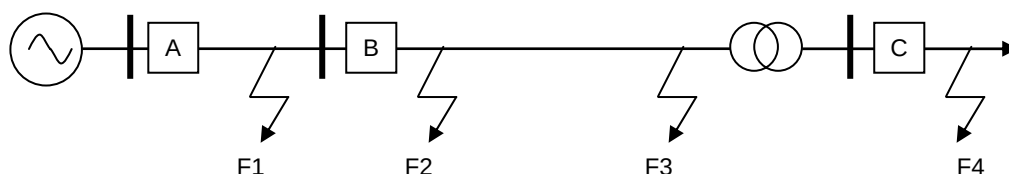


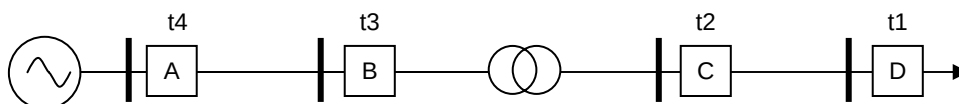
## 14. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE



Entre los varios métodos posibles utilizados para conseguir una correcta coordinación de relés están aquellos que usan tiempo o corriente o una combinación de ambos. La finalidad común de los tres métodos es ofrecer una correcta discriminación. Esto quiere decir, que cada uno debe aislar solamente sección con falla del sistema de potencia, dejando sano el resto del sistema.

### 14.1. Discriminación por tiempo.

En este método, a cada relé se le da un ajuste de tiempo apropiado para asegurar que el interruptor más cerca de la falla opere primero. En el diagrama a continuación se ilustra el principio.



Cada interruptor A, B, C y D está provisto de protección de sobrecorriente y cada unidad de protección consiste de relé de sobrecorriente de tiempo definido en el cual la operación del elemento sensible de corriente simplemente inicia el elemento de retardo de tiempo.

El elemento de corriente del relé no hace parte de la discriminación. En este caso se dice que el relé es un "relé de retardo de tiempo definido independiente" ya que su tiempo de operación es para propósitos prácticos independiente del nivel de corriente.

El medio de discriminación lo provee el elemento de retardo de tiempo. El relé en **D** está ajustado al retardo de tiempo más corto posible para permitir un disparo de su interruptor para una falla en la carga.

Se debe cumplir que  $t1 < t2 < t3 < t4$  y que la diferencia entre un tiempo y otro sea lo suficientemente largo para asegurar que el relé aguas arriba no opere antes que el interruptor en el sitio de la falla ha disparado y aislado la falla.

La principal desventaja de éste método de discriminación es que el tiempo de disparo más largo ocurre para fallas cercanas a la fuente donde el nivel de corto es más alto.

### 14.2. Discriminación por corriente.

Depende del hecho de que la corriente de falla varía con la ubicación de ésta debido a la diferencia de los valores de impedancia entre la fuente y la falla. Por esta razón, los relés se ajustan para operar a valores apropiados de corriente tales que solamente el relé cercano a la falla dispare su interruptor. En el siguiente diagrama se ilustra el principio.

Suponiendo que el nivel de corto para una falla en F1 es de 8800 Amperios, entonces el relé en **A** ajustado para una corriente de 8800 Amperios en teoría protegería la sección de línea entre **A** y **B**.

Sin embargo, hay dos puntos prácticos importantes que afectan este método de coordinación:

- No se puede distinguir entre una falla en F1 y una falla en F2 ya que la distancia entre un punto y otro puede ser muy corta, de tan solo algunos metros, lo que corresponde a un cambio en la corriente de falla de aproximadamente 0.1%.
- En la práctica puede haber variaciones en la fuente (condiciones de generación) donde la corriente de falla podría bajar hasta los 6800 Amperios incluso para una falla cerca de **A**. En este caso, el relé en **A** ajustado en 8800 Amperios no protegería casi nada de la sección de línea entre **A** y **B**.

Esta situación cambia cuando hay una impedancia bastante significativa entre los puntos **A** y **C**. Por ejemplo, supongamos que para una falla en F4, el nivel de corto es de 2200 Amperios, entonces el relé en **B** estaría ajustado para operar con una corriente de 2200 Amperios más un margen de seguridad. Con este ajuste el relé en **B** no operaría para una falla en F4, permitiendo que el relé en **C** realice su función de despeje de falla correctamente.

