



Análisis de Sistemas de Protección empleando DlgSILENT PowerFactory

Francisco M. Gonzalez-Longatt, PhD
Jairo H. Quiros Tortos. Ph.D. Researcher
Manchester, UK, Enero, 2011





Análisis de Sistemas de Protección empleando DigSILENT PowerFactory

Mostrar los aspectos teoricos del analisis de sistemas de proteccion empleando la herramienta DigSILENT PowerFactory

Francisco M. Gonzalez-Longatt, PhD,
Jairo H. Quiros Tortos. Ph.D. Researcher
fglogatt@fglongatt.org.ve, jquiros@eie.ucr.ac.cr

1. Introducción a los Sistemas de Protección

Objetivos de los Sistemas de Protección



- Prevenir lesiones a las personas.
- Minimizar el daño en los componentes del sistema.
- Limitar la duración y minimizar las interrupciones del servicio.

Aspectos de Sistemas de Protección

- **Confiabilidad**
 - *Propiedad de garantizar un funcionamiento correcto de la protección. Incluye operar cuando se requiere (dependibilidad) y no operar incorrectamente (seguridad).*
- **Selectividad**
 - *Eliminar la falla o anomalía mediante la desconexión del menor número de elementos.*
- **Velocidad de Operación**
 - *Desconexión de la falla en el menor tiempo posible.*
- **Simplicidad**
 - *Mínimo de dispositivo de protección y circuitería asociados para lograr los objetivos de protección.*
- **Sensibilidad**
 - *Detección de fallas o condiciones anormales que provoquen variaciones pequeñas en el sistema.*

Anormalidades en SP

- Las anomalías en sistemas de potencia son miles, pero pueden ser agrupadas en:
 - Cortocircuitos
 - Sobrecargas
 - Contactos a tierra
 - Interrupción de conductores
 - Déficit de potencia activa
 - Poleslip (Pérdida de estabilidad)

Criterio de deteccion de falla

Criterio de Detección de falla:

- Sobrecorriente (*cortocircuito, sobrecarga*)
- Corriente diferencial (*cortocircuito*).
- Sobre voltaje/Bajo voltaje (*cortocircuito, estabilidad de voltaje*)
- Dirección de potencia (*cortocircuito, contacto a tierra*)
- Desbalance (*interrupción de conductor, desbalance de carga*).
- Impedancia (*cortocircuito, perdida de estabilidad*).
- Frecuencia (*déficit de potencia activa*)
- Temperatura (*sobrecarga*)

2. Transformadores de Corriente (TC) y Transformador de Potencial (TP)

Clasificación de los TC

Clases de predicción por IEC:

ejemplo: 15VA Clase 10 P 20

- 15VA : Burden in VA
- 10 : Clase de precisión
- P : Aplicación: P para “Protección”
- 20 : Accuracy Limit Factor (factor limite de precisión)
(hasta 10% de error a 20 veces la corriente nominal o burden)

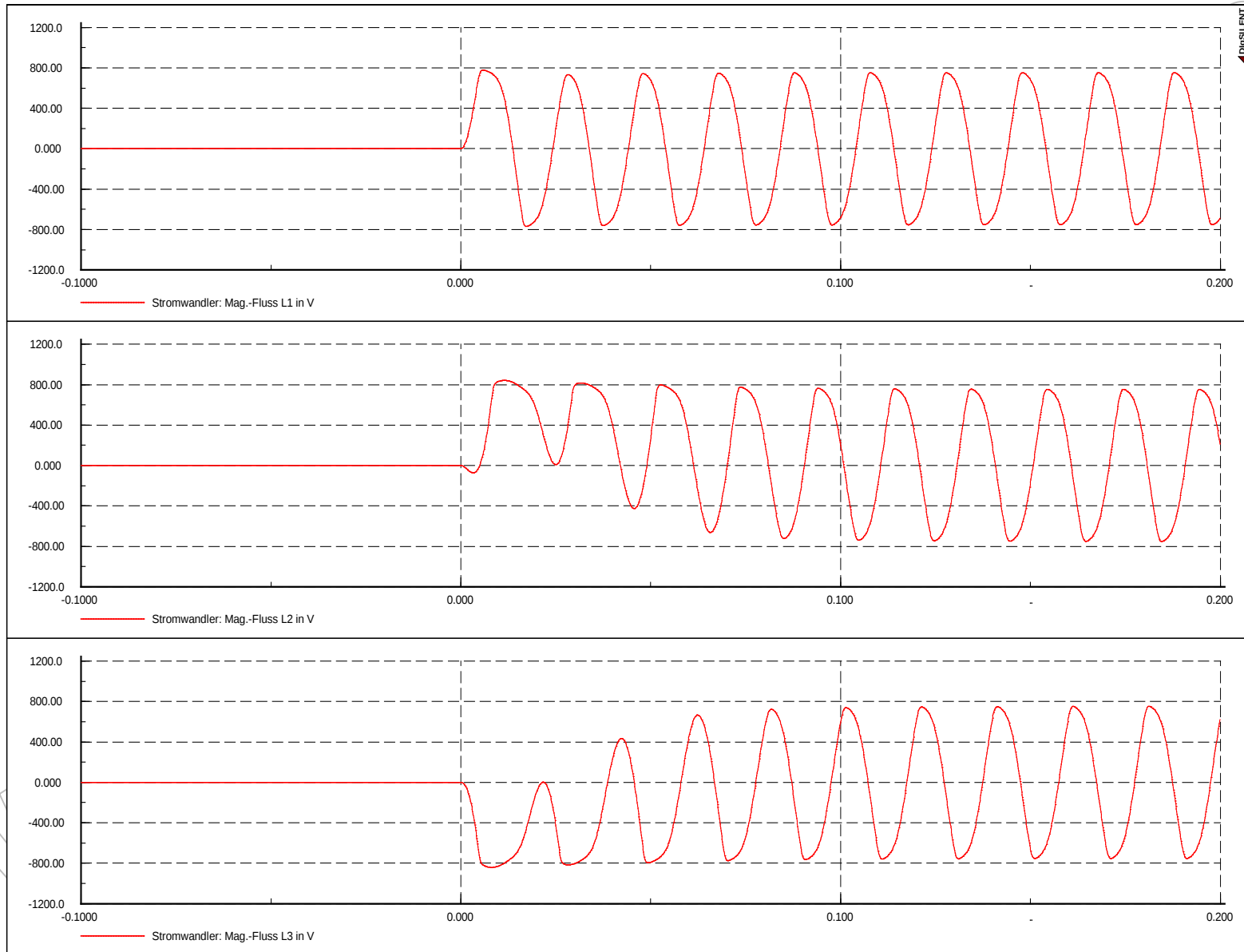
Clasificación de los transformadores

- Definición según ANSI/IEEE:
- Ejemplo: T100 o C 100
- 'T' indica que el desempeño del TC ha sido probado: Fabricantes pueden proveer pruebas y datos medidos.
- 'C' indica que el desempeño ha sido calculado.
- Numero que define el maximo voltaje en el secundario a el cual el error es menor a 10%, para corrientes entre 1-
Number defines the maximum secondary voltage at which the error is less than 10%, for currents between 1-20 veces la corriente secundaria.

Saturación del Transformador de Corriente

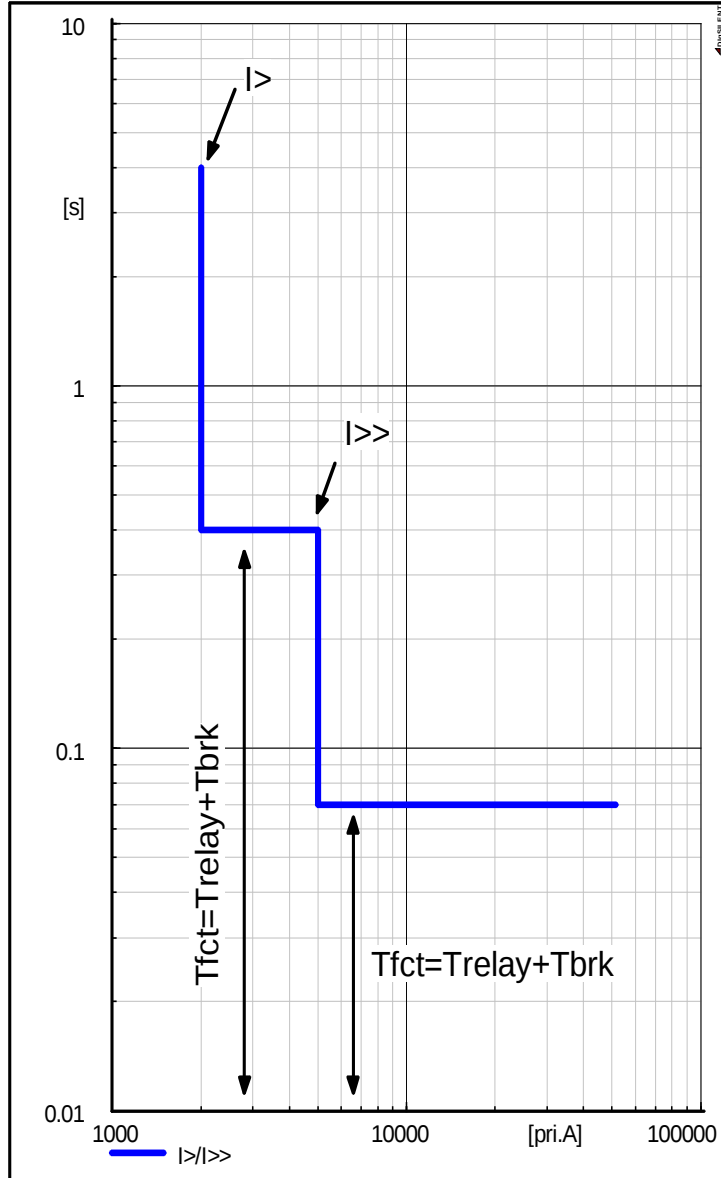
- Los transformadores de corriente (TC) se pueden saturar si:
 - Voltaje AC secundario es mas alto que el voltaje del codo (kneepoint).
 - Corriente primaria contiene componentes DC.
- La corriente secundaria de un TC saturado es distorcionada y mas pequena de la corriente no saturada.
- TC especiales con características dinámicas mejoradas son clasificados según la norma IEC como TPX,TPY o TPZ

CT Saturacion



3. Proteccion contra Sobrecorrientes

Característica de tiempo definido



- Tiempo total de limpieza de falla (T_{cf}):

$$T_{fc} = T_{relay} + T_{brk}$$

T_{relay} : tiempo de disparo del rele

T_{brk} : Tiempo de disparo del interruptor

- Tiempo de disparo del rele (T_{relay}):

$$T_{relay} = T_s + T_{set}$$

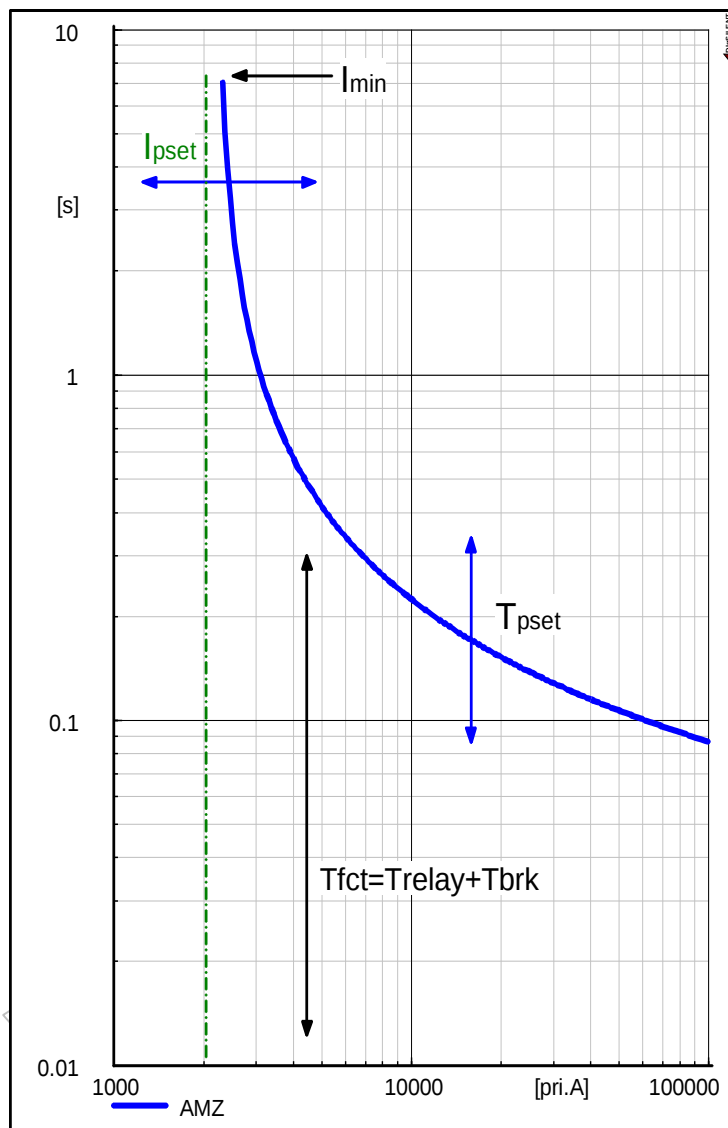
T_s : tiempo de arranque

T_{set} : tiempo ajustado

- Ajuste de corriente

$I >$ und $I >>$ Ajuste de corriente de arranque

Característica de tiempo inverso



- Tiempo total de limpieza de falla (T_{cf}):

