## III.4. OTROS CÁLCULOS Y REPLANTEAMIENTOS

### 4.1. Otros cálculos de cortocircuito

Para la red se cumple:

$I''_{kQ} = \frac{S''_{kQ}}{\sqrt{3}.U_{nQ}} = 11547A$ (Valor máximo de c.c. en la acometida de la Ca. Para MT); este no se reducirá significativamente a través del anillo, debido a las pequeñas impedancias y longitudes de los tramos.Valores que se desprecian, en este planteamiento, para el cálculo de cortocircuitos en BT.

$Z_Q$: Impedancia de secuencia directa referida el lado de MT.

Puesto que el punto de entronque está lejos de los generadores de energía (alternadores), se establecerán las aproximaciones siguientes:

- ✓ $I_k \approx I''_k$; siendo $I''_k$: corriente inicial alterna (subtransitoria) de cortocircuito.
- ✓ $S_k \approx S''_k$; siendo $S''_k$: potencia inicial alterna (subtransitoria) de cortocircuito.

| | | |
|---|---|---|
| $U_{Nq}$ = 25 kV<br>$S_{ccQ}$ = 500 MVA<br>($I''_{kQ}$ = 11547 A)<br>$t_{cc} \leq 0,5$ s | $X_Q = 0,995\ Z_Q$<br>$R_Q = 0,1\ X_Q$ | $Z_Q = (C_t = 1,1).\frac{U_{nQ}}{\sqrt{3}.I''_{kQ}} = 1375 m\Omega$ |

| Equipo eléctrico | Datos | Cálculos | R | X | Z |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | mΩ | mΩ | mΩ |
| Red de MT | $U_{Nq}$ = 25 kV<br>$I''_{kQ}$ = 11547 A | $Z_Q = (C_t = 1,1).\frac{U_{nQ}}{\sqrt{3}.I''_{kQ}}$ | | | 1375 |
| | $X_Q = 0,995\ Z_Q$ | Normas: CEI 909/1988<br>UNE 21 239 | | 1368 | |
| | $R_Q = 0,1\ X_Q$ | | 136,8 | | |
| Corriente de c.c.(tripolar máxima) en Q ($I_{kQ}$) | $C_t$ = 1,1; AT, U>1000 V (UNE21240)<br>$I''_{kQ} = \frac{S''_{kQ}}{\sqrt{3}.U_{nQ}}$ | $I_{kQ} = C_t.\frac{U_{NQ.}}{\sqrt{3}.Z_Q}$ = 11547 A | $I_{aQ}$ =11547 A<br>(μ = 1)<br>$I_{sQ}$ = 28414 kA (cresta)<br>(χ = 1,74) | | |
| Línea del anillo<br>Anillo abierto y longitud máxima ($L_{max.A}$) | $L_{max.Q}$ = 795 m<br>Cable DHV(1 x 240) Al | $R_A$= 0,119 mΩ/m (20 ºC)<br>$R_A$= 0,178 mΩ/m (145 ºC)<br>$X_A \approx$ 0,15 mΩ/m<br>($R_A$: R. en c.a. | 141,5 | 119,25 | 185,0 |
| Impedancia resultante: $Z_{m.Q}$ | $Z_{m.Q}$: Impedancia para un c.c. en extremo anillo abierto | $X = \sum_{i=1}^{n} x_i$ ;Idem para R. | 278,3 | 1487.2 | 1513,0 |
| Corriente de c.c.(tripolar máxima) en extremo anillo ($I_{mQ}$) | $C_t$ = 1,1; AT, U>1000 V (UNE21240) | $I_{kmQ} = C_t.\frac{U_{NQ.}}{\sqrt{3}.Z_{mQ}}$ =10494 A | $I_{mQ'}$ =10494 kA<br>(μ = 1)<br>$I_{smQ}$ = 23003 kA (cresta)<br>(χ = 1,55) | | |

- **Cortocircuitos asimétricos**
  - Cortocircuito bifásico sin conexión a tierra

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot U}{|Z_1 + Z_2|} = \frac{c \cdot U}{2Z_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_k = 0,866 I''_k \qquad \text{(III.25)}$$

Si $Z_1 = Z_2 = Z_k ; Z_o = 0$ ; $I_{s2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_s$

Se suele dar en una probabilidad del 15 %.
Este c.c. no se estudiará para el dimensionado pues es menor que el tripolar.

- Cortocircuito bipolar con contacto a tierra

$$I''_{k2PE}" = \frac{\sqrt{3} \cdot C \cdot U_n}{Z_1 + Z_0 \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right)} \qquad \text{(III. 26)}$$

No se considera para el dimensionado pues no es relevante.