Asumiendo ese margen de seguridad en un 20% para permitir errores en el relé y otro 10% adicional para variaciones en la impedancia del sistema de potencia, sería razonable escoger un ajuste para el relé **B** en  $1.3 \times 2200 = 2860 \text{ Amp}$ . Si para una falla en F3 los niveles de corto máximo y mínimo son de 8300 y 5200 Amperios respectivamente, entonces el relé en **B** protegería completamente la línea antes del transformador en cualquier tipo de falla.

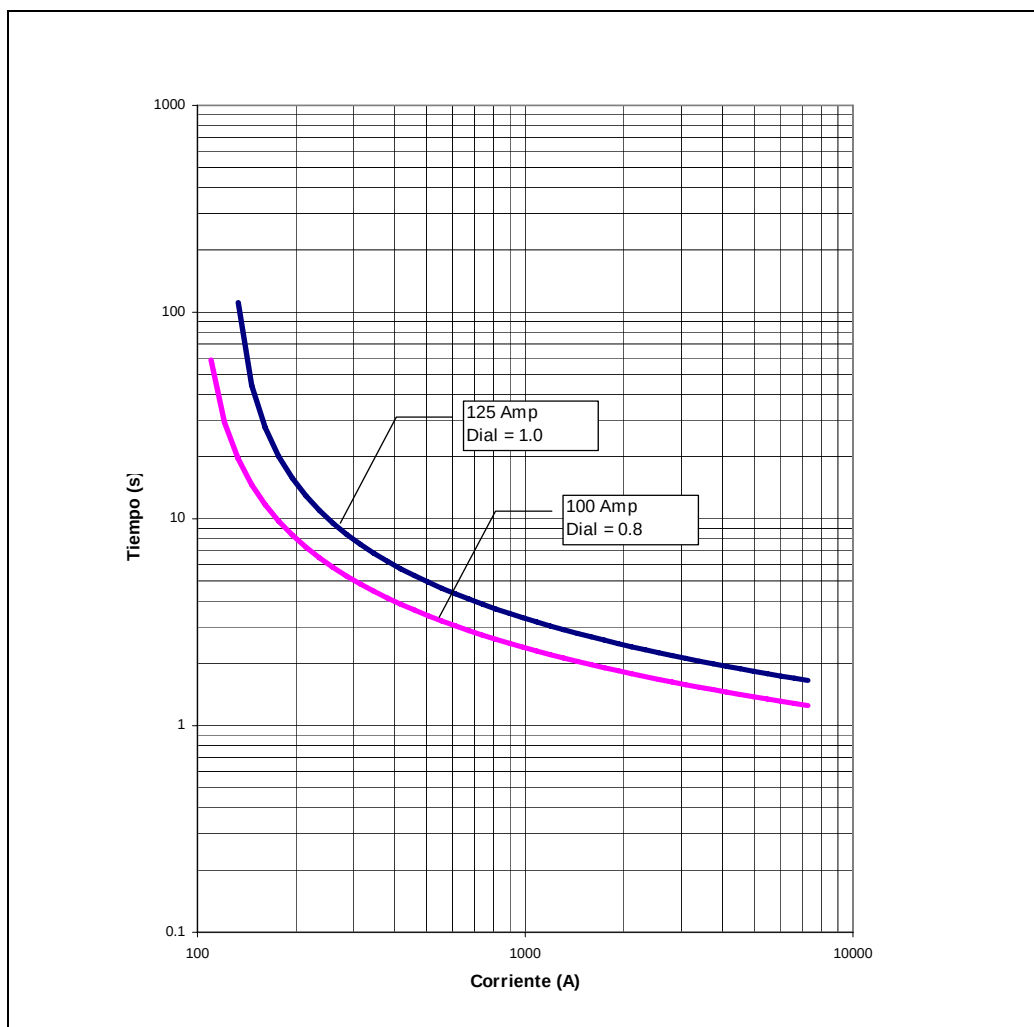
Entonces la discriminación por corriente no presenta inconvenientes cuando hay valores considerables de impedancia entre la ubicación de un relé y otro.

