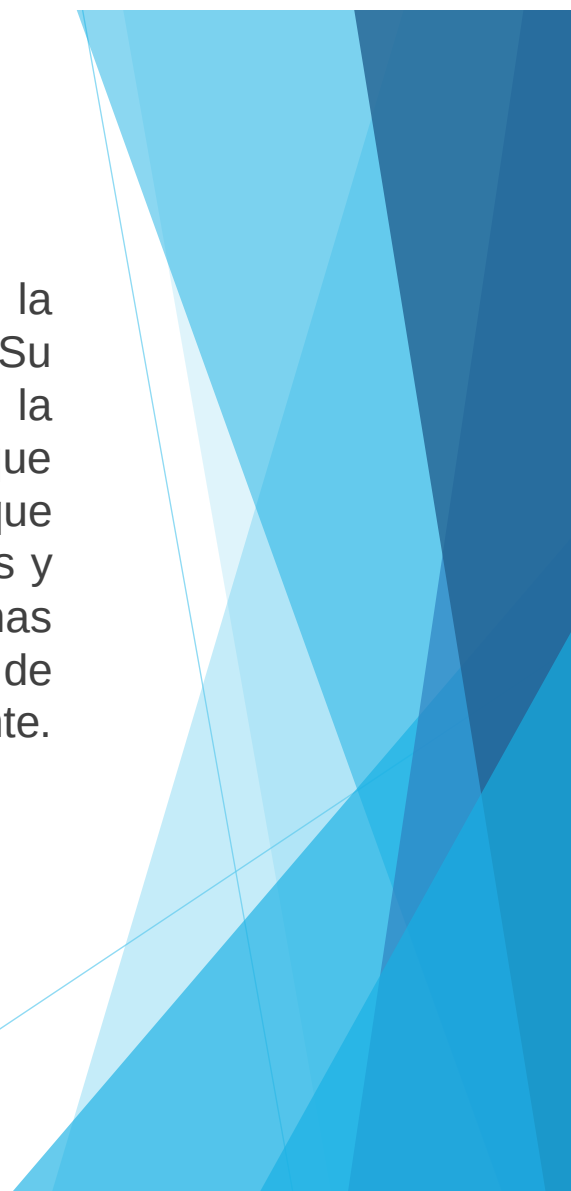




PROTECCIONES ELÉCTRICAS



PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87

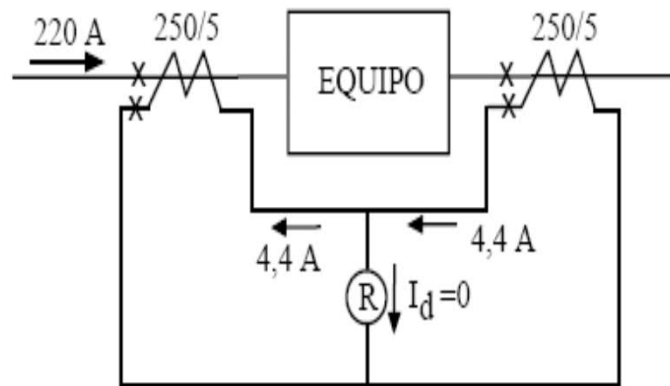


► Generalidades

- Las protecciones diferenciales basan su funcionamiento en la comparación de las corrientes que entran y salen de un equipo. Su aplicación tiene pocas limitaciones, siendo la principal de ellas, la distancia que separa a los transformadores de corriente, ya que mientras mas separados se encuentren, mayor será el burden que representan los conductores de interconexión. Por razones prácticas y económicas, el relé diferencial se usa para la protección de máquinas sincrónicas y asincrónicas, transformadores de poder, barras de subestaciones y líneas cortas, siempre que su potencia sea importante. (Usualmente sobre unos 5 a 8 MVA).

► GENERALIDADES

- En el esquema de la figura siguiente se puede apreciar que la corriente que detecta el relé diferencial R, en las condiciones indicadas, es igual a cero. Al ocurrir una falla, sea monofásica, bifásica o trifásica, en la zona protegida (entre los TCs), se produce un desequilibrio que hace fluir una corriente diferencial I_d distinta de cero, por el relé R, de modo que éste da la orden de abrir el interruptor correspondiente



