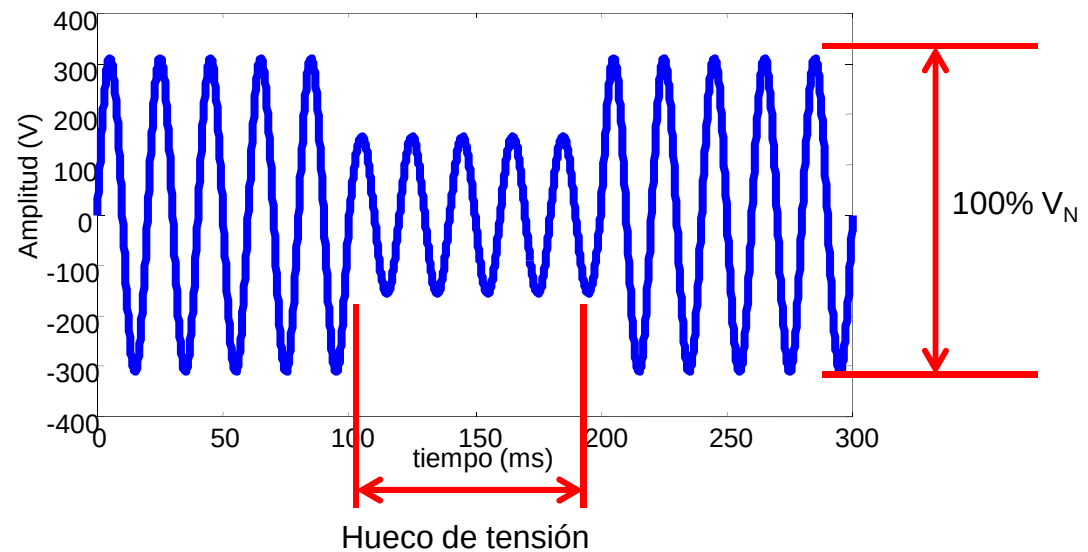
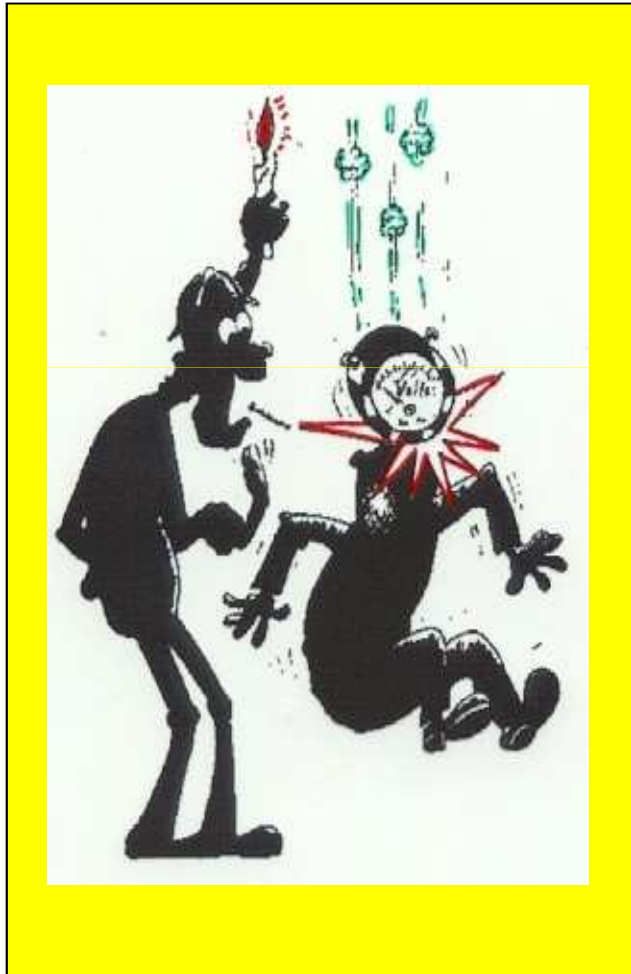


# HUECOS DE TENSIÓN

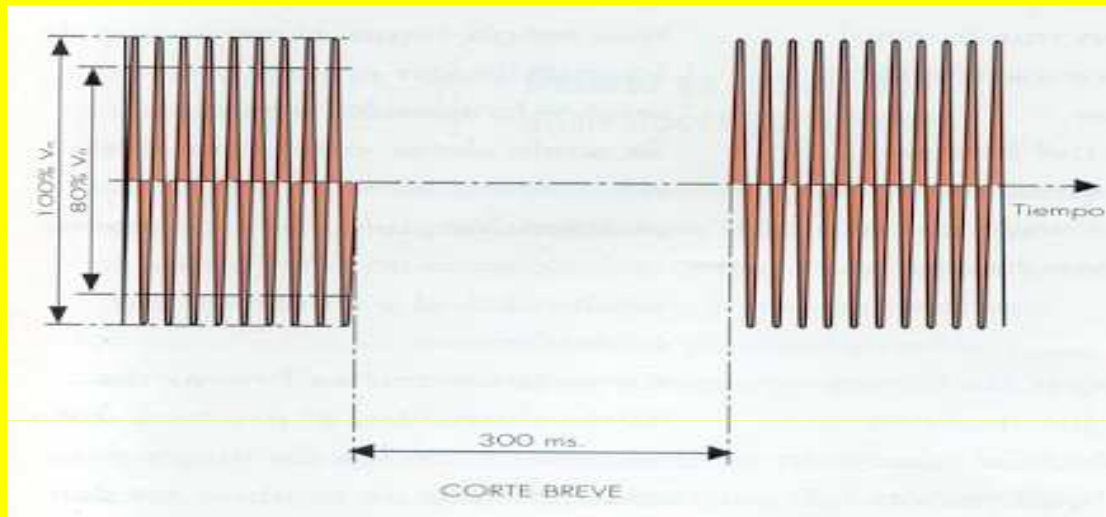


SE DICE QUE HA TENIDO LUGAR UN **HUECO DE TENSIÓN** EN UN PUNTO DE LA RED ELÉCTRICA CUANDO LA TENSIÓN DE UNA O MÁS FASES CAE REPENTINAMENTE POR DEBAJO DE UN LÍMITE ESTABLECIDO SITUADO ENTRE EL 90% Y EL 1% DE  $U_n$  ( $U_c$ ) Y SE RECUPERA DESPUÉS DE UN CORTO PERÍODO DE TIEMPO QUE OSCILA ENTRE MEDIO CICLO (10 ms) Y UN MINUTO

# HUECOS DE TENSIÓN



# INTERRUPCIONES CORTAS



## INTERRUPCIÓN CORTA

ES LA DESAPARICIÓN TOTAL, O CASI, ( $U < 1\% U_c$ ) DE LA TENSIÓN EN UNA, DOS, O LAS TRES FASES POR UN PERÍODO DE TIEMPO SUPERIOR A  $10 \text{ ms}$  E INFERIOR A TRES MINUTOS.

# VALORES DE REFERENCIA

## CLASIFICACIÓN DE LOS HUECOS DE Tensión

### SIMÉTRICOS

Cuando el valor eficaz de la tensión en todas las fases disminuye en la misma proporción, y el desfase entre ellas se mantiene en  $120^\circ$

Los cortocircuitos trifásicos, el arranque de un motor trifásico de cierta potencia o las sobrecargas producidas por cargas trifásicas, originan huecos simétricos

### ASIMÉTRICOS

Un hueco de tensión es asimétrico cuando la disminución del valor eficaz de la tensión no es igual para las tres fases y/o el desfase entre las mismas no es de  $120^\circ$

Las faltas fase-tierra, fase-fase y fase-fase-tierra, la conexión de transformadores de potencia, o las sobrecargas por cargas monofásicas o no simétricas, originan huecos asimétricos.

# VALORES DE REFERENCIA

## CLASIFICACIÓN DE LOS HUECOS DE Tensión

**PROFUNDIDAD :**  
VALOR AL QUE CAE  
LA Tensión

ENTRE 10% Y 30%

ENTRE 30% Y 80%

SUPERIOR AL 80%

**DURACIÓN :**  
TIEMPO QUE TARDA EN  
RECUPERARSE LA  
Tensión

VARIAN ENTRE  
½ CICLO

○ ○ ○ ○

Y 1 minuto

Profundidad

$$\Delta U (\%) = \frac{U_c - U_{\min}}{U_c} \cdot 100$$

(IEC 61000-2-8)

**Duración:** La duración, según la IEC 61000-2-8, de un hueco de tensión es el tiempo durante el cual el valor eficaz de la tensión es inferior al 90% de la tensión declarada. Se trata pues del tiempo, expresado en segundos, que tarda en recuperarse la tensión

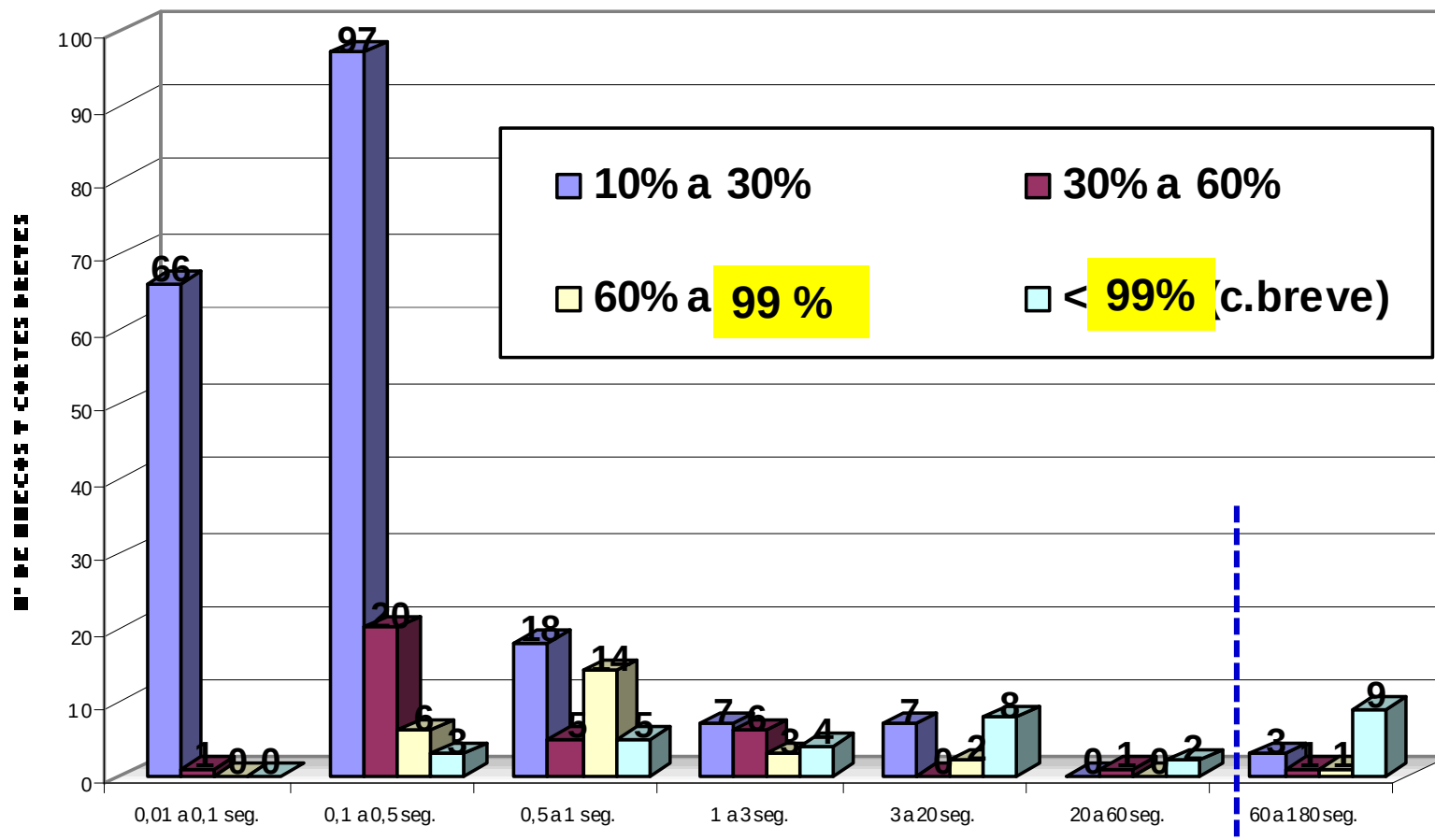
## VALORES DE REFERENCIA

### DURACIÓN

- ✚ Huecos de entre  $\frac{1}{2}$  ciclo  $\leq \Delta t < 100$  ms
- ✚ Huecos de entre  $100$  ms  $\leq \Delta t < 500$  ms
- ✚ Huecos de entre  $500$  ms  $\leq \Delta t < 1$  s
- ✚ Huecos de entre  $1$  s  $\leq \Delta t < 3$  s
- ✚ Huecos de entre  $3$  s  $\leq \Delta t < 20$  s
- ✚ Huecos de entre  $20$  s  $\leq \Delta t < 60$  s

✚ En la **UNE-EN 50160** el límite inferior se establece en medio ciclo (10 ms a la frecuencia de 50 Hz), ya que es el mínimo período de tiempo sobre el que se puede calcular el valor eficaz de la tensión. Descensos de tensión de una duración inferior a medio ciclo no se pueden caracterizar como un cambio en el valor eficaz de la tensión y se consideran *transitorios*, definiéndose por la palabra inglesa “*notch*”.

# VALORES DE REFERENCIA



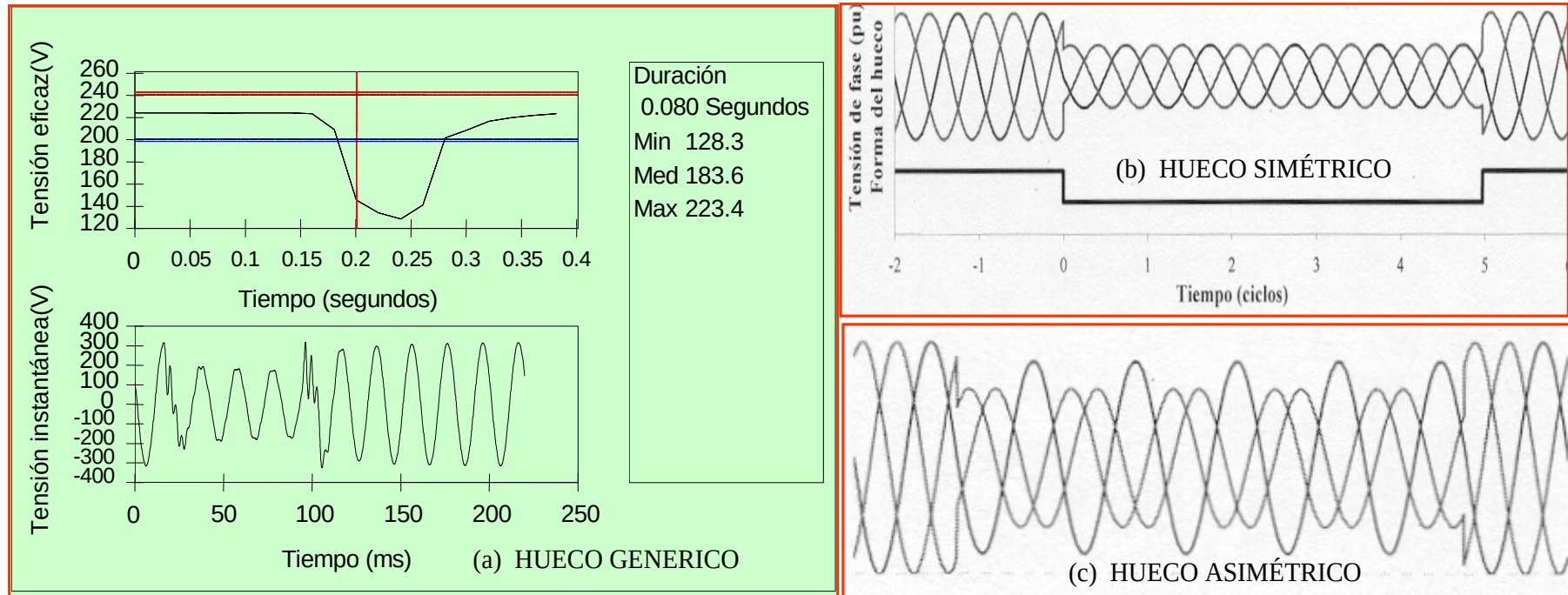
## CLASIFICACIÓN

| <b>Duración (<math>\Delta t</math>)</b><br>-----<br><b>Profundidad (<math>\Delta U\%</math>)</b> | <b>1/2 ciclo</b><br>$\leq \Delta t$<br>$< 100\text{ms}$ | <b>100 ms</b><br>$\leq \Delta t$<br>$< 500\text{ ms}$ | <b>500 ms</b><br>$\leq \Delta t$<br>$< 1\text{ s}$ | <b>1 s</b><br>$\leq \Delta t$<br>$< 3\text{ s}$ | <b>3 s</b><br>$\leq \Delta t$<br>$< 20\text{ s}$ | <b>20 s</b><br>$\leq \Delta t$<br>$< 60\text{ s}$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>10 <math>\leq</math> Profundidad <math>&lt; 30</math></b>                                     |                                                         |                                                       |                                                    |                                                 |                                                  |                                                   |
| <b>30 <math>\leq</math> Profundidad <math>&lt; 60</math></b>                                     |                                                         |                                                       |                                                    |                                                 |                                                  |                                                   |
| <b>60 <math>\leq</math> Profundidad <math>&lt; 99</math></b>                                     |                                                         |                                                       |                                                    |                                                 |                                                  |                                                   |
| <b>99 <math>\leq</math> Profundidad</b>                                                          |                                                         |                                                       |                                                    |                                                 |                                                  |                                                   |

✚ **Tensión residual** (IEC 61000-4-30) se define como el valor mínimo de la tensión alcanzada durante el hueco. De forma análoga a la profundidad, esta magnitud se puede expresar porcentualmente.

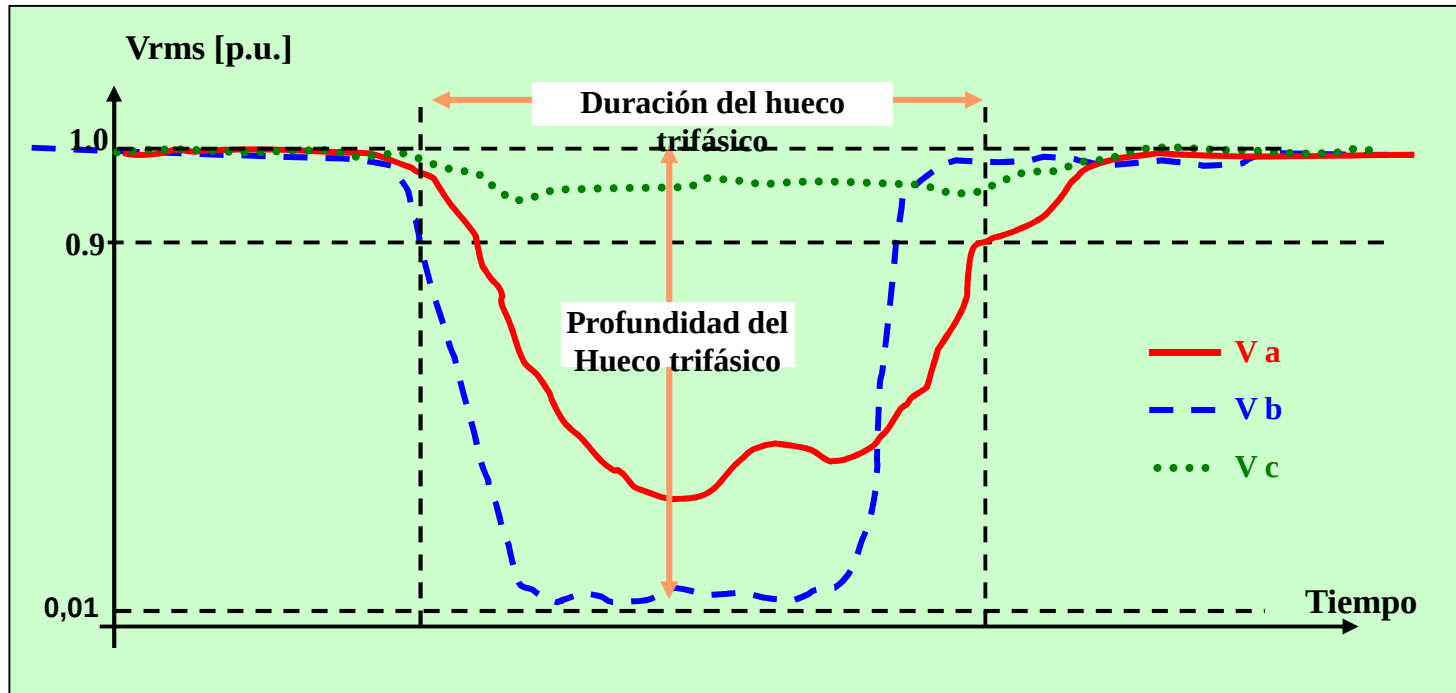


# REPRESENTACIÓN DE LA EVOLUCIÓN



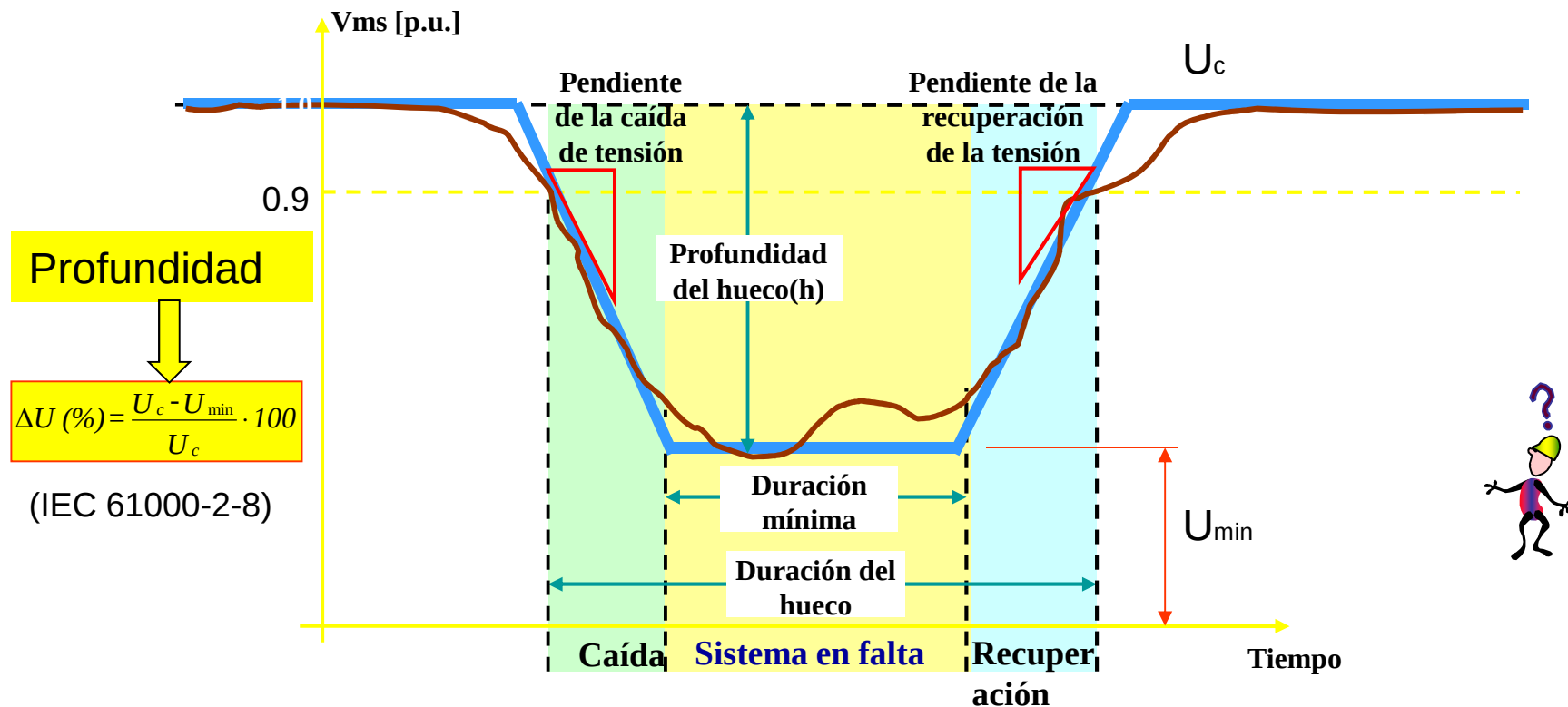
✚ Para determinar los huecos de tensión, se debe medir el valor eficaz de la tensión en las tres fases durante un año, dado que muchas de estas situaciones son debidas a defectos monofásicos ocurridos en las redes de MT.

## REPRESENTACIÓN DE LA EVOLUCIÓN



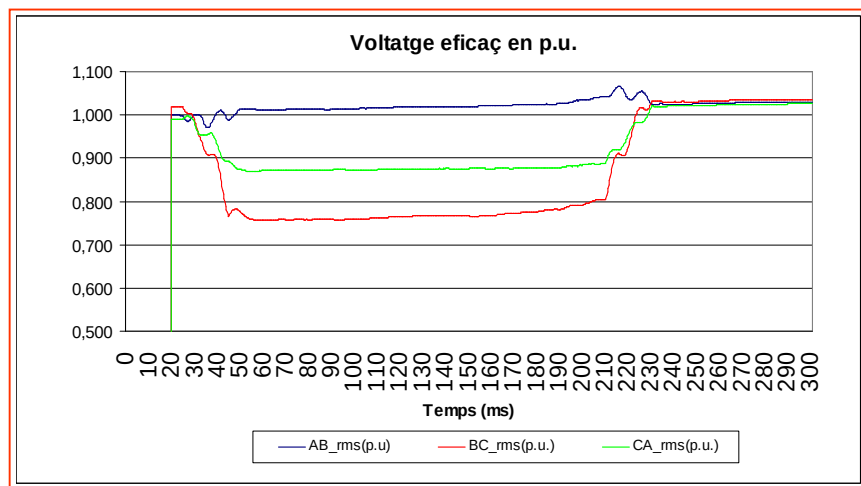
En el caso de líneas trifásicas, un hueco de tensión que es debido a una misma causa, comienza cuando la tensión en una de las fases disminuye a un valor entre el 90% y el 1% de la tensión declarada ( $U_c$ ) y termina cuando la tensión en las tres fases supera el 90% de la tensión  $U_c$ . Esto es lo que se denomina hueco de tensión complejo y se considera como un evento único.

# REPRESENTACIÓN DE LA EVOLUCIÓN

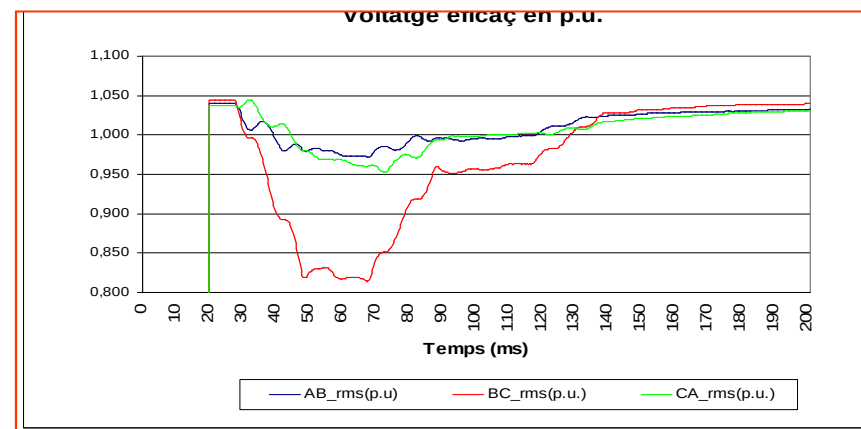


Se puede observar la posible evolución de un hueco simple correspondiente a una fase

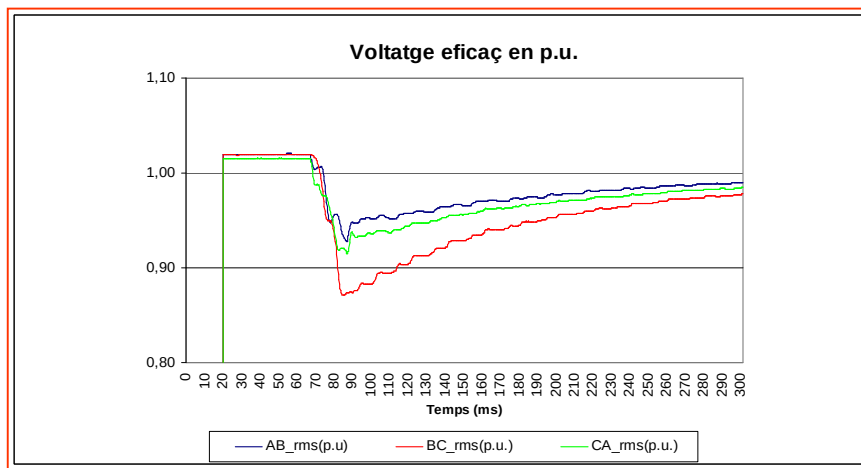
# Clasificación de los huecos



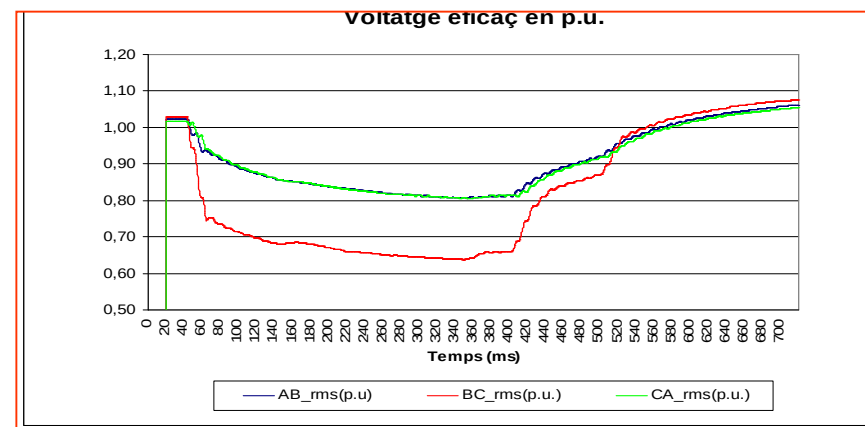
a) Rectangular



b) Trapezoidal

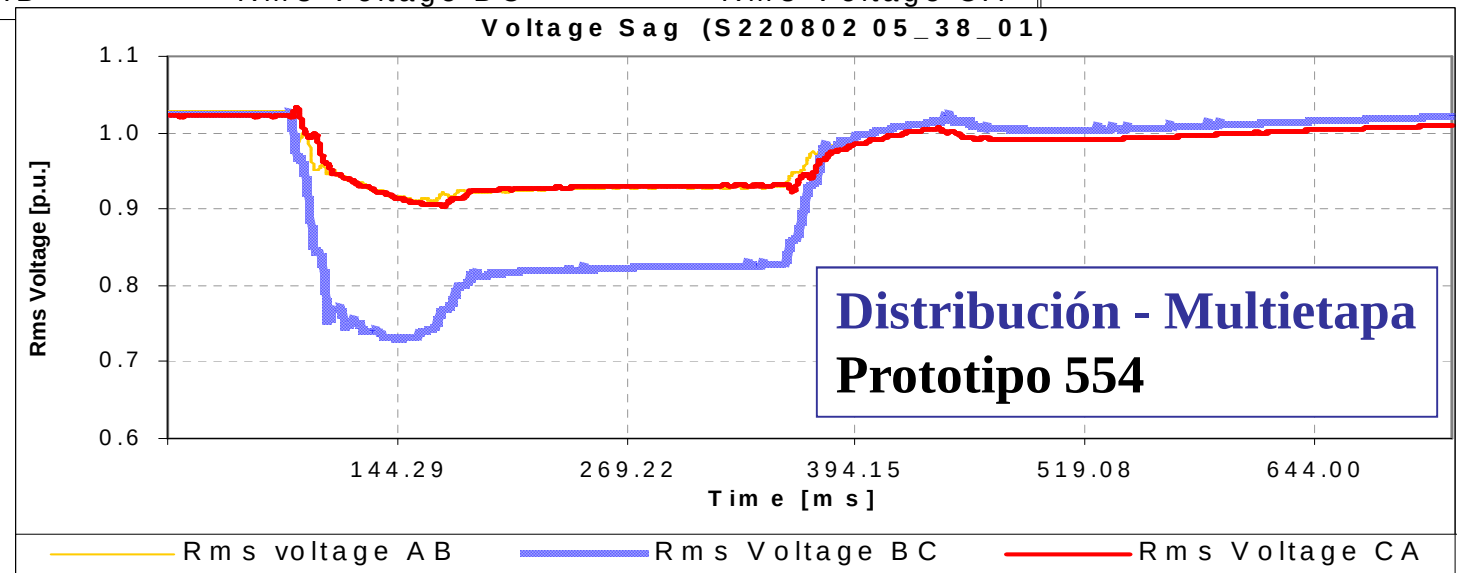
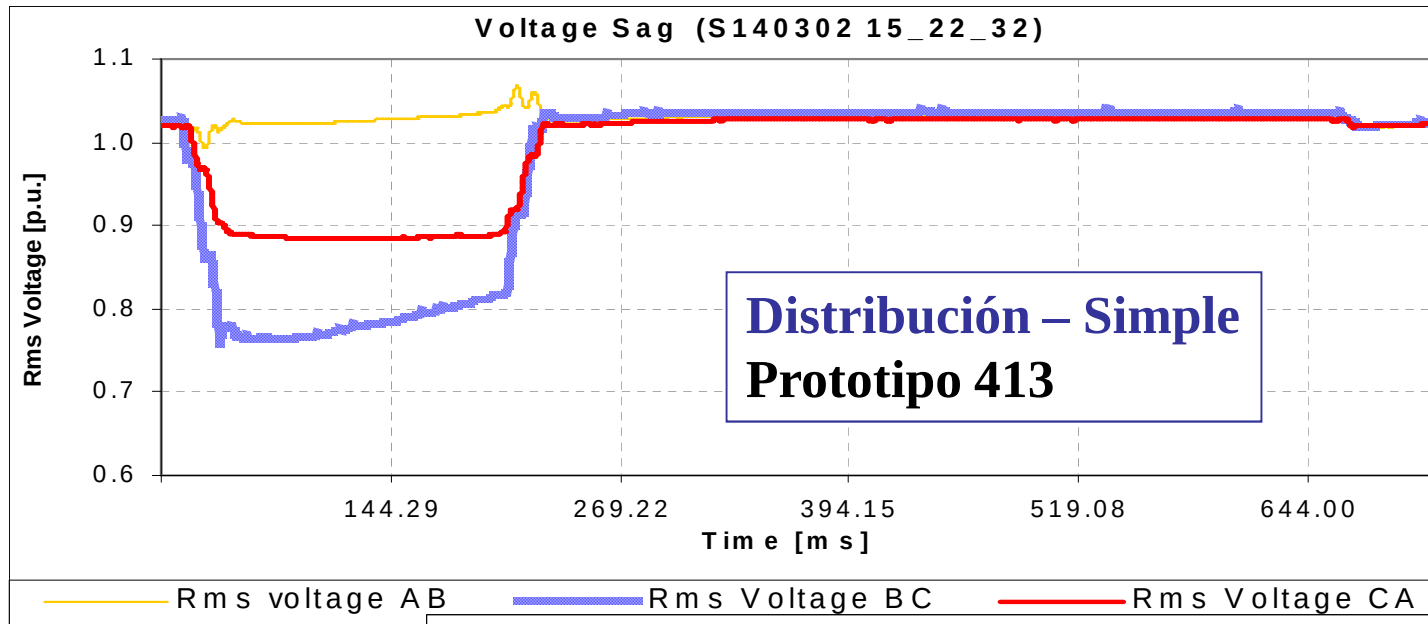


c) Triangular



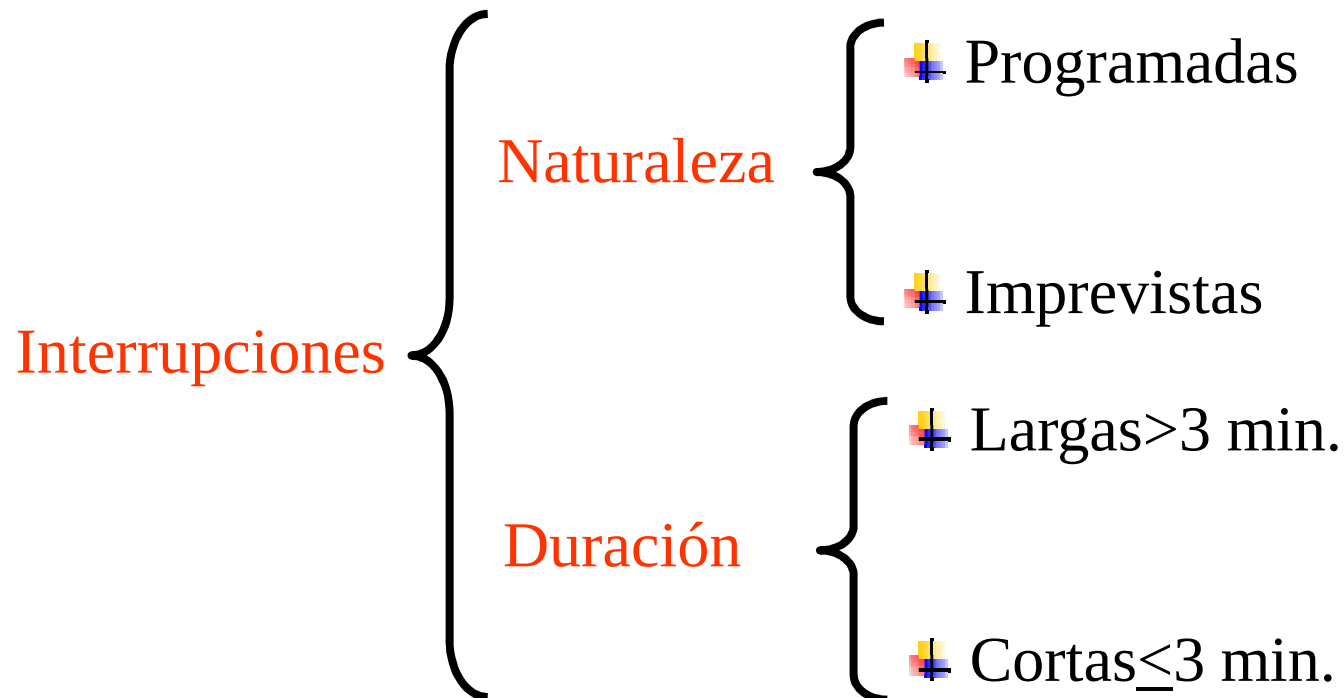
d) Circular

# REPRESENTACIÓN DE LA EVOLUCIÓN



# Interrupciones cortas

✚ La norma **UNE-EN 50160** considera, de forma genérica, que una interrupción corresponde a una situación en la que la tensión de alimentación en el punto de entrega es inferior al 1% de la tensión declarada en cualquiera de las fases de la alimentación



# Interrupciones breves

✚ Como se trata de perturbaciones debidas a defectos con un elevado grado de aleatoriedad, la norma UNE-EN 50160 afirma, a título indicativo, **que pueden ocurrir desde unas decenas hasta centenas de interrupciones breves al año**. Se indica también, que cerca del 70% de estas interrupciones no deberán tener una duración que exceda de 1 segundo.

✚ Período de medición **un año**

✚ Equipo de medida **Equipos trifásicos**

✚ Punto de medida **Punto frontera, en BT y MT; centro de transformación; salidas de MT de subestaciones**

# Niveles CEM

- ✚ No existen niveles de CEM definidos para los huecos de tensión, utilizándose estadísticas generales para caracterizar el nivel existente de huecos.
- ✚ La norma **UNE-EN 50160** no especifica límites para el número de huecos, simplemente indica que **en condiciones normales de explotación, el número esperado de huecos de tensión en un año puede ir de algunas decenas a un millar, teniendo en su mayor parte una duración de menos de un segundo y una profundidad inferior al 60%.** En ciertos lugares, es frecuente que se produzcan huecos de tensión de profundidad comprendida entre el 10% y el 15% de  $U_n$ , que están provocados por conexión/desconexión de carga en las instalaciones de los usuarios de la electricidad.



# CAUSAS QUE LOS ORIGINAN

FALTAS EN LA RED ELÉCTRICA O EN LAS  
INSTALACIONES DE LOS CLIENTES

Las corrientes de cortocircuito que se originan por una falta provocan la caída de tensión en una o más fases durante el tiempo que aquella permanece

La caída de tensión provocada por una falta, se manifiesta en toda la red, pero su magnitud será mayor cuanto mayor sea su proximidad eléctrica al punto en que ha tenido lugar la falta

ORIGEN DE LAS FALTAS

INTERIOR AL S.E.

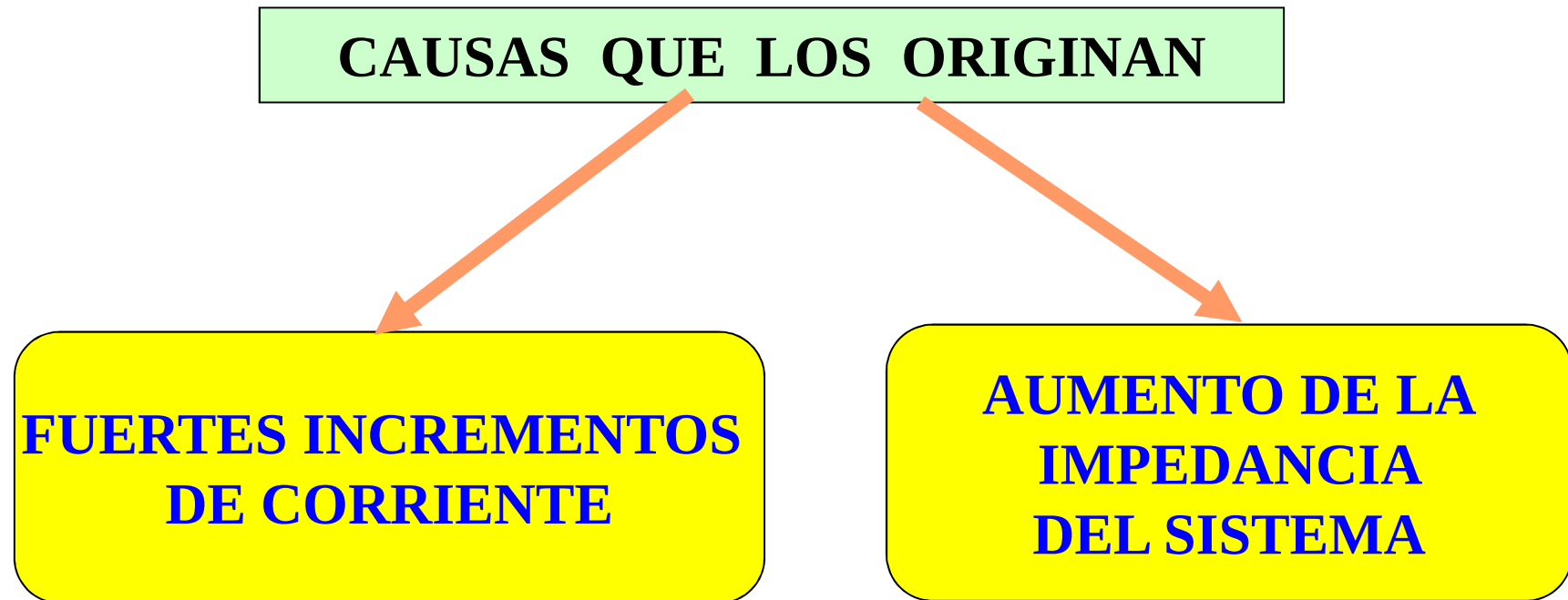
Fallos de aislamiento,  
falsas maniobras, etc

EXTERIOR AL S.E.

Descargas atmosféricas,  
excavadoras, etc.

LOS HUECOS E INTERRUPCIONES  
TIENEN UN CARÁCTER ALEATORIO

NO ES POSIBLE SU ELIMINACIÓN  
TOTAL, NI TAMPOCO REDUCIRLOS  
POR DEBAJO DE UN CIERTO LÍMITE



✚ En la práctica, la mayoría de los huecos de tensión son ocasionados por incrementos de corriente. Las causas más típicas de los huecos e interrupciones son las **faltas en las redes de alimentación** (sistemas de transporte y distribución) o en las **instalaciones de los usuarios** que, en la gran mayoría de ocasiones, tienen su origen en descargas atmosféricas y cortocircuitos.