### 14.3. Discriminación por tiempo y corriente.

Cada uno de los dos métodos descritos anteriormente tiene su desventaja fundamental. En el caso de discriminación por tiempo para fallas más severas el tiempo de despeje es más largo. De otro lado, la discriminación por corriente se puede aplicar solamente donde hay una apreciable impedancia entre los dos relés.

Es debido a las limitaciones encontradas en cada método, que ha evolucionado la característica de los relés de sobrecorriente de tiempo inverso. En esta característica el tiempo de operación es inversamente proporcional al nivel de corriente de falla y es un ajuste en función de la corriente y el tiempo.

La figura siguiente ilustra la característica de dos relés con sus ajustes de corriente y tiempo.



A medida que la corriente de falla se hace más grande, es decir, a medida que nos acercamos a la fuente, los tiempos de operación son más rápidos.

Se había mencionado que existen diferentes curvas normalizadas como normal inversa, muy inversa, extremadamente inversa, etc. La norma IEC 60255 las define de la siguiente manera:

| Característica              | Ecuación (IEC 60255)                             |
|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| Normal Inversa (SI)         | $t = TMS \times \frac{0.14}{(I/I_p)^{0.02} - 1}$ |
| Muy Inversa (VI)            | $t = TMS \times \frac{13.5}{(I/I_p) - 1}$        |
| Extremadamente Inversa (EI) | $t = TMS \times \frac{80}{(I/I_p)^2 - 1}$        |

De donde,

$I/I_p$  = relación  $I$  falla sobre  $I$  ajuste

TMS = Ajuste multiplicador de tiempos o Dial

**Tiempo de coordinación:** es la diferencia de tiempo que hay entre la protección local y una protección remota o de respaldo. Este valor debe estar al menos entre 0.2-0.5 segundos dependiendo de la tecnología de los relés para una buena coordinación.

**Procedimiento de coordinación:** para una correcta coordinación de protecciones de sobrecorriente se requiere conocer la siguiente información básica:

- Un diagrama unifilar del sistema en estudio con el tipo de protecciones y la RTC asociada.
- Los valores máximos y mínimos de corriente de falla que se espera fluya en cada relé.
- La corriente de carga máxima a través de cada relé.

Los ajustes de los relés se determinan primero para obtener el tiempo de operación más rápido a niveles de falla máximos y luego se verifica que la operación siga siendo satisfactoria con la corriente de falla mínima esperada. Se deben dibujar las curvas de los relés y otros elementos de protección como fusibles, que deben operar en serie, en una escala común de corriente (de acuerdo con el nivel de voltaje) o con escalas de corriente separadas para cada nivel de voltaje, como se muestra en la figura 27.

La regla básica para una correcta coordinación se puede determinar generalmente así:

1. En lo posible, utilizar relés con la misma curva característica en serie con cada uno.
2. Asegurarse que el relé aguas abajo tiene ajustes de corriente iguales o menores que los relés aguas arriba.

