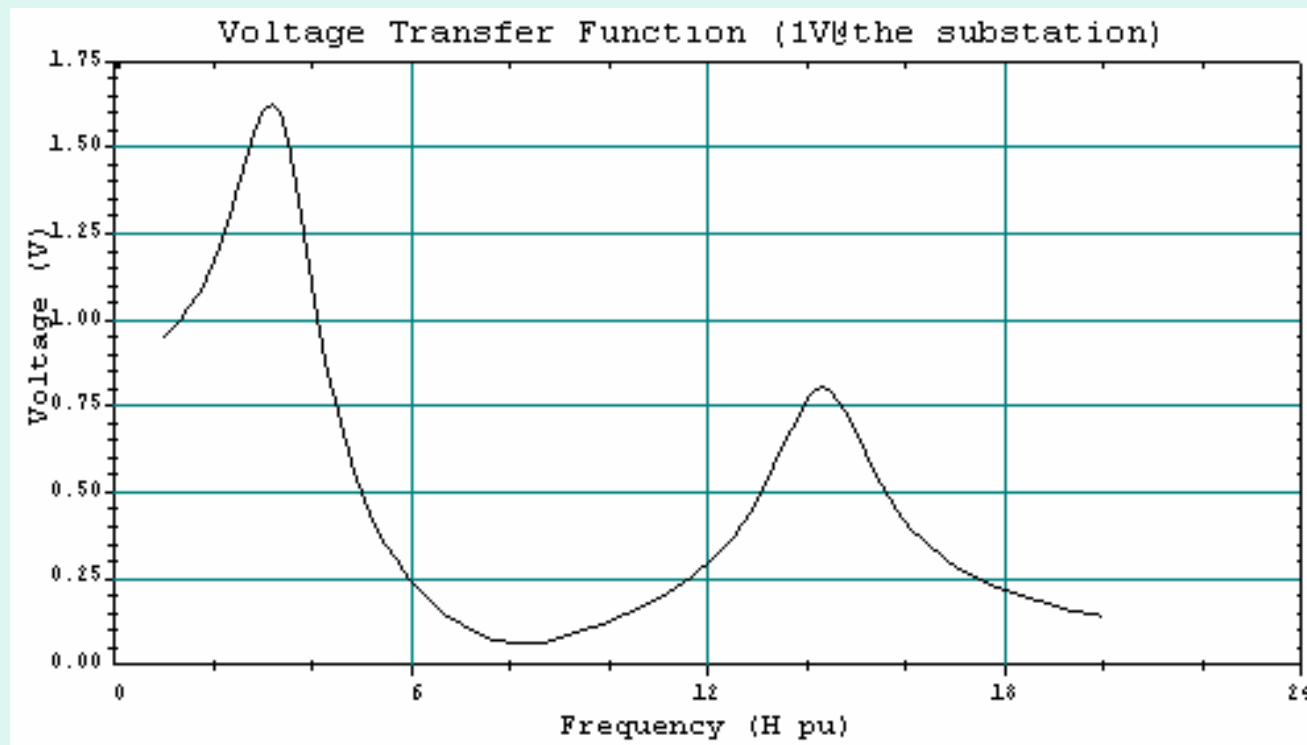
Las tensiones resultantes representan las funciones de transferencia resultante a todos los otros nudos en el sistema

De la misma manera puede analizarse tal respuesta en función de la frecuencia

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MÉTODOS DE ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA: ANÁLISIS POR VARIACIÓN DE FRECUENCIA (AVF)

AVF, función de transferencia de tensión:



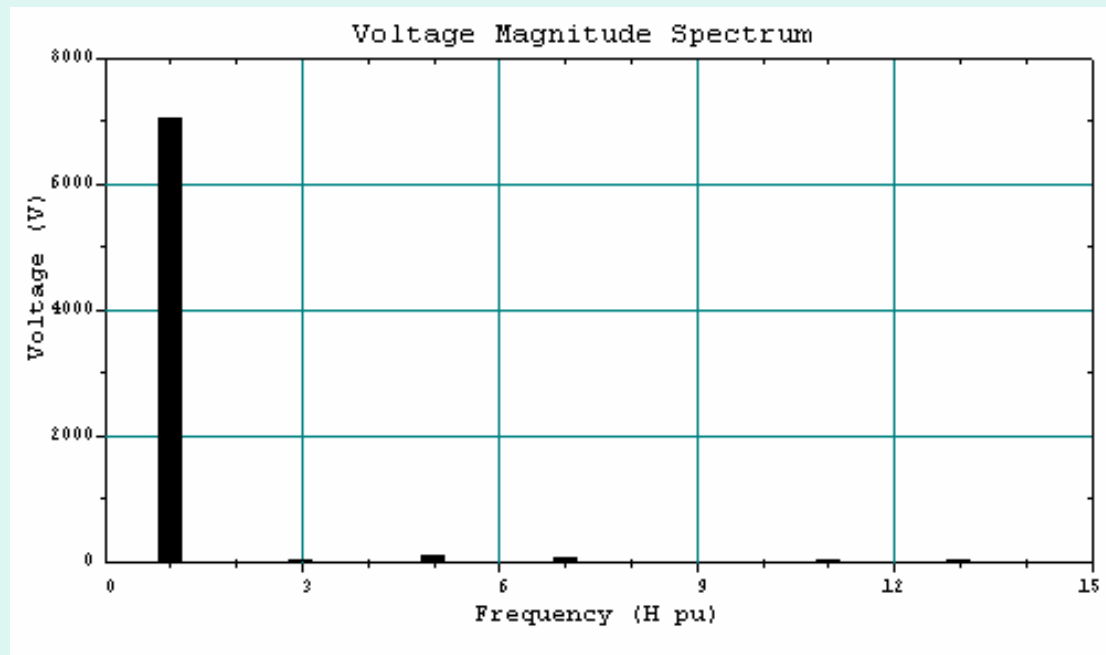
ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

MÉTODOS DE ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA: ANÁLISIS POR VARIACIÓN DE FRECUENCIA (AVF)

PENETRACIÓN ARMÓNICA:

Se obtienen un conjunto de vectores de tensiones de distinta frecuencia y para distintas barras.

En tales condiciones es posible reconstruir la forma de onda en el dominio del tiempo o observarla como espectro:



ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

LÍMITES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN CORRIENTES

Ejemplos: IEEE (ANSI/IEEE 519):

I_{CC}/I_{carga}	I_h/I_L , % - (120 V – 69kV)					
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	TDD %
<20	4,0	2,0	1,5	0,5	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
Los armónicos pares están limitados a un 25 % de los impares						
No se permiten distorsiones de corrientes que resulten en una componente de DC						
I_{CC} , corriente de cortocircuito en el punto de acoplamiento común I_{carga} , demanda de corriente máxima de carga en el punto de acoplamiento común a frecuencia fundamental						

I_{CC}/I_{carg} ^a	I_h/I_L , % - (69001 V – 161kV)					
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	TDD %
<20	2,0	1,0	0,75	0,3	0,15	2,5
20-50	3,5	1,75	1,25	0,5	0,25	4,0
50-100	5,0	2,25	2,0	0,75	0,35	6,0
100-1000	6,0	2,75	2,5	1,0	0,5	7,5
>1000	7,5	3,5	3,0	1,25	0,7	10
Los armónicos pares están limitados a un 25 % de los impares						
No se permiten distorsiones de corrientes que resulten en una componente de DC						
I_{CC} , corriente de cortocircuito en el punto de acoplamiento común I_{carga} , demanda de corriente máxima de carga en el punto de acoplamiento común a frecuencia fundamental						

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

LÍMITES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN CORRIENTES

Ejemplos: IEC (IEC 61000-3-2, EQUIPOS DE MENOS DE 16A), Clase A:

Orden armónico h	Corriente armónica máxima permisible [A]
Impares	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq h \leq 39$	$0,15 \cdot (15/h)$
Pares	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq h \leq 40$	$0,23 \cdot (8/h)$

ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

LÍMITES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN CORRIENTES

Ejemplos: IEC (IEC 61000-3-2, EQUIPOS DE MENOS DE 16A), Clase D:

Orden armónico H	Máxima corriente armónica permisible por Watt [mA/W]	Máxima corriente armónica permisible [A]
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,44
11	0,35	0,33
$13 \leq h \leq 39$ Solo impares	$3,85/h$	Como en la tabla para Clase A

Para equipos monofásicos, $RSCE = SCC / (3 SEQU)$

Para los trifásicos, $RSCE = SCC / SEQU$

$SEQU$, Potencia aparente nominal del equipo

SCC , Valor de la potencia de cortocircuito donde se conecta el equipo

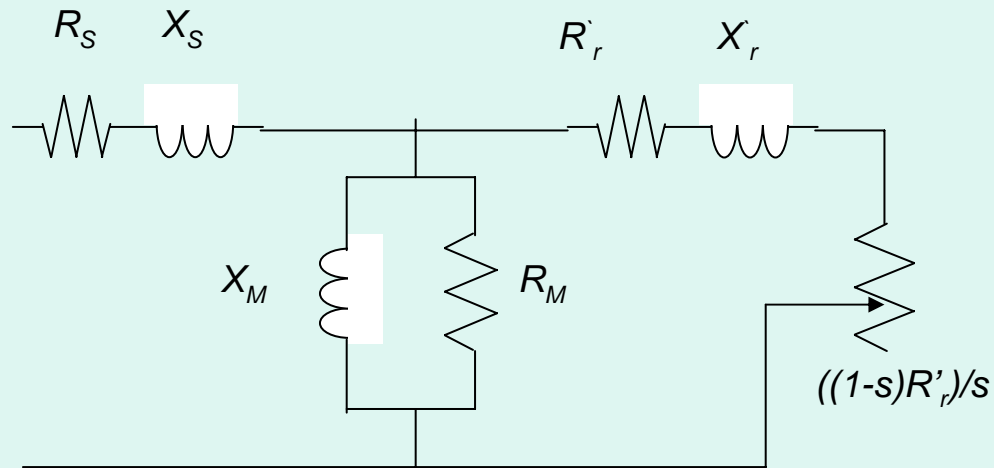
ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

LÍMITES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN CORRIENTES

Ejemplos, IEC 61000-3-4, EQUIPOS DE MAS DE 16A) para **$R_{SCE} \geq 33$** ,
monofásicos o trifásicos no balanceados:

R_{SCE} Mínimo	Factores de distorsión de corriente armónica [%]		Corriente armónica individual admisible I_h/I_1 [%]					
	THD	PWHD	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}
66	25	25	23	11	8	6	5	4
120	29	29	25	12	10	7	6	5
175	33	33	29	14	11	8	7	6
250	39	39	34	18	12	10	8	7
350	46	46	40	24	15	12	9	8
450	51	51	40	30	20	14	12	10
600	57	57	40	30	20	14	12	10
Nota 1: los valores relativos de los armónicos pares no deberán exceder $16/h\%$								
Nota 2: Se permite una interpolación lineal entre sucesivos R_{SCE}								
Nota 3: En caso de equipos trifásicos no balanceados estos valores se aplican a cada fase.								