$$T_{fc} = T_{relay} + T_{brk}$$

T_{relay} : tiempo de disparo del rele

T_{brk} : Tiempo de disparo del interruptor

- Tiempo de disparo del rele (T_{relay}):

$$T_{relay} = T_s + T_{set}$$

T_s : tiempo de arranque

T_{set} : tiempo ajustado

- Ajuste de corriente

I_{pset} : rango de corriente ajustada

I_{min} : Corriente de arranque

Características - IEC

- Normalmente Inverso:

$$t = T_{pset} \cdot \frac{0.14}{(I / I_{pset})^{0.02} - 1}$$

- Muy Inverso:

$$t = T_{pset} \cdot \frac{13.5}{(I / I_{pset}) - 1}$$

- Extremadamente Inverso:

$$t = T_{pset} \cdot \frac{80}{(I / I_{pset})^2 - 1}$$

- Inverso Largo:

$$t = T_{pset} \cdot \frac{120}{(I / I_{pset}) - 1}$$

Características - ANSI / IEEE

- Normalmente inversa
- Inverso corto
- Largamente inversa
- Moderadamente inversa
- Muy inversa
- Extremadamente inversa
- Inversa definidad
- Corriente cuadrada

$$t = T_{pset} \cdot \left(\frac{8.9341}{(I / I_{pset})^{2.0938} - 1} + 0.17966 \right)$$

$$t = T_{pset} \cdot \left(\frac{0.2663}{(I / I_{pset})^{1.2969} - 1} + 0.03393 \right)$$

$$t = T_{pset} \cdot \left(\frac{5.64143}{(I / I_{pset}) - 1} + 2.18592 \right)$$

$$t = T_{pset} \cdot \left(\frac{0.0103}{(I / I_{pset})^{0.02} - 1} + 0.0228 \right)$$

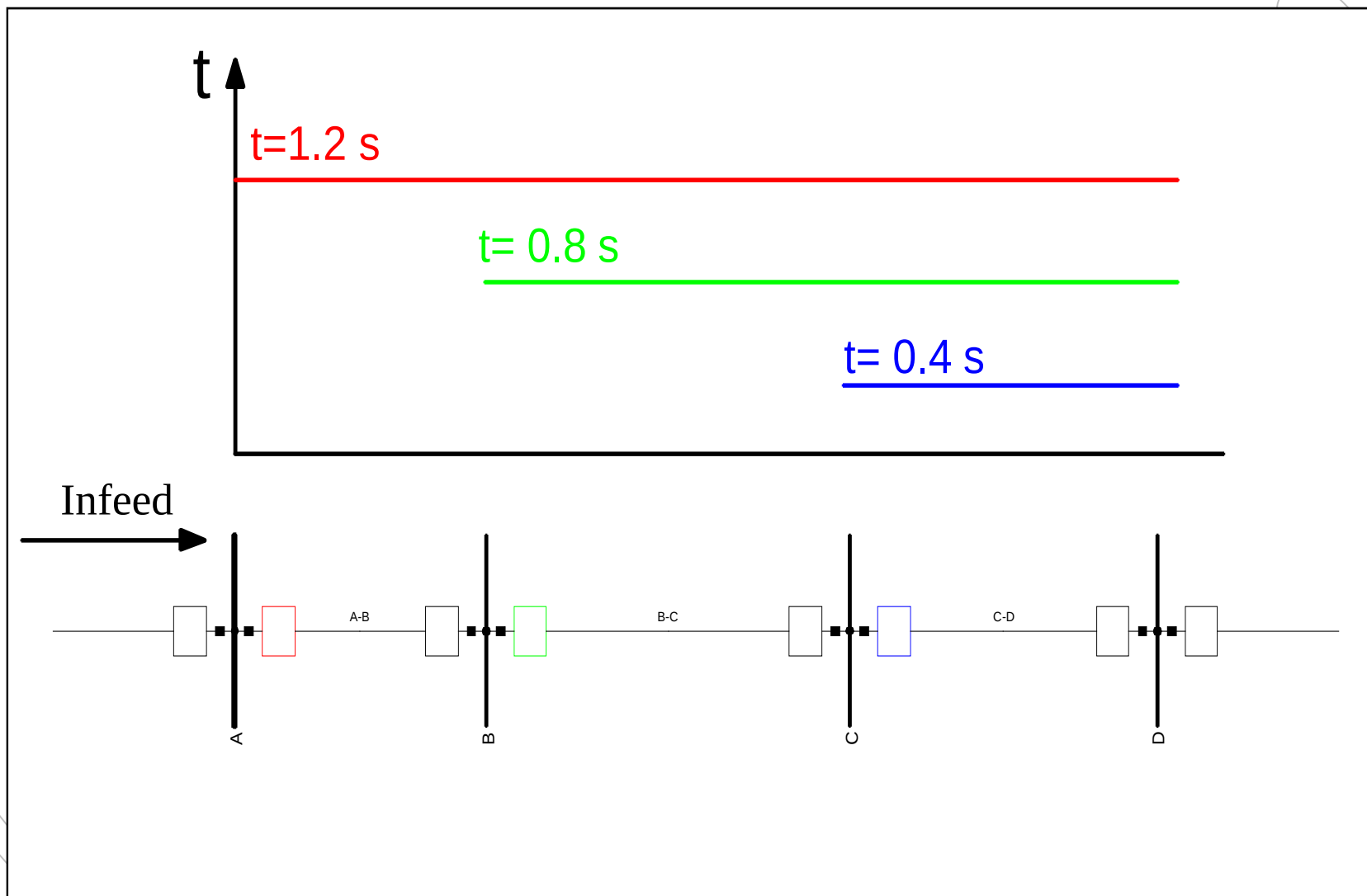
$$t = T_{pset} \cdot \left(\frac{3.922}{(I / I_{pset})^2 - 1} + 0.0982 \right)$$

$$t = T_{pset} \cdot \left(\frac{5.64}{(I / I_{pset})^2 - 1} + 0.0243 \right)$$

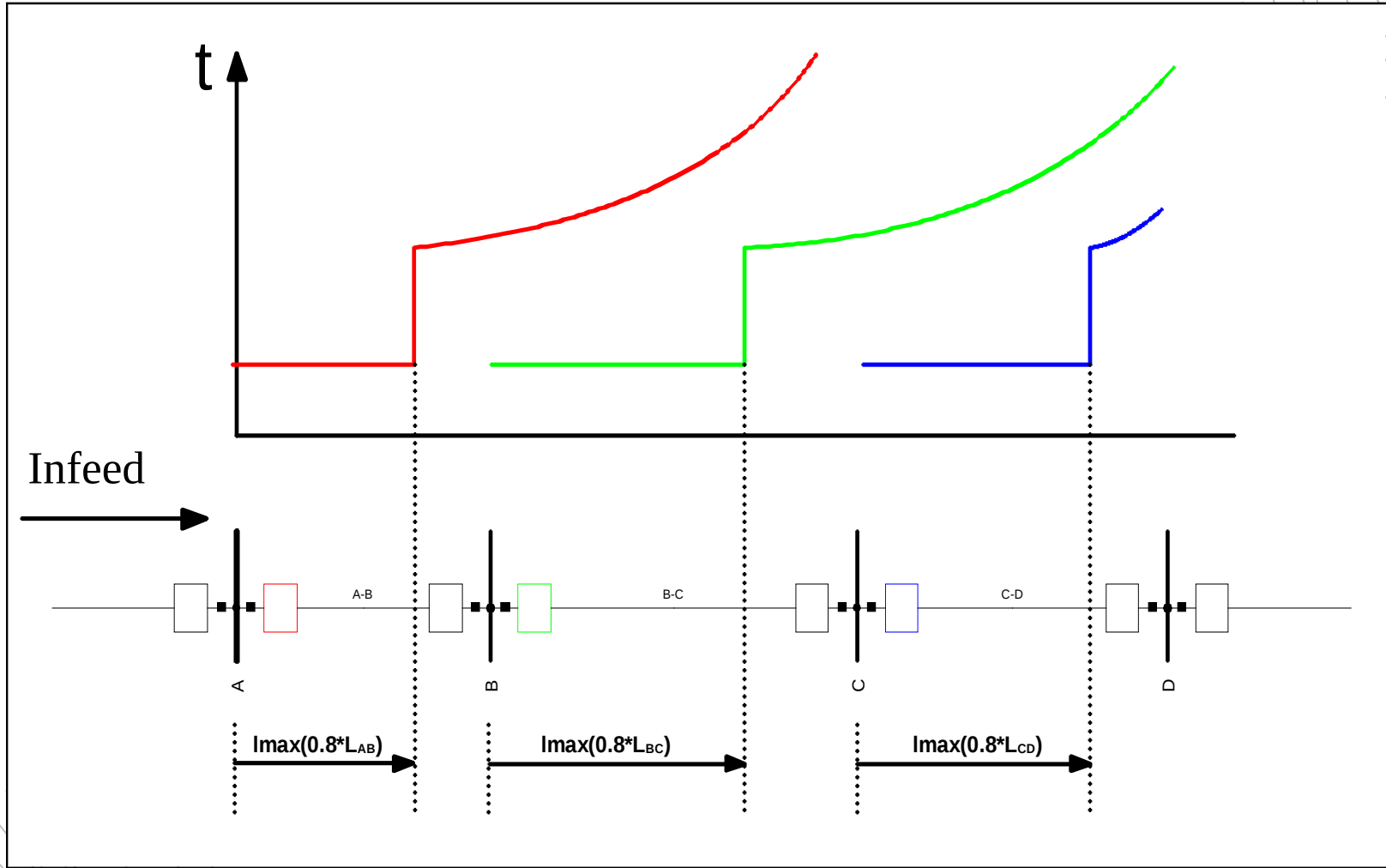
$$t = T_{pset} \cdot \left(\frac{0.4797}{(I / I_{pset})^{1.5625} - 1} + 0.21359 \right)$$