- Cortocircuito fase-tierra /PE/N

Se suele dar con una frecuencia del 80%

En funcións de la componentes simétricas

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot cU_n}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{\sqrt{3} \cdot cU_n}{|2Z_1 + Z_0|} = \frac{3}{2 + \frac{x_0}{x_1}} I''_{k3} \qquad \text{(III. 27)}$$

Si $Z_1 = Z_2$

También se puede expresar como:

$$I''_{k1G} = \frac{cU_F}{|Z_1 + Z_h|}$$

Se estudia en Anexo V: Red de Tierras quedando limitada la c. de c.c. $I_{k1}$ = 449 A; manteniéndose prácticamente constante para cualquier posible defecto en cualquier punto del anillo, pues es determinante la reactancia de Petersen en trafo de distribución MT de 45 MVA.

Terminología:
Z1: impedancia directa o de fase
$Z_2$: impedancia inversa
Un: tensión nominal de línea (tensión compuesta)
$U_F$: tensión de fase o de línea.

*Anotación: Las Z, U e I son vectores* ≡ **Z, U** e **I,** *o bien* $\vec{Z}, \vec{U} e \vec{I}$ .

- **Gráficas**

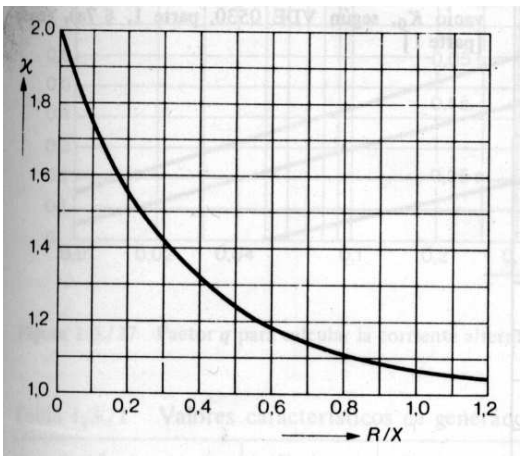



Figura III.4.1-1: Gráfica $\chi = f(\frac{R}{X})$

$I_S = \chi . \sqrt{2} .I''_k$;

$\chi = 1{,}00220 + 0{,}96899 \cdot e^{-3{,}0310 \cdot X/R}$

Normas VDE 102; UNE 21 240: 1997 ≡ CEI 781: 1989.

Siendo:

R: La resistencia de la red hasta el punto de cortocircuito

X: La reactancia de la red hasta el punto de cortocircuito.

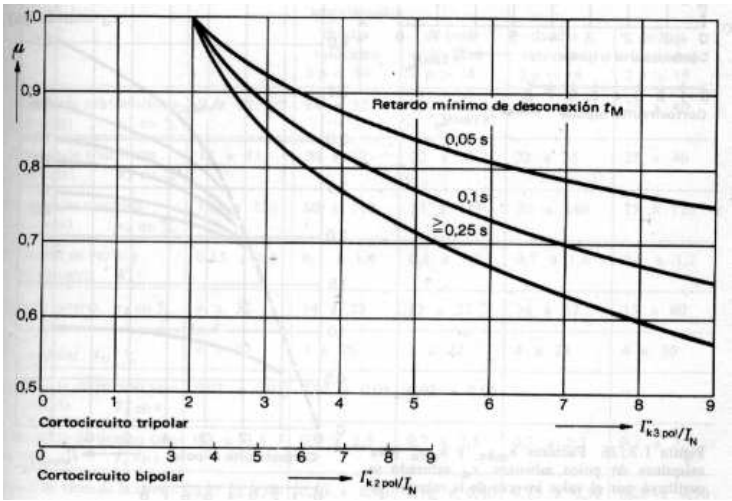



Figura III.4.1-2

## 4.2. Solicitaciones electrodinámicas

Los valores asignados para los diversos embarrados quedan suficiente margen de dimensionado.
Se ha utilizado el método siguiente para los esfuerzos electrodinámicos:

$$F = 13{,}85 \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot \frac{I^2{}_{cc}}{d} \cdot L \cdot \left[ \left( 1 + \frac{d^2}{L^2} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{d}{L} \right] \qquad \text{(III.28)}$$

F = fuerza resultante en N
f = coeficiente en función del cos θ, siendo f = 1 para cos θ = 0
$I_{cc}$ = intensidad máxima de cortocircuito: $I_{S\,(CRESTA)}$
d = separación entre fases
L = longitud de los tramos de embarrado.

Carga uniformemente repartida

Q = F / L

Momento flector máximo

$$M_{\text{máx}} = \frac{q \cdot L^2}{12}$$

Módulo resistente de la barra

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \left[ \frac{D^4 - d^4}{D} \right]$$

D = diámetro exterior del embarrado
d = diámetro interior del embarrado

Fatiga máxima

$$r_{\text{máx}} = M_{\text{máx}} / W$$

Solicitación térmica

$$S = \frac{1}{\alpha} \cdot \left( \frac{1}{\delta\theta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

S = sección de cobre en $mm^2$
$\alpha$ = 13 para el cobre
t = tiempo de duración del cortocircuito en segundos
I = intensidad eficaz en amperios
$\delta\theta$ = 180º para conductores inicialmente a Tª ambiente.