MODELADO DE MÁQUINAS DE INDUCCIÓN



$$Z_s = R_s + jX_s$$

$$Z'_r(s) = \frac{R'_r}{s} + jX'_r$$

$$Z_m = \frac{R_m \cdot jX_m}{R_m + jX_m}$$

MODELADO DE MÁQUINAS DE INDUCCIÓN

Las impedancias de secuencia:

$$Z_0 = \infty$$

$$Z_1 = Z_s + \frac{Z_m \cdot Z_r'(s_1)}{Z_m + Z_r'(s_1)}$$

$$Z_2 = Z_s + \frac{Z_m \cdot Z_r'(s_2)}{Z_m + Z_r'(s_2)}$$

$$s_1 = 1 - \frac{n}{n_s}$$

$$s_2 = 1 + \frac{n}{n_s} = 2 - s$$

$$Z_{012} = \begin{bmatrix} \infty & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \Rightarrow Y_{012} = Z_{012}^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & Y_1 & 0 \\ 0 & 0 & Y_2 \end{bmatrix}$$

MODELADO DE MÁQUINAS DE INDUCCIÓN

Las impedancias de secuencia:

$$Z_0 = \infty,$$

$$Z_1(h) = R_s + jhX_s + \frac{jhX_m \cdot \left(\frac{R_r'}{s_1} + jhX_r' \right)}{\frac{R_r'}{s_1} + jh(X_m + X_r')}$$

$$Z_2(h) = R_s + jhX_s + \frac{jhX_m \cdot \left(\frac{R_r'}{s_2} + jhX_r' \right)}{\frac{R_r'}{s_2} + jh(X_m + X_r')}$$

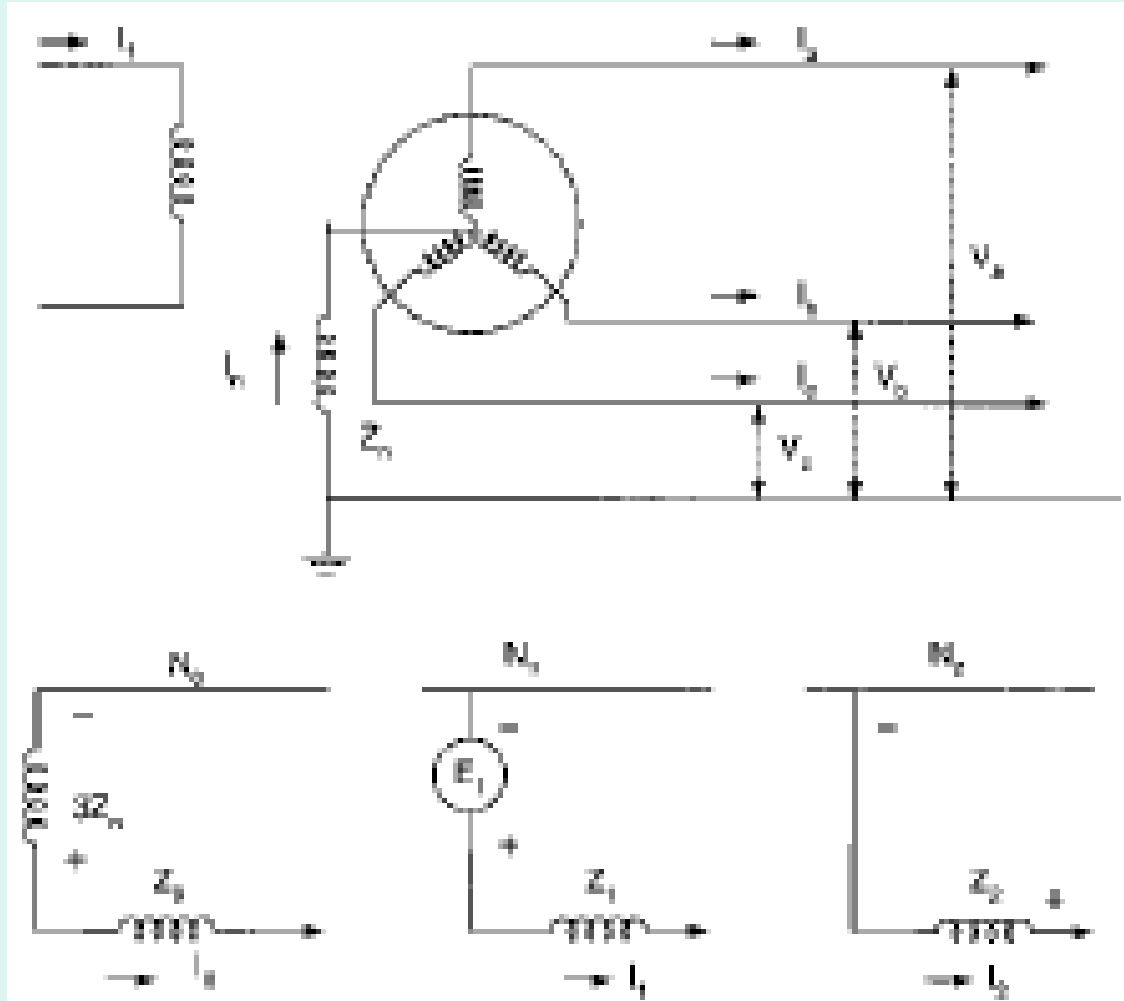
$$s_1 = 1 - \frac{n}{hn_s}$$

$$s_2 = 1 + \frac{n}{hn_s}$$

MODELADO DE MÁQUINAS SÍNCRONAS

Reactancia síncrona
Reactancia subtransitoria
Reactancia transitoria

$$X_2 = 1/2(X_d'' + X_q'')$$



INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSIÓN

Resulta conveniente intentar una clasificación:

- Calidad de Servicio Técnico
- Calidad de Producto Técnico

Calidad de Servicio:

- Variaciones de tensión
- Interrupciones sostenidas

Calidad de Producto:

- Formas de Onda de Tensión y Corriente (Armónicos)
- Fluctuaciones de Tensión (Flicker)
- Huecos de tensión e Interrupciones cortas, momentáneas, instantáneas, transitorias....
- Otros

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

Interrupciones momentáneas:

IEEE 1366-2000 (Confiabilidad), Interrupción momentánea:

Una operación de un dispositivo de interrupción que produzca un cero de tensión

IEEE 1159 -1995 (Calidad). Interrupción momentánea:

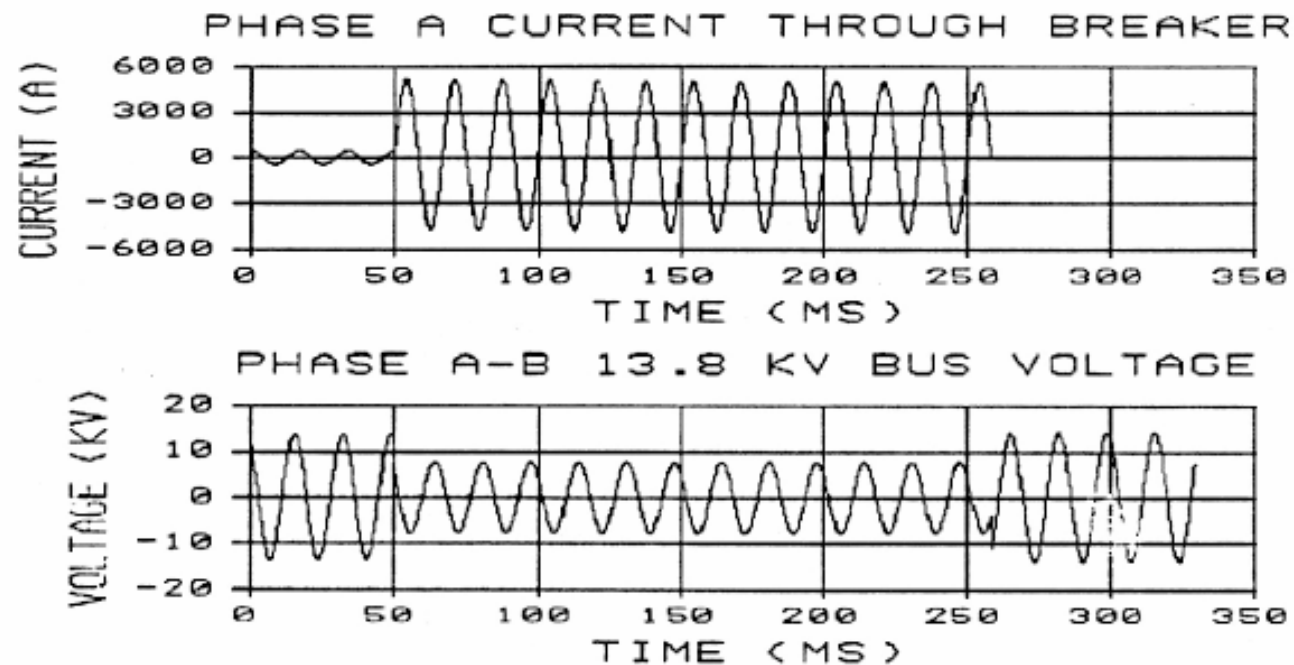
La pérdida completa de tensión ($< 0,1 \text{ pu}$) en una o más fases para un período entre 0,5 ciclos y 3 seg.

