# PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

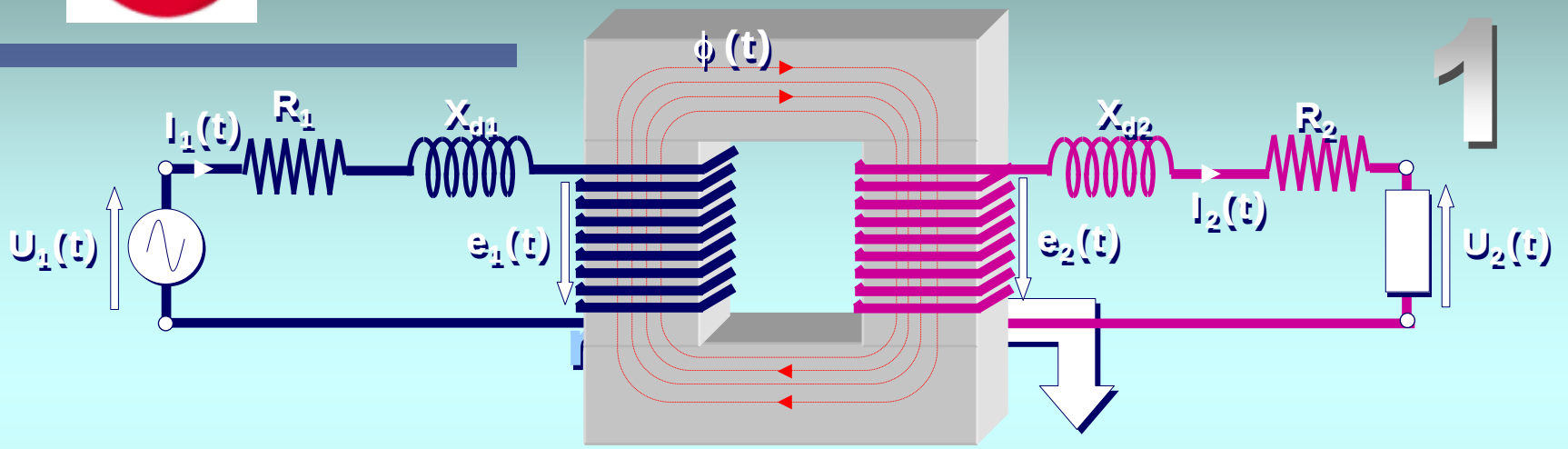
**Instituto de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia (IPSEP).**
**Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), Facultad de Ingeniería.**
**Ruta 36, Km. 601, (5800), Río Cuarto, Córdoba, ARGENTINA**
**Teléfono / Fax: +54 358 4676251 / +54 358 4676171**
**Email: gcampetelli@ing.unrc.edu.ar**

# INTRODUCCIÓN

- BREVE INTRODUCCIÓN TEÓRICA
- TIPOS DE FALLAS
- CAPACIDAD DE SOPORTAR SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS
- CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN
- ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

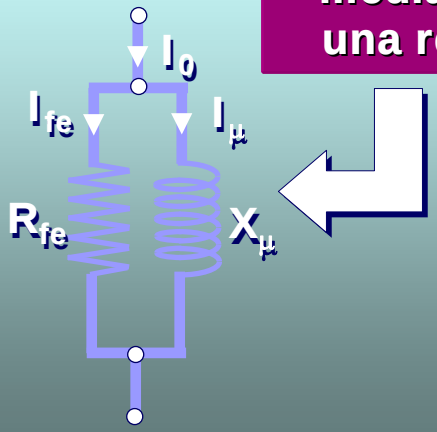
# INTRODUCCIÓN TEÓRICA

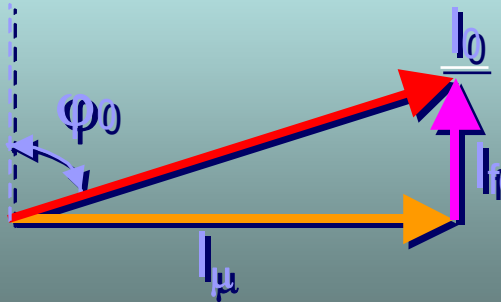





**Este efecto puede emularse mediante una resistencia y una reactancia en paralelo**

**El núcleo tiene pérdidas que se reflejan en la aparición de las dos componentes de la corriente de vacío**

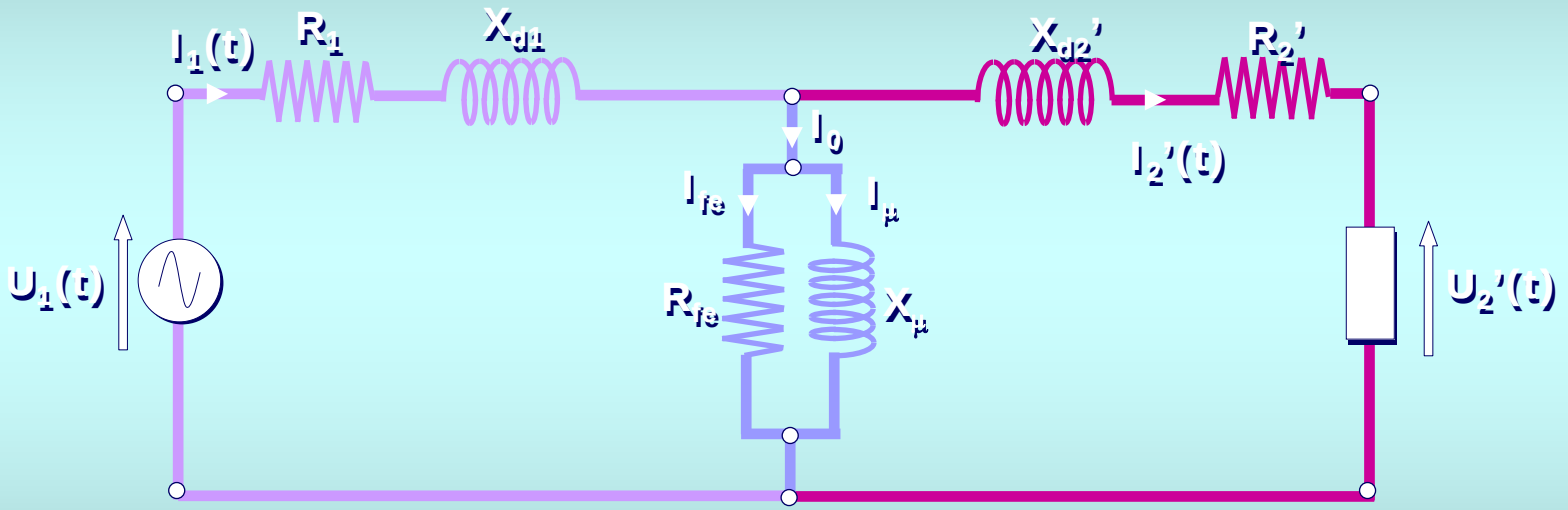



Componente de pérdidas

Componente magnetizante

# INTRODUCCIÓN TEÓRICA




**Circuito equivalente de un transformador real**

**El circuito equivalente permite calcular todas las variables incluidas pérdidas y rendimiento**

**Los elementos del circuito equivalente se obtienen mediante ensayos normalizados**

**Una vez resuelto el circuito equivalente los valores reales se calculan deshaciendo la reducción al primario**

# INTRODUCCIÓN TEÓRICA

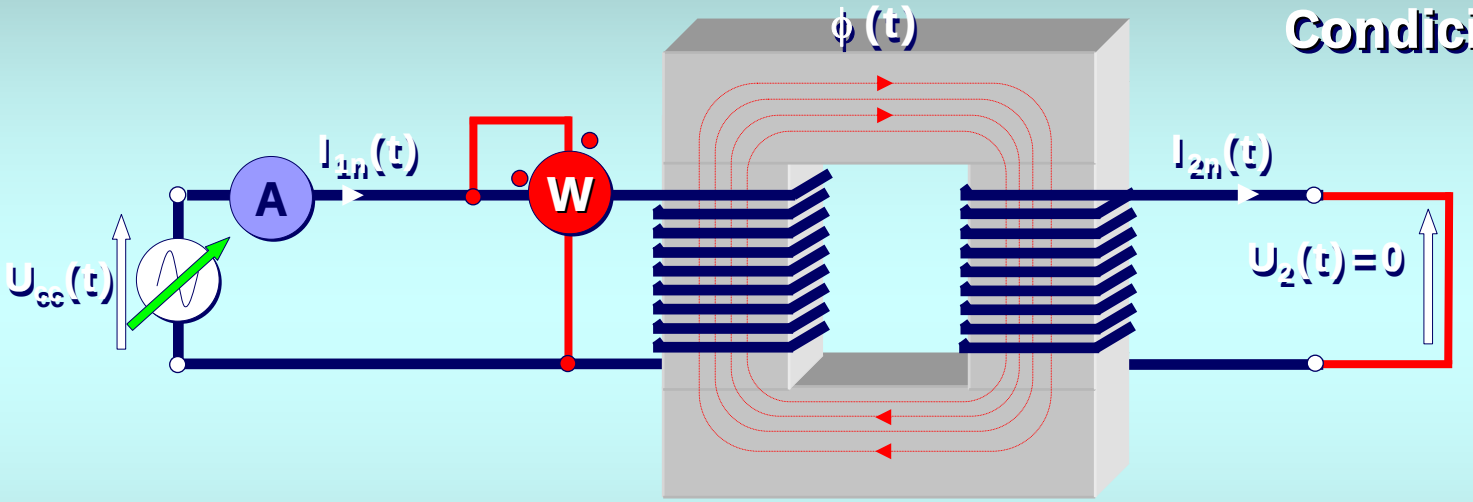
Existen dos ensayos normalizados que permiten obtener las caídas de tensión, pérdidas y parámetros del circuito equivalente del transformador

- Ensayo de vacío
- Ensayo de cortocircuito

En ambos ensayos se miden tensiones, corrientes y potencias. A partir del resultado de las mediciones es posible estimar las pérdidas y reconstruir el circuito equivalente con todos sus elementos

# INTRODUCCIÓN TEÓRICA

## ENSAYO EN CORTOCIRCUITO




**Condiciones ensayo:**

- Secundario en cortocircuito
- Tensión primario muy reducida
- Corriente nominal $I_{1n}$, $I_{2n}$

**Al ser la tensión del ensayo muy baja habrá muy poco flujo y, por tanto, las pérdidas en el hierro serán despreciables ($P_{fe} = kB_m^2$)**

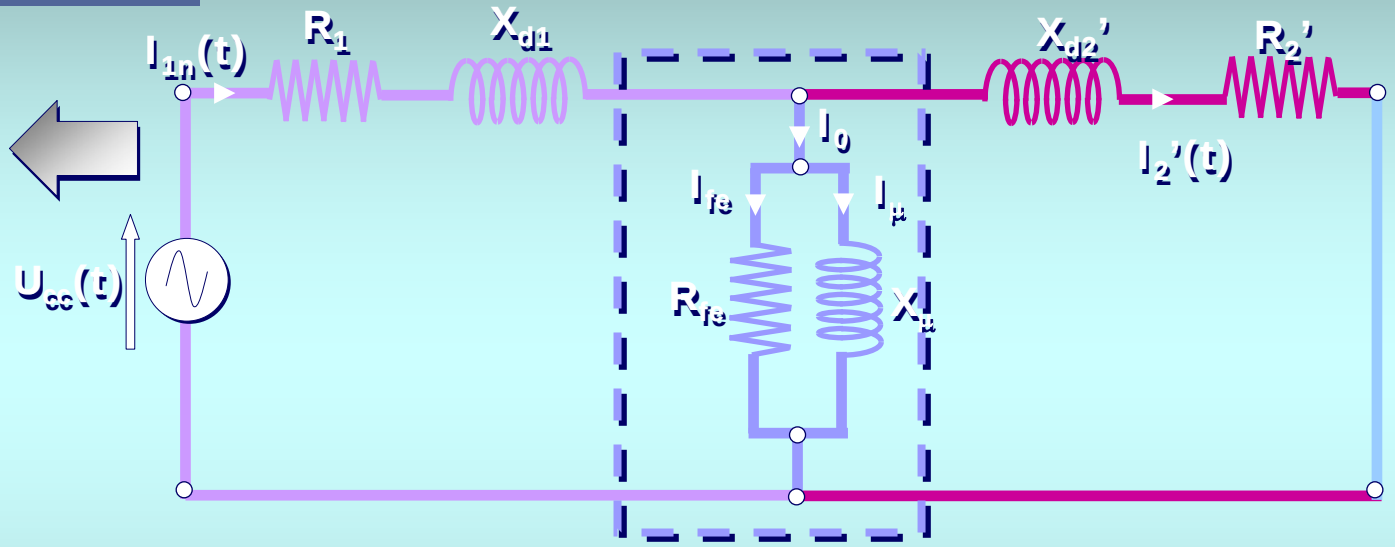
**Resultados ensayo:**

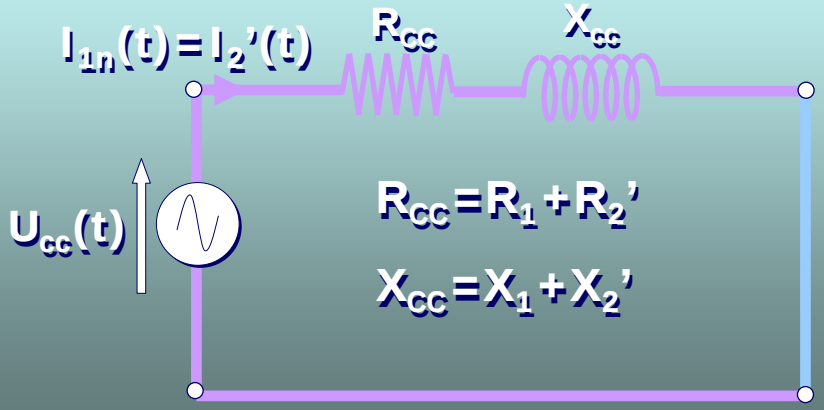
- Pérdidas en el cobre → W
- Parámetros circuito →
  - $R_{cc} = R_1 + R_2'$
  - $X_{cc} = X_1 + X_2'$