## CAUSAS QUE LOS ORIGINAN

✚ Al producirse las faltas actúan sistemas de protección que tratan de reducir la duración de las interrupciones del suministro de energía eléctrica y dan lugar a huecos de tensión. El evento se prolongará durante el tiempo, generalmente por encima de 10 ciclos, que el dispositivo de protección necesite para eliminar, o limpiar, esa condición de sobrecorriente.

✚ Si se emplea reconexión, el hueco de tensión puede repetirse varias veces, con diferentes valores. Además, las faltas en el sistema de distribución pueden dar lugar a huecos de tensión que resultan difíciles de caracterizar con una información del tipo profundidad–duración, ya que las propiedades de la falta cambian con el tiempo.

## CAUSAS QUE LOS ORIGINAN

- ✚ **El arranque o puesta en marcha de grandes cargas**, como un motor de gran potencia o una calefacción por resistencia. Los motores eléctricos absorben entre un 150% y un 500% de su corriente nominal durante la operación de puesta en marcha. Las calefacciones por resistencia pueden demandar hasta un 150% de su corriente media hasta que alcanzan su temperatura de funcionamiento.
- ✚ **El cableado defectuoso o en malas condiciones** supone un incremento en la impedancia del sistema y exagera el efecto de cualquier aumento de la corriente.
- ✚ **Los cortocircuitos** en cualquier lugar de la línea de alimentación. Aunque la falta sea rápidamente eliminada por un fusible o un interruptor, se producirá una caída en el valor de la tensión hasta que los dispositivos de protección actúen eficientemente, lo cual puede llevar desde unos pocos ciclos hasta varios segundos. **La magnitud del hueco** de tensión en un cierto punto del sistema depende principalmente del tipo de falta, la distancia a la falta, la configuración del sistema y la resistencia de falta.

## CAUSAS QUE LOS ORIGINAN

- ✚ Por otro lado, los huecos de tensión también pueden encontrar su origen en las **redes de distribución y, en menor medida, en las de transporte**. Entre las causas por las que se pueden originar, destacan:
- ✚ Las faltas en la red de distribución, las cuales causan una reducción en la tensión de los circuitos que llegan hasta el usuario. Generalmente, estas faltas son eliminadas por interruptores o **reconectores** en los circuitos. **Estos dispositivos presentan un retraso de entre 1 y 5 segundos antes de reposicionarse**. Si la falta permanece cuando el interruptor o los reconectores se recuperan es posible observar **una serie de huecos de tensión, espaciados entre 1 y 5 segundos** (aunque estos tiempos son variables).
- ✚ En caso de faltas L–T en el sistema de suministro eléctrico, **la tensión en la fase que presenta la falta cae a cero en el lugar donde se ha producido dicha falta**. La tensión en la subestación y en las otras ramas de alimentación en paralelo con la sección de línea cortocircuitada, depende de la distancia entre la falta y la subestación.
- ✚ Fallos en los reguladores de tensión (causa menos frecuente). **Las compañías eléctricas disponen de sistemas automáticos para ajustar la tensión**.

## CAUSAS QUE LOS ORIGINAN

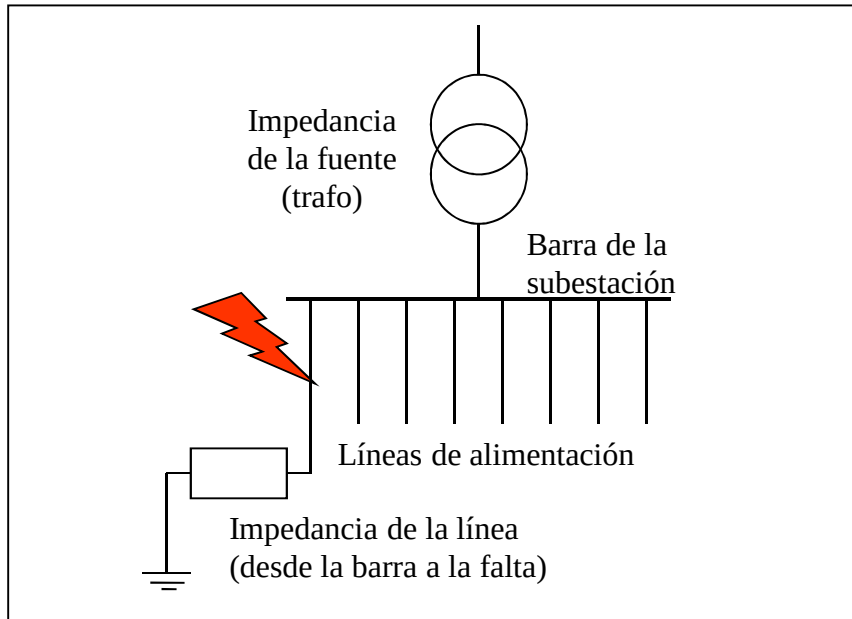
✚ La magnitud del hueco de tensión está determinada, entre otras consideraciones, por la localización de la falta que ocasiona este evento. Las faltas en la línea que proporciona el suministro eléctrico a un usuario concreto, pueden dividirse en dos grupos:

✚ **Aquellas situadas entre el usuario de la electricidad y la subestación** (que harán caer hasta cero el valor de la tensión en la ubicación del usuario).

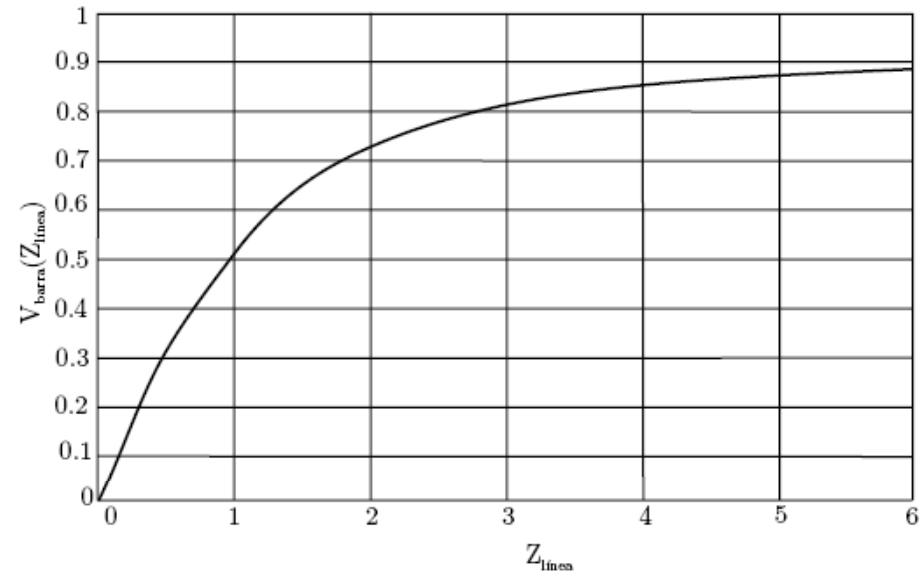
✚ **Aquellas situadas aguas abajo con respecto al usuario** (que son las que causarán un hueco en la tensión del usuario de la electricidad, de mayor o menor profundidad, en función de la distancia de la falta). Impedancia de la fuente/Barra de la subestación/Líneas de alimentación/Impedancia de la línea (desde la barra a la falta)

✚ Ahora bien, las faltas en la línea de alimentación del usuario son mucho menos frecuentes que las que tienen lugar en las líneas adyacentes a esta, simplemente por una cuestión de probabilidades (una línea frente a muchas).

## CAUSAS QUE LOS ORIGINAN



• Esquema típico de una línea de alimentación con una falta en la línea situada más a la izquierda de la barra.

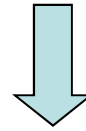


• Tensión (p.u.) en la barra para una falta de línea como función de la impedancia de línea entre la barra y la falta.

$$U_{\text{barra}} = \frac{Z_{\text{línea}}}{Z_{\text{línea}} + Z_{\text{fuente}}} U_{\text{fuente}}$$

La aparición de huecos de tensión e interrupciones breves **no puede predecirse debido al carácter aleatorio de las faltas** que originan dichas perturbaciones. Afectan a un gran número de usuarios al propagarse por una misma red y también entre redes de distinto nivel de tensión, principalmente de los niveles superiores a los inferiores. En dicha propagación, influyen el tipo y conexión de los transformadores intermedios.

## **MEDIDAS QUE PUEDE ADOPTAR LA EMPRESA SUMINISTRADORA**

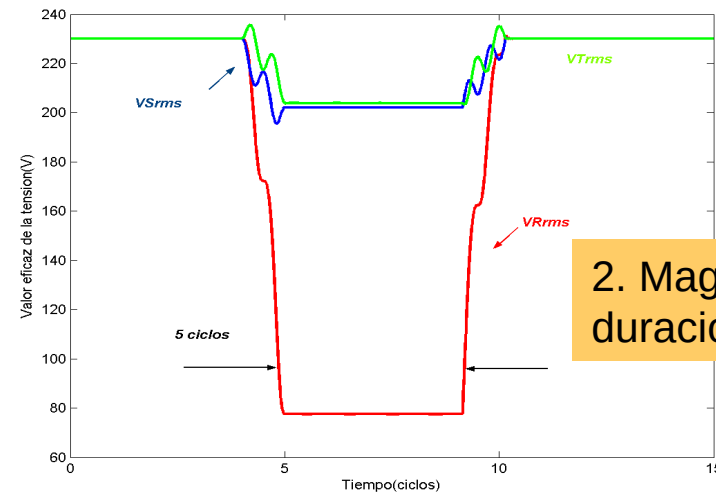
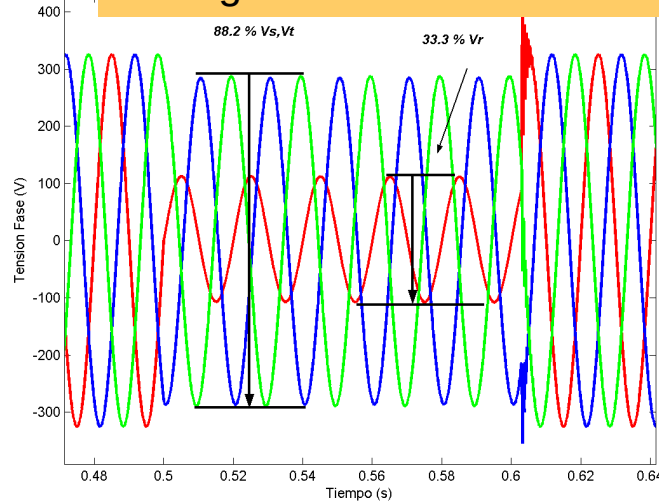


Los transportistas y distribuidores no pueden eliminar totalmente los huecos, pero si reducir su número, profundidad y duración mediante: el mejor mantenimiento de las redes, el empleo de tecnologías más inmunes a las descargas atmosféricas, el aumento de la potencia de cortocircuito (Scc) y la mayor rapidez de los elementos de protección contra cortocircuitos .



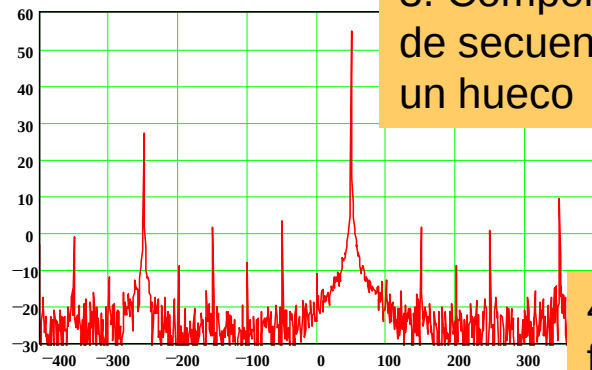
# Caracterización de los huecos de tensión

## 1. Registro de la onda de tensión



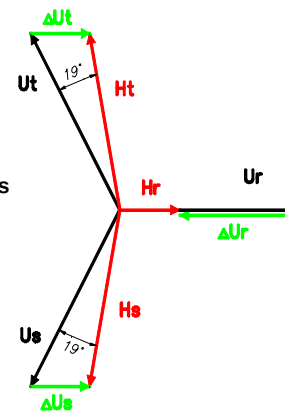
## 2. Magnitud y duración

## 3. Componentes de secuencia de un hueco

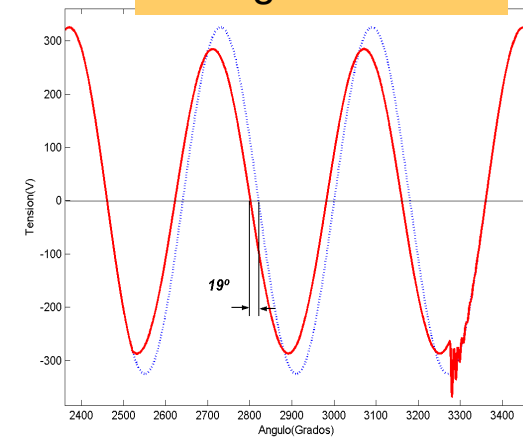


- Normal conditions  
- Under the sag

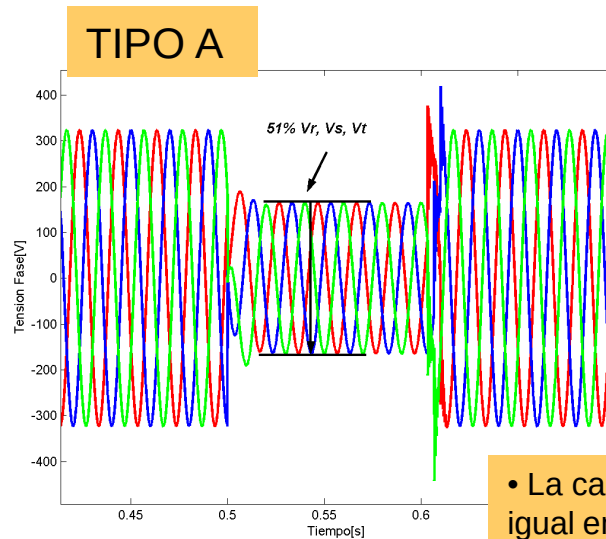
## 4. Diagrama fasorial trifásico



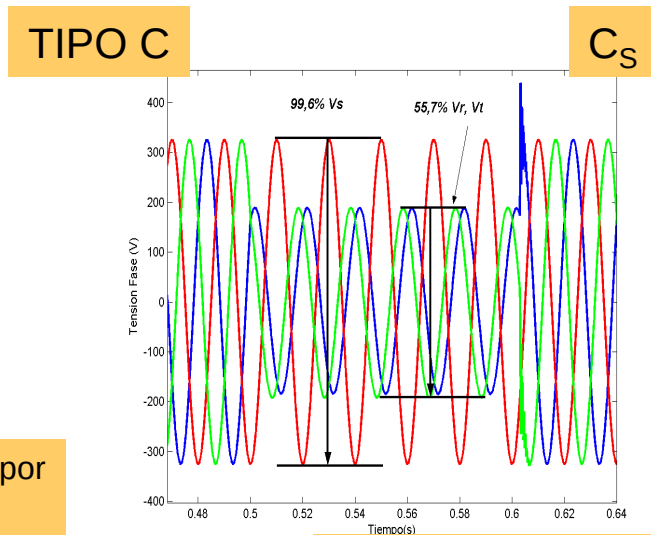
## 5. Angulo de fase



# Caracterización de los huecos de tensión



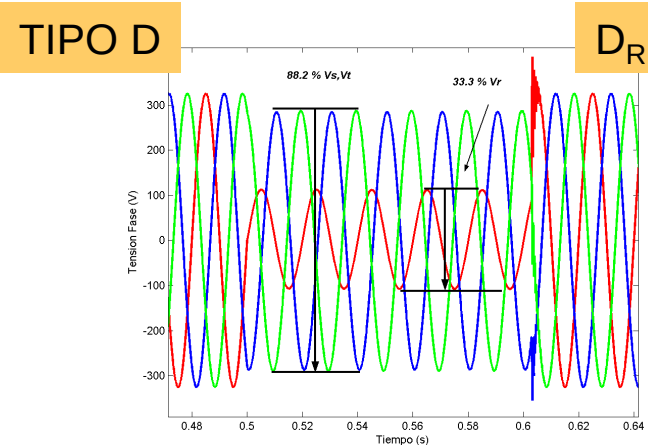
- La caída se produce por igual en las tres fases



- La mayor caída se produce en dos fases

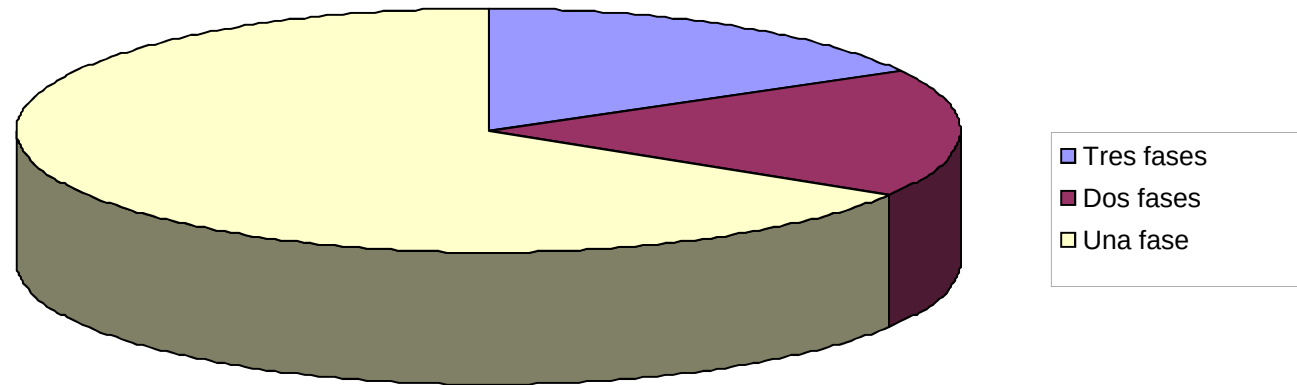
**TIPO B**

- La caída se produce de forma desigual en las tres fases



- La mayor caída se produce en una fase

# Número de fases involucradas

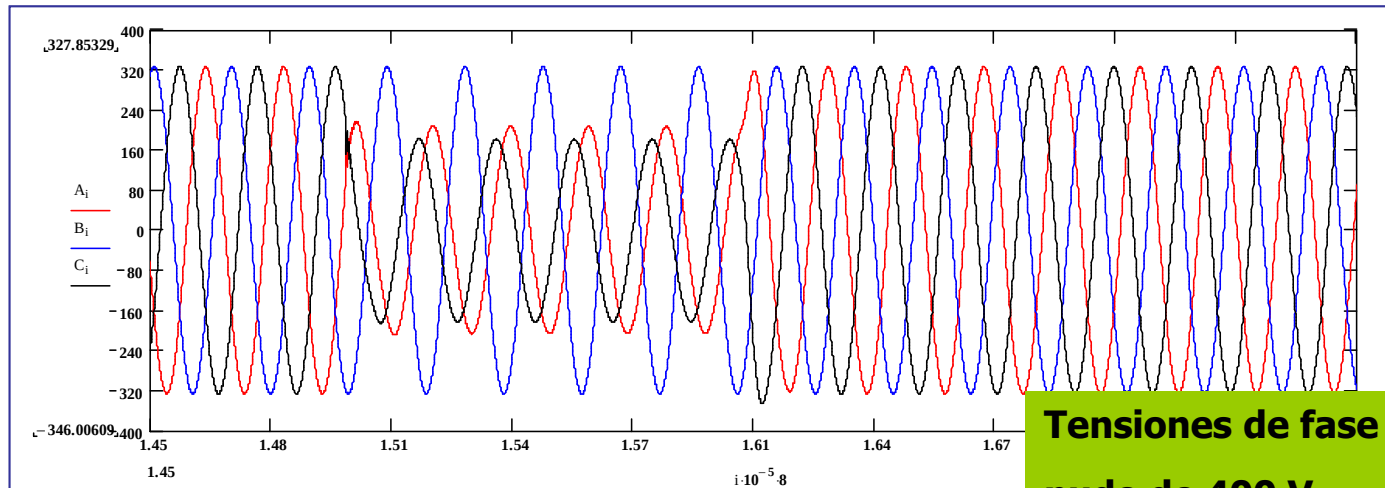


## Huecos e interrupciones por debajo de 0,9 pu

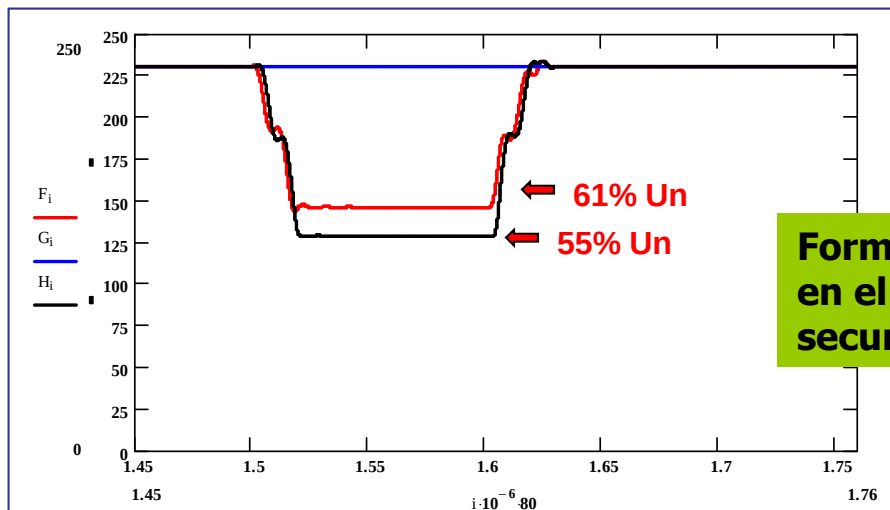
EPRI, 6/1/93 to 6/1/94

Las faltas que tienen lugar pueden ser del tipo L–L o L–T (la mayoría, en los sistemas de suministro eléctrico, son del tipo L–T; las faltas trifásicas son más severas pero también mucho menos frecuentes). Estas faltas L–T a menudo se producen como consecuencia de ciertas condiciones atmosféricas como rayos, viento o hielo. La contaminación o el deterioro de los aislantes, contacto con animales, así como accidentes relacionados con la construcción o actividades de transporte son también origen de faltas. Generalmente, estas faltas son temporales, lo que significa que no se reiniciarán una vez que sean eliminadas y se recupere la línea en cuestión.

# Faltas bifásicas

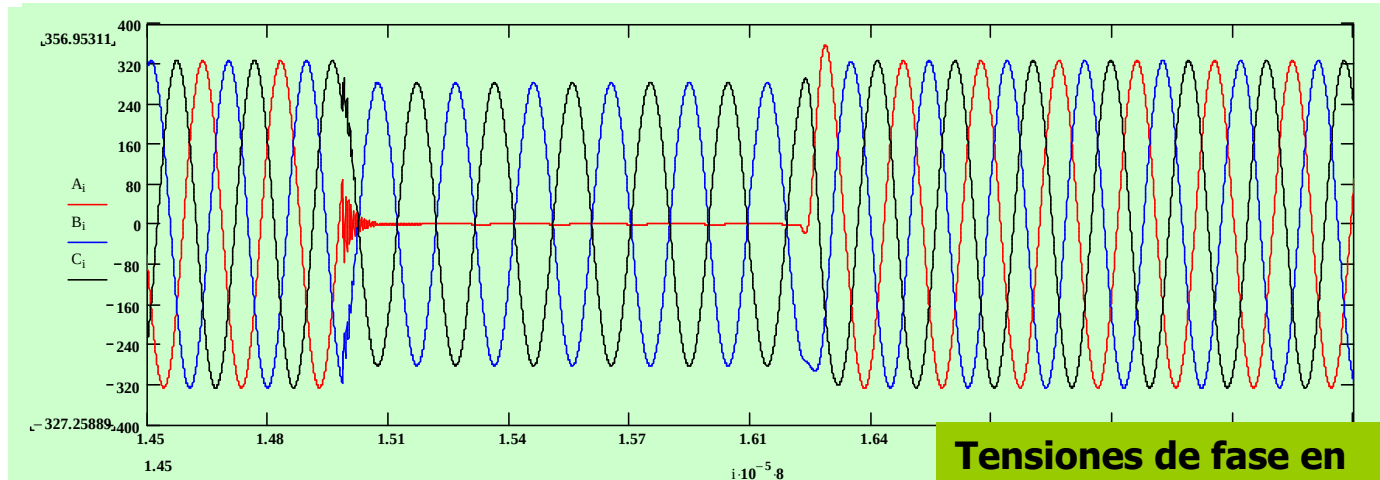


**Tensiones de fase en un nudo de 400 V.**



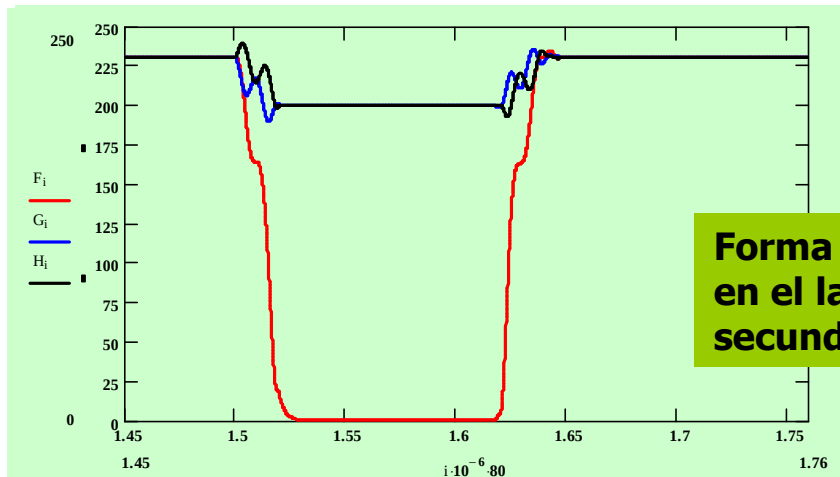
**Forma del hueco en el lado secundario**

# Faltas monofásicas



$$R_{on} = 0,5 \, \Omega$$

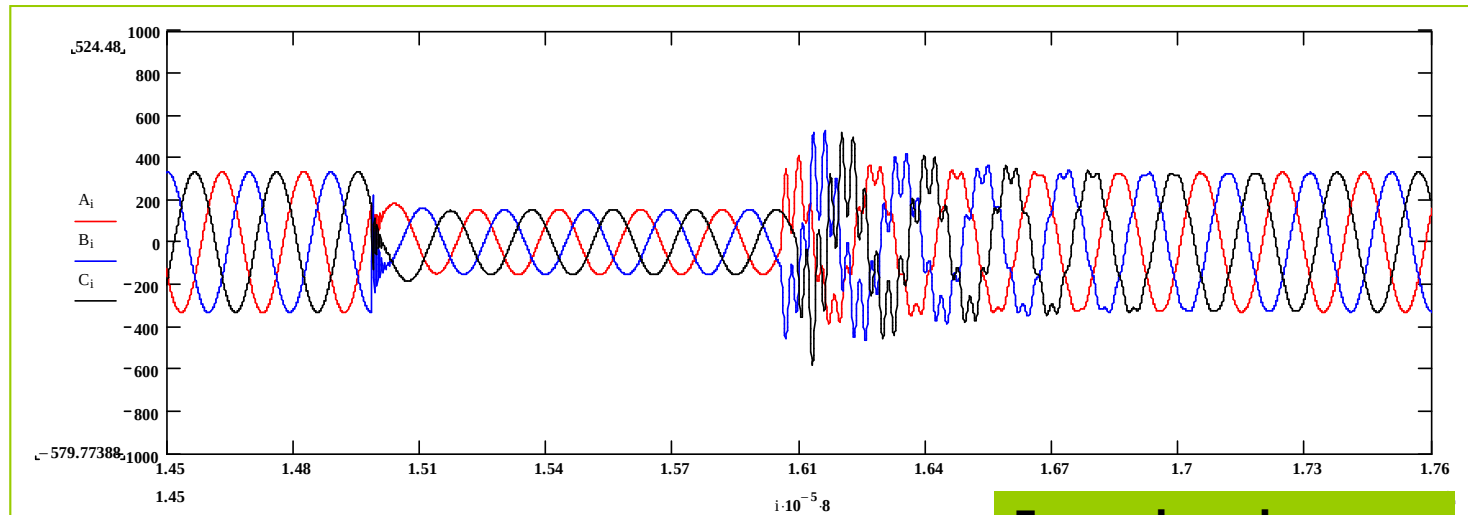
**Tensiones de fase en  
un nudo de 400 V**



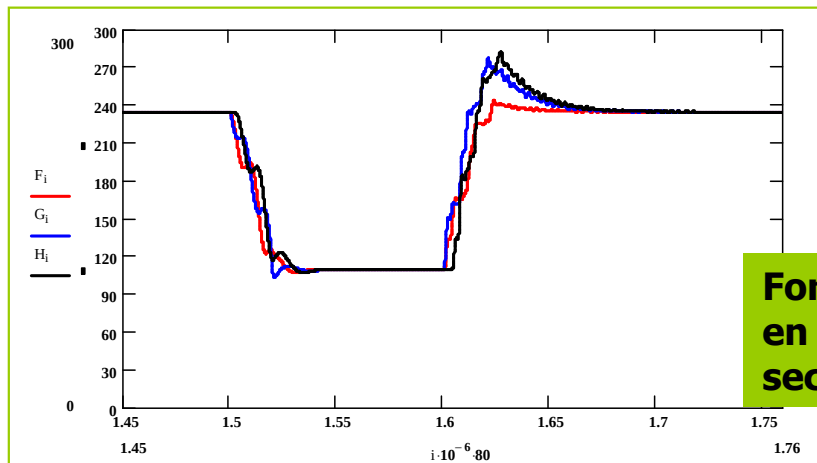
**Forma del hueco  
en el lado  
secundario**

Según se observa en  
la figura, más que un  
hueco parece una  
interrupción corta

# Faltas trifásicas



**Forma de onda en un nudo de 400 V**



**Forma del hueco en el lado secundario**

# Caracterización de los huecos de tensión

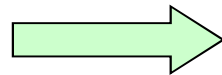
Índices basados en la energía

✓ *Voltage Sag Energy Index (VSEI).*

✓ *Average Voltage Sag Energy Index (AVSEI )*

ENERGÍA PÉRDIDA

Monofásico



$$W = (1 - V_{pu})^2 \cdot t$$

$V_{pu}$  = Tensión residual  
 $t$  = Duración del hueco

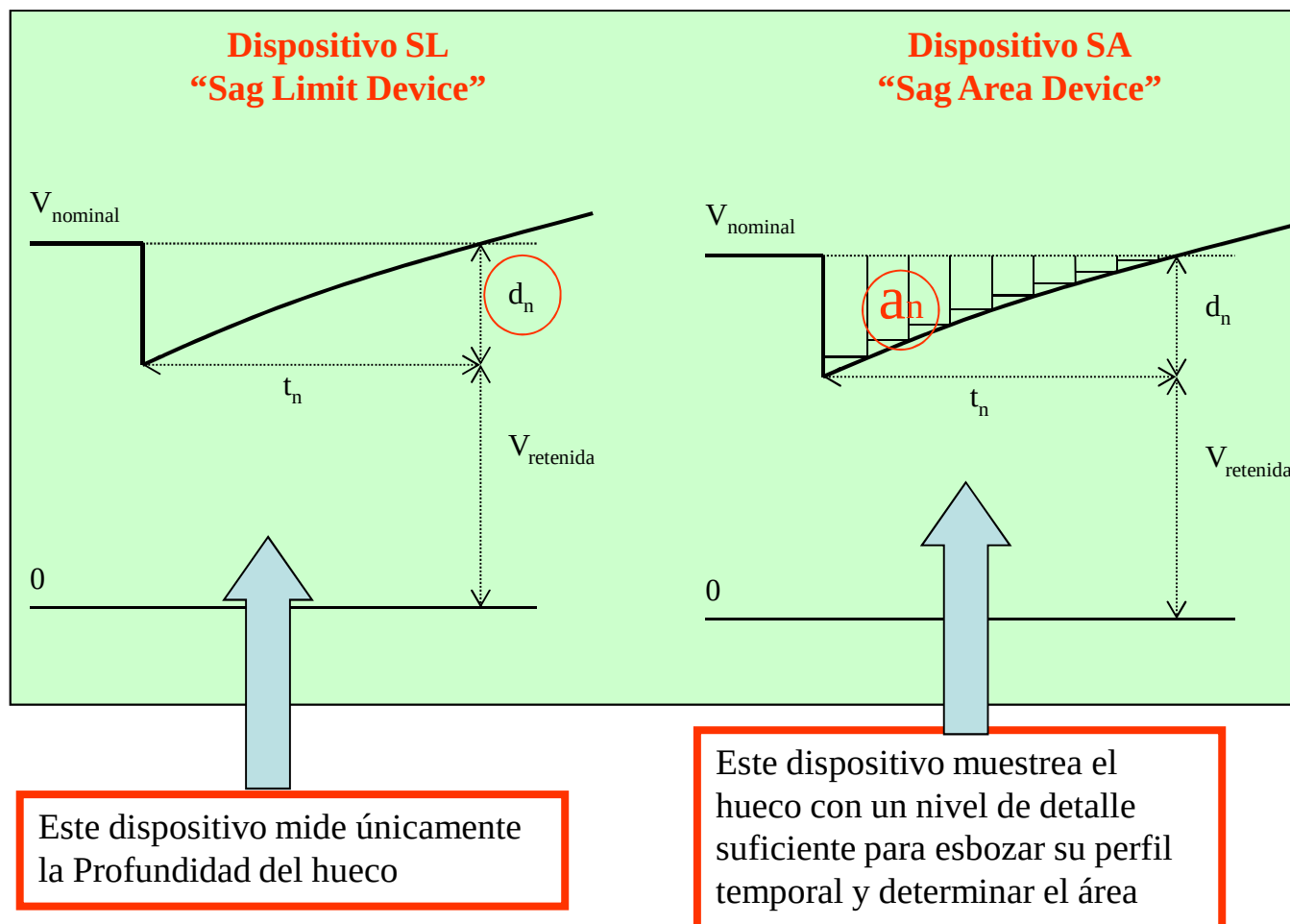
Trifásico

$$W = (1 - V_{a_{pu}})^2 \cdot t_a + (1 - V_{b_{pu}})^2 \cdot t_b + (1 - V_{c_{pu}})^2 \cdot t_c$$

$V_{a_{pu}}, V_{b_{pu}}, V_{c_{pu}}$  = Tensiones residuales en cada fase en valores por unidad.  
 $t_a, t_b, t_c$  = Duración del hueco de tensión en cada fase.

# Caracterización de los huecos de tensión

Índices basados en el área límite del hueco (SLA)





# Caracterización de los huecos de tensión

Índices basados en el área límite del hueco

| Dispositivo SL                 | Magnitud medida                | Dispositivo SA                 |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| $SL_c = \sum SE_n$             | Número de eventos              | $SA_c = \sum SE_n$             |
| $SL_{ad} = \sum d_n$           | Profundidad agregada de huecos | $SA_{ad} = \sum d_n$           |
| $SL_d = \frac{\sum d_n}{SL_c}$ | Profundidad media por hueco    | $SA_d = \frac{\sum d_n}{SA_c}$ |
| $SL_{at} = \sum t_n$           | Duración agregada de huecos    | $SA_{at} = \sum t_n$           |
| $SL_t = \frac{SL_{at}}{SL_c}$  | Duración media por hueco       | $SA_t = \frac{SA_{at}}{SA_c}$  |
| $SL_{aa} = \sum t_n \cdot d_n$ | Área agregada de los huecos    | $SA_{aa} = \sum a_n$           |
| $SL_a = \frac{SL_{aa}}{SL_c}$  | Área media por hueco           | $SA_a = \frac{SA_{aa}}{SA_c}$  |

# Medida de los huecos de tensión

- ✚ La medida básica, según IEC 61000-4-30 (Clase A), será el valor eficaz de la tensión actualizado cada medio ciclo  $U_{\text{rms}(1/2)}$ .
- ✚ Para registrar los huecos de tensión, se debe medir el valor eficaz de la tensión en las tres fases durante un año.
- ✚ La exactitud en la medida de la tensión residual para equipos de clase A debe ser del  $\pm 0,2\%$  de la tensión declarada de entrada.
- ✚ La exactitud en la medida de la duración del hueco de tensión es igual a la exactitud en la medida del comienzo del hueco (1/2 ciclo) más la exactitud en la medida de la finalización del hueco (1/2 ciclo).

# Medida de los huecos de tensión

- + Es necesario que registre el valor eficaz de la tensión en las 3 fases.
- + Muestreo del valor eficaz de la tensión (rms), cada medio ciclo.
- + Valores umbrales ajustables.
- + Registrar tanto profundidad como duración.
- + Memoria adecuada.
- + Capaz de funcionar en condiciones de huecos e interrupciones.
- + Software de información adecuado y capaz de exportar las mediciones a paquetes de análisis general de datos como hojas de cálculo.
- + Registrar fecha y hora.
- + Registrar la temperatura ambiente.

# Análisis estocástico

Ley de Poisson

$$P(K = k) = \frac{(n \cdot \mu)^k}{k!} \cdot e^{-n \cdot \mu}$$

■  $n \mu$  = Esperanza matemática del número de eventos, K, en n años.

■  $\sigma$  = Desviación estándar de la variable aleatoria K.

■  $\mu$  = Número medio anual de huecos de tensión.

■  $n$  = Período de monitorización, en años.

$$\sigma = \sqrt{n \cdot \mu}$$

$$\mu_{est} = \frac{K}{n}$$

■  $\mu_{est} = \mu$ , esperanza matemática de la variable aleatoria  $\mu_{est}$ .

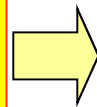
$$\sigma = \sqrt{\frac{\mu}{n}}$$

desviación estándar de la variable aleatoria  $\mu_{est}$ .

✚ Para un intervalo de confianza del 95%, y suponiendo una distribución Normal, el valor de  $\mu_{est}$  se hallaría en el intervalo  $[\mu + 1.96\sigma, \mu - 1.96\sigma]$ .

$$n > \frac{4 \cdot \mu}{\varepsilon^2}$$

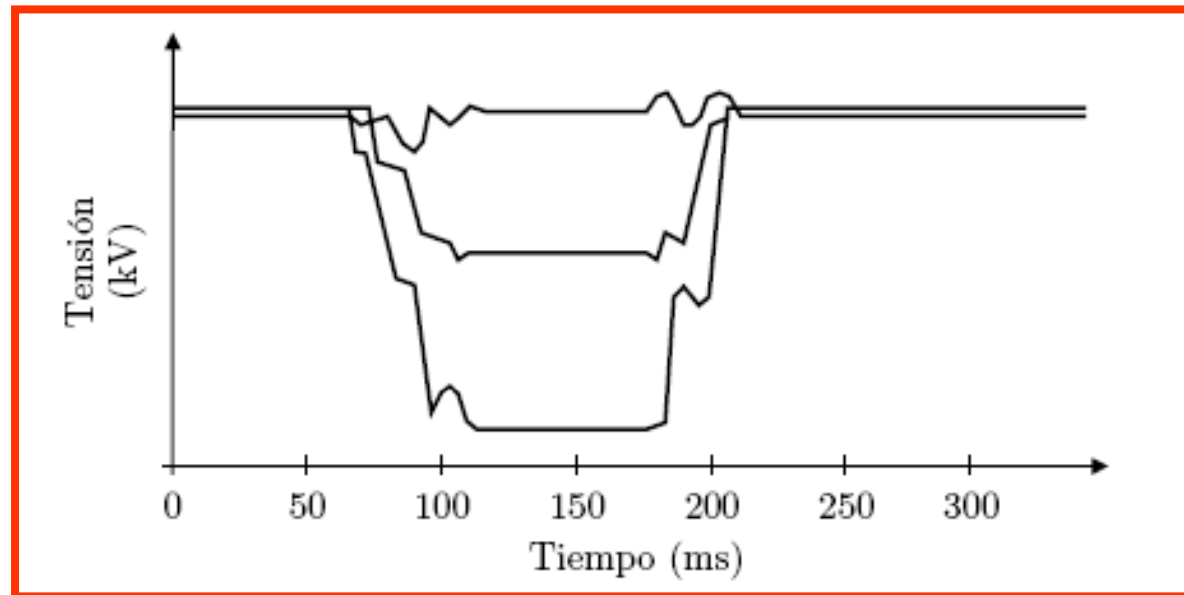
$\varepsilon$  = error



| Frecuencia    | Error 50% | Error 10% | Error 2%   |
|---------------|-----------|-----------|------------|
| 1 al día      | 2 semanas | 1 año     | 25 años    |
| 1 a la semana | 4 meses   | 7 años    | 200 años   |
| 1 al mes      | 1 año     | 30 años   | 800 años   |
| 1 al año      | 16 años   | 400 años  | 10000 años |

# Tipos de huecos de tensión

## Huecos de tensión debidos a faltas



✚ Dependiendo de la clase de falta que tenga lugar, las magnitudes de los huecos de tensión en cada fase podrían ser iguales (falta simétrica) o distintas (falta no simétrica).

✚ En cuanto a la forma de onda y tal como se puede ver en la *figura*, la recuperación de la tensión es rápida y compone una forma casi rectangular para la magnitud de la tensión a la frecuencia fundamental.

## Diapositiva 37

---

### MPD1

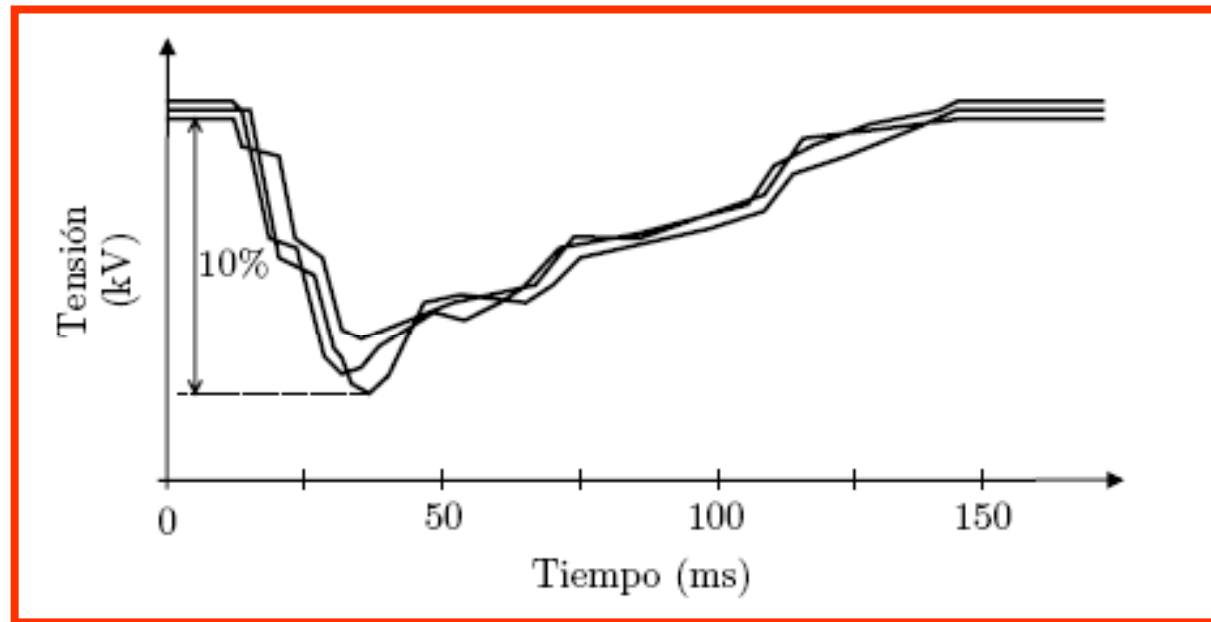
Dependiendo de la clase de falta, las magnitudes de los huecos de tensión en cada fase podrían ser iguales (falta simétrica) o distintas (falta asimétrica).

En cuanto a la forma de onda, como puede verse en la figura, la recuperación de la tensión es rápida y compone una forma casi rectangular para la magnitud de la tensión a la frecuencia fundamental.