Referencias:

- Anexo VIII: Esfuerzos electrodinámicos en barras
- Planos: 2.E.01; 2.PE.01/02/03; 1.P.06.01; 1.P.07.

## 5.2. Ajuste de protecciones

### 5.2.1. Ajustes de sobrecorrientes

Los ajustes se harán para las protecciones 50, 51 y 50, 51N (50/51 G).

Se atenderá, además, la selectividad amperimétrica, cronométrica y diferencial. Para el futuro se planifica la selectividad lógica, mediante los módulos Sepam de Merlin Gerin o similar.

En el Anexo V (Estudio y diseño de la red de tierras) se obtiene una intensidad de defecto a tierra $I_d$=449 A. A partir de este dato se ajustarán las protecciones 50N y 51N.

Puesto que el nivel de cortocircuito en la acometida y en el anillo de MT varía poco, los relés instantáneos de sobreintensidad (50) correspondiente a los diferentes disyuntores se tendrán que temporizar (Selectividad cronométrica para los relés 50).

➢ Expresiones de la curvas empleadas:

- ECUACIÓN PARA CURVA MUY INVERSA (MI) [VIT]

$$t = \frac{13{,}5}{\left(\frac{I}{I_S}\right) - 1} \cdot \frac{t_o \rangle}{1{,}5}$$

; para I = 10 $I_S$ corresponde t= 0,46 s

- ECUACIÓN PARA CURVA EXTREMADAMENTE INVERSA (EI) [EIT]

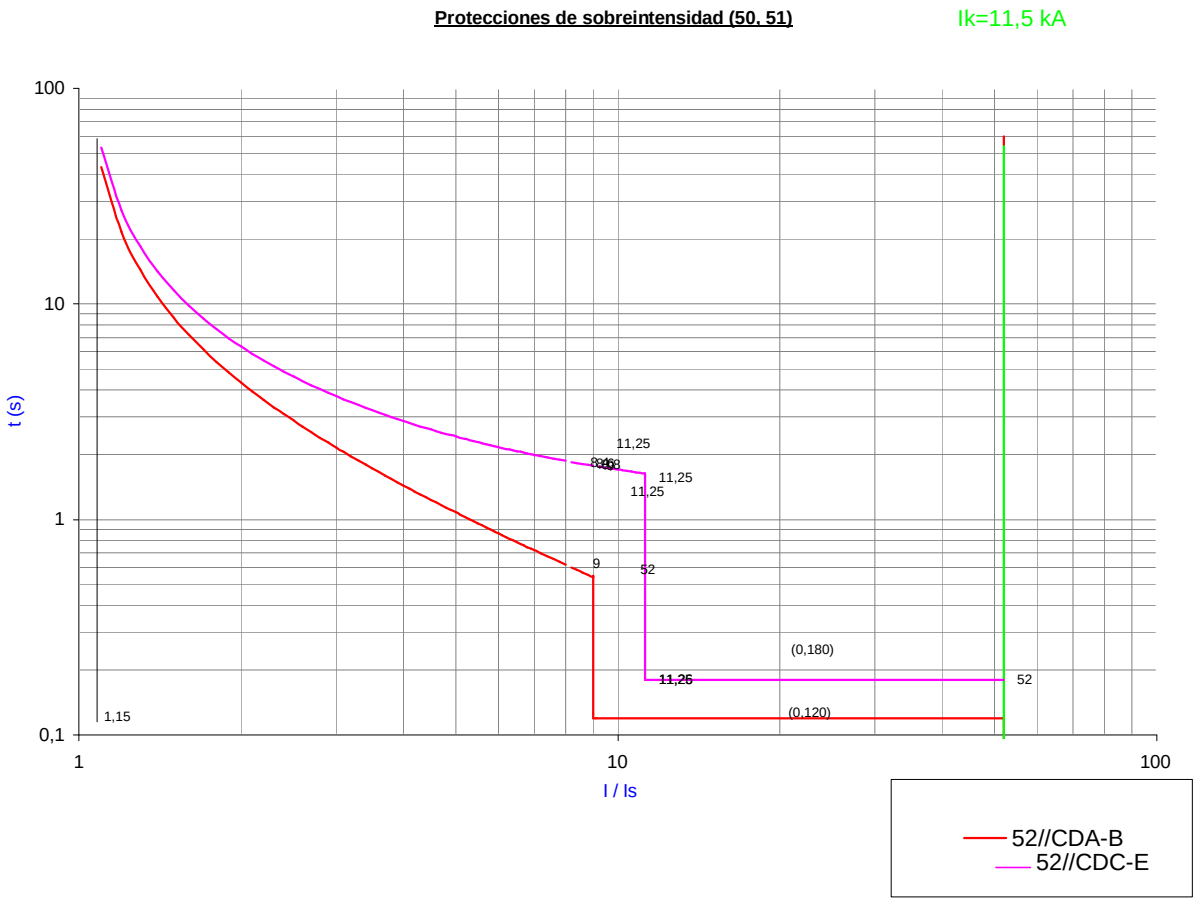
$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^2 - 1} \cdot \frac{t_o \rangle}{0{,}808}$$

