



# **Perturbaciones en la onda de tensión: huecos y sobretensiones**

**Gabriel Ordóñez Plata**

[gaby@uis.edu.co](mailto:gaby@uis.edu.co)

Curso:

**CALIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA (CALIDAD DE POTENCIA)**

Programa ALURE - Proyecto CREG

Cartagena de Indias, Colombia - febrero, 2002

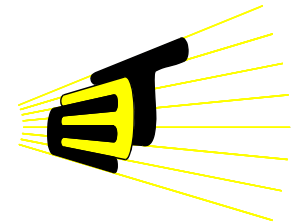
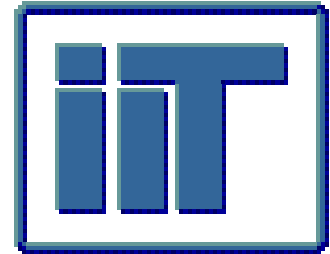




# Programa ALURE - Proyecto CREG



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA (IIT)





# Contenido

---

- **Introducción**
- **Generalidades**
- **Características de los huecos de tensión**
- **Causas de los huecos de tensión**
- **Huecos de tensión debidos a fallas**
- **Efectos de los huecos de tensión**
- **Valoración de los efectos de los huecos**
- **Conclusiones**



# Introducción: tipos de variaciones de la tensión



## ➤ **Perturbaciones**

- ✓ Transitorios
- ✓ Huecos de tensión (Sags o Dips)
- ✓ Elevaciones de tensión (Swells)
- ✓ Interrupciones

## ➤ **Variaciones en estado estable**

- ✓ Regulación de tensión
- ✓ Distorsión armónica
- ✓ Parpadeo (Flicker)
- ✓ Desbalance

# Introducción: definiciones de perturbaciones de la señal de tensión según la IEEE 1159



<b>Variaciones de corta duración</b>	Duración	Magnitud
Huecos de tensión (sag o dip)		
Instantáneos	0,5 – 30 ciclos	0,1 – 0,9 p.u.
Momentáneos	30 ciclos – 3	0,1 – 0,9 p.u.
Temporales	3 s – 1 min	0,1 – 0,9 p.u.
Elevaciones de tensión (swell)		
Instantáneos	0,5 – 30 ciclos	1,1 – 1,8 p.u.
Momentáneos	30 ciclos – 3	1,1 – 1,8 p.u.
Temporales	3 s – 1 min	1,1 – 1,8 p.u.
<b>Variaciones de larga duración</b>		
Subtensión	> 1 min	0,8 – 1,0 p.u.
Sobretensión	> 1 min	1,0 – 1,2 p.u.
<b>Interrupciones</b>		
Momentáneos	< 3 s	0 p.u.
Temporales	3 s – 1 min	0 p.u.
Colapso	> 1 min	0 p.u.



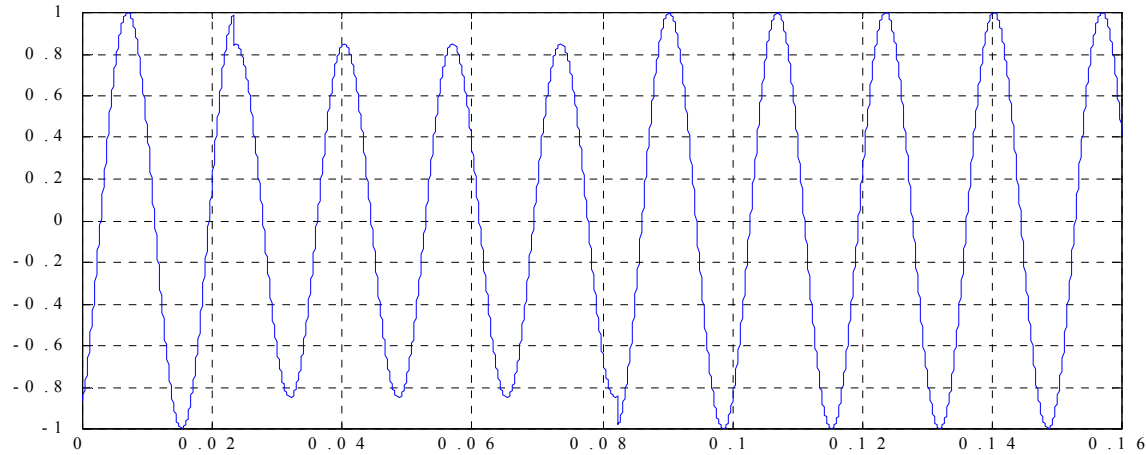
# Introducción: estándares internacionales



Perturbación	Categoría de normalización	Estándares IEEE	Estándares IEC
Huecos de tensión	Ambiente/compatibilidad	IEEE 1250	IEC 61000-2-4
	Emisión/Límites de inmunidad	IEEE P 1346	IEC 61000-3-3/5 (555)
	Pruebas y Medidas	Ninguna	IEC 61000-4-1/11
	Instalación/Mitigación	IEEE 446, 1100, 1159	IEC 61000-5-X
	Apertura del fusible	IEEE 242 (Protección)	IEC 364
Transitorios y sobretensiones	Ambiente/Compatibilidad	IEEE/ANSI C62.41	IEC 61000-2-5
	Emisión/Límites de inmunidad	Ninguna	IEC 61000-3-X
	Pruebas y Medidas	IEEE/ANSI C62.45	IEC 61000-4-1/2/4/5/12
	Instalación/Mitigación	C62 series, 1100	IEC 61000-5-X
	Ruptura de aislamiento	Ninguna	IEC 664



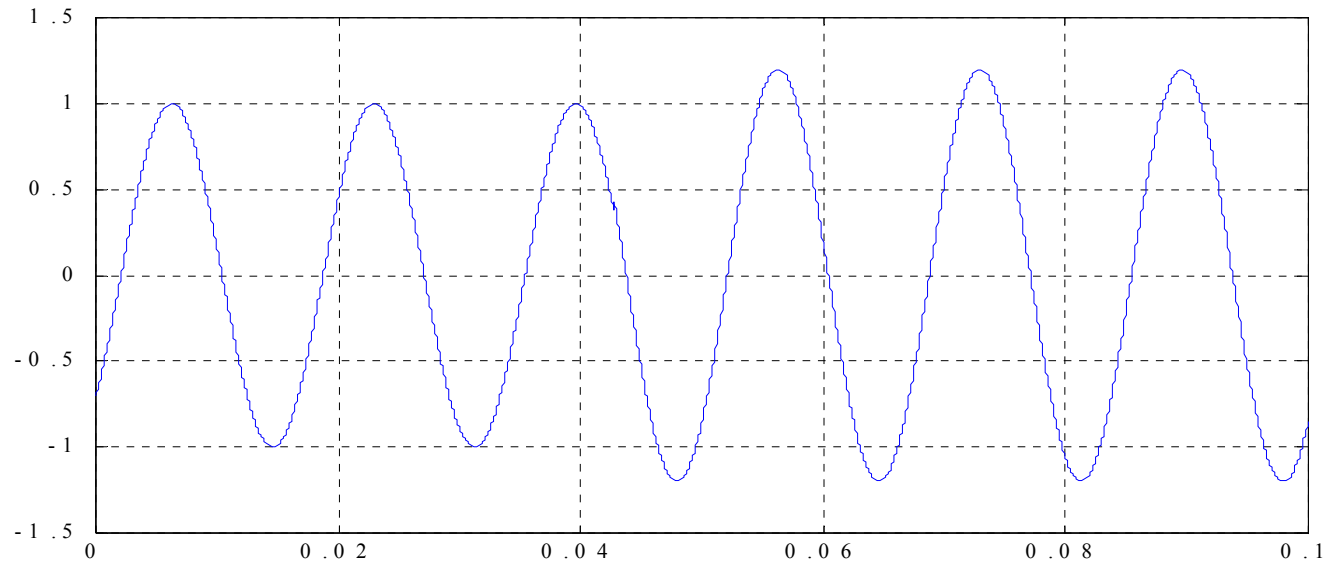
# Generalidades: definición de un hueco de tensión (*Sag* o *Dip*)



➤ **Descripción:** Disminución del valor eficaz de la tensión entre el 0,9 y el 0,1 p.u. de la tensión de funcionamiento normal.

➤ **Duración:** Desde medio ciclo (8 ms o 10 ms) hasta algunos segundos.

# Generalidades: definición de una elevación de tensión (*Swell*)



➤ **Descripción:** Incremento del valor eficaz de la tensión entre el 1,1 y el 1,8 p.u. de la tensión de funcionamiento normal.

➤ **Duración:** Desde medio ciclo (8 ms o 10 ms) hasta algunos segundos.



# Generalidades: definicion del valor eficaz de la tensión



Valor eficaz:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2}$$

Valor eficaz obtenido cada muestra:

$$V_{rms}(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=k-N+1}^k v_i^2}$$

Valor eficaz obtenido cada ciclo:

$$V_{rms}(kN) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=(k-1)N+1}^{kN} v_i^2}$$

Componente fundamental de la tensión:

$$V_1(t) = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t v(\tau) e^{j\omega_0 t} d\tau$$

# Generalidades: definiciones de perturbaciones de la tensión



- **Desbalance de tensión:** Condición para la cual las tres tensiones de un sistema trifásico, difieren en magnitud y/o no están desfasadas  $2\pi/3$  radianes entre si.
- **Magnitud del desbalance:** La máxima desviación de la magnitud de tensión de cada una de las tres fases con respecto a la magnitud promedio del sistema trifásico, dividida por la magnitud promedio.
- **Ángulo de fase del desbalance:** La máxima desviación de la diferencia de ángulos de fases entre las tres tensiones del sistema, dividida entre  $2\pi/3$  radianes.



# Generalidades: definiciones de perturbaciones de la tensión



- **Relación de desbalance de secuencia negativa:** Es la relación entre las tensiones de la secuencia negativa y la secuencia positiva, multiplicada por 100%.
- **Relación de desbalance de secuencia cero:** Es la relación entre las tensiones de la secuencia cero y la secuencia positiva, multiplicada por 100%.
- **Muestras de tensión:** Conmutación entre las tensiones de un sistema trifásico u otro disturbio en la onda de tensión de duración menor a medio ciclo e inicialmente de polaridad contraria al de la onda de tensión.



# Generalidades: definiciones de perturbaciones de la tensión



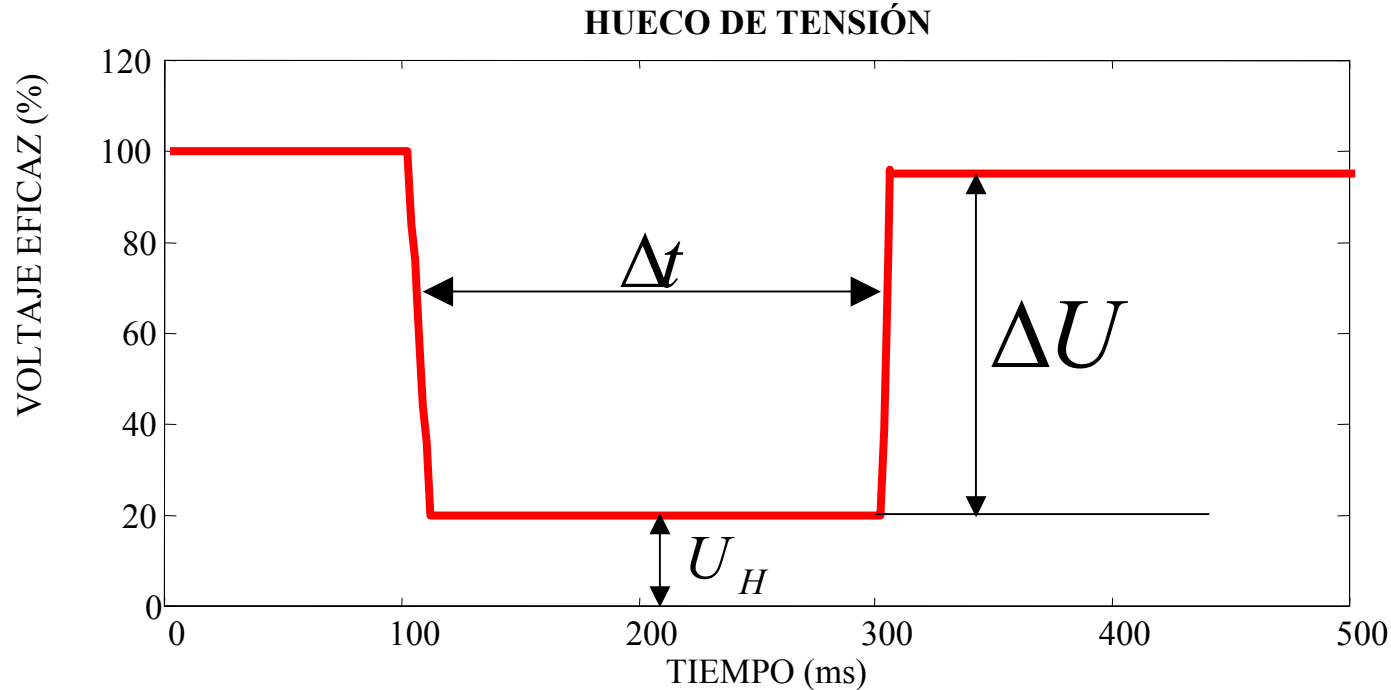
- **Sobretensión subciclo:** Incremento repentino de la tensión de corta duración (menor a medio ciclo) y unidireccional .
- **Subtensión subciclo:** Decremento repentino de la tensión de corta duración (menor a medio ciclo) y unidireccional .
- **Tensión oscilatoria subciclo:** Incremento o decremento repentino de la tensión, seguido de una oscilación de corta duración (menor a medio ciclo). La frecuencia de la oscilación es similar a la frecuencia del sistema (50 o 60 Hz).

# Características de los huecos de tensión



- **Magnitud del hueco de tensión:** Es la tensión eficaz existente durante el hueco de tensión en por unidad (p.u.) con respecto a la tensión pre-hueco ( $U_H$ ). (En caso de huecos no rectangulares, esta magnitud es función del tiempo).
- **Caída de tensión:** Es la diferencia entre la tensión eficaz pre-hueco y la tensión eficaz durante el hueco ( $\Delta U$ ). (En caso de huecos no rectangulares, también es función del tiempo).
- **Duración del hueco de tensión:** Tiempo durante el cual la tensión eficaz es inferior al 0,9 p.u. y superior 0,1 p.u. de la tensión nominal ( $\Delta t$ ).