Los huecos de tensión constituyen la gran mayoría de los reclamos de usuarios

Los huecos de tensión afectan de diferente manera a diferentes usuarios

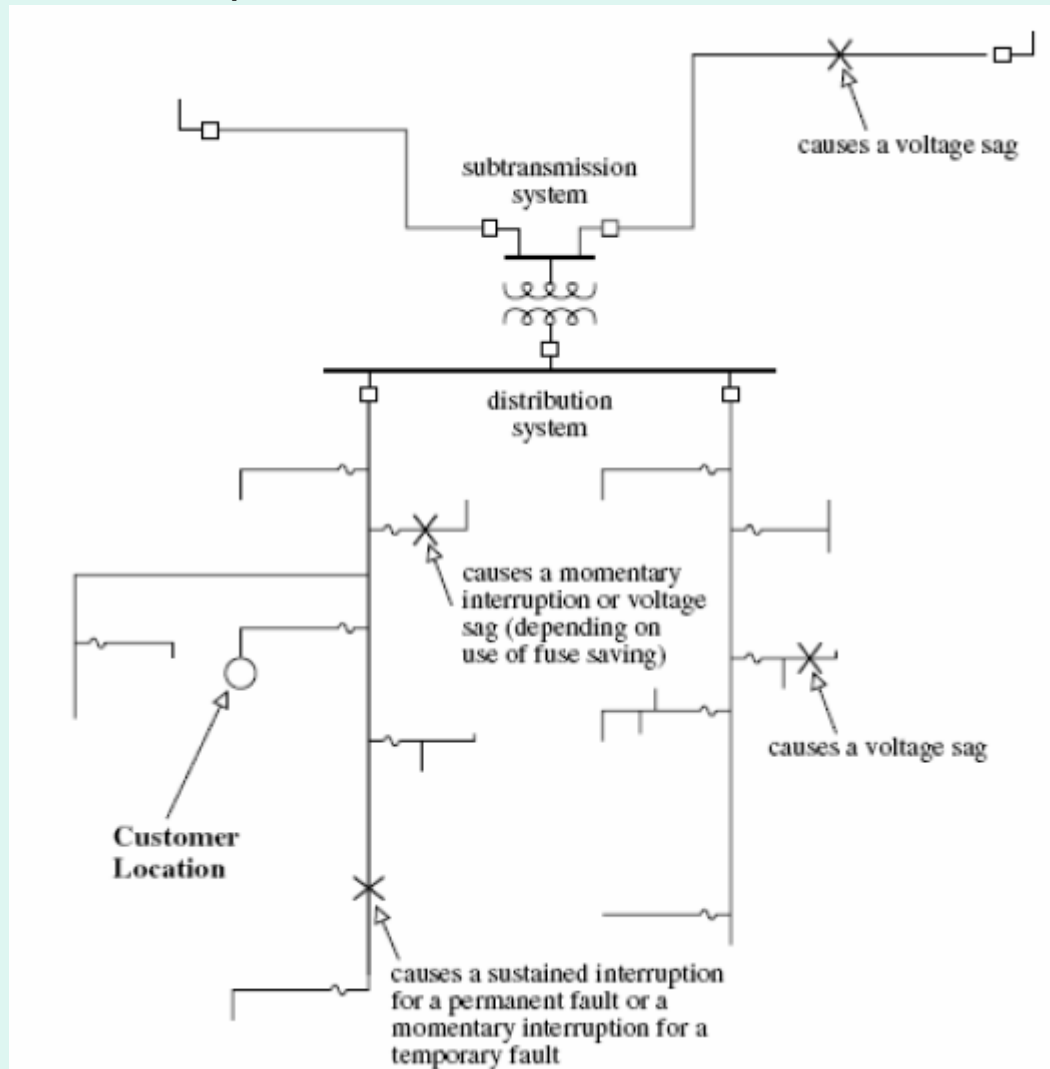
INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

Hueco de tensión



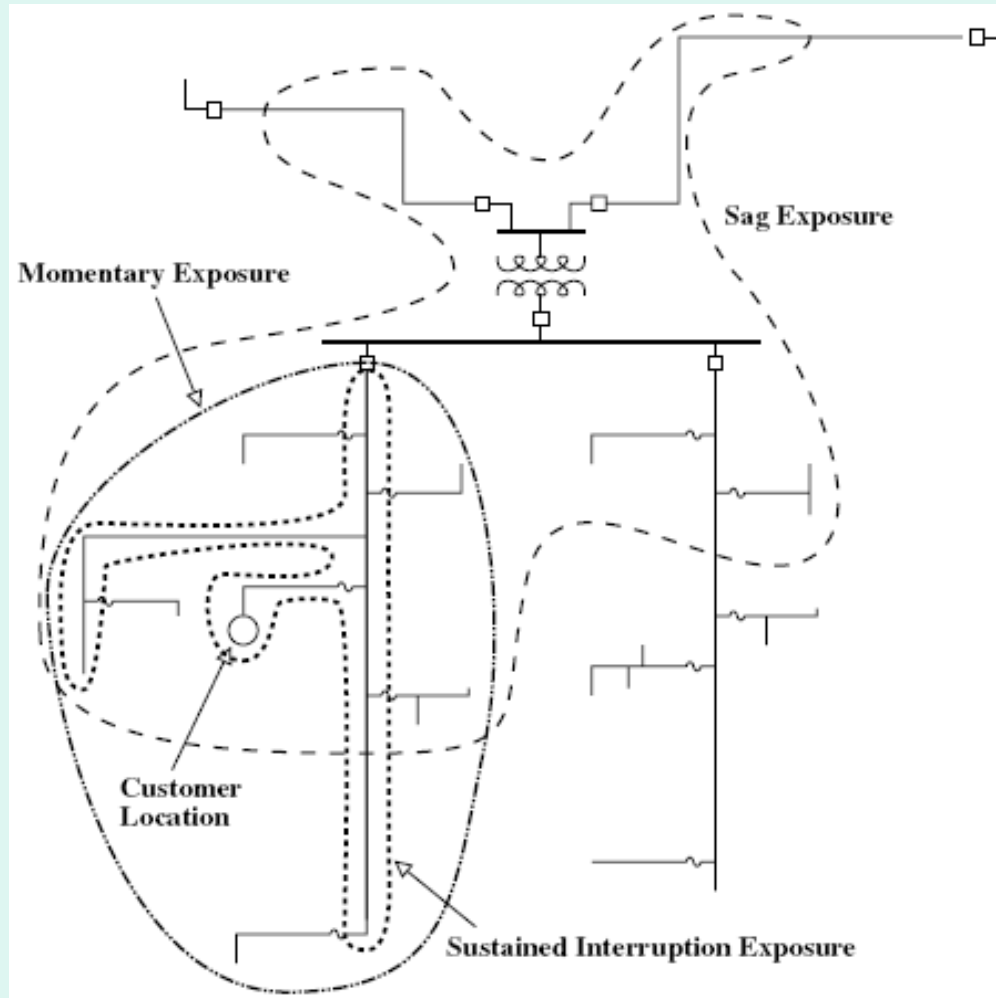
INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSIÓN

Las faltas en distintos puntos del sistema afectan de diferente manera a un usuario



INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

Una falta en el sistema puede significar para algún usuario un hueco de tensión, para otro una interrupción momentánea y para otro una interrupción sostenida



INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSIÓN

Caracterización de un hueco de tensión (sag, dip):

- Magnitud y forma de variación
- Salto de fase
- Duración
- Alcance
- Forma
- Ángulo de inicio
- Vía de transferencia
- Efecto de las cargas conectadas

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE Tensión

Caracterización de un hueco de tensión:

Magnitud y forma de variación

Reducción del valor eficaz de tensión desde el 87 al 10% de su valor nominal...

Puede que en lugar del 87% sea el valor mínimo admisible de tensión estacionario.... Por ejemplo 90%

Puede que en lugar de 10% sea 0%.... Una interrupción o hueco extremo

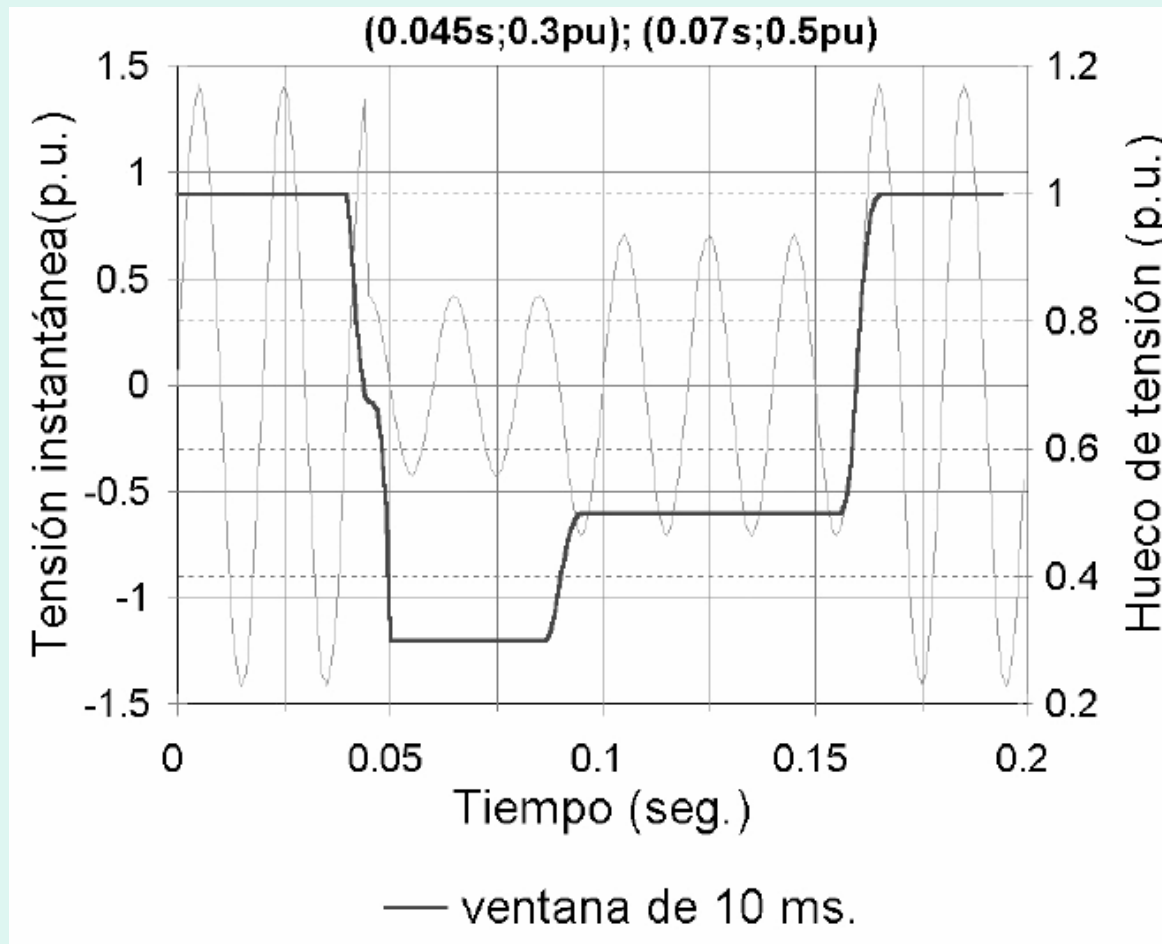
Es posible se hable de huecos al 0.87 p.u. (en lugar de 87%), de 0.10 pu (10%)... pero siempre haciendo referencia al valor que cae respecto del nominal y no al revés

La evaluación del valor rms que define la magnitud debería efectuarse mediante un «ventaneo» que requeriría de un ciclo por ventana avanzando muestra a muestra de la señal en cuestión (entrando la muestra nueva y abandonando la última...)