CUMPLEN CON NORMAS CEI 255-3 y BS 142.

- CURVAS A TIEMPO INDEPENDIENTE [DT]

### 5.2.1.1. Centro de Distribución Compañía (CDC)

El relé de ajuste se corresponde con el disyuntor 52/CDC-E.1




$V_n$ = 25 kV

| | |
|---|---|
| 52//CDA-B | CURVA MUY INVERSA (VIT)<br>In = Is = 240 A (secundario 4 A)<br>Curva 3 (I = 10 Is, t = 0,48 s)<br>Instantáneo 9 (2160 A), t = 120 ms |

POWER-
AUTO, S A

| | |
|---|---|
| 52//CDC-E | CURVA MUY INVERSA (VIT)<br>In = Is = 270 A (secundario 4,5 A)<br>Curva 4 (I = 10 Is, t = 0,58 s)<br>Instantáneo 10 (2700 A), t = 180 ms |

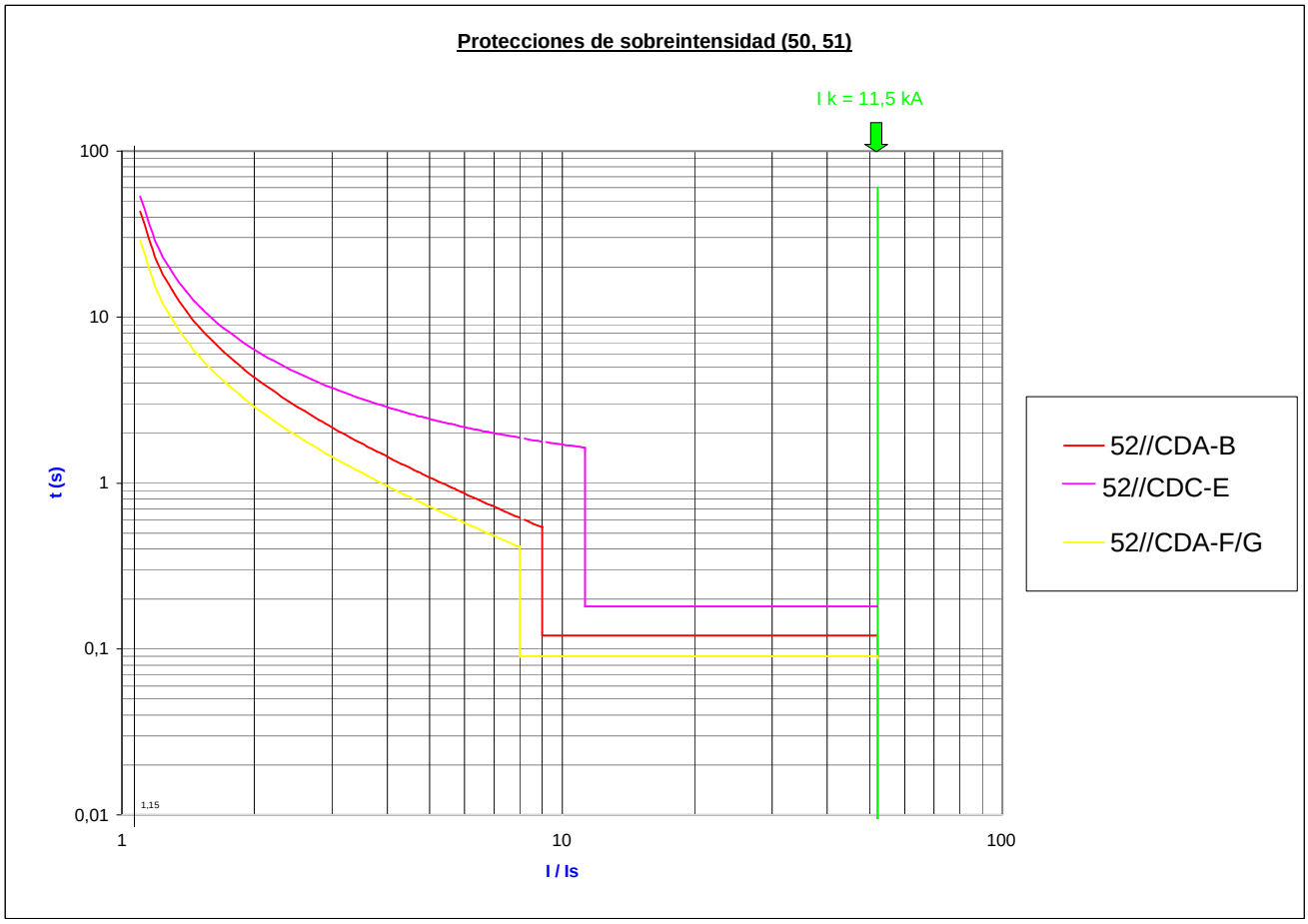
FECSA-
ENHER, S A

AJUSTE DE
PROTECCIONES
PARA FASES

Intensidad de cortocircuito permanente tripolar máxima prevista: $I_k$ = 11,5 kA.
Relación $TI^S$ : 300 / 5 A; $I_S$ = Intensidad de arranque del relé.

### 5.2.1.2. Centro de Distribución Abonado (CDA)

Se ajustará el relé correspondiente al disyuntor general (52/CDA-B) y los de cabeza de anillo (52/CDA-F/G).




$V_n$ = 25 kV

| | | |
|---|---|---|
| 52//CDA-B<br>CURVA MUY INVERSA (VIT)<br>In = Is = 240 A (secundario 4 A)<br>Curva 3 (I = 10 Is, t = 0,48 s)<br>Instantáneo 9 (2160 A), t = 120 ms | 52//CDC-E<br>CURVA MUY INVERSA (VIT)<br>In = Is = 270 A (secundario 4,5 A)<br>Curva 4 (I = 10 Is, t = 0,58 s)<br>Instantáneo 10 (2700 A), t = 180 ms | 52//CDC-F/G<br>CURVA MUY INVERSA (VIT)<br>In = Is = 240 A (secundario 4 A)<br>Curva 2 (I = 10 Is, t = 0,32 s)<br>Instantáneo 8 (1920 A), t = 90 ms |