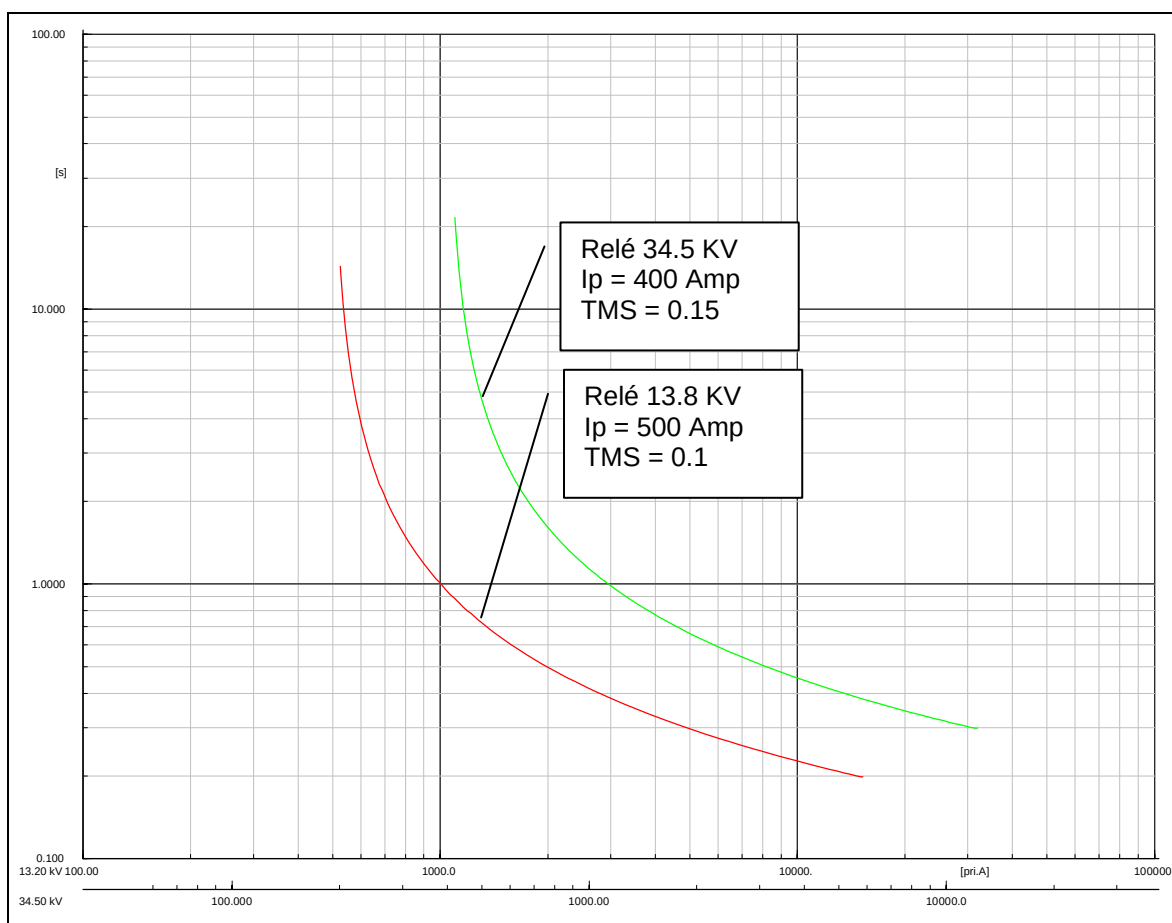
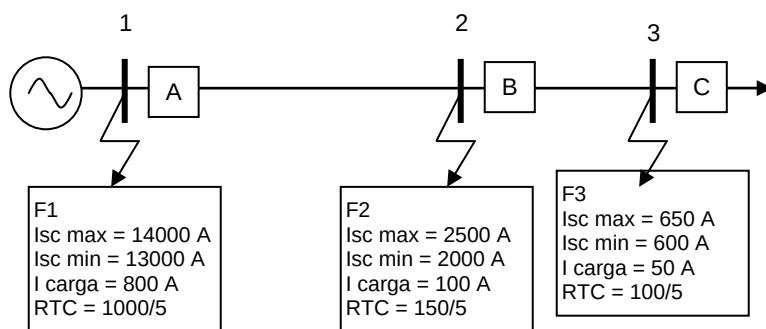


Figura 27. Curvas inversas para dos relés a distinto nivel de tensión

### Metodología de cálculo:

Consideremos el siguiente sistema con las corrientes de falla máxima y mínima indicada en cada barra:



Para determinar los ajustes que nos ofrezca una correcta coordinación empezamos a analizar el sistema desde el lugar más alejado de la fuente, es decir, para el relé en **C**.

En este caso el relé **C** debe proteger la barra 3 de la que sabemos maneja una carga de 50 Amperios por fase. Entonces inicialmente ajustamos la corriente de disparo con un margen del 20 %, es decir  $1.2 \times 50 = 60 \text{ Amp}$

Con el ajuste de corriente y los valores de corriente de falla calculamos el dial (TMS) a ajustar de acuerdo con los tiempos de operación deseados, despejándolo de la ecuación de la curva utilizada. Vamos a utilizar curvas de tiempo normal inverso para todos los relés.

$$t = TMS \times \frac{0.14}{(I/I_p)^{0.02} - 1}$$

$$TMS = t \times \frac{(I/I_p)^{0.02} - 1}{0.14}$$

Se debe garantizar que para cualquier falla en el sitio de ubicación del relé, es decir en la barra 3, la falla es despejada en el tiempo más rápido para la falla máxima, supongamos un tiempo de 0.2 segundos. Esta falla corresponde a 650 Amperios, por lo tanto  $I/I_p = 650/60 = 10.83$ .