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

Caracterización de un hueco de tensión:

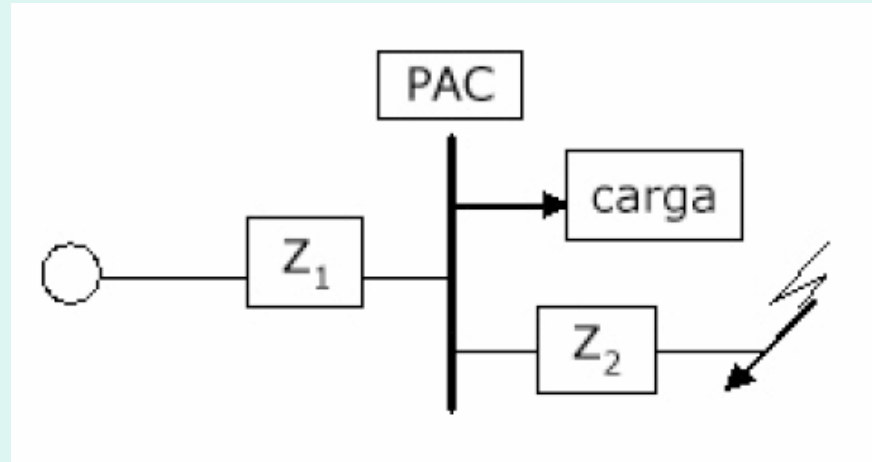
Magnitud y forma de variación



INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSIÓN

Caracterización de un hueco de tensión:

$$Z_1 = R_1 + j X_1$$
$$Z_2 = R_2 + j X_2$$



La tensión de hueco en el PAC:

$$V_{\text{hueco}} = Z_2 / (Z_1 + Z_2)$$

Salto de Fase

$$\phi_{\text{hueco}} = \arctan (X_2 / R_2) - \arctan [(X_1 + X_2) / (R_1 + R_2)]$$

Muchos equipos son sensibles a este cambio de fase (los que emplean control PLL, por ejemplo, los PWM)

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSIÓN

Caracterización de un hueco de tensión:

Duración

Inicio: Instante en que el valor rms de la tensión cae por debajo de 0.87 de V_n

Final: Instante en que el valor rms de la tensión supera el 0.87 V_n

Mayoritariamente los huecos de tensión son originados por falta en el sistema eléctrico. Cada nivel de un sistema eléctrico (transmisión, distribución) tiene tiempos típicos de operación de sus protecciones: ejemplo: 100ms en transmisión, 200 o 300 en distribución..... La duración del hueco puede dar una buena indicación a cerca de la localización del mismo

Otros huecos y sus duraciones típicas:

- Arranque de motores
- Conexión de transformadores
- etc

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSIÓN

Caracterización de un hueco de tensión:

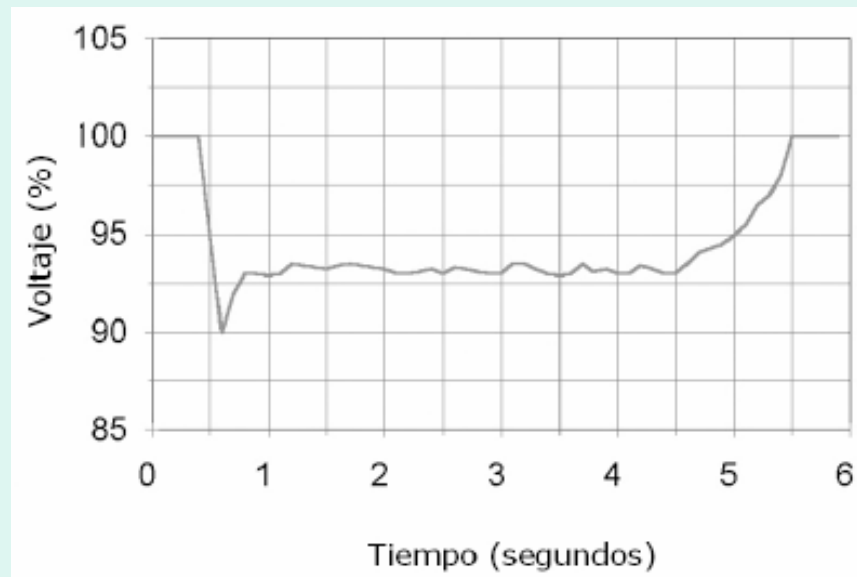
Alcance

Los huecos de tensión en redes de transmisión harán sentir sus efectos en áreas mucho mayores

Los huecos de tensión en redes de distribución implicaran sectores considerablemente menores...

Forma

Puede ser un buen indicador sobre el motivo del hueco

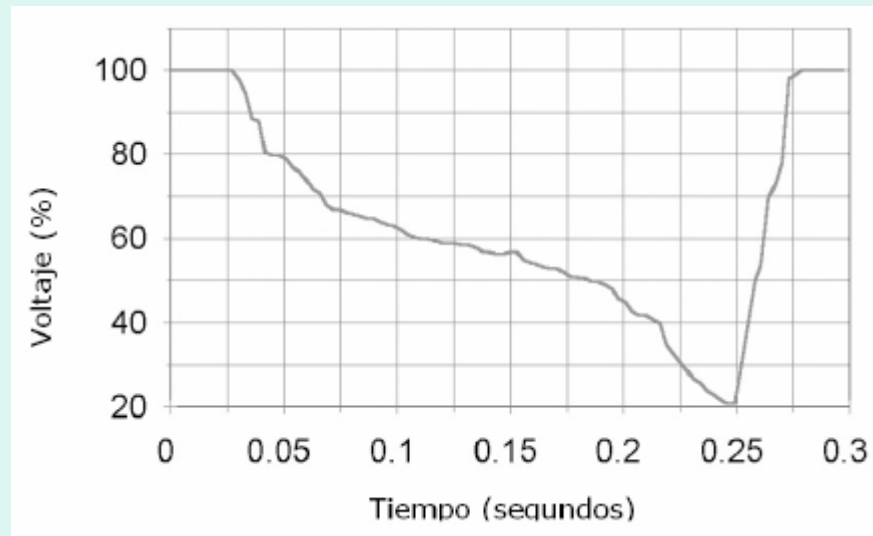


INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

Caracterización de un hueco de tensión:

Forma

Ionización de la falta



«secado» de la falta



INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

Caracterización de un hueco de tensión:

Angulo de inicio y final

Cuando el motivo del hueco es una falta, los inicio tienden a ser próximos a los máximos de la forma de onda de la tensión y su final próximo a los pasajes por cero

Transferencia

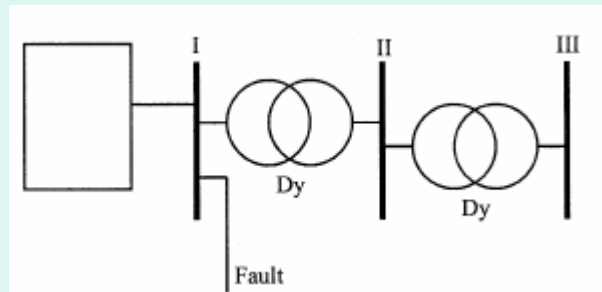
La presencia de un transformador, y en particular el tipo de conexión del mismo, pueden cambiar la «forma del hueco» del lado de baja tensión al de alta o viceversa

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE Tensión

Caracterización de un hueco de tensión:

Transferencia

Las impedancias de fuente de secuencia positiva, negativa y cero supuestas son iguales



Fault type	location of dip		
	I	II	III
Three-phase	A	A	A
Three-phase-to-ground	A	A	A
Two-phase-to-ground	E	F	G
Two-phase	C	D	C
Single-phase-to-ground	B	C	D

Type A $\bar{V}_a = V$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$	Type B $\bar{V}_a = V$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$
Type C $\bar{V}_a = 1$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$	Type D $\bar{V}_a = V$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$
Type E $\bar{V}_a = 1$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$	Type F $\bar{V}_a = V$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}j(\frac{2}{3} + \frac{1}{3}V)\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}j(\frac{2}{3} + \frac{1}{3}V)\sqrt{3}$
Type G $\bar{V}_a = \frac{2}{3} + \frac{1}{3}V$ $\bar{V}_b = -\frac{1}{2}(\frac{2}{3} + \frac{1}{3}V) - \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$ $\bar{V}_c = -\frac{1}{2}(\frac{2}{3} + \frac{1}{3}V) + \frac{1}{2}jV\sqrt{3}$	

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE Tensión

Caracterización de un hueco de tensión:

Efecto de la carga o generador

Las reacciones de las cargas frente al hueco de tensión son muy dispares: muchas lámparas o equipos se apagan ...

Los motores eléctricos presentan algunas particularidades importantes:

- Ante la presencia original del hueco tienden a actuar como generadores...
- Cuando la tensión se recupera, el motor también toma una corriente mayor tratando de regularizar su situación reaccelerándose

Por lo tanto, un motor o un generador puede afectar considerablemente «el aspecto» de un hueco de tensión pero fundamentalmente «la recuperación del hueco de tensión»

Más adelante se retomará este tema

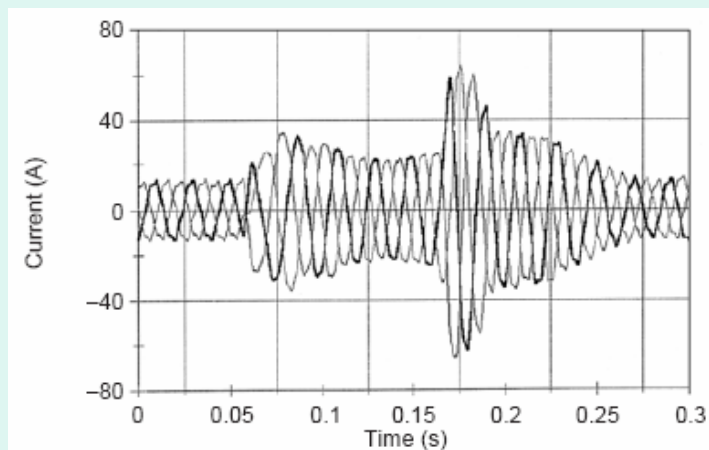
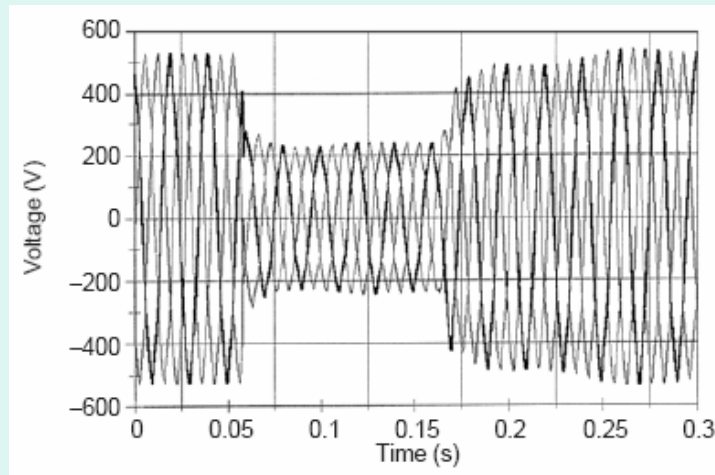
INTERRUPCIONES Y HUECOS DE Tensión