| POWER-AUTO, S A | FECSA-ENHER, S A | CABEZA DE ANILLO |

AJUSTE DE PROTECCIONES PARA FASES

**RELES DE SOBREINTENSIDAD (50,51, 50N, 51N)**

- **Interruptor automático: 52//CDA-B**
- Datos de la línea:
  - In = 240 A, $V_n$=25kV
  - Ik = 11,5 kA
  - Relación TI: 300A/5A

***a)*** *Ajustes con relé Mayvasa (RS 2F 1N/4M/muy inversa/120 Vcc):*

- *FASES:*
  - *Toma 2 x factor 2 = 4A ≡ 240 A*
  - *Familia de curvas: muy inversa*
  - *Curva 3*
  - *Instantáneo: 9 (2160 A), t=120 ms*
- *Neutro(tierra):*
  - *Toma 1 x factor 0,4 = 0,4 ≡ 24 A*
  - *Muy inversa, curva 2,5*
  - *Instantáneo: 9 (216 A), 220 ms*

***b)*** *Ajuste con módulo computerizado Sepam-2000 (Merlin Gerin):*

**Los ajustes son los mismos que los aplicados con el relé Mayvasa** *con la salvedad que en este caso se puede ajustar con mayor precisión; siendo este el aparato instalado como ya se indicó.*

***c)*** *Ajuste con relé electrodinámico de sobreintensidad GEE-IAC*

Los relés IAC-51/52 de General Eléctrica Española de grandes prestaciones les sustituimos por los electrónicos; por ejemplo los correspondientes a los dos apartados anteriores o similares.

### 5.2.1.3. Centros de Transformación ($CT^S$)

Se ajustará los relés correspondiente a los disyuntores de protección de transformadores (52/CT 3/4-D/E y 52/CT 1/2/5/6-D)

- *Relés correspondientes a trafos de 1000 kVA*

CURVA EXTREMADAMENTE INVERSA (EIT)
In = Is = 23,1 A (secundario 2,31 A); TI : 50/5
Curva 4 (I = 10 Is, t = 0,18 s)
Instantáneo 10 (231 A), t = 60 ms