$$t = \frac{50.7 \cdot T_{pset} + 10.14}{(I / I_{pset})^2}$$

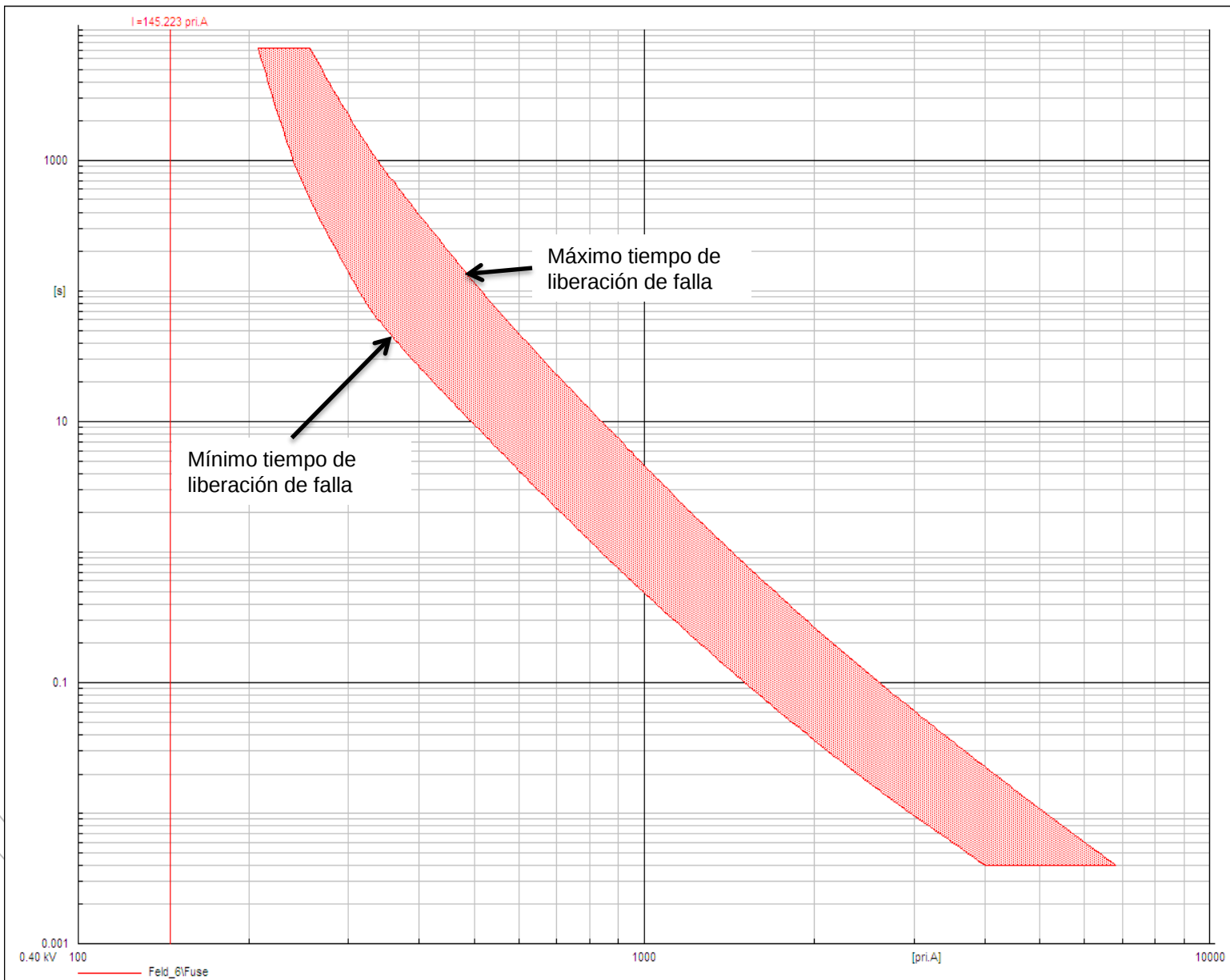
Coordinacion por Tiempo



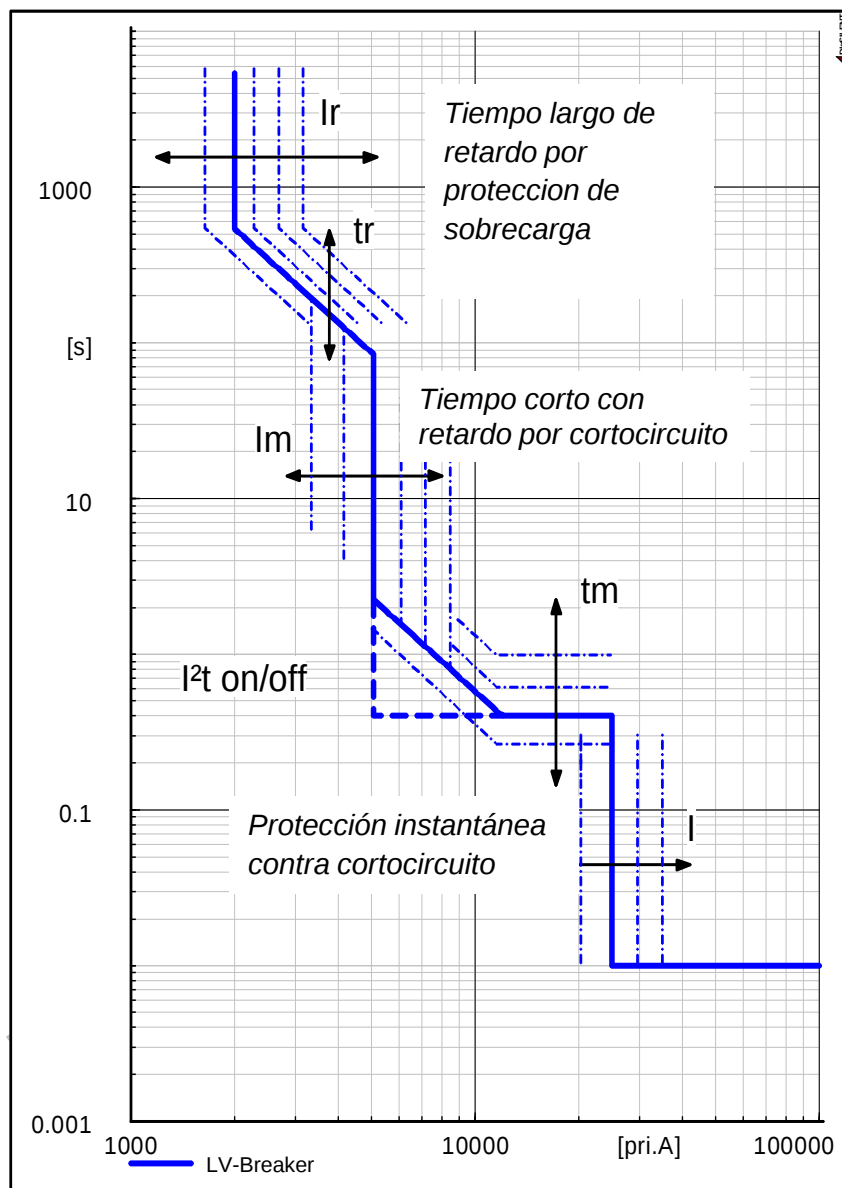
Coordinación Tiempo/Corriente



Fusibles

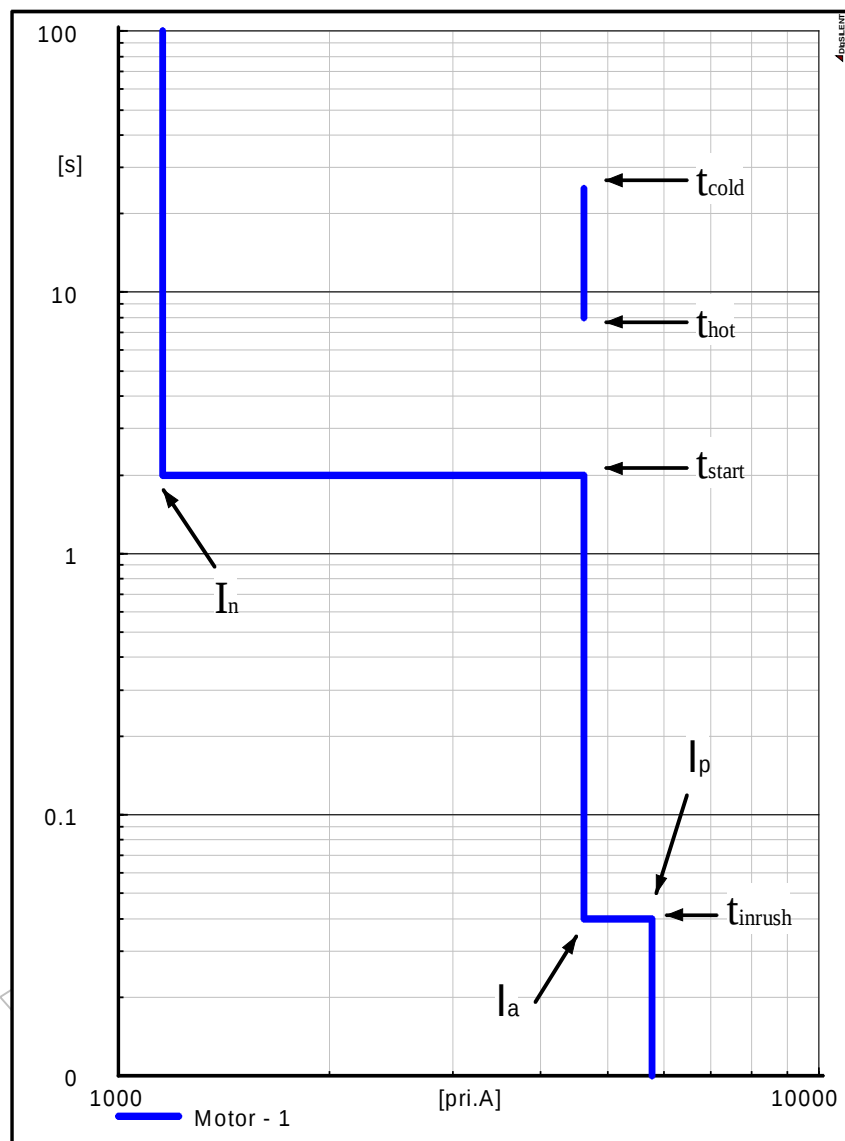


Interruptores de Bajo Voltaje



- *Tiempo largo con retardo por protección de sobrecarga*
- *Tiempo corto con retardo por cortocircuito – con o sin característica I^2t*
- *Protección instantánea contra cortocircuito*

Características de Arranque de Motores



- Característica de arranque $I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$

I_a Corriente nominal

t_{start} Corriente de arranque

I_p Corriente de magnetización (Inrush)

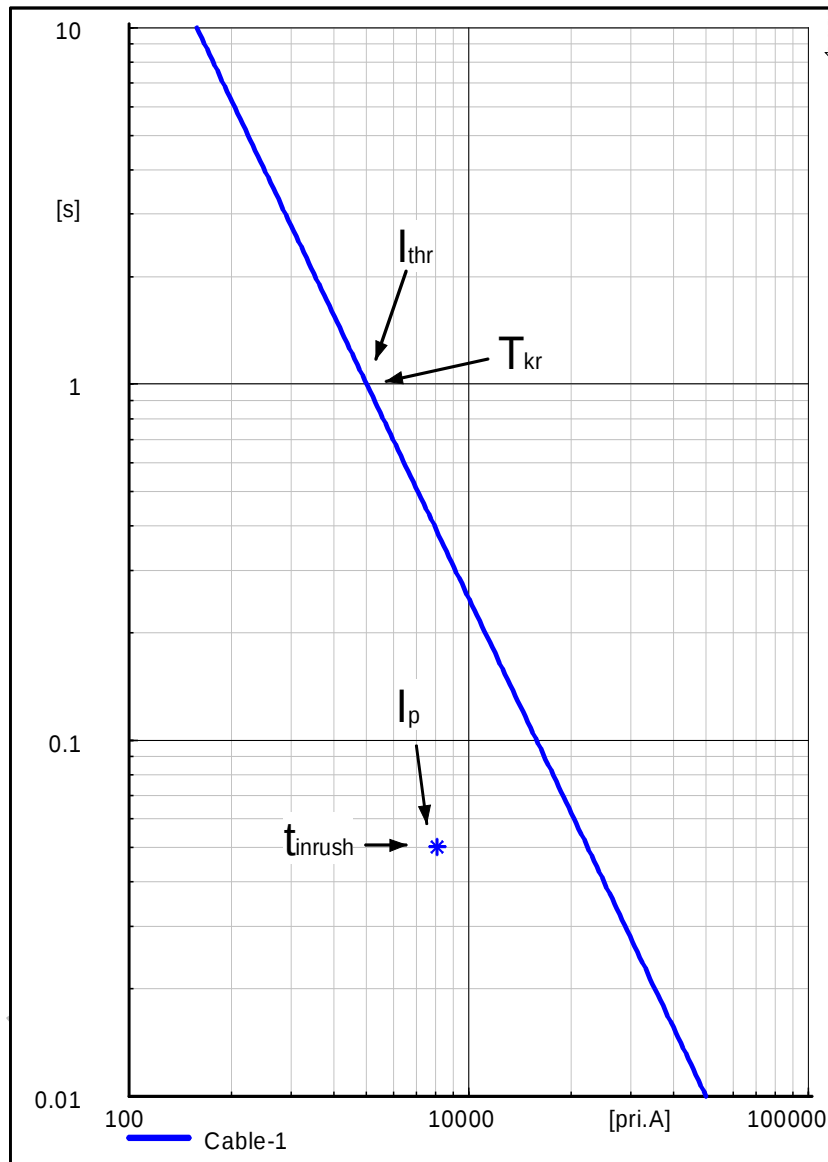
t_{inrush} Duración de la corriente de Inrush