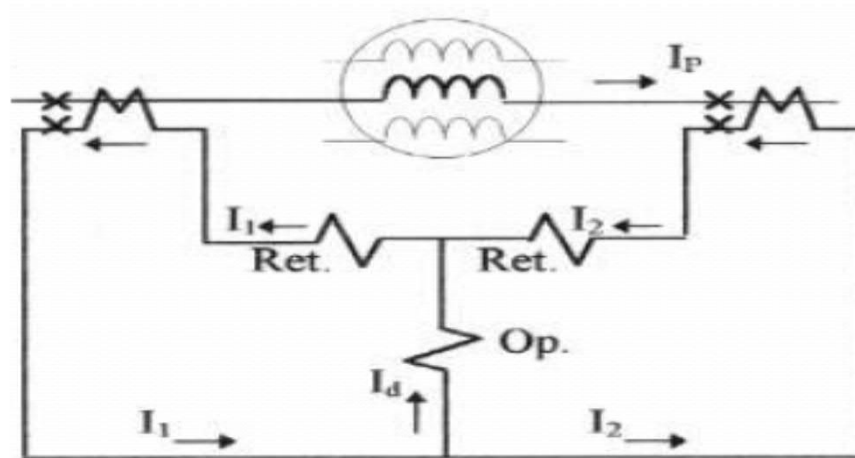


► GENERALIDADES

- La protección diferencial, por lo tanto, resulta ser eminentemente selectiva, ya que no responde a fallas que no estén comprendidas en su zona de influencia, es decir entre los dos juegos de transformadores de corriente. Por esta razón, no necesita ser coordinada en otras protecciones, como las de sobrecorriente por ejemplo; como además, es independiente de la corriente de carga circulante, puede tener un pick-up muy bajo y ser teóricamente instantánea.

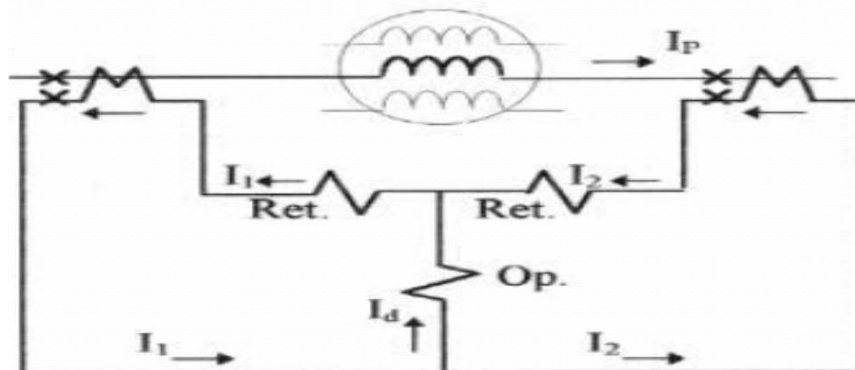
- **Protección diferencial de porcentaje**

- El elemento de medida de estos relés compara las corrientes que entran con las que salen del equipo de tal manera que cuando la diferencia entre éstas alcance un valor igual o superior a un porcentaje dado de la corriente menor, el relé opera.
- Los relés diferenciales de porcentaje, tienen en cada fase una unidad de medida de tres enrollados: dos de retención y uno de operación dispuestos como se muestra esquemáticamente en la figura siguiente:



► Protección diferencial de porcentaje

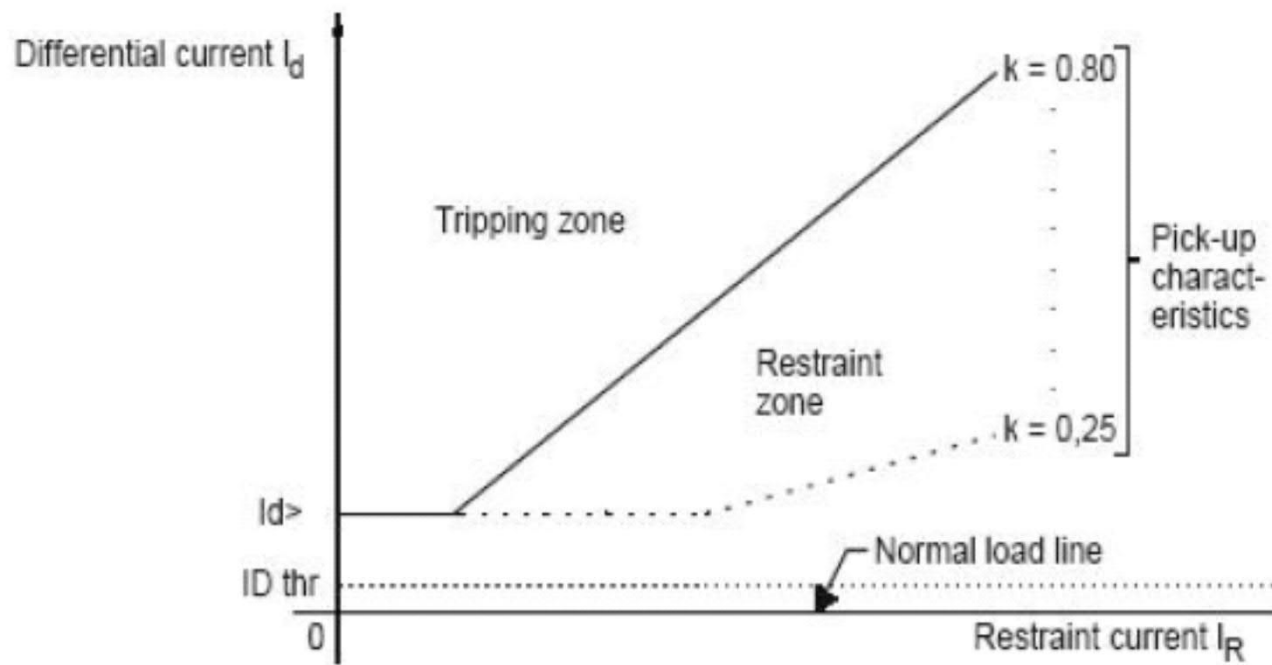
- Cuando no hay falla interna, las corrientes secundarias I_1 e I_2 son iguales, la corriente diferencial I_d , es igual a cero y por lo tanto, el torque de operación es igual a cero, mientras que el torque de retención es máximo con las dos corrientes en el sentido indicado y con el mismo valor. En condiciones de falla interna, las corrientes I_1 e I_2 cambian, por lo general, en magnitud y fase; la corriente diferencial aumenta, por lo que la bobina de operación produce torque en el sentido de cerrar los contactos del relé. El torque de retención disminuye ya que a lo menos una de las corrientes baja significativamente su valor.