Caracterización de un hueco de tensión:

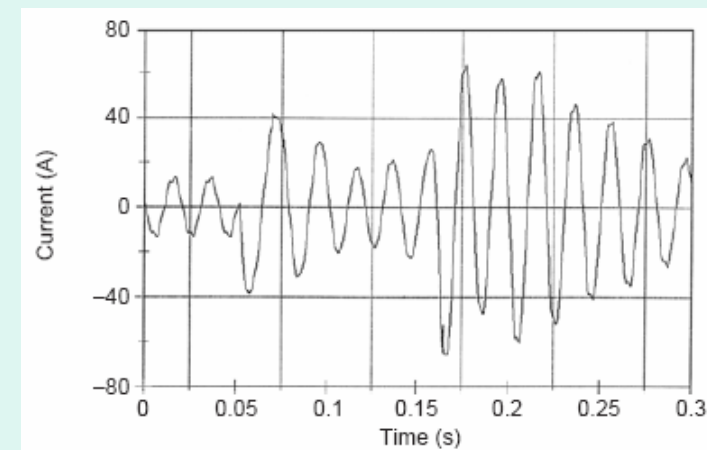
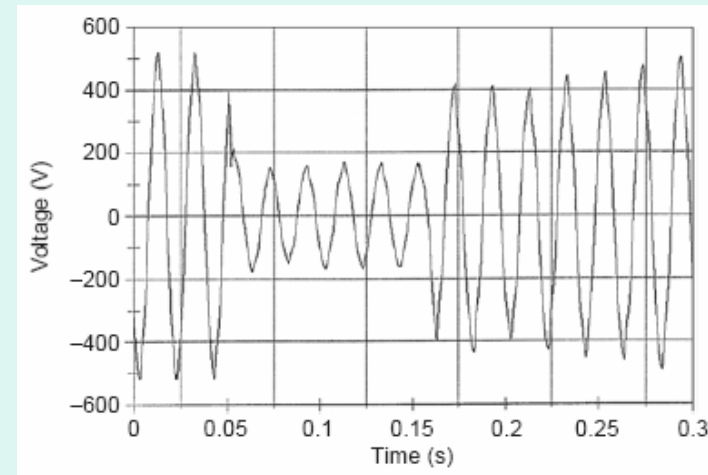
Efecto de la carga o generador

Motor de inducción al 85% de sus carga nominal, hueco de 5,5 ciclos

Profundidad al 43%



Profundidad al 30%



INTERRUPCIONES Y HUECOS DE Tensión

Sensibilidad de los equipos

El efecto del hueco de tensión depende de la capacidad de soportarlo...
(inmunidad del equipo)

Esta capacidad esta relacionada con la tensión mínima del equipo para funcionamiento estable y con la capacidad de almacenar energía del equipo en cuestión (almacenar en un campo eléctrico, magnético o en la inercia de una masa rotante)

En general los equipos no tienen como premisa del diseño «alta capacidad para soportar huecos»

La manera en que usualmente se expresa la «inmunidad» a los huecos de tensión es en forma de gráficos donde se representa en un eje la profundidad del hueco en % de su tensión nominal y en el otro eje su duración

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

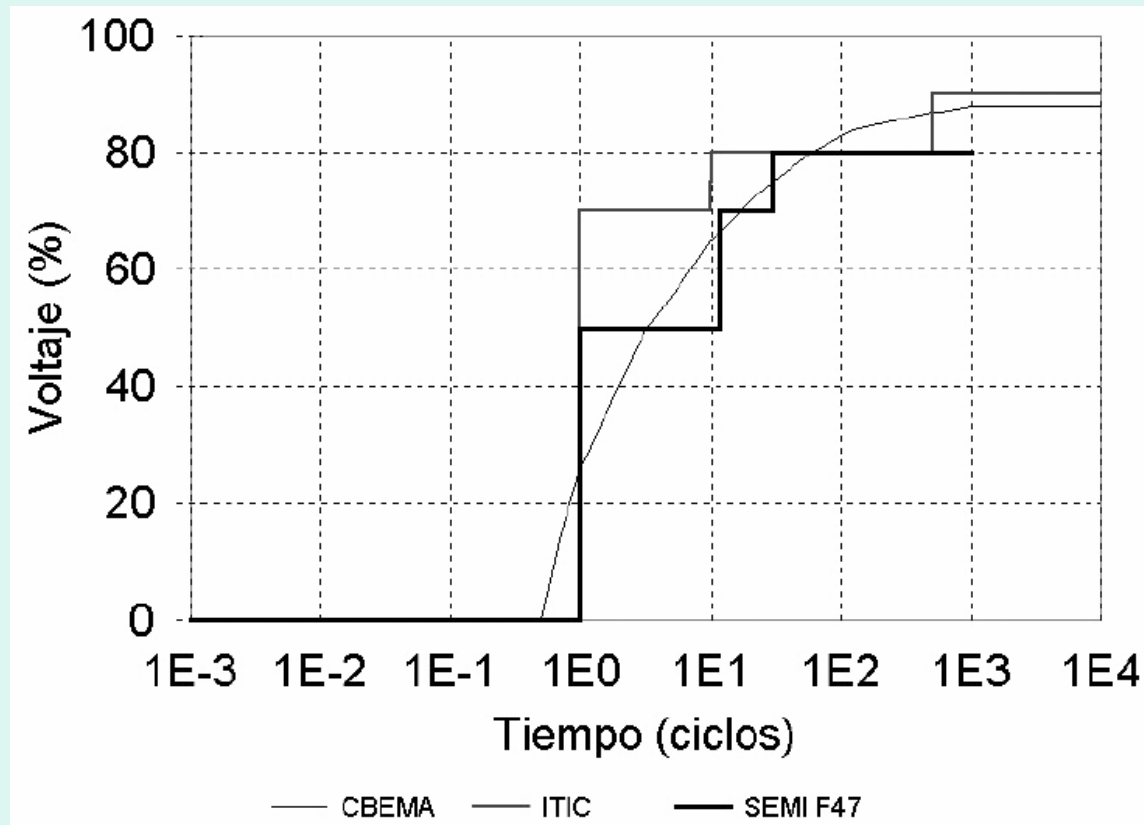
Sensibilidad de los equipos

Normas o recomendaciones internacionales:

CBEMA (Computer Business Equipment Manufacturer Association)

ITIC (Información Technology Industry Council)

SEMI F47 (Specification for Semiconductor...)

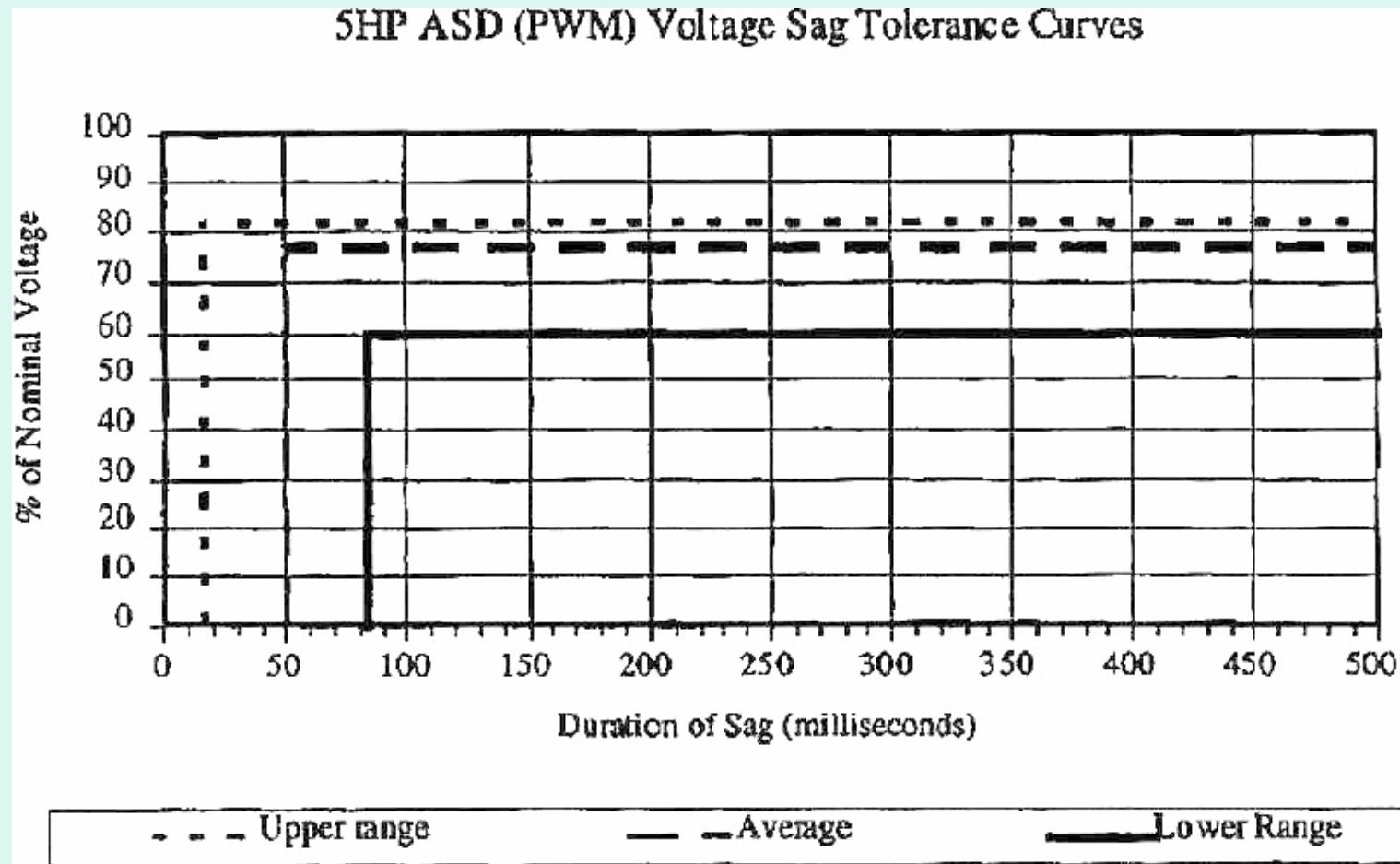


INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

Sensibilidad de los equipos

Normas o recomendaciones internacionales:

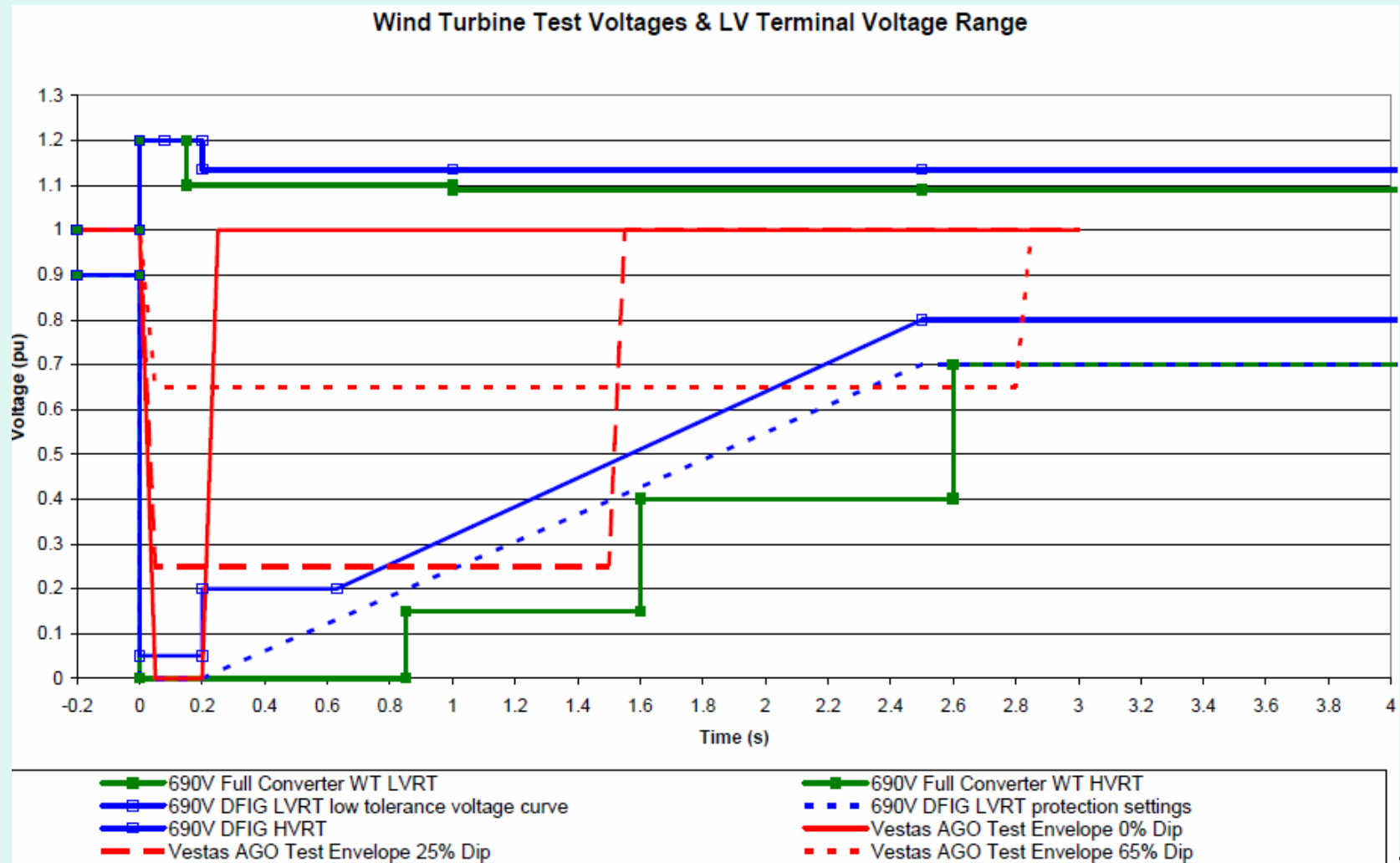
IEEE 1346 1998 Para Accionamientos de motores



INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

Sensibilidad de los equipos

Turbinas eólicas

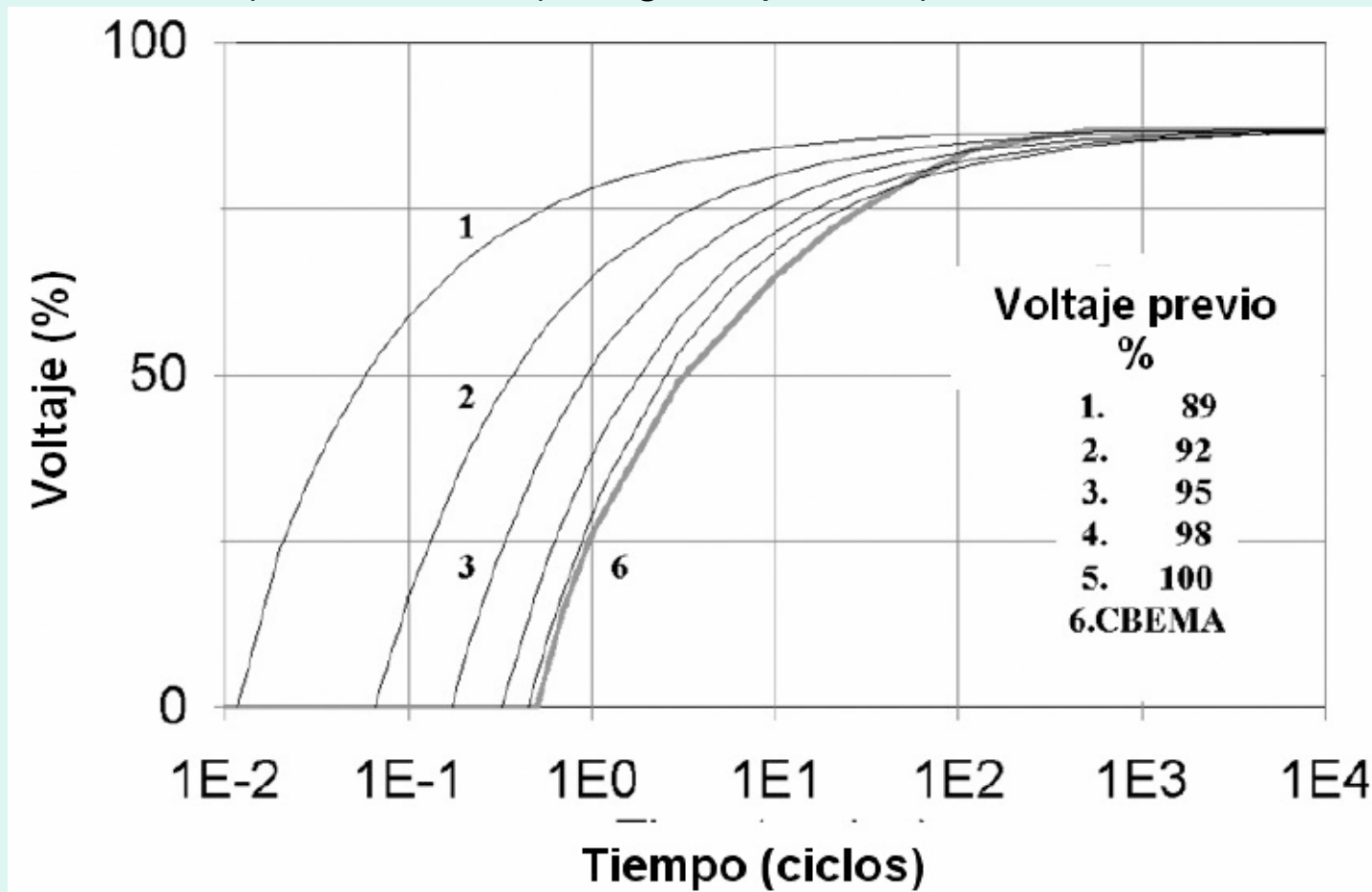


INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

La capacidad de un equipo de soportar un hueco de tensión depende:

Tensión previa a la perturbación

La capacidad de soportar esta íntimamente relacionada al concepto de tensión (previa al evento) al cuadrado (energía específica)

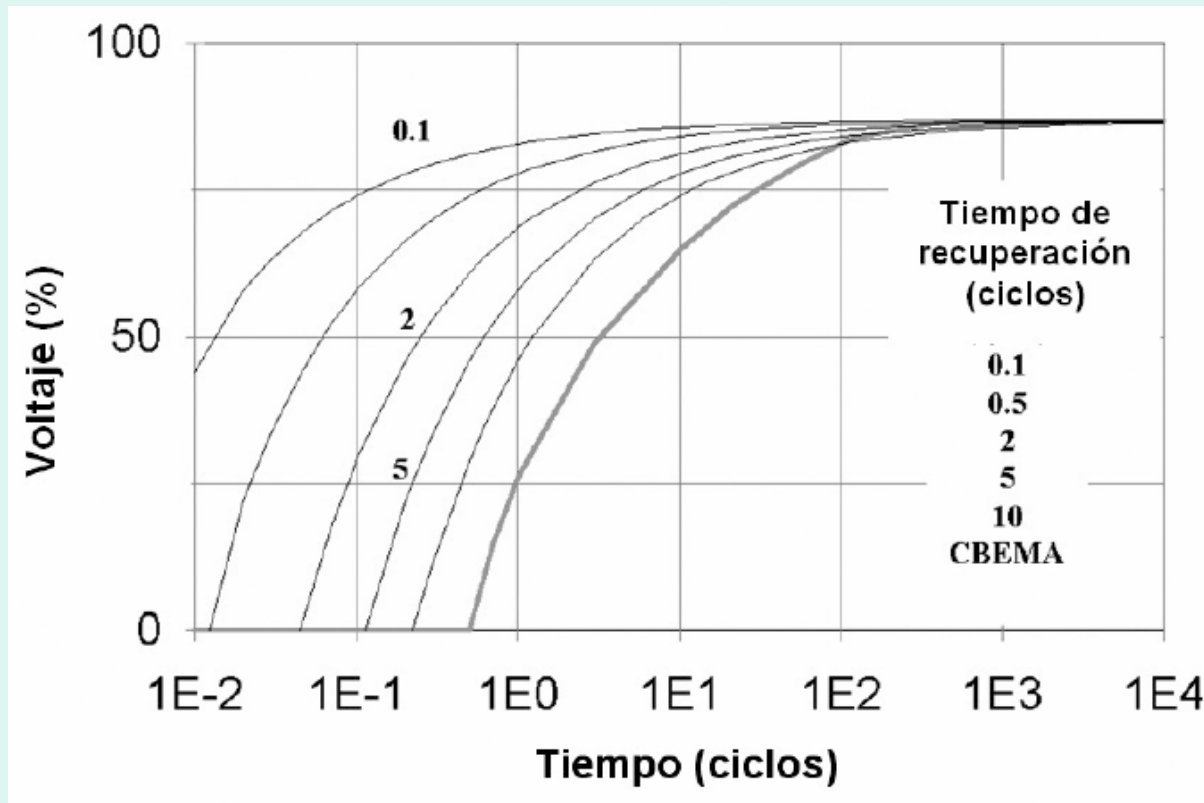


INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSIÓN

La capacidad de un equipo de soportar un hueco de tensión depende:

Tiempo de recuperación

Se trata del tiempo de verificar la capacidad de soportar huecos sucesivos..