Límite térmico

t_{cold} bajo condiciones frías

t_{hot} bajo condiciones calientes

Curva Limite de Cables



- Capacidad térmica

$$I_{th} < I_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad \text{con} \quad 0.01s \leq T_k \leq 10s$$

I_{thr} Corriente de cortocircuito

T_{kr} Periodo nominal(1s)

T_k Tiempo de liberación de falla

- Corriente de magnetización

I_p Corriente de magnetizacion (Inrush)

t_{inrush} Duración de la corriente de Inrush

Curva limite de cales/ Parámetros de líneas

IEC/VDE

$$I_{th} < I_{thr} = F_{ac} \frac{k \cdot A}{\sqrt{T_k}} \quad \text{con} \quad 0.01s \leq T_k \leq 10s$$

$$k = 226 \cdot \sqrt{\ln \left(1 + \frac{\vartheta_f - \vartheta_i}{234.5 + \vartheta_i} \right)} \quad \text{para Cu}$$

$$k = 148 \cdot \sqrt{\ln \left(1 + \frac{\vartheta_f - \vartheta_i}{228 + \vartheta_i} \right)} \quad \text{para Al}$$

k	constante de aislamiento
ϑ_i	Temperatura inicial
ϑ_f	Max. Temperatura alcanzable
A	Área transversal in mm ²
T_k	Tiempo de liberación de falla
F_{ac}	Relación del efecto piel

ANSI/IEEE

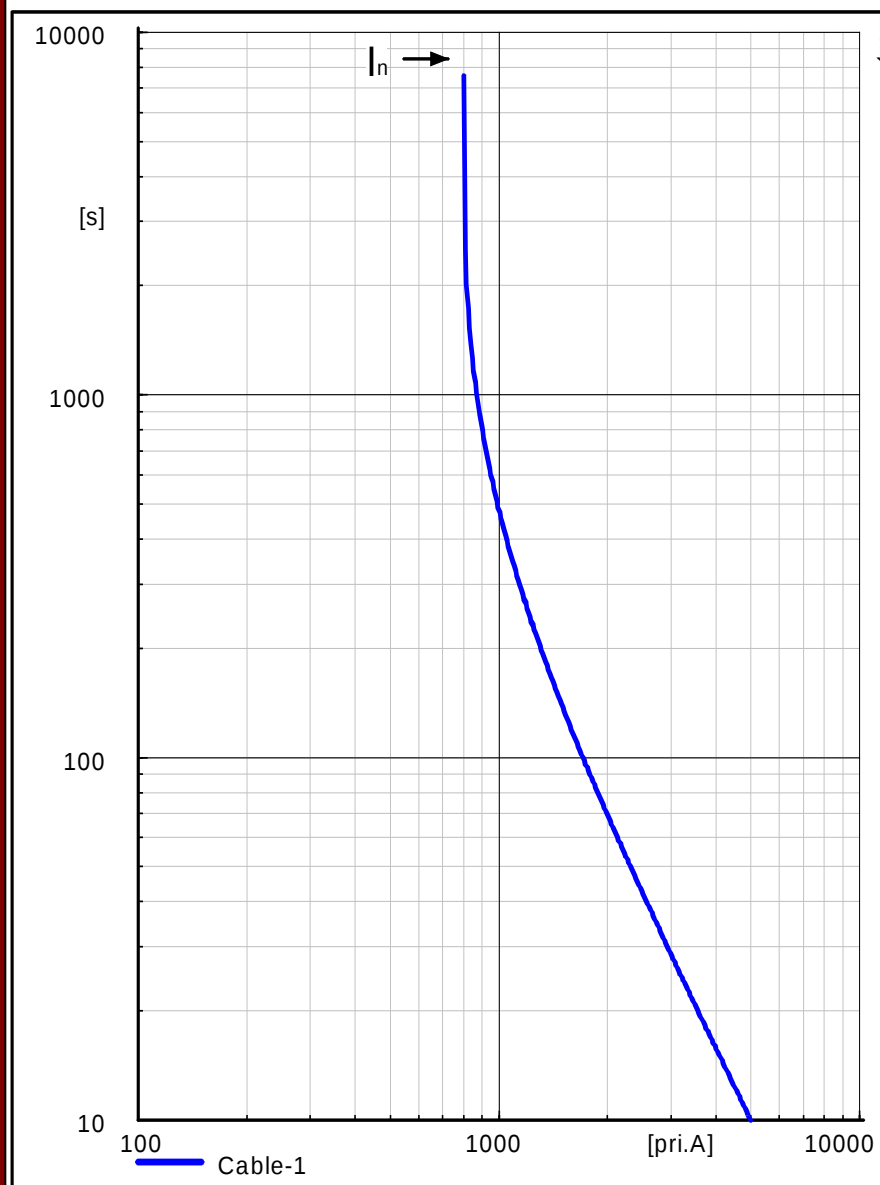
$$I_{th} < I_{thr} = F_{ac} \frac{k \cdot A}{\sqrt{T_k}} \quad \text{con} \quad 0.01s \leq T_k \leq 10s$$

$$k = \sqrt{0.0297 \cdot \log_{10} \frac{\vartheta_f + 234}{\vartheta_i + 234}} \quad \text{para Cu}$$

$$k = \sqrt{0.0125 \cdot \log_{10} \frac{\vartheta_f + 228}{\vartheta_i + 228}} \quad \text{para Al}$$

k	constante de aislamiento
ϑ_i	Temperatura inicial
ϑ_f	Max. Temperatura alcanzable
A	Área transversal in mm ²
T_k	Tiempo de liberación de falla
F_{ac}	Relación del efecto piel

Curva de Sobrecarga de Cables



- Sobrecarga (for $t > 10s$)

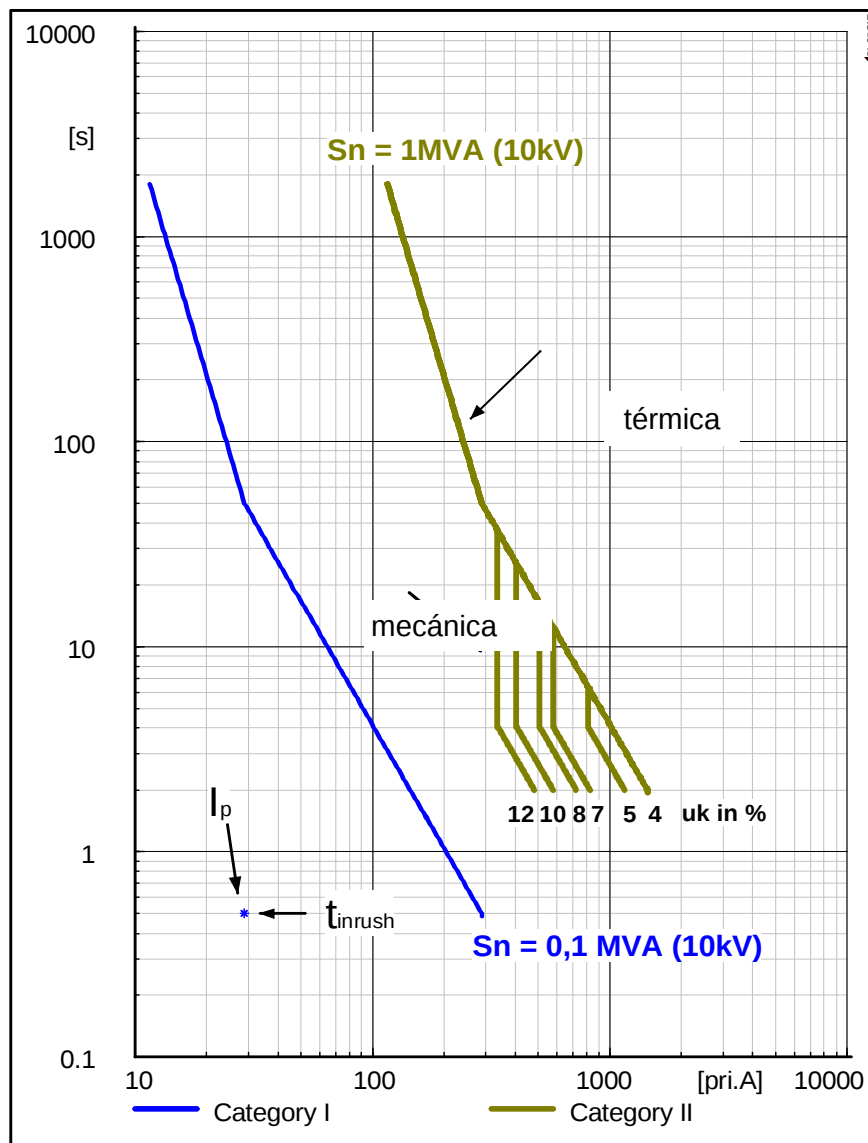
$$I < I_n \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{I_0}{I_b}\right)^2 e^{-\frac{t_b}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{t_b}{\tau}}}} \quad \text{para corta operacion}$$

I_n Corriente nominal en A

I_0 Corriente de prefalla en A

t_b Tiempo de sobrecarga en s

τ Mínimo constante de tiempo del cable



Curva de limite térmico

- Categoría I (0.15 - 0.5 MVA)
- Categoría II (0.501 - 5 MVA)

Curva de limite mecánico

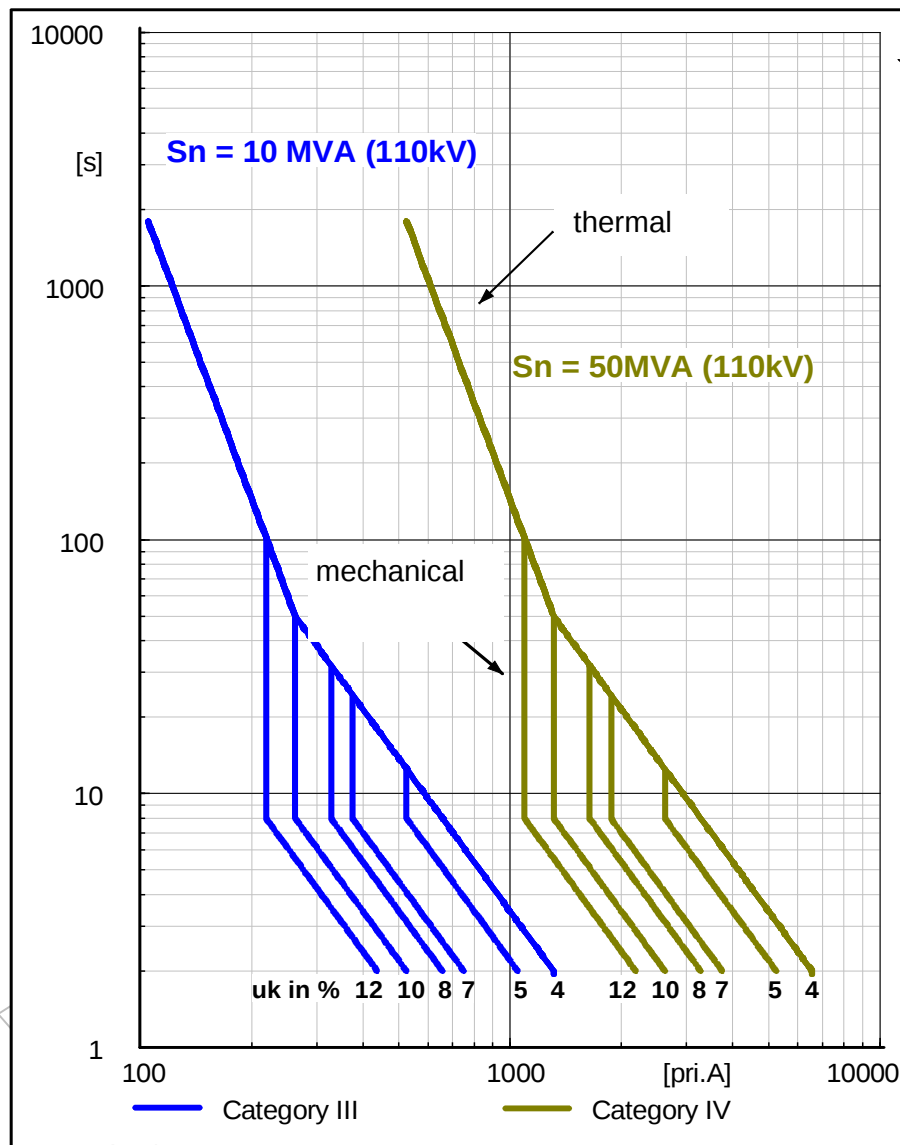
- Categoría II (0.501 - 5 MVA)