► **Protección diferencial de porcentaje**

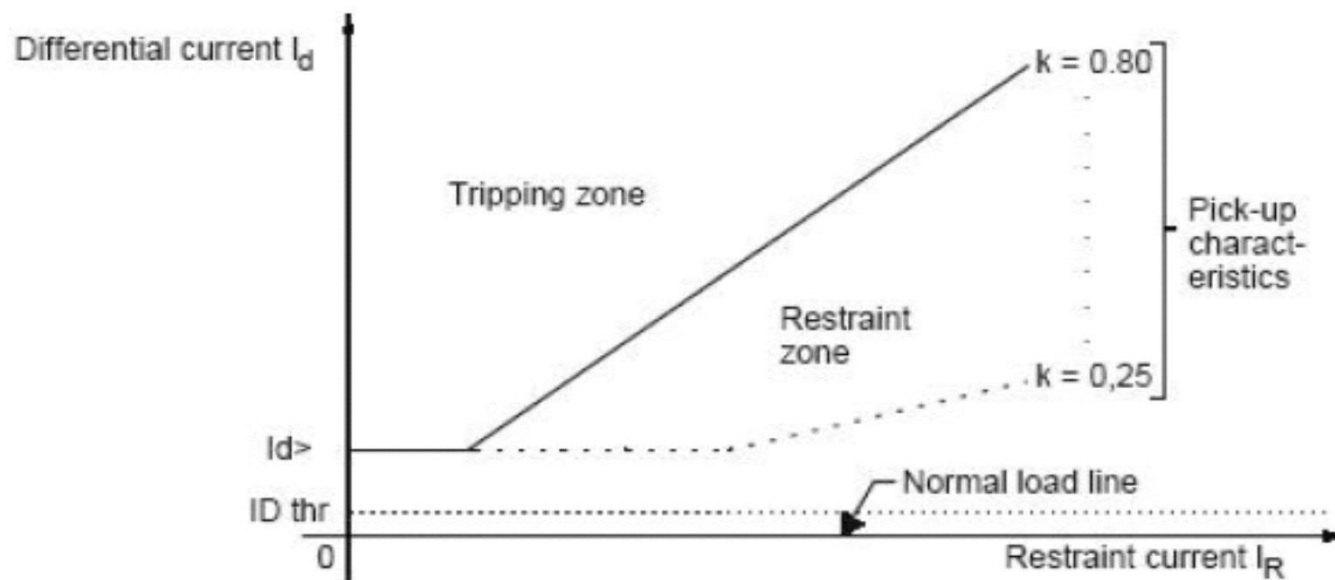
- En la gráfica siguiente se muestra la característica de operación de una protección diferencial del tipo porcentual. La protección opera cuando la corriente diferencial I_d es mayor que un porcentaje de la corriente de restricción I_R .
- Dependiendo del fabricante del relé, la corriente de restricción puede ser la menor corriente entre I_1 e I_2 o el promedio o la suma de éstas. El ajuste del porcentaje k determina la pendiente de la recta y se ajusta de acuerdo con el elemento protegido, por ejemplo, se usa 10 - 25 % para motores y generadores y 15 - 25 - 40 - 50 % para transformadores. En la característica se observa que la recta no pasa por el origen, esto para evitar disparos no deseados con valores de carga o de fallas de baja intensidad.

► Protección diferencial de porcentaje