# INTRODUCCIÓN TEÓRICA

## ENSAYO EN CORTOCIRCUITO

**Al estar el secundario en cortocircuito se puede despreciar la rama en paralelo**




$$Ucc[\%] = \frac{Ucc(t)}{Un}.100$$

$$Icc[A] = \frac{In}{Ucc[\%]}.100$$

# TIPOS DE FALLAS

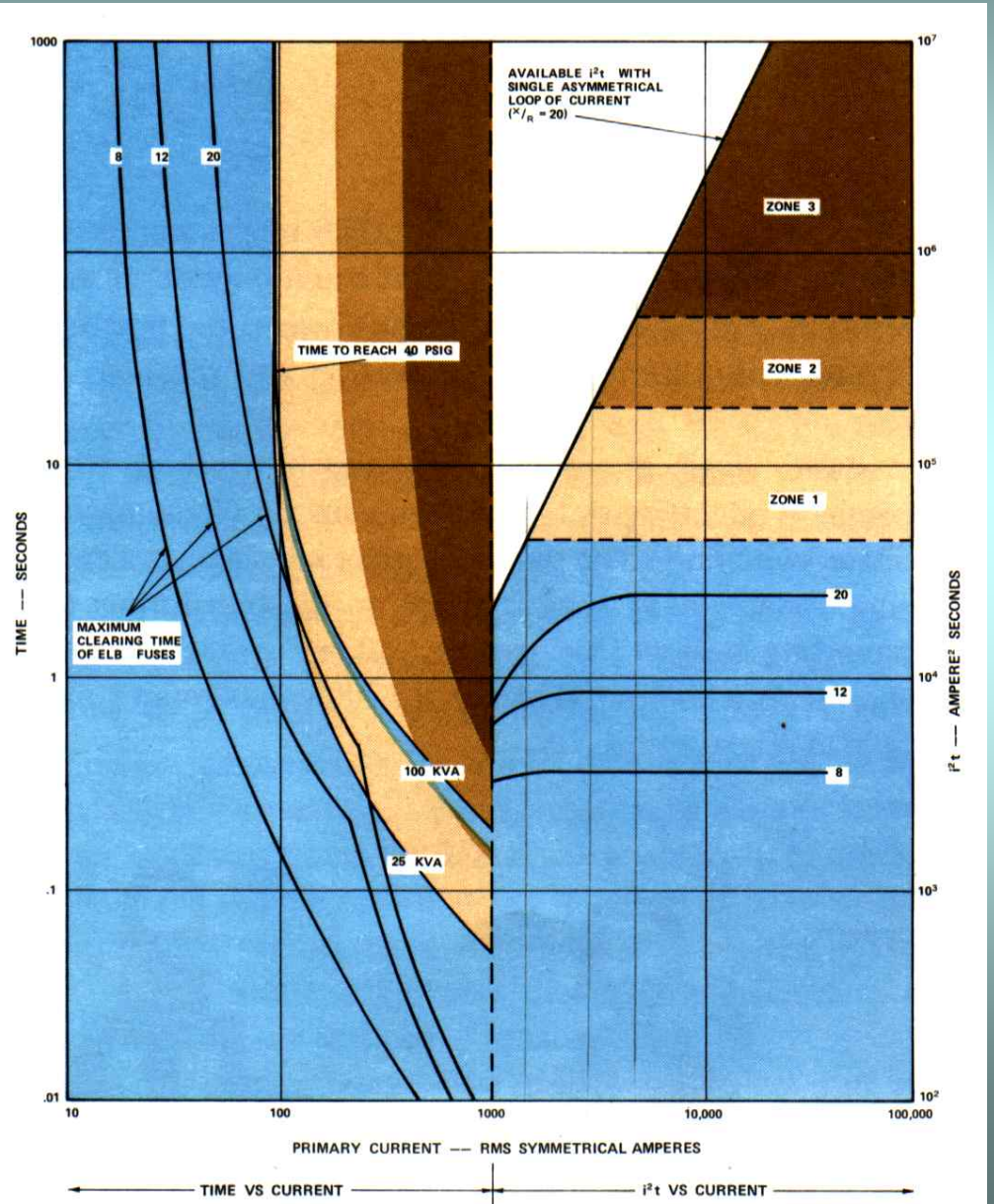
- ***Fallas externas:*** el esquema de protección debe evitar que esa falla deteriore al equipo y debe brindar una indicación inequívoca de su procedencia

- ***Fallas internas:*** la protección debe disminuir los daños producidos durante la falla. En el extremo se debe evitar que la energía de arco lleve a la explosión violenta de la cuba.

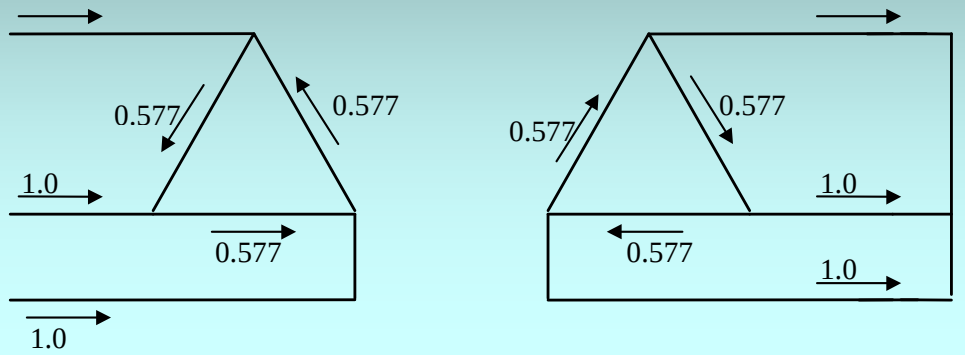
# TIPOS DE FALLAS

## Fallas internas:

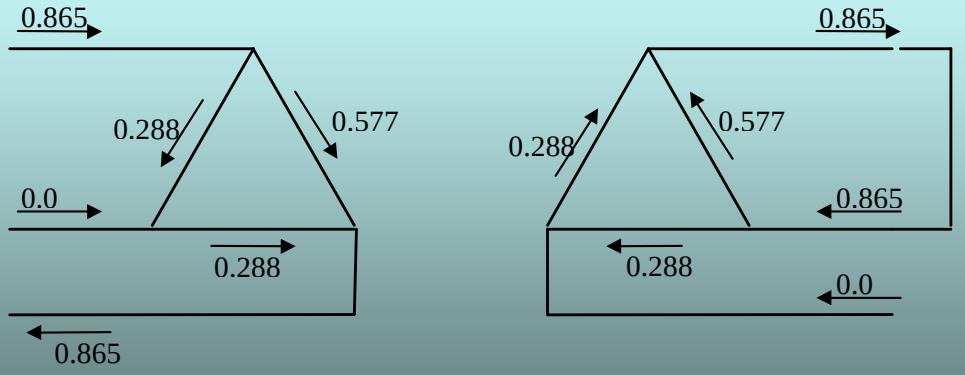
Pérdida de aislación
- entre espiras
- entre fases
- entre fase y masa