De donde podemos obtener el dial a ajustar así:

$$TMS = 0.2 \times \frac{10.83^{0.02} - 1}{0.14} = 0.069$$

El valor a ajustar es dial = 0.07 y luego verificamos que los tiempos de operación para I máxima e I mínima sean los deseados (0.2 seg).

$$t_c = 0.07 \times \frac{0.14}{(650/60)^{0.02} - 1} = 0.20 \text{ seg}$$

$$t_c = 0.07 \times \frac{0.14}{(600/60)^{0.02} - 1} = 0.21 \text{ seg}$$

Finalmente referimos el ajuste de la corriente de disparo (60 Amp) en amperios secundarios, sabiendo que la RTC es de 100/5, entonces el ajuste del tap sería:

$Tap = 60 \text{ Amp}$  en amperios primarios, o

$Tap = 60/20 = 3 \text{ Amp}$  en ajuste directo, o

$Tap = 60/100 = 0.6 I / In$  en ajuste porcentual

Luego continuamos con los cálculos para el relé en **B**, el cual va a proteger la línea 2-3 que tiene una carga máxima de 100 Amperios por fase. Considerando un margen del 20%, el ajuste de corriente de disparo sería de  $1.2 \times 100 = 120 \text{ Amp}$

Sabiendo que las corrientes máxima y mínima para fallas en la ubicación del relé son de 2500 y 2000 amperios respectivamente, debemos garantizar que para la corriente mínima, el tiempo máximo de operación es de 0.2 seg, para lo cual calculamos el dial con  $I/I_p = 2500/120 = 20.83$

$$TMS = 0.2 \times \frac{20.83^{0.02} - 1}{0.14} = 0.089$$

Seleccionamos un dial de 0.09 y verificamos el tiempo de operación con este dial para las corrientes máximas y mínimas.

$$t_B = 0.09 \times \frac{0.14}{(2000/120)^{0.02} - 1} = 0.22 \text{ seg}$$

$$t_B = 0.09 \times \frac{0.14}{(2500/120)^{0.02} - 1} = 0.20 \text{seg}$$

Después de esto calculamos los tiempos de operación para fallas en el extremo remoto, es decir en la barra 3 ( $I_{\max} = 650 \text{ Amp}$ ,  $I_{\min} = 600 \text{ Amp}$ ) y verificamos que estos tiempos coordinen con el relé en **C**, es decir, que los tiempos de operación sean de al menos  $T_{\text{remoto}_B} = t_C + T_{\text{coordinación}} = 0.2 \text{seg} + 0.2 \text{seg} = 0.4 \text{seg}$ .

$$T_{\text{remoto}_B} = 0.09 \times \frac{0.14}{(650/120)^{0.02} - 1} = 0.36 \text{seg} \approx 0.4 \text{seg}$$

$$T_{\text{remoto}_B} = 0.09 \times \frac{0.14}{(600/120)^{0.02} - 1} = 0.38 \text{seg} \approx 0.4 \text{seg}$$

Finalmente referimos el ajuste de la corriente de disparo (120 Amp) en amperios secundarios, sabiendo que la RTC es de 150/5, entonces el ajuste del tap sería:

$\text{Tap} = 120 \text{ Amp}$  en amperios primarios, o

$\text{Tap} = 120 / 50 = 2.4 \text{ Amp}$  en ajuste directo, o

$\text{Tap} = 120 / 150 = 0.8 I / I_n$  en ajuste porcentual

Por último seguimos con los cálculos para el relé en **A**, que va a proteger la línea 1-2 con una carga de 800 Amperios por fase. Considerando un margen del 20%, el ajuste de corriente de disparo sería de  $1.2 \times 800 = 960 \text{ Amp}$