# Características de los huecos de tensión



**$U_H$ : Magnitud de la tensión del hueco**

**$\Delta U$ : Caída de tensión del hueco**

**$\Delta t$ : Duración del hueco**

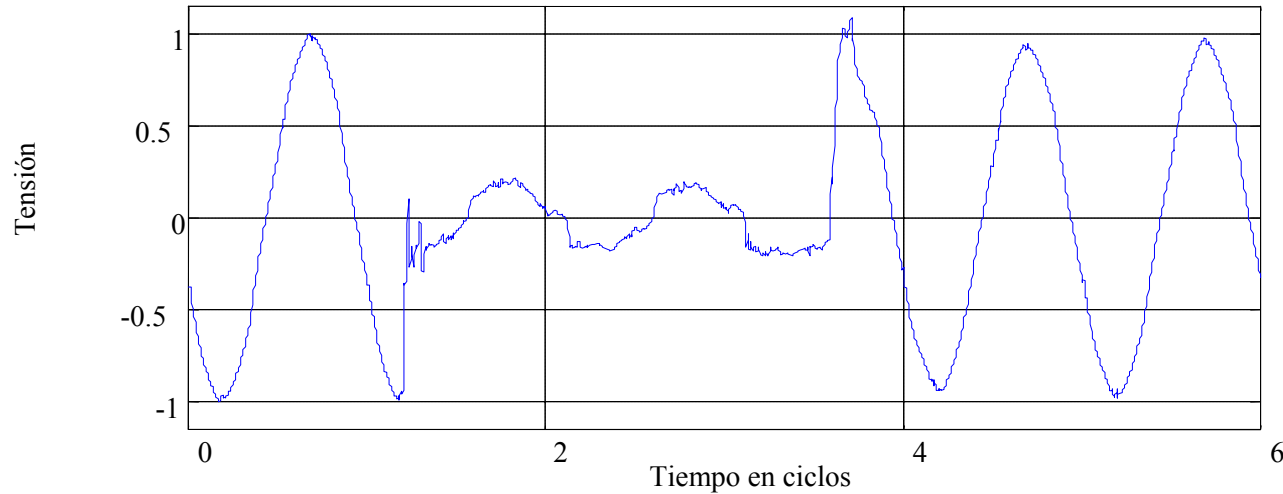
# Características de los huecos de tensión



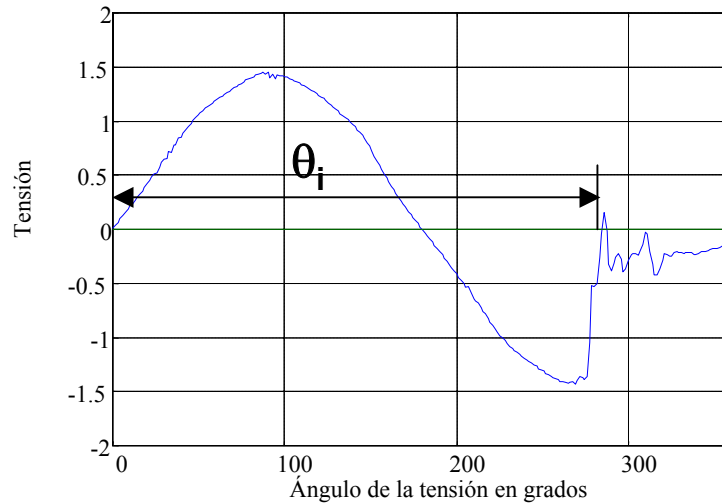
- **Punto de inicio del hueco:** Ángulo de fase de la tensión fundamental en el momento en que se inicia el hueco ( $\theta_i$ ). Corresponde al ángulo de fase en el instante que ocurre una falla.
- **Punto de recuperación del hueco:** Ángulo de fase de la tensión fundamental en el momento en que se recupera la tensión ( $\theta_r$ ). Corresponde al ángulo de fase en el instante que se elimina la falla.
- **Hueco no rectangular:** Un hueco de tensión en el cual la magnitud del hueco no es constante con el tiempo.



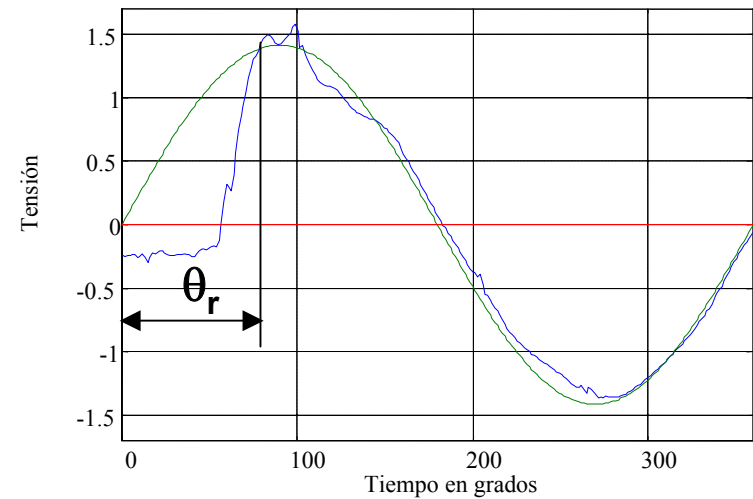
# Características de los huecos de tensión



**Punto de inicio**



**Punto de recuperación**

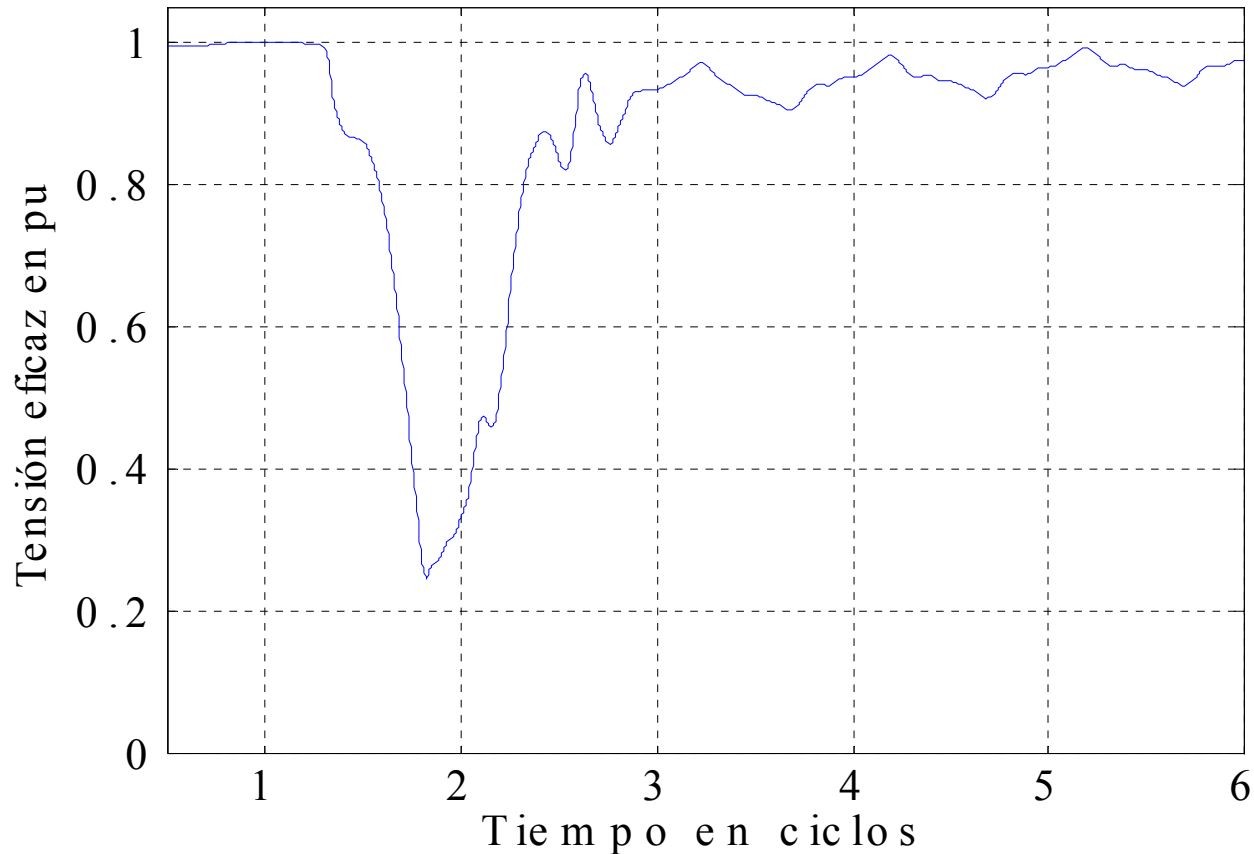




# Características de los huecos de tensión



## Hueco no rectangular



# Características de los huecos de tensión



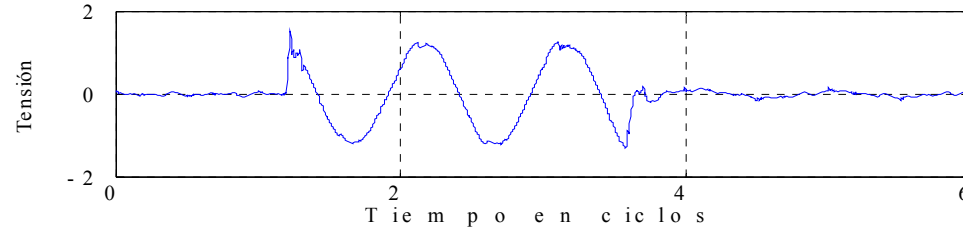
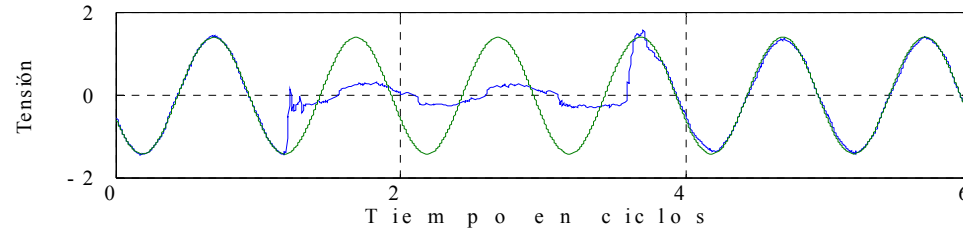
- **Tensión pérdida:** Es la resta entre la tensión que habría si no existiera hueco de tensión y la tensión que hay durante el hueco.
- **Tensión pérdida compleja:** Es un número complejo que representa la tensión pérdida durante un hueco en una de las fases y corresponde a la resta en el plano complejo entre la tensión fundamental antes del hueco y la tensión fundamental durante el hueco.
- **Salto o desplazamiento del ángulo de fase:** Es La diferencia entre los ángulos de fase de las tensiones fundamentales existentes antes y durante el hueco de tensión.



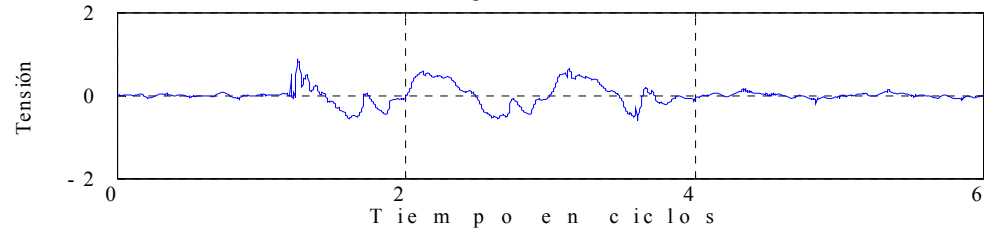
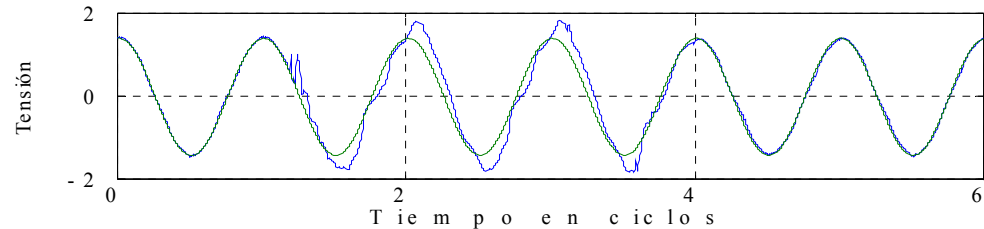
# Características de los huecos de tensión



**Tensión  
perdida:  
hueco de  
tensión**



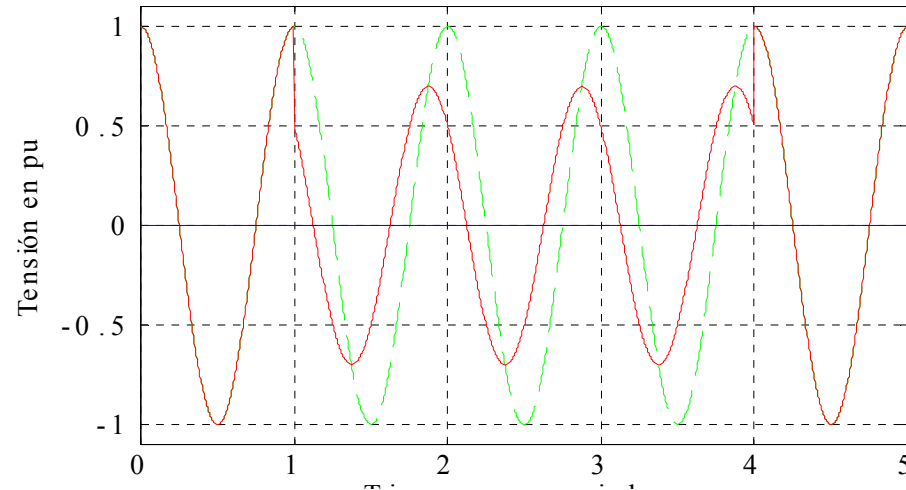
**Tensión  
perdida:  
elevación  
de tensión**



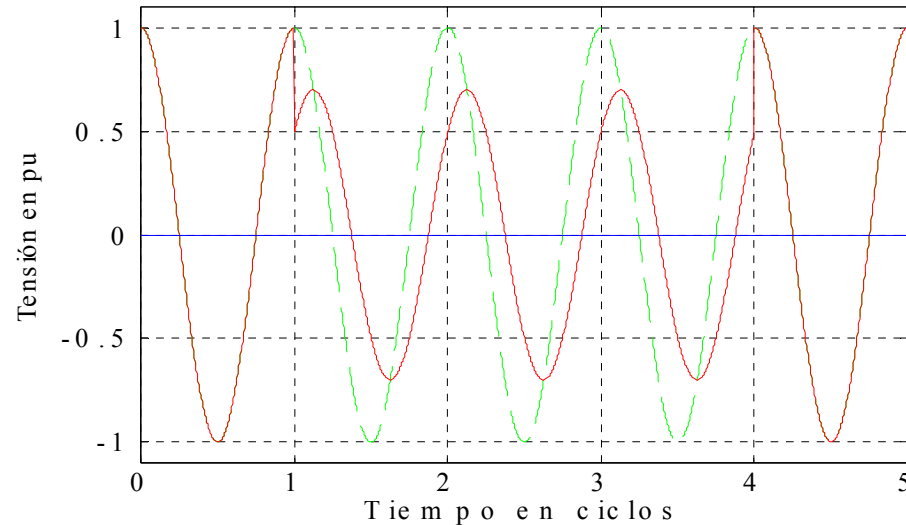
# Características de los huecos de tensión



**Salto del ángulo de fase de  $\pi/4$**



**Salto del ángulo de fase de  $-\pi/4$**



# Características de los huecos de tensión

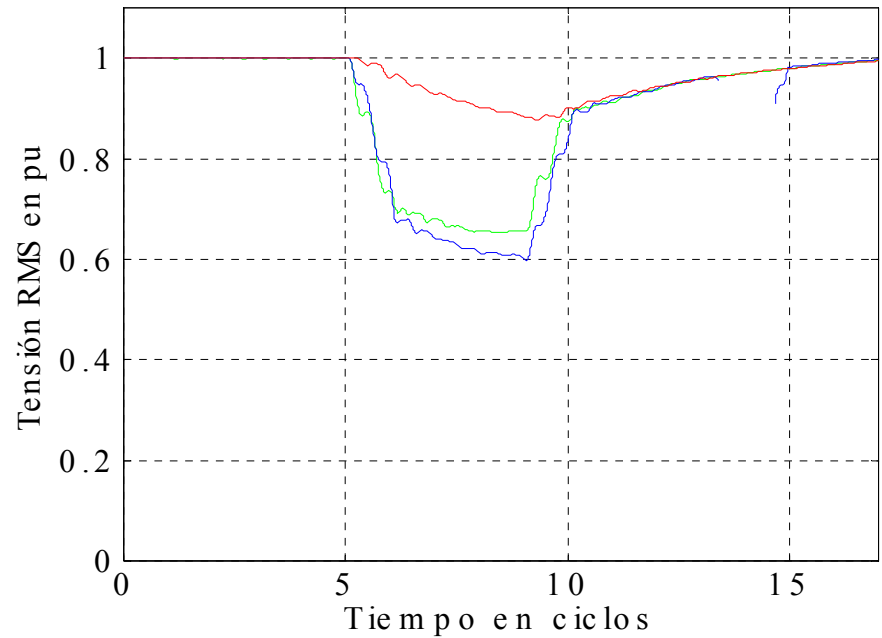
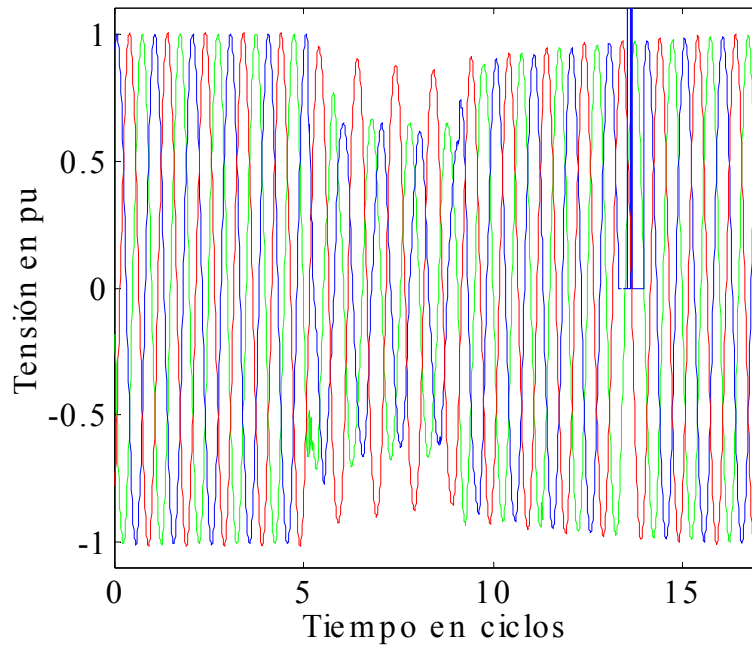


Los huecos de tensión usualmente son caracterizados por su magnitud y duración.  
Esta caracterización es inadecuada para varios eventos

— Fase a

— Fase b

— Fase c



# Causas de los huecos de tensión



## ➤ Fallas en los sistemas de potencia

Descargas atmosféricas, cortocircuitos, contaminación de aisladores, contacto de animales o árboles, accidentes.