# TIPOS DE FALLAS

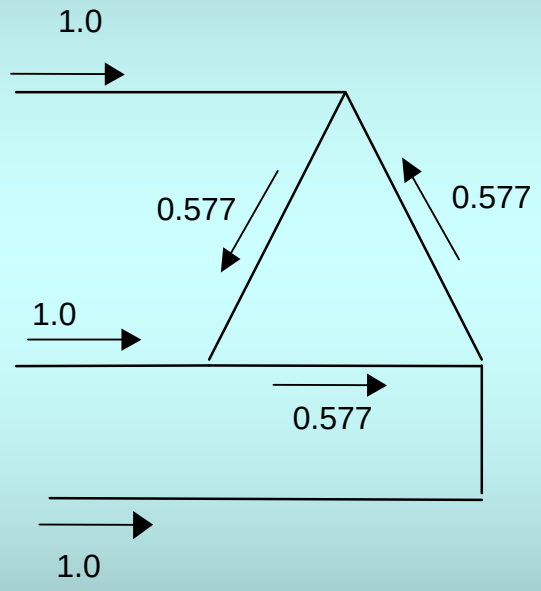


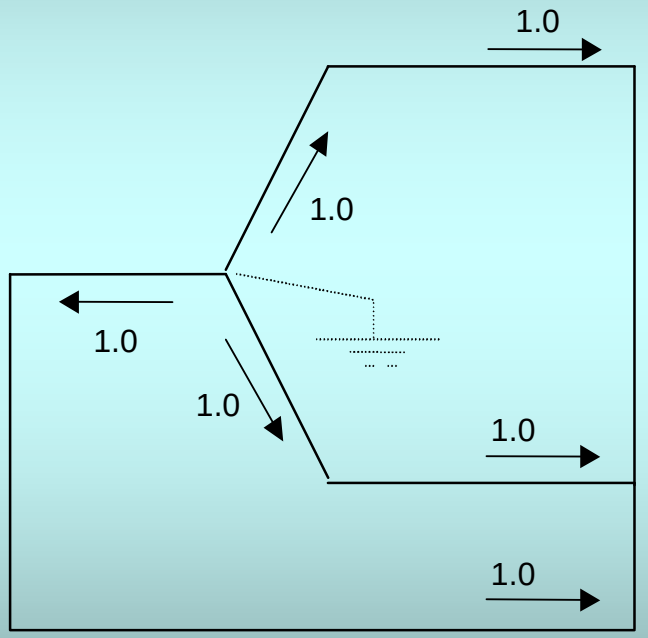

**Falla trifásica en Transformador triángulo - triángulo**




**Falla bifásica en Transformador triángulo - triángulo**

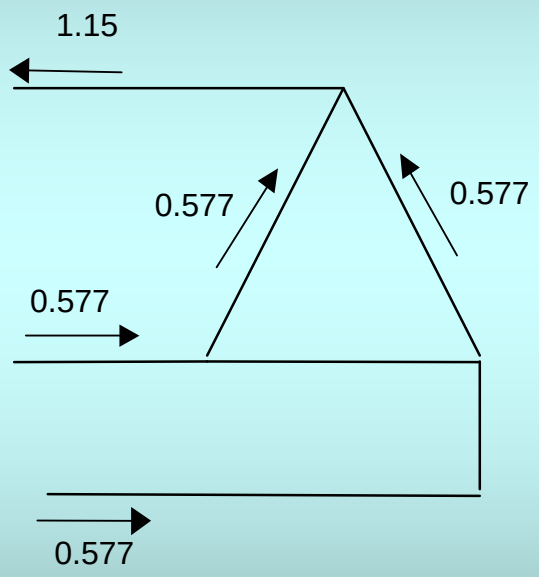
# TIPOS DE FALLAS

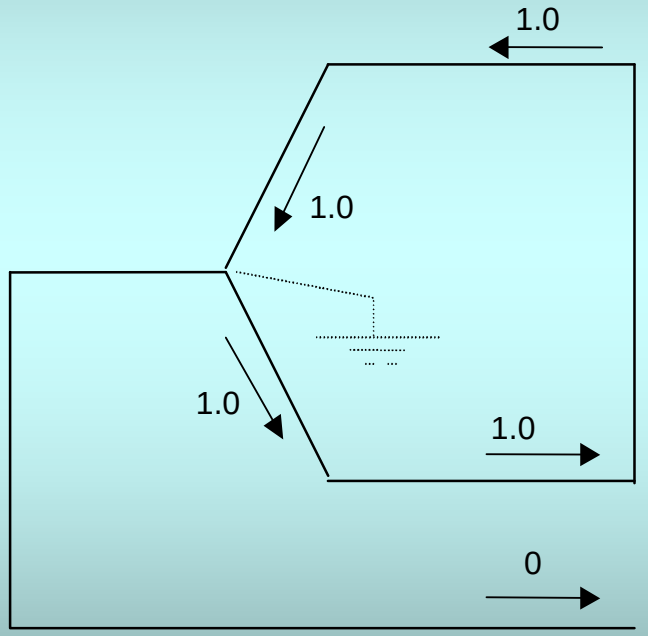



**Falla trifásica en Transformador triángulo - estrella**

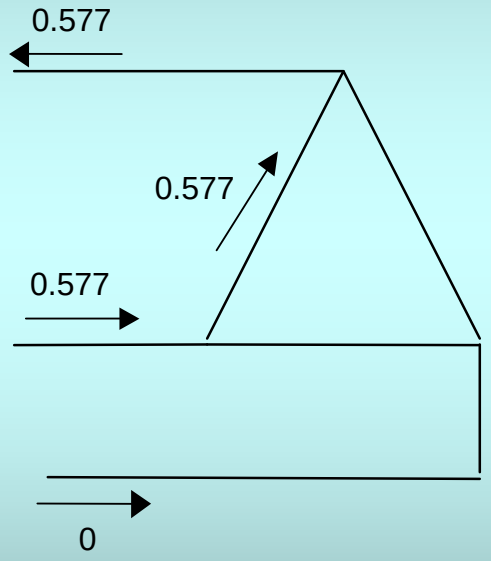
# TIPOS DE FALLAS

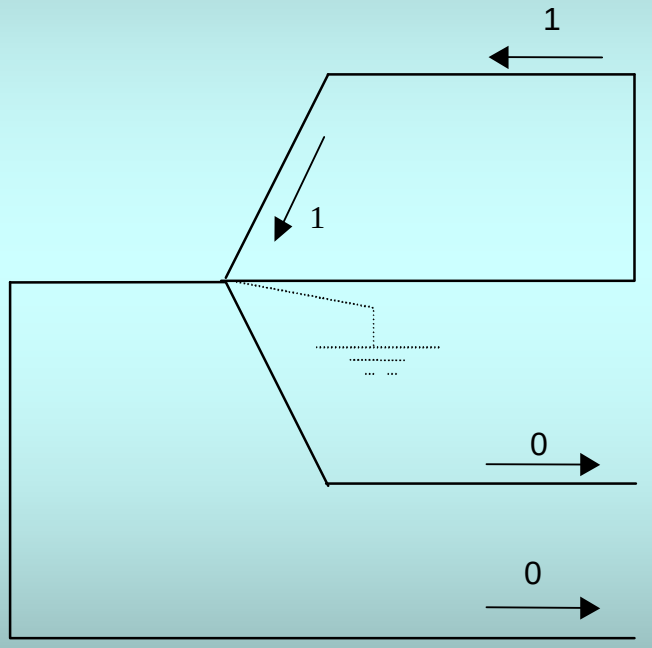



**Falla bifásica en Transformador triángulo - estrella**

# TIPOS DE FALLAS




**Falla monofásica en Transformador triángulo - estrella**

# TIPOS DE FALLAS

## Factores de corrección de la curva de sobrecarga

| Conexión del transformador | | N | | |
|---|---|---|---|---|
| Primario | Secundario | Trifásica | Bifásica | Monofásica |
| Estrella | Estrella | 1 | 1 | 1 |
| Estrella | Triángulo | 1 | 1 | - |
| Triángulo | Estrella | 1 | 1,15 | 0,577 |
| Triángulo | Triángulo | 1 | 0,866 | - |

# CAPACIDAD DE SOPORTAR SOBRECARGAS

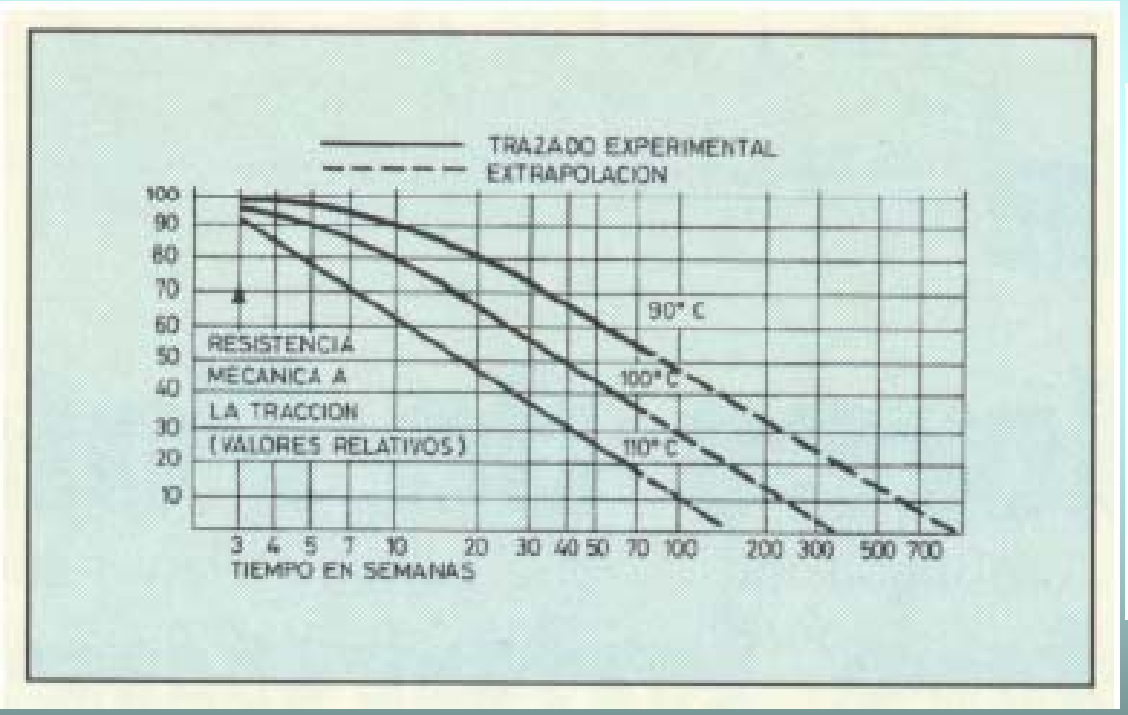
**Las pérdidas en el cobre (variables) y en el hierro (constantes) hacen que se calienten los bobinados y el núcleo.**

**Cuando el calor producido es completamente disipado al medio circundante se alcanza la temperatura de funcionamiento**

**El límite máximo de carga que puede entregar el transformador será aquel en el cual la temperatura final de funcionamiento sea la máxima soportada por el aislante.**

**La vida útil de la máquina está altamente condicionada al estado del material aislante, por lo que será función de la temperatura de trabajo y del tiempo en servicio.**

# CAPACIDAD DE SOPORTAR SOBRECARGAS




Estudios recientes sobre la acción del calor en los aislantes han demostrado que, en las proximidades de una temperatura de 100 °C, un régimen de funcionamiento de 8 °C en más o en menos, puede respectivamente doblar o reducir a la mitad la vida de un transformador (ley de Montsinger) según se observa

# CAPACIDAD DE SOPORTAR SOBRECARGAS

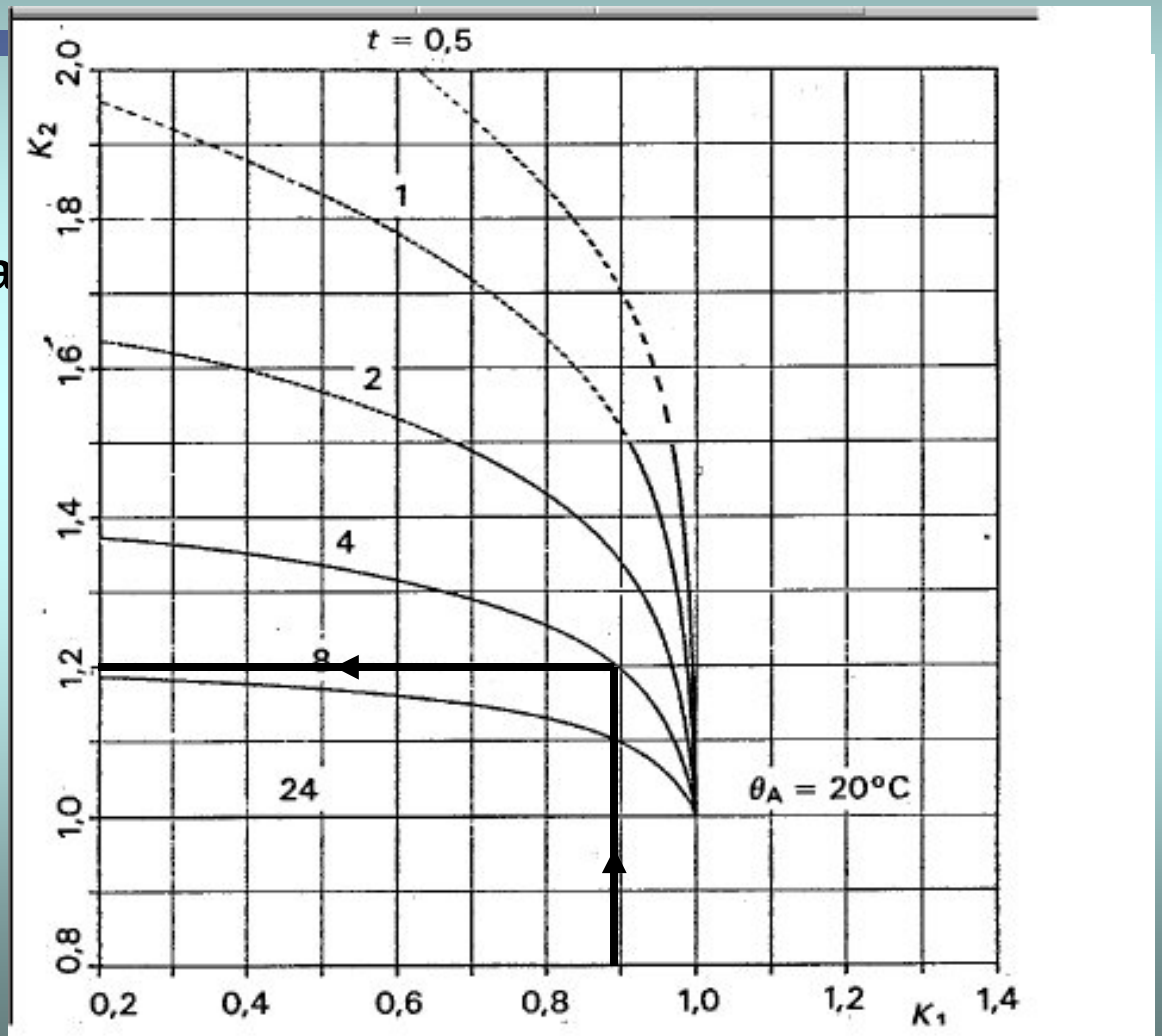
**Temperaturas máximas tolerables para un aislamiento clase A (sustancias orgánicas: papel, algodón, seda, esmaltes y análogos) sumergido en aceite y con una temperatura ambiente de 40ºC.**

| | | |
|---|---|---|
| **Calentamiento de la capa superior del aceite** | | **60°K** |
| **Calentamiento medio de los arrollamientos por variación de la resistencia** | **Para transformadores tipo ON,…ú OF,…** | **65°K** |
| | **Para transformadores tipo OD** | **70°K** |

# CAPACIDAD DE SOPORTAR SOBRECARGAS

## Guía IEC 60354

**Criterios para sobrecarga de transformadores inmersos en aceite**



# CORTOCIRCUITO

## Valores máximos admisibles de la temperatura media $\theta_1$ del arrollamiento después del cortocircuito

| Tipo de transformador | Temperatura del sistema aislante (°C) (entre paréntesis: clase térmica) | Valor máximo de $\theta_1$ (°C) | |
|---|---|---|---|
| | | Cobre | Aluminio |
| Sumergido en aceite | 105 (A) | 250 | 200* |
| Seco | 105 (A) | 180 | 180 |
| | 120 (E) | 250 | 200* |
| | 130 (B) | 350 | 200* |
| | 155 (F) | 350 | 200* |
| | 180 (H) | 350 | 200* |
| | 220 | 350 | 200* |