Manuel; 18/11/2006

# Tipos de huecos de tensión

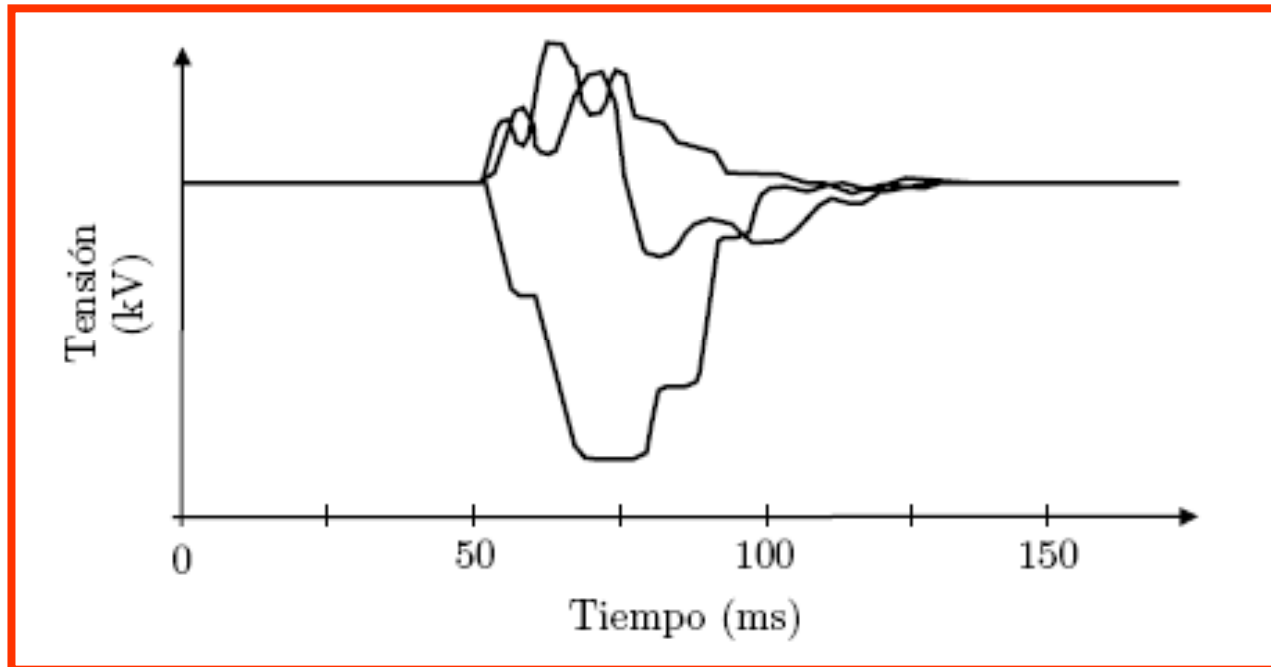
## Huecos de tensión debidos a arranque de motores



- ✚ La magnitud de tensión a la frecuencia fundamental de todas las fases cae aproximadamente de un 10% a un 15% del valor de la tensión anterior al evento y después se recupera gradualmente a medida que la corriente demandada por el motor decrece.

# Tipos de huecos de tensión

## Huecos de tensión debidos a faltas que se autoextinguen

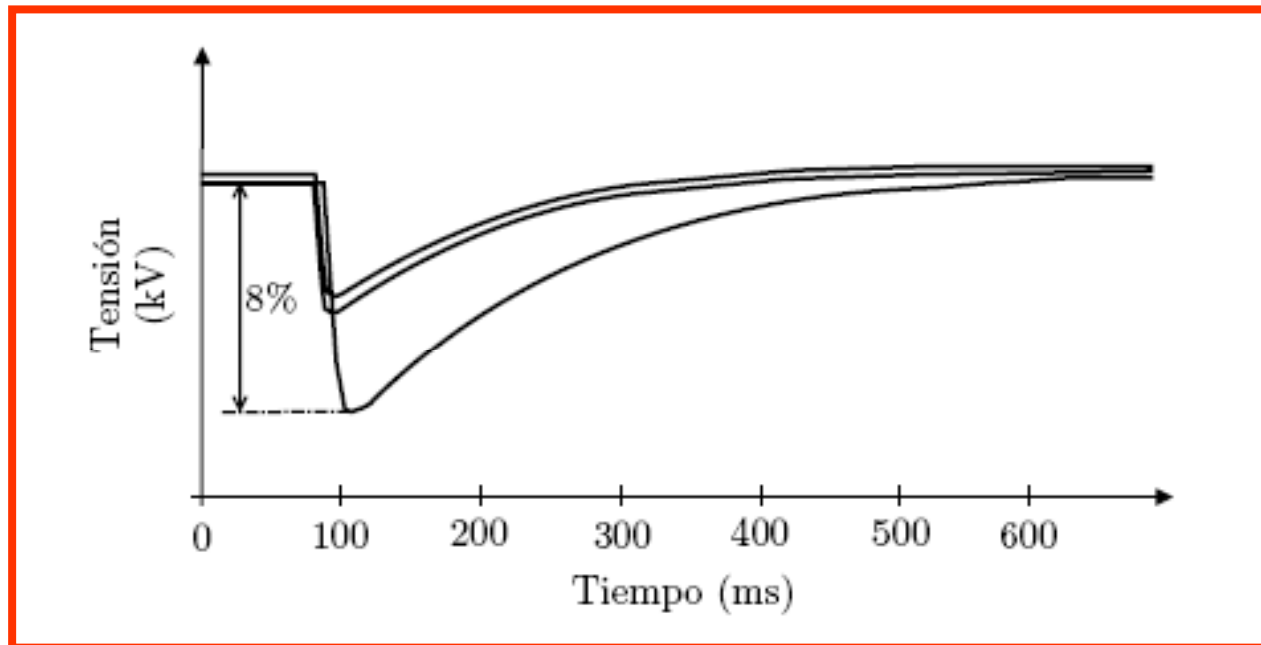


✚ Los huecos de tensión debidos a la extinción de las faltas por si mismas, son aquellos que desaparecen antes del tiempo de apertura del interruptor. La magnitud de la tensión muestra una **caída de tensión durante menos de 2 ciclos** antes de que desaparezca la falta, sin ocasionar la actuación de los sistemas de protección. Las fases libres de falta presentan una sobretensión



# Tipos de huecos de tensión

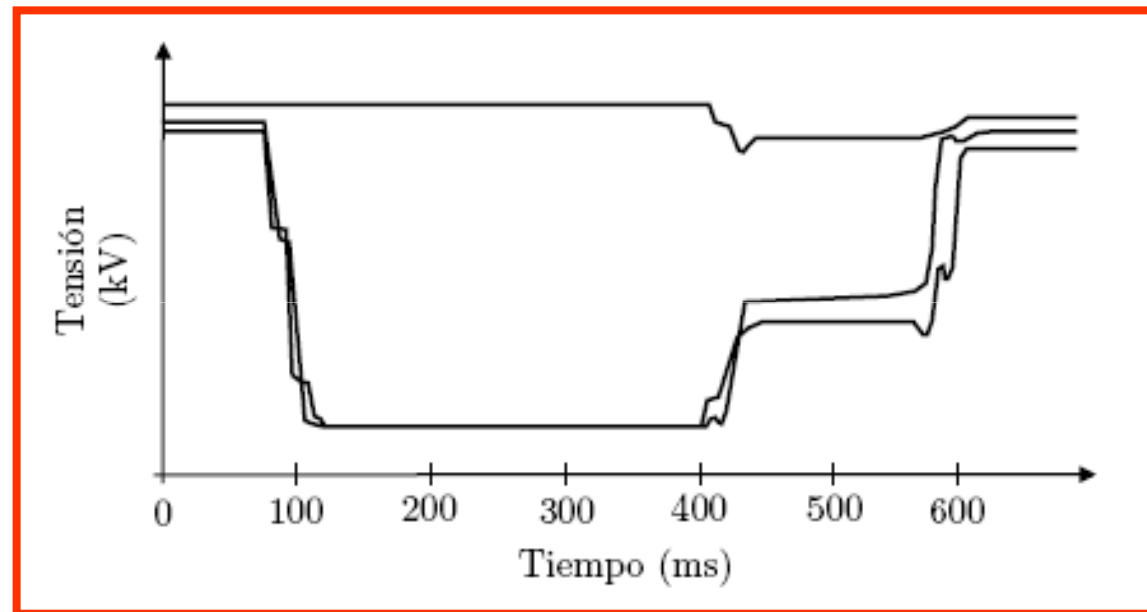
## Huecos de tensión debidos a la activación de transformadores



✚ La magnitud de tensión a la frecuencia fundamental cae por un breve espacio de tiempo y se recupera gradualmente a medida que la corriente de magnetización remite. **La mayor caída es aproximadamente de un 8% de la tensión nominal**, lo que significa que más que un hueco se trata de una fluctuación de tensión.

# Tipos de huecos de tensión

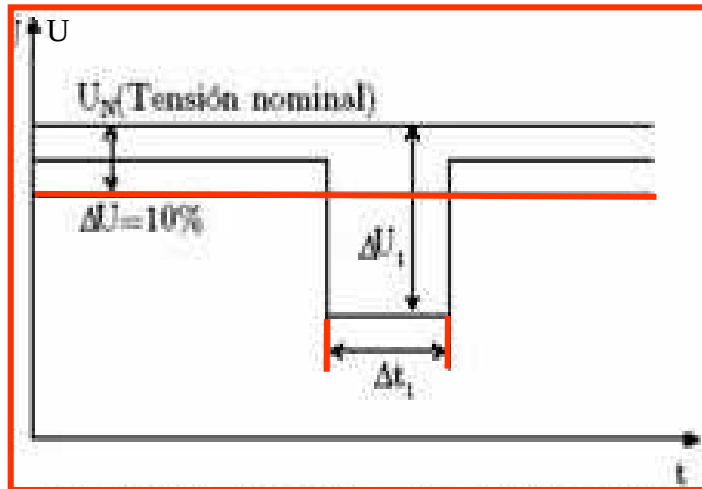
## Huecos de tensión multietapa



Los escalones pueden estar ocasionados tanto por cambios en la configuración del sistema mientras los dispositivos de protección intentan aislar la falta, como por cambios en la propia naturaleza de la falta.

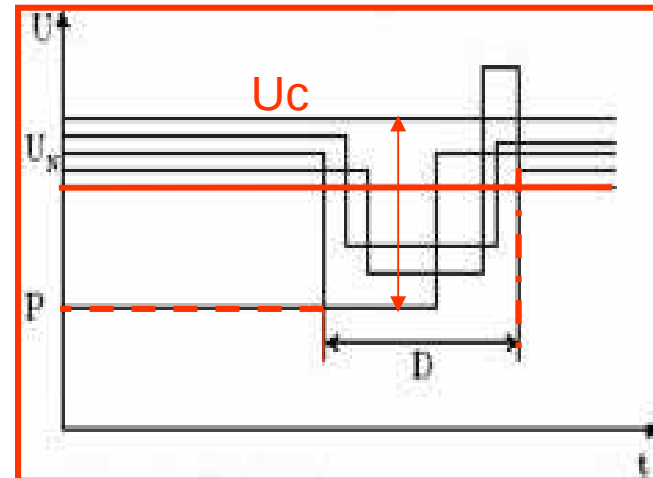
# Tipos de huecos de tensión

## Huecos de tensión simples y complejos



$\Delta U_1$  = Profundidad del hueco, en %  
 $\Delta t_1$  = Duración del hueco de tensión

**a) Hueco de tensión simple**



$P$  = Profundidad del hueco de tensión complejo  
 $D$  = Duración del hueco de tensión complejo

**b) Hueco de tensión complejo**

En muchas ocasiones, las perturbaciones asociadas a una determinada falta en la red, incluyen huecos de tensión que afectan a varias fases, así como sobretensiones. Todos estos fenómenos están relacionados con el mismo evento, de manera que se les considera como un único hueco de tensión que recibe el nombre de “*hueco complejo*”, para diferenciarlo de aquellos otros que sólo afectan a una fase.

# Efecto de las conexiones del transformador

✚ Para una falta en el sistema de distribución, el peor de los casos tiene lugar cuando dicha falta está cerca de la barra de la subestación. Su efecto es prácticamente el mismo que una falta en el primario del transformador del usuario. Las tensiones en las barras de los consumidores serán entonces función de las conexiones que presenten los transformadores de los usuarios.

| Conexiones del transformador | Tensión de línea |      |      |
|------------------------------|------------------|------|------|
|                              | Vab              | Vbc  | Vca  |
| Y-Y                          | 0,58             | 1    | 0,58 |
| D-D                          | 0,58             | 1    | 0,58 |
| Y-D                          | 0,33             | 0,88 | 0,88 |
| D-Y                          | 0,88             | 0,88 | 0,33 |

La magnitud de la menor tensión en el secundario del trafo depende de la relación:

$$\alpha = \frac{X_T}{X_T + X_S}$$

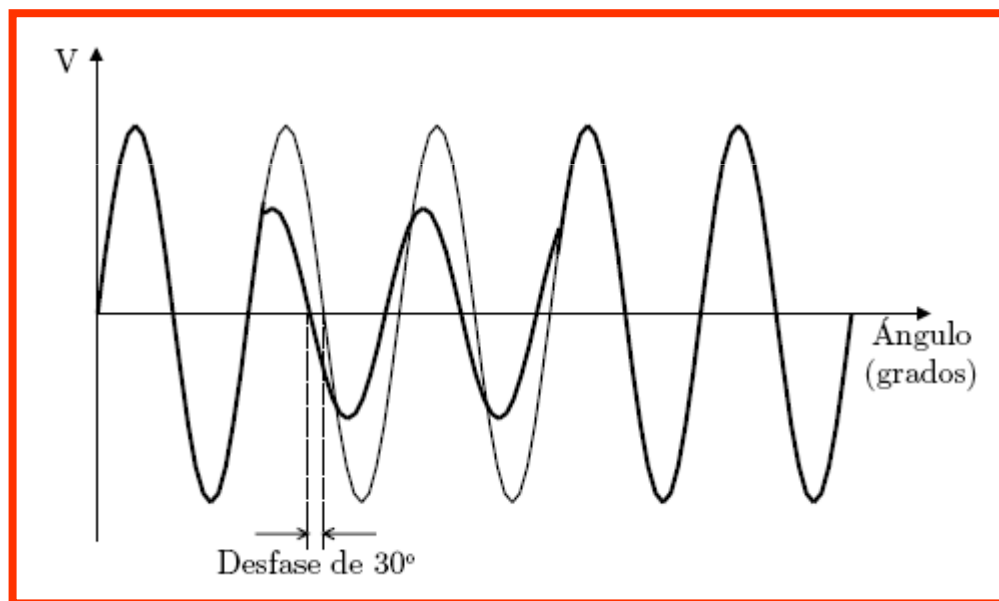
$$0 < \alpha < 1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_T = \text{Reactancia de cortocircuito del transformador.} \\ X_S = \text{Reactancia equivalente de la fuente.} \end{array} \right.$$

✚ Para la distribución de energía a nivel industrial, el ratio  $\alpha$  será, por lo general, muy próximo a la unidad. En la *tabla*, se dan las relaciones de las tensiones entre fases para  $\alpha=1$  y falta en el primario del transformador. Incluso con una falta L-T en el primario del transformador, el hueco de tensión en la barra del usuario no será inferior al 33% del valor nominal.

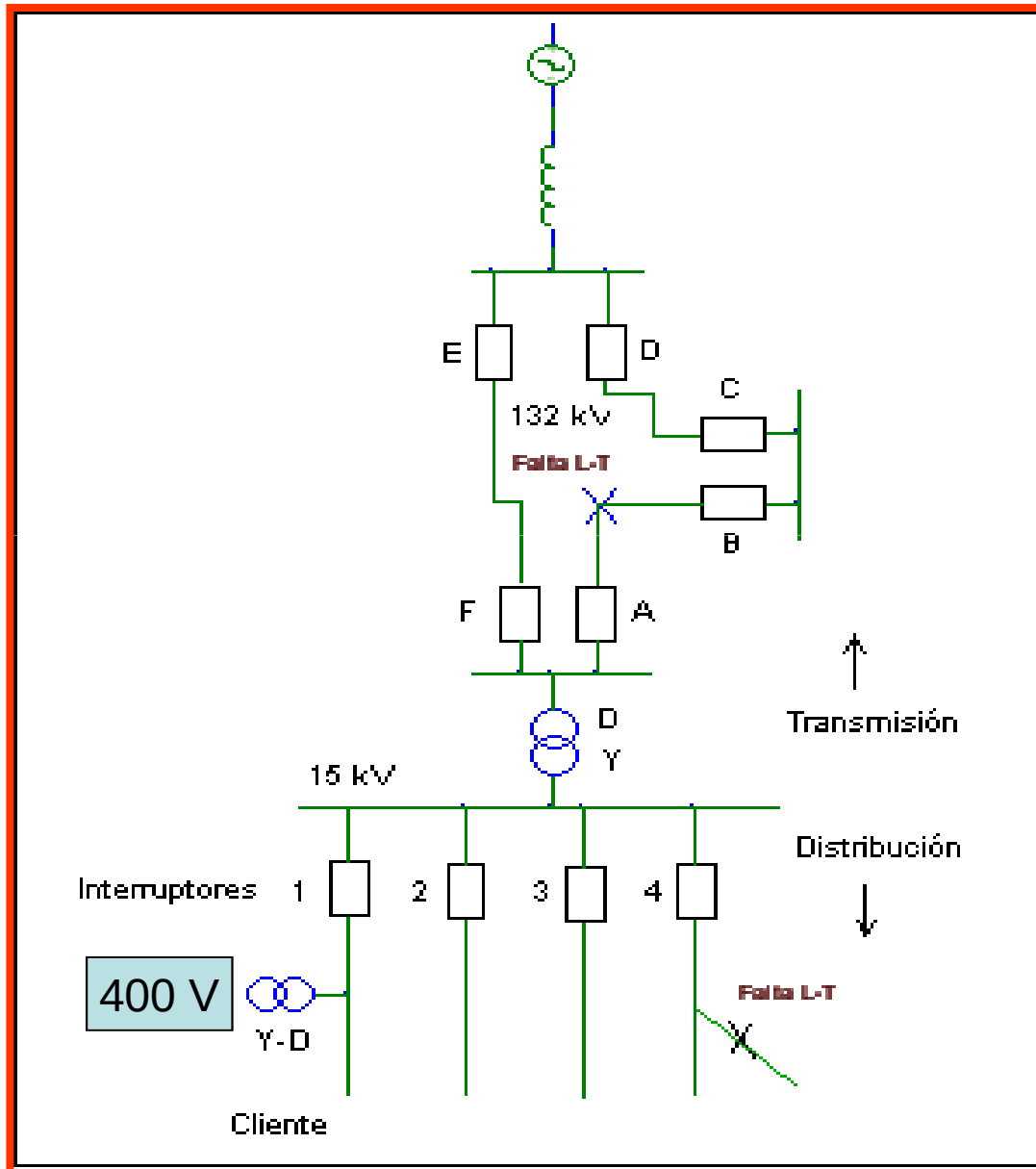
# Efecto de las conexiones del transformador

- ✚ El hueco de tensión se ve a menudo acompañado por un desplazamiento de fase. Existen dos motivos para esa diferencia de fase entre el estado de pre-falta y la falta propiamente dicha:
- ✚ La diferencia entre el cociente  $X/R$  de la fuente y de la línea que presenta la falta.
- ✚ La propagación de los huecos de tensión debidos a faltas L–T, a través de los transformadores.



En teoría, son posibles las diferencias de fase por encima de 90 grados aunque, en la práctica, **exceder los 45 grados resulta bastante improbable**. De hecho, **el desfase de 30 grados es el más común**, debido a las conexiones triángulo–estrella del transformador

## Causas de un posible fallo de los equipos



Si se produce una falta en alguno de los elementos de la red, el usuario experimentará un hueco de tensión durante el tiempo en que la falta esté realmente en la red

## Causas de un posible fallo de los equipos

Durante el tiempo en que dure la falta los equipos del usuario sufrirán los efectos de la misma y podrán dejar de funcionar o funcionarán mal. Es importante pues analizar los motivos por los que un equipo puede fallar.

- ✚ El equipo falla porque no existe suficiente tensión
- ✚ El equipo falla por errores en el circuito de monitorización
- ✚ El equipo falla por el error de un relé
- ✚ Un relé de actuación rápida detiene el sistema
- ✚ Un circuito de puesta a cero o reset del sistema puede funcionar incorrectamente al final de un hueco

## Sensibilidad del equipo frente a huecos de tensión

Los equipos incluidos en procesos de tipo industrial pueden resultar particularmente susceptibles a problemas con los huecos de tensión. La razón es que dichos equipos están interconectados y una parada de cualquier componente puede causar la parada de toda la planta industrial.

Por otro lado, existen cargas importantes que pueden a su vez sufrir el impacto de los mencionados huecos de tensión:

- + Motores, elementos de tipo calorífico y otras cargas trifásicas que pueden conectarse directamente a la barra de BT.**
- + Circuitos de control de la velocidad de motores y otros dispositivos propios de la electrónica de potencia**
- + El alumbrado a menudo utiliza conexiones monofásicas (fase–neutro).**
- + Dispositivos de control como computadores, contactores, y controladores lógicos programables (PLCs) están con frecuencia alimentados a través de transformadores monofásicos de control.**

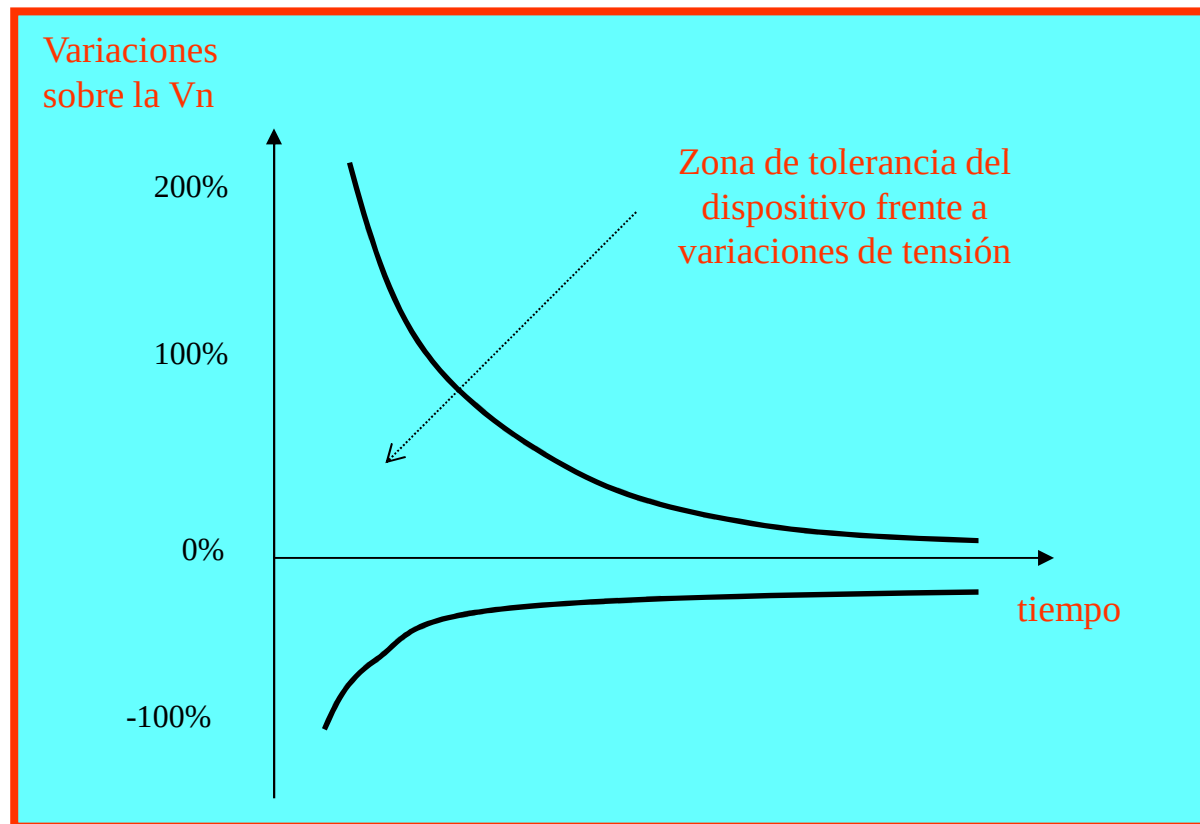


## Sensibilidad del equipo frente a huecos de tensión

- ✚ Las tensiones que se pueden medir durante un hueco de tensión dependerán de las conexiones del equipo industrial. A lo largo de una falta L–T en el primario del transformador, las tensiones de línea y de fase son muy diferentes. Algunas cargas monofásicas no se ven afectadas en estas condiciones, mientras que otras cargas del mismo tipo pueden fallar o funcionar mal, incluso aunque su sensibilidad frente a los huecos de tensión sea idéntica.
- ✚ Por otro lado, los desequilibrios de tensión tienen que ver con el posible calentamiento de los motores. Sin embargo, la duración de estos desequilibrios de tensión en una falta es tan breve que el calentamiento del motor no supone una preocupación significativa
- ✚ Diferentes categorías de equipos e incluso diferentes marcas de equipos dentro de una misma categoría presentan sensibilidades completamente diferentes a los huecos de tensión

## Sensibilidad del equipo frente a huecos de tensión

- ✚ El documento más parecido a una normativa es la curva CBEMA (*Computer Business Manufacturers Association*)
- ✚ La curva muestra que la sensibilidad de la carga depende de la duración del hueco.



## Sensibilidad del equipo frente a huecos de tensión

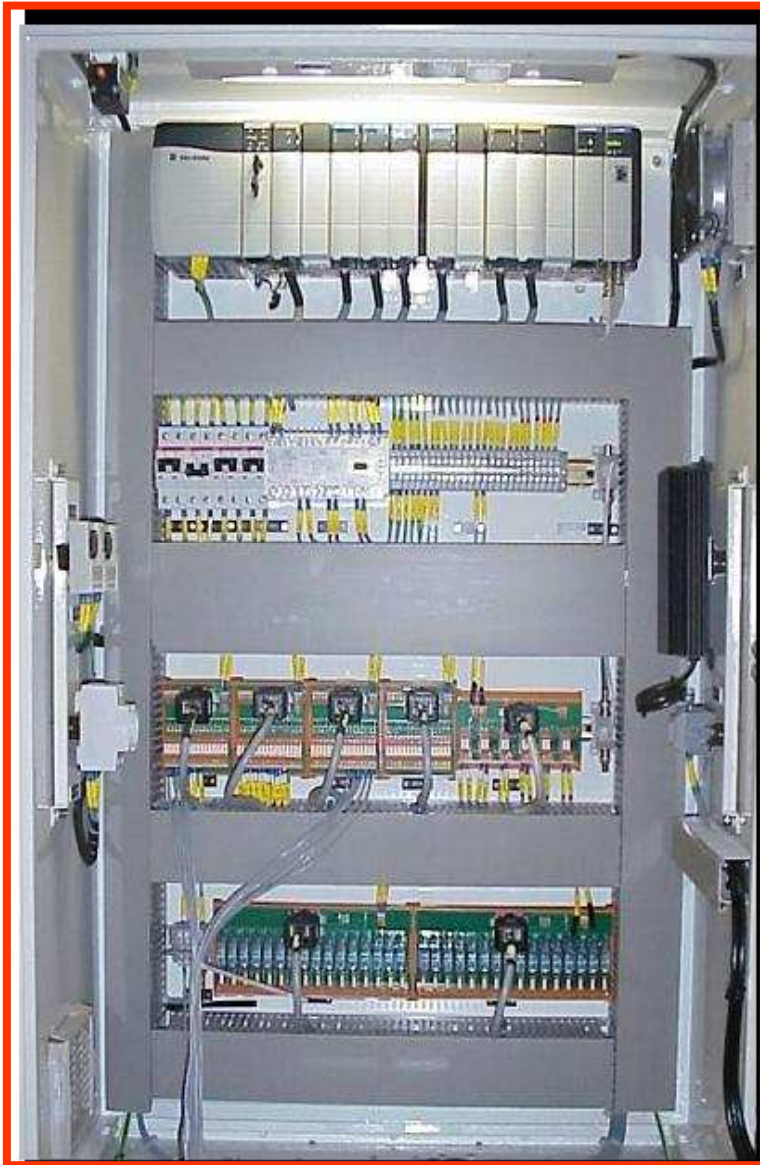
Mientras que los límites CBEMA sugieren una sensibilidad estándar a los huecos de tensión, los equipos actuales en plantas industriales presentan una gran variedad de características operacionales durante los huecos. Algunos ejemplos se citan a continuación:

✚ **Contactores y relés electromecánicos.** Constituyen a menudo el eslabón más débil del sistema. La resistencia de este tipo de dispositivos frente a un evento, depende no sólo del valor de la tensión o de la duración del propio evento, sino también del punto en la onda de tensión donde el hueco tenga lugar, siendo menor el efecto cuanto más cerca del pico se produzca

✚ **Las lámparas HID (*High-Intensity Discharge Lamps*), de mercurio, halógenas y de sodio (alta y baja presión),** se apagan con un valor de tensión alrededor del 80% del valor nominal, necesitando de un cierto tiempo para su recuperación

✚ **Circuitos de control de velocidad de motores (*Adjustable Speed Drives o ASD*).** Algunos de estos dispositivos están diseñados para funcionar en presencia de un hueco de tensión. El tiempo de funcionamiento frente a una condición de falta oscila entre los 0.05 y los 0.5 s, dependiendo del fabricante y del modelo

## Sensibilidad del equipo frente a huecos de tensión



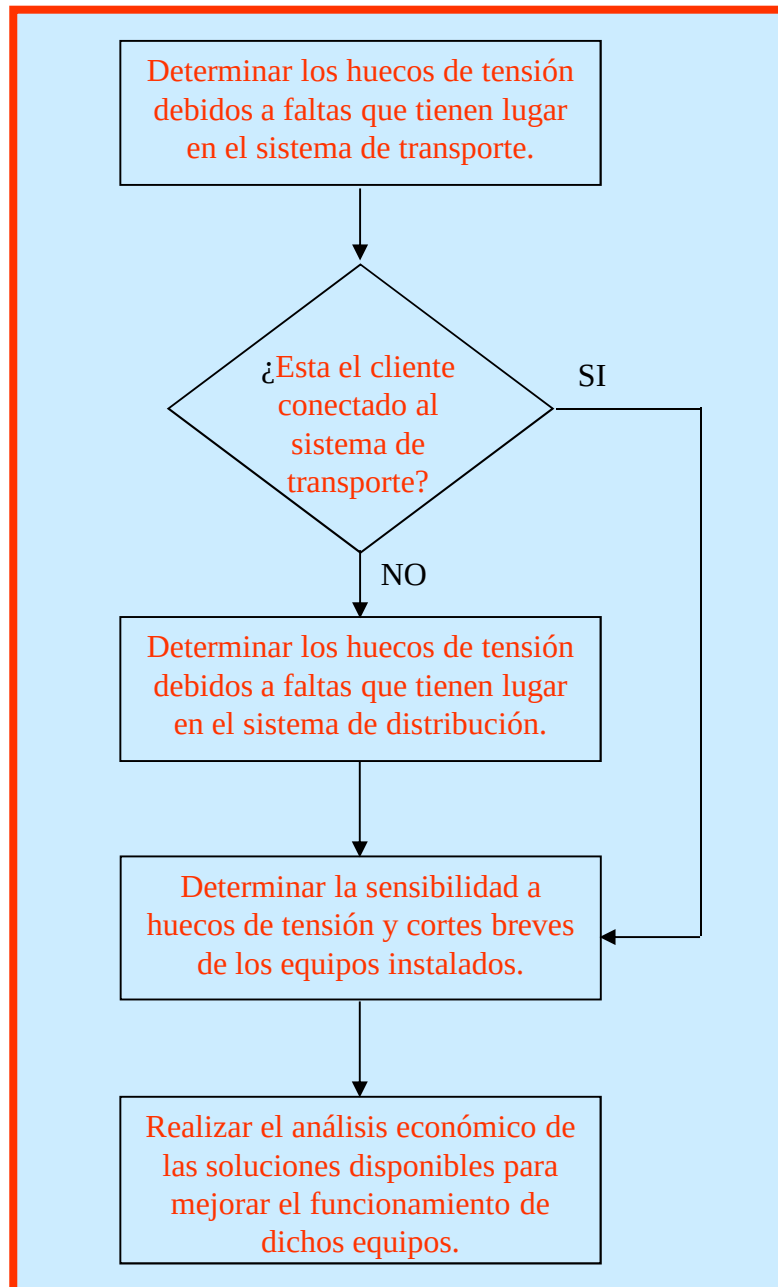
### + Controladores lógicos programables (*Programmable Logic Controllers o PLC*)

La sensibilidad a los huecos de tensión de unos a otros varía mucho, pero existen partes a lo largo del sistema PLC que se muestran extremadamente delicadas frente a estas perturbaciones. Las unidades I/O remotas pueden fallar para un valor de tensión igual o incluso superior al 90% del valor nominal (caída del 10% $U_n$ ) durante unos pocos ciclos.

### + Maquinas herramientas en general

Pueden resultar extremadamente sensibles frente a variaciones de tensión, tanto más cuanto más automatizadas (robotizadas) sean.

# Evaluación del funcionamiento del sistema de transporte



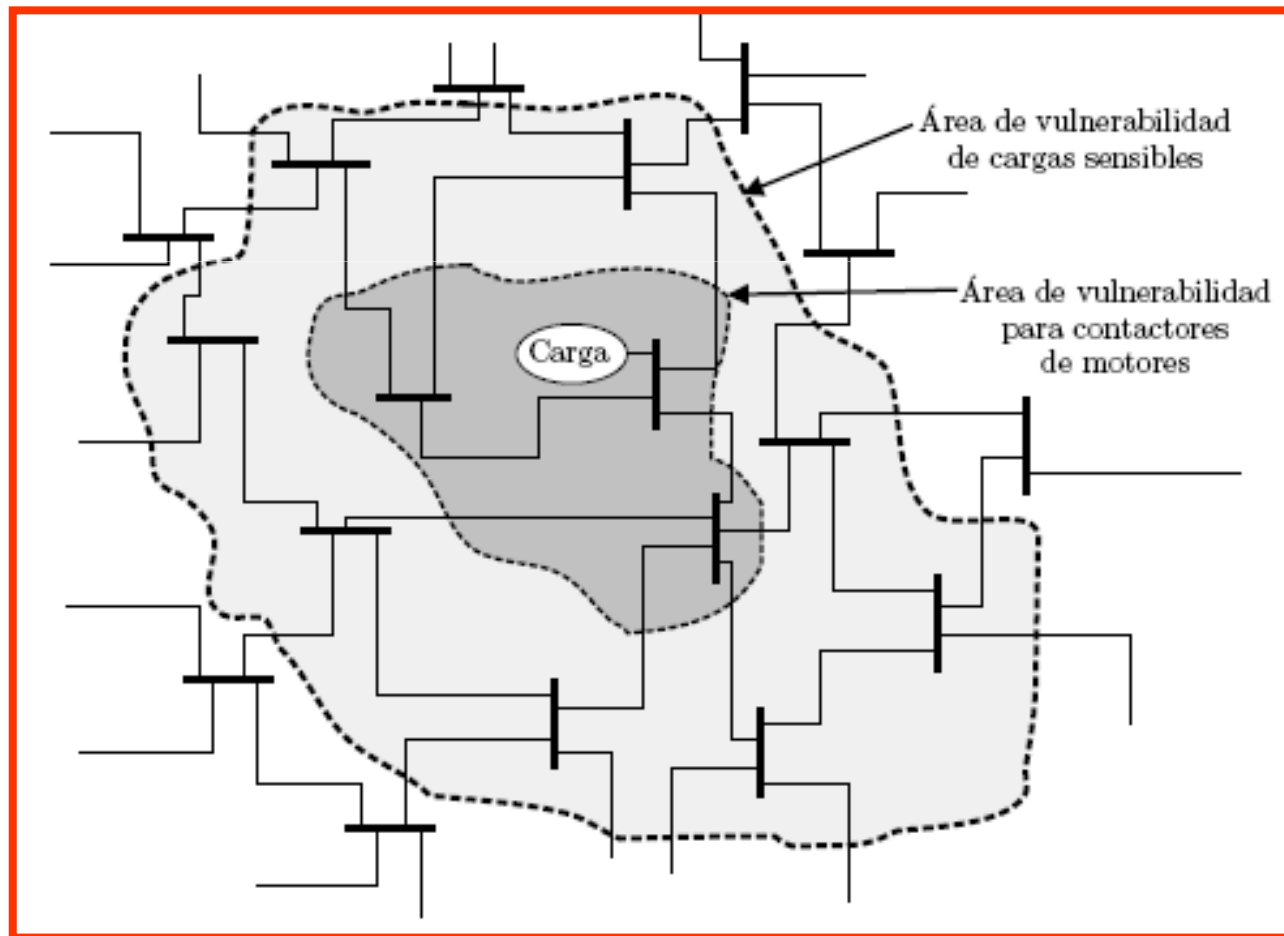
✚ Para aquellas plantas industriales alimentadas por sistemas de MT, es preciso determinar el número de huecos de tensión e interrupciones cortas esperadas que se deben a la aparición de faltas en el propio sistema de transporte.

# Evaluación del funcionamiento del sistema de transporte

- + Se puede llevar a cabo un procedimiento estándar para determinar el funcionamiento esperado.
- + Elaborar y mantener al día una tabla de datos acerca de la línea de transporte, que sirva como documento de referencia.
- + Realizar análisis de cortocircuito para determinar el área de vulnerabilidad correspondiente a huecos de tensión de diferente severidad.
- + Convertir los datos obtenidos del área de vulnerabilidad en la cantidad de eventos esperados por mes en la localización especificada
- + Realizar los cálculos anteriores para huecos de tensión de diferente severidad. El resultado puede presentarse en un histograma útil para el usuario final.

## Área de vulnerabilidad

✚ El concepto de área de vulnerabilidad ha sido desarrollado para ayudar a evaluar la posibilidad de hallarse subordinado a un hueco de tensión que suponga estar por debajo de un determinado valor crítico respecto a la tensión nominal.



# EFFECTOS QUE PRODUCEN

## MOTORES ASÍNCRONOS

### SOBRE EL ACCIONAMIENTO

En estos motores el par motor es aproximadamente proporcional al cuadrado de la tensión, cuando se produce un hueco de tensión da lugar a una **ralentización** -que se prolonga hasta que se recupera la tensión- o, incluso, a la propia parada del motor

*La mayor o menor sensibilidad de estos motores está, generalmente, vinculada con la carga accionada, y con la posibilidad de esta de admitir, o no, variaciones de velocidad.*

**En general, huecos menores de un 30% no originan parada, independientemente de cuál sea su duración**

**Si la profundidad del hueco supera el 30%, se producirá o no parada dependiendo de su duración y de la constante de inercia del motor**

**ESTE PROCESO TIENE LUGAR DE FORMA SIMULTÁNEA EN TODOS LOS MOTORES DE LA INTALACIÓN INDUSTRIAL AFECTADA POR EL HUECO. SI LA DURACIÓN DEL HUECO ES MAYOR DE 1 s > I<sub>reaceleración</sub>. = I<sub>arranque</sub>**

### SOBRE EL CONTROL

#### MEDIANTE CONTACTORES EN ALTERNA.

En su variante más simple y extendida, al poner en marcha el motor, se actúa sobre un contactor, que se autoalimenta. Si la tensión se sitúa por debajo de un cierto nivel durante el funcionamiento normal del motor, el contactor cae y es preciso reponerlo manualmente

#### MEDIANTE INTERRUPTORES Y RELÉS DE MÍNIMA TENSIÓN.

Para evitar que tenga lugar el arranque de toda la instalación cuando vuelve la tensión tras un cero, se suele dotar a ésta de relés de mínima tensión o de bobinas de tensión nula, que desconectan motores en función de la profundidad y duración del hueco



# EFFECTOS QUE PRODUCEN

## MOTORES ASÍNCRONOS

*Una buena parte de la carga correspondiente a una instalación industrial determinada está constituida por motores asíncronos. Cuando se produce una disminución abrupta de la tensión en el punto de alimentación, tiene lugar, a grandes rasgos el siguiente proceso:*

1.- En un primer instante, los motores asíncronos tienden a “mantener” la tensión en sus barras, funcionando como generadores  
2.- Al no disponer de excitación independiente que permita mantener la tensión, ésta se reduce progresivamente, en algunas decenas de ms  
La tensión en las barras a las que se conectan estos motores cae por debajo de la que existe en el punto de conexión.

3.- Por otra parte, como la carga mantiene su par resistente, el motor se frena tanto más cuanto menor sea la inercia del conjunto motor-carga y cuanto más profundo sea el hueco de tensión (más difícil que el motor genere el par suficiente)

4.- Cuando se elimina la falta, la tensión se recupera, más o menos rápido, en el punto de conexión de la planta con la red. Sin embargo en otros niveles de tensión, y debido a la mayor energía reactiva que demandan los motores para reaccelerarse, la recuperación es más lenta, pudiendo superar en mucho el hueco inicial.

Las baterías de condensadores que, normalmente, se utilizan para compensar la potencia reactiva, demandada por estos motores, son de mucho menos utilidad, ya que, al reducirse la tensión, reducen de forma cuadrática el aporte de potencia reactiva.

El proceso en muchos casos se realimenta, ya que al reducirse la tensión los motores reacceleran más lentamente, demandan más reactiva y reducen aún más la tensión.

El proceso puede ser “grave” si, como resultado de una recuperación lenta de la tensión, algunos motores llegan a disparar por efecto de sus protecciones (generalmente de mínima tensión). En estos casos, la tensión tiende a recuperarse rápidamente, pero el proceso productivo puede quedar interrumpido. En algunos casos, esta pérdida abrupta de carga, puede inclusive provocar sobretensiones peligrosas.

*La única forma de evitar este efecto de “amplificación” en la duración y profundidad de los huecos de tensión es la de sobredimensionar la instalación, de modo que, durante la reacceleración, aunque exista una mayor demanda de potencia reactiva, esta no ocasione caídas de tensión elevadas. Normalmente, esto supone aumentar, bastante, la relación: Potencia instalada en transformación / máxima demanda esperada*

# EFFECTOS QUE PRODUCEN

## MOTORES SÍNCRONOS

### SOBRE EL ACCIONAMIENTO

En estos motores el par motor es proporcional a la tensión, cuando se produce un hueco de tensión da lugar a una disminución del par motor y, si su duración es elevada y la inercia del motor pequeña, puede hacer que el motor pierda su sincronismo

A menos que el hueco supere el 50%, dada la gran masa inerte que normalmente poseen los motores síncronos y sus posibilidades de sobreexcitación, es poco probable que el motor pierda el sincronismo

### SOBRE EL CONTROL

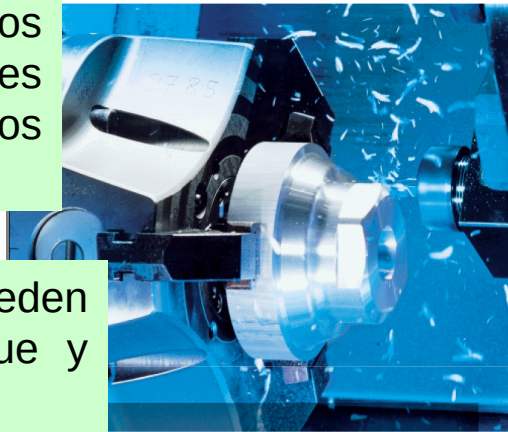
Estos motores suelen disponer de interruptor y relé de mínima tensión y, por lo tanto, son aplicables las mismas consideraciones expuestas en los motores asíncronos

En interrupciones cortas, tendría lugar la parada del motor

# Efectos de los huecos de tensión sobre los drives

Los “drives” modernos utilizados para el accionamiento de motores eléctricos son muy sensibles a los huecos de tensión.