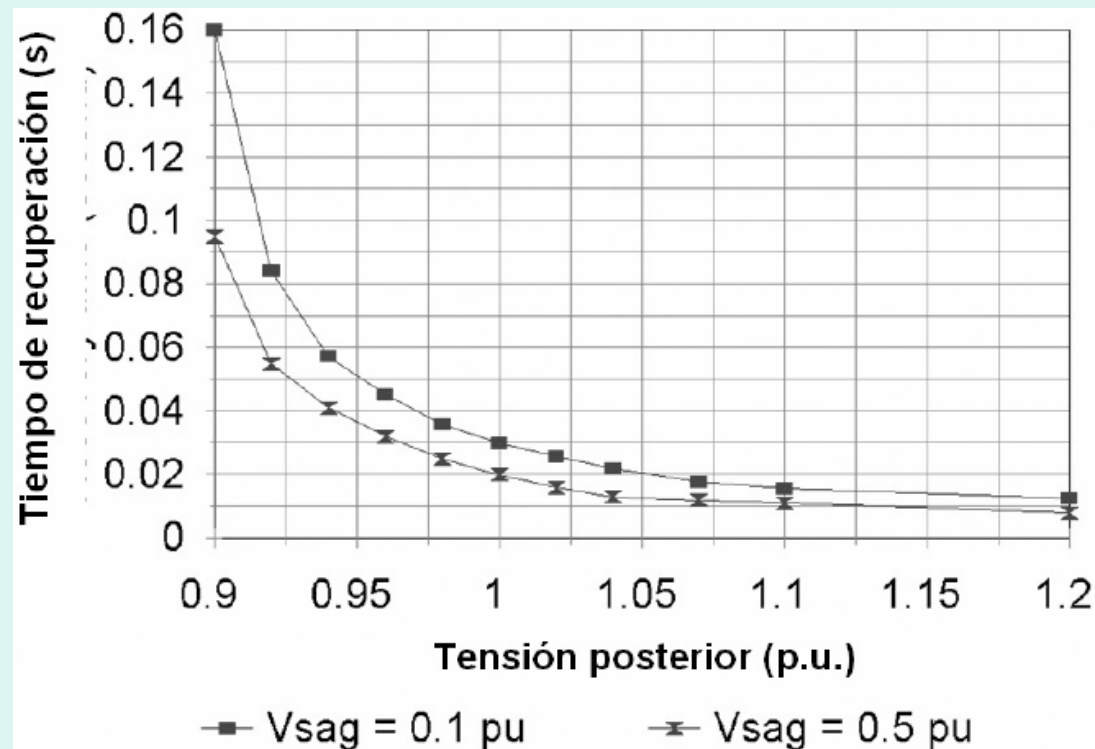
Ejemplo: si el equipo soporto un hueco al 25% durante un segundo....será capaz de soportar un nuevo hueco de esa profundidad si al menos ha tenido dos ciclos de recuperación a una tensión del 87%

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE Tensión

La capacidad de un equipo de soportar un hueco de tensión depende:

Huecos repetidos

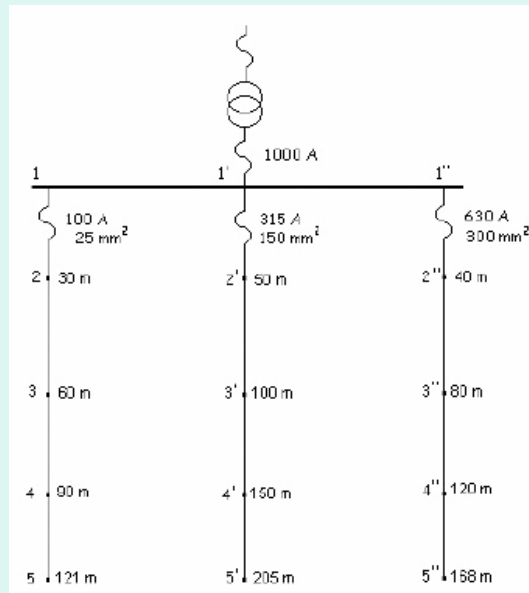
El tiempo requerido para soportar un nuevo hueco dependerá de la profundidad del último hueco y de la tensión posterior al hueco



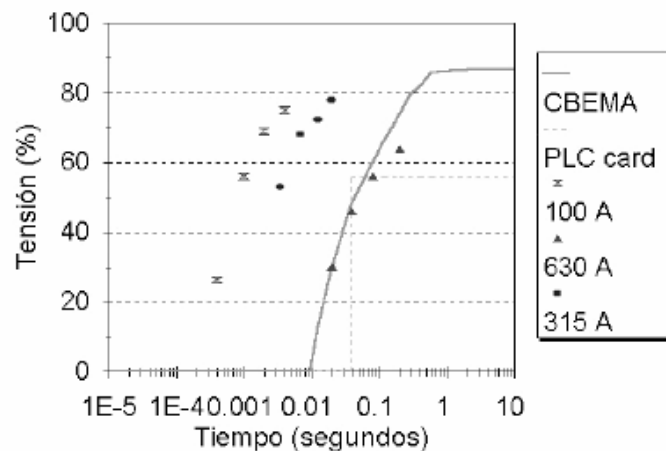
Ejemplo: si viene de soportar un hueco de 0.1 pu y la tensión posterior es 1 pu entonces al cabo de 30 ms se encuentra recuperado... si la profundidad del hueco hubiese sido 0.5 pu, 20 ms resultarían suficientes

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSIÓN

Un simple ejemplo para demostrar la influencia de las protecciones sobre los huecos de tensión



Punto en falla	Intensidad (A)	Tensión residual (%)	Duración (s)
1"	22.680	0	0,03
2"	15.891	30	0,02
3"	12.230	46	0,04
4"	9.940	56	0,08
5"	8.117	64,2	0,2
2	5.966	26,3	0,0004
3	3.435	58	0,00122
4	2.412	70,2	0,0025
5	1.844	77,2	0,00423
2'	12.088	53	0,00335
3'	8.240	68	0,00721
4'	6.250	72,4	0,0125
5'	4.938	78,2	0,020

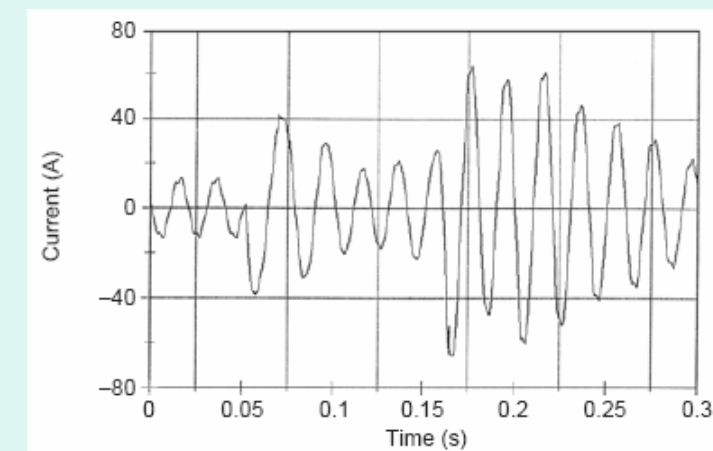
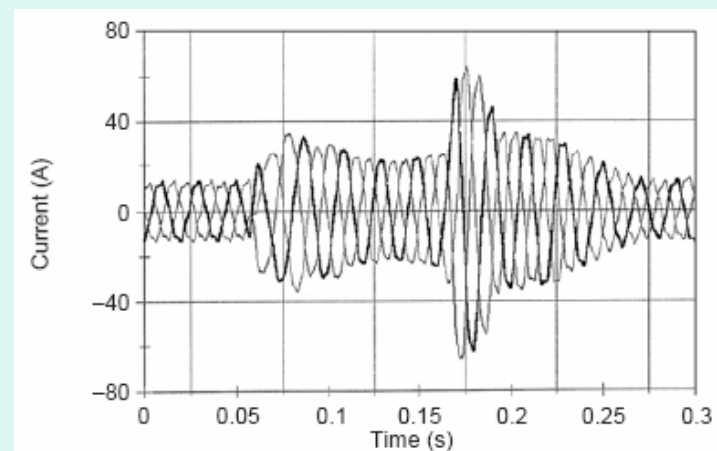
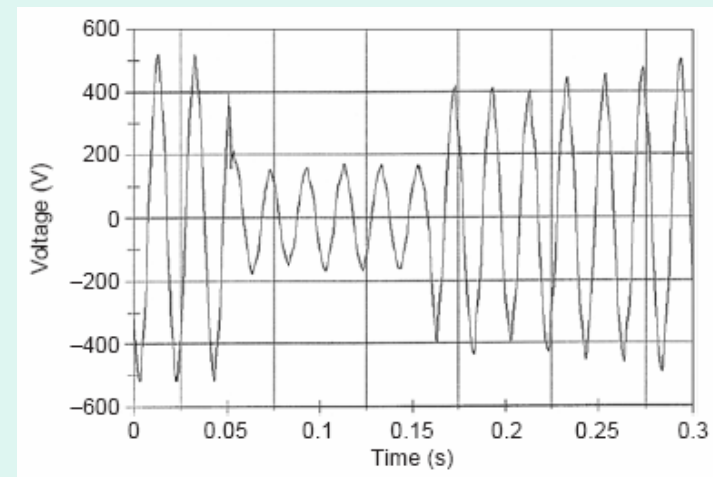
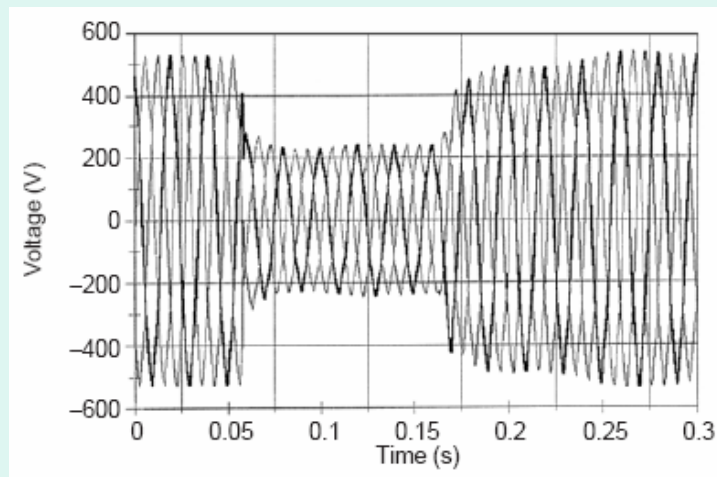


INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSIÓN

Comportamiento de la maquina de inducción frente a huecos o interrupciones cortas