*Nota.*- Los valores marcados "*" se pueden incrementar hasta un valor que no exceda los 250°C, bajo acuerdo entre el fabricante y el comprador, cuando:

a) el conductor del arrollamiento es de aleación de aluminio y se dispone de evidencia sobre sus propiedades mecánicas en cuanto a la resistencia al recocido, o bien;

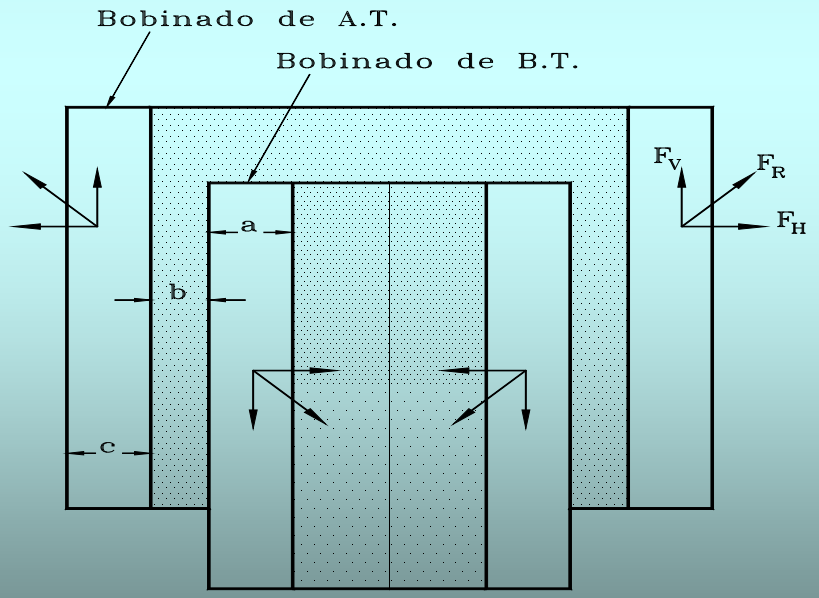
b) la resistencia mecánica del arrollamiento es, por su construcción, adecuada para un conductor completamente recocido.

# CAPACIDAD DE SOPORTAR CORTOCIRCUITOS

**El efecto conjunto del flujo disperso y la corriente que circula por los bobinados, los somete a esfuerzos mecánicos proporcionales al producto de la corriente y la densidad de flujo.**

**Esfuerzos Electrodinámicos**

$$F \propto \hat{I}_{cc}^{2}$$




$F_R$ = Fuerza de repulsion total
$F_V$ = Componente vertical
$F_H$ = Componente Horizontal

# CAPACIDAD DE SOPORTAR CORTOCIRCUITOS

**Instante de establecimiento de la falla respecto de la onda de tensión**

- **Circuito inductivo, valor pico de la corriente depende de R/X.**
- **Máxima asimetría en el cero de tensión.**

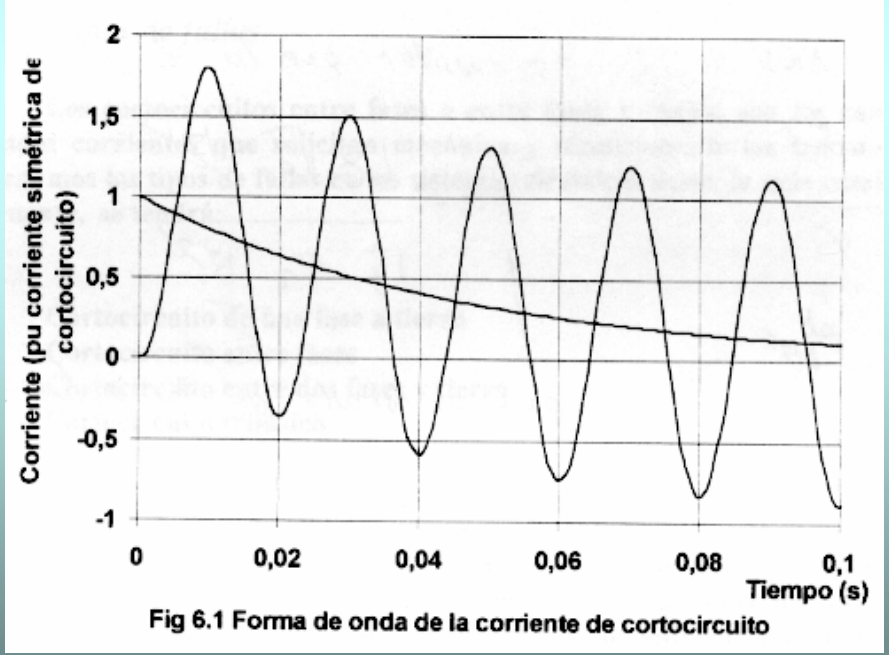



Fig 6.1 Forma de onda de la corriente de cortocircuito

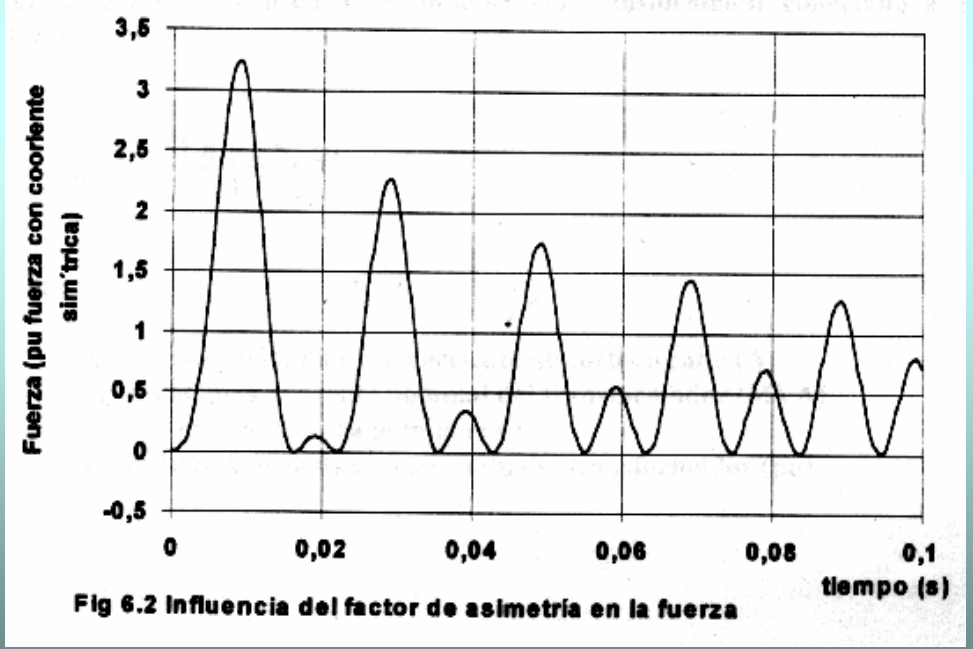
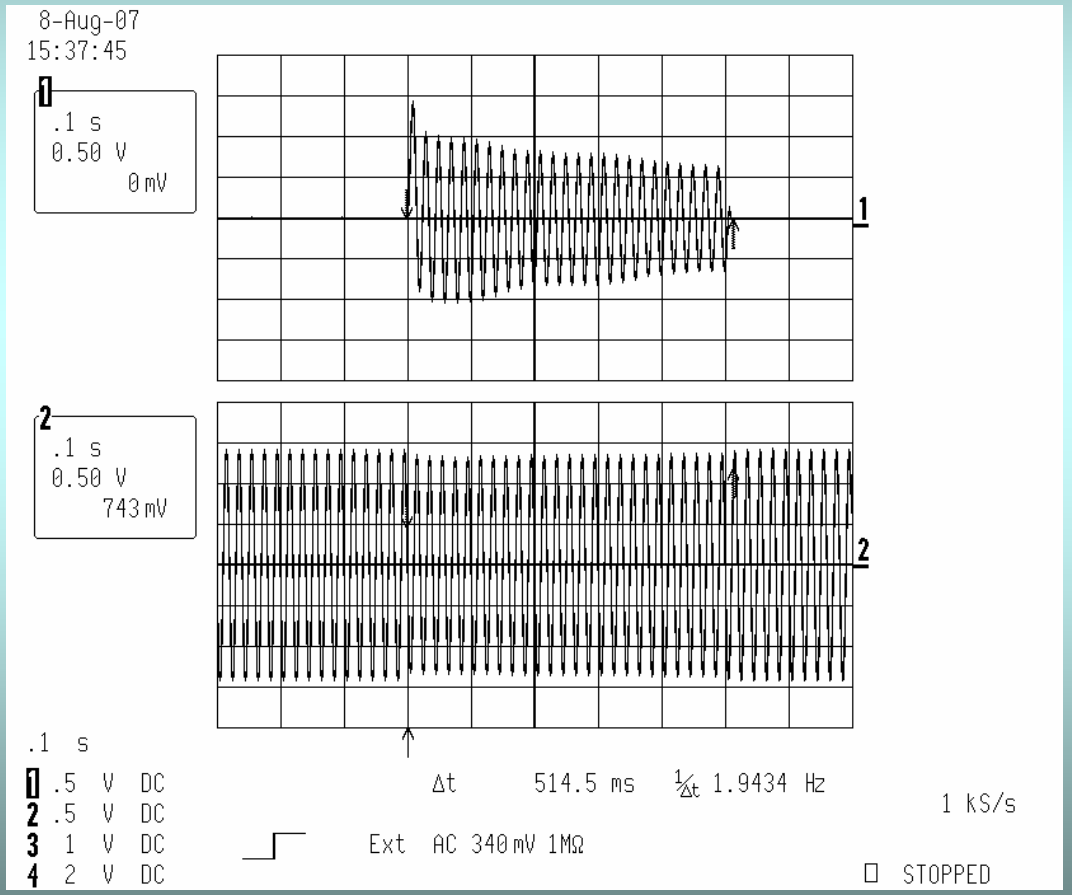