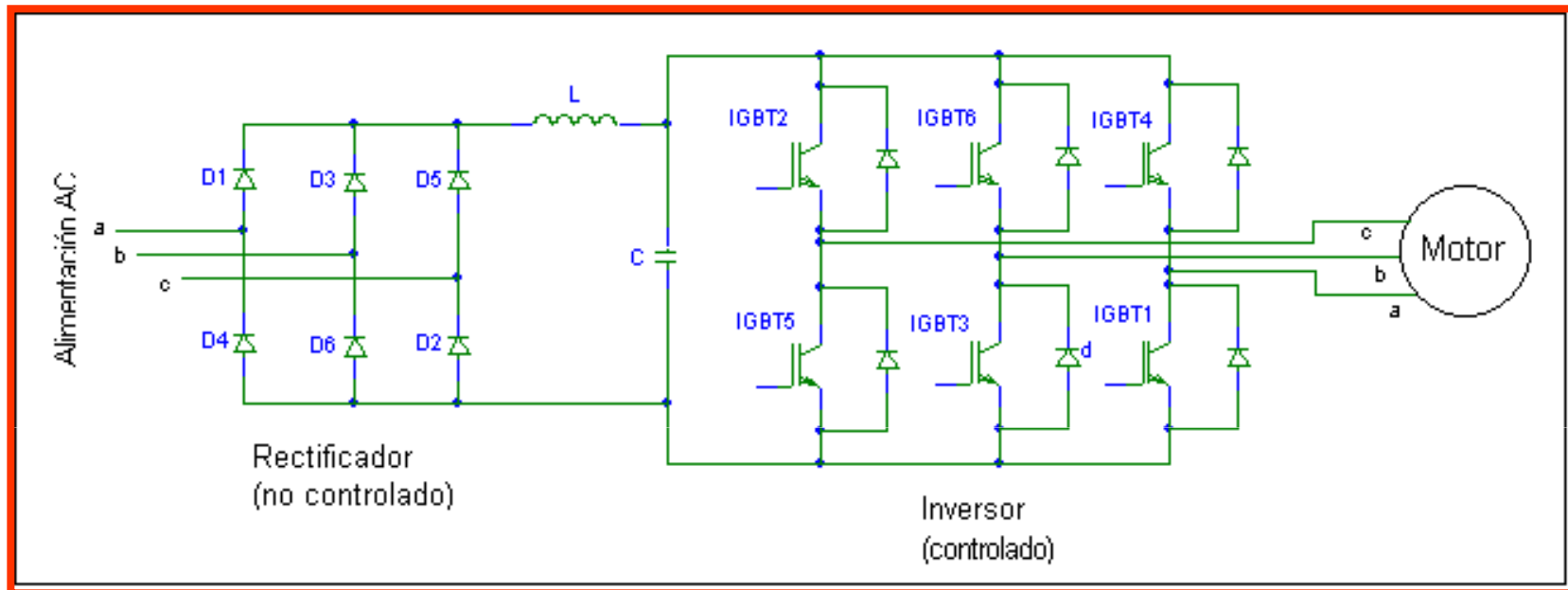
Entre sus inconvenientes se pueden citar los retrasos de re-arranque y pérdidas de producción.



Una cuestión importante a tener en cuenta es si el proceso requiere que el motor gire a una velocidad constante, o si el proceso acepta una reducción de velocidad

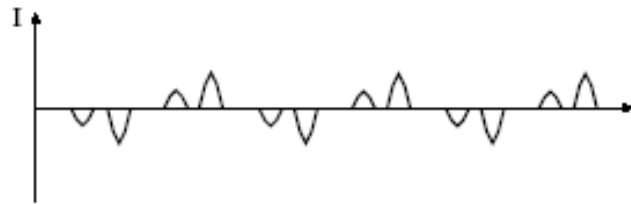
La fabricación automatizada y las máquinas herramientas son más sensibles que otro tipo de aplicaciones.

## Circuitos de control de velocidad de motores de alterna

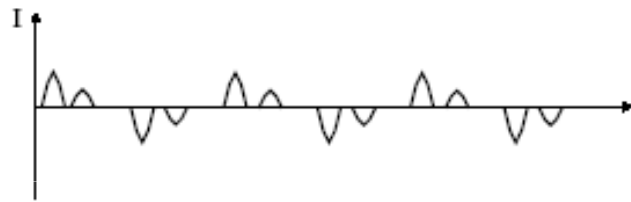


El desequilibrio temporal en la tensión de alimentación durante un hueco, puede conducir a un mal funcionamiento del *AC Adjustable Speed Drive* o ASD o a una actuación de los dispositivos de protección (ya sean programados o ya sean físicos, como los fusibles) a causa de un excesivo desequilibrio de corriente en la línea lateral del circuito de control.

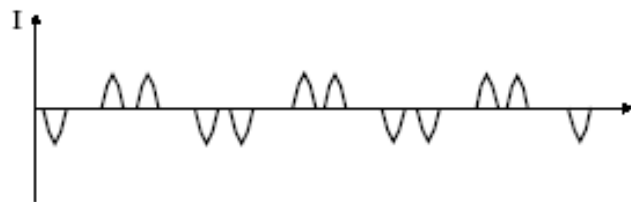
## Circuitos de control de velocidad de motores de alterna



(a) Corriente en la fase A

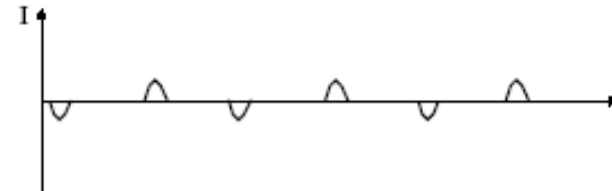


(b) Corriente en la fase B



(c) Corriente en la fase C

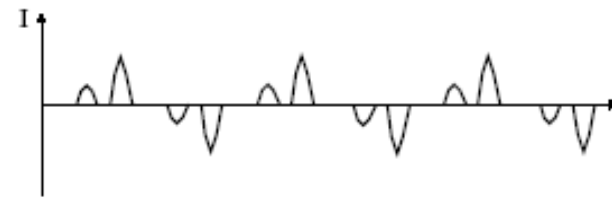
Cuando la tensión de entrada está equilibrada, la corriente conducida por la etapa de rectificación de un ASD presenta, por lo general, dos pulsos tal y como se muestra en la *figura*



(a) Corriente en la fase A



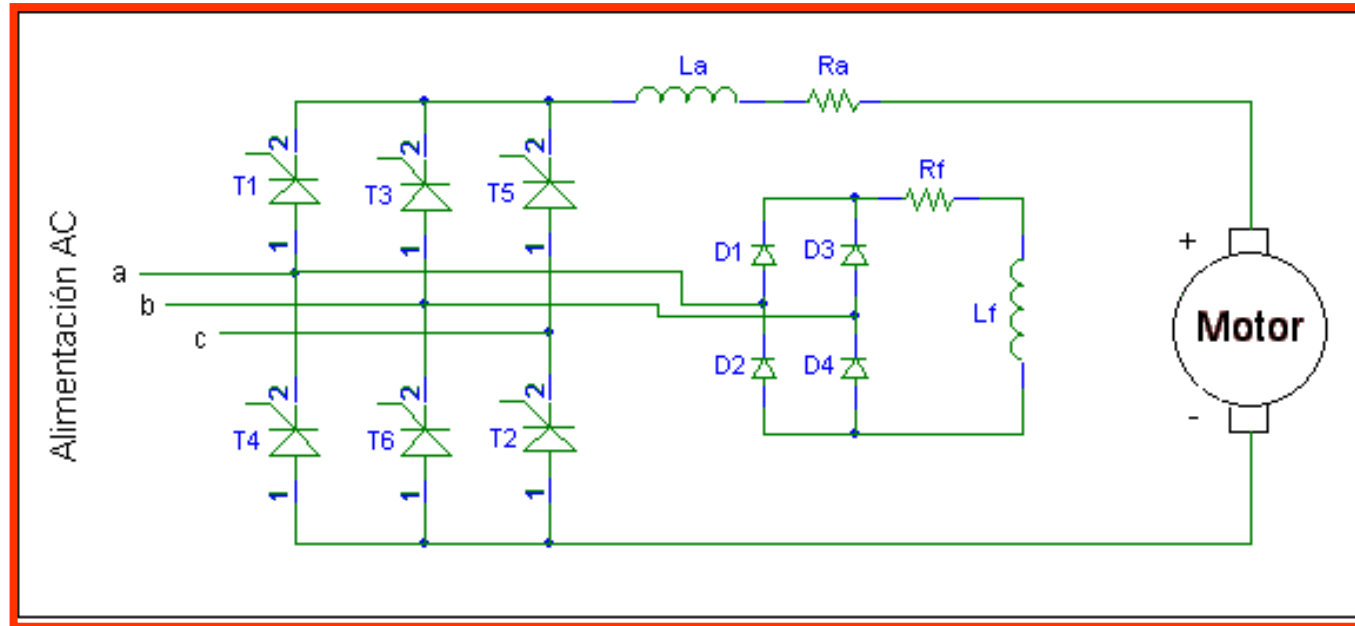
(b) Corriente en la fase B



(c) Corriente en la fase C

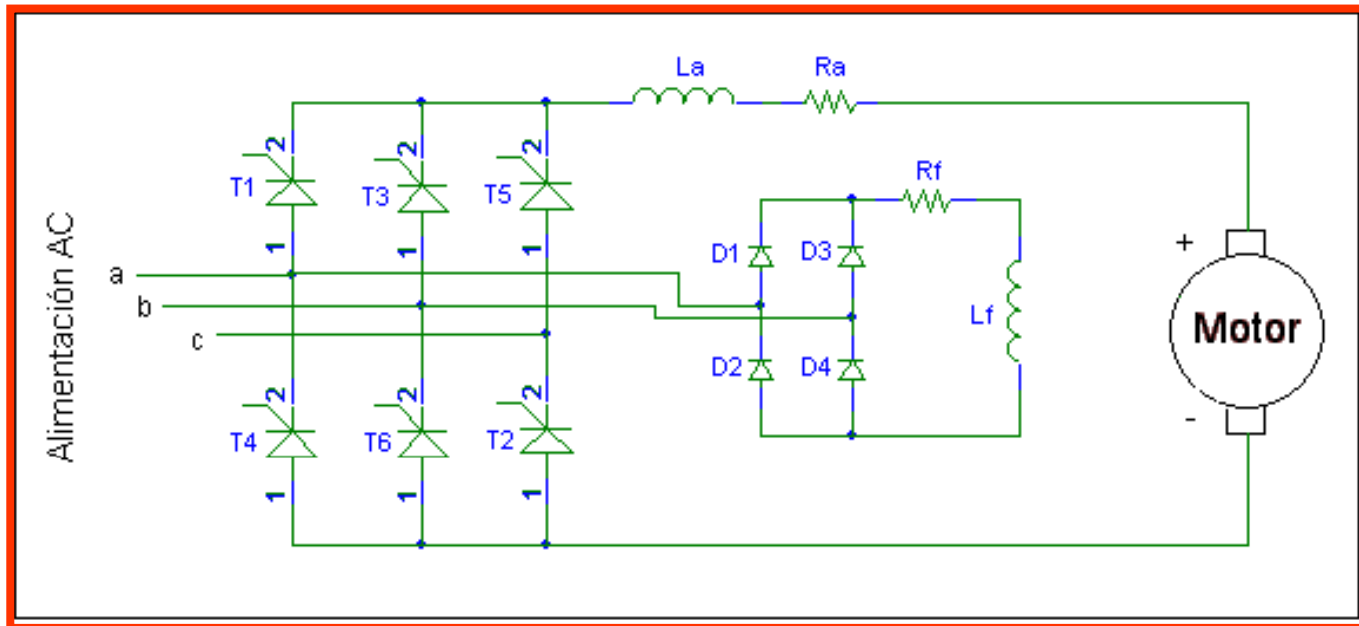
La *figura*, muestra la corriente de fase para un desequilibrio de tensión del 3%. La corriente que circula por la fase b presenta un valor de pico muy elevado.

## Circuitos de control de velocidad de motores de continua



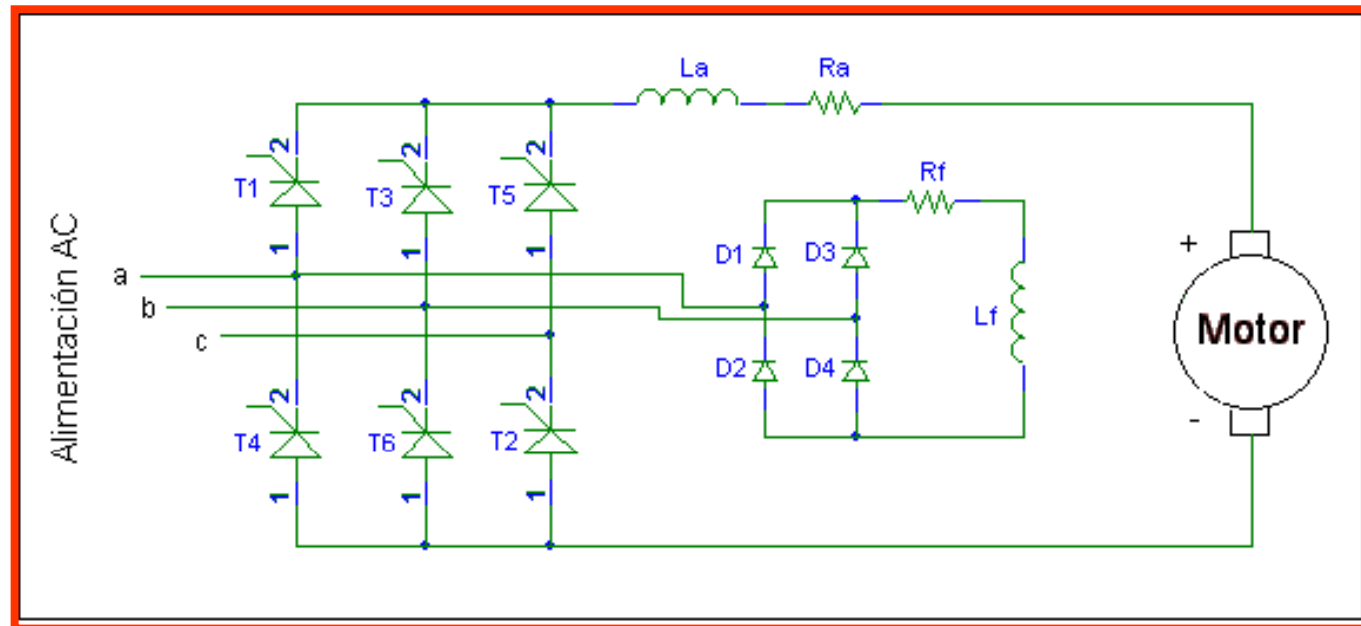
✚ Durante un hueco de tipo asimétrico el salto de fase, y/o la discontinuidad en la forma de onda, puede engañar al dispositivo de control y provocar la pérdida de sincronización con la fuente. Por lo general, el circuito de control digital de lazo por seguimiento de fase (PLL) puede mantener la sincronización durante un breve periodo de tiempo; el hueco a menudo remite en unos pocos ciclos. Sin embargo, también resulta muy frecuente que el dispositivo experimente una confusión en su circuito de temporización.

## Circuitos de control de velocidad de motores de continua



⚡ Algunos ASD desactivan inicialmente el disparo de los SCR durante la anomalía. Otras veces, el salto de fase ocasiona un fallo en el circuito de detección de fase y, consecuentemente, del dispositivo en su conjunto. En un caso extremo, el detector de la secuencia de fase puede percibir una inversión de la secuencia de fases de la fuente y proceder al disparo de los SCR en una secuencia incorrecta. En esta situación, el ASD fallará como consecuencia de una sobrecorriente o bien los fusibles se quemarán.

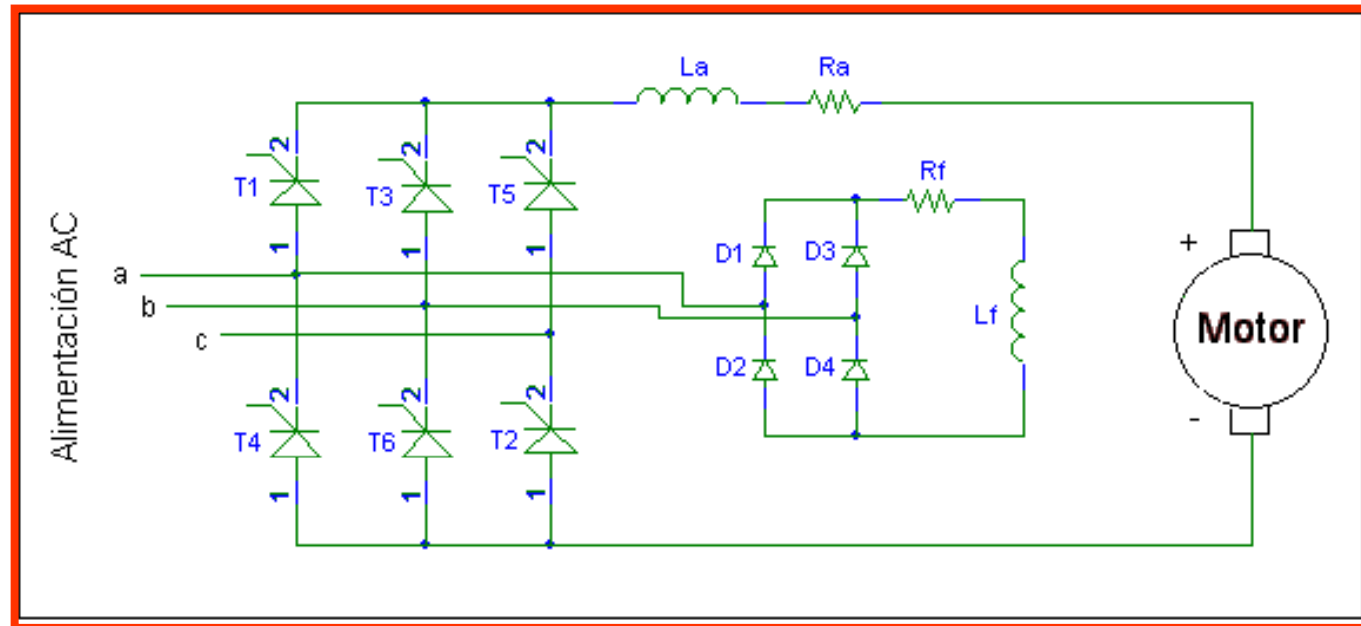
## Circuitos de control de velocidad de motores de continua



✚ Los variadores de c.c. son particularmente vulnerables cuando operan en modo regenerativo. Cuando el motor está alimentado por un puente de rectificación controlada, con inversión de marcha mediante frenado por recuperación, se pueden producir problemas importantes. En tal caso, si se quiere cambiar el sentido de giro del motor, hay que actuar sobre la intensidad de alimentación y la corriente de excitación.



## Circuitos de control de velocidad de motores de continua



✚ El comportamiento de un inversor de conmutación forzada depende del valor de la tensión en la barra donde han de conmutar los tiristores. Si resulta que ese valor de tensión se atenúa como consecuencia de la aparición de un hueco, puede que no exista tensión suficiente para conmutar uno o más SCR's. Entonces, cuando se dispara otro SCR, se produce un cortocircuito entre dos ramas del puente, a través de ambos SCR's.

## EFECTOS QUE PRODUCEN

### SISTEMAS DE CONTROL

El control electrónico de procesos actúa en tiempo real. Por consiguiente, los huecos de tensión y las interrupciones cortas pueden producir en ellos órdenes erróneas que alteren el funcionamiento de estos sistemas.

## EFFECTOS QUE PRODUCEN

### ORDENADORES

Tanto los ordenadores que realizan funciones administrativas, como los de vigilancia y control de procesos industriales, son sensibles a los huecos de tensión, que pueden ocasionar en ellos pérdida de información o interpretación errónea de órdenes

# EFFECTOS QUE PRODUCEN

## EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE PRODUCCIÓN

*La evaluación de las pérdidas de producción ocasionadas principalmente a los usuarios industriales, pueden ser de muy diversa magnitud, dependiendo del proceso productivo que se vea afectado . A continuación se presentan cuatro procesos industriales como ejemplos de procesos productivos que se han visto realmente perjudicados por los efectos de huecos de tensión*

### PLANTAS CON PROCESOS DE FABRICACIÓN CONTINUOS,

como papeleras, laminadoras, rotativas de prensa escrita, etc. La variación de velocidad y/o parada independiente de los motores que mueven este tipo de procesos continuos, pueden provocar la ruptura de la cinta de papel o lámina en general, ocasionando la pérdida del material en procesos, así como de tiempo de producción hasta el re arranque del proceso

### FACTORÍAS DE SEMICONDUCTORES

Este tipo de plantas, se ven afectadas debido a la alta sensibilidad que tienen los equipos existentes en las “salas limpias” de producción, provocando perturbaciones en estos equipo y ocasionando daños importantes en la mayoría de los casos, como la pérdida completa de la producción de obleas.

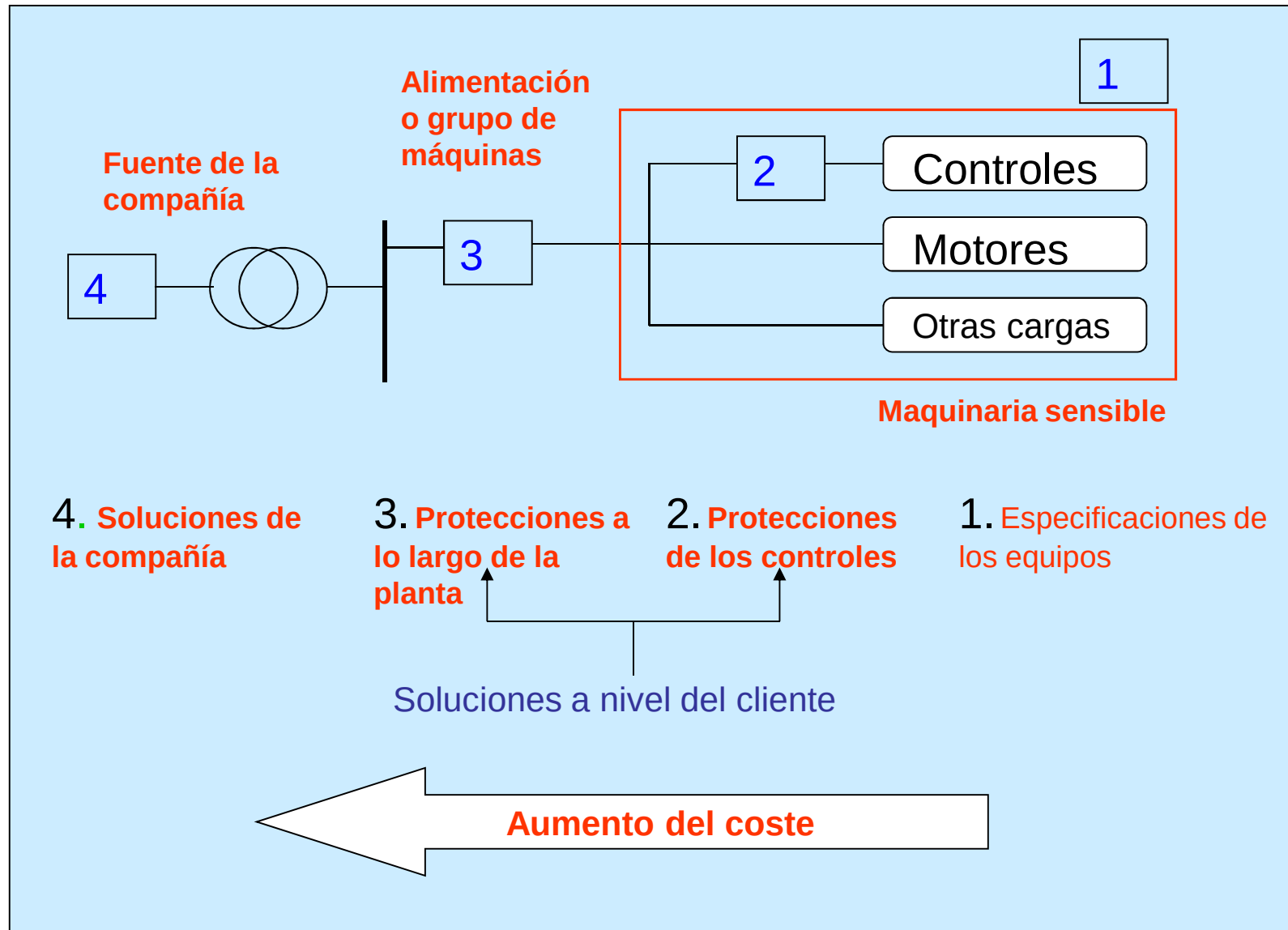
### CEMENTERAS

Los efectos sobre el sistema de control del proceso de fabricación de cemento, producen interrupciones en la producción, bajando el rendimiento de la planta

### INDUSTRIAS CERÁMICAS

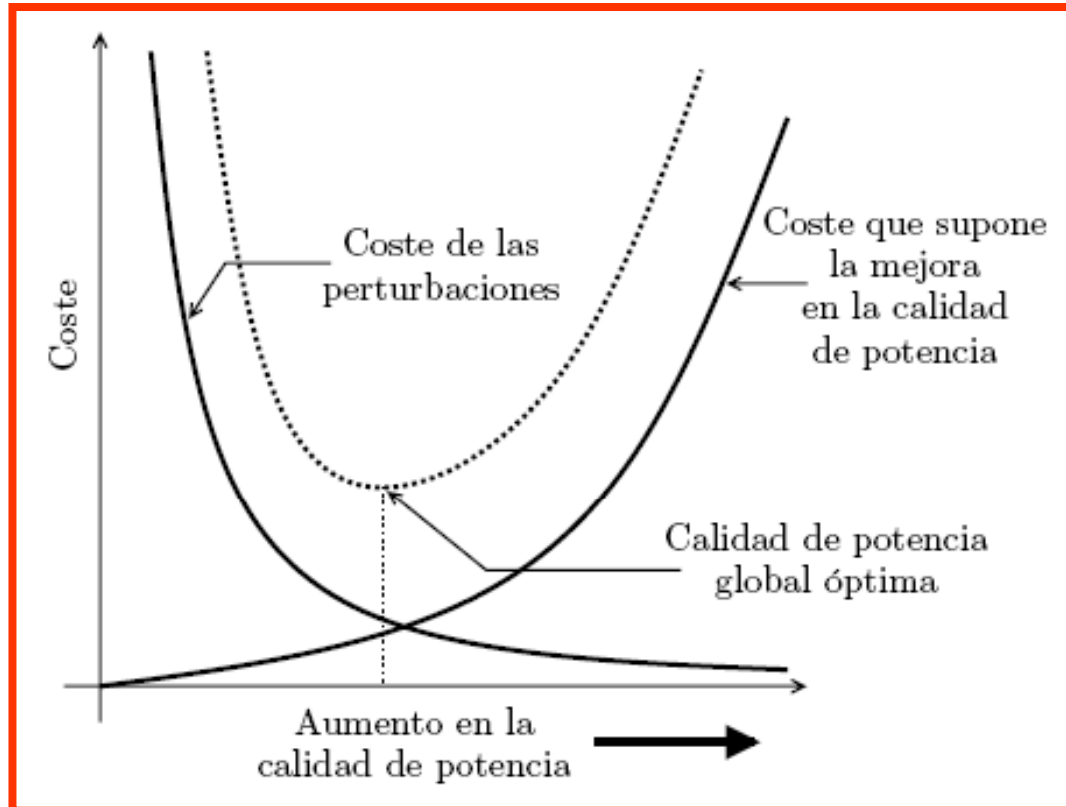
Pueden sufrir parada en los hornos, Molinos y atomizadores, que supongan paradas del proceso productivo

# ACCIONES DE PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN



# ACCIONES DE PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN

## Costes asociados



Existen varios costes asociados a la hora de combatir los efectos de huecos de tensión e interrupciones breves:

- ✚ Costes asociados al impacto del hueco de tensión en los procesos del cliente
- ✚ Costes que afectan a toda la sociedad (pérdidas en inversiones, empleo, etc.).
- ✚ Coste a la hora de mejorar el funcionamiento y fiabilidad del sistema de suministro eléctrico.
- ✚ Coste que suponen las mejoras en la inmunidad de los equipos involucrados en las plantas industriales del consumidor.

# ACCIONES DE PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN

## Instalaciones Industriales

### INSTALACIÓN EN FUNCIONAMIENTO

#### 1º DOCUMENTAR EL PROBLEMA

Obtener información sobre:

- El instante en que ocurren las perturbaciones y su correlación con faltas en la red de suministro o en las instalaciones del usuario.
- Tipo de perturbación interna que se produce
- Registro de perturbaciones, a fin de identificar las faltas que originan los huecos y su duración.
- Pérdidas de producción o de otro tipo
- Grado de insensibilización

\* A partir de los datos anteriores, se ha de evaluar la situación y definir las medidas que pueden adoptar la empresa suministradora y el cliente

### INSTALACIÓN NUEVA



Deberá hacerse un estudio previo para la elección del punto de conexión más apropiado y decidir las características de la instalación

# MEDIDAS QUE PUEDE ADOPTAR LA EMPRESA SUMINISTRADORA

## REDUCIR EL NÚMERO DE HUECOS

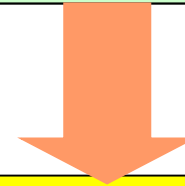
- Actuando sobre las instalaciones en las zonas con alto índice de faltas

- Comprobando que los sistemas de protección contra sobretensiones atmosféricas son adecuados

\* Reducir la duración de los huecos comprobando que los tiempos de eliminación de faltas son normales

\* Operar el sistema separando, si es posible, el punto de conexión del usuario sensible, de las zonas que están muy expuestas a faltas; p.e. usando transformadores independientes

## ELEVAR LA POTENCIA DE CORTOCIRCUITO DE LA ZONA

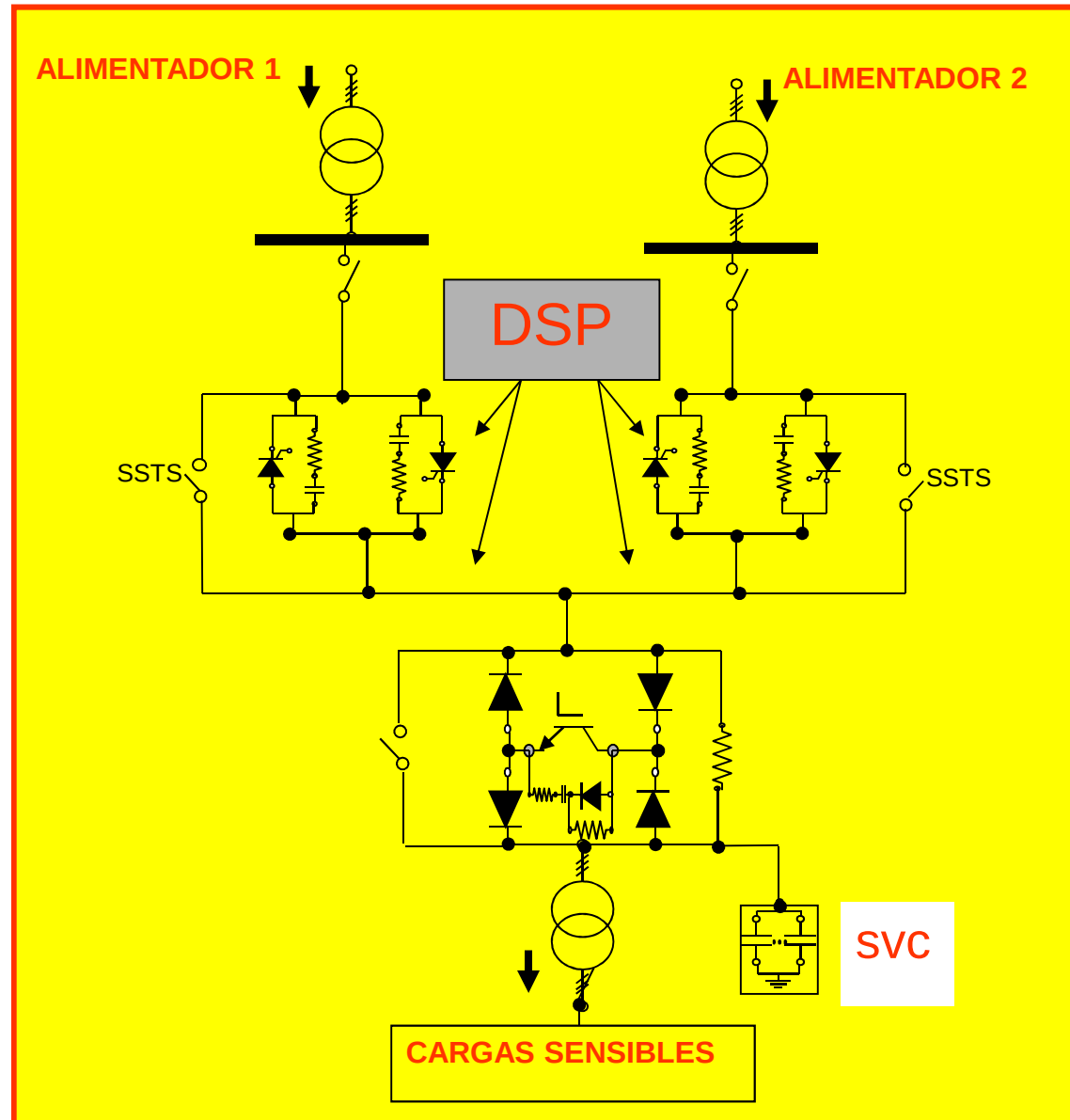


Con ello se consigue disminuir el área de influencia de la falta, reduciendo así el número y profundidad de los huecos



# ACCIONES DE PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN

## Alimentación de reserva



# ACCIONES DE PREVENCIÓN Y CORRECCIÓN

## Dispositivos correctores

MPD1

- ✚ UPS (*Uninterruptible Power Supply*:  
Sistema de Alimentación Ininterrumpida o SAI) {
  - ✚ En línea
  - ✚ En estado de espera}  $t \geq 15m$
- ✚ SSD (*Superconducting Storage Device*) ► Interrupciones  $t < 2\text{ s}$
- ✚ SSTS (*Solid State Transfer Switch*)
- ✚ UPFC (*Unified Power Flow Controller*)
- ✚ Sintetizadores magnéticos
- ✚ Grupos motor–generador
- ✚ UPS rotativos
- ✚ PQVR (*Power Quality Voltage Regulator*)
- ✚ PQIVR (*Power Quality Industrial Voltage Regulator*)
- ✚ Sistemas de almacenamiento de energía basados en tecnología SMES
- ✚ Compensadores de huecos de tensión (monofásicos y trifásicos) DynaCOM,
- ✚ Conmutador mecánico de transferencia de alta velocidad FasTran 25
- ✚ DySC (*Dynamic Sag Corrector*) , etc.

## Diapositiva 73

---

**MPD1**

Manuel Perez Donsion; 23/11/2006

# MEDIDAS DE INMUNIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES

LA INMUNIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN, DADO SU ELEVADO COSTE, ES NECESARIO VALORAR SU IDONEIDAD CASO POR CASO

\* Para duraciones inferiores a 1 s, es económicamente viable, ya que afecta principalmente a los sistemas de control con potencias moderadas

• Para los huecos superiores a 1 s y las interrupciones cortas que pueden afectar a una elevada potencia, es mucho más costosa. Sólo se justifica económicamente en aquellas partes de la instalación que tienen potencia reducida y cuya permanencia es de gran importancia, como, por ejemplo, los centros de proceso de cálculo y sistemas de control

SE HACE PRECISO ANALIZAR LOS MEDIOS DE INMUNIZACIÓN MÁS COMUNES

# MEDIDAS QUE SE PUEDE ADOPTAR EN LAS PLANTAS INDUSTRIALES

\* Si posee una fuente de generación propia:

\* Reducir en lo posible el tiempo de eliminación de las faltas

\* Prever que el sistema de protecciones soporte la reaceleración

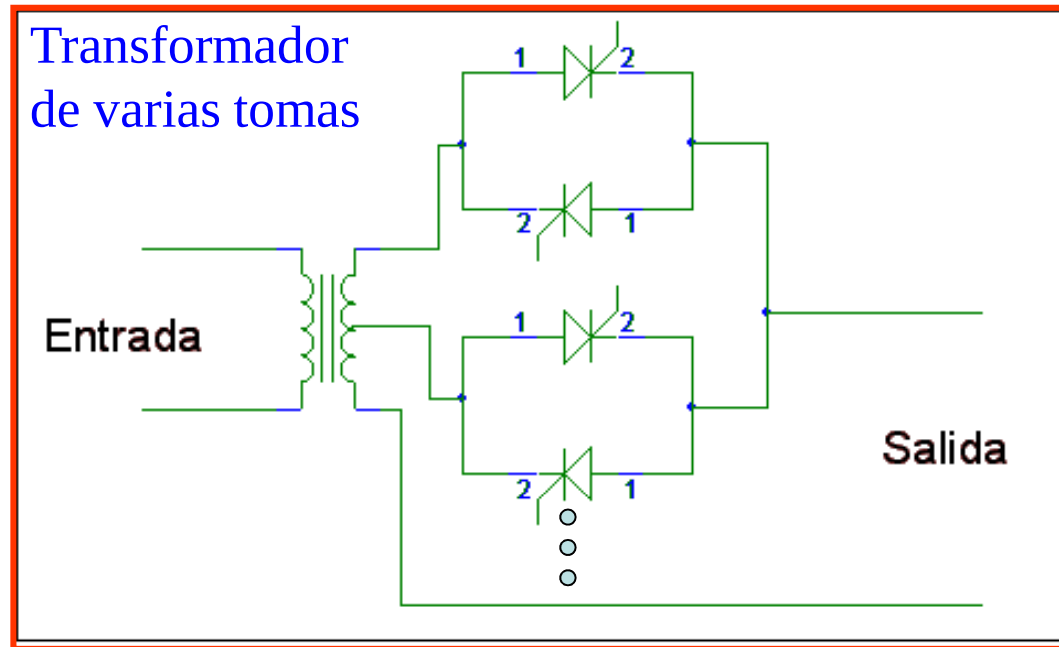
- Disponer los servicios prioritarios sobre la barra que, desde el punto de vista eléctrico, esté más próximo a ella. Se consigue así disminuir la profundidad de los huecos

\* Conmutar a un suministro alternativo. Se produce un paso por cero que se puede inmunizar. Tiene la ventaja adicional de hacer frente a las interrupciones cortas

- Prever sistemas de desacoplamiento de consumos prioritarios sobre la generación propia en caso de perturbación. Esto puede reducir la duración de los huecos, si bien conlleva los riesgos asociados al aislamiento de la planta

\* Inmunizar la instalación

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



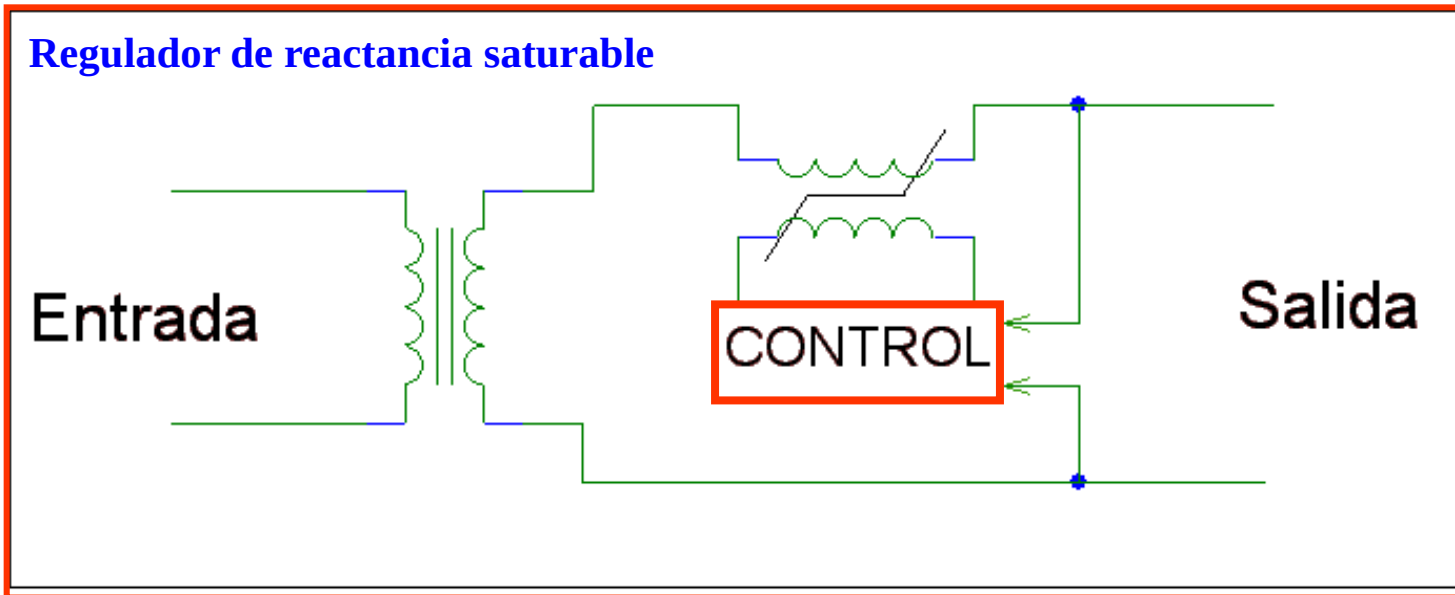
## INCONVENIENTES:

- ✓ Es sensible a los transitorios de corriente elevada
- ✓ Bajo rechazo a los transitorios de tensión
- ✓ Proporcionan baja protección a huecos profundos
- ✓ No corrigen los desplazamientos de fase

✚ Esta solución presenta un tiempo de respuesta razonable (un ciclo) y se usa frecuentemente en aplicaciones de media potencia ( $> 1\text{kVA}$ ).