Corriente de magnetización

I_p Corriente de magnetización

t_{inrush} Duración de la corriente de magnetización

Curva de Transformadores ANSI/IEEE Cat. III/IV



Curva de limite térmico

- Categoría III (5.001 - 30 MVA)
- Categoría IV (> 30 MVA)

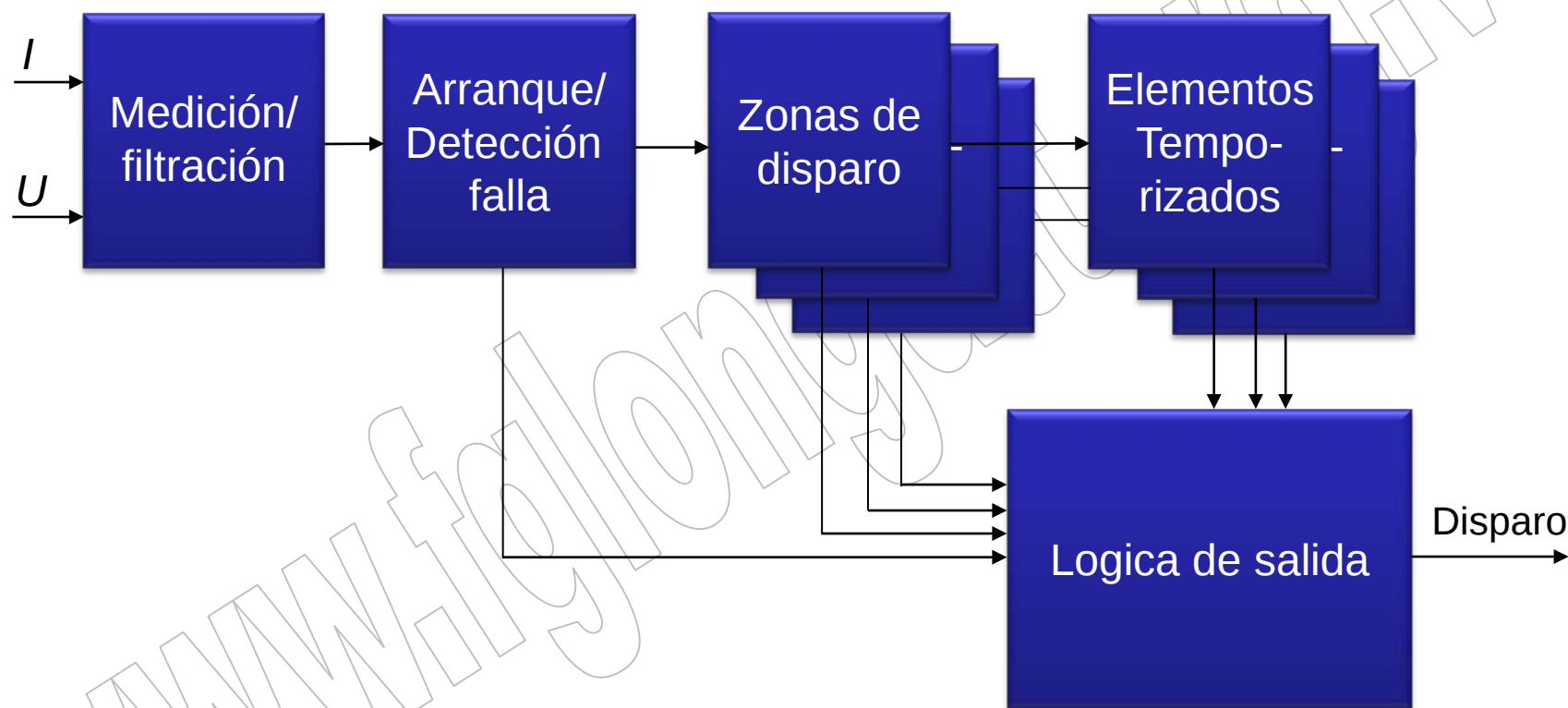
Curva de limite mecánico

- Categoría III (5.001 - 30 MVA)
- Categoría IV (> 30 MVA)

Curvas de cambio de fase ANSI

4. Protección de Distancia

Relés de Impedancia: Principio de Operación



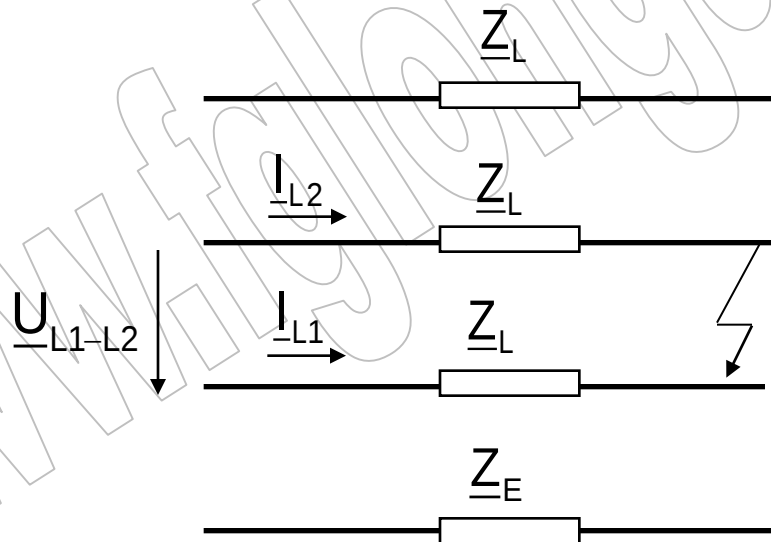
1/10/2011

Medición de Impedancia

- Lazo de falla Línea - Línea

$$\underline{Z}_L \underline{I}_{L1} - \underline{Z}_L \underline{I}_{L2} = \underline{U}_{L1-L2}$$

$$\underline{Z}_L = \frac{\underline{U}_{L1-L2}}{\underline{I}_{L1} - \underline{I}_{L2}}$$

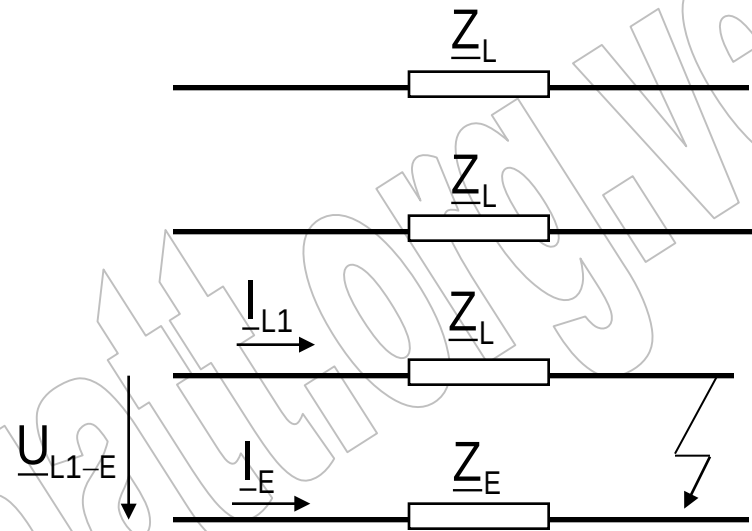


Medición de Impedancia

- Lazo de falla Línea - Tierra

$$\underline{Z}_L \underline{I}_{L1} - \underline{Z}_E \underline{I}_E = \underline{U}_{L1-E}$$

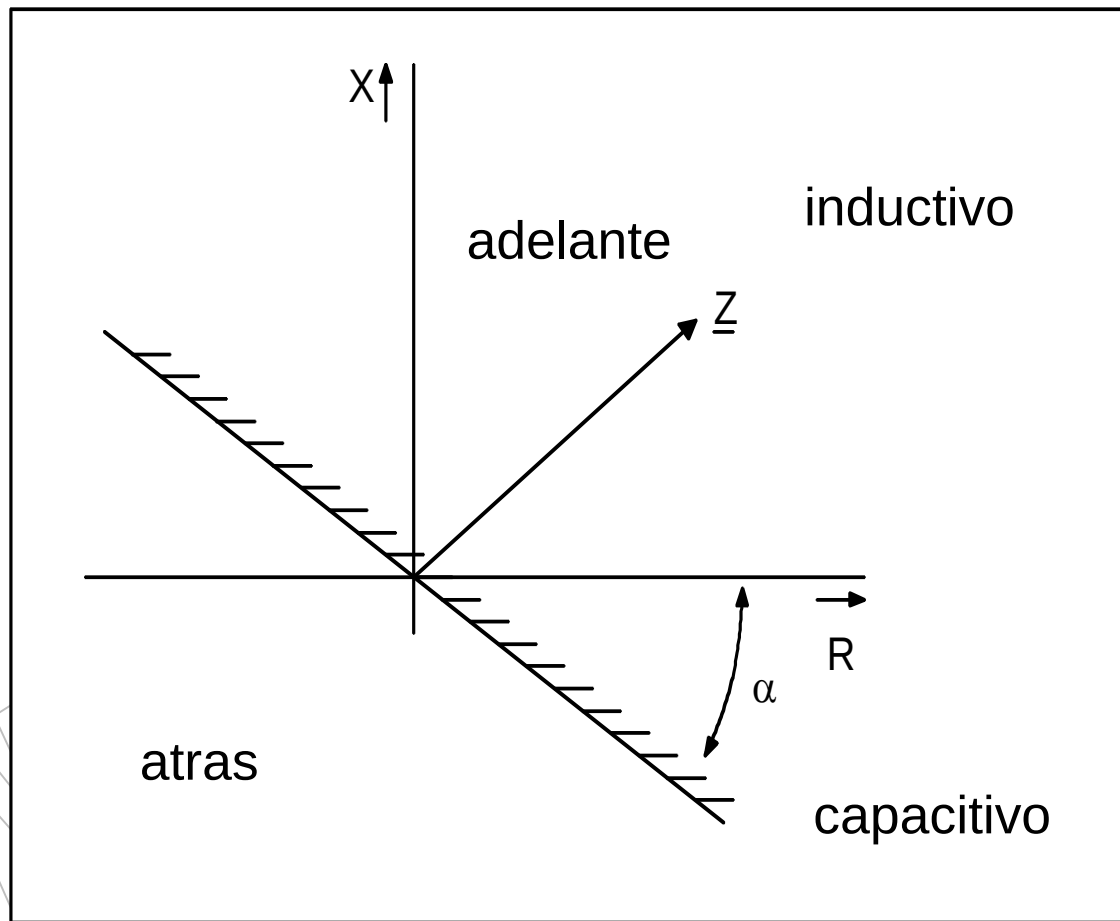
$$\underline{Z}_L = \frac{\underline{U}_{L1-E}}{\underline{I}_{L1} - \frac{\underline{Z}_E}{\underline{Z}_L} \cdot \underline{I}_E}$$