Sabiendo que las corrientes máxima y mínima para fallas en la ubicación del relé son de 14000 y 13000 amperios respectivamente, debemos garantizar que para la corriente mínima, el tiempo máximo de operación es de 0.2 seg, para lo cual calculamos el dial con  $I / I_p = 14000 / 960 = 14.58$

$$TMS = 0.2 \times \frac{14.58^{0.02} - 1}{0.14} = 0.078$$

Seleccionamos un dial de 0.08 y verificamos el tiempo de operación con este dial para las corrientes máximas y mínimas.

$$t_A = 0.08 \times \frac{0.14}{(14000/960)^{0.02} - 1} = 0.20 \text{seg}$$

$$t_A = 0.08 \times \frac{0.14}{(13000/960)^{0.02} - 1} = 0.21 \text{seg}$$

Después de esto calculamos los tiempos de operación para fallas en el extremo remoto, es decir en la barra 2 ( $I_{\max} = 2500 \text{ Amp}$ ,  $I_{\min} = 2000 \text{ Amp}$ ) y verificamos que estos tiempos coordinen con el relé en **B**, es decir, que los tiempos de operación sean de al menos  $T_{\text{remoto}_A} = t_B + T_{\text{coordinación}} = 0.2 \text{seg} + 0.2 \text{seg} = 0.4 \text{seg}$ .

$$T_{\text{remoto}_A} = 0.08 \times \frac{0.14}{(2500/960)^{0.02} - 1} = 0.57 \text{seg} > 0.4 \text{seg}$$

$$Tremoto_A = 0.08 \times \frac{0.14}{(2000/960)^{0.02} - 1} = 0.75 \text{seg} > 0.4 \text{seg}$$

Finalmente referimos el ajuste de la corriente de disparo (960 Amp) en amperios secundarios, sabiendo que la RTC es de 1000/5, entonces el ajuste del tap sería:

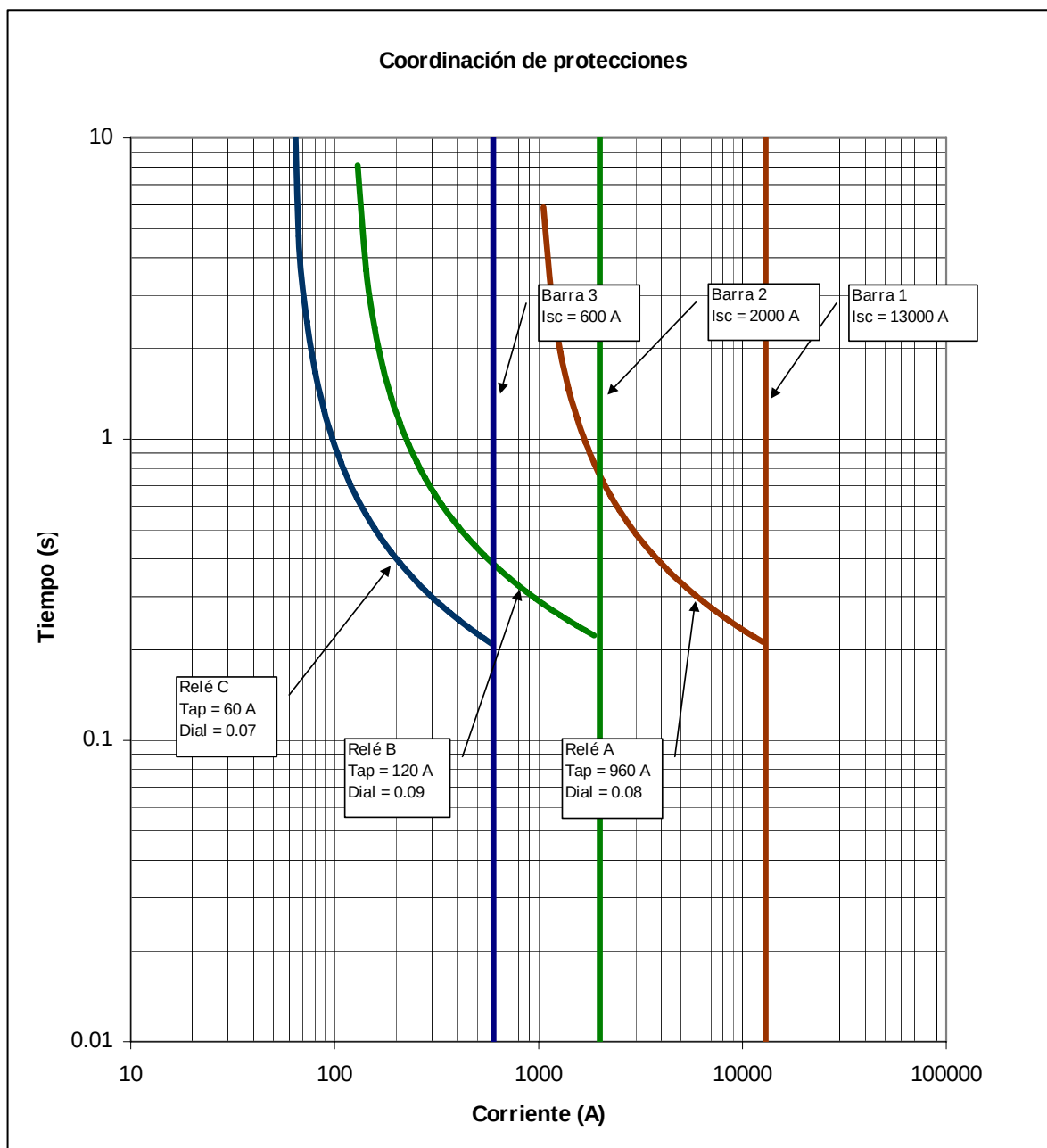
$Tap = 960 \text{ Amp}$  en amperios primarios, o