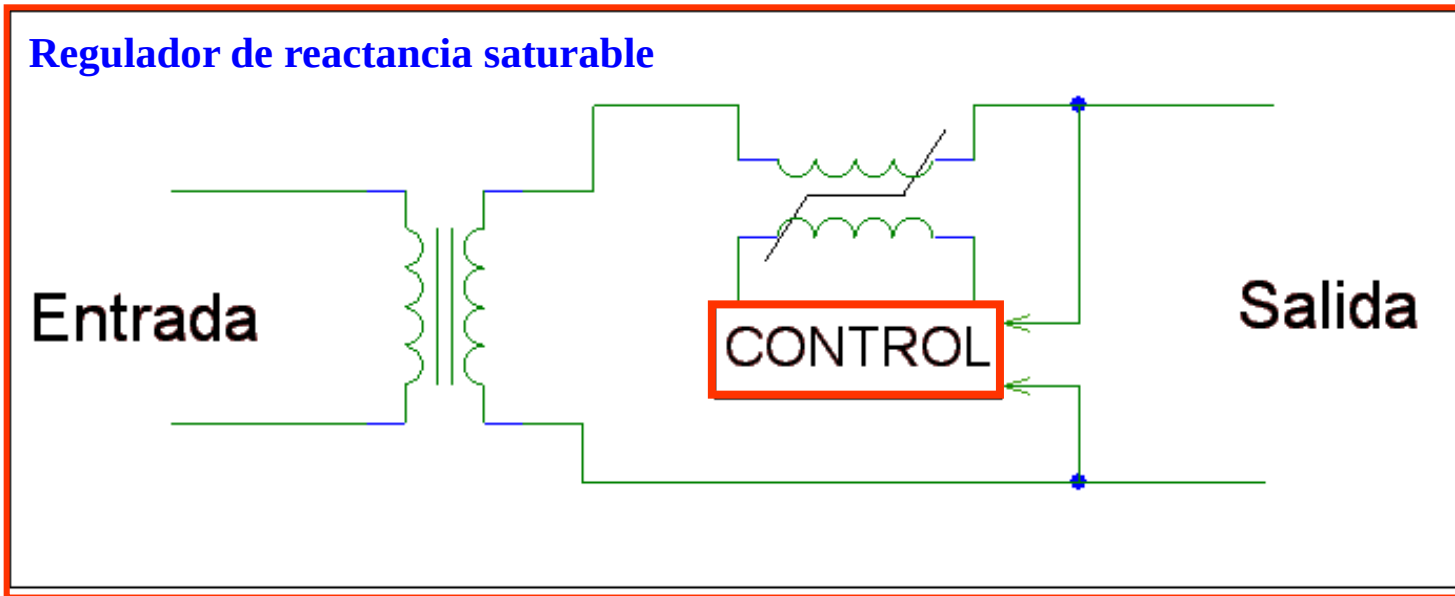
✚ Sin embargo, si se desea un control de altas prestaciones se requiere un gran número de tiristores (60 SCRs para un  $\pm 3\%$  de regulación con un rango de entrada de  $+10\% / -20\%$ ). Como resultado, el control de respuesta rápida resulta bastante complejo.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



- + Esta topología controla la tensión de salida variando la impedancia de una reactancia saturable, que se hace entrar y salir de saturación en el punto requerido de la onda sinusoidal.
- + El esquema es simple en cuanto a su concepto
- + Presenta un buen rechazo a transitorios.
- + Son relativamente baratos
- + Pueden aplicarse a un elevado rango de cargas
- + Mantenimiento reducido

# DISPOSITIVOS CORRECTORES

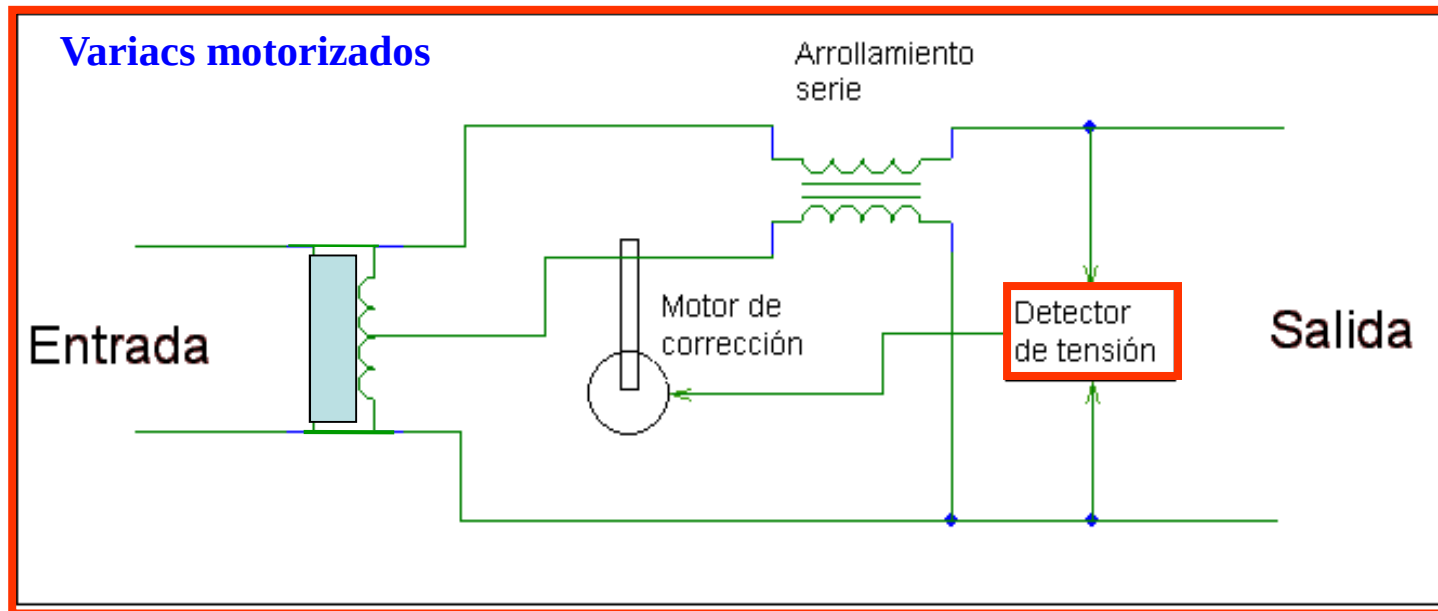


## + INCONVENIENTES

- + Elevado tiempo de respuesta (**10 ciclos**)
- + Alta impedancia de salida, que conduce a una alta distorsión con cargas no lineales
- + Sensible frente al factor de potencia de las cargas.
- + No es capaz de manejar sobrecorrientes como las que tienen lugar en el arranque de motores
- + No puede suprimir los transitorios generados dentro de la propia planta

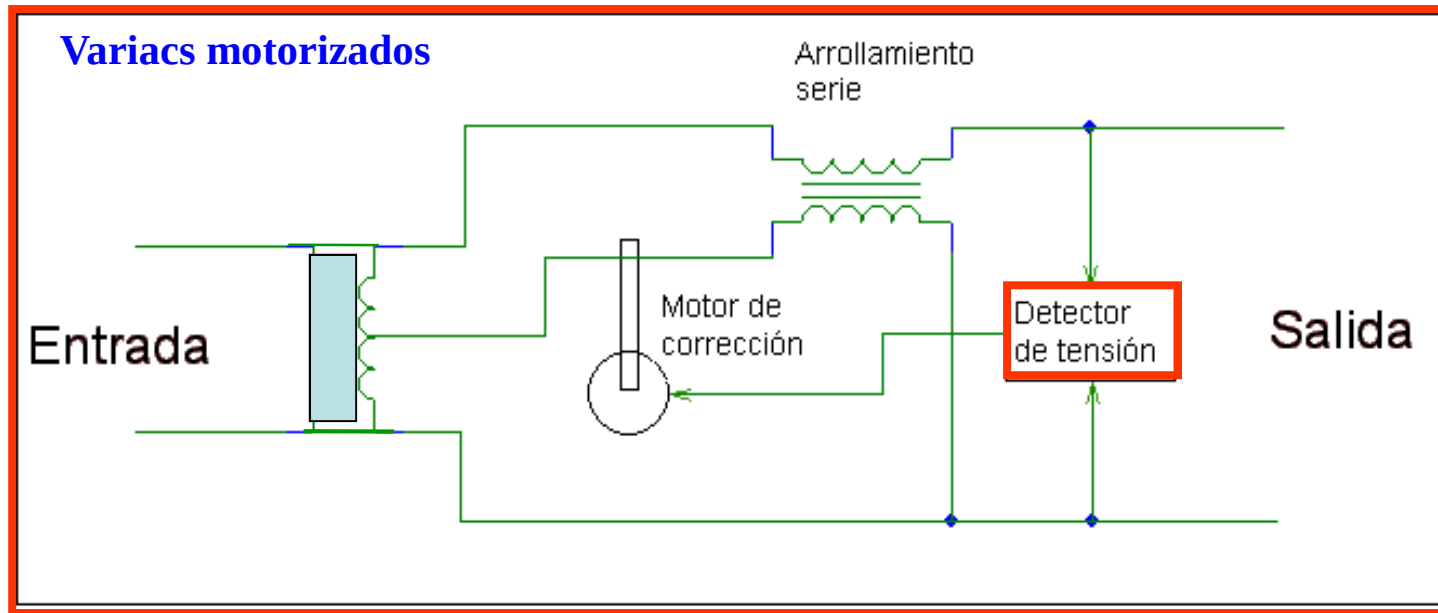


# DISPOSITIVOS CORRECTORES



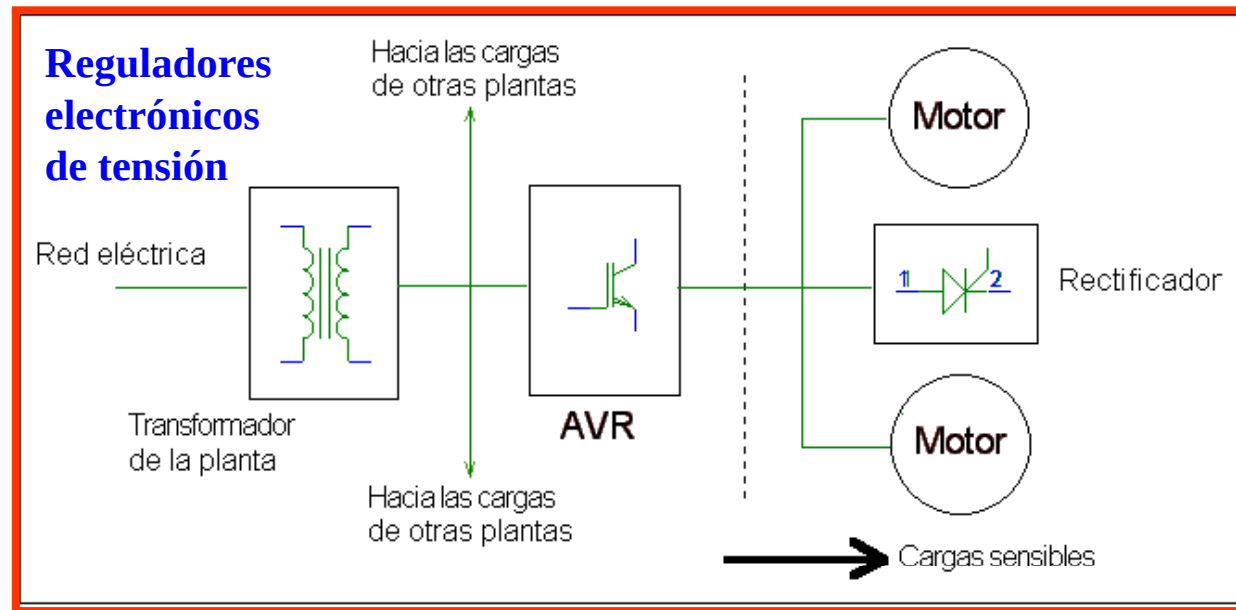
- ✚ El dispositivo se mueve a lo largo de múltiples tomas de un autotransformador, dando lugar a que el transformador en serie disminuya o aumente la tensión de salida.
- ✚ Este esquema puede manejar fuertes sobrecorrientes, usadas con frecuencia en el ámbito industrial, como consecuencia de su capacidad para hacer frente a los huecos de tensión. Ofrecen un buen comportamiento frente a huecos de un 20-30% de profundidad.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



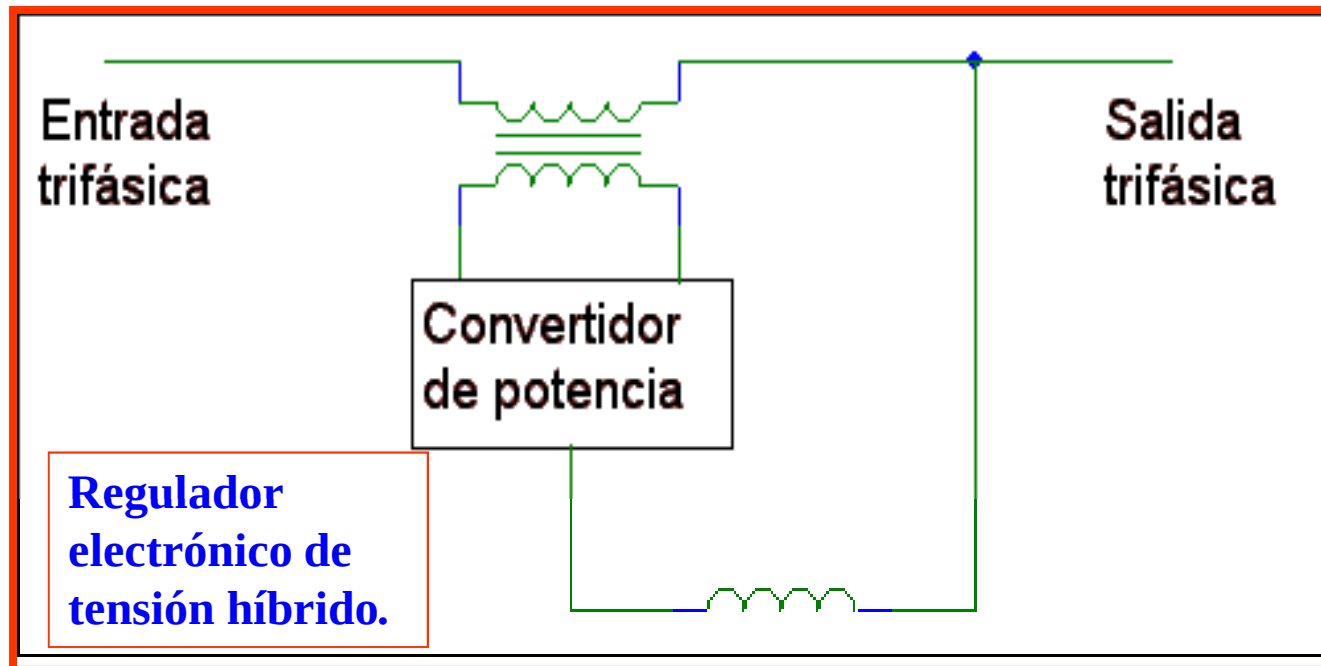
- ✚ Ofrecen un buen comportamiento frente a huecos de un 20–30% de profundidad.
- ✚ Presentan elevados tiempos de respuesta (30 V/s)
- ✚ No resultan adecuados para equipos electrónicos sensibles.
- ✚ Mantenimiento elevado
- ✚ Tienen escasa capacidad para eliminar transitorios.
- ✚ Su respuesta, extremadamente lenta, limita su efectividad.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



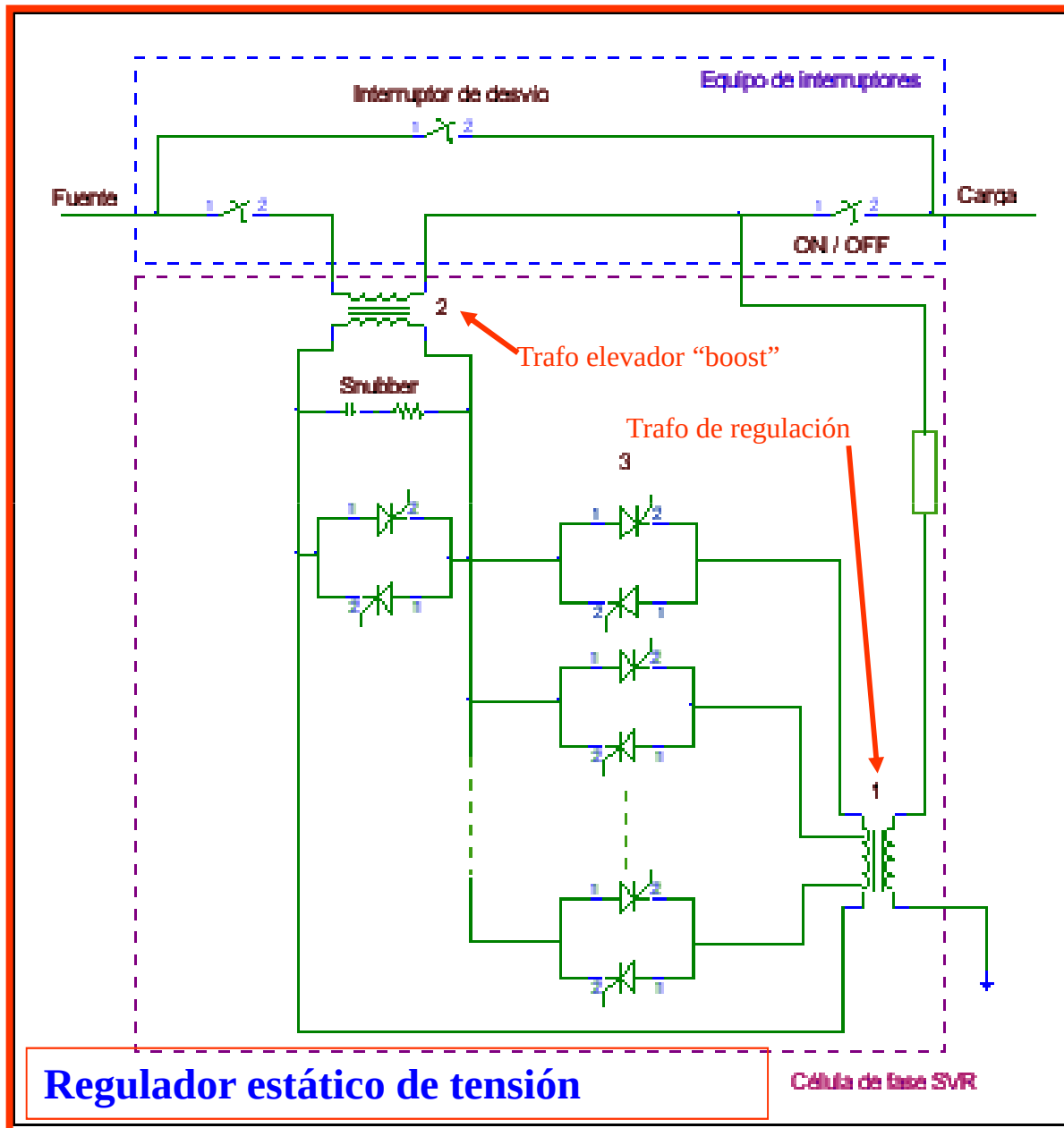
- ✚ Se trata de una nueva clase de reguladores de tensión automáticos, basados en la conmutación de alta frecuencia de inversores
- ✚ Proporcionan una respuesta rápida (1–2 ms)
- ✚ Tensiones sinusoidales
- ✚ Un diseño compacto.
- ✚ Buenos rendimientos.
- ✚ Disponer de una capacidad de sobrecarga apropiada puede hacer que el coste total resulte inaceptable.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



- + Permite obtener buenas velocidades de respuesta
- + Precio más reducido que el de las topologías más convencionales
- + Puede utilizarse un interruptor de desvío o bypass para proporcionar protección en caso de faltas.

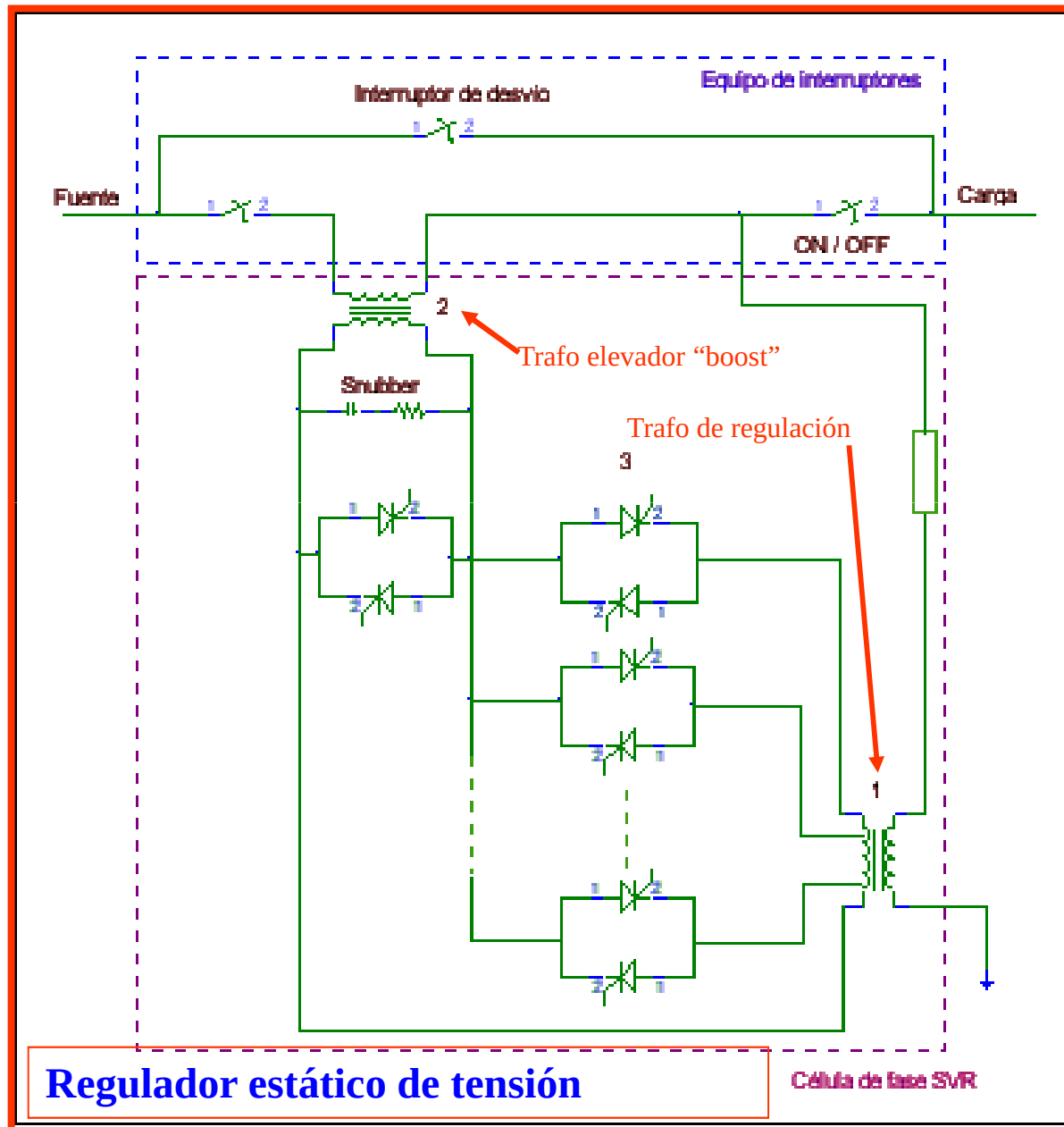
# DISPOSITIVOS CORRECTORES



**Static Voltage Regulator o SVR.** El sistema de conmutación en un SVR está diseñado para responder instantáneamente mediante la selección de la toma de tensión más adecuada, sin la necesidad de pasar a lo largo de una serie de tomas de menor tensión

El SVR consta de tres células de fase y una cámara de control y Comunicaciones. Como se puede ver en la *figura*, cada una de las células de fase del SVR está constituida por un transformador elevador de tensión ("boost") (2)

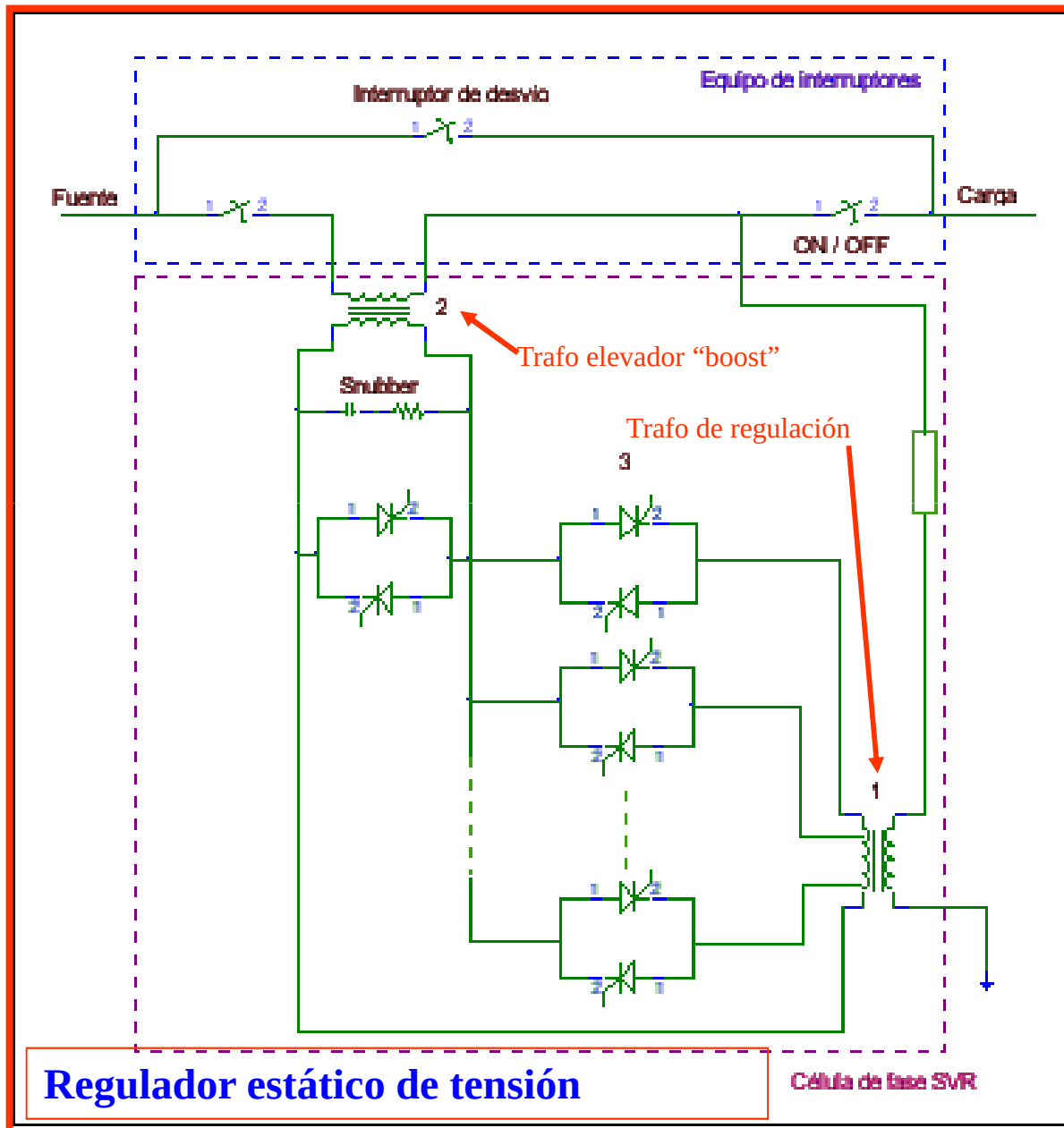
# DISPOSITIVOS CORRECTORES



Mientras la tensión se encuentre por encima del 90% de su valor nominal, el SVR opera en su modo normal (no como elevador) : el interruptor de la barra está cerrado y todos los interruptores de las tomas están abiertos.

Cuando tiene lugar un hueco de tensión, la lógica del SVR (basada en un microprocesador) percibe ese nivel instantáneo de la caída de tensión y determina que interruptor SCR de una toma concreta del transformador debe cerrarse

# DISPOSITIVOS CORRECTORES

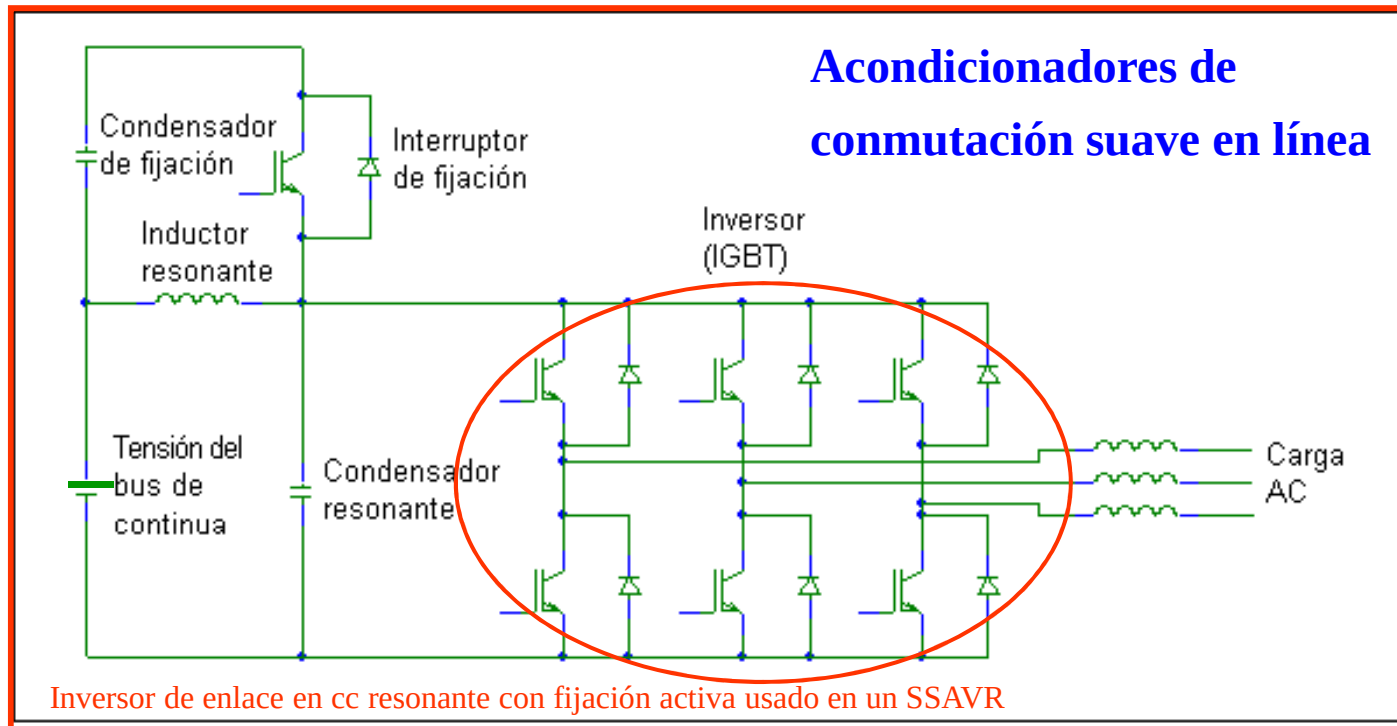


El SVR no requiere el almacenamiento de energía, y ocupa un espacio relativamente pequeño en comparación con la carga que puede proteger.

Además, está diseñado para ser instalado fuera de la planta industrial, por lo que no invade el área destinada a las labores de fabricación.

Un SVR es capaz de corregir los efectos de posibles huecos de tensión (**profundidad  $\leq 55\%$** ) (**tiempo de respuesta  $< 4 \text{ ms}$** ) permitiendo que incluso aquellos equipos más sensibles puedan hacer frente a un hueco de tensión causado por una falta tanto en el sistema de transporte, como en el de distribución

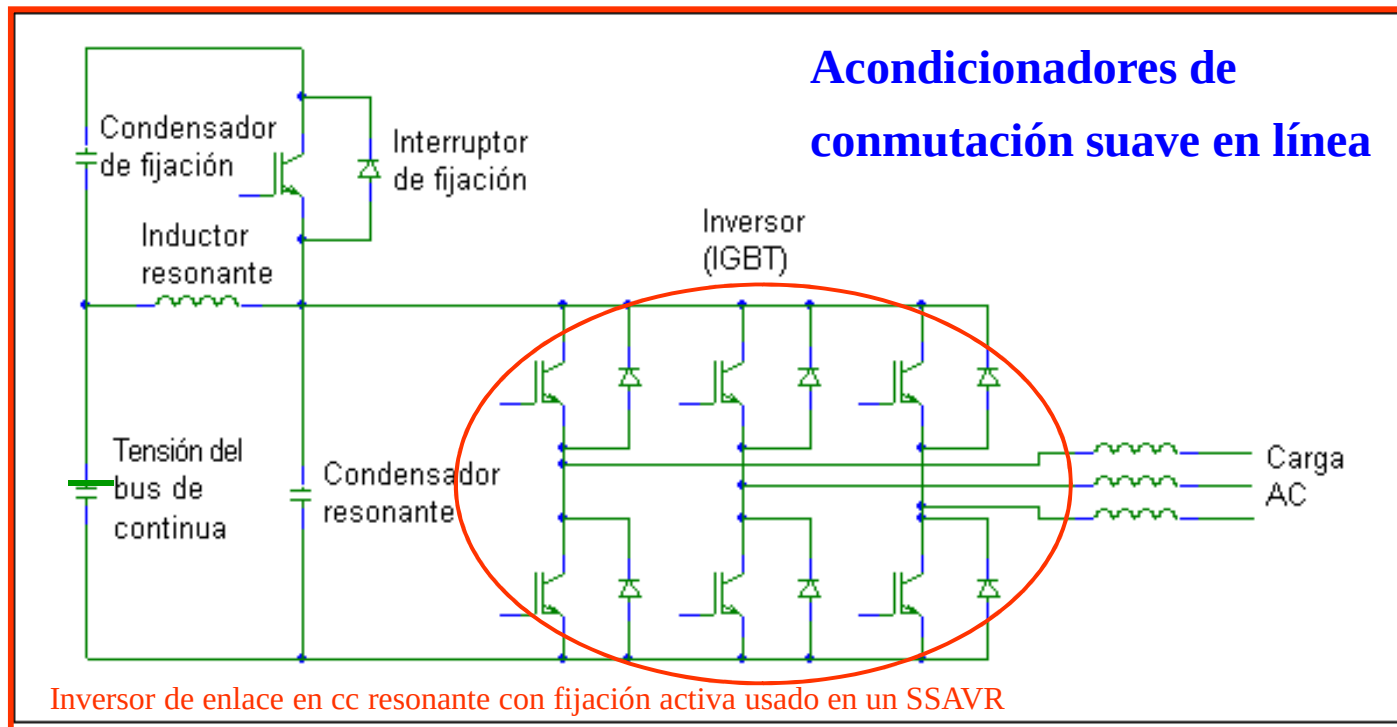
# DISPOSITIVOS CORRECTORES



- ✚ Los acondicionadores de conmutación suave (***Soft Switching Automatic Voltage Regulators, SSAVR***), se pueden utilizar para obtener un mejor funcionamiento del sistema.
- ✚ Estos dispositivos combinan la rapidez de respuesta y las altas prestaciones de los acondicionadores activos en línea, con el bajo coste de otras soluciones más convencionales

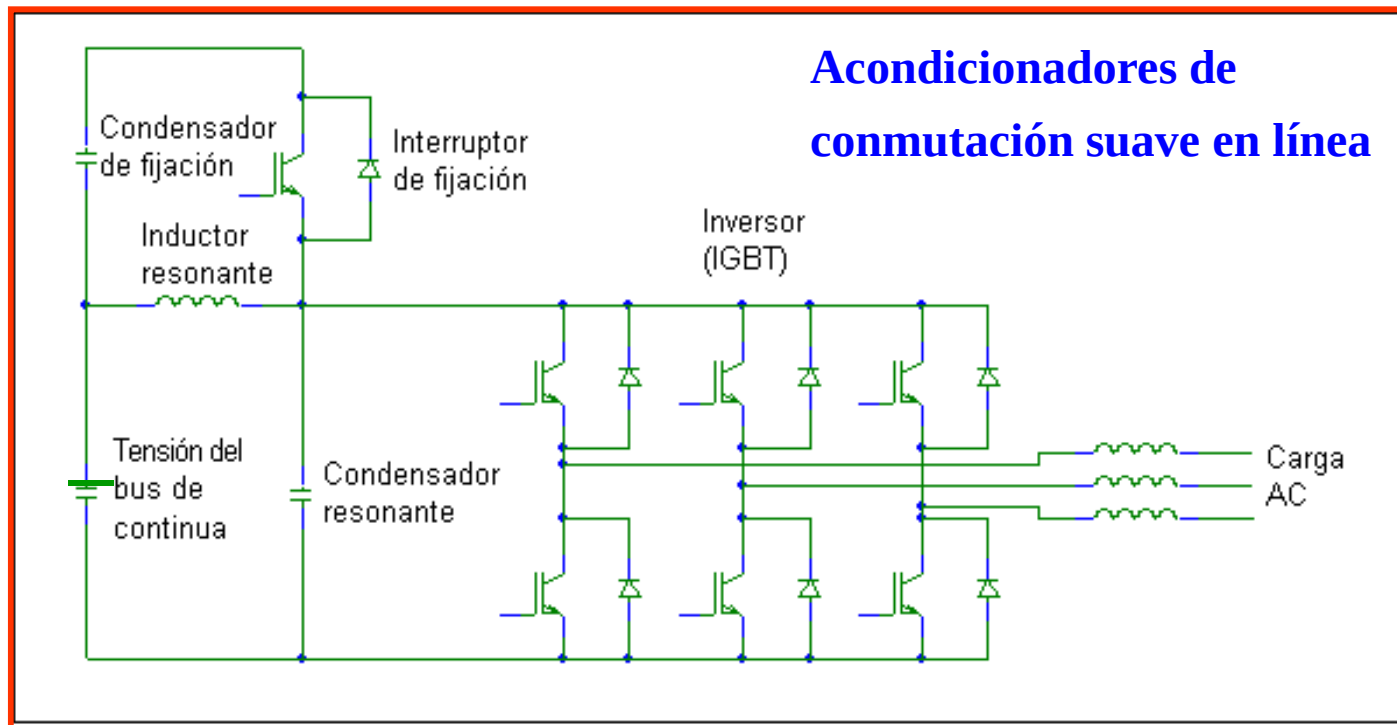


# DISPOSITIVOS CORRECTORES



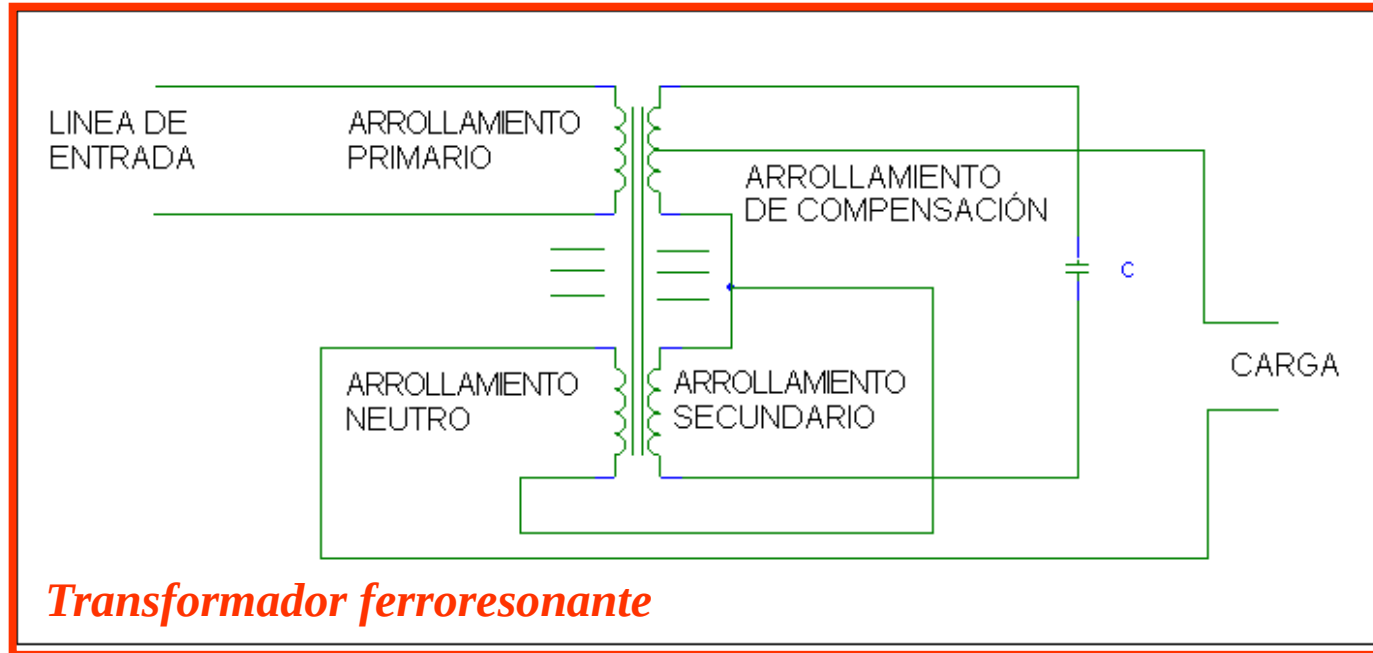
- ✚ Los inversores resonantes se utilizan en aplicaciones de alta frecuencia que requieren de una tensión fija de salida. Particularmente, en el caso de los inversores de enlace en cc resonantes, un circuito resonante se conecta entre el inversor y la alimentación en cc (barra de continua). Los pulsos de tensión resonantes se producen en la entrada del inversor, y los dispositivos del inversor se activan o desactivan en tensión cero.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



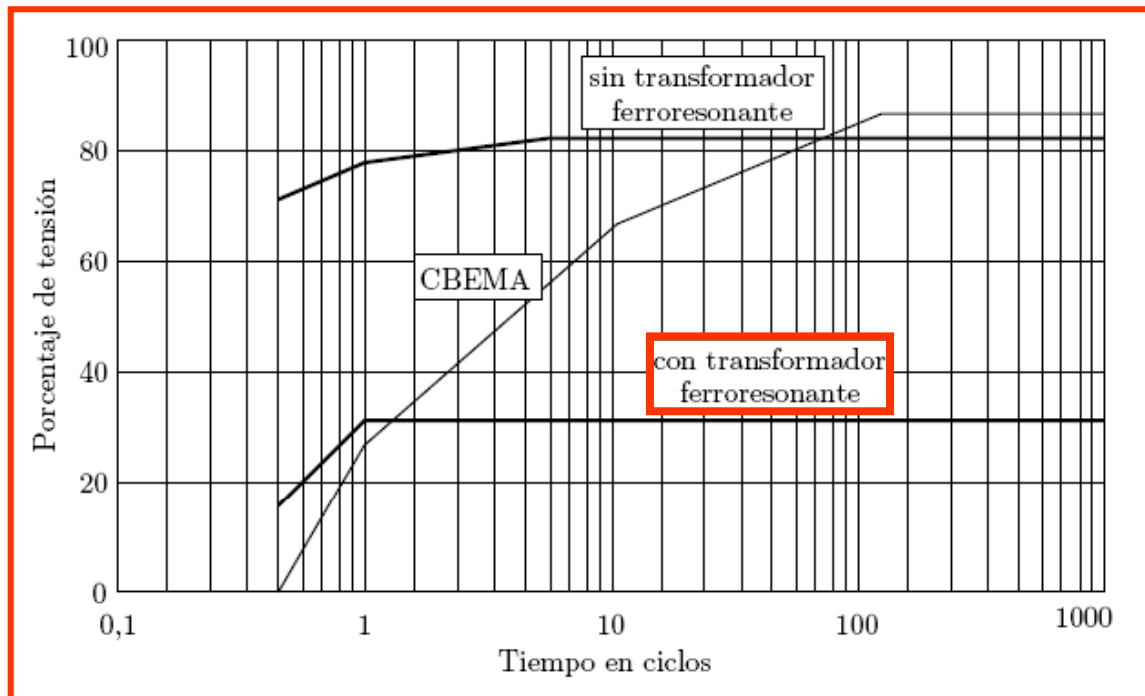
- ✚ A nivel industrial, es posible realizar reguladores de este tipo de hasta **1 MVA**.
- ✚ Este sistema puede estar basado también en una configuración híbrida, solución efectiva y barata.
- ✚ Los componentes activos se coordinan para tolerar sobrecargas que puedan tener lugar como consecuencia de eventos de tipo transitorio como las faltas o el arranque de motores.

## DISPOSITIVOS CORRECTORES



- ✚ Los transformadores ferroresonantes, también llamados transformadores de tensión constante (***Constant Voltage Transformers, CVT***), pueden manejar la mayoría de las condiciones que se dan en un hueco de tensión. Los CVT son especialmente atractivos para cargas permanentes de baja potencia. Las cargas variables, especialmente con grandes corrientes internas, presentan más problemas para los CVT.

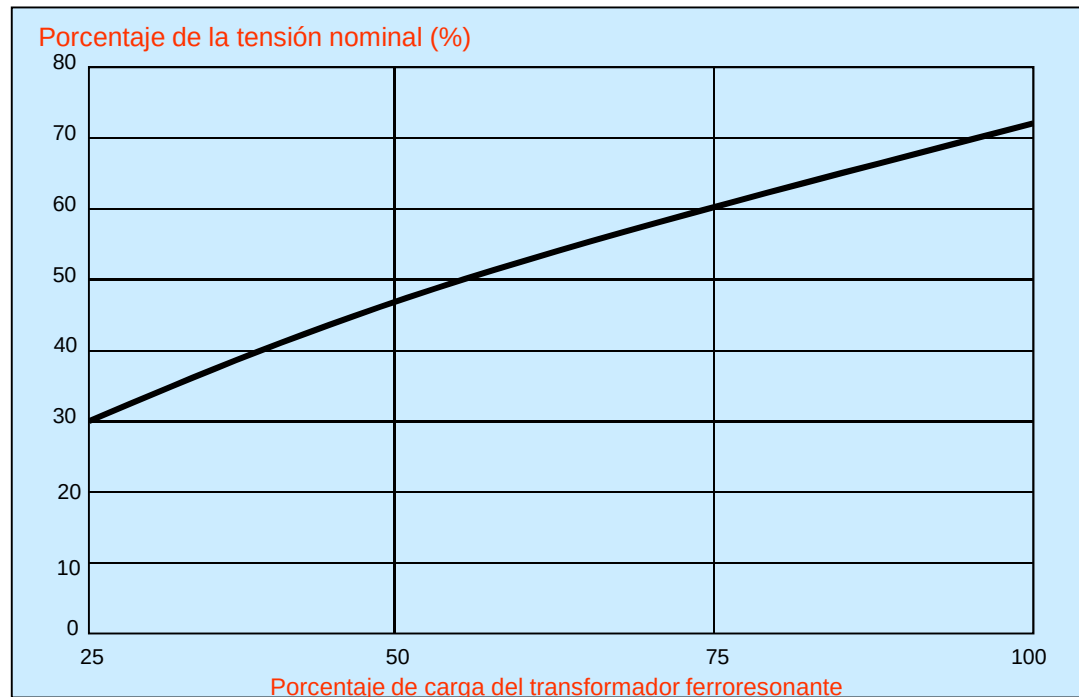
## DISPOSITIVOS CORRECTORES



*Mejoría experimentada frente a un hueco de tensión con la presencia de un transformador ferroresonante.*

✚ Esta solución se utiliza mucho en acondicionadores en línea para cargas de tipo electrónico (no lineales) y, en general, por debajo de los **20 kVA**. Proporciona protección frente a huecos de tensión, aunque no frente a interrupciones cortas y menos frente a interrupciones largas, durante un tiempo comprendido entre uno y varios ciclos.