Motor de inducción al 85% de sus carga nominal, hueco de 5,5 ciclos

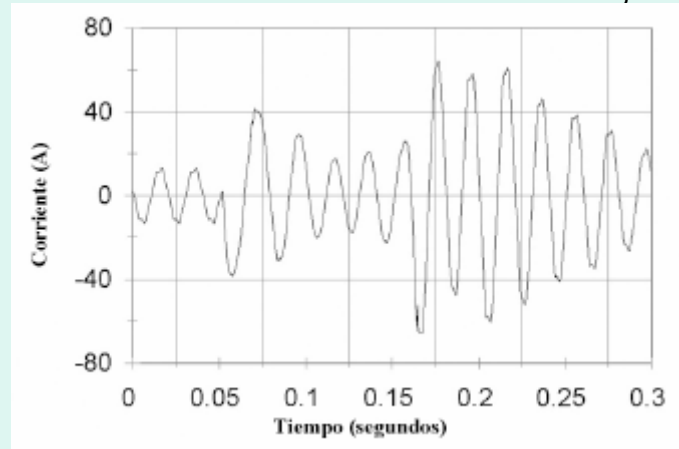
Profundidad al 43%



INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

Comportamiento de la maquina de inducción frente a huecos o interrupciones cortas

Un hueco de tensión al 30% con una duración de 5,5 ciclos con una carga del 85%



Tres períodos en la corriente:

- Un incremento inicial en la corriente originado por lo demandado en el eje
- Disminuye aparentemente tendiendo a estabilizarse
- Pero debido a que el balance de energía es negativo (mas lo que se necesita en el eje que lo que entrega el sistema), en un intento por mantenerse toma mayor corriente (sube nuevamente)

Afortunadamente se recupera la tensión....

INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

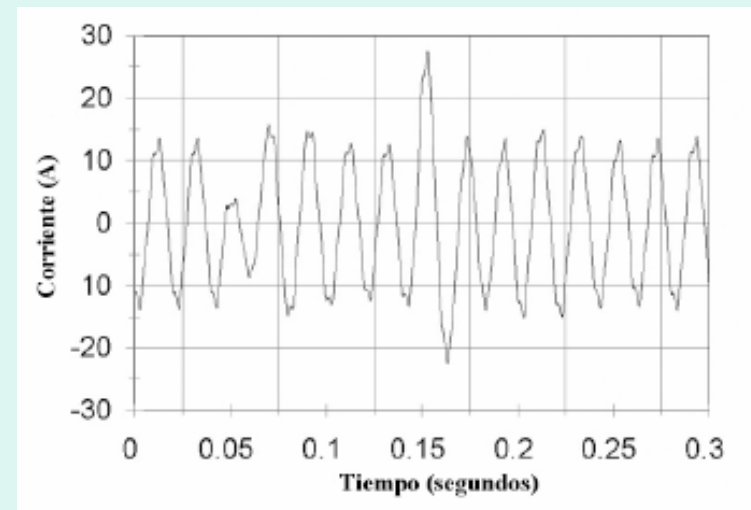
Comportamiento de la maquina de inducción frente a huecos o interrupciones cortas

Una manera de cuantificar los efectos térmicos de la corriente, ya sea en la iniciación y durante el hueco como en el proceso de normalización de tensión (finalización del hueco) es mediante el concepto de energía específica I^2t

Para el evento anterior tal energía específica durante el hueco es 5 veces mayor que la de régimen normal de ese estado de carga

La situación de carga y la duración del hueco es idéntica al caso anterior pero el hueco es solo al 20%....

Tal I^2t es sustancialmente el mismo que el de régimen normal para ese estado de carga....

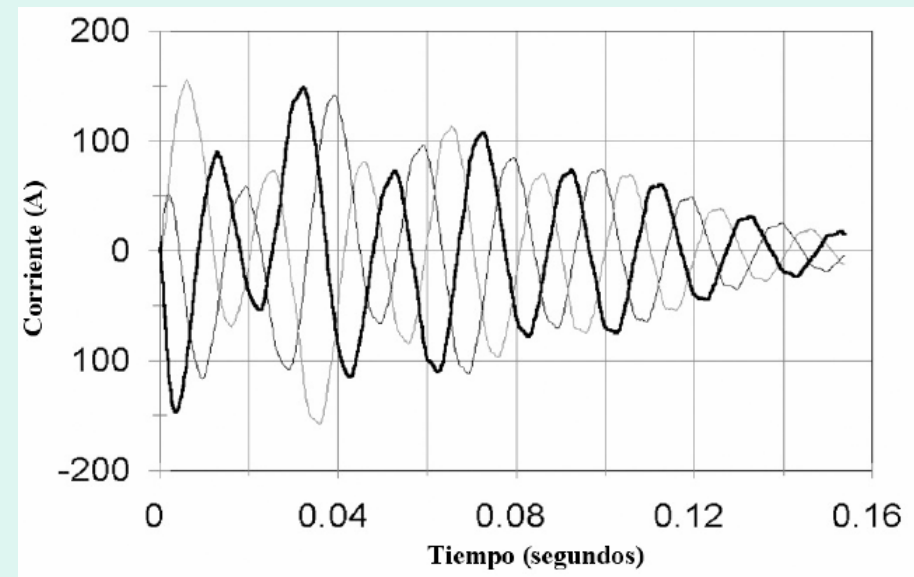
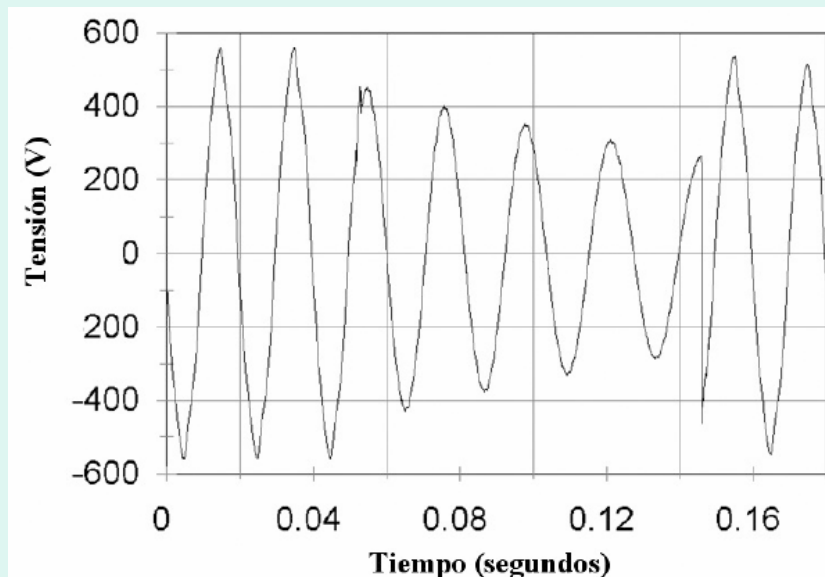


INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

El proceso de reconexión seguido al hueco de tensión en la maquina de inducción

Los terminales de la máquina se encuentran **abiertos** y se produce el re-cierre

La probabilidad de que se produzca fuera de fase es muy alta....



La corriente de re-arranque es inclusive mayor que la de arranque

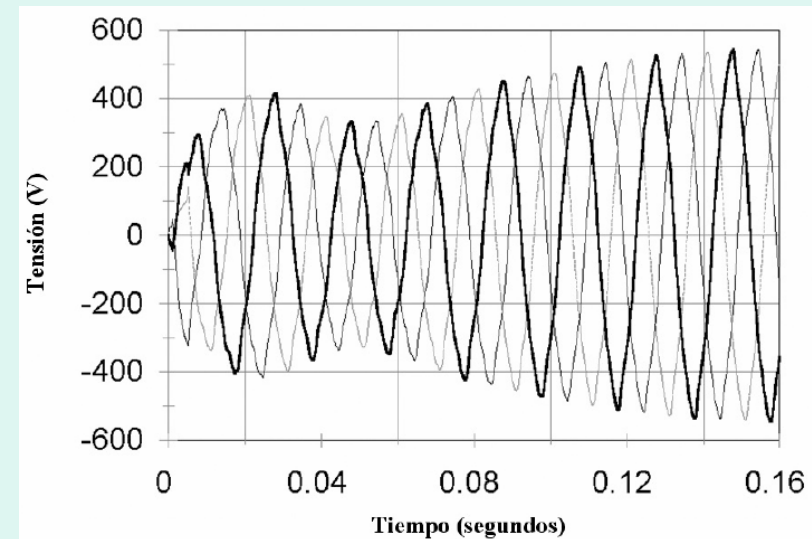
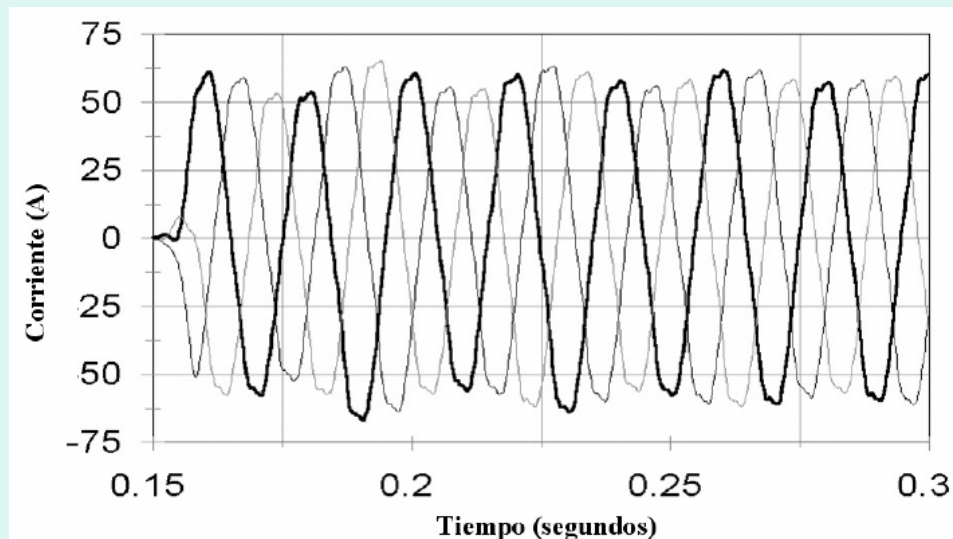
INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

El proceso de reconexión seguido al hueco de tensión en la maquina de inducción

Los terminales de la máquina se encuentran **cerrados** y se produce el re-cierre

No existe prácticamente la posibilidad de cierre fuera de fase ya que la fem se extingue rápidamente....

Pero puede que todos los motores estén en el mismo proceso de toma de corriente produciendo una baja de tensión de muy lenta recuperación o...colapso de tensión



INTERRUPCIONES Y HUECOS DE TENSION

Efecto térmico en la maquina de inducción durante el hueco y en el re-arranque