Las fallas más comunes son las monofásicas (l-g)

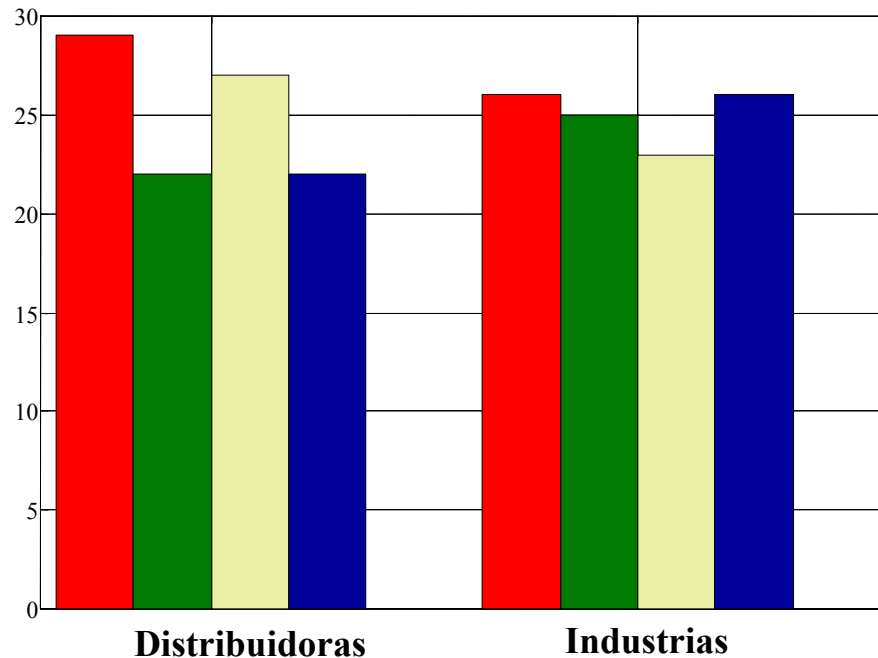
Las fallas más severas las trifásicas (l-l-l)

## ➤ Arranque de grandes motores de inducción

## ➤ Cambios de carga



# Causas de los huecos de tensión



- Fallas I-g en alimentadores adyacentes
- Fallas I-I-I en alimentadores adyacentes
- Arranque de motores
- Cambios de carga



# Causas de los huecos de tensión

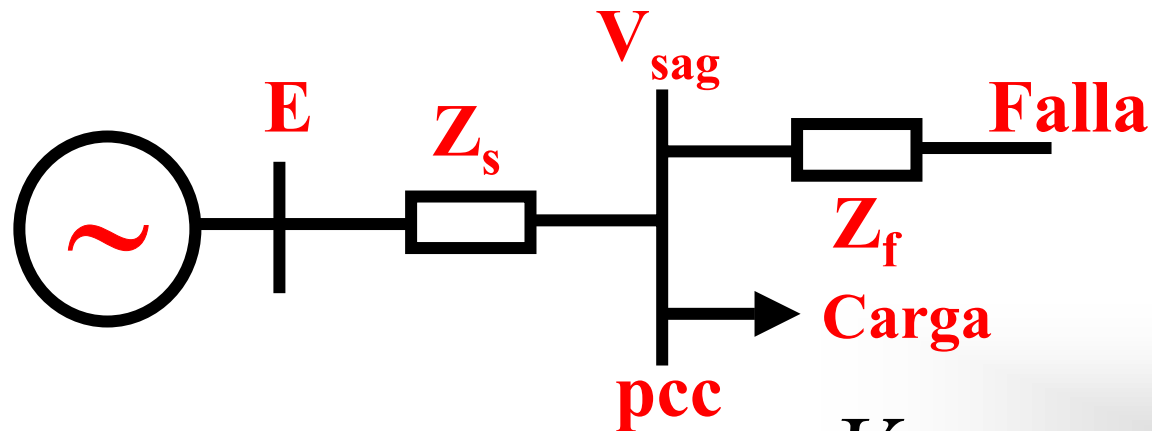


- La severidad de los huecos de tensión dependen de:
  - ✓ La puesta a tierra del sistema
  - ✓ La impedancia y localización de la falla
  - ✓ Las conexiones de los transformadores
  - ✓ La forma de actuación de las protecciones
  - ✓ La conexión de la carga





# Huecos de tensión debidos a fallas: tensión del hueco en un sistema radial



$$V_{sag} = \frac{Z_f}{Z_s + Z_f} E$$

**pcc:** Punto de acoplamiento común.

**$Z_s$ :** Impedancia de la fuente en el punto de acoplamiento común.

**$Z_f$ :** Impedancia entre la falla y el punto de acoplamiento.

# Huecos de tensión debidos a fallas : tensión del hueco en un sistema radial



**Influencia de la distancia de la carga a la falla y de la sección transversal de los conductores:**

$$Vsag_{p.u.} = \frac{zL}{Z_s + zL} \quad z = r + j\omega l$$

Sección transversal (mm <sup>2</sup> )	Impedancia (Ω/km)	
	Líneas aéreas	Cables subterráneos
50	0,363 + j0,351	0,492 + j 0,116
150	0,117 + j0,315	0,159 + j0,097
300	0,061 + j0,298	0,079 + j0,087

# Huecos de tensión debidos a fallas: tensión del hueco en un sistema radial



## Influencia del nivel de falla:

$$S_{FLT} = \frac{V_n^2}{Z_S + Z_f} \quad S_{pcc} = \frac{V_n^2}{Z_S} \quad Vsag_{p.u.} = 1 - \frac{S_{FLT}}{S_{pcc}}$$

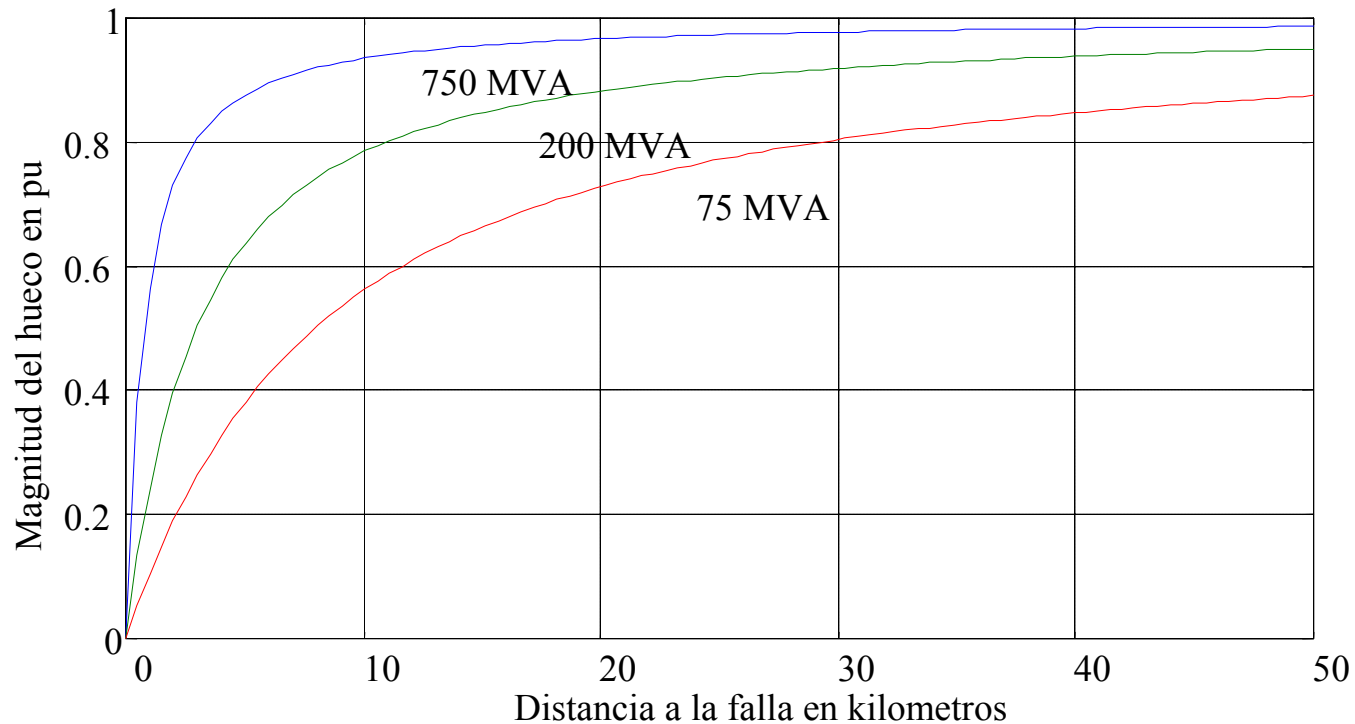
Nivel de Tensión	Nivel de Falla
400 V	20 MVA
11 kV	200 MVA
33 kV	900 MVA
132 kV	3000 MVA
400 kV	17000 MVA

Punto de falla	Punto de acoplamiento común			
	11kV	33kV	132kV	400kV
400V	90%	98%	99%	100%
11kV	0	78%	93%	99%
33kV	0	0	70%	95%
132kV	0	0	0	82%

# Huecos de tensión debidos a fallas: tensión del hueco en un sistema radial



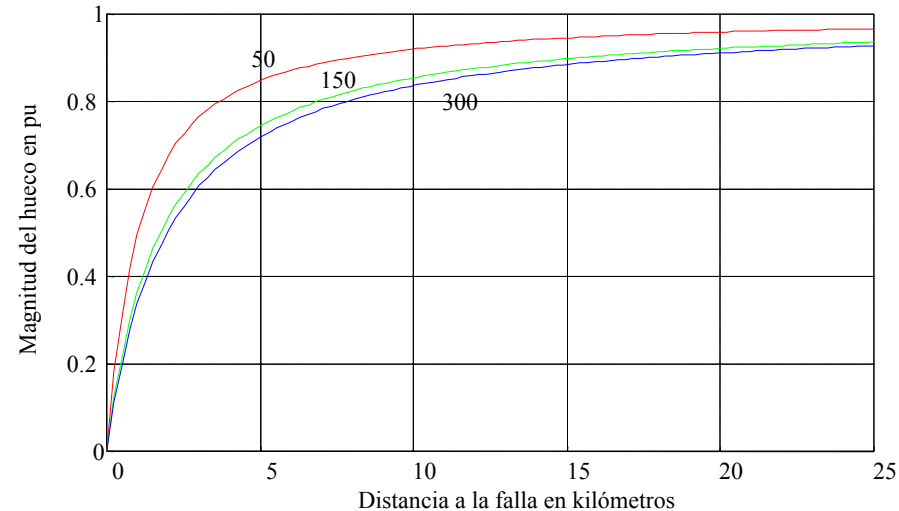
**Magnitud del hueco de tensión en función de la distancia para una línea aérea de 11 kV y  $S = 150 \text{ mm}^2$**



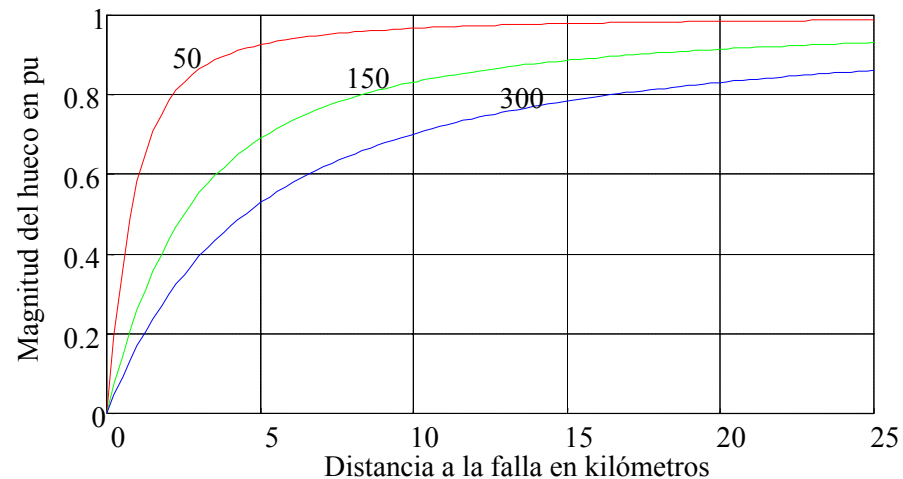
# Huecos de tensión debidos a fallas: tensión del hueco en un sistema radial



**Magnitud del hueco de tensión en función de la distancia para una línea aérea de 11 kV y diferentes secciones transversales**