$Tap = 960 / 200 = 4.8 \text{ Amp}$  en ajuste directo, o

$Tap = 960 / 1000 = 0.96 I / In$  en ajuste porcentual

Las curvas de coordinación con sus respectivos ajustes se muestran en el gráfico siguiente.





#### 14.4. Aplicación del disparo por sobrecorriente instantánea

En los cálculos anteriores solamente se seleccionaron los ajustes de tap y dial que corresponden a la sobrecorriente temporizada. La sobrecorriente instantánea también tiene su metodología de cálculo dependiendo de cómo se quiera proteger el elemento.

Cuando se ajusta la sobrecorriente instantánea básicamente lo que se pretende es acelerar el disparo de la sobrecorriente temporizada para mejorar la coordinación y selectividad de las protecciones, en cuyo caso, la curva temporizada es recortada hasta el valor de tiempo instantáneo del orden de 0.05 seg. Ya habíamos mencionado que en los relés numéricos se puede “temporizar” la instantánea.

Un criterio recomendado para ajustar la instantánea es entre 1.1 y 1.3 veces la corriente de falla máxima en el extremo remoto. El valor típico es de 1.2 veces.

Por ejemplo, para el caso anterior, la instantánea del relé **B** se puede ajustar en 1.2 veces la corriente de falla máxima en la barra 3, o sea  $1.2 \times 650 = 780 \text{ Amp}$  y la del relé **A** en 1.2 veces la falla máxima en la barra 2, o sea  $1.2 \times 2500 = 3000 \text{ Amp}$ .

Al ajustar la sobrecorriente instantánea podemos calcular el porcentaje de cubrimiento instantáneo el cual como su nombre indica corresponde hasta qué distancia de la línea o del circuito opera la sobrecorriente instantánea cuando hay una falla.

$$\% \text{cubrimiento} = 100 \times \frac{I_{sc_{local}} - I_{>>}}{I_{sc_{local}} - I_{sc_{remoto}}}$$

Entonces con los valores anteriores:

$$\begin{aligned} \% \text{cubrimiento}_B &= 100 \times \frac{2500 - 780}{2500 - 650} = 92.97\% \\ \% \text{cubrimiento}_A &= 100 \times \frac{14000 - 3000}{14000 - 2500} = 95.65\% \end{aligned}$$

Con estos ajustes, las curvas de coordinación quedan como se muestra a continuación