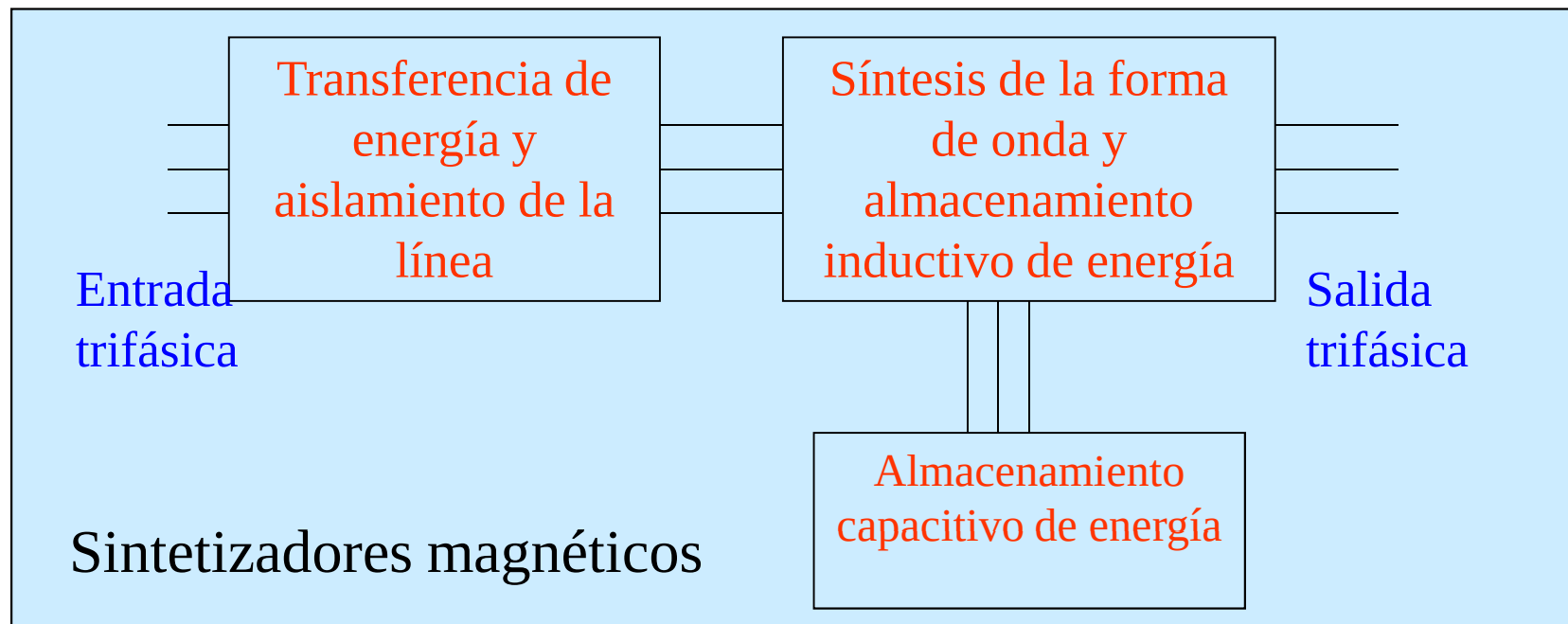
# DISPOSITIVOS CORRECTORES



*Hueco de tensión frente a la carga del transformador ferroresonante.*

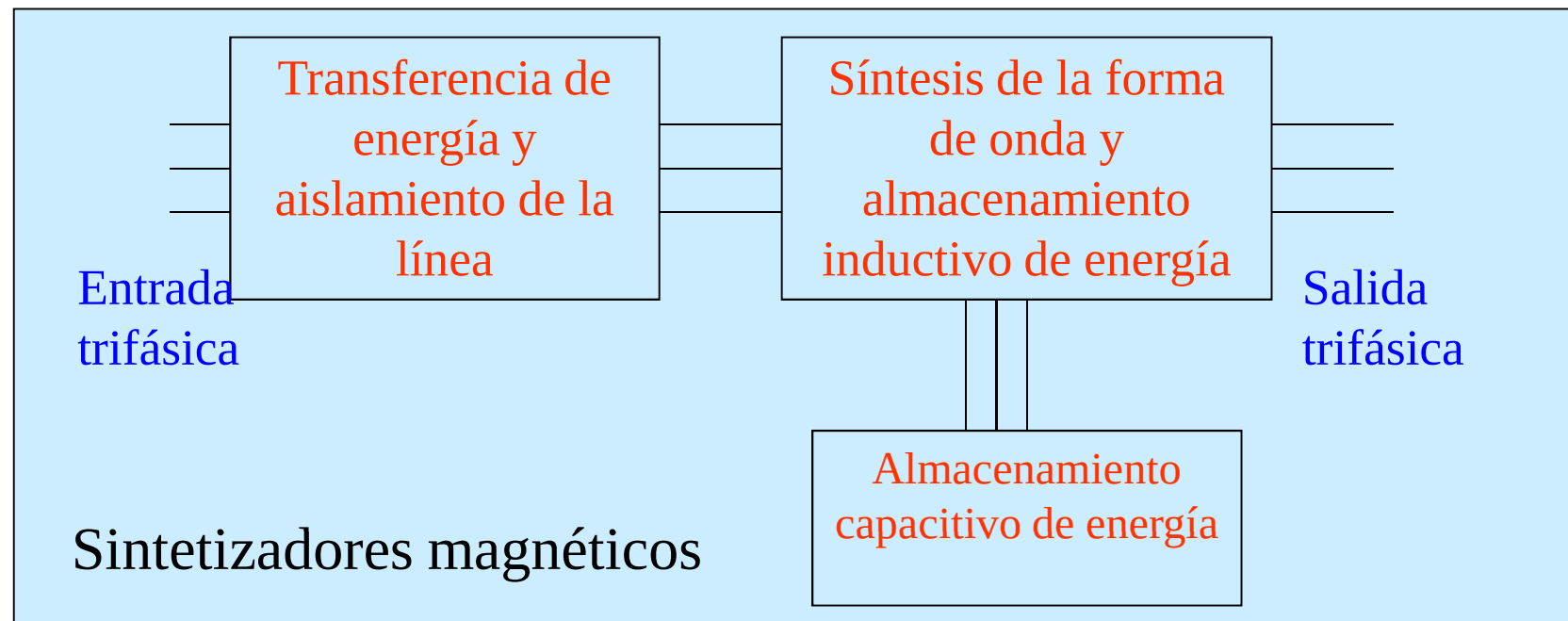
- ✚ Tiempo de respuesta de entre 25 ms y 1.5 ciclos.
- ✚ Posee además una buena fiabilidad
- ✚ Requisitos de mantenimiento mínimos
- ✚ Coste razonable
- ✚ Buena atenuación de impulsos en modo común
- ✚ Buena regulación.

## DISPOSITIVOS CORRECTORES



- ✚ Los sintetizadores magnéticos se usan, por lo general, con grandes cargas. Estas cargas deben ser de varios kVA para que dichas unidades sean rentables (50 kVA o más). Se utilizan para grandes computadores y otros equipos electrónicos sensibles a variaciones de tensión.
- ✚ El sintetizador toma la señal entrante y regenera una forma de onda de salida trifásica y limpia. La forma que presenta la onda a la salida se genera electromagnéticamente, y se halla completamente aislada de la entrada en todos los parámetros excepto dos: la fase y la frecuencia. La fase de salida se rige por la fase de la entrada, mientras que la frecuencia se ajusta a la de la línea. No existe conexión eléctrica alguna entre la entrada y la salida del dispositivo.

## DISPOSITIVOS CORRECTORES

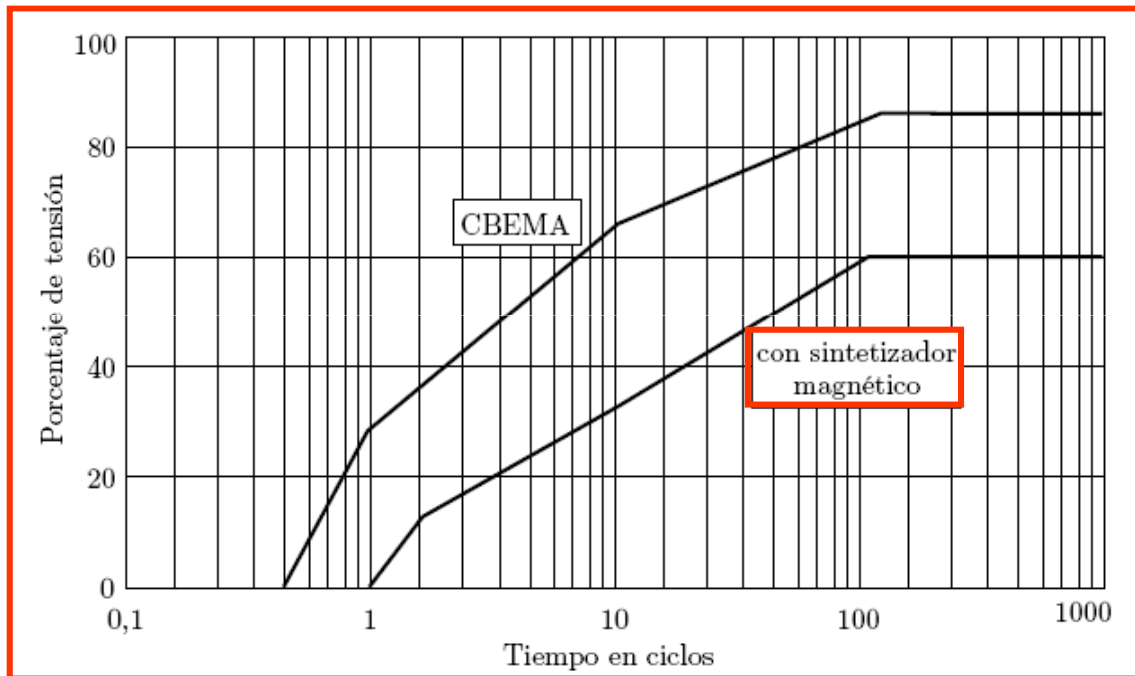


✚ Consiste simplemente en un conjunto de reactancias y transformadores de núcleo de hierro, saturables, y unidos a una serie de condensadores. Se sirve de los principios de la ferresonancia para desempeñar su cometido. Un diagrama de bloques del proceso se muestra en la *figura*

✚ La transferencia de energía y el aislamiento de la línea se completan con el uso de estranguladores (*starters*) no lineales: esto elimina problemas como el ruido de la línea. La forma de la onda alterna de salida está constituida por la combinación de distintos pulsos de tensión de transformadores saturados. La onda de energía se almacena en los transformadores saturados y en los condensadores en forma de  $I$  y  $U$ .

# DISPOSITIVOS CORRECTORES

## Sintetizadores magnéticos



*Capacidad de hacer frente a un hueco de tensión con la presencia de un sintetizador magnético.*

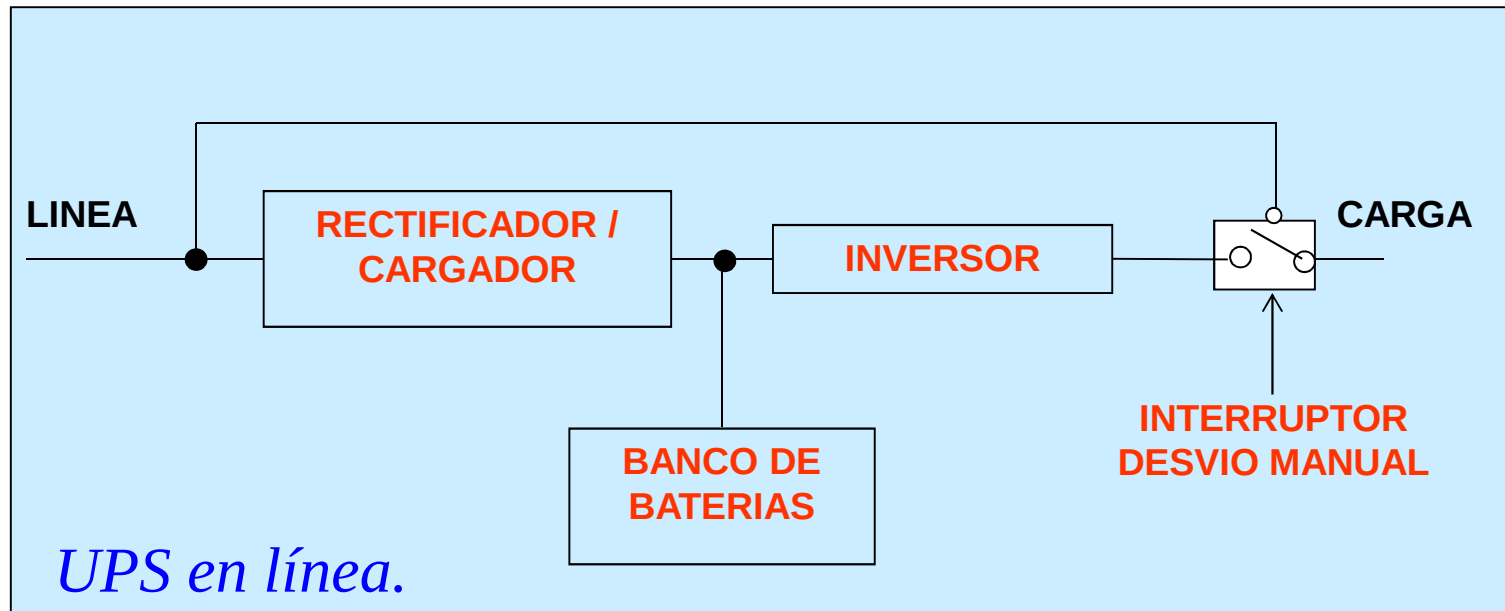


# DISPOSITIVOS CORRECTORES

## ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE BATERIAS

- ✚ Las compañías eléctricas utilizan actualmente baterías para dotar de un suministro ininterrumpido de electricidad a los mecanismos de conmutación de las subestaciones y para arrancar sistemas de potencia de reserva. Sin embargo, existe un marcado interés por ir más allá de estas aplicaciones
- ✚ La batería estándar utilizada en aplicaciones de almacenamiento de energía es la de plomo-ácido; su reacción es reversible, permitiendo que la batería sea reutilizable.

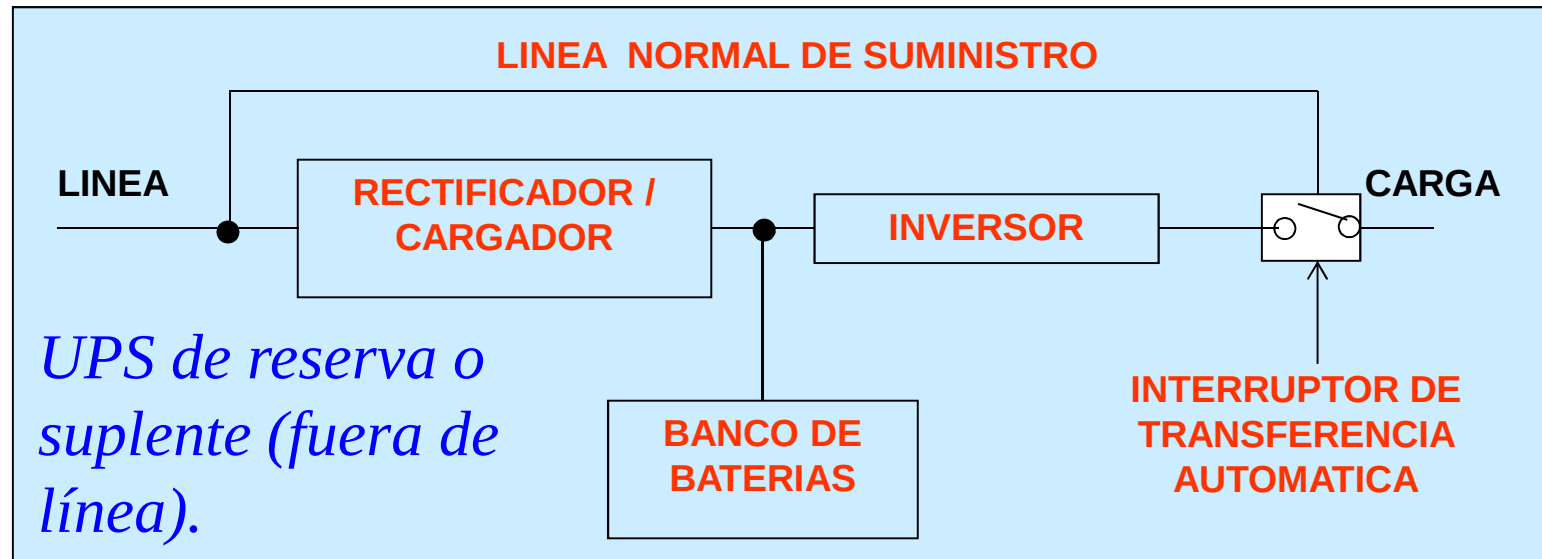
## DISPOSITIVOS CORRECTORES



✚ En este diseño, la carga se alimenta siempre a través del UPS. Si la tensión alterna entrante falla, el inversor se alimenta por medio de las baterías y continúa alimentando la carga. Además, poseen un bypass o conmutador a red (interruptor de desvío manual) que, en caso de fallo del inversor, conecta la carga a dicha red.

✚ Con el fin de proveer de la capacidad necesaria para hacer frente a pausas o interrupciones en la potencia, un UPS en línea proporciona un fuerte aislamiento de la carga crítica frente a todo tipo de perturbaciones en la línea de potencia

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



✚ La línea normal se usa para alimentar el equipo hasta que se detecta una perturbación y, entonces, un interruptor transfiere la carga al inversor conectado a una batería de reserva. El tiempo de transferencia desde la fuente normal al inversor es importante: si es lo suficientemente breve (por debajo de 1 ciclo), y no existe desfase la probabilidad de que los componentes típicos de control, que son los que por lo general se desean proteger, se vean afectados por un hueco, es muy pequeña.

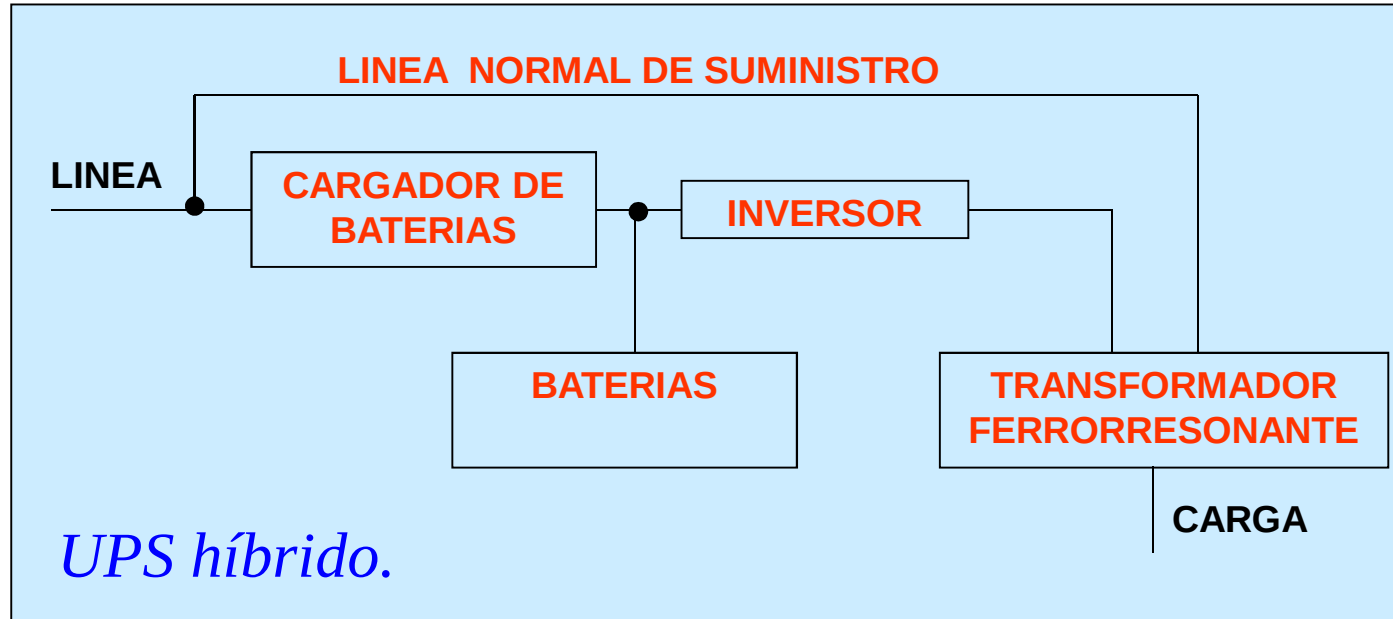
✚ El UPS fuera de línea resulta apropiado para cargas pequeñas (hasta 1.5 kVA). Aplicaciones monofásicas que involucran computadores) con la capacidad suficiente para hacer frente a la pausa mínima que tiene lugar durante la transferencia desde la alimentación de la red hacia la batería. Constituye un sistema extremadamente eficiente y, además, con un coste bastante reducido.

## DISPOSITIVOS CORRECTORES



✚ Si el equipo eléctrico protegido no puede soportar ningún tipo de pausa en el suministro como la que tiene lugar cuando un UPS suplente o fuera de línea transfiere la alimentación desde la red hacia la batería, el usuario debería entonces considerar la posibilidad de adquirir un UPS en línea.

## DISPOSITIVOS CORRECTORES



✚ Son similares en su diseño al UPS suplente. El UPS híbrido utiliza como regulador de tensión un CVT, en este caso en la salida del UPS, para proporcionar regulación a la carga cuando se realiza la transferencia de la fuente normal al UPS. Así, la carga sensible no percibe que haya tenido lugar ningún tipo de conmutación. El CVT o transformador ferroresonante proporciona, además de la ya mencionada regulación de la tensión de salida, protección frente a condiciones de sobrecarga y cortocircuitos.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



✚ Es un dispositivo mecánico que se acopla a un motor–generador con una masa rodante para suministrar energía durante huecos de tensión o interrupciones breves en el suministro.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



**Velocidad** { Alta → 40.000 - 60.000 rpm  
Baja → <1.000 rpm

# DISPOSITIVOS CORRECTORES

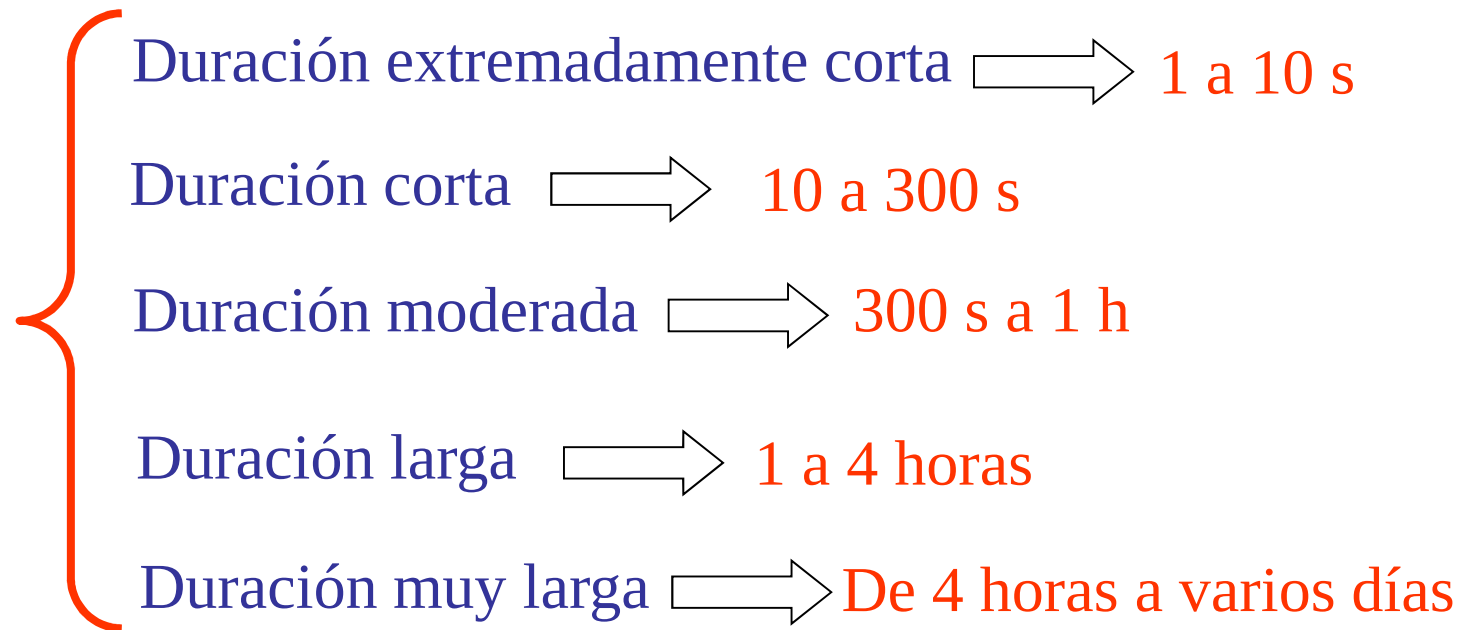


✚ Los volantes de inercia proporcionan entre **1 y 30 s** de capacidad para hacer frente a una perturbación; los generadores de reserva se conectan tras un tiempo de entre **5 y 20 s**. Tanto la frecuencia como la tensión están gobernadas por el tamaño de los volantes. Resultan adecuados para potencias entre **30 y 1200 kVA**.



## DISPOSITIVOS CORRECTORES

### Aplicaciones de las tecnologías de almacenamiento mediante baterías y volantes de inercia



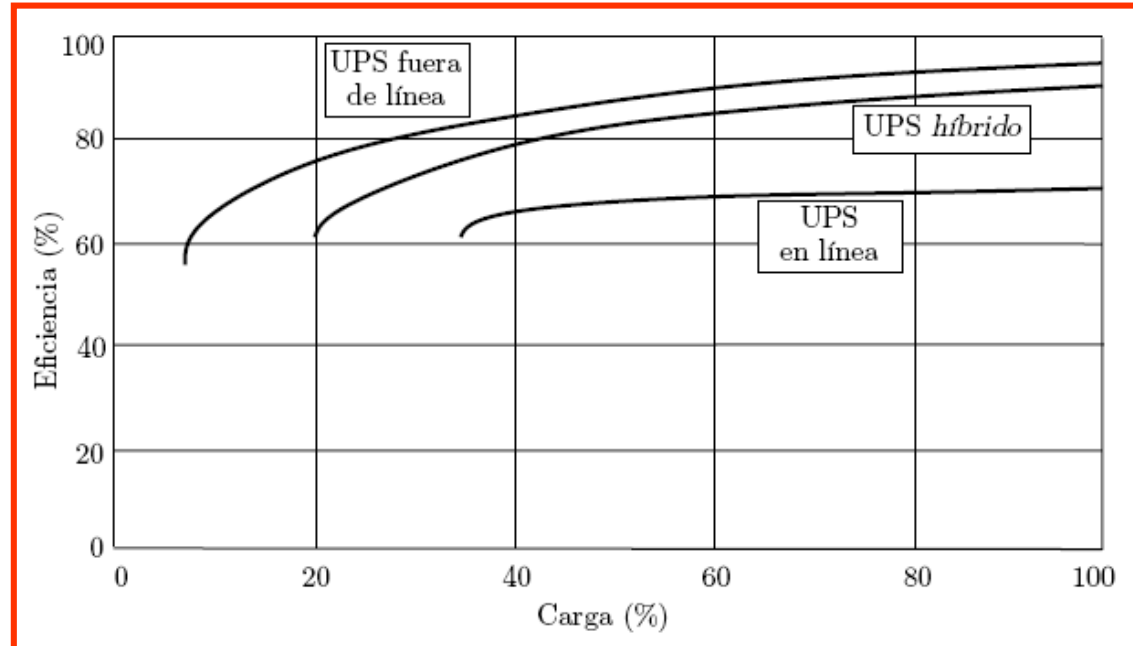
## DISPOSITIVOS CORRECTORES

| Tecnología                 | Capacidad      | Autonomía |
|----------------------------|----------------|-----------|
| Volante de inercia         | 120 kW         | 20 s      |
| Volante de inercia/Batería | 160 kW         | 15-30 min |
| Batería                    | 3,1-7,5 kVA    | 15 min    |
| Batería                    | 0,7-2,1 kVA    | 13 min    |
| Batería                    | 700-2100 kVA   | 10 min    |
| Batería                    | 7,5-25 kVA     | 17 min    |
| Batería                    | 1250 kVA       | 15 min    |
| Volante de inercia         | 700 kW         | 10 min    |
| Batería                    | 450-1600 kVA   | 6-12 min  |
| Volante de inercia/Batería | 5-1000 VA      | 5-60 min  |
| Batería                    | 0,14-1,2 kVA   | 5-59 min  |
| Batería                    | 0,28-0,675 kVA | 15 min    |

✚ El funcionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía está determinado por la capacidad y duración de los equipos. La eficiencia es función de la carga y es del orden de un 92–95%.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES

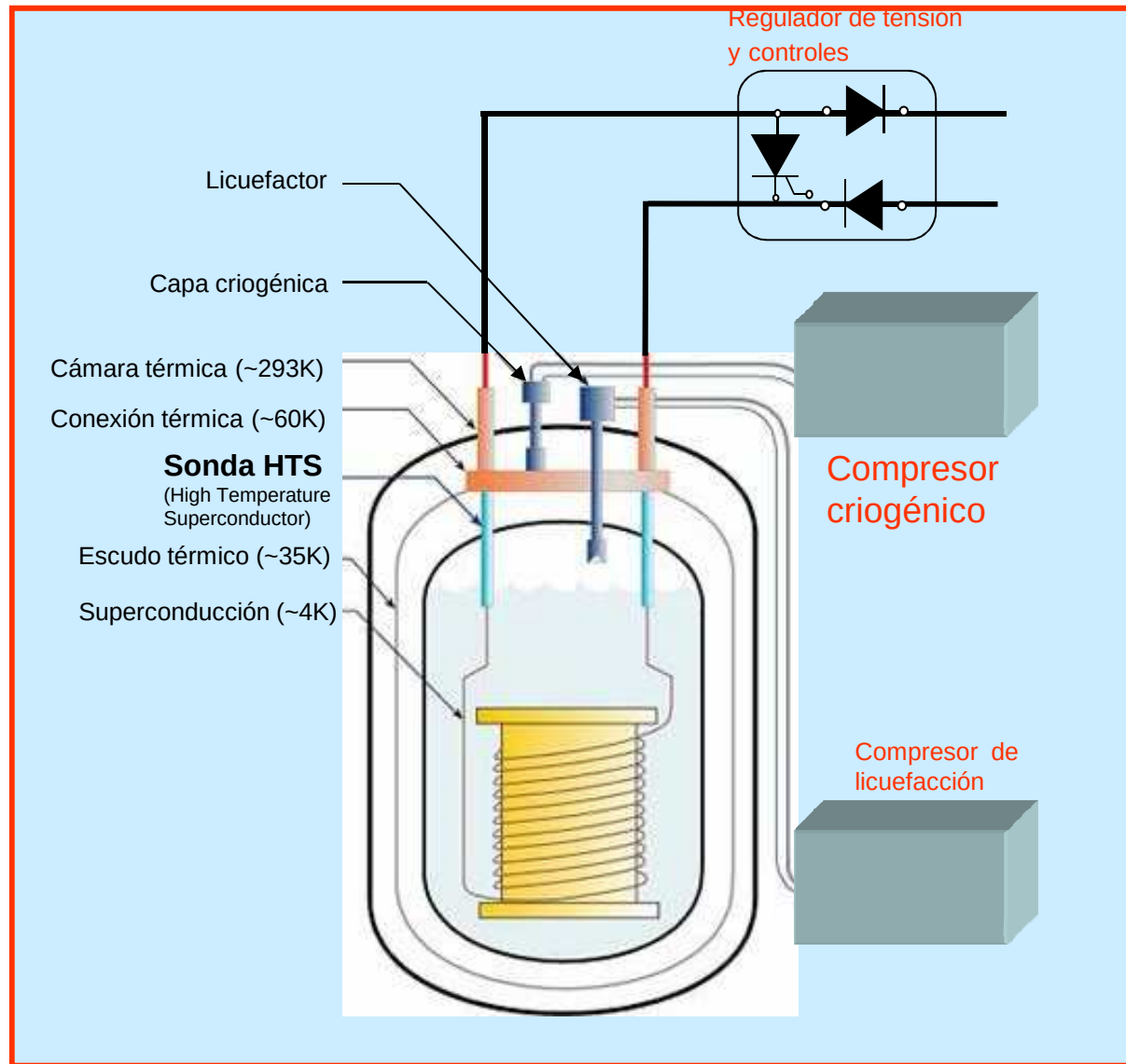
## Tamaño y peso



✚ Un UPS híbrido de unos 2 kVA pesa casi el doble (190.8 kg) que un UPS de las mismas características que no incluye un CVT (104.5 kg). Los UPS que utilizan tiristores (SCR) contienen más circuitería pero incluyen transformadores más pequeños y, por lo tanto, resultan menos pesados que aquellos que cuentan con la presencia de un transformador ferresonante.

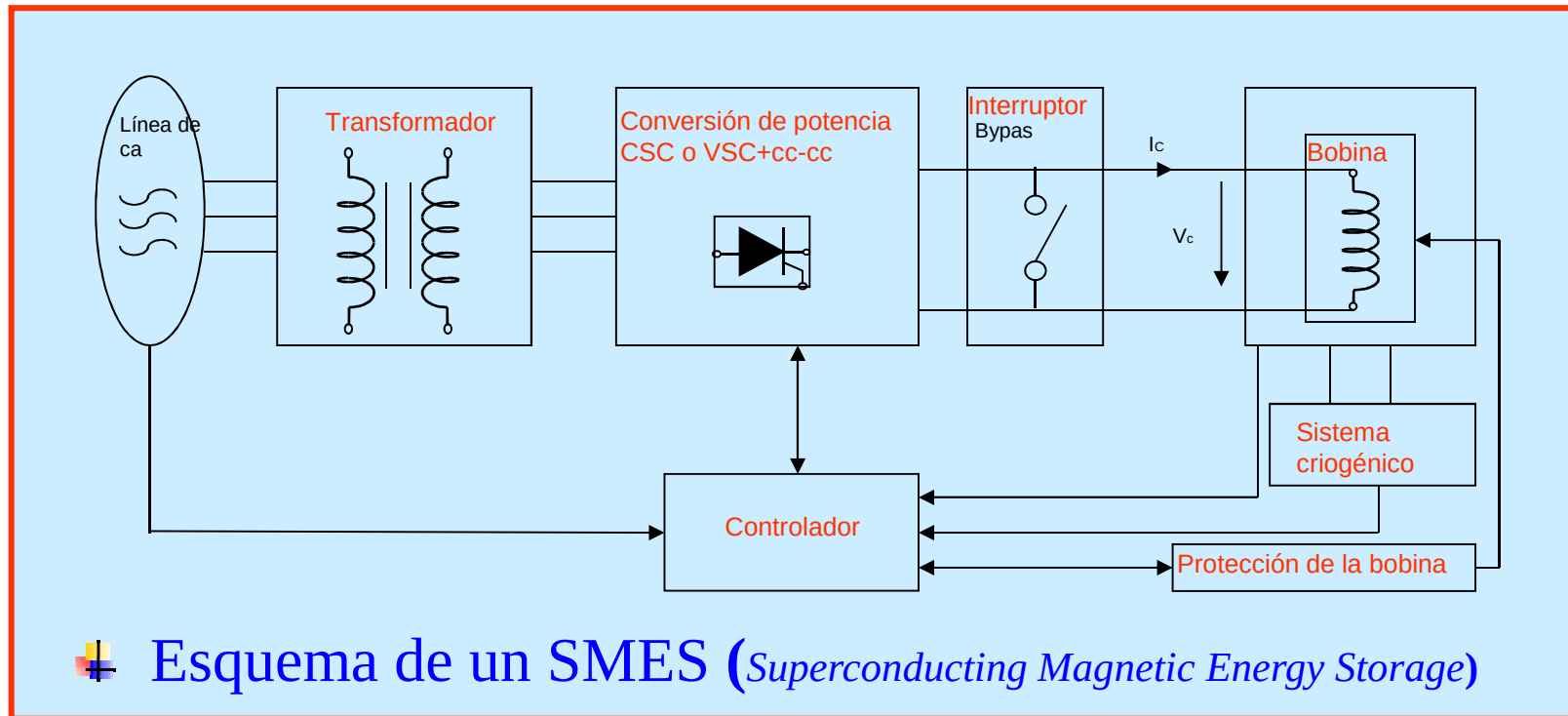
✚ Las unidades UPS con dispositivos electrónicos de potencia tales como MOSFET y GTO (tiristores de desactivación por puerta) contienen en general menos componentes, siendo su peso el más reducido.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



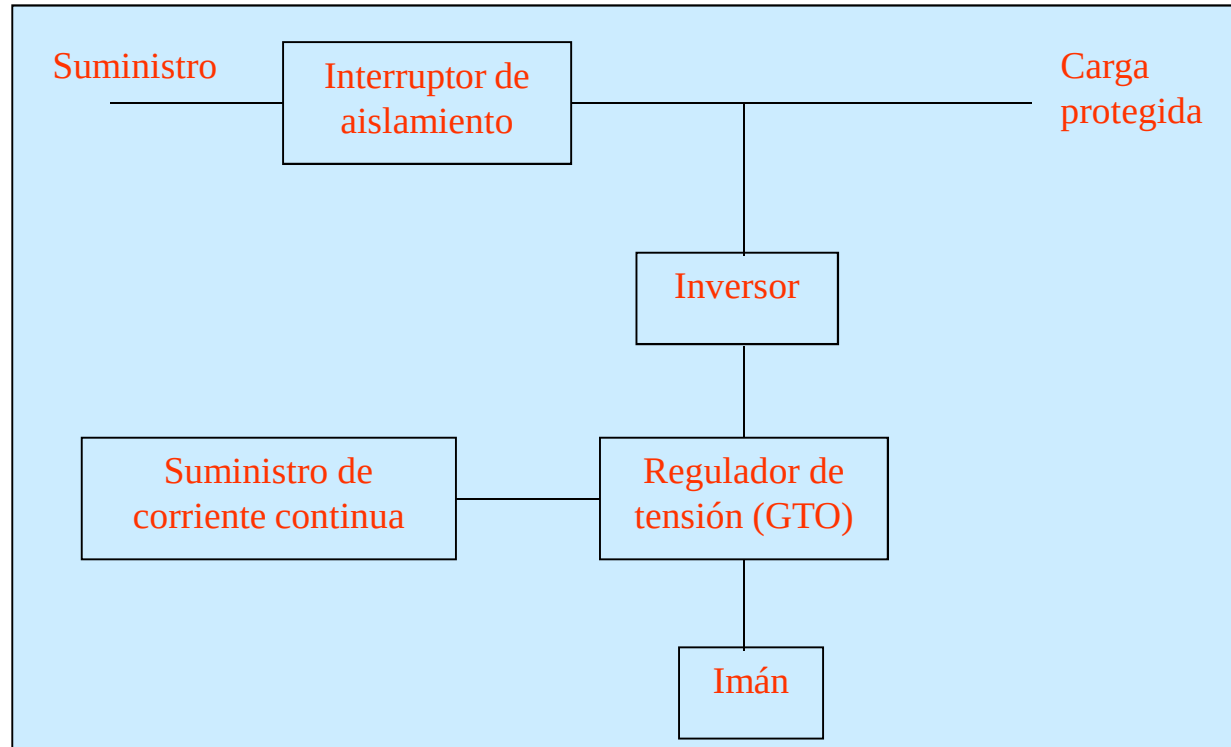
✚ SSMES (*Superconducting Magnetic Energy Storage*)

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



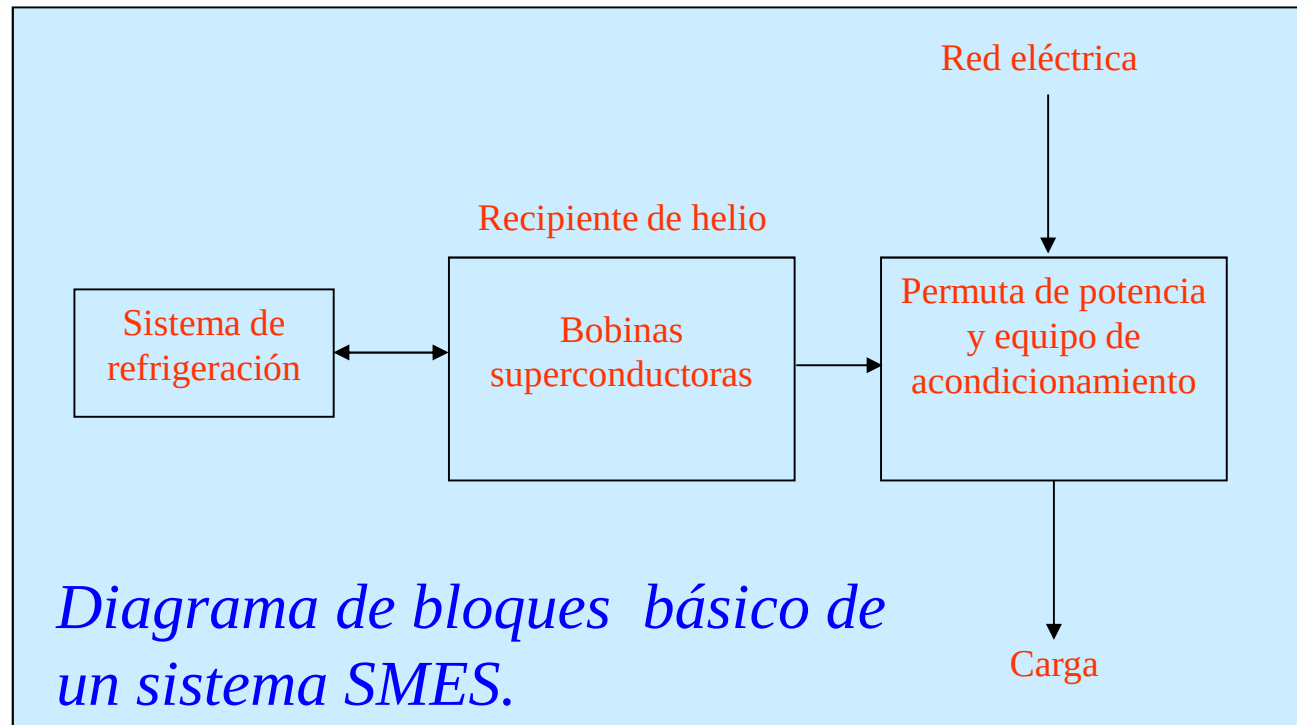
En concreto, el sistema almacena energía en una especie de bobina o imán de material superconductor (Niobio–Titanio) inmerso en helio líquido

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



✚ La circulación de una corriente continua a través de la bobina de hilo superconductor genera un campo magnético. Se puede abrir o cerrar el paso de la corriente que circula por dicha bobina por medio de un interruptor (generalmente un interruptor de estado sólido, con un tiempo de transferencia en torno a los 2 ms). Debido a la alta inductancia del arrollamiento, cuando el interruptor está abierto, el bobinado magnético se comporta como fuente, haciendo que la corriente vaya hacia un condensador que se cargará a una tensión determinada.

## DISPOSITIVOS CORRECTORES



✚ La *figura*, muestra un diagrama de bloques básico de un sistema SMES. El sistema de distribución de energía de la compañía eléctrica alimenta la permuta de potencia (interruptor) y el equipo de acondicionamiento que suministra energía para cargar esa bobina, y obtener así una reserva de energía.