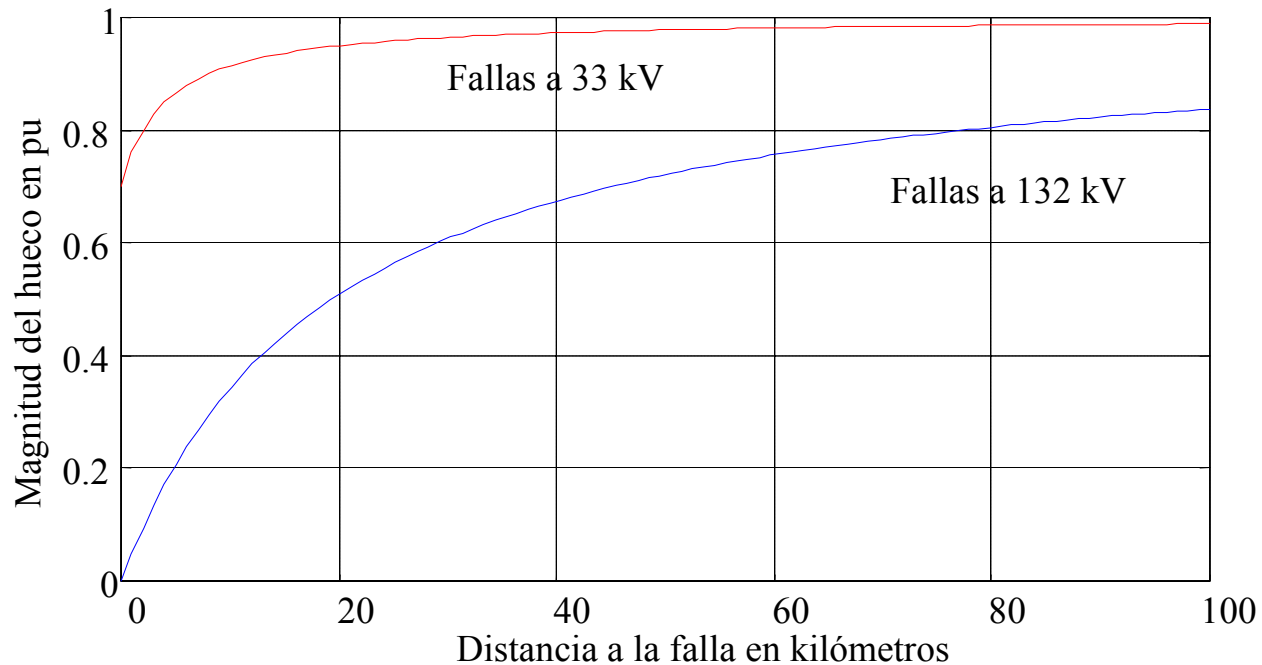
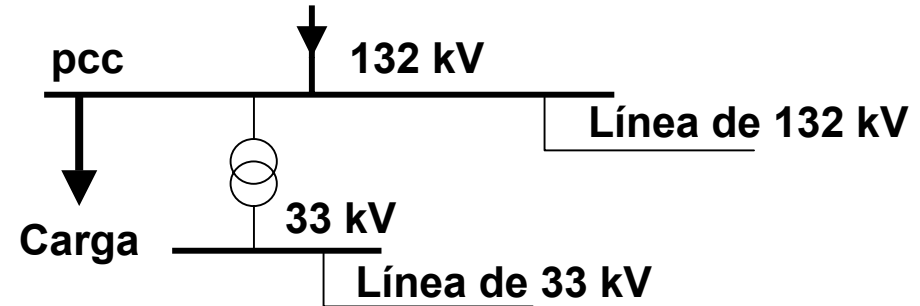
**Magnitud del hueco de tensión en función de la distancia para cable subterráneo de 11 kV y diferentes secciones transversales**



# Huecos de tensión debidos a fallas: tensión del hueco en un sistema radial



**Magnitud del hueco de tensión en función de la distancia para dos líneas aéreas. Efecto del transformador**



# Huecos de tensión debidos a fallas: tensión del hueco en sistemas no radiales



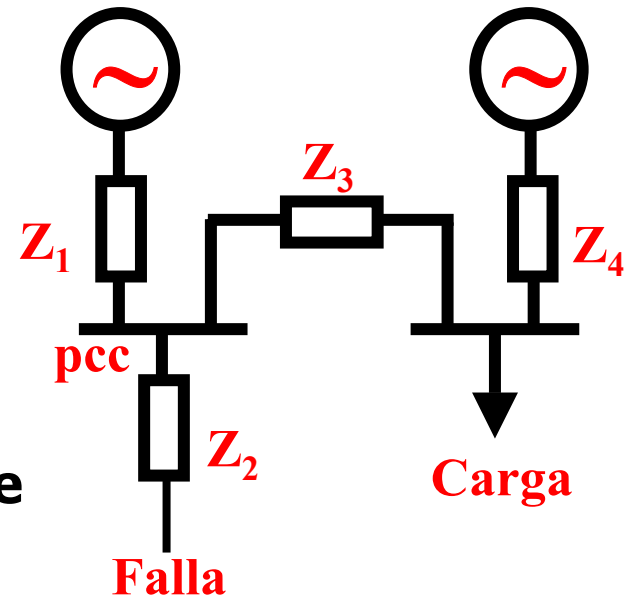
## Generación local

**$Z_1$ :** Impedancia de la fuente en el pcc

**$Z_2$ :** Impedancia entre la falla y el pcc

**$Z_3$ :** Impedancia entre la barra del generador y la del pcc

**$Z_4$ :** Impedancia del generador durante la falla

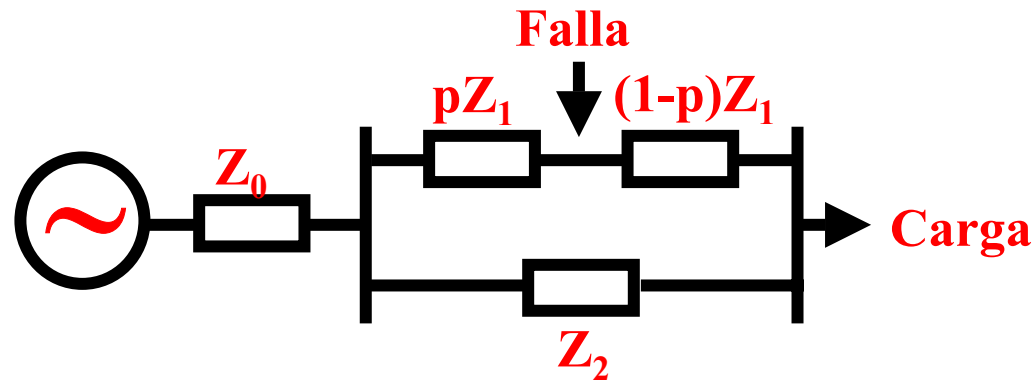


$$(1 - V_{sag}) = \frac{Z_4}{Z_3 + Z_4} (1 - V_{pcc})$$

# Huecos de tensión debidos a fallas: tensión del hueco en sistemas no radiales



## Lazos de subtransmisión



**$Z_0$ :** Impedancia de la fuente en la barra donde se alimenta el lazo

**$p$ :** Posición de la falla en la rama fallada

**$Z_2$ :** Impedancia en la rama no fallada

**$Z_1$ :** Impedancia de la rama fallada

$$Vsag = \frac{p(1-p)Z_1^2}{Z_0(Z_1 + Z_2) + pZ_1Z_2 + p(1-p)Z_1^2}$$

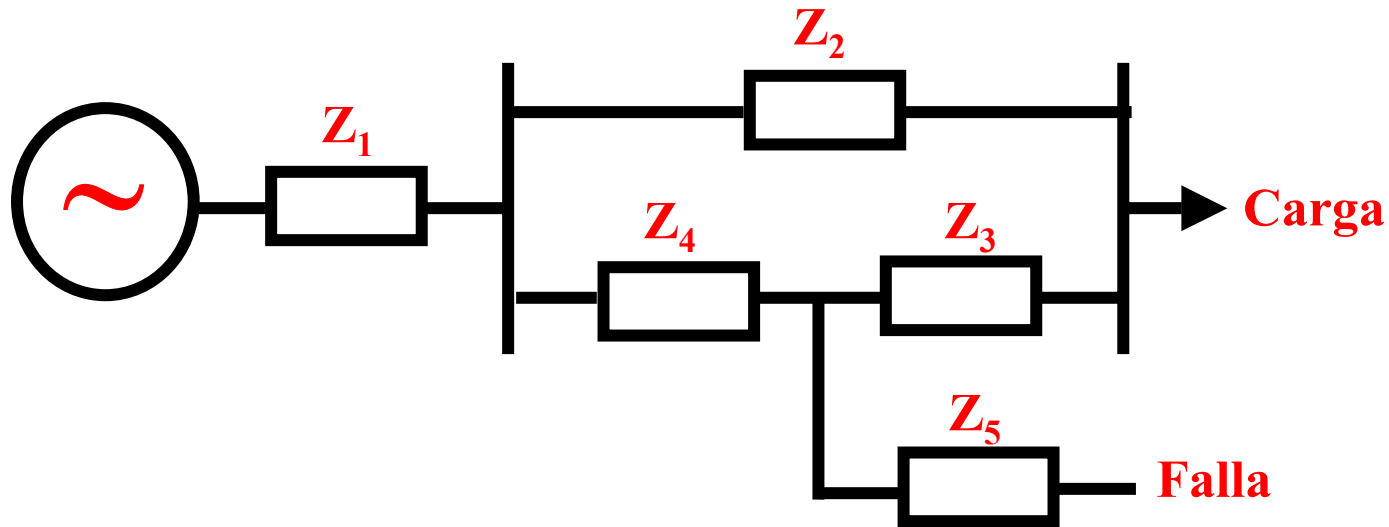






# Huecos de tensión debidos a fallas: tensión del hueco en sistemas no radiales

## Ramificaciones desde lazos



$$V_{sag} = \frac{Z_5 Z_2 + Z_5 Z_3 + Z_5 Z_4 + Z_4 Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_1 Z_4 + Z_5 Z_2 + Z_5 Z_3 + Z_5 Z_4 + Z_4 Z_2 + Z_4 Z_3}$$

# Huecos de tensión debidos a fallas: tensión del hueco en sistemas mallados



**¡ Es complicado obtener modelos equivalentes !**  
**Se realiza un análisis recursivo:**

$$V_k = V_k^{(0)} + \Delta V_k$$

$V_k$ : Tensión en la barra k durante la falla

$$\Delta V_k = Z_{kf} I_f$$

$V_k^{(0)}$ : Tensión en la barra k antes de la falla

$$I_f = - \frac{V_f^{(0)}}{Z_{ff}}$$

$\Delta V_k$ : Cambio en la tensión en la barra k debido a la falla

$$V_k = V_k^{(0)} - \frac{Z_{kf}}{Z_{ff}} V_f^{(0)} \quad \Rightarrow \quad V_k = 1 - \frac{Z_{kf}}{Z_{ff}}$$

# Huecos de tensión debidos a fallas: duración del hueco



## ➤ Tiempos de respuesta de los dispositivos de protección:

- ✓ Fusibles limitadores de corriente: menos de un ciclo
- ✓ Fusibles de expulsión: 10-100 ms
- ✓ Relé de distancia rápido: 50-100 ms
- ✓ Relé de distancia en zona 1: 100-200 ms
- ✓ Relé de distancia en zona 2: 200-500 ms
- ✓ Relé diferencial: 100-300 ms
- ✓ Relé de sobrecorriente: 200-2000 ms



# Huecos de tensión debidos a fallas: duración del hueco

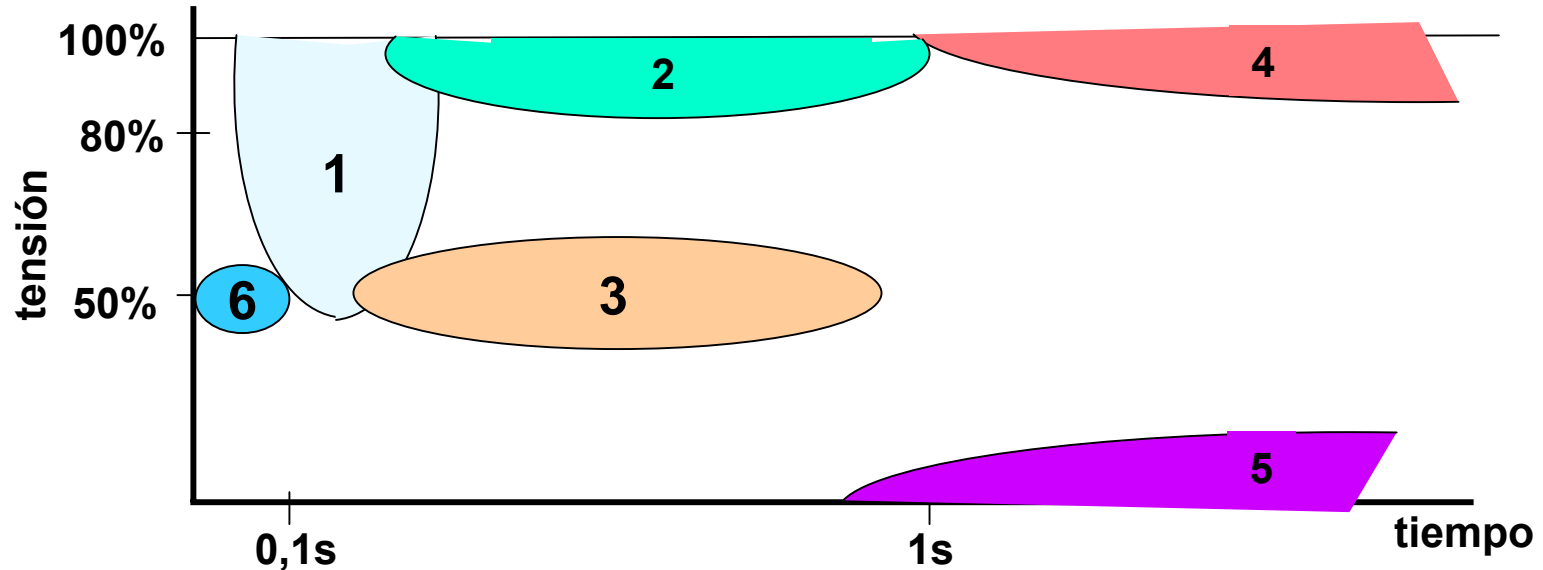


Tiempos típicos de respuesta de los dispositivos de protección a diferentes niveles de tensión en USA:

Nivel de tensión (kV)	Mejor caso (ms)	Caso típico (ms)	Peor caso (ms)
525	33	50	83
345	50	67	100
230	50	83	133
115	83	83	167
69	50	83	167
34,5	100	2 000	3 000
12,47	100	2 000	3 000



# Huecos de tensión debidos a fallas: duración del hueco

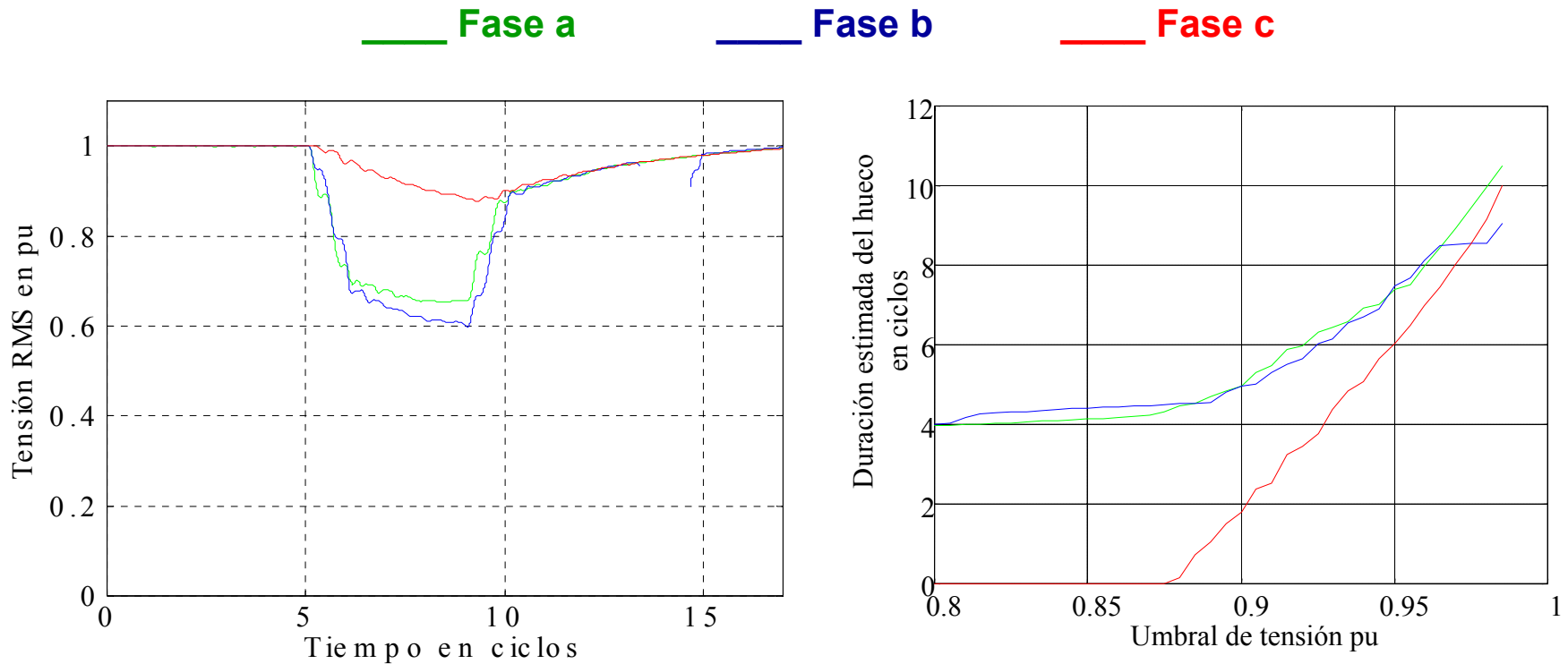


- ① Fallas en el sistema de transmisión
- ② Fallas en un sistema de distribución remoto
- ③ Fallas en un sistema de distribución local
- ④ Arranque de motores grandes
- ⑤ Interrupciones cortas
- ⑥ Fusibles