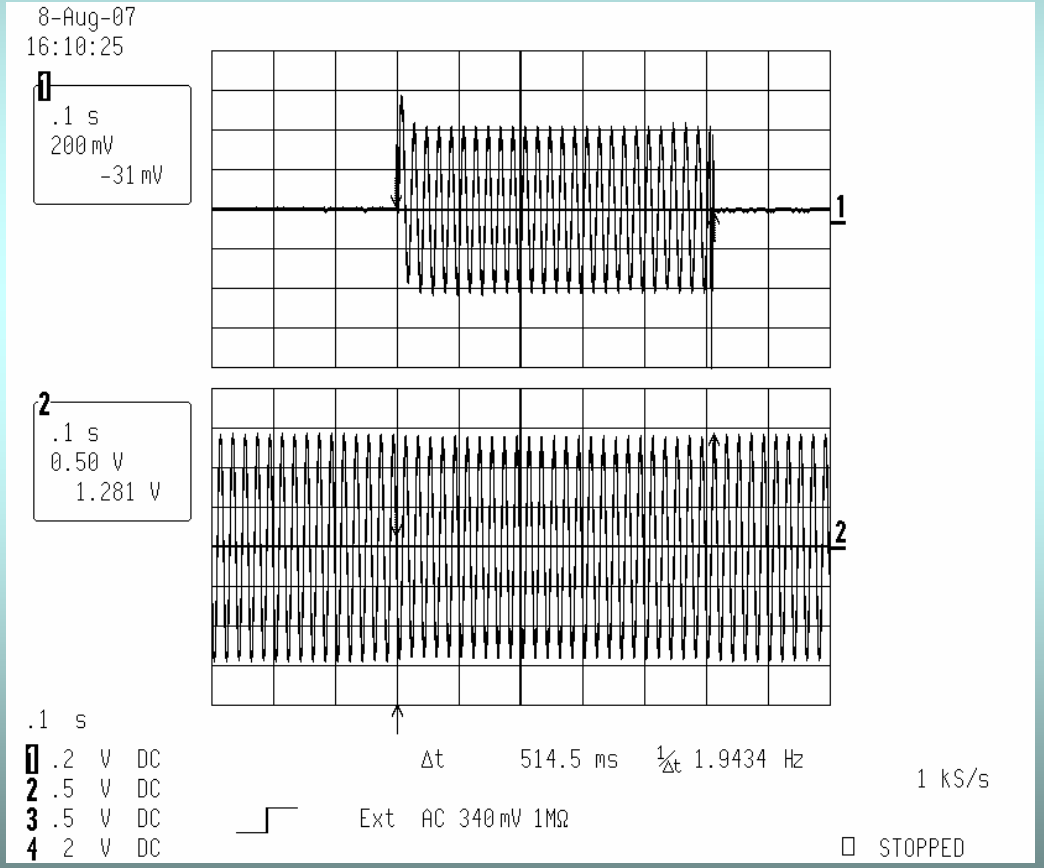

Fig 6.2 Influencia del factor de asimetría en la fuerza

# CAPACIDAD DE SOPORTAR CORTOCIRCUITOS

# CAPACIDAD DE SOPORTAR CORTOCIRCUITOS

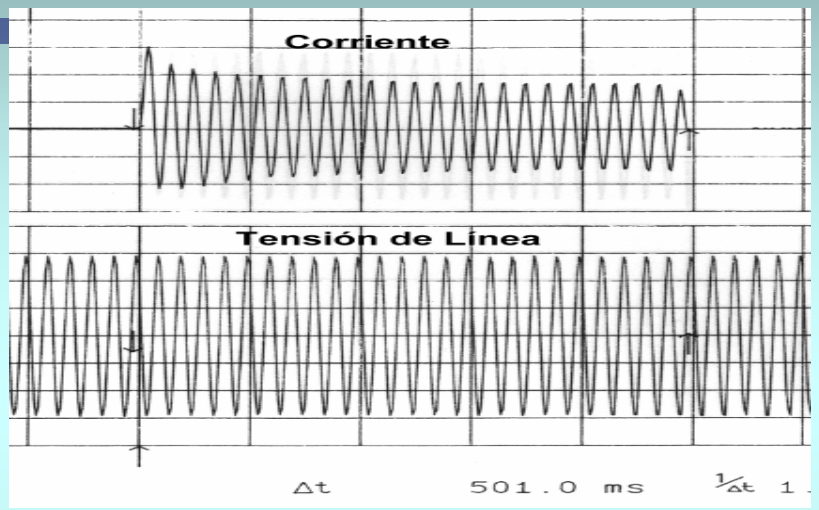


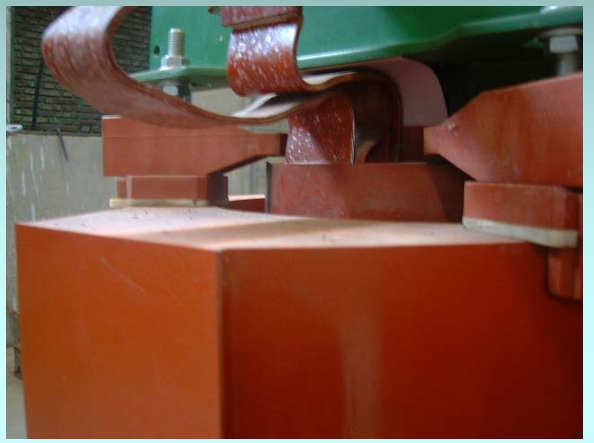
# CAPACIDAD DE SOPORTAR CORTOCIRCUITOS



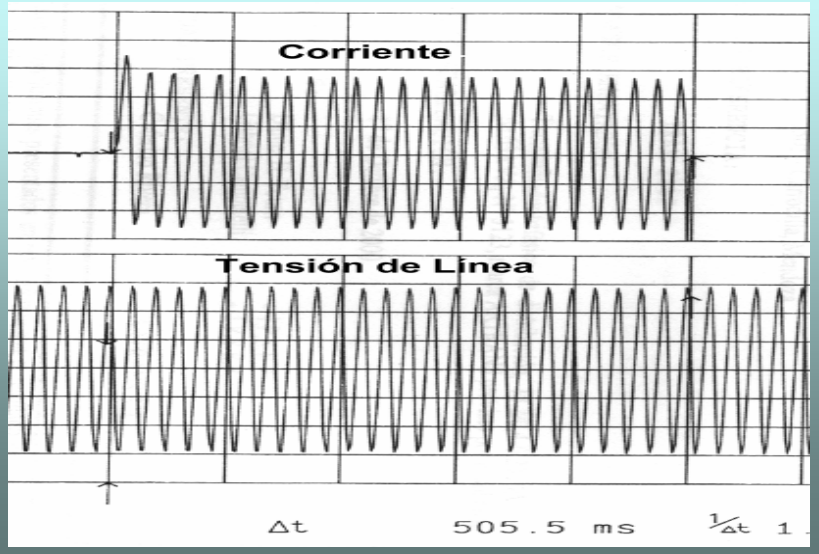
# CAPACIDAD DE SOPORTAR CORTOCIRCUITOS

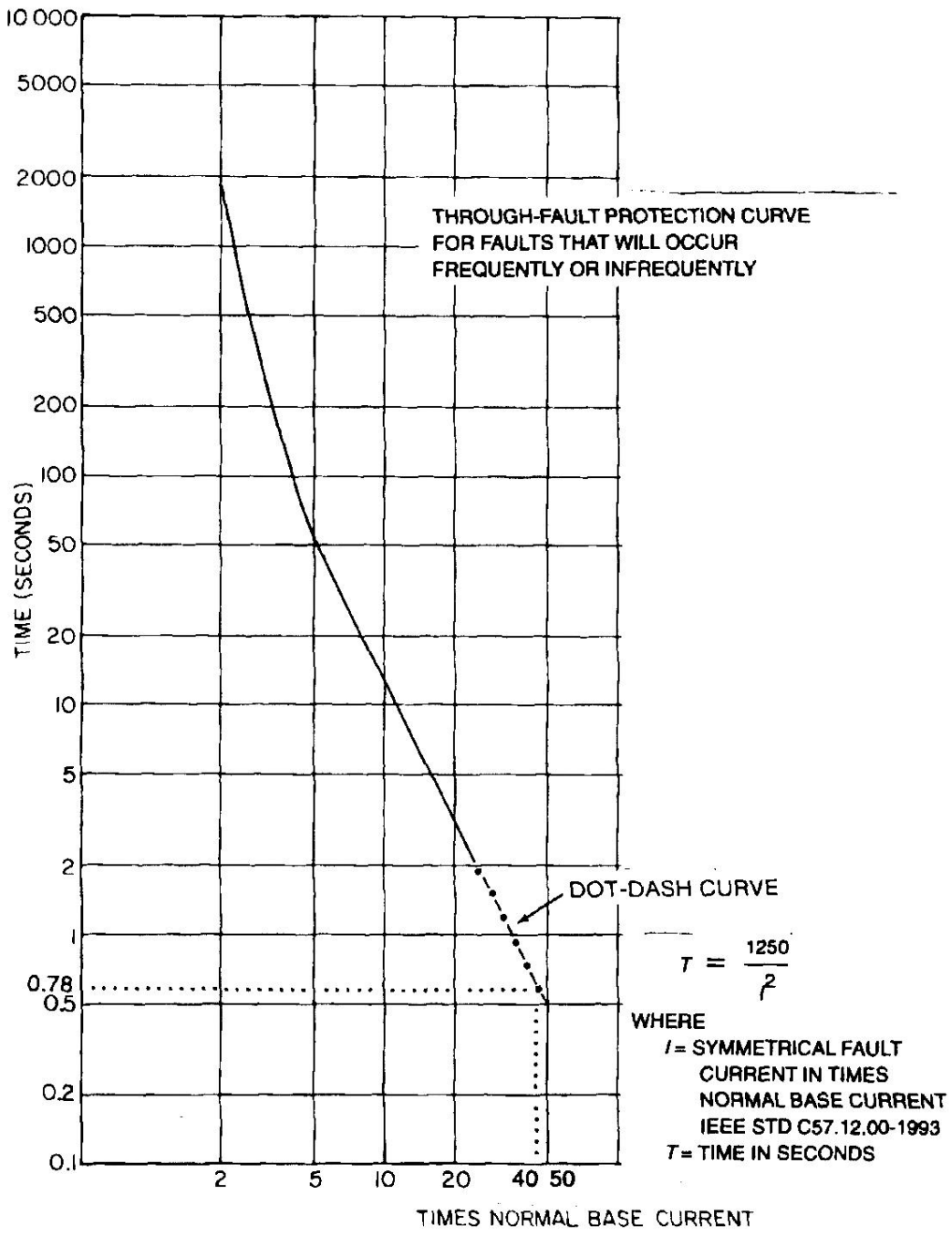
**Devanados con desplazamientos**



**Devanados sin desplazamientos**






# D DE SOPORTAR
# RECARGAS

recarga y cortocircuito para
adores IEEE C57-109

| npo [s] | Veces la In |
|---|---|
| ) | **2xIn** |
| | **3 xIn** |
| | **4,75 xIn** |
| | **6,7 xIn** |
| | **11,3 xIn** |
| | **25 xIn** |

# CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN

**Requerimientos de no operación de la protección del primario:**

- *Corriente de conexión*
- *Descargas atmosféricas, punto de Zaborszky*
- *Arranque frío/caliente*

# CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN

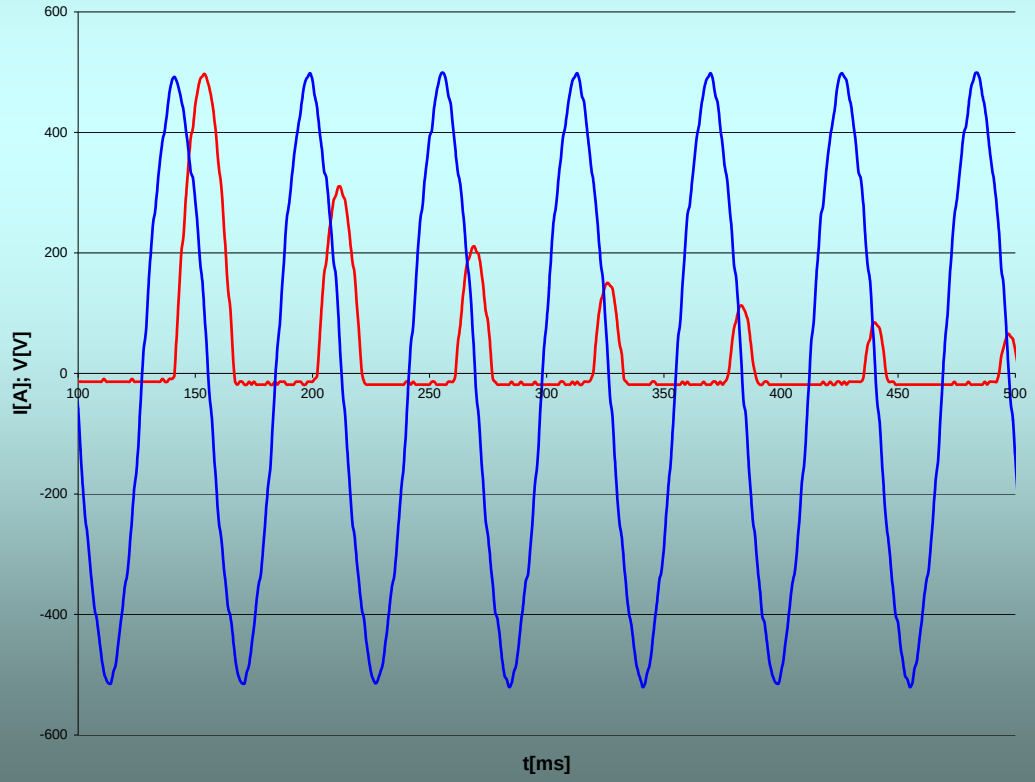
## CORRIENTE DE CONEXIÓN

**Su magnitud y duración depende de:**

- impedancia de la fuente
- magnetismo remanente en el núcleo del trafo
- instante de la conexión respecto de la onda de tensión del sistema
- características del trafo (Zmag y curva de mag. del material núcleo)

# CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN

## CORRIENTE DE CONEXIÓN

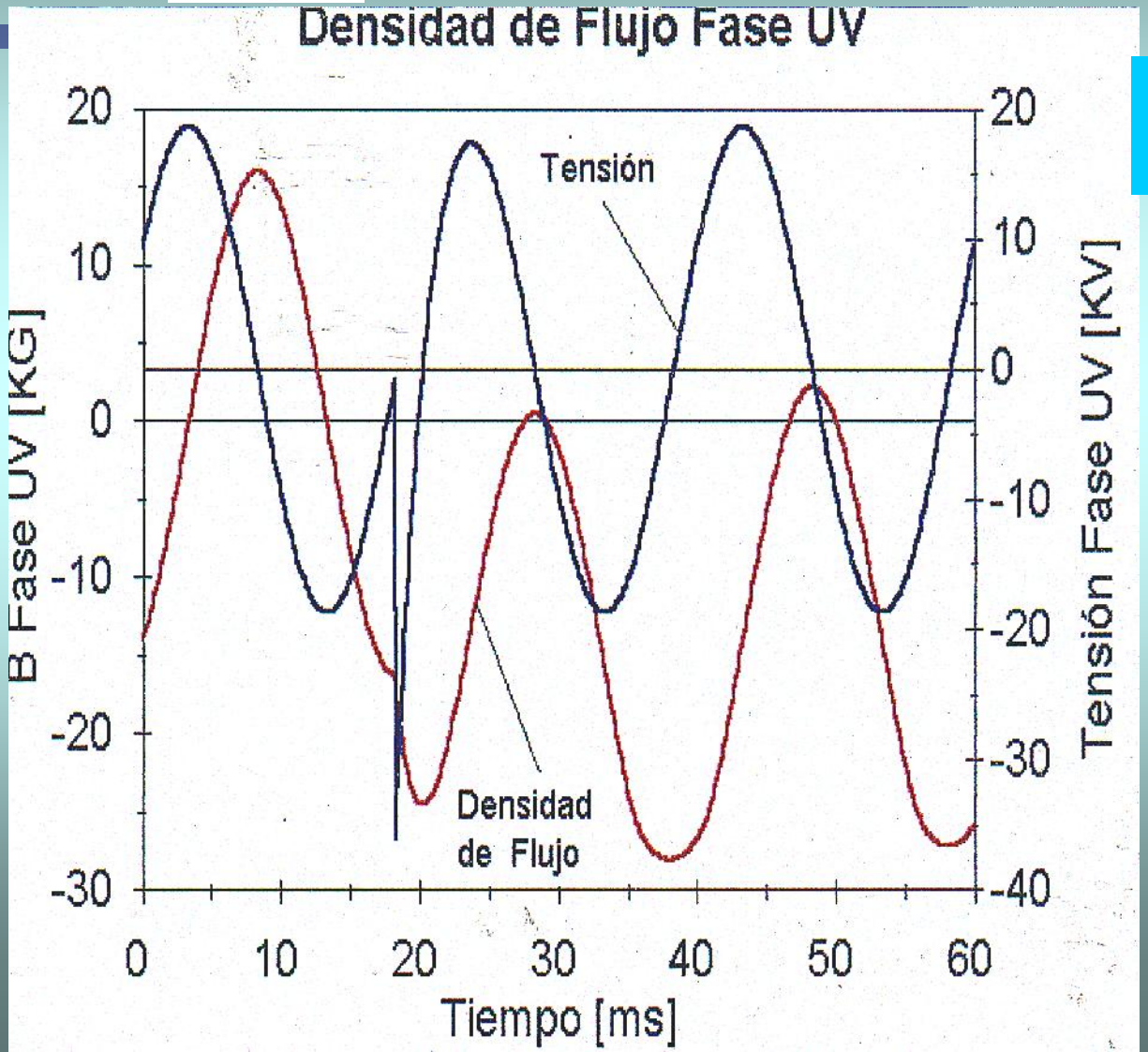



Valores empíricos comúnmente empleados:

25.In durante 0,01s

12.In durante 0,1s

# CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN




Método semiempírico, propuesto por J. Zaborszky

$$i_{0,02} = \frac{7 I_n E}{E_n}$$

$I_n$ = corriente nominal en A.

$E$ = (NBA) en kV cresta

$E_n$ = tensión nominal

# CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN

## Arranque frío/caliente

- **Frío (t>20 minutos)**

  **3.In……10s**

  **2.In……..600s**

- **Caliente (t < 1s)**

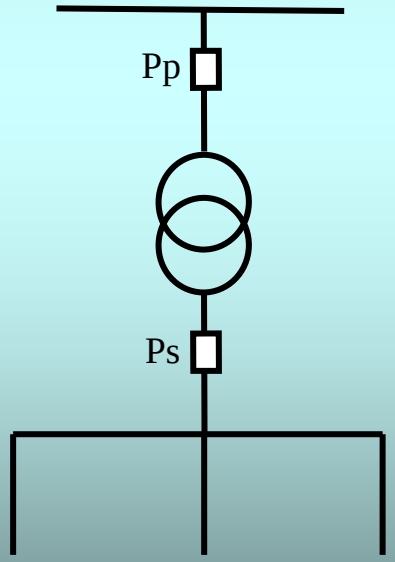
  **12/15.In……0,1s**

  **6.In……..…1s**

# CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN

## Requerimientos de operación

Dado que la protección del transformador se realiza en forma combinada entre los dispositivos primario y secundario, se deben dar funciones específicas a cada uno de ellos.



# CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN

## Requerimientos de operación

***Protección en el secundario***:

Su función principal es la de proteger al transformador contra corrientes de cortocircuito o sobrecargas que se produzcan en el circuito secundario de la máquina.

**Es recomendable usar los límites especificados en la Norma IEEE C57-109 y en la Guia IEC 60354**

# CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN

## Requerimientos de operación

***Protección en el primario***:

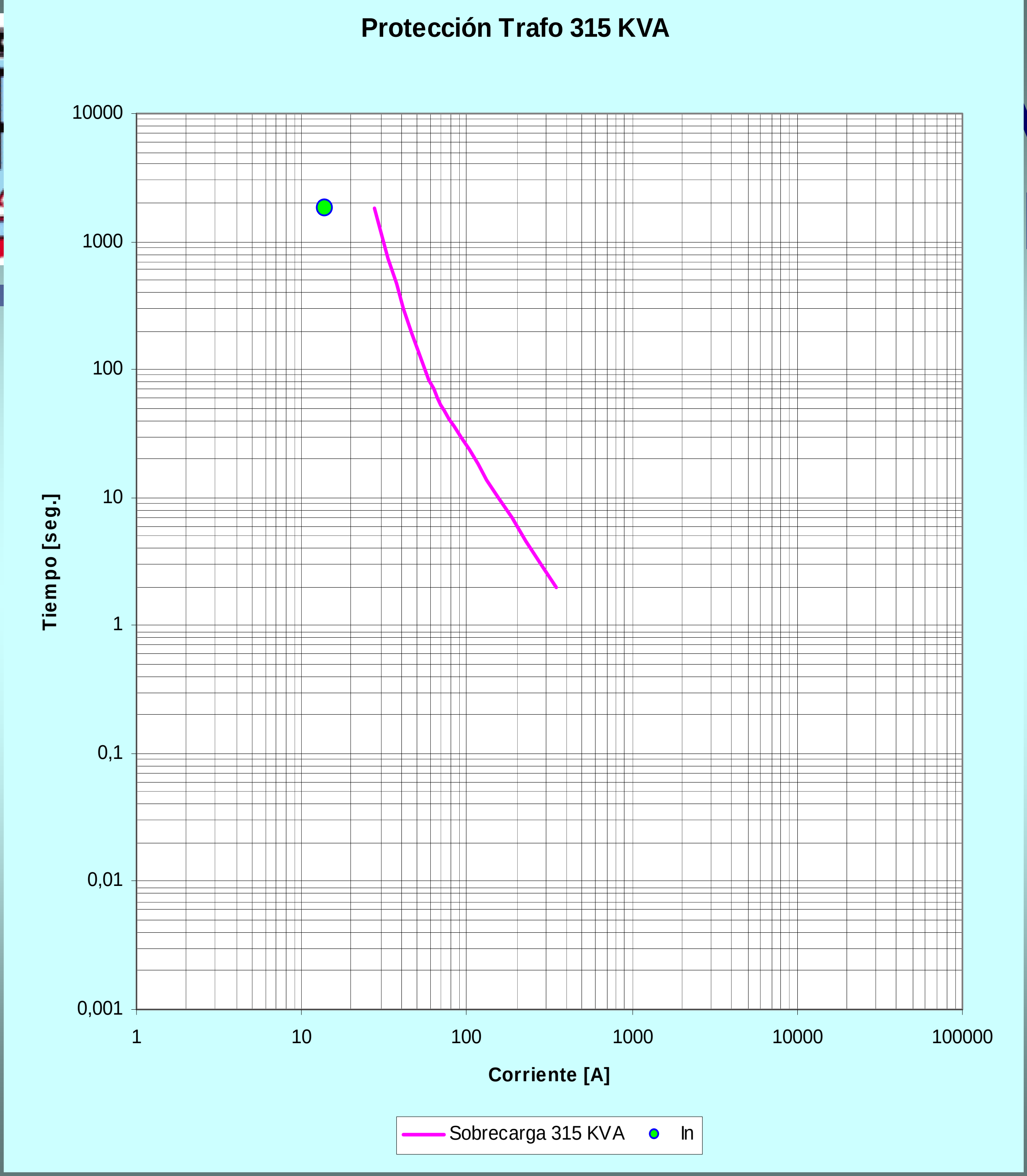
Su función principal es la protección del sistema ante una falla interna ó en el secundario del transformador.

Debe coordinar con el dispositivos de protección aguas arriba y con la protección del secundario.

Adicionalmente,  debe brindar protección de respaldo contra sobrecargas en el circuito secundario.

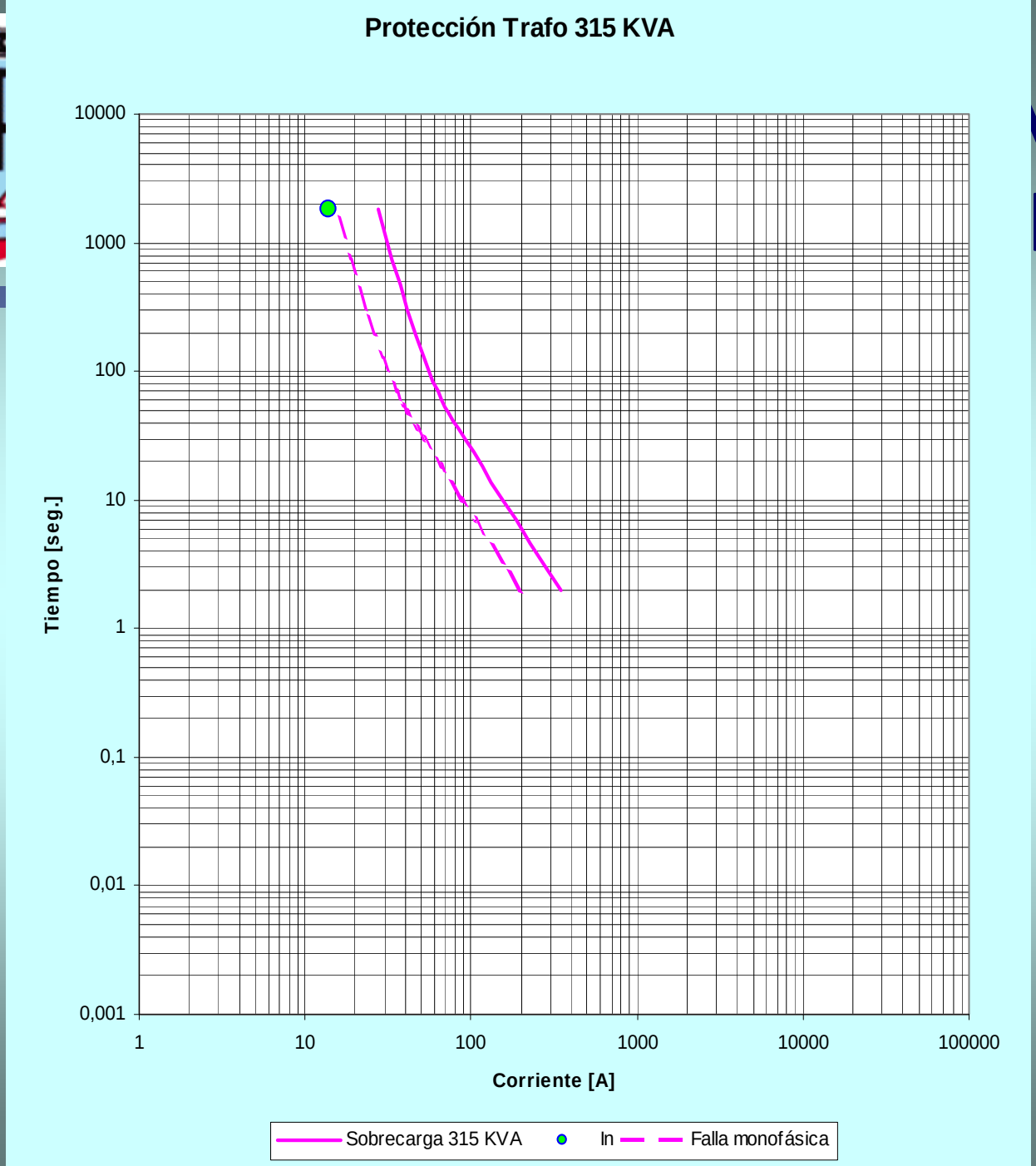
NACIÓN

ES



Protección Trafo 315 KVA
10000
1000
100
10
1
0,1
0,01
0,001
Tiempo [seg.]
1
10
100
1000
10000
100000
Corriente [A]
Sobrecarga 315 KVA
In