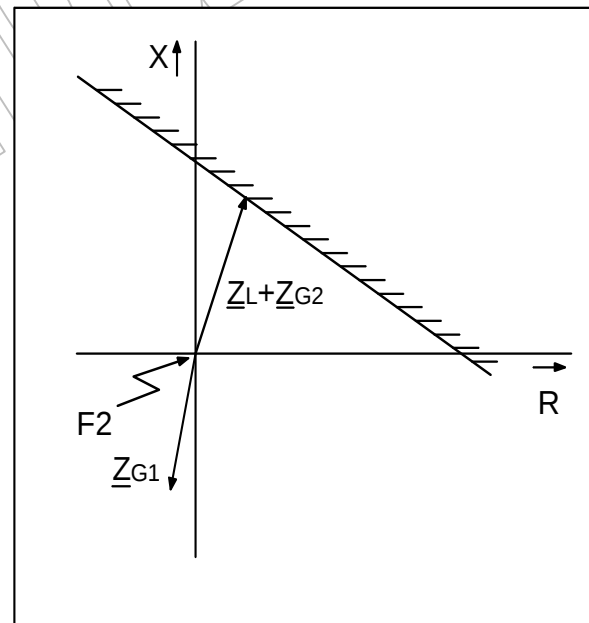
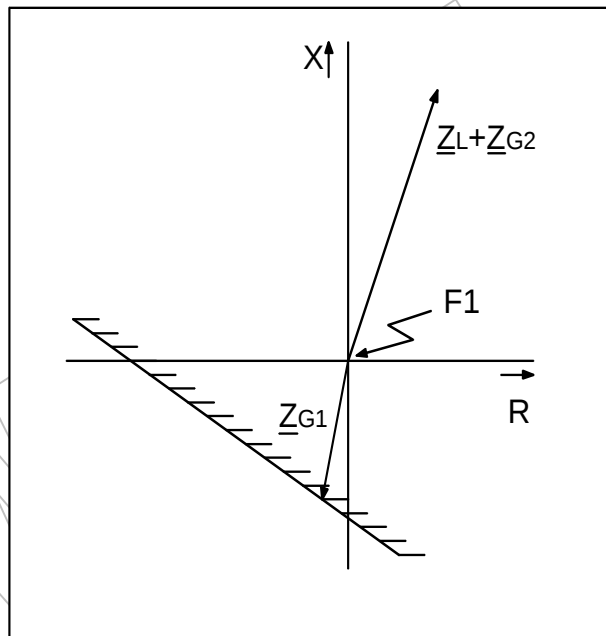
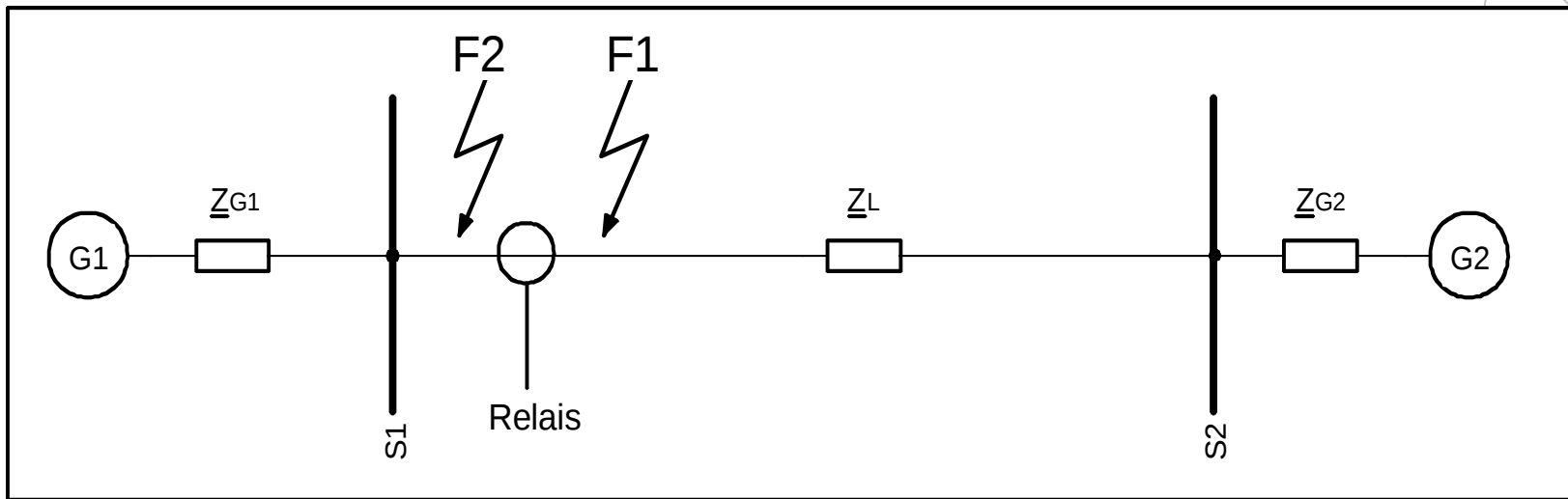
- K_0 es independiente de la posición de la falla:

$$k_0 = \frac{\underline{Z}_E}{\underline{Z}_L}$$

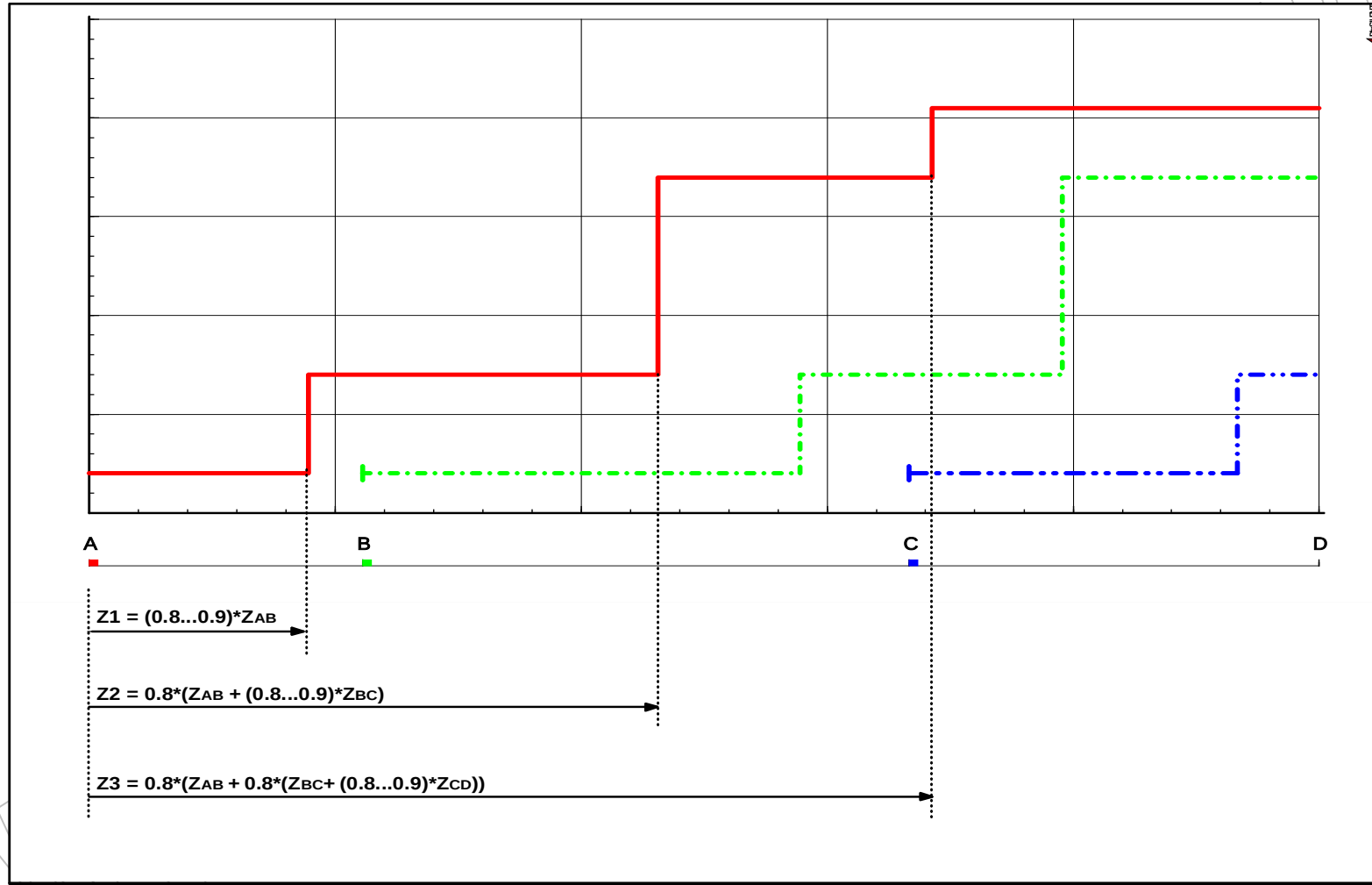
Elemento Direccional/Polarizacion



Elemento Direccional/Polarizacion



Coordinación Impedancia Tiempo

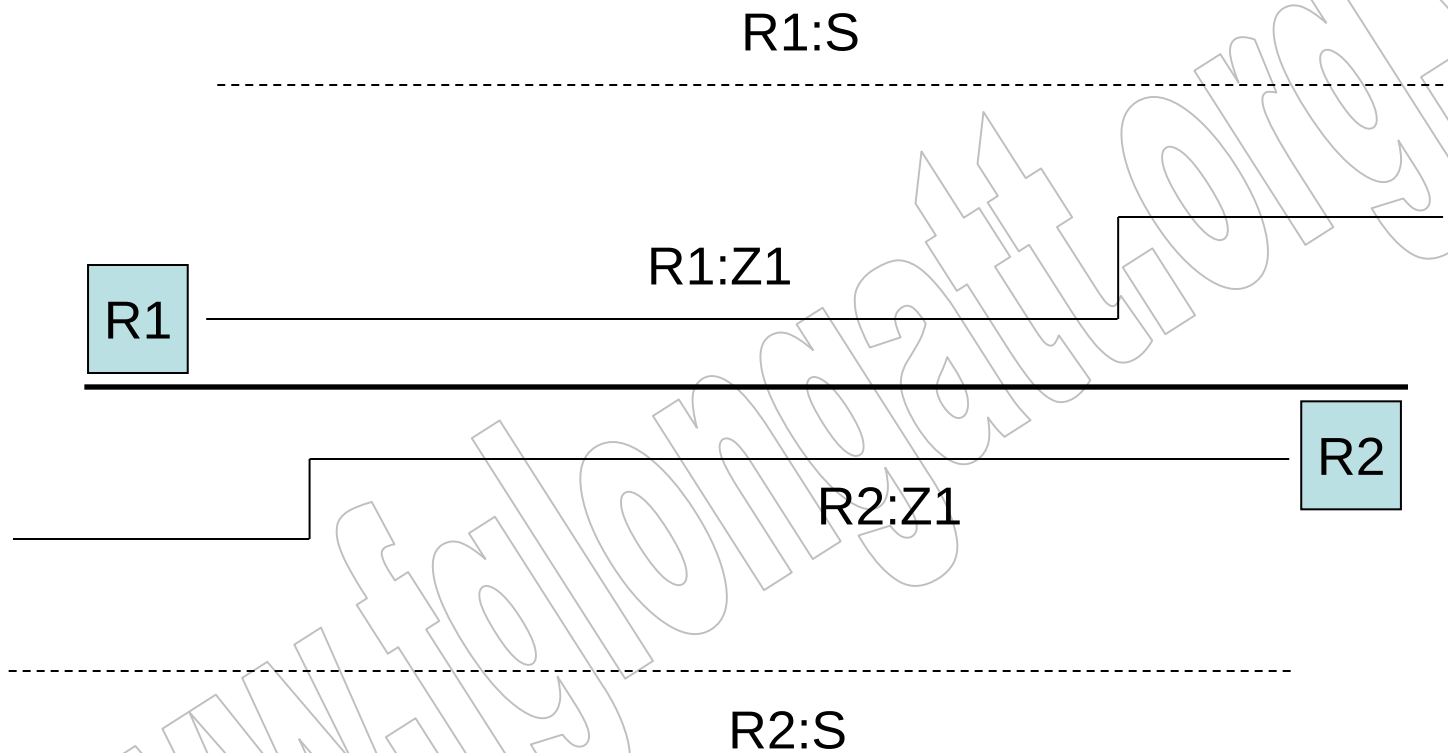


5. Esquemas de teleprotección

Comparación de Senales



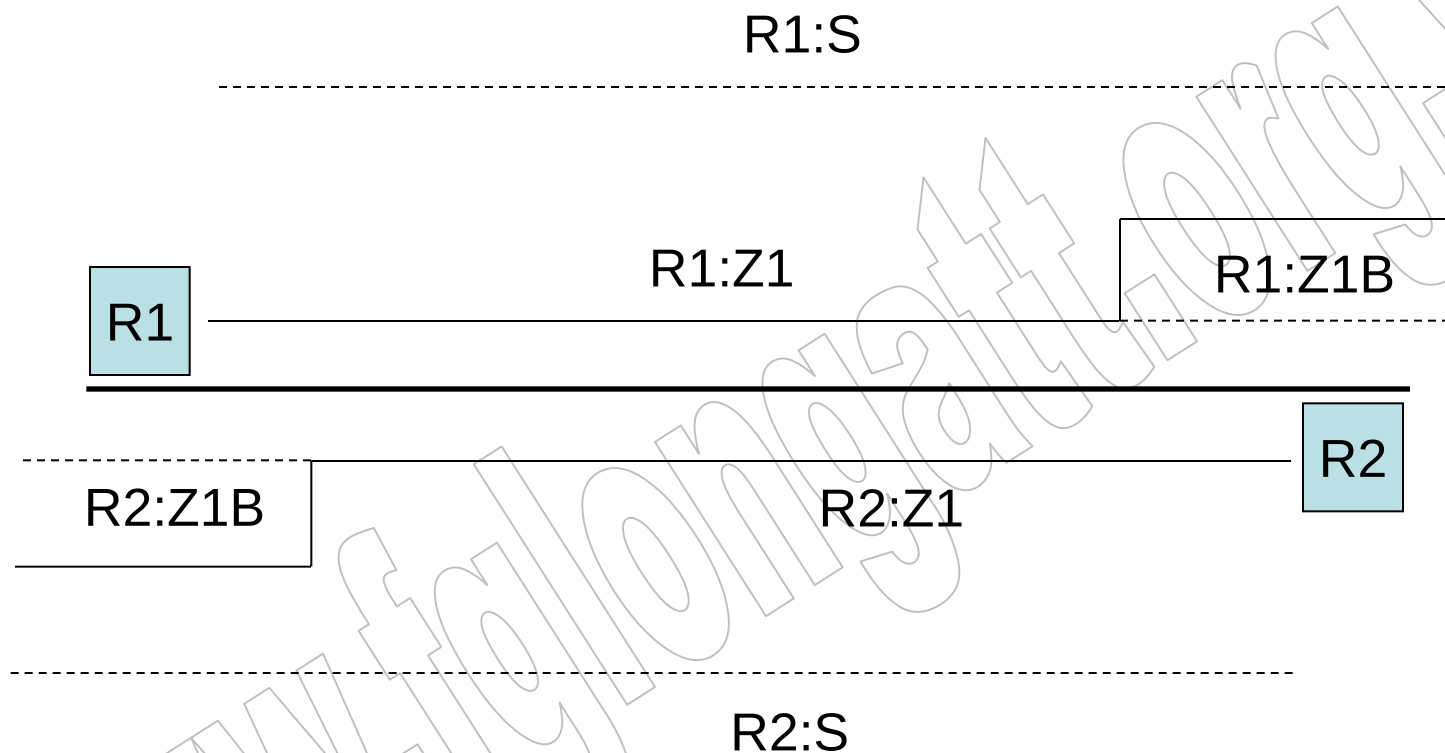
PUTT con detección de falla (Permisivo de bajo alcance)



R1 dispara si (R1:Z1 o R1:S y R2:Z1)

R2 dispara si (R2:Z1 o R2:S y R1:Z1)

PUTT con aceleración por Z1B

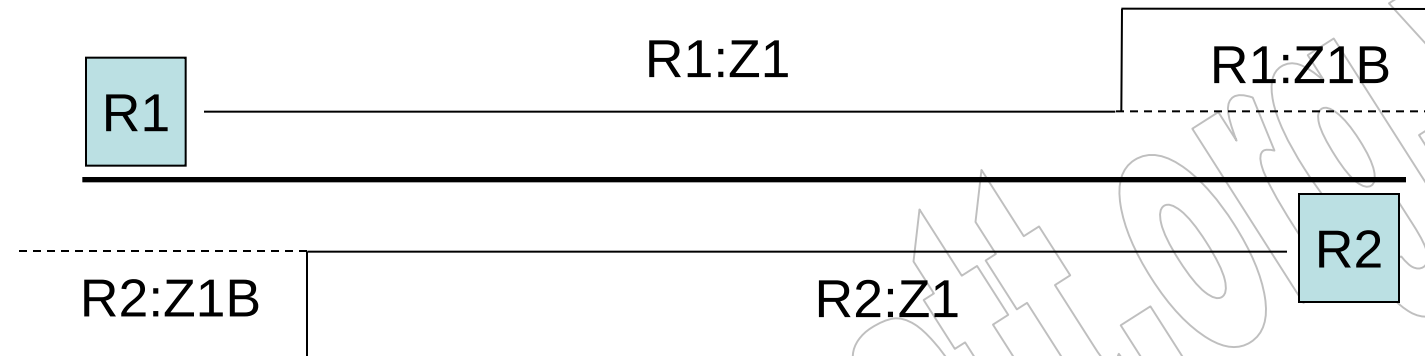


R1 dispara si (R1:Z1 o R1:Z1B y R2:Z1)

R2 dispara si (R2:Z1 o R2:Z1B y R1:Z1)

1/10/2011

POTT con Zona Z1B



R1 dispara si (R1:Z1 o R1:Z1B y R2:Z1B)

R2 dispara si (R2:Z1 o R2:Z1B y R1:Z1B)

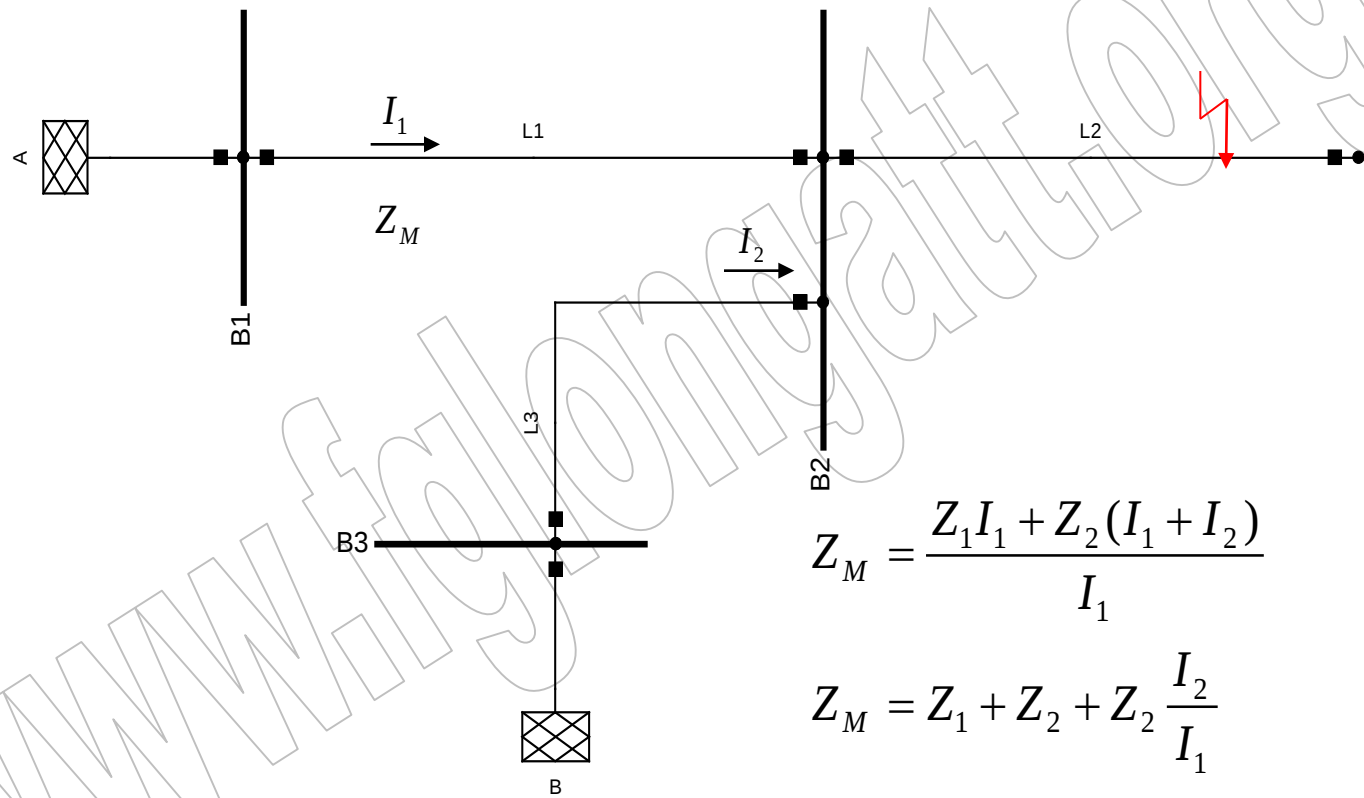
Comparación direccional de bloqueo (Blocking)



R1 dispara si (R1:Z1 y no R2:R)

R2 dispara si (R2:Z1 y no R1:R)

Entrada



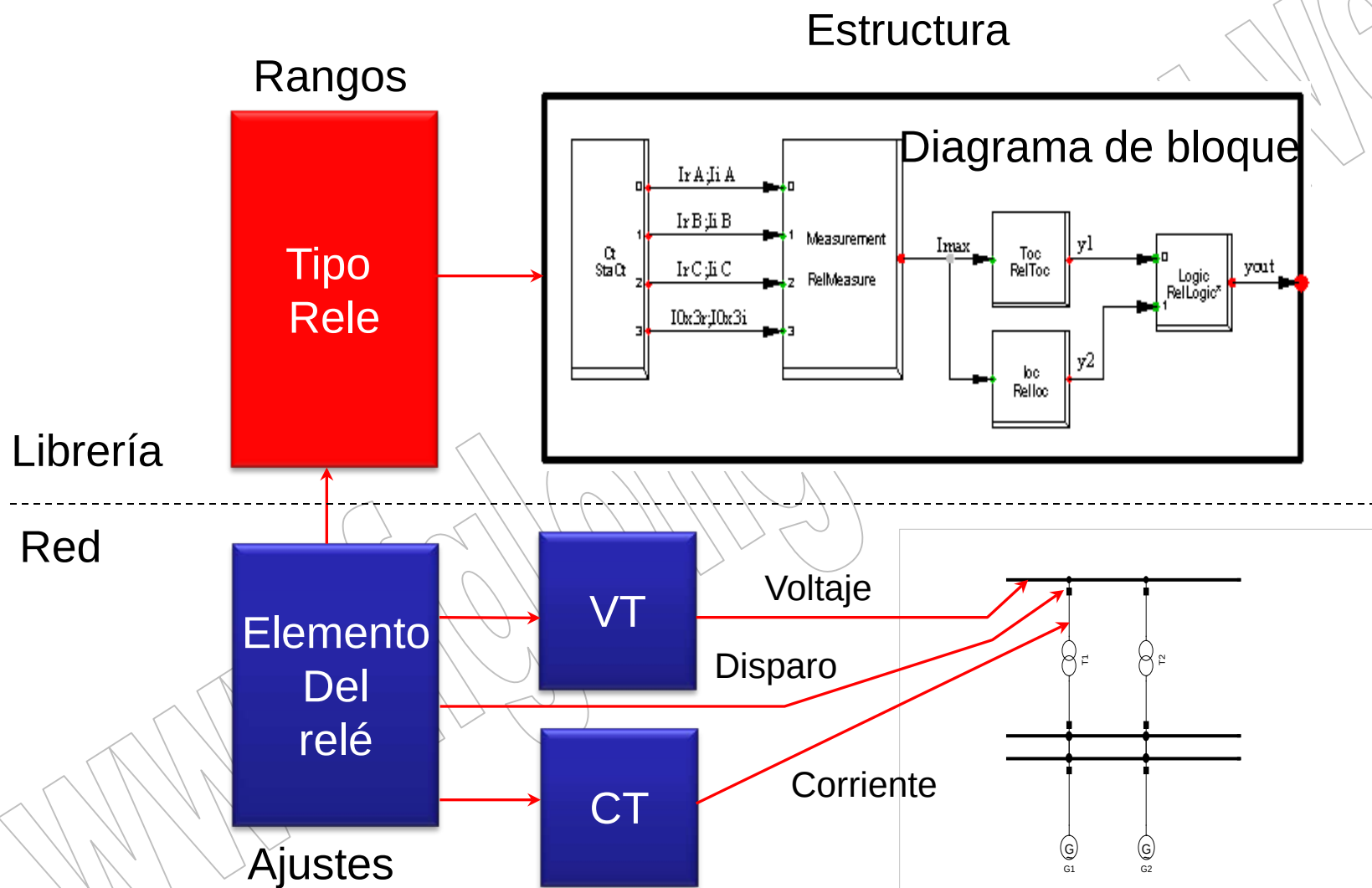
$$Z_M = \frac{Z_1 I_1 + Z_2 (I_1 + I_2)}{I_1}$$