# Huecos de tensión debidos a fallas: duración del hueco



## Estimación de la duración del hueco en función de un umbral de tensión



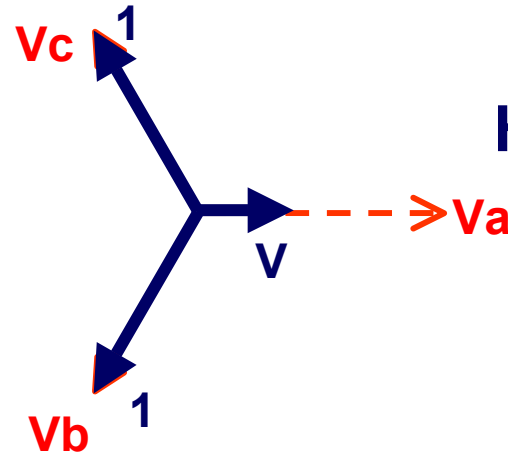
# Huecos de tensión debidos a fallas: desbalance de sistemas trifásicos



## Falla monofásica

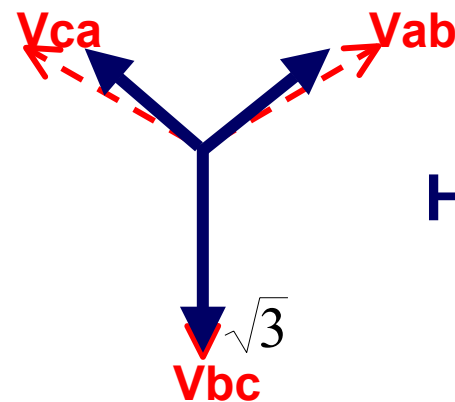
Tensiones de fase:

$$V_a = V$$
$$V_b = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$
$$V_c = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$



Tensiones de línea:

$$V_{ab} = \left(V + \frac{1}{2}\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$
$$V_{bc} = -j\sqrt{3}$$
$$V_{ca} = -\left(V + \frac{1}{2}\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$



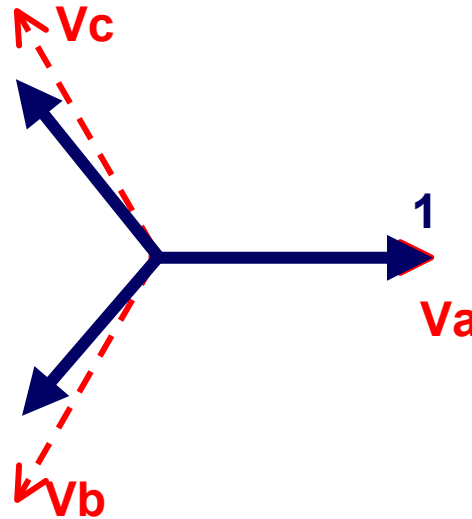
# Huecos de tensión debidos a fallas: desbalance de sistemas trifásicos



## Falla fase a fase

Tensiones de fase:

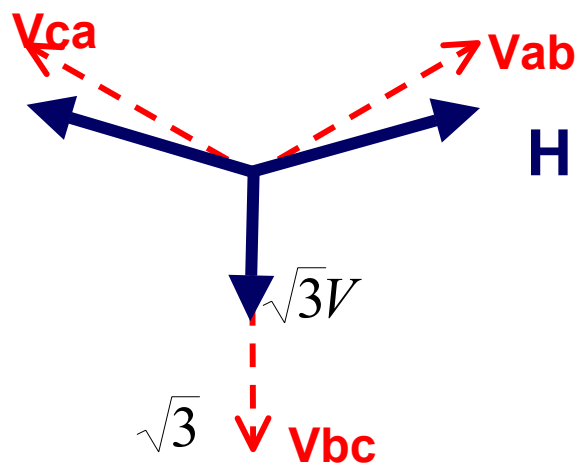
$$V_a = 1$$
$$V_b = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$
$$V_c = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$



Hueco tipo C

Tensiones de línea:

$$V_{ab} = \frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$
$$V_{bc} = -j\sqrt{3}V$$
$$V_{ca} = -\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$



Hueco tipo D





# Huecos de tensión debidos a fallas: desbalance de sistemas trifásicos



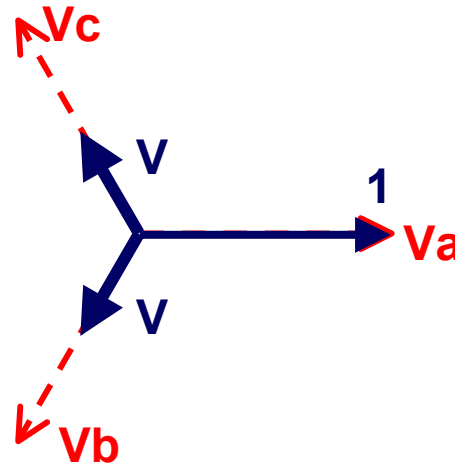
## Falla de dos fases a tierra

Tensiones de fase:

$$V_a = 1$$

$$V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$

$$V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$



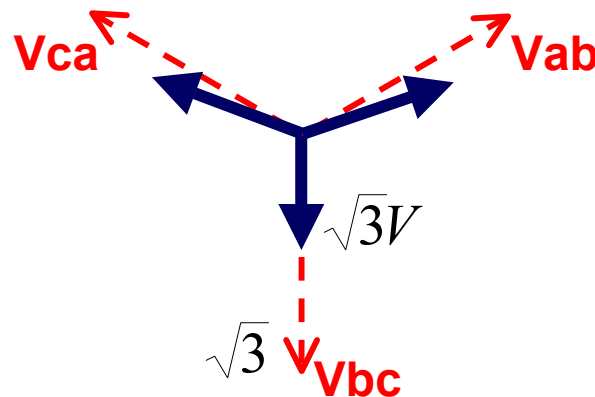
Hueco tipo E

Tensiones de línea:

$$V_{ab} = 1 + \frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$

$$V_{bc} = -j\sqrt{3}V$$

$$V_{ca} = -\left(1 + \frac{1}{2}V\right) + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$



Hueco tipo F

# Huecos de tensión debidos a fallas: desbalance de sistemas trifásicos



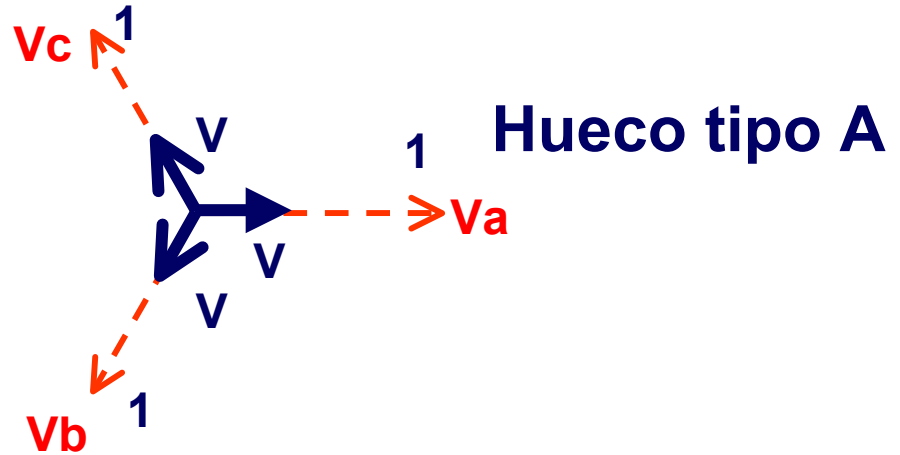
## Falla trifásica

Tensiones de fase:

$$V_a = V$$

$$V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$

$$V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$

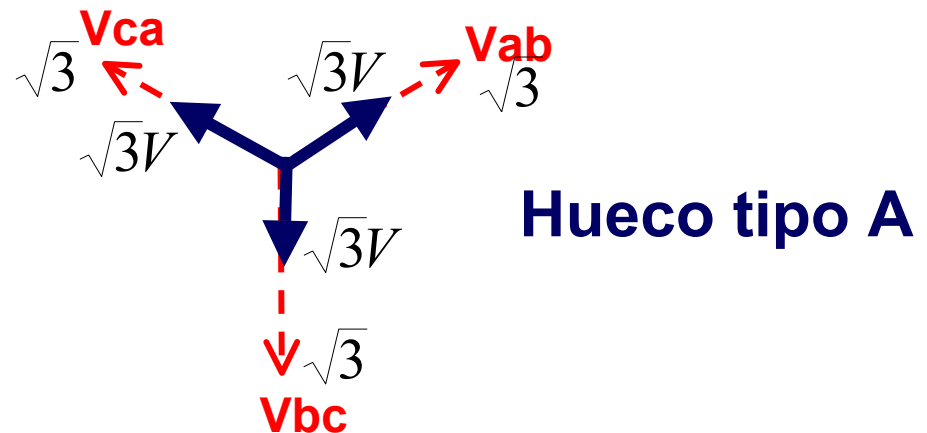


Tensiones de línea:

$$V_{ab} = \frac{3}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$

$$V_{bc} = -j\sqrt{3}V$$

$$V_{ca} = -\frac{3}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$$





**Los huecos de tensión no son tan perjudiciales para la industria como las interrupciones; pero debido a que ocurren con mayor frecuencia, las pérdidas económicas debidas a ellos pueden ser mayores que las causadas por las interrupciones.**



# Efectos de los huecos de tensión: problemas que causan



- **Disparos indeseados de controles sensibles**
- **Apertura de contactos de relés por subtensión**
  - ✓ Contactores y relés electromecánicos: 50% - 70%
  - ✓ Lámparas de descarga: < 80%
  - ✓ Variadores de velocidad de motores: < 90%
  - ✓ PLC: 70% - 80%
  - ✓ Computadores: 50% - 70%
- **Hay una estrecha relación entre la duración del hueco de tensión y la magnitud de tensión a la cual el equipo es sensible**



# Efectos de los huecos de tensión: equipos sensibles a los huecos de tensión



Equipos	$V_{\min}$ (%)	$T_{\max}$ (ms)
Arrancadores de motores	50	40
PLC	50-90	8-20
Inversores para variadores de velocidad	82	1,5
Rectificadores para variadores de velocidad	50-80	2-3
Controladores de procesos	70	< 8
Computadores	70	< 8
Controladores de CC	88	< 8
Contactores	50-60	20-30
Interruptores electromagnéticos	50	10
Relés y arrancadores electromagnéticos	50-60	15-40
Carga sensible alimentada con transformador ferorresonante	50	500
Equipo médico	600	130

# Efectos de los huecos de tensión: equipos susceptibles a los huecos



## Baja potencia

- Computadores
- PLCs
- Controladores de VSD
- Controladores de tensión
- IT
- Controladores de robótica

## Alta potencia

- VSDs
- Motores
- Actuadores de tensión
- Iluminación
- Equipo de robótica
- Contactores