NACIÓN
ES



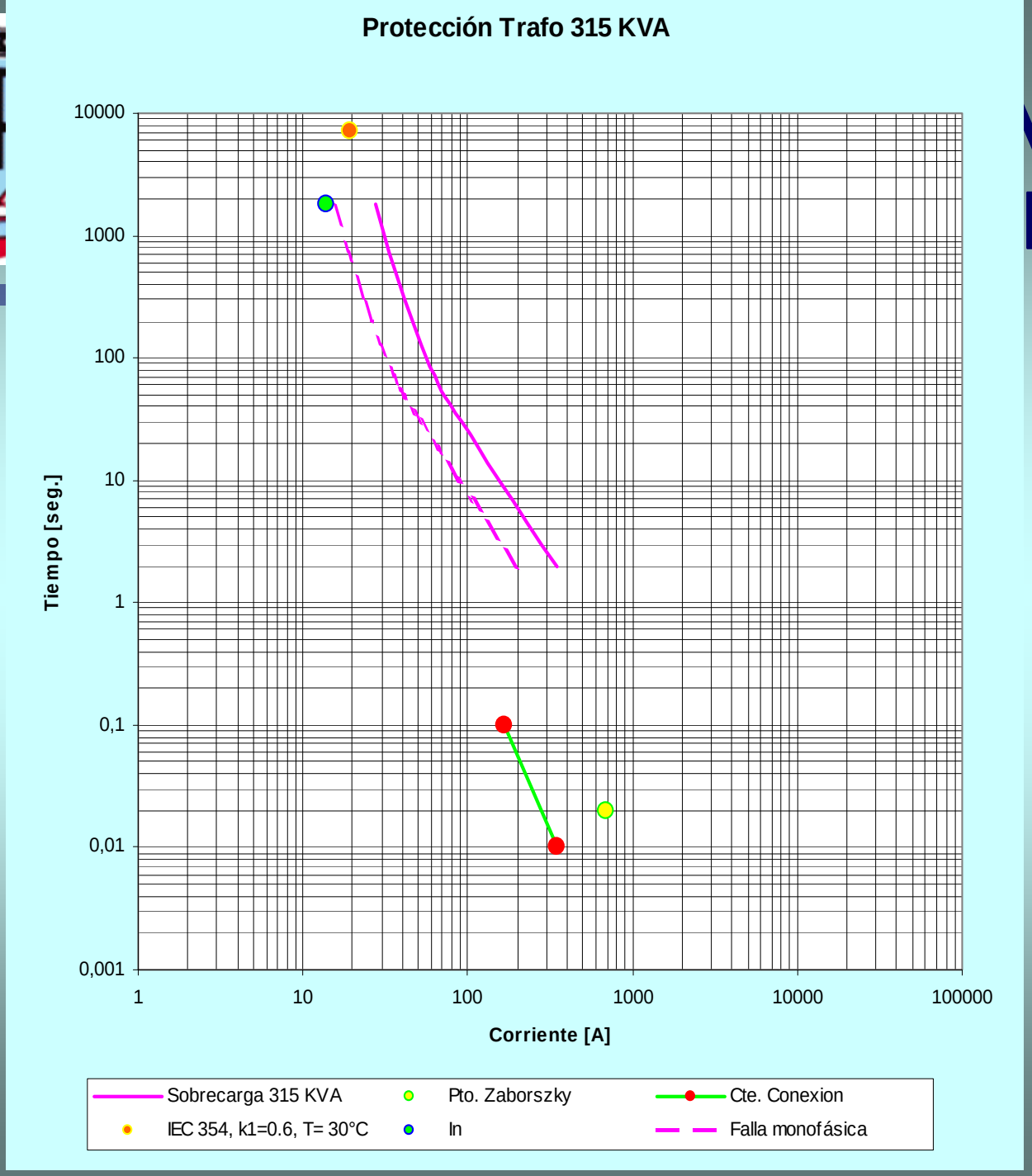

**Falla monof.**

NACIÓN
ES

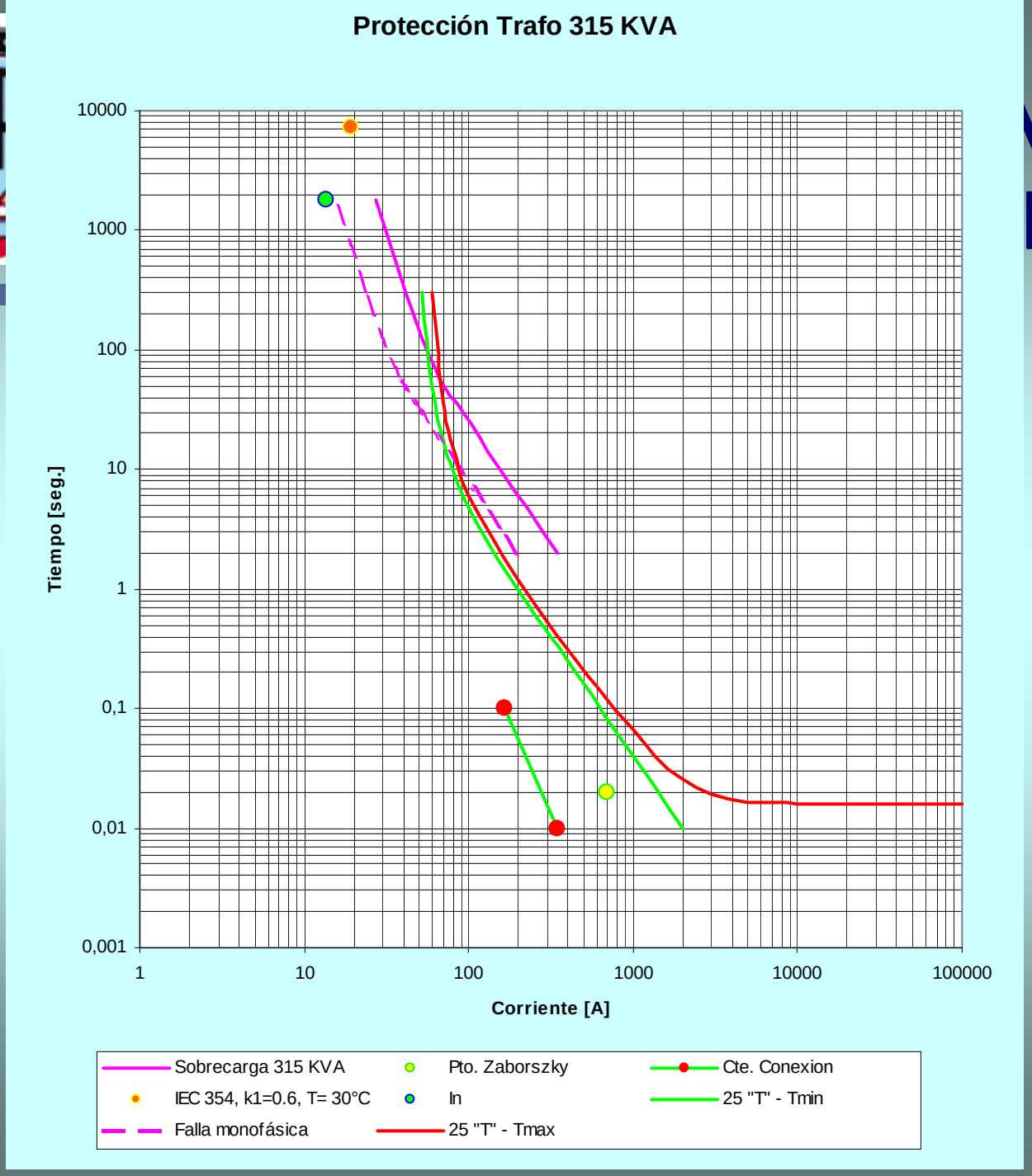
IEC

Iconex

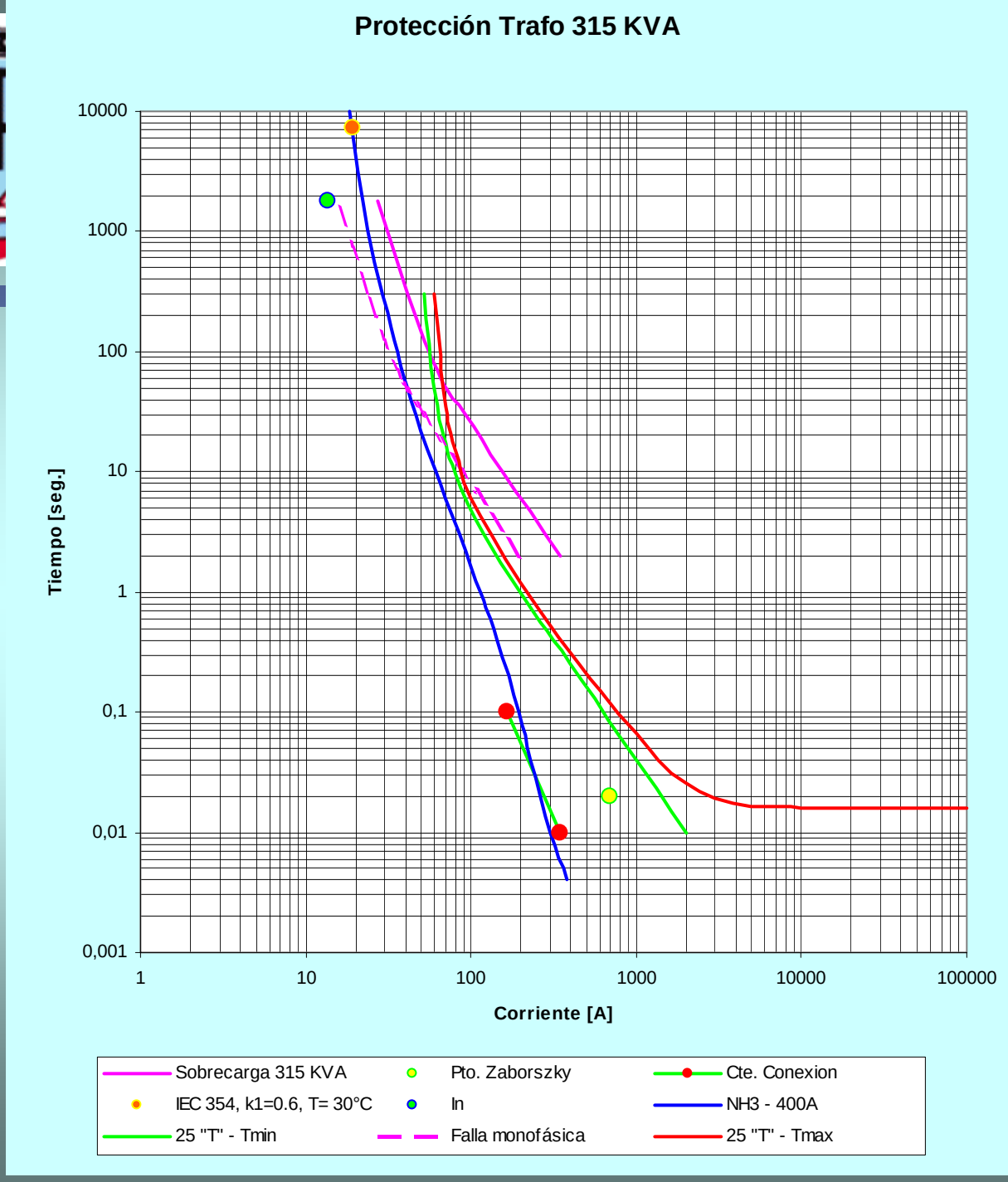
Zaborszky



NACIÓN
ES

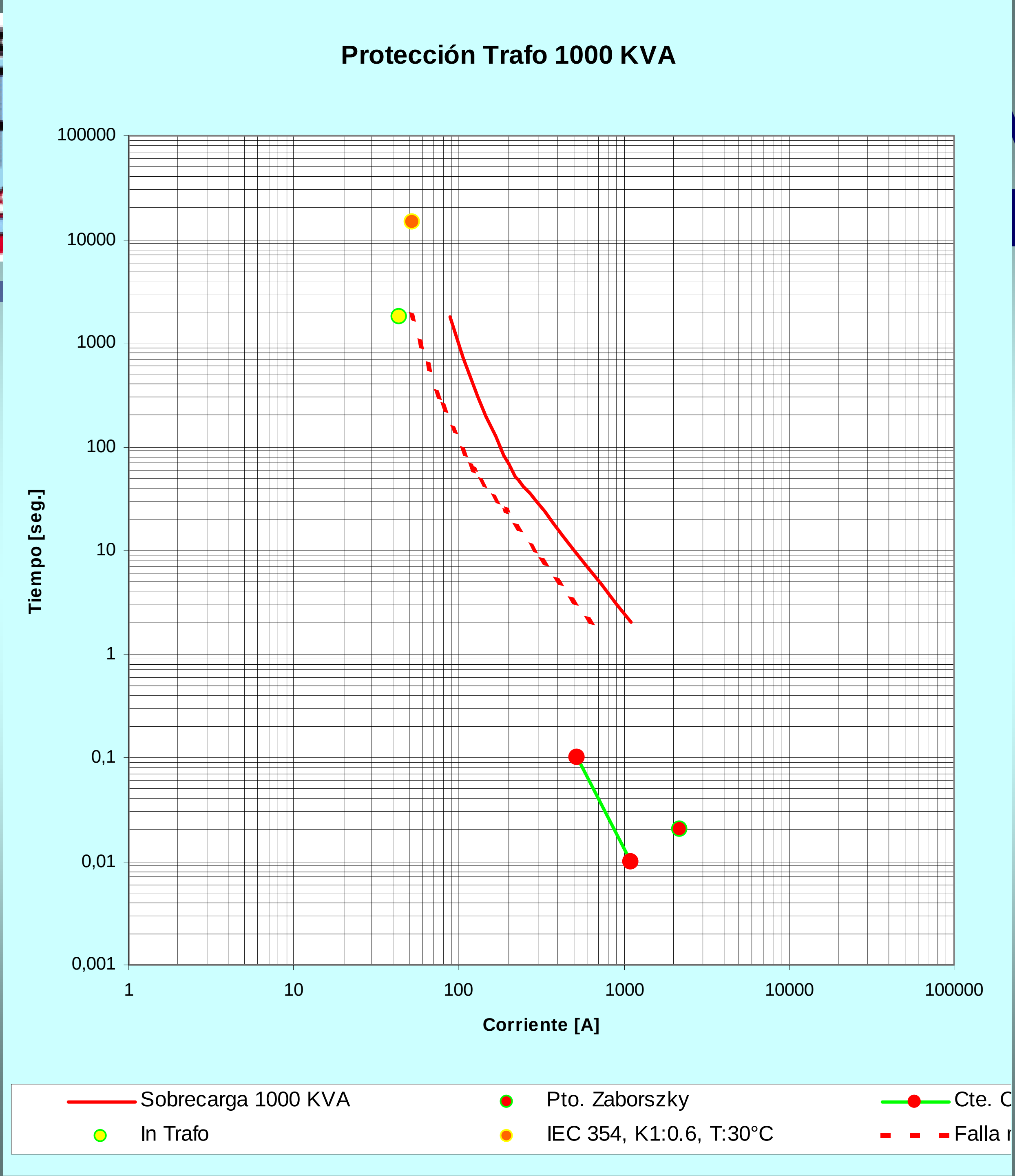

Protección Trafo 315 KVA
10000
1000
100
10
1
0,1
0,01
0,001
Tiempo [seg.]
1
10
100
1000
10000
100000
Corriente [A]
Sobrecarga 315 KVA
Pto. Zaborszky
Cte. Conexion
IEC 354, k1=0.6, T= 30°C
In
25 "T" - Tmin
Falla monofásica
25 "T" - Tmax

NACIÓN
ES



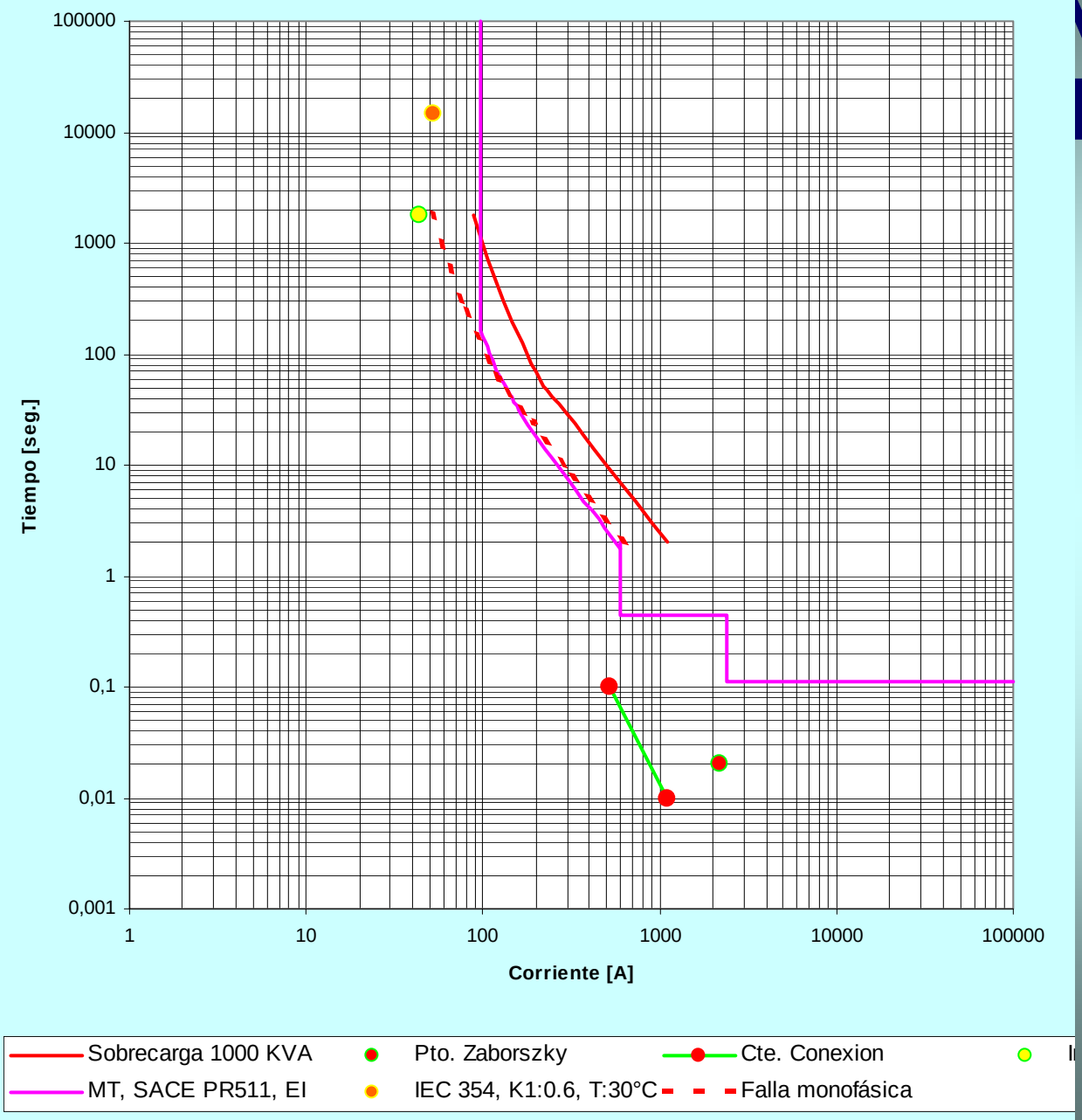
Protección Trafo 315 KVA
Tiempo [seg.]
10000
1000
100
10
1
0,1
0,01
0,001
1
10
100
1000
10000
100000
Corriente [A]
Sobrecarga 315 KVA
Pto. Zaborszky
Cte. Conexion
IEC 354, k1=0.6, T= 30°C
In
NH3 - 400A
25 "T" - Tmin
Falla monofásica
25 "T" - Tmax