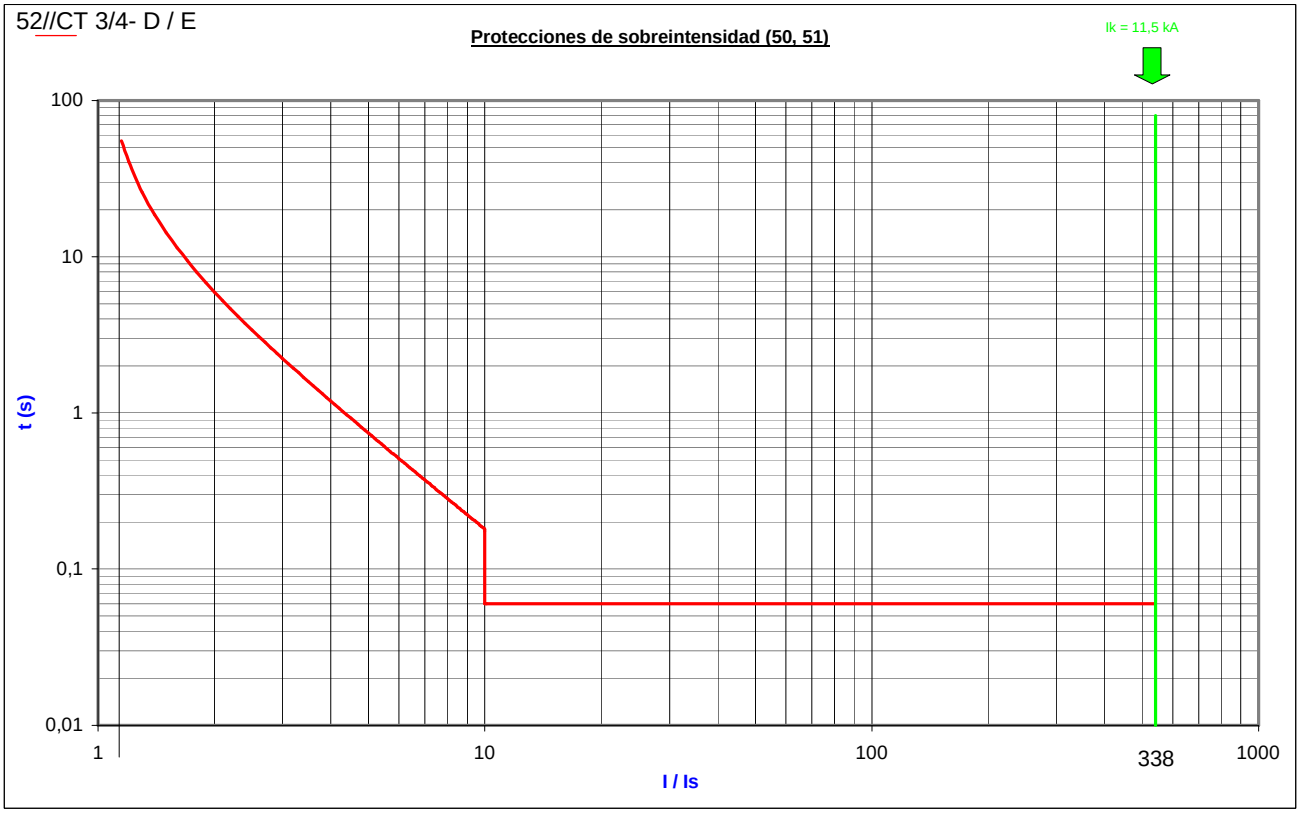
52 // CT 3/4 - D /E

PROTECCIÓN DE SOBREINTENSIDAD DE TRANSFORMADORES DE 1000 k V A

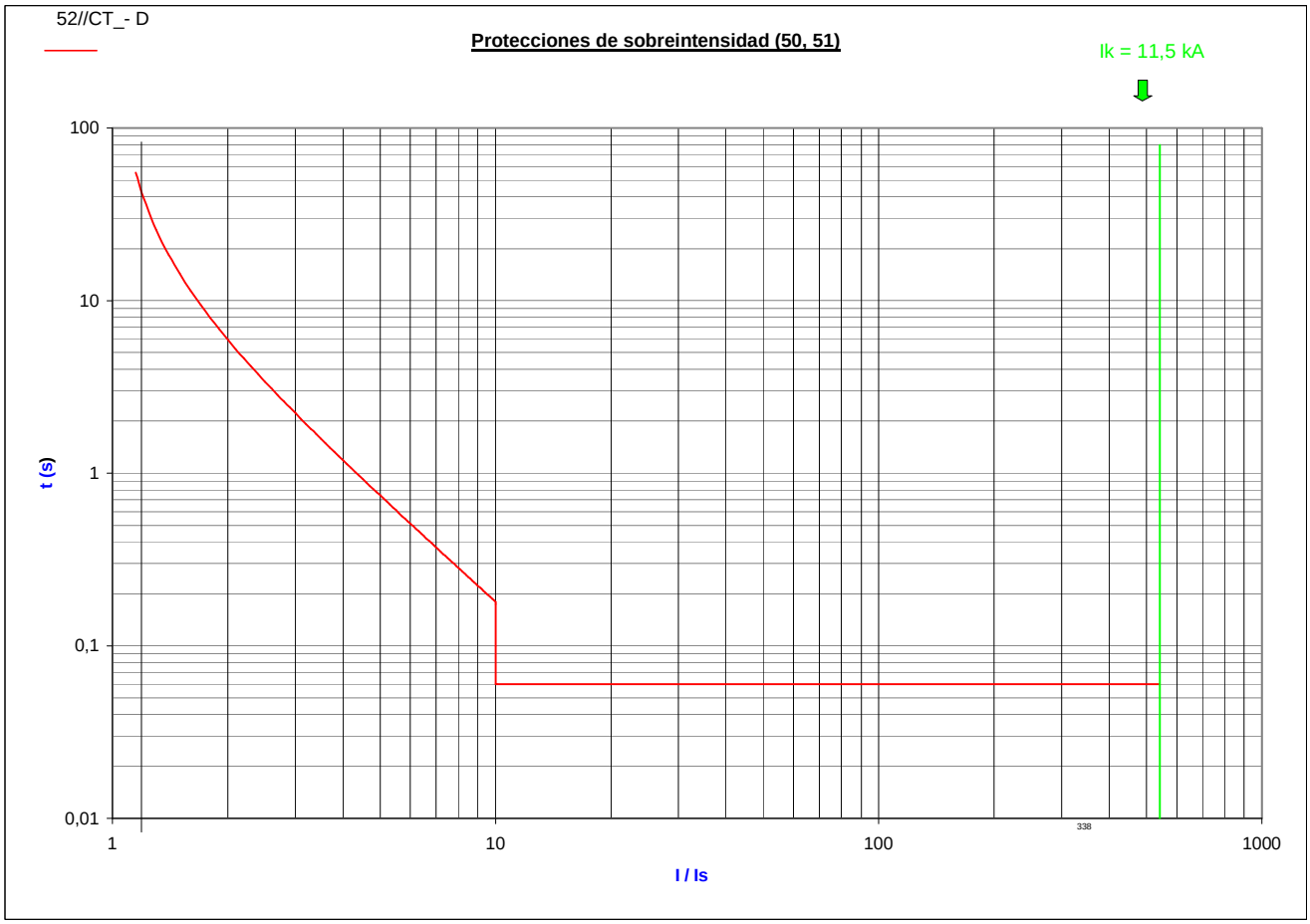
AJUSTE DE PROTECCIONES PARA FASES

OBSERVACIÓN : La curva extremadamente inversa responde a una ecuación del tipo $t = K / I^2$, semejante a la imagen térmica de transformadores y receptores varios.

$V_n = 25$ kV



- *Relés correspondientes a trafos de 1600 kVA*




V = 25 k V

| | |
|---|---|
| 52 // CT _ - D | CURVA EXTREMADAMENTE INVERSA (EIT)<br>In = Is = 36,95 A (secundario 3,69 A); TI : 50/5<br>Curva 4 (I = 10 Is, t = 0,18 s)<br>Instantáneo 10 (369,5 A), t = 60 ms |

52 // CT
1/2/5/6 -D

PROTECCIÓN DE SOBREINTENSIDAD DE TRANSFORMADORES DE 1600 k V A

AJUSTE DE PROTECCIONES PARA FASES

OBSERVACIÓN : La curva extremadamente inversa responde a una ecuación del tipo $t = K / I^2$, semejante a la imagen térmica de transformadores y receptores varios.