## DISPOSITIVOS CORRECTORES

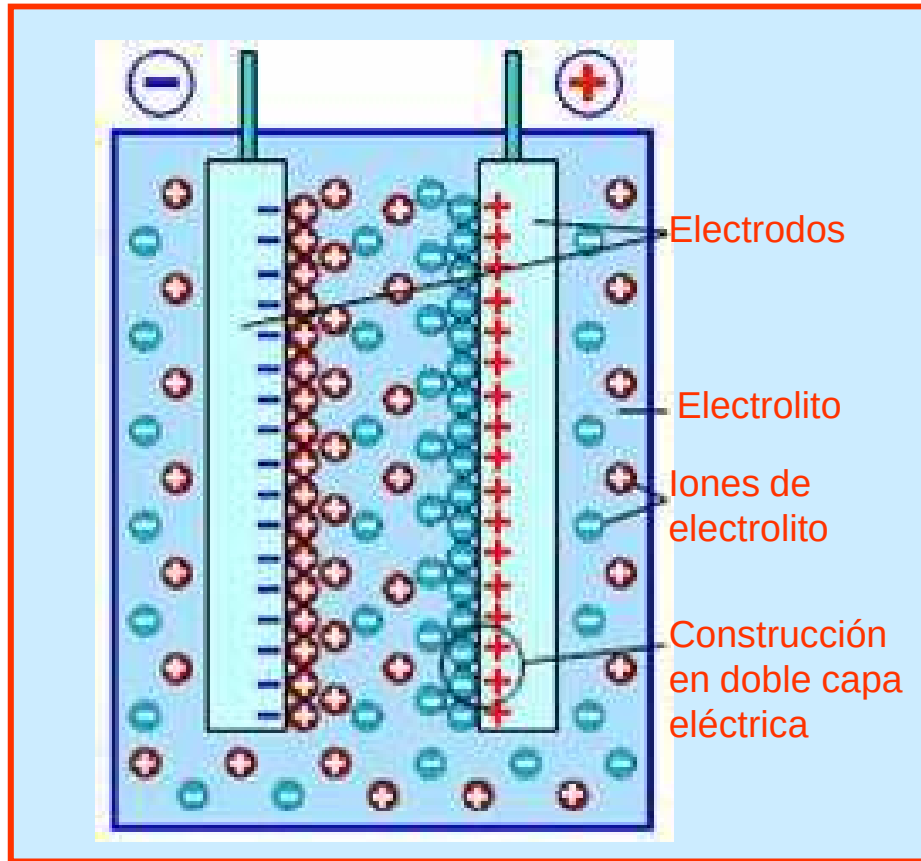


*Micro-SMES (6 MJ, 750 kVA)*

✚ Los SMES diseñados en un rango de 1 a 6 MJ reciben el nombre de micro-SMES para distinguirlos de los de potencia superior. La principal ventaja de los micro-SMES radica en el espacio físico extremadamente reducido que necesita el imán en comparación con el que precisan las baterías. Un micro-SMES presenta menos conexiones eléctricas que un UPS y, por tanto, la fiabilidad debe ser mayor, a la vez que se precisa de un menor mantenimiento. Los primeros diseños de micro-SMES están siendo probados actualmente en diversos lugares con resultados favorables



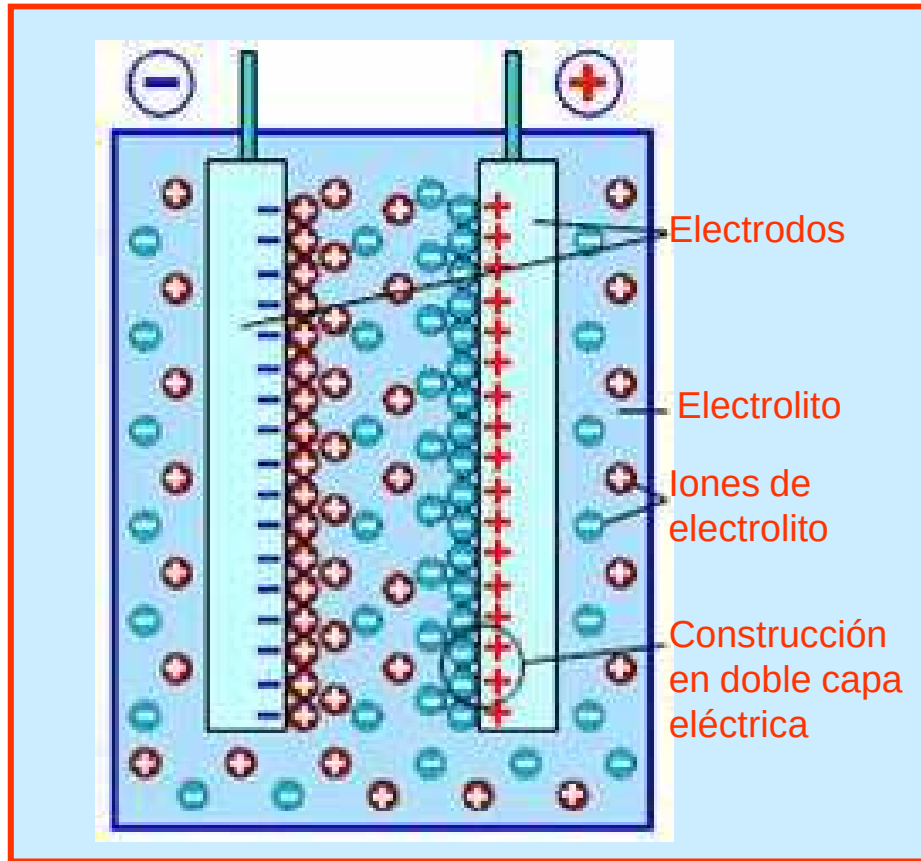
## DISPOSITIVOS CORRECTORES



*Supercondensador*

- ✚ Los condensadores pueden entregar corrientes muy elevadas, aunque sólo durante un breve periodo de tiempo. Su densidad de energía es mucho más pequeña que la de las baterías.
- ✚ Los condensadores presentan sus mejores características cuando la demanda de energía se ciñe al rango que va desde los microsegundos hasta las milésimas de segundo.

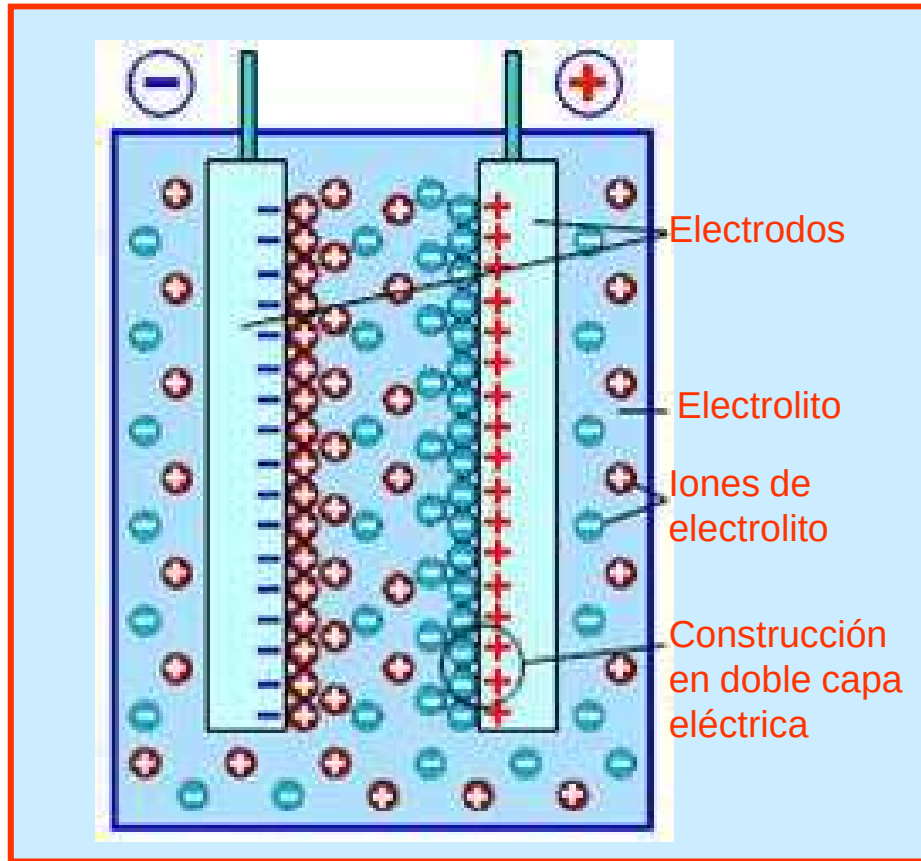
## DISPOSITIVOS CORRECTORES



*Supercondensador*

✚ Los supercondensadores, cuyo esquema constitutivo puede verse en la *figura*, son fuentes de energía continua que deben estar interconectados a la red eléctrica con un acondicionador estático de potencia. Un supercondensador suministra potencia durante interrupciones breves y huecos de tensión, aunque, como se ha mencionado, durante periodos de tiempo muy cortos.

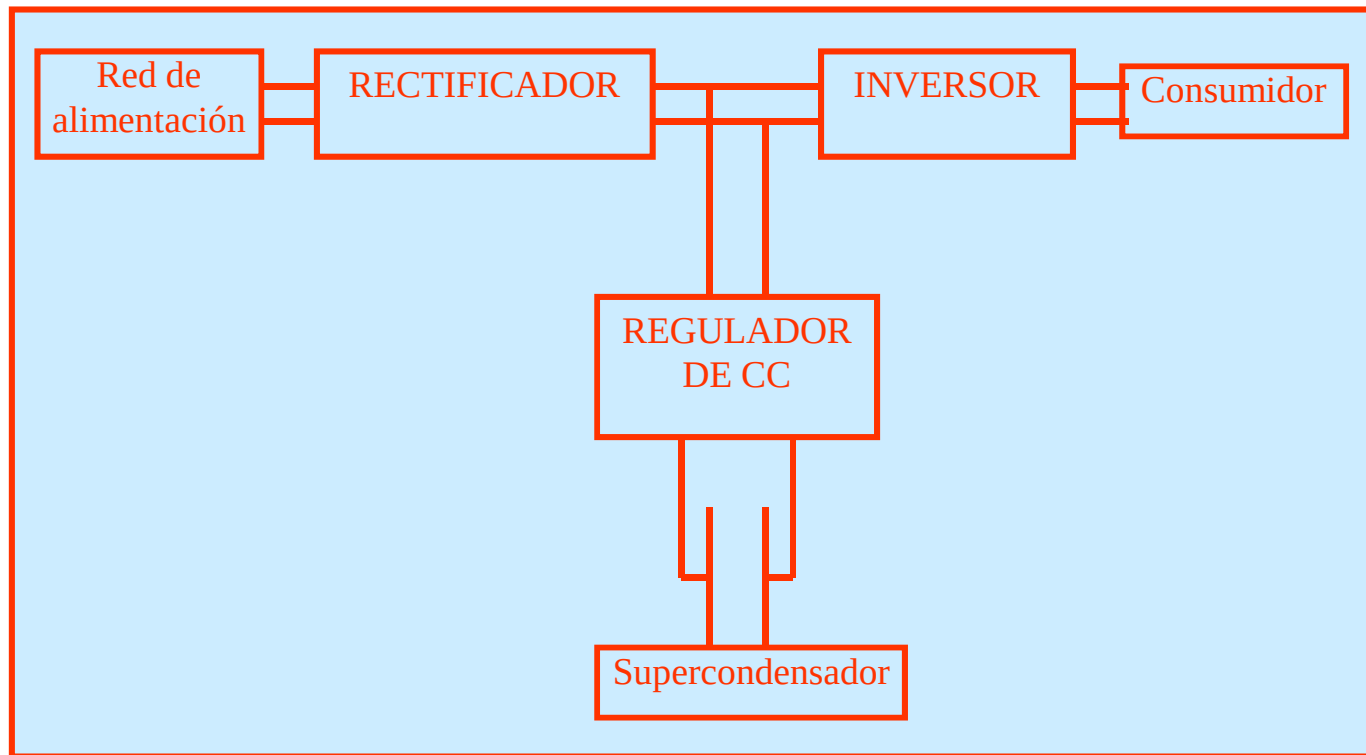
## DISPOSITIVOS CORRECTORES



*Supercondensador*

✚ La principal diferencia con respecto a los condensadores normales, radica en que los supercondensadores almacenan la energía en un líquido polarizado ubicado entre un electrolito y el electrodo. Como la capacidad es proporcional a la superficie de las placas de los electrodos, han surgido mejoras en lo que a esta superficie se refiere, empleando materiales altamente porosos. Una gran variedad de soluciones electrolíticas y de tratamientos superficiales se están investigando actualmente

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



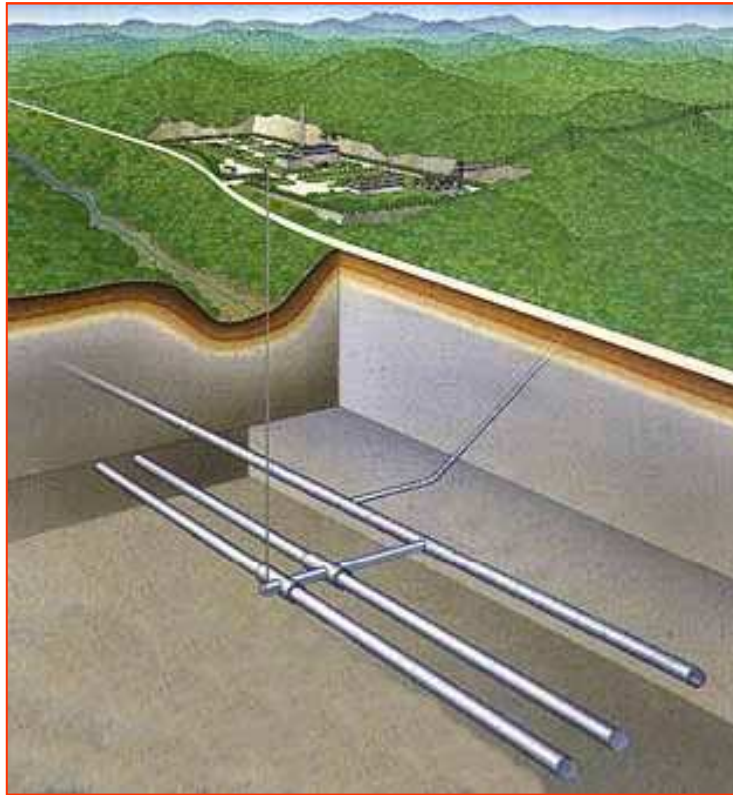
✚ Un supercondensador suministra potencia durante interrupciones breves y huecos de tensión, aunque, como se ha mencionado, durante periodos de tiempo muy cortos. Mediante la combinación de un supercondensador con un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI o UPS), basado en una batería para el almacenamiento de energía, se puede prolongar notablemente el espectro de acción de estos dispositivos. Además, las baterías sólo suministran potencia durante las interrupciones más largas, reduciéndose así el trabajo de las mismas.

## DISPOSITIVOS CORRECTORES



*UPS con  
condensadores  
ESMA (1 MJoule,  
1000 kg)*

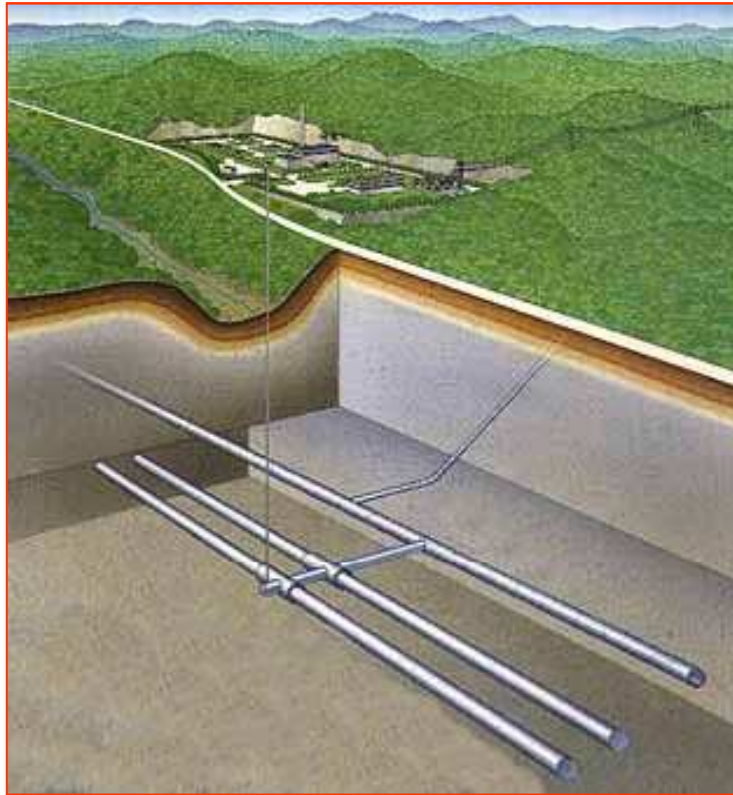
## DISPOSITIVOS CORRECTORES



### Almacenamiento de energía mediante aire comprimido

✚ Los sistemas de almacenamiento de energía mediante aire comprimido (*Compressed Air Energy Storage o CAES*) utilizan aire comprimido como medio de almacenamiento de energía. Un compresor impulsado por un motor eléctrico se emplea para presurizar el depósito de almacenamiento usando energía económica (por ejemplo durante las horas valle). El aire se libera desde el depósito a través de una turbina durante las horas punta para producir energía.

## DISPOSITIVOS CORRECTORES

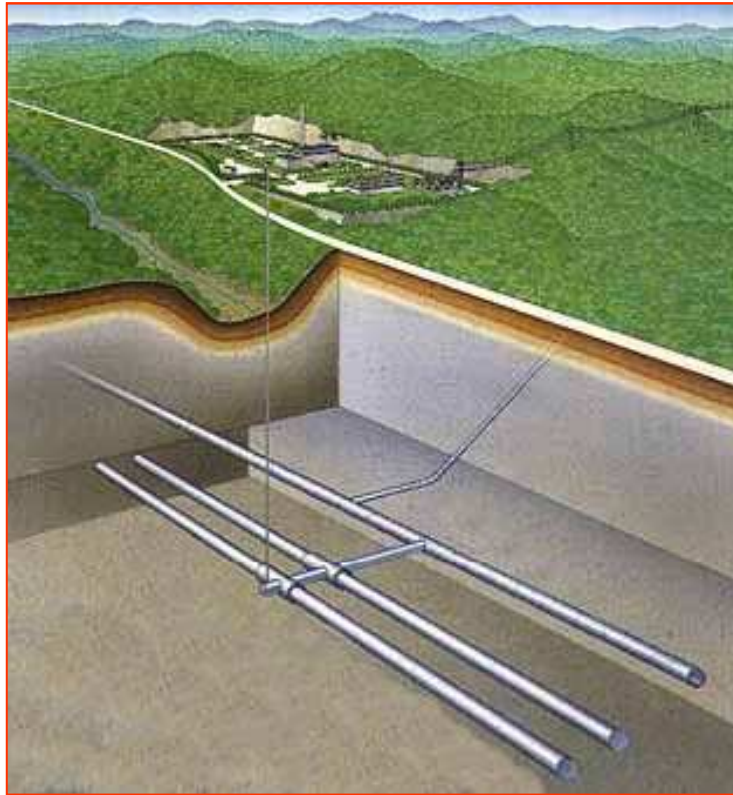


### Almacenamiento de energía mediante aire comprimido

✚ El aire comprimido puede almacenarse en diferentes tipos de depósitos: en acuíferos naturales (similares al almacenamiento convencional de gas natural), en grutas de sal excavadas hidráulicamente o en cavernas construidas en rocas. El almacenamiento en acuíferos es la opción más económica y es la que tiene lugar en la mayoría de las localizaciones.



## DISPOSITIVOS CORRECTORES

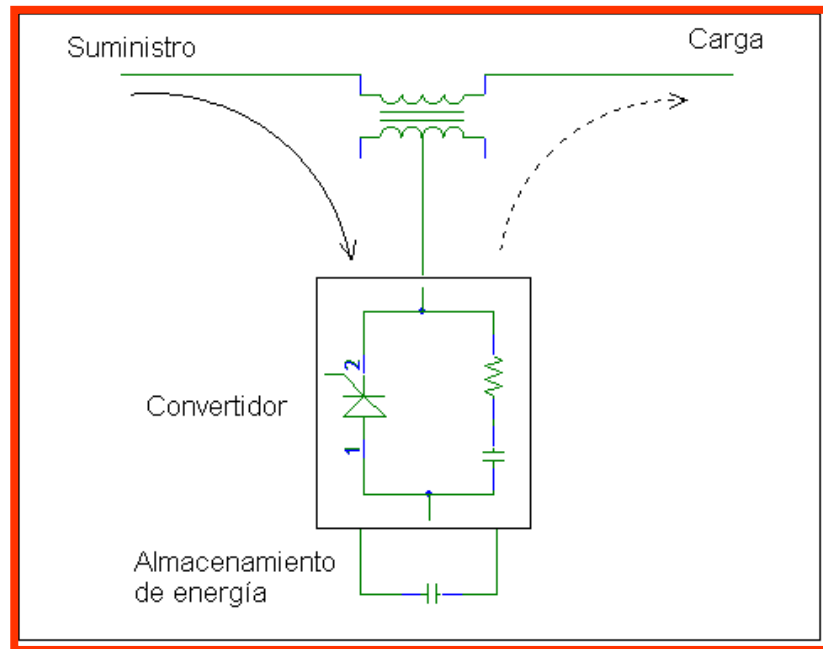


### Almacenamiento de energía mediante aire comprimido

✚ Los sistemas de almacenamiento basados en acuíferos y grutas de sal están actualmente funcionando en Huntorf, Alemania (290 MW), y en la planta de McIntosh proyectada por *Alabama Electric Cooperatives* (110 MW), respectivamente, ambas llevan más de una década operando. También pueden utilizarse tanques presurizados fabricados específicamente para funcionar como depósitos, aunque con un coste bastante elevado.



# DISPOSITIVOS CORRECTORES



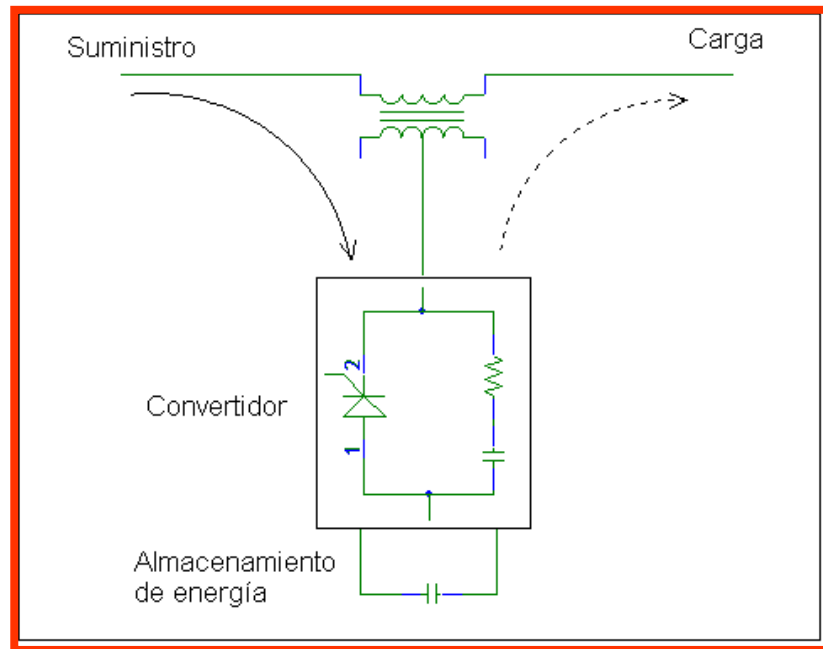
*Esquema representativo de un DVR.*



*Restaurador dinámico de tensión (DVR) de 4 MVA*

- ✚ Restaurador dinámico de tensión (**Dynamic Voltage Restorer o DVR**), el cual detectará y compensará, prácticamente de forma instantánea, las caídas de tensión, de forma que apenas se percibirá que hayan sucedido.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



*Esquema representativo de un DVR.*



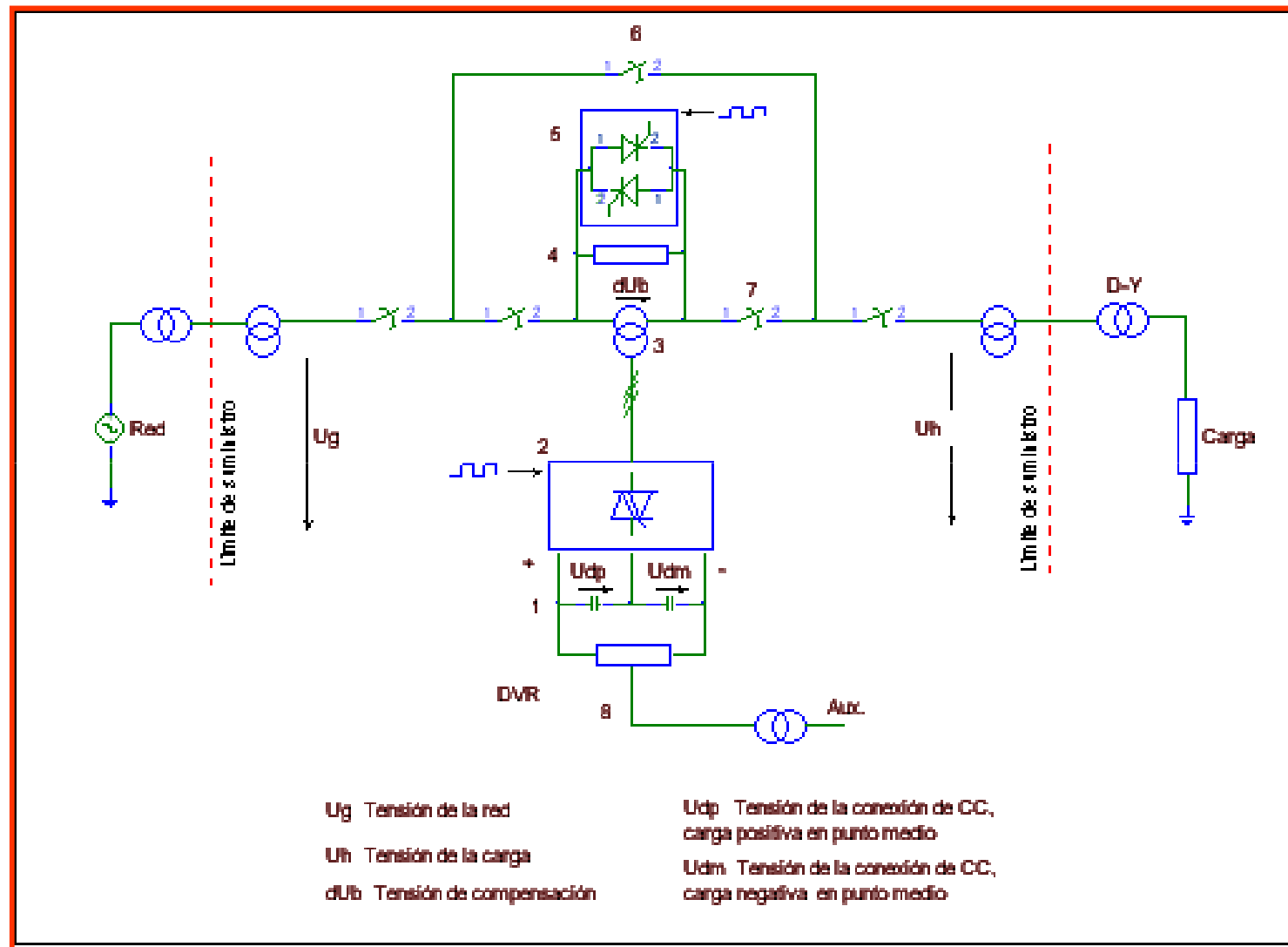
*Restaurador dinámico de tensión (DVR) de 4 MVA*

✚ En su fabricación, con un rango de potencias de 3 MVA hasta 50 MVA, se utilizan como elementos de conmutación tiristores conmutados por puerta aislada (IGCT), lo cual le confiere una rápida respuesta ( $<1$  ms), menores pérdidas de conducción y conmutación, además de unas mejores características de corte, así como una gran fiabilidad.

## DISPOSITIVOS CORRECTORES

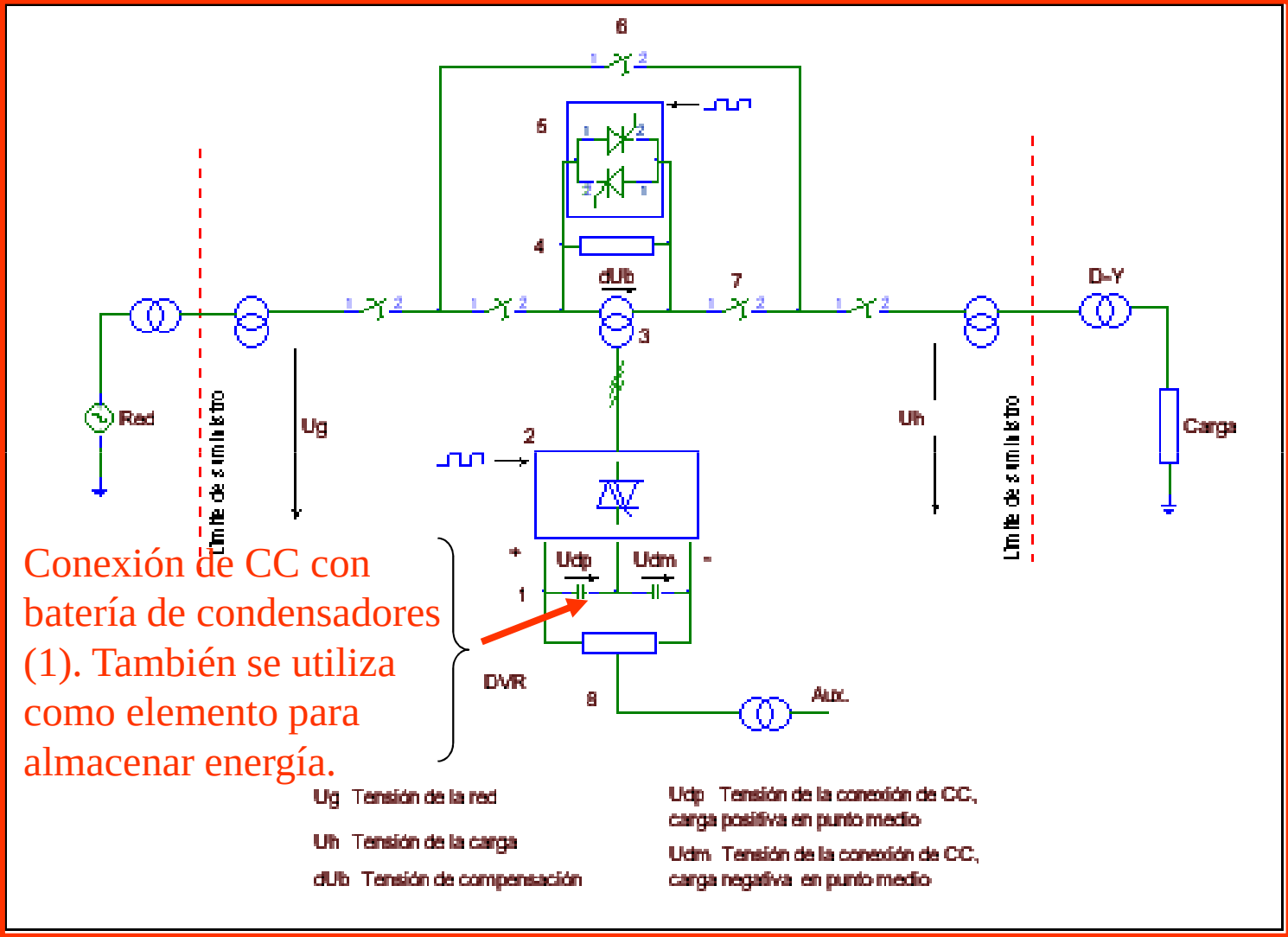
- Antes de realizar el diseño de un DVR, se debería efectuar un análisis del sistema. Los puntos importantes que es preciso definir, son los siguientes:
- Tipo de faltas (faltas simple fase–tierra, faltas entre dos fases o faltas trifásicas) contra la cuales se debe proteger la carga crítica, y dónde tienen lugar dichas faltas.
- Profundidad y duración de la caída de tensión.
- Tamaño (MVA) y factor de potencia de la carga crítica.
- Posibilidad de separar alimentaciones con cargas importantes.
- Necesidad de corrección de tensión en la carga crítica (porcentaje de tensión y tiempo de respuesta admisibles).
- Tipo de conexión del transformador (Y/y, Y/d, otras), tipo de tierra, etc.
- Con la información anterior, se puede diseñar el DVR más adecuado y ajustado en costes.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



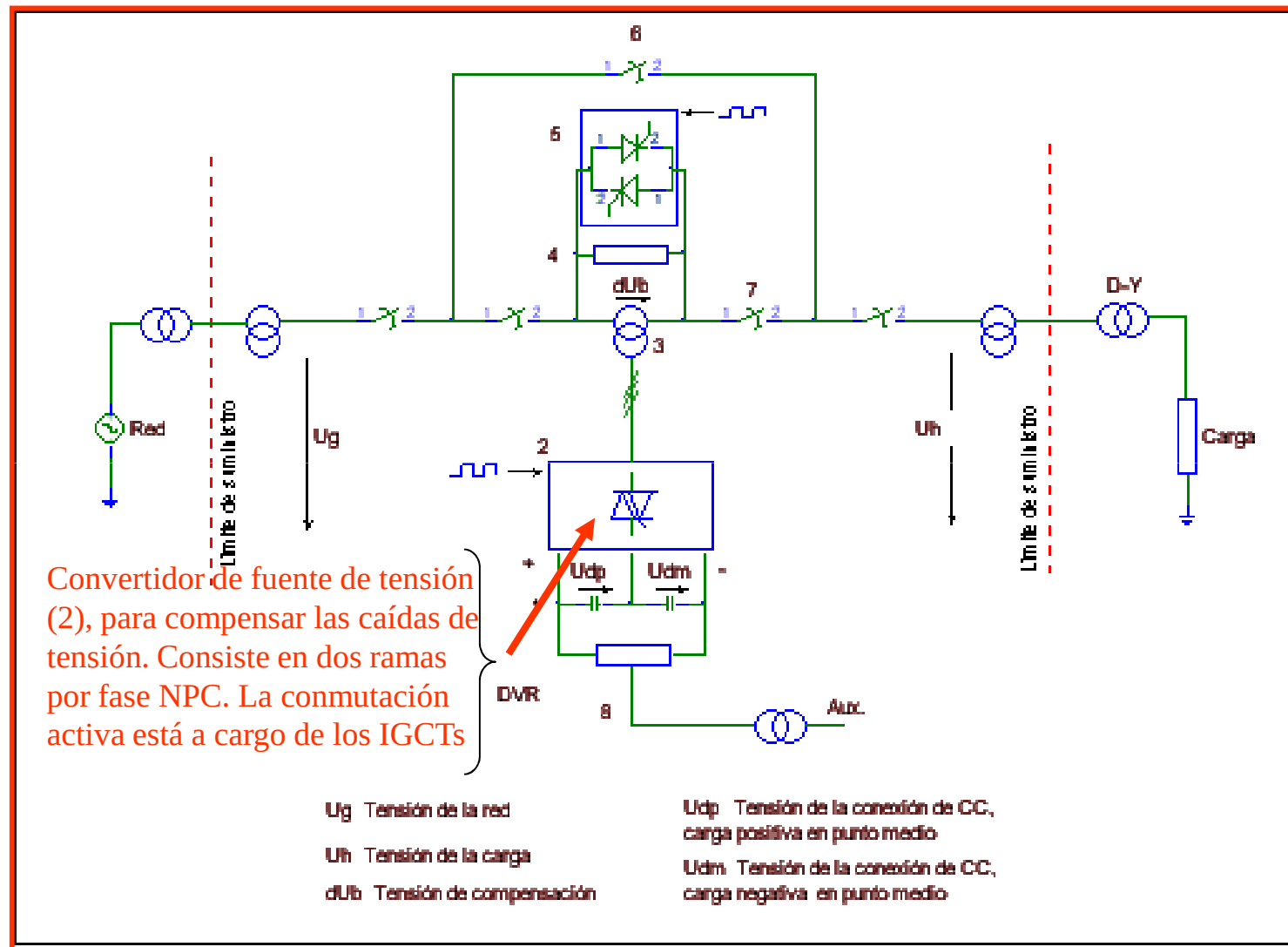
*Diagrama unifilar del circuito de potencia de un DVR*

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



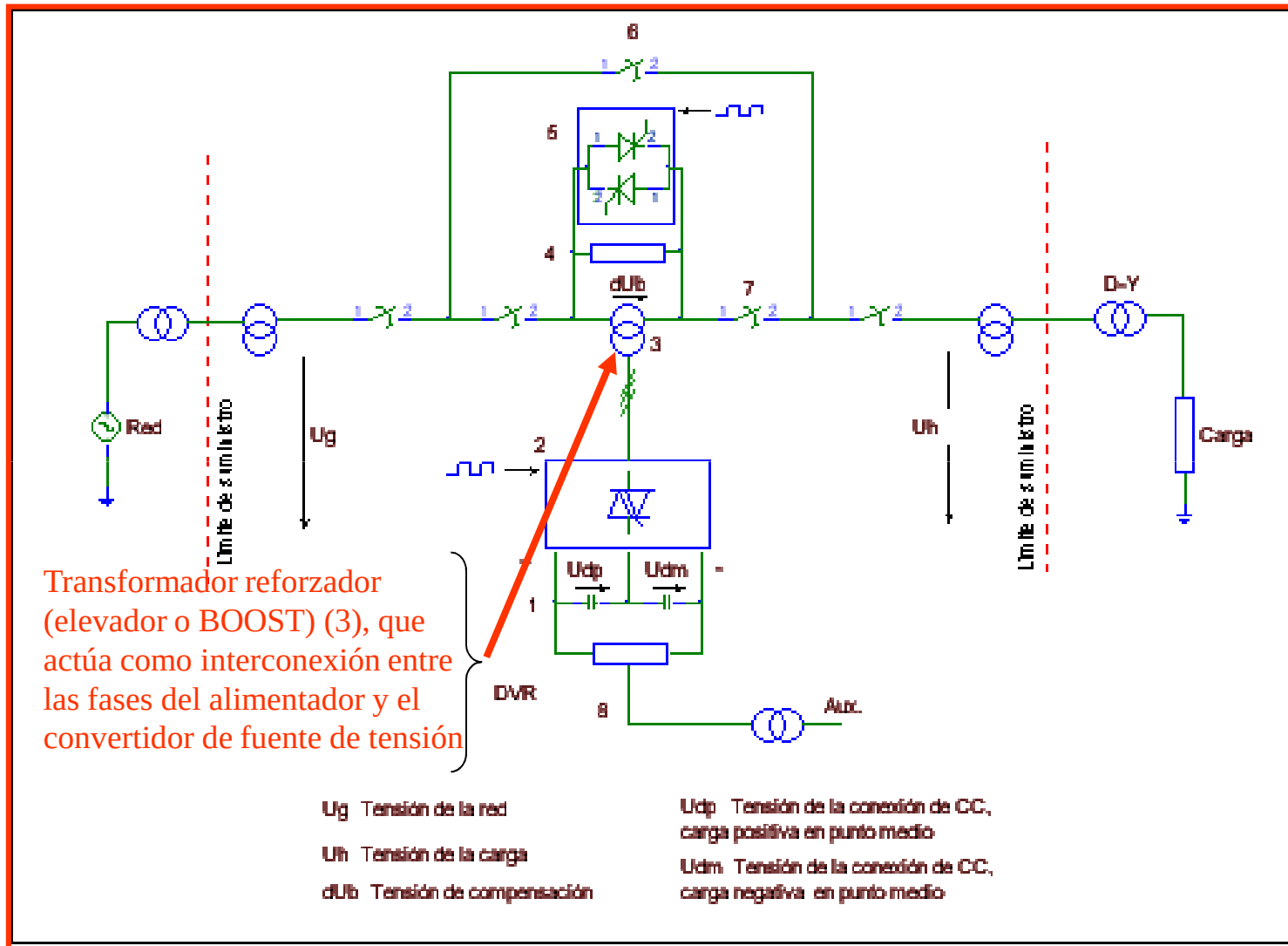
### Diagrama unifilar del circuito de potencia de un DVR

## DISPOSITIVOS CORRECTORES



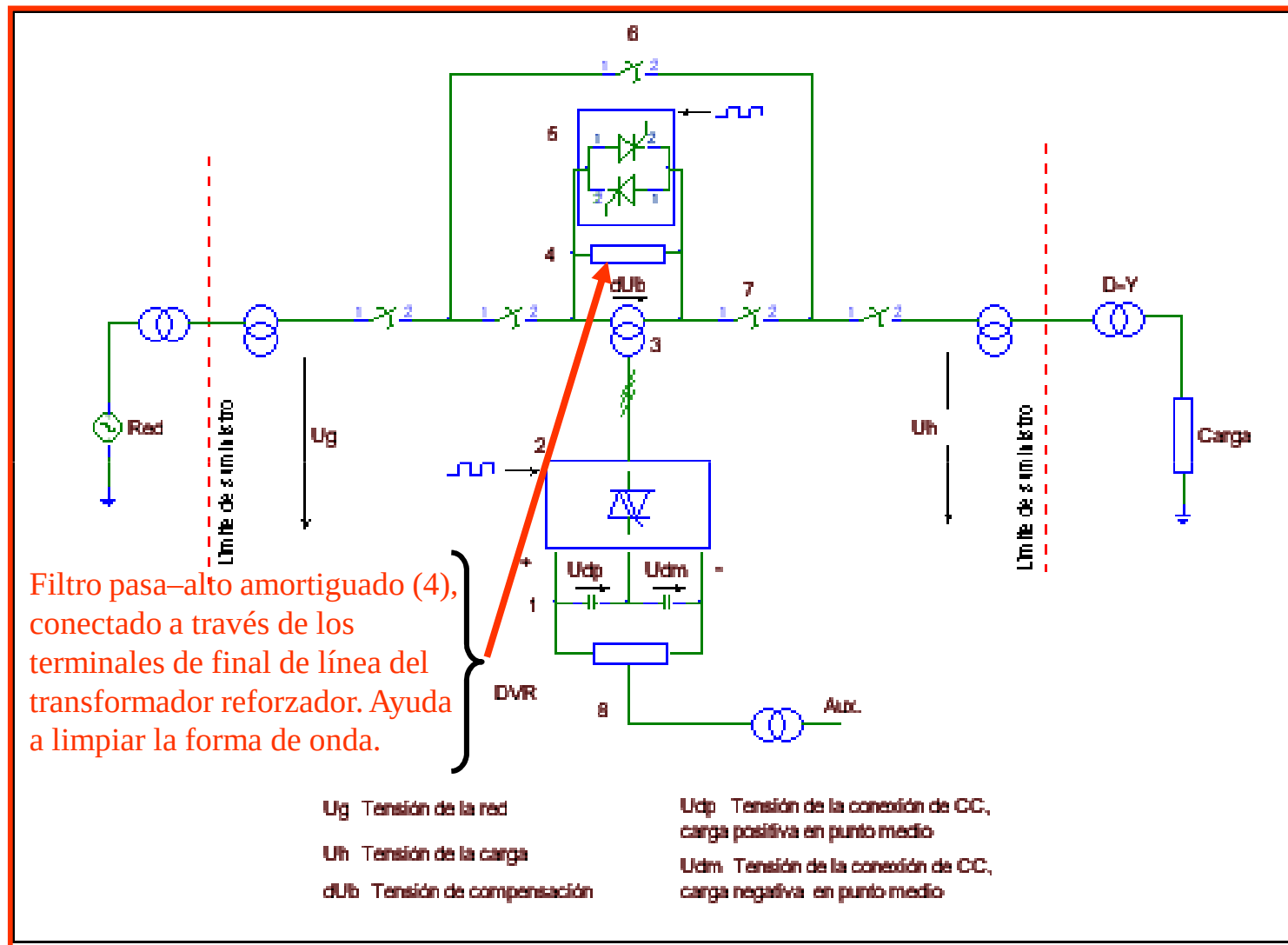
*Diagrama unifilar del circuito de potencia de un DVR*