## Duraciones típicas de los huecos de tensión

### Tensión eficaz

41%

22%

20%

7%

### Duración

2 – 10 ciclos

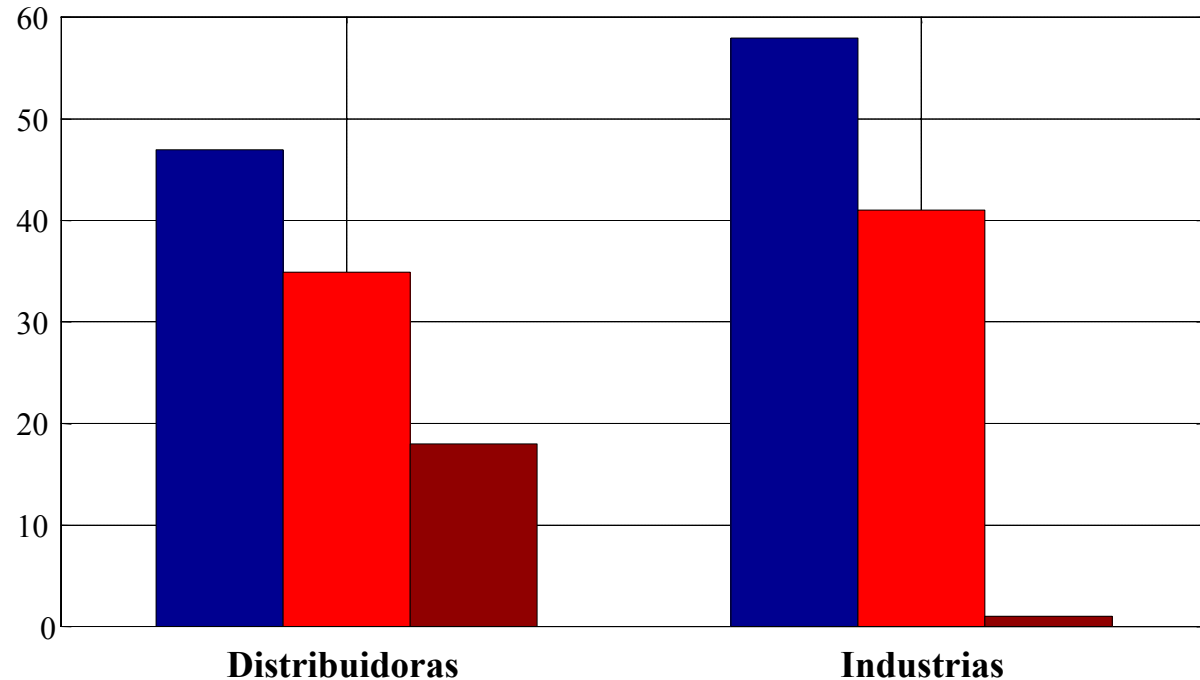
10 ciclos – 1 s

1 – 10 s

10 – 60 s

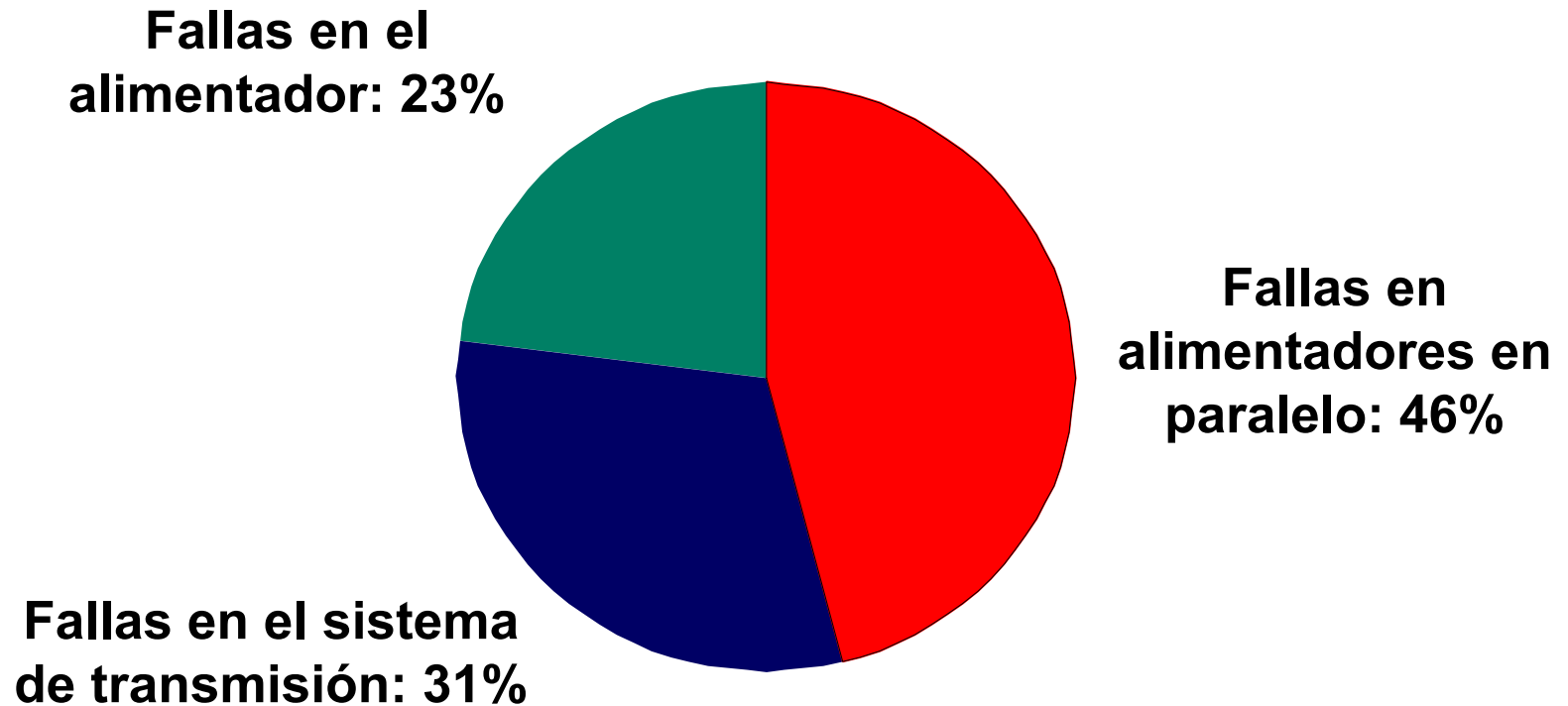


# Efectos de los huecos de tensión: problemas causados por los huecos



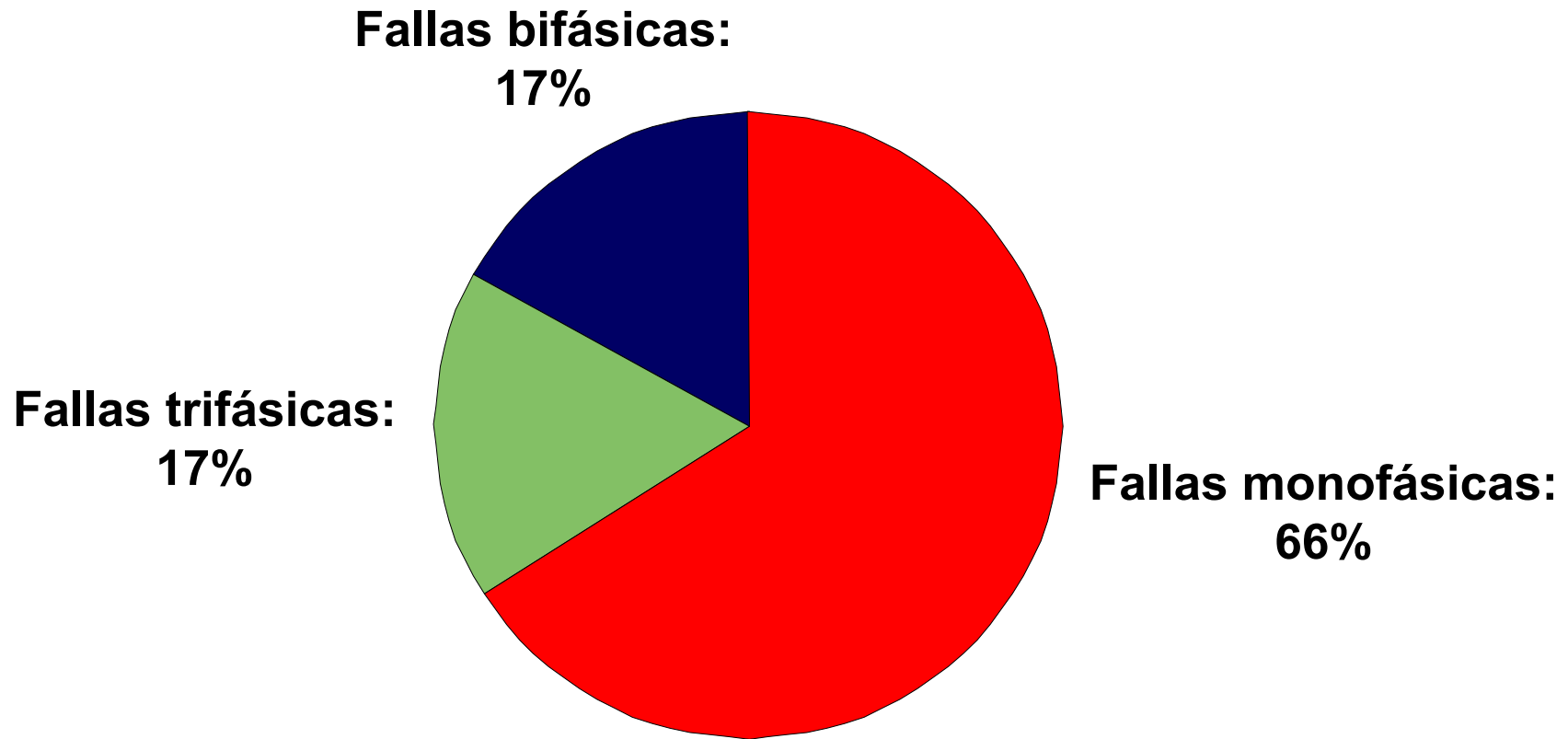
- Disparos indeseados de controles sensibles
- Apertura de contactos de relés
- Otros

# Efectos de los huecos de tensión: quien genera los huecos en una industria

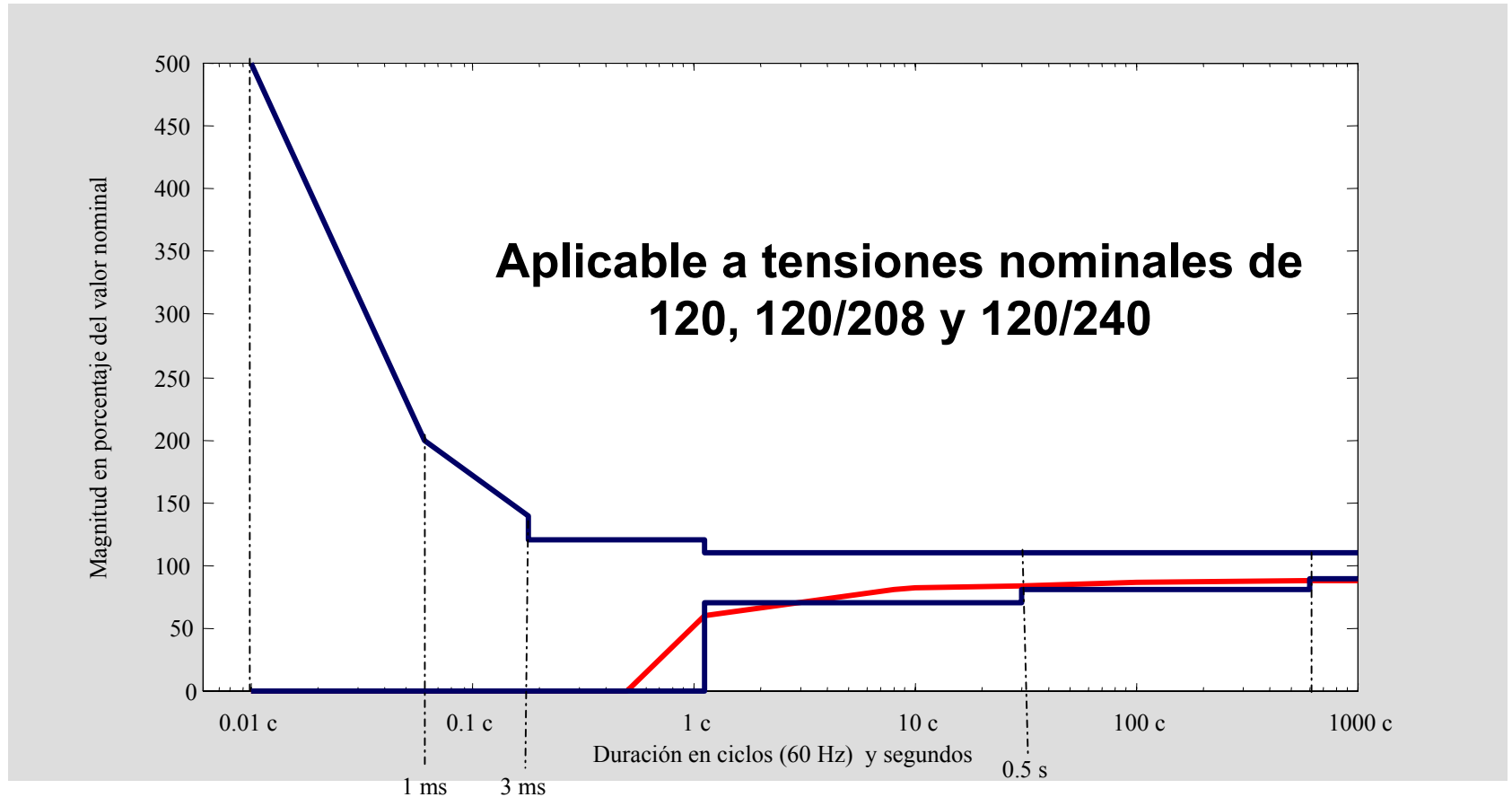




# Efectos de los huecos de tensión: tipos de fallas que mas se presentan (EPRI)



# Efectos de los huecos de tensión: curvas CBEMA e ITIC

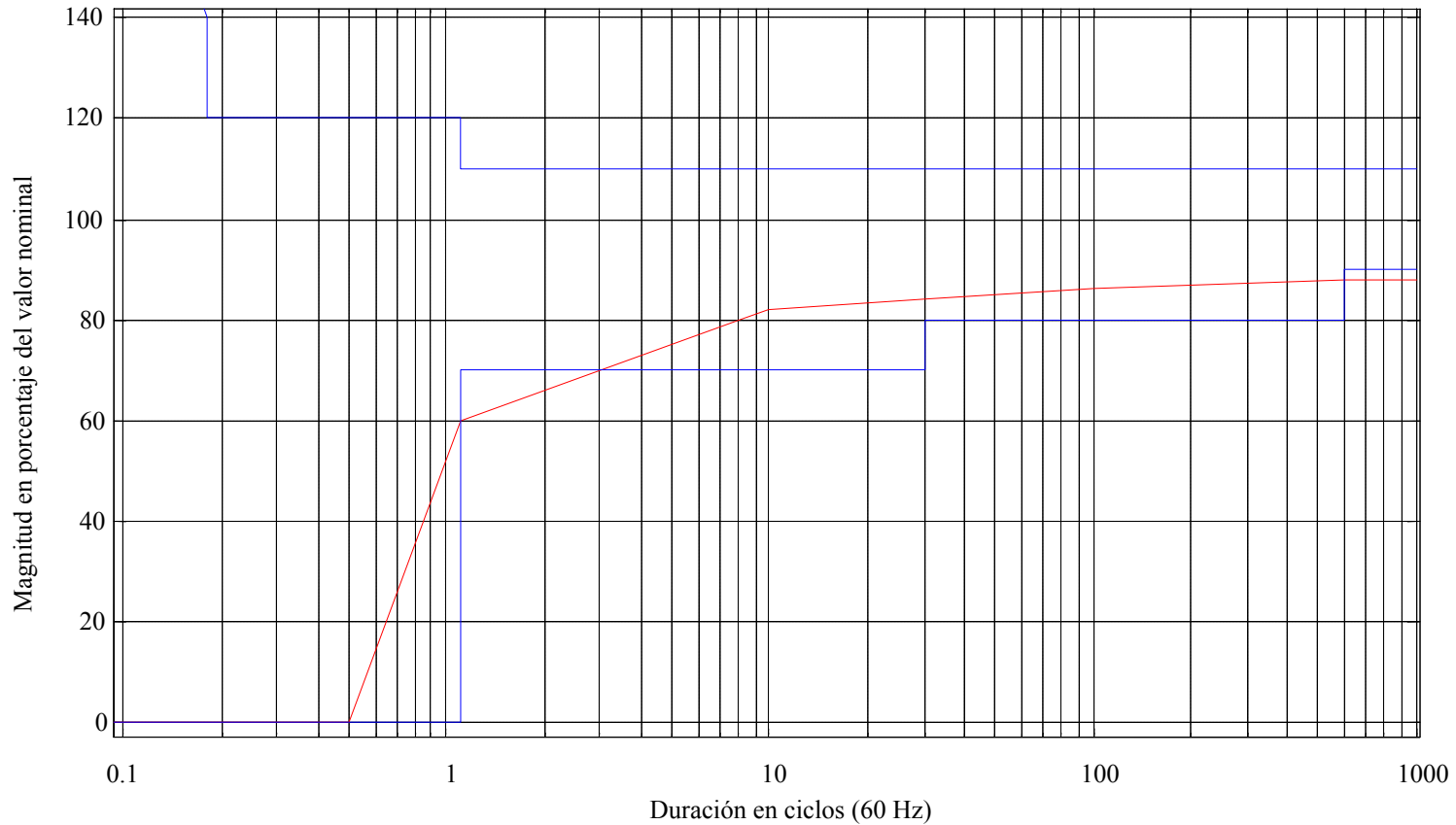


— Curva CBEMA (1987)

- - Curva ITIC (1996)