5.2.1.4. Neutro (Tierra): (Ansi 50 – 51) N

- 52 / CDC - E
  Relación TI: 300 / 5 A
  $I_n = I_s = 30$ A (secundario 0,5 A)
  Curva 3,5 (VIT)
  Instantáneo 10 (300 A), 300 ms.

- 52 / CDA - B
  Relación TI: 300 / 5 A
  $I_n = I_s = 24$ A (secundario 0,4 A)
  Curva 2,5 (VIT)
  Instantáneo 9 (216 A), 220 ms.

- 52 / CDA – F / G
  Relación TI: 300 / 5 A
  $I_n = I_s = 20$ A (secundario 0,33 A)
  Curva 2,3 (VIT)
  Instantáneo 8 (160 A), 140 ms.

- 52 / CT 1 / 2 / 5 / 6 - D
  Relación TI: 50 / 5 A
  $I_n = I_s = 6,25$ A (secundario 0,625 A)
  Curva 3 (EIT)
  Instantáneo 8 (50 A), 60 ms.

- 52 / CT 3 / 4 – D / E
  Relación TI: 50 / 5 A
  $I_n = I_s = 4,5$ A (secundario 0,450 A)
  Curva 3 (EIT)
  Instantáneo 8 (45 A), 60 ms.

### 5.2.2. Otros ajustes

5.2.2.1. Relé de mínima tensión (27)

Planos: 2.E.04.05.01/x.