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



*Diagrama unifilar del circuito de potencia de un DVR*

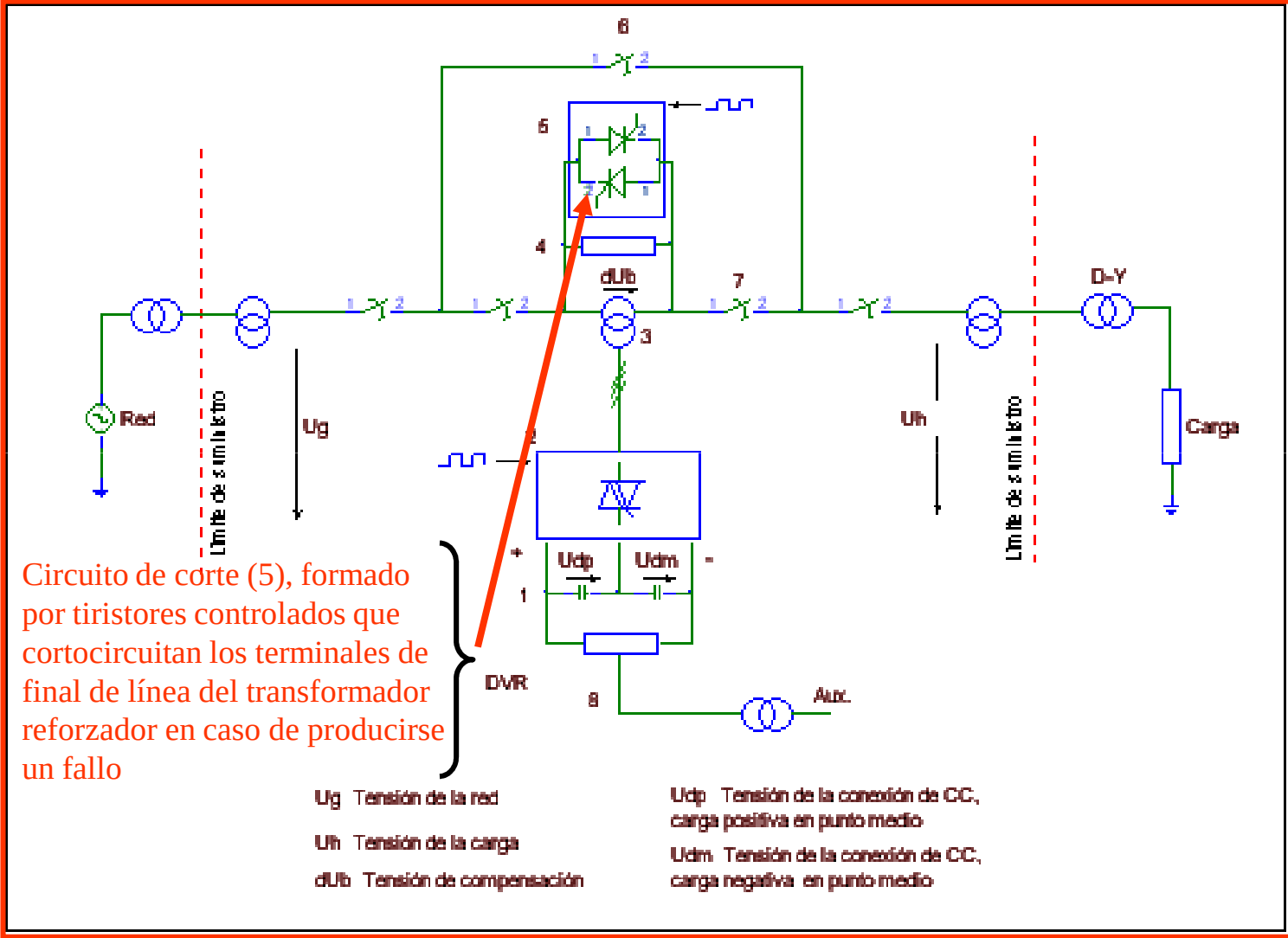
# DISPOSITIVOS CORRECTORES



*Diagrama unifilar del circuito de potencia de un DVR*

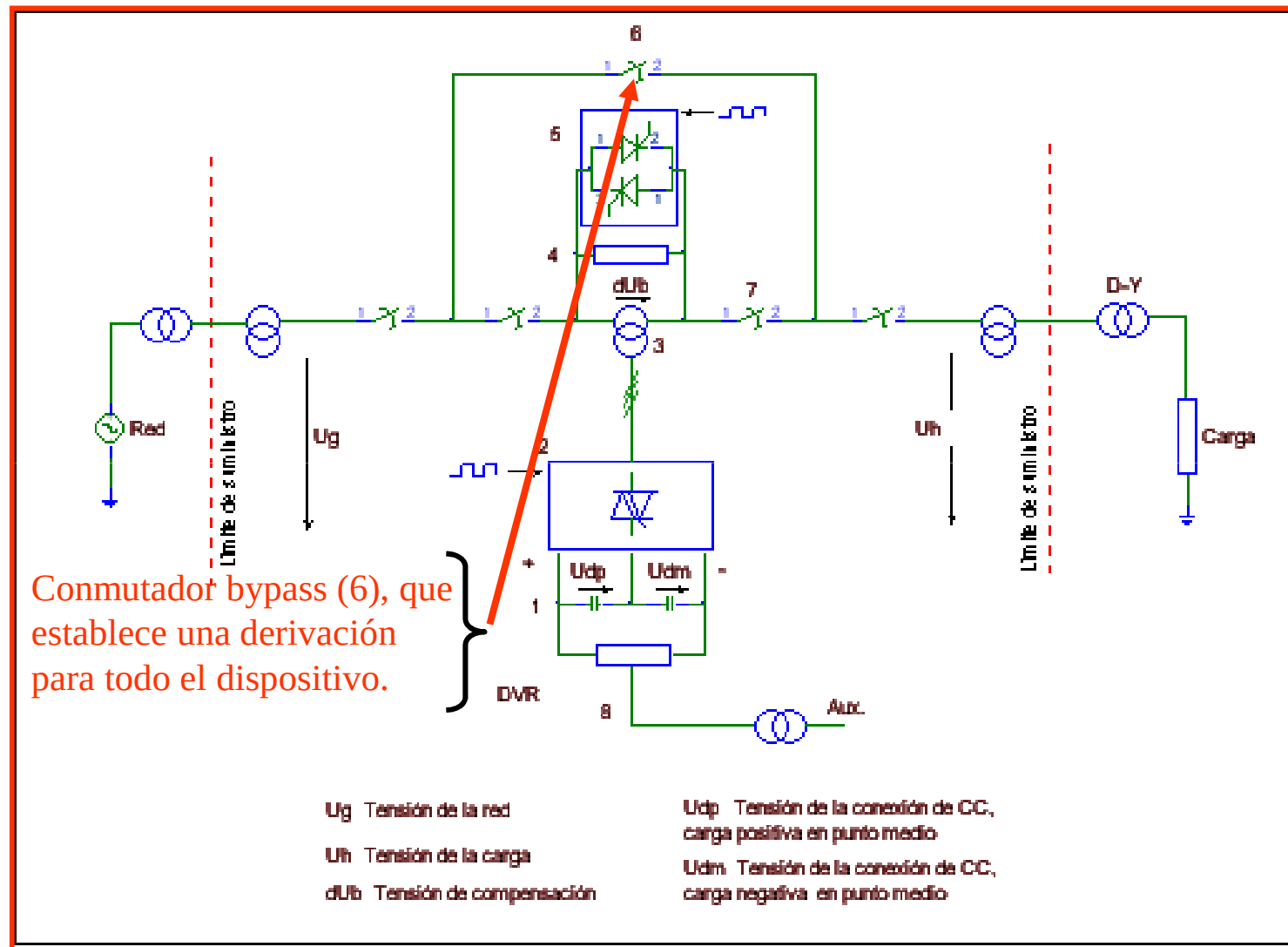


# DISPOSITIVOS CORRECTORES



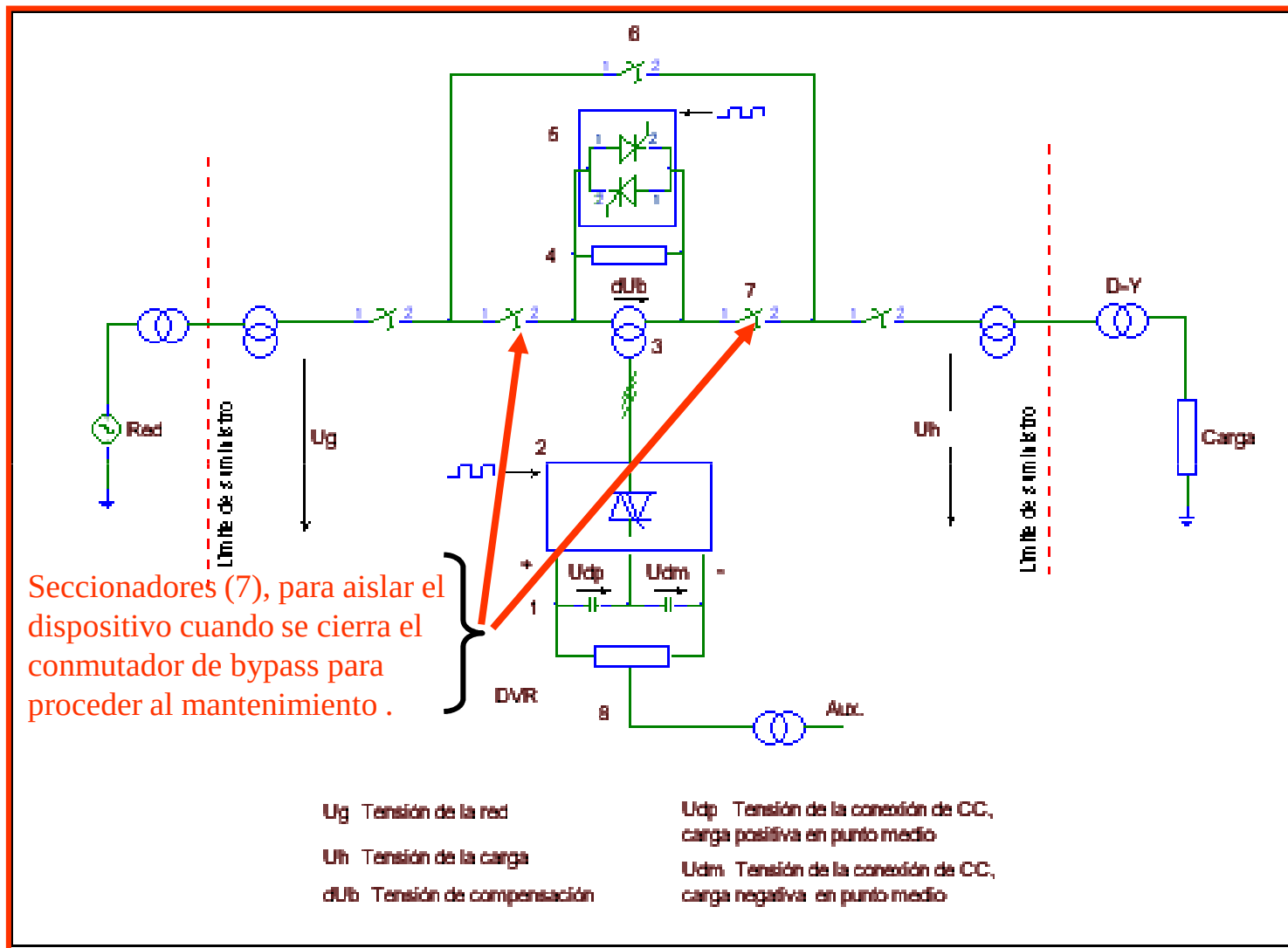
*Diagrama unifilar del circuito de potencia de un DVR*

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



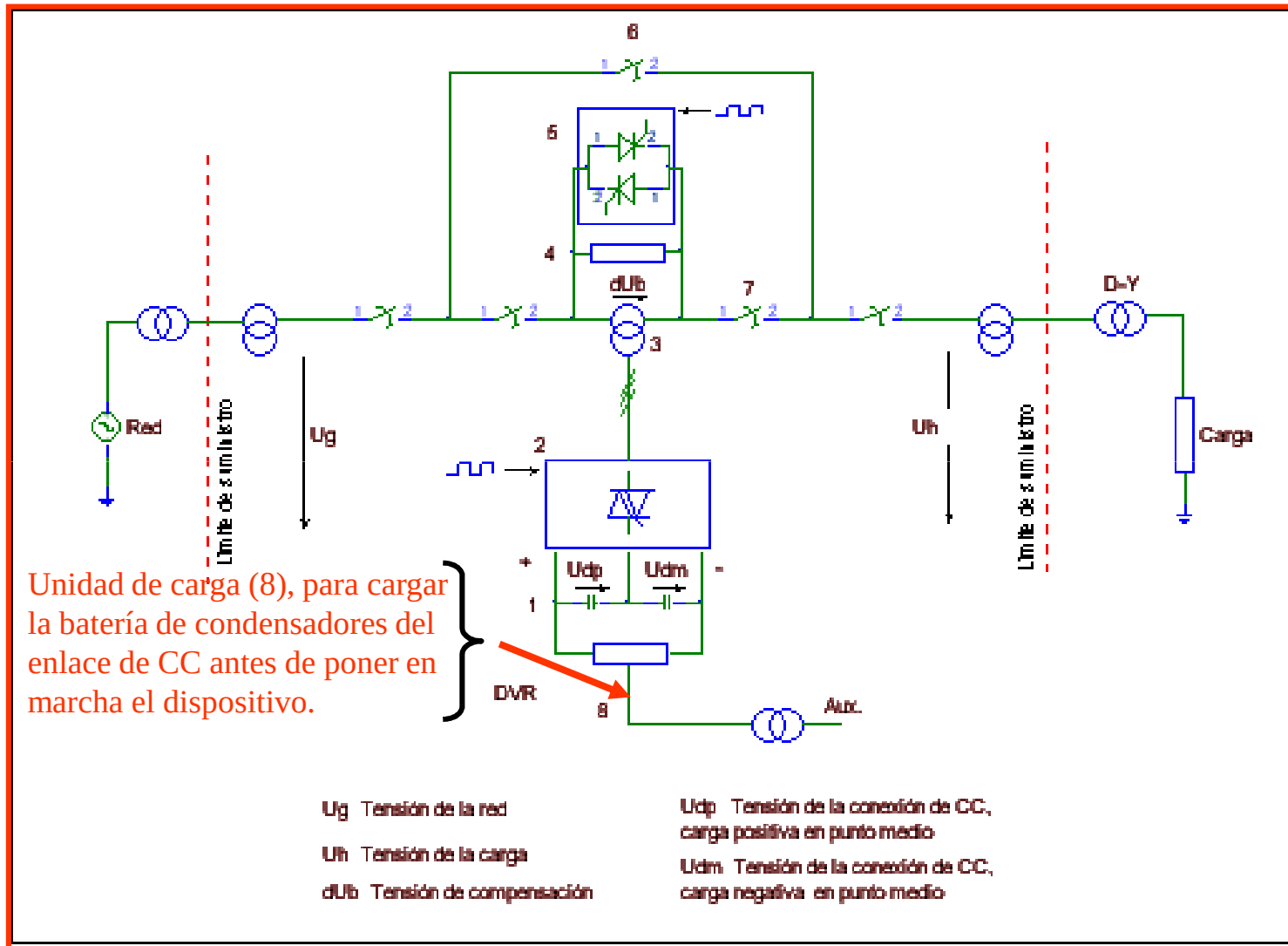
*Diagrama unifilar del circuito de potencia de un DVR*

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



*Diagrama unifilar del circuito de potencia de un DVR*

# DISPOSITIVOS CORRECTORES

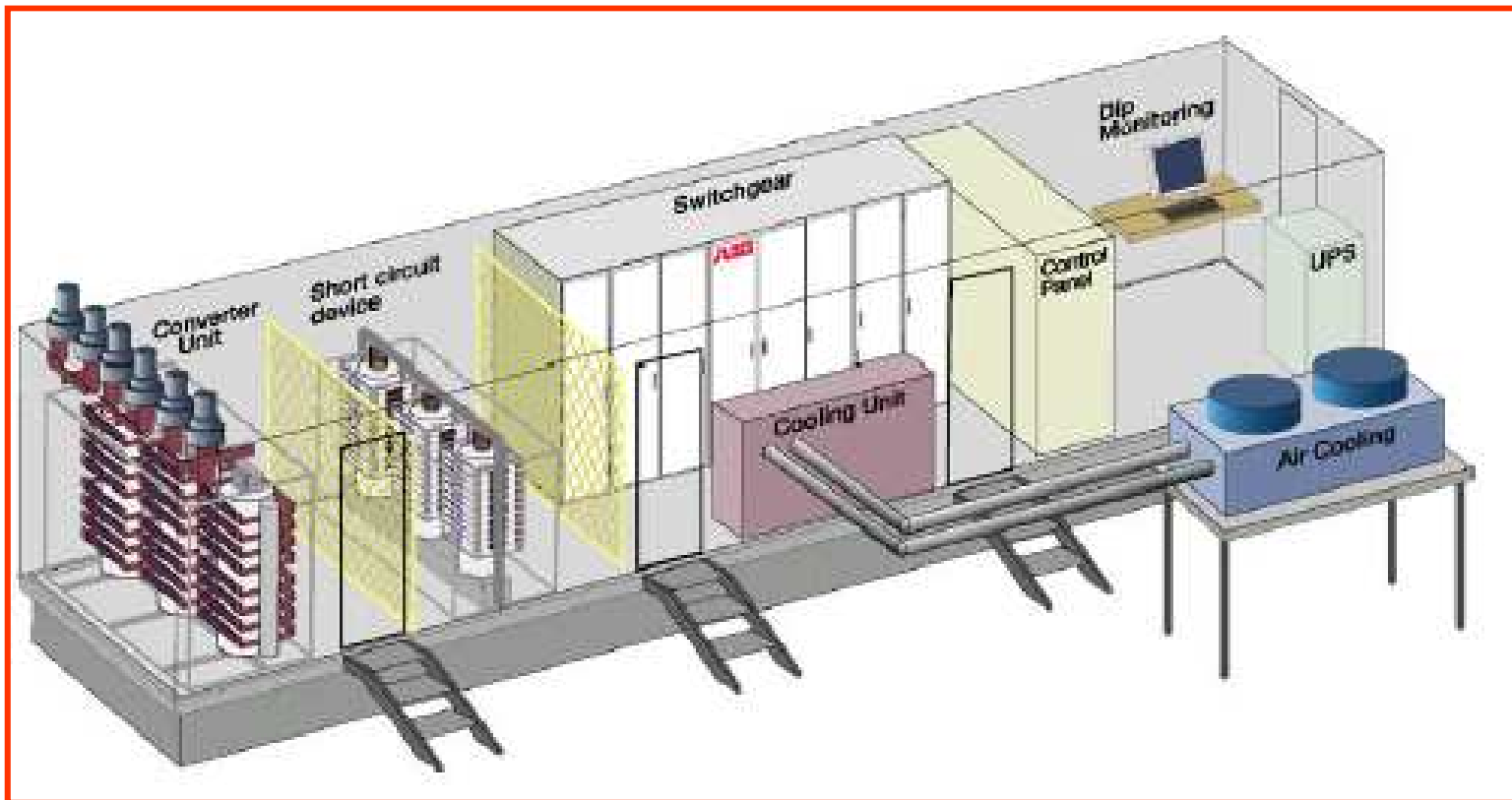


*Diagrama unifilar del circuito de potencia de un DVR*

## DISPOSITIVOS CORRECTORES

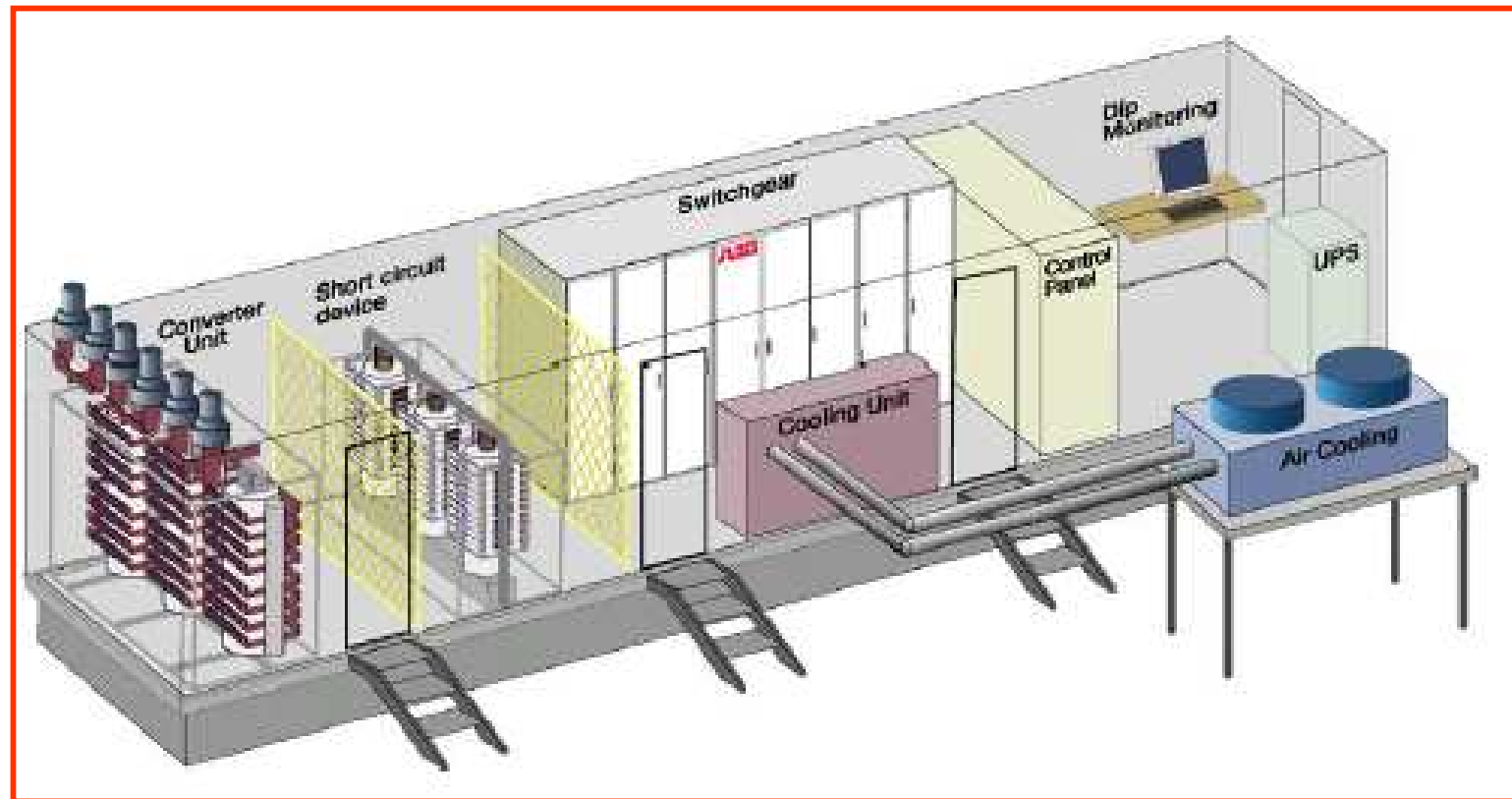
La idea básica de un DVR consiste en inyectar una tensión controlada dinámicamente, generada por un convertidor de conmutación forzada en serie con la barra de tensión, por medio de un transformador reforzador (BOOST). Las amplitudes momentáneas de las tres tensiones de fase inyectadas están controladas de tal forma que se consigue eliminar cualquier efecto perjudicial en la tensión de la carga como consecuencia de una falta en la barra. Esto significa que cualquier tensión diferencial causada por algún tipo de perturbación transitoria en la línea de alimentación de alterna será compensada por una tensión equivalente generada por el convertidor e inyectada en el nivel de media tensión a través del mencionado transformador reforzador (BOOST).

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



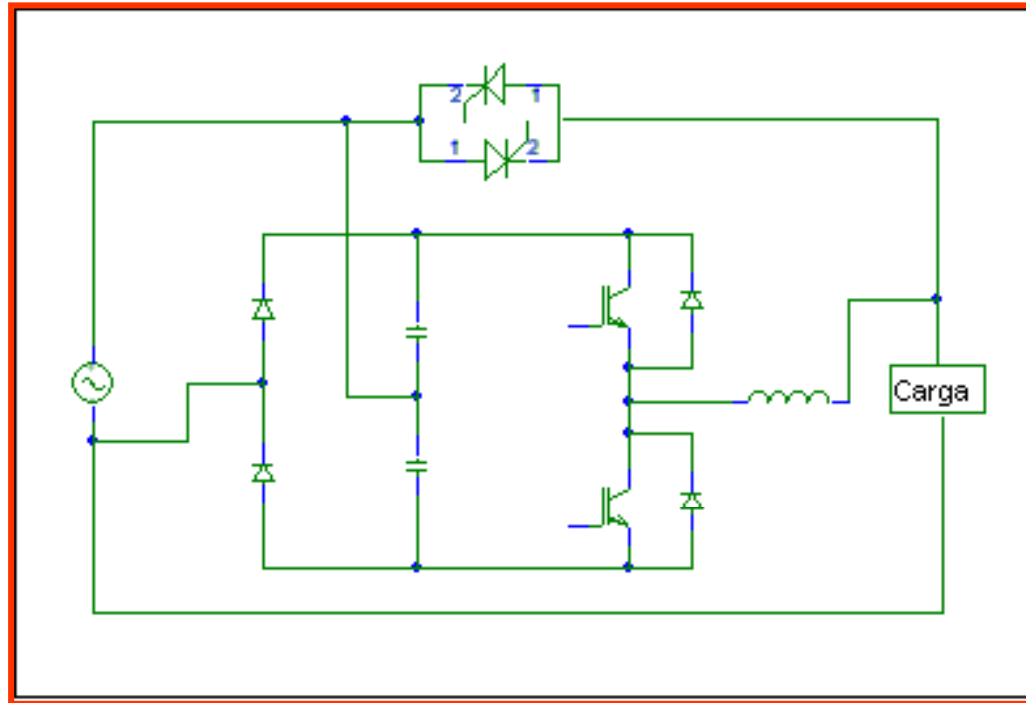
✚ En la *figura*, se muestra la disposición física de los componentes del restaurador DVR. Las operaciones de montaje y cableado, así como los ensayos de las unidades se realizan en fábrica, con lo que se reduce el tiempo para su instalación “in situ”, para el ajuste y para la puesta en marcha. El contenedor representado tiene 12.5 m de longitud, 3 m de anchura y 3 m de altura. En la mayoría de los casos, la batería de condensadores está alojada en un segundo contenedor de dimensiones similares.

# DISPOSITIVOS CORRECTORES



✚ El sistema de control, ha de tener una respuesta rápida y muy fiable. El modulador y todas las funciones de interbloqueo y monitorización relacionadas con el convertidor exigen una gran velocidad de procesamiento, razón por la cual se montan en una placa especial equipada con un dispositivo eléctrico de lógica programable (EPLD) y con varios procesadores de señales digitales. El control a nivel superior lo ejecuta un controlador programable de alta velocidad (PSR).

## DISPOSITIVOS CORRECTORES



### Corrector dinámico de huecos (*Dynamic Sag Corrector o DySC*)

✚ Es un sistema, sin baterías ni elementos móviles, que es capaz de corregir huecos por debajo del 50% de la tensión nominal durante un tiempo de hasta 2 s, proporcionando una onda de salida sinusoidal. El DySC inyecta una tensión en serie para regular la salida, durante un intervalo de tiempo que va desde los 3 a los 12 ciclos, con el fin de afrontar interrupciones cortas.



# DISPOSITIVOS CORRECTORES

## Cálculo del coste de equipos para la mitigación de huecos de tensión

El coste total asociado a los dispositivos de mejora de la calidad de onda se puede dividir en tres categorías:

**Precio de compra:** Es el valor por el que se obtiene el dispositivo. Este variará en función del fabricante y de las condiciones de mercado en cada momento.

**Costes de operación:** Este parámetro intenta determinar, de alguna manera, los posibles costes de funcionamiento de un dispositivo a través de sus expectativas de vida útil y reflejar todos ellos en el presente (por ejemplo, en un UPS se tendría en cuenta, entre otros, los gastos de mantenimiento asociados a sus baterías).

**Costes residuales:** Constituyen un coste por anticipado para el usuario, relacionado con todos aquellos eventos contra los que el dispositivo de mitigación de huecos no puede proporcionar protección. Se refiere, más concretamente, a los costes de huecos de tensión e interrupciones y se establece en función del número de veces que se pierde la carga, del valor en kVA de la carga y del coste por kVA de carga.

# MEDIOS DE INMUNIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES

\* **Sistemas de retención o reenganche de contactores.**  
Resultan indicados para cargas menores a unos VA y para huecos y cortes breves de menos de 1 s

\* **Conjunto motor de alterna-alternador con volante de inercia.** Es apropiado para cargas inferiores a 500 kVA y para huecos o cortes breves inferiores a 1 s.

\* **Conjunto motor de alterna-alternador con volante de inercia y motor térmico de emergencia.** Es apropiado para cargas inferiores a 500 kVA. Cuando entra el motor térmico de emergencia, puede producirse un paso por cero de corta duración

\* **Fuente continua con condensador de almacenamiento.**  
Es eficaz para cargas menores a unos VA y para huecos o cortes breves inferiores a 1 s

\* **Fuente de continua con batería de almacenamiento.** Es indicada para cargas menores a 300 kVA

\* **Conjunto rectificador-batería-motor de corriente continua-alternador con volante de inercia.**  
Resulta indicado para cargas menores de 500 kVA

\* **Sistema de alimentación ininterrumpida (S.A.I.).**  
Son eficaces para cargas menores de 1.000 kVA

\* **Conmutación a alimentación de socorro.**  
Indicada para cargas inferiores a 1.000 kVA. Implica un paso por cero de 0,4 s y la disponibilidad de alimentación indefinida desde nueva fuente

\* **Grupo de socorro diesel.** También resulta apropiado para cargas de menos de 1.000 kVA

# APLICACIÓN DE MEDIDAS DE INMUNIZACIÓN

## CONTACTORES

Normalmente, el contactor cae inmediatamente con el hueco y permanece abierto hasta el rearme manual

### VARIANTES:

1.- El contactor permanece cerrado del orden de 1 s tras la aparición del hueco. Si al cabo de ese tiempo la tensión no se recupera, cae definitivamente

2.- El contactor cae inmediatamente con el hueco y cierra si una tensión apropiada vuelve antes de un tiempo establecido

La elección de la variante, estará en función de que el proceso tenga la inercia suficiente para soportar la falta de alimentación y que tenga una reaceleración tolerable

## ORDENADORES

Utilizar sistemas cuya salida de tensión no se vea afectada por huecos

El propio ordenador detecta la perturbación, interrumpe el proceso y lo reanuda automáticamente cuando la tensión vuelve a su valor normal

### ACCIONAMIENTOS POR MOTOR DE CONTINUA ALIMENTADO POR RECTIFICADORES CONTROLADOS Y CON FRENADO POR RECUPERACIÓN

La inmunización es viable sólo si la duración del hueco es inferior a 1 s. En este caso, el principio básico de la inmunización es actuar sobre los impulsos de mando de los tiristores, una vez que se ha producido el hueco, para evitar situaciones de cortocircuito

# CONEXIÓN A RED DE PARQUES EÓLICOS

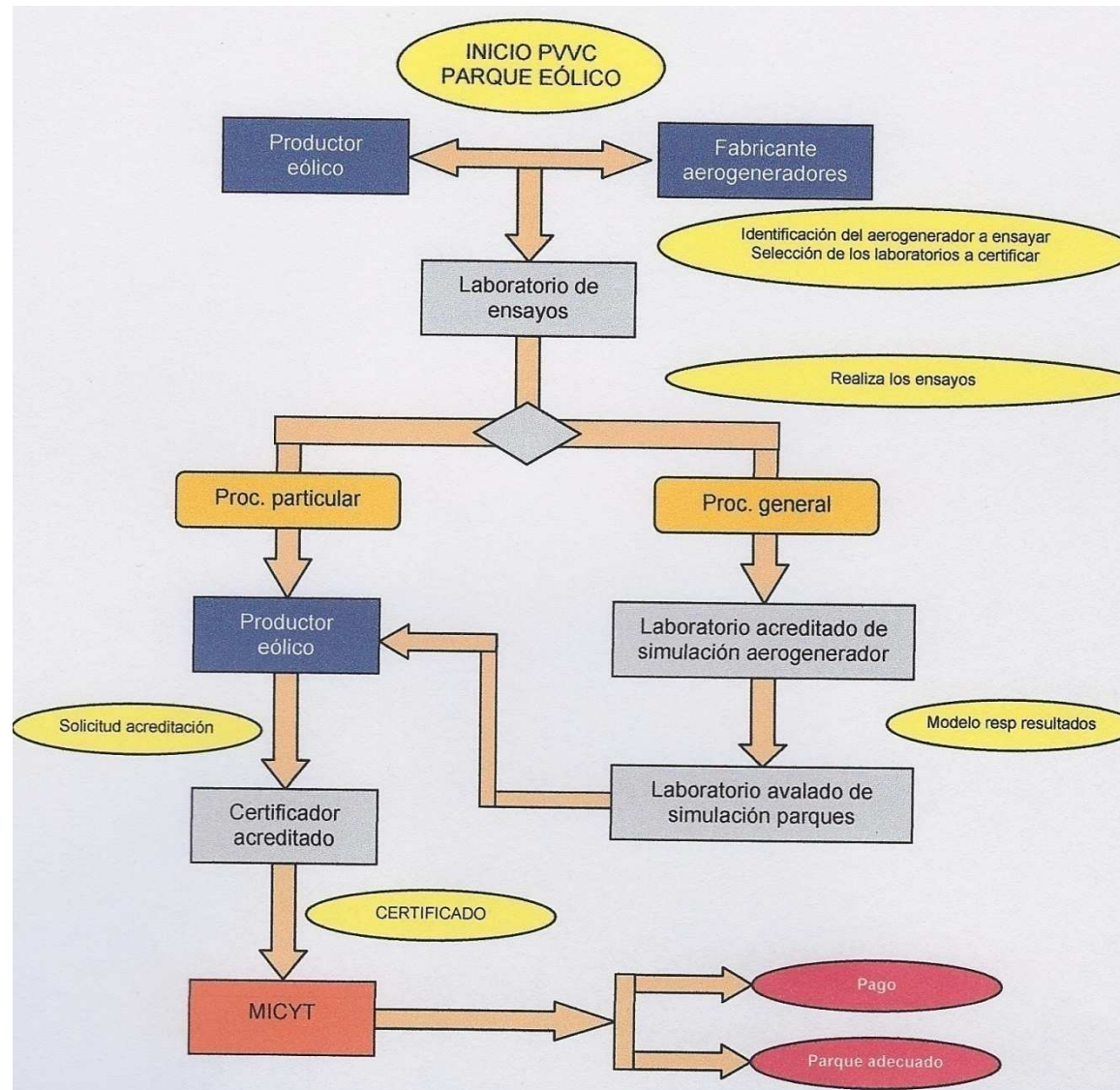


Fig.7.1. Sinopsis del procedimiento de verificación, validación y certificación del PO 12.3

# CONEXIÓN A RED DE PARQUES EÓLICOS

## Procedimiento de verificación

El inicio del proceso se produce cuando un promotor o fabricante contacta con un certificador y laboratorio acreditado para realizar el procedimiento sobre un modelo de aerogenerador o parque eólico. En ese momento es necesario decidir entre los dos posibles procesos:

- Proceso general;
- Proceso particular.

El proceso general consiste en verificar la no desconexión de la instalación eólica y el cumplimiento de los requisitos establecidos en el P.O. 12.3. Este proceso consta de tres acciones que, si se obtienen unos resultados satisfactorios, darán como resultado tres informes:

1. Ensayo del aerogenerador (y FACTS si existiera): Informe verificado de ensayo.
2. Simulación del aerogenerador (y FACTS si existiera): Informe verificado de validación de modelos.
3. Simulación del parque eólico: Informe verificado de simulación de parques eólicos.

Estos informes sólo pueden ser emitidos por laboratorios o entidades acreditadas conforme a la normativa ISO/IEC 17025.

# CONEXIÓN A RED DE PARQUES EÓLICOS

## Procedimiento de verificación

### Proceso particular

En el proceso particular, la verificación se realiza únicamente mediante la realización de ensayos, sin necesidad de simulación. En este caso, los ensayos son más severos que en el proceso general.

Los informes que resulten del proceso correspondiente serán la base técnica que permitirá al MITYC, o cualquier entidad en la que delegue, decidir si el propietario de una instalación eólica puede percibir el complemento que reconoce el Real Decreto 661/2007.

# CONEXIÓN A RED DE PARQUES EÓLICOS

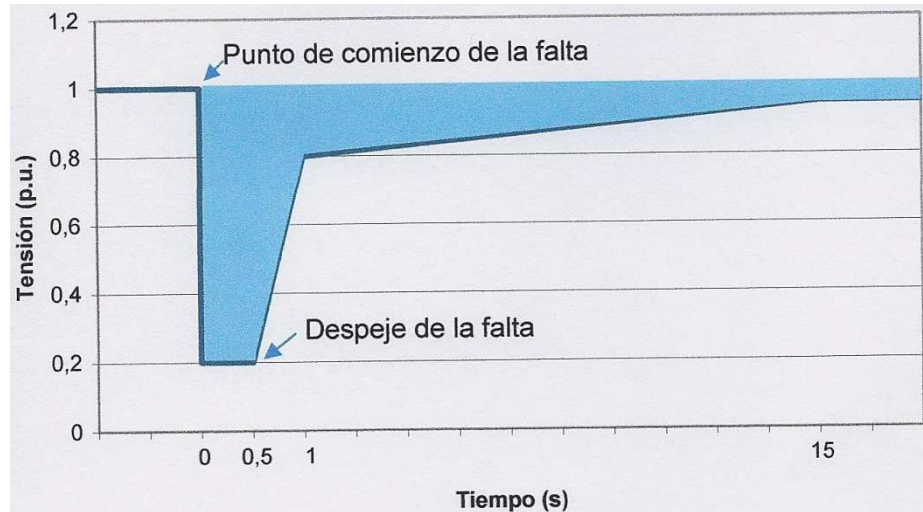


Fig. 7.2 Curva tensión de fase-tiempo

*Las instalaciones de generación no deben desconectar como consecuencia de los huecos de tensión asociados a cortocircuitos correctamente despejados; se tomarán, por lo tanto, las medidas de diseño y/o control necesarias en éstas (y todos sus componentes) para que soporten sin desconexión huecos de tensión trifásicos, bifásicos a tierra o monofásicos, en el punto de conexión a la red de transporte”, es decir, no deben desconectar por encima de la línea representada en la Figura (P.O.12.3)*

En el caso de cortocircuitos bifásicos aislados de tierra, el área sombreada de hueco de tensión en la que no se deberá producir desconexión de la instalación será de forma semejante al de la Figura, pero el valor límite inferior de tensión se sitúa en 0,6 p.u. en lugar de en 0,2 p.u.



## CONEXIÓN A RED DE PARQUES EÓLICOS

|                                     | <i>Faltas equilibradas (trifásicas)</i>                                                             | <i>Faltas desequilibradas (monofásicas y bifásicas)</i>                                    |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Continuidad de suministro</i>    | No permite desconexión en huecos de hasta el 80 % de profundidad y 500 ms de duración (Figura 7. 2) | No permite desconexión en huecos de hasta el 40 % de profundidad y 500 ms de duración      |
| <i>Consumo de potencia activa</i>   | No permite consumo salvo durante los 150 ms iniciales de la falta y 150 ms tras su despeje          | No permite consumo salvo durante los 150 ms iniciales de la falta y 150 ms tras su despeje |
| <i>Consumo de potencia reactiva</i> | No permite consumo salvo durante los 150 ms iniciales de la falta y 150 ms tras su despeje          | No permite consumo salvo durante los 150 ms iniciales de la falta y 150 ms tras su despeje |
| <i>Aportación de intensidad</i>     | Debe aportar la máxima intensidad posible según la Figura 7. 3                                      |                                                                                            |

Tabla. Resumen de los requisitos de respuesta

Además de la continuidad de suministro durante huecos de tensión, el P.O.12.3 establece una serie de requisitos que se resumen en la Tabla



## CONEXIÓN A RED DE PARQUES EÓLICOS

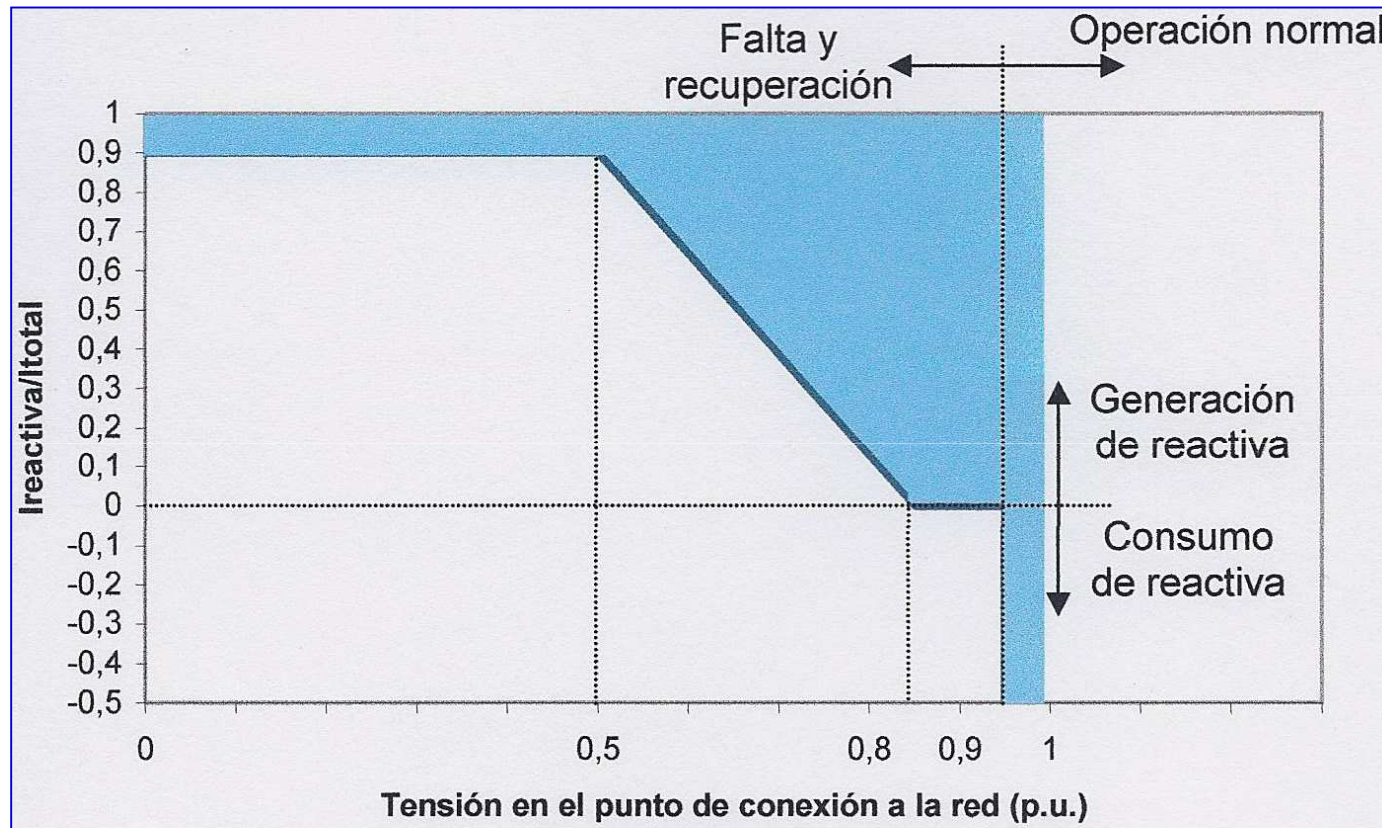


Fig.7.3. Área de funcionamiento admisible durante los periodos de falta y de recuperación de tensión, en función de la tensión en el punto de conexión a la red.

## CONEXIÓN A RED DE PARQUES EÓLICOS

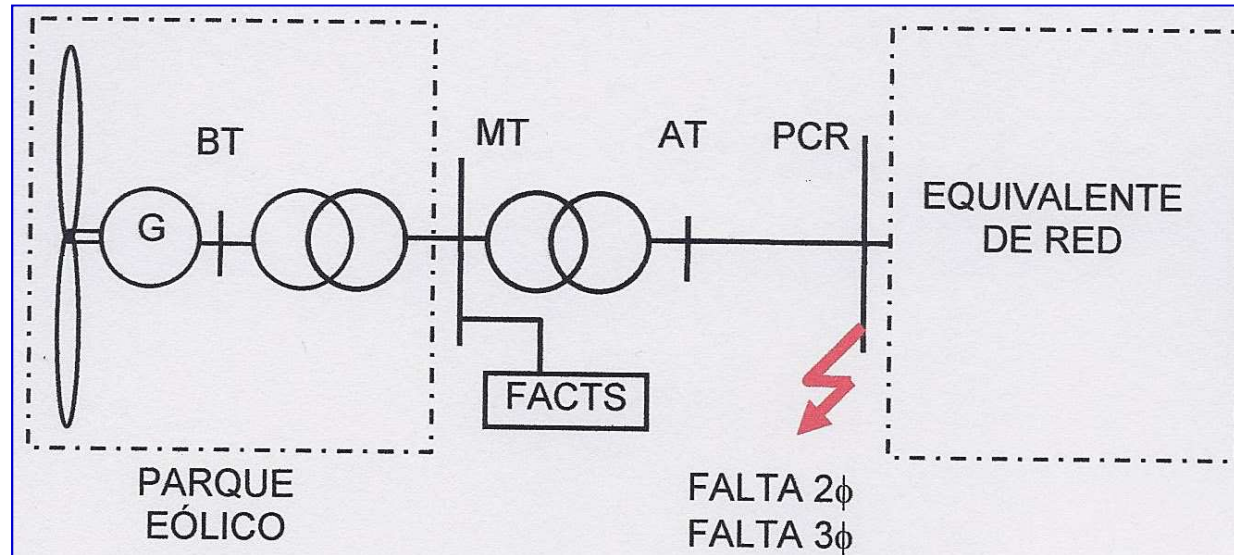


Fig.7.4. Topología del sistema a ensayar.

- ✚ Para el correcto modelado de un sistema eléctrico debe tenerse en cuenta el comportamiento de cada una de sus partes: generadores, transformadores, líneas, etc.
- ✚ El parque eólico incluye aerogeneradores, FACTS y sistemas de compensación de potencia reactiva, cables, transformadores elevadores (BT/MT) y líneas internas de la instalación.