# Efectos de los huecos de tensión: curvas CBEMA e ITIC

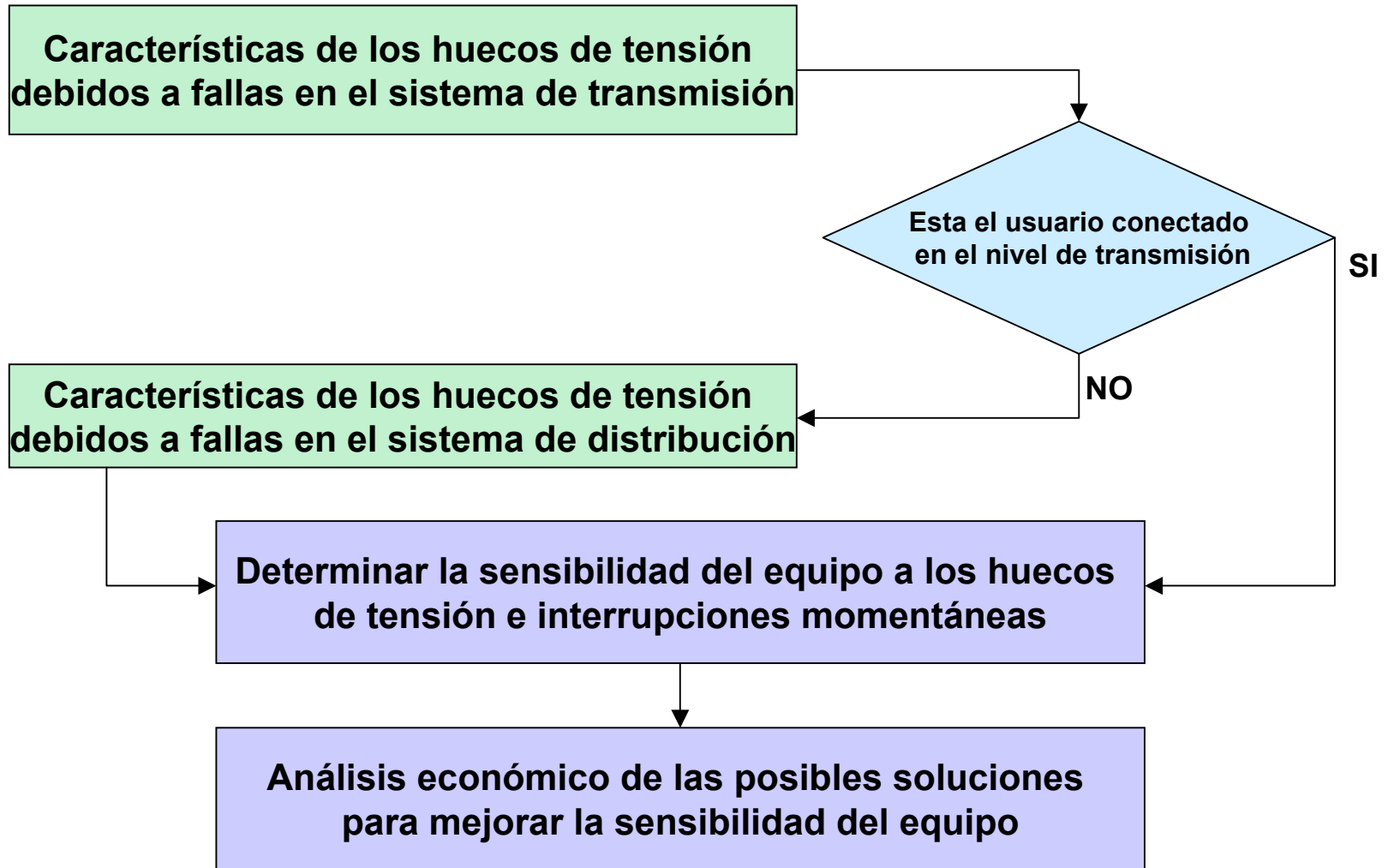


— Curva CBEMA (1987)

- - Curva ITIC (1996)



# Efectos de los huecos de tensión: diagrama de flujo para su análisis



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices individuales



**Pérdida de tensión:**

$$L_V = \int_0^{T_H} \{1 - V_{p.u.}(t)\} dt = \int_0^{T_H} \left\{1 - \frac{V(t)}{V_{nom}}\right\} dt$$

**Pérdida de energía:**

$$L_E = \int_0^{T_H} \{1 - V_{p.u.}^2(t)\} dt = \int_0^{T_H} \left\{1 - \left(\frac{V(t)}{V_{nom}}\right)^2\right\} dt$$

**Energía del hueco de tensión:**

$$E_{VS} = \left\{1 - \left(\frac{V}{V_{nom}}\right)\right\}^2 T_H$$

**Energía del hueco de tensión:**

$$E_{VS} = \int_0^{T_H} \left\{1 - \left(\frac{V(t)}{V_{nom}}\right)\right\}^2 dt$$

**Pérdida de energía en un hueco de tensión:**

$$W = \left\{1 - \left(\frac{V}{V_{nom}}\right)\right\}^{3.14} T_H \quad W = \left\{1 - \left(\frac{V_a}{V_{nom}}\right)\right\}^{3.14} T_{Ha} + \left\{1 - \left(\frac{V_b}{V_{nom}}\right)\right\}^{3.14} T_{Hb} + \left\{1 - \left(\frac{V_c}{V_{nom}}\right)\right\}^{3.14} T_{Hc}$$

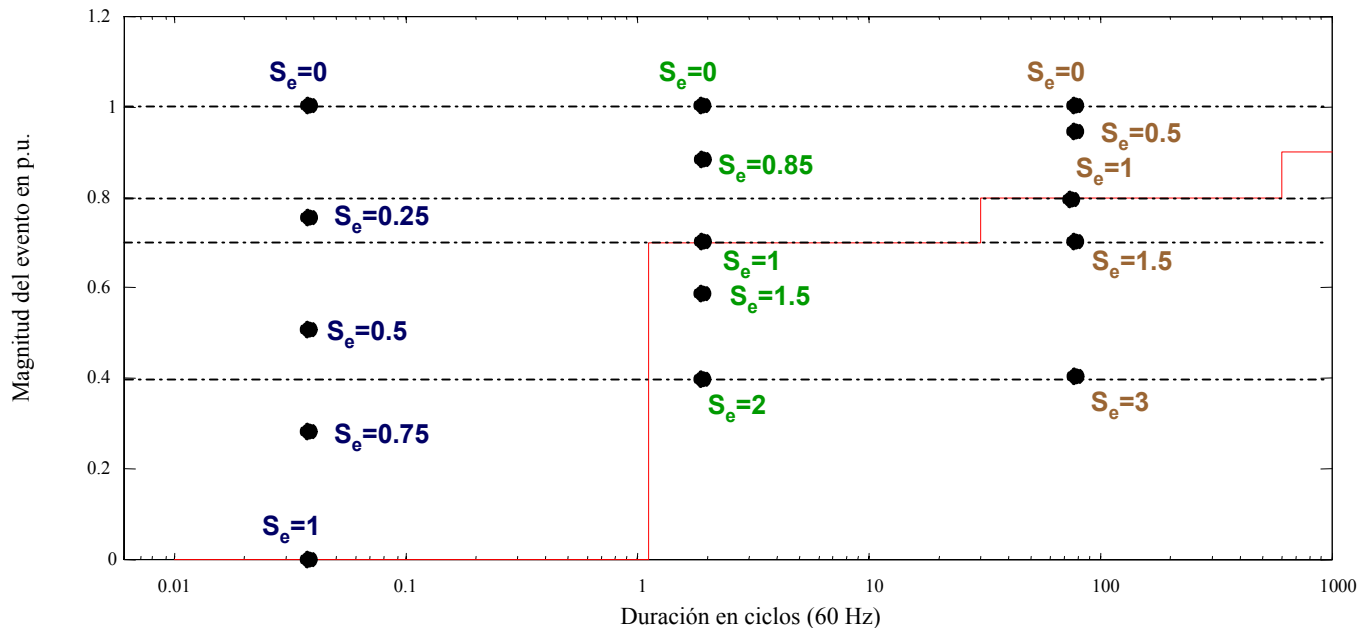


# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices relativos a una curva de referencia



La severidad de un evento es evaluada teniendo en cuenta la magnitud del evento y su duración con respecto a una curva de referencia (CBEMA, ITIC u otra):

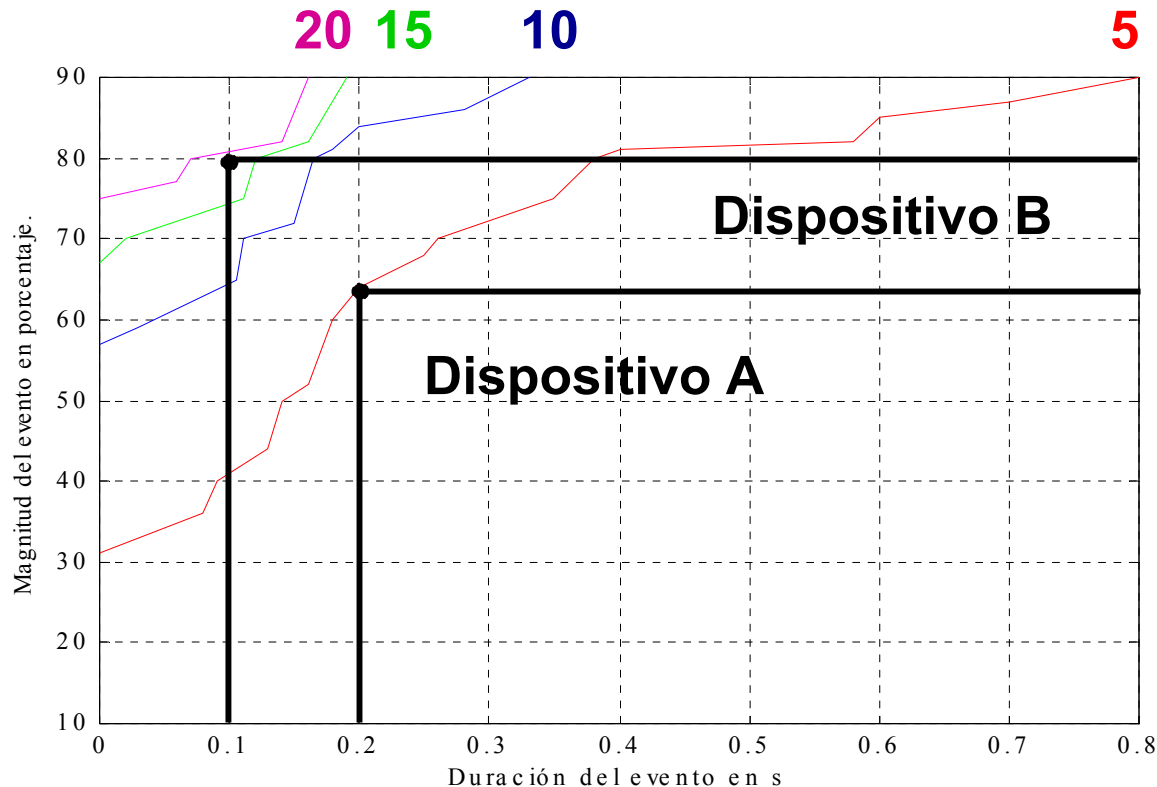
$$S_e = \frac{1 - V}{1 - V_{ref}(d)}$$



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: gráfica de coordinación del hueco de tensión



**IEEE Std 493 y 1346**



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: tabla de magnitud vs duración



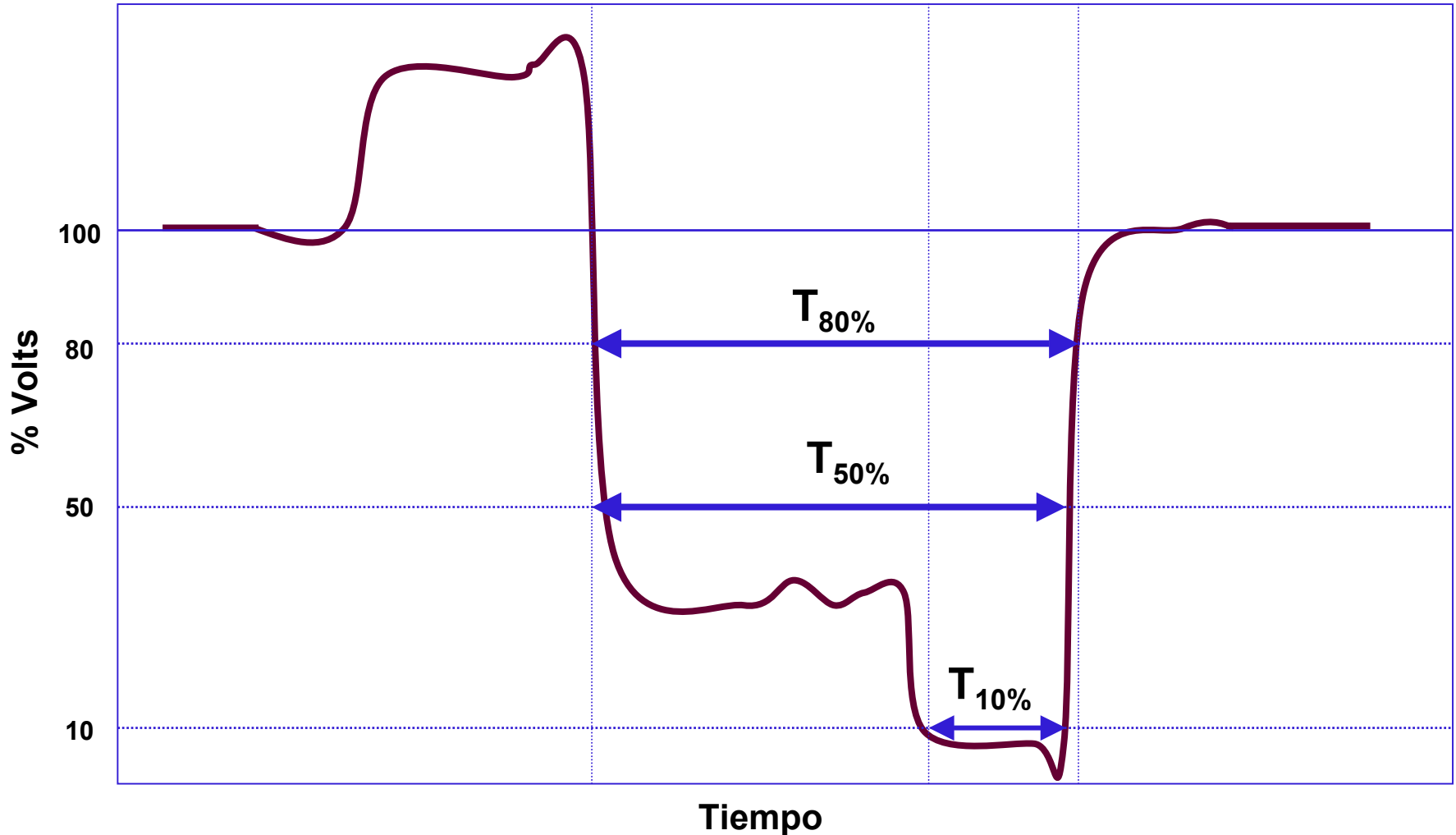
## Datos obtenidos del sistema Noruego

	0.01 s	0.1 s	0.5 s	1 s	3 s	20 s
90%	304	117	36	9	0	0
70%	109	28	0	0	0	0
40%	55	14	0	0	0	0
1%	14	0	0	0	0	0





# Valoración del efecto de los huecos de tensión: huecos no rectangulares



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: clasificación de la perturbaciones (IEEE 1159)



## ➤ **Instantáneas**

1/2 ciclo – 30 ciclos

(8,33 ms – 500 ms)

(10 ms – 600 ms)

## ➤ **Momentáneas**

30 ciclos – 3 s

(500 ms – 3 s)

(600 ms – 3 s)

## ➤ **Temporales**

3 s – 1 min



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices propuestos para clasificar los eventos



## Índices de sitio

### ➤ CEA (Canadian Electrical Association):

Recomienda cuatro índices de sitio diferentes para las magnitudes de los huecos: 85%, 70%, 40% y 1%. La duración del evento la consideran entre 0,5 ciclos y 3 s.