$$Z_M = Z_1 + Z_2 + Z_2 \frac{I_2}{I_1}$$

5. Modelando Relés de Protección en DigSILENT PowerFactory

Analisis de Sistemas de Proteccion

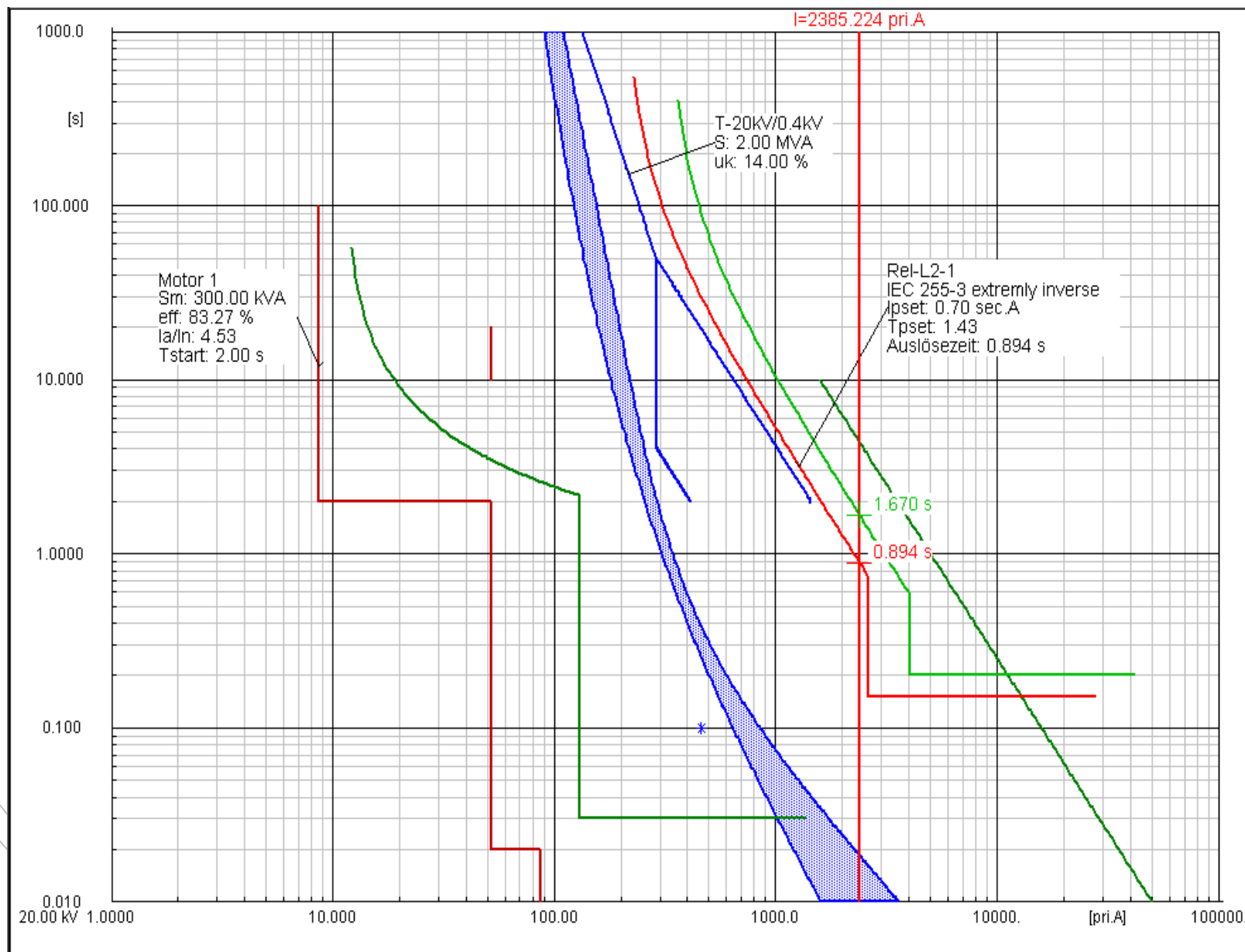
Estructura General



Modelando Relés de Sobrecorriente

- No hay limites en termino de complejidad de los modelos
- Caracteristicas Disponibles:
 - Todos los tipos ANSI / IEEE
 - Todos los tipos IEC
 - Ecuaciones Matematicas
 - Tablas
- Interruptores de bajo voltaje
- Elementos Direccionales
- Fusibles
- Curvas limite de Transformador y de Cable
- Caracteristicas de arranque de motores

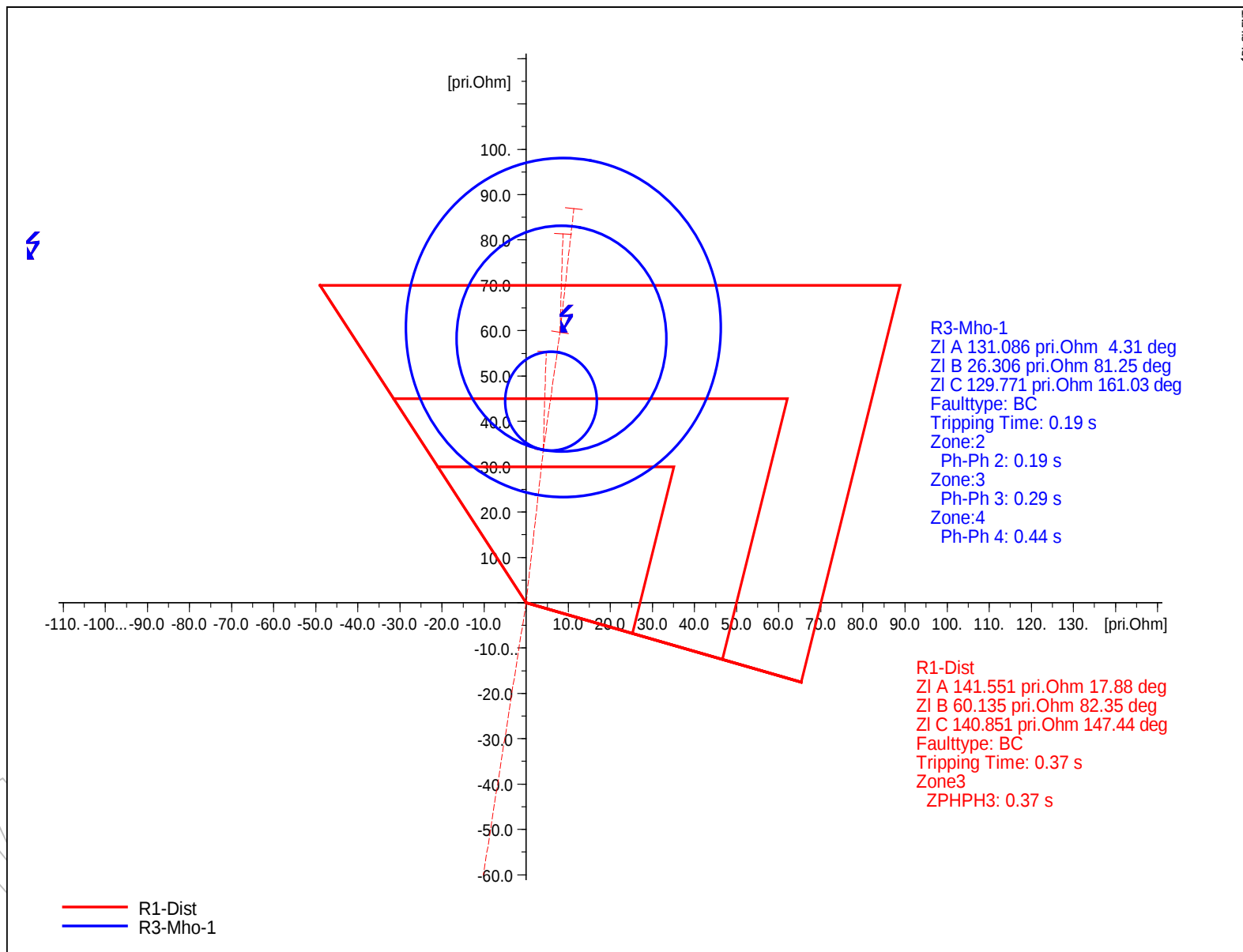
Ejemplo: I-t Time-grading Diagram



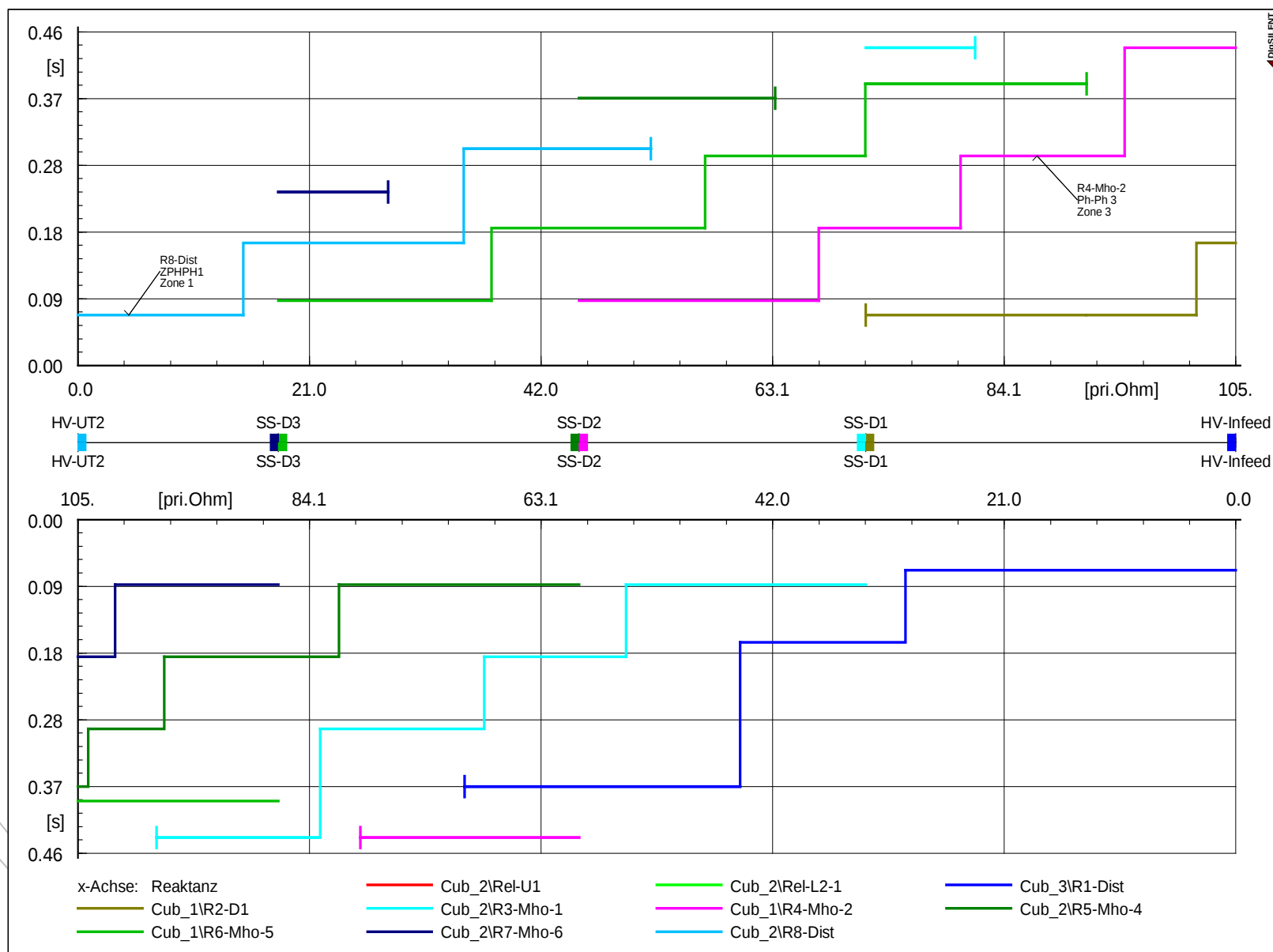
Modelado de Rele de Distancia

- No hay limites en la complejidad de los modelos
- Soporta reles modenos, digitales, multi-funcionales
- Caracteristicas
 - MHO
 - Quadrilateral
 - X constante, R constante
 - Z constante (circulo)
- Varios elementos direccionales estan disponibles
- Es posible el uso de operaciones logicas complejas
- Es posible la comparacion entre senales.

Ejemplo: Digrama de Impedancia R-X



Ejemplo: Z-t Time-grading Diagram



Preguntas

Por favor visite:
<http://www.fglongatt.org.ve>

Comentarios y sugerencias son bienvenidos:
fglongatt@fglongatt.org.ve
jquiros@eie.ucr.ac.cr