NACIÓN
ES

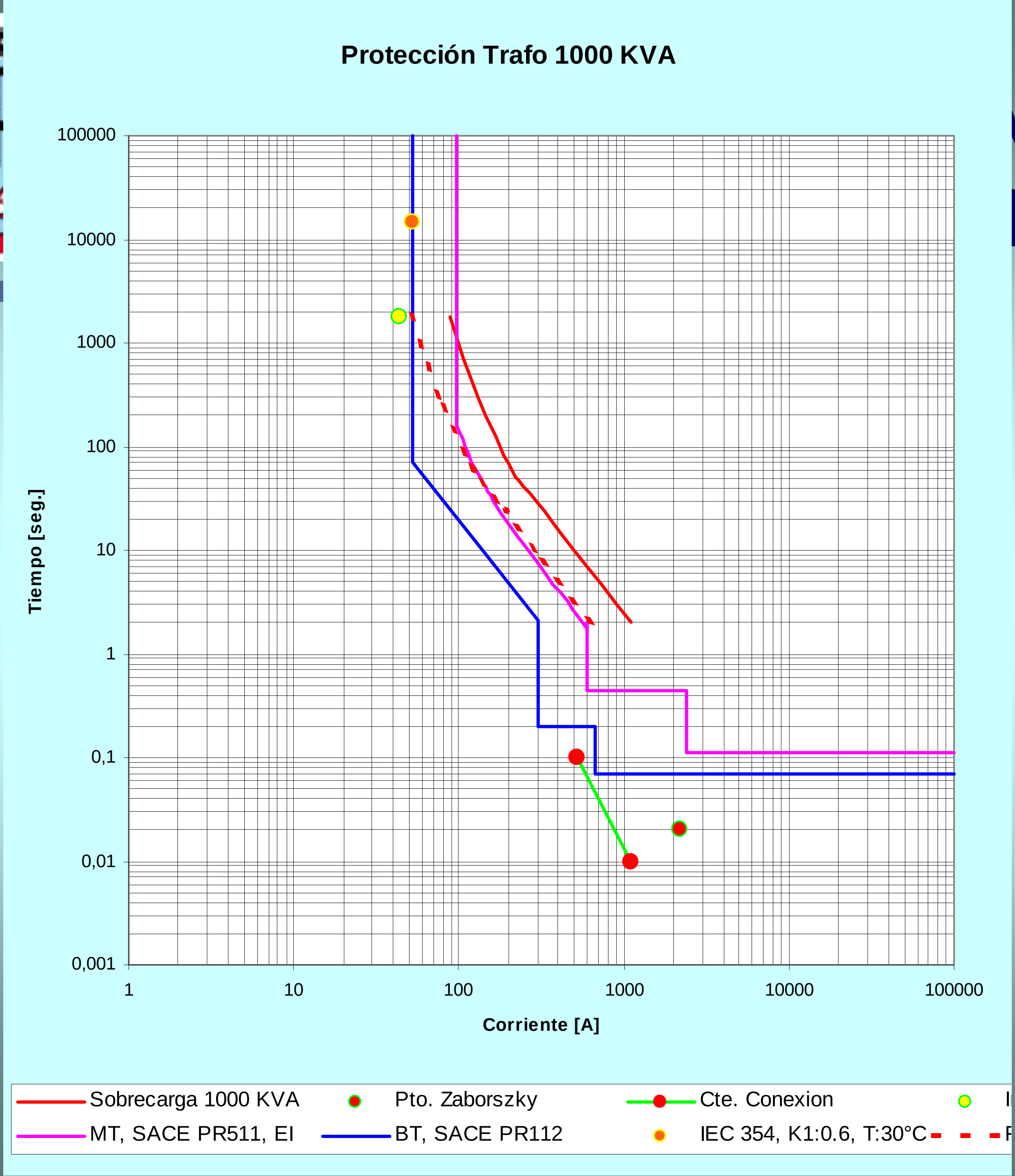


Protección Trafo 1000 KVA
100000
10000
1000
100
10
1
0,1
0,01
0,001
Tiempo [seg.]
1
10
100
1000
10000
100000
Corriente [A]
Sobrecarga 1000 KVA
Pto. Zaborszky
Cte. C
In Trafo
IEC 354, K1:0.6, T:30°C
Falla r

NACIÓN
ES


Protección Trafo 1000 KVA
Tiempo [seg.]
100000
10000
1000
100
10
1
0,1
0,01
0,001
1
10
100
1000
10000
100000
Corriente [A]
Sobrecarga 1000 KVA
Pto. Zaborszky
Cte. Conexion
MT, SACE PR511, EI
IEC 354, K1:0.6, T:30°C
Falla monofásica

NACIÓN
ES



Protección Trafo 1000 KVA
100000
10000
1000
100
10
1
0,1
0,01
0,001
Tiempo [seg.]
1
10
100
1000
10000
100000
Corriente [A]
Sobrecarga 1000 KVA
Pto. Zaborszky
Cte. Conexion
MT, SACE PR511, EI
BT, SACE PR112
IEC 354, K1:0.6, T:30°C

UNRC
I.P.S.E.P
GRACIAS POR SU ATENCIÓN