### ➤ ESKOM (Sur África):

Define cinco grupos de huecos de tensión:

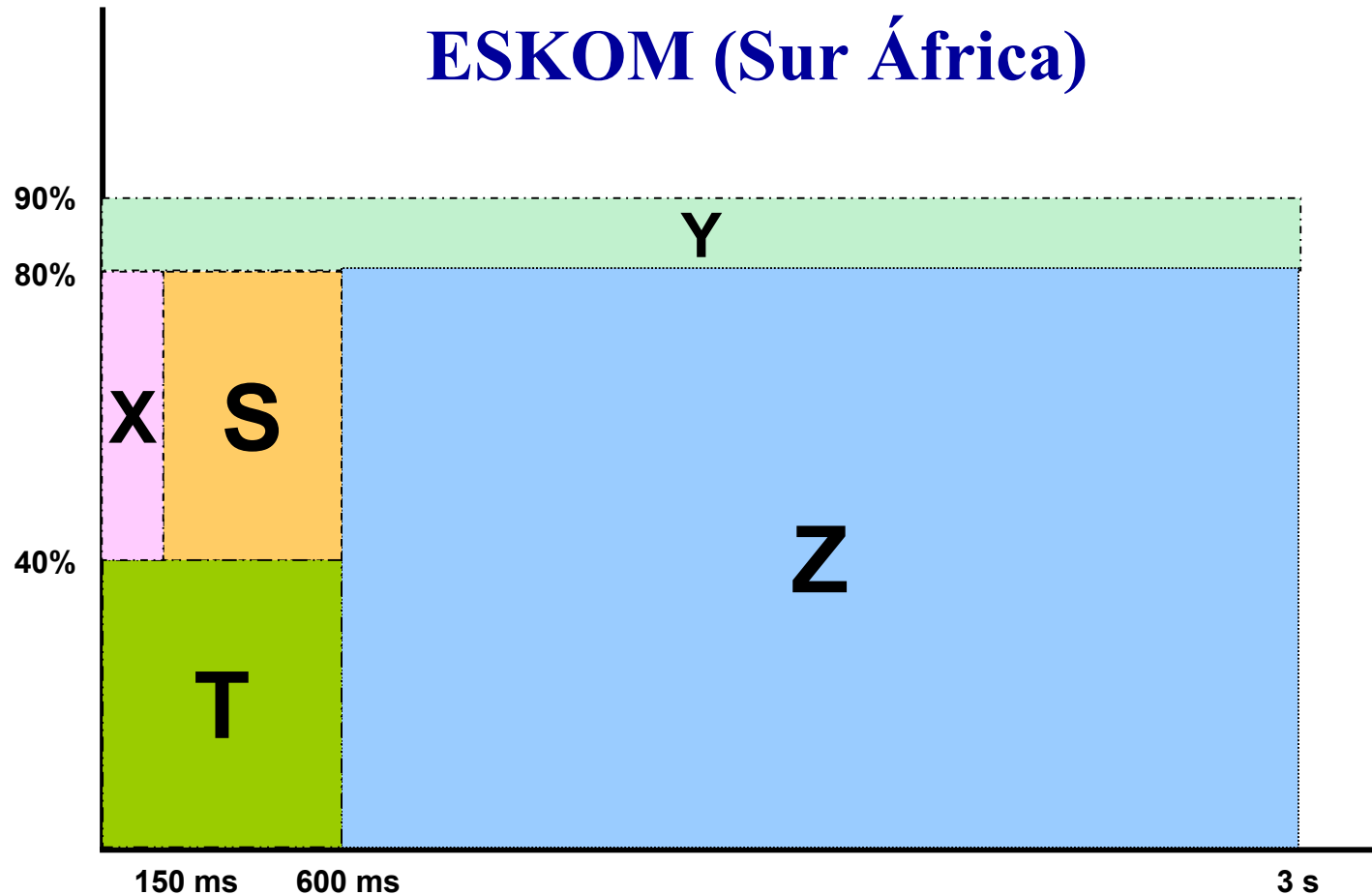
Clase	Magnitud (%)	Duración (ms)
Y	80 – 90	20 – 3000
X	40 – 80	20 – 150
S	40 – 80	150 – 600
T	0 – 40	20 – 600
Z	0 – 80	600 - 3000



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices propuestos para clasificar los eventos



## Índices de sitio



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices propuestos para clasificar los eventos



## Índices de sitio

### EPRI (The Electric Power Research Institute)

Define los índices de sitio teniendo en cuenta cinco intervalos de magnitud y tres rangos de duración.

Los umbrales de tensión utilizados son: 90%, 80%, 70%, 50% y 10%

Los índices son:

$RF_X$ : Frecuencia de variación del valor eficaz para un umbral X, de duración entre 0,5 ciclos y 60 s.

$IRF_X$ : Frecuencia de variación del valor eficaz instantáneamente para un umbral X, de duración entre 0,5 y 30 ciclos

$MRF_X$ : Frecuencia de variación del valor eficaz momentáneamente para un umbral X, de duración entre 30 ciclos y 3 s

$TRF_X$ : Frecuencia de variación del valor eficaz temporalmente para un umbral X, de duración entre 3 y 60 s



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices propuestos para clasificar los eventos



## Índices de sitio

### EPRI (The Electric Power Research Institute)

	0,5 c – 60 s	0,5 c – 30 c	30 c – 3 s	3 s – 60 s
< 90%	RF <sub>90</sub>	IRF <sub>90</sub>	MRF <sub>90</sub>	TRF <sub>90</sub>
< 80%	RF <sub>80</sub>	IRF <sub>80</sub>	MRF <sub>80</sub>	TRF <sub>80</sub>
< 50%	RF <sub>50</sub>	IRF <sub>50</sub>	MRF <sub>50</sub>	TRF <sub>50</sub>
< 10%	RF <sub>10</sub>	MRF <sub>10</sub>	MRF <sub>10</sub>	TRF <sub>10</sub>



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices propuestos para clasificar los eventos



## Índices de sistema

**SARFI<sub>X</sub>**: Representa el promedio de las variaciones medidas del valor eficaz en un período de valoración por usuario.

Los eventos especificados son aquellos para los cuales la magnitud es menor que X para huecos de tensión y mayor que X para elevaciones de tensión

$$SARFI_X = \frac{\sum N_i}{N_T}$$

X: umbral del valor eficaz de la tensión: 140%, 120%, 110%, 90%, 80%, 70%, 50% y 10%

N<sub>i</sub>: Usuarios que están sometidos a huecos o elevaciones de tensión

N<sub>T</sub>: Total de usuarios del sistema



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices propuestos para clasificar los eventos



## Índices de sistema

**SIARFI<sub>X</sub>**: Representa el promedio de las variaciones medidas del valor eficaz en un período de valoración por usuario.

Los eventos especificados son aquellos para los cuales la magnitud es menor que X para huecos de tensión y mayor que X para elevaciones de tensión y su duración esta entre 0,5 y 30 ciclos

$$SIARFI_X = \frac{\sum NI_i}{N_T}$$

X: umbral del valor eficaz de la tensión: 140%, 120%, 110%, 90%, 80%, 70% y 50%

NI<sub>i</sub>: Usuarios que están sometidos a huecos o elevaciones de tensión instantáneas

N<sub>T</sub>: Total de usuarios del sistema





# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices propuestos para clasificar los eventos



## Índices de sistema

**SMARFI<sub>X</sub>**: Representa el promedio de las variaciones medidas del valor eficaz en un período de valoración por usuario.

Los eventos especificados son aquellos para los cuales la magnitud es menor que X para huecos de tensión y mayor que X para elevaciones de tensión y su duración esta entre 30 ciclos y 3s

$$SMARFI_X = \frac{\sum NM_i}{N_T}$$

X: umbral del valor eficaz de la tensión: 140%, 120%, 110%, 90%, 80%, 70%, 50% y 10%

NM<sub>i</sub>: Usuarios que están sometidos a huecos o elevaciones de tensión momentáneas

N<sub>T</sub>: Total de usuarios del sistema



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices propuestos para clasificar los eventos



## Índices de sistema

**STARFI<sub>X</sub>**: Representa el promedio de las variaciones medidas del valor eficaz en un período de valoración por usuario.

Los eventos especificados son aquellos para los cuales la magnitud es menor que X para huecos de tensión y mayor que X para elevaciones de tensión y su duración esta entre 3 y 60 s

$$STARFI_X = \frac{\sum NT_i}{N_T}$$

X: umbral del valor eficaz de la tensión: 140%, 120%, 110%, 90%, 80%, 70%, 50% y 10%

NT<sub>i</sub>: Usuarios que están sometidos a huecos o elevaciones de tensión temporales

N<sub>T</sub>: Total de usuarios del sistema



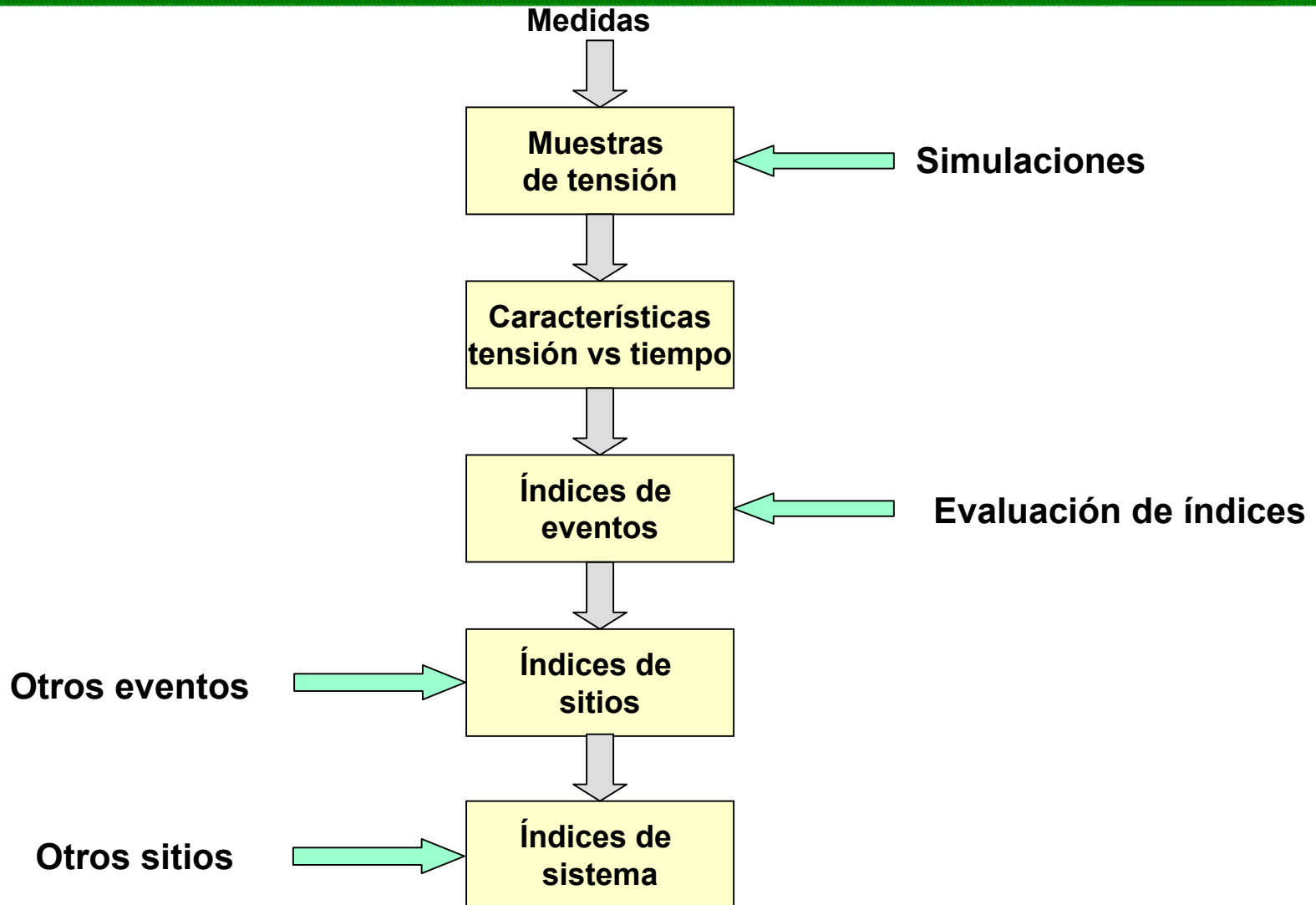
# Valoración del efecto de los huecos de tensión: índices propuestos para clasificar los eventos



## EPRI (The Electric Power Research Institute)

	0,5 c – 60 s	0,5 c – 30 c	30 c – 3 s	3 s – 60 s
< 90%	SARFI <sub>90</sub>	SIARFI <sub>90</sub>	SMARFI <sub>90</sub>	STARFI <sub>90</sub>
< 80%	SARFI <sub>80</sub>	SIARFI <sub>80</sub>	SMARFI <sub>80</sub>	STARFI <sub>80</sub>
< 70%	SARFI <sub>70</sub>	SIARFI <sub>70</sub>	SMARFI <sub>70</sub>	STARFI <sub>70</sub>
< 50%	SARFI <sub>50</sub>	SIARFI <sub>50</sub>	SMARFI <sub>50</sub>	STARFI <sub>50</sub>
< 10%	SARFI <sub>10</sub>	SMARFI <sub>10</sub>	SMARFI <sub>10</sub>	STARFI <sub>10</sub>

# Valoración del efecto de los huecos de tensión: procedimiento para obtener los índices



# Valoración del efecto de los huecos de tensión: clasificación de sistemas según sus índices



**Categoría 1: los mejores sistemas, con poca exposición a las fallas**

$$\text{SARFI}_{70} < 10$$

$$\text{SARFI}_{90} < 30$$

**Categoría 2: sistemas típicos (promedio)**

$$10 < \text{SARFI}_{70} < 30$$

$$30 < \text{SARFI}_{90} < 100$$

**Categoría 3: sistemas rurales o muy expuestos a las fallas**

$$30 < \text{SARFI}_{70}$$

$$100 < \text{SARFI}_{90}$$





# Conclusiones

---

- **La principal causa de los huecos de tensión son las fallas en los sistemas de potencia (especialmente las monofásicas)**
- **La severidad de un hueco de tensión depende de varios parámetros del sistema eléctrico**
- **El principal efecto de los huecos de tensión es la salida de sistemas de control de procesos por ordenes erróneas, así como la apertura de relés que hacen que se detengan procesos industriales**
- **La interrupción de estos procesos causan grandes pérdidas de tipo económico**









# Conclusiones

- **Las estrategias de protección de los sistemas de potencia pueden agudizar los problemas debidos a los huecos de tensión**
- **Para valorar los efectos de los huecos de tensión en equipos, industrias y sistemas eléctricos están propuestos diferentes índices**
- **Estos índices son necesarios para normalizar la terminología utilizada el análisis de estos eventos**
- **Los índices individuales son una medida de la compatibilidad entre procesos y distribuidoras**
- **Los índices de sistema deben servir para planificación y mantenimiento de los sistemas eléctricos**





# Bibliografía

-  **“Understanding Power Quality Problems. Voltages Sags and Interruptions”. Math H. J. Bollen. IEEE Press, 2000**
-  **“Voltage Quality Standars”. Jovica V. Milanovic. EES-UETP Course: Voltages Dips- Causes, Effects and Mitigation, June 2001 Barcelona, Spain**
-  **“Voltage Dips – Causes and Consequences”. Jovica V. Milanovic. EES-UETP Course: Voltages Dips- Causes, Effects and Mitigation, June 2001 Barcelona, Spain**
-  **“Voltage Dip Indices”. Nick Abi-Samra. EES-UETP Course: Voltages Dips- Causes, Effects and Mitigation, June 2001 Barcelona, Spain**







**GRUPO**



**Apartado Aéreo 678**

**Tel. : (57 7) 6342085/6359621**

**Fax : (57 7) 6359622**

**gilberto@uis.edu.co jgplata@uis.edu.co**

**gaby@uis.edu.co jfpetituis.edu.co**

**arjaus@uis.edu.co**



**[www.ninosdepapel.org](http://www.ninosdepapel.org)**



**Niños de Papel – Colombia:**

**“Organización no gubernamental para el desarrollo que cree que en el mundo existen**

**miles de corazones solidarios para devolver la sonrisa a los niños del mundo.**

**Entrelacemos nuestras manos para formar una sola mano amiga para la Paz”**



**GRACIAS**