- Mínima tensión de red:
  10 % de 25 kV; Set $V_{mín.}$= 22,5 kV (1 min.) → Disparo
  7 % de 25 kV; Set 23,25 (120 ms → Aviso (alarma)

- Mínima tensión fuente autónoma de mando y protección

Planos: 2.E.04.05.01/x; 2.E.02.01.
20 % de 120 Vcc; Set $V_{mín.}$= 96 V (10 min.) → Disparo
12 % de 120 Vcc → Aviso.

5.2.2.1. Relé de máxima tensión (59)

12 % de 25 kV; Set $V_{mín.}$= 28 kV 120 ms) → Aviso
24 % de 25 kV; Set 31 kV (30 s) → Disparo
Se dará también alarma para impulsos tipo rayo.

Otros ajustes para los Transformadores de Potencia sería el relé 64 (Relé de protección a tierra). Ver protecciones de BT.

## 5.3. Transparencias módulos de protección, mando y medida

### 5.3.1. Módulo Sepam 2000 de Merlin Gerin

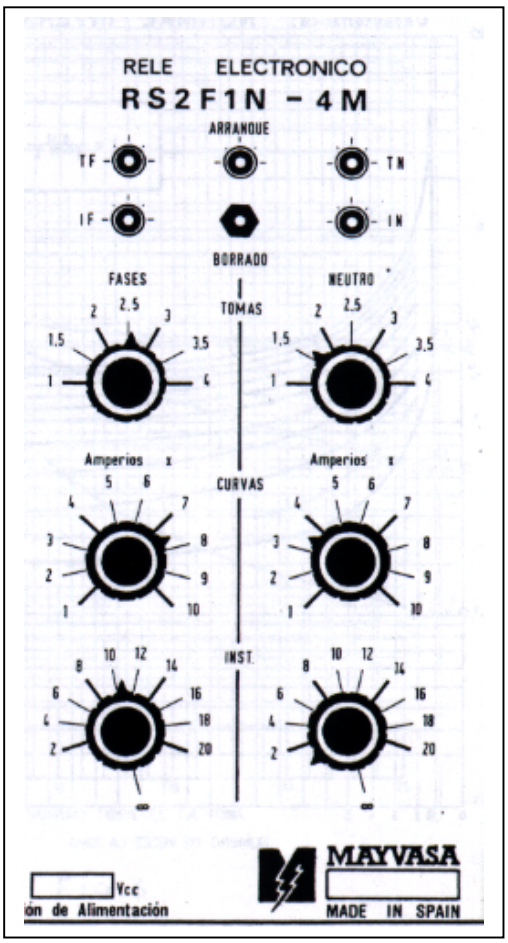
**Sepam 2000** estándar (S36) y **Sepam 2000** compacto (S26).

**Sepam 2000** estándar se entrega con todos sus conectores.

### 5.3.2. Relé de sobreintensidad Mayvasa

Sistemas Modulares de Protección Rack 19”

Relé electrónico de sobreintensidad a tiempo inverso: Mayvasa, modelo RS2F1N-4M




| CALIBRE (Amp) | TOMAS DE AJUSTE (Amp.) | | | | | | | Factor indicado en carátula |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | |
| 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | X 0,2 |
| 0,6 | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 | 1,05 | 1,2 | X 0,3 |
| 0,8 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | X 0,4 |
| 1 | 0,5 | 0,75 | 1 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2 | X 0,5 |
| 2 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | X 1 |
| 3 | 1,5 | 2,25 | 3 | 3,75 | 4,5 | 5,25 | 6 | X 1,5 |
| 4 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | X 2 |
| 5 | 2,5 | 3,75 | 5 | 6,25 | 7,5 | 8,7 | 10 | X 2,5 |
| 6 | 3 | 4,5 | 6 | 7,5 | 9 | 10,5 | 12 | X 3 |
| 8 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | X 4 |

### 5.3.3. Relé de sobreintensidad General Electric

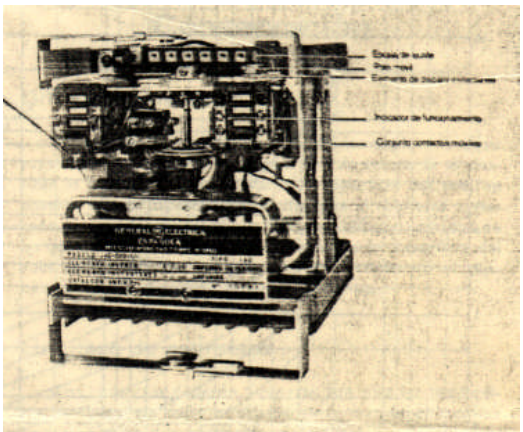


Fig. 18.—Relé IAC con elemento de disparo instantáneo.

Relé electrodinámico de sobreintensidad: GEE, modelo IAC 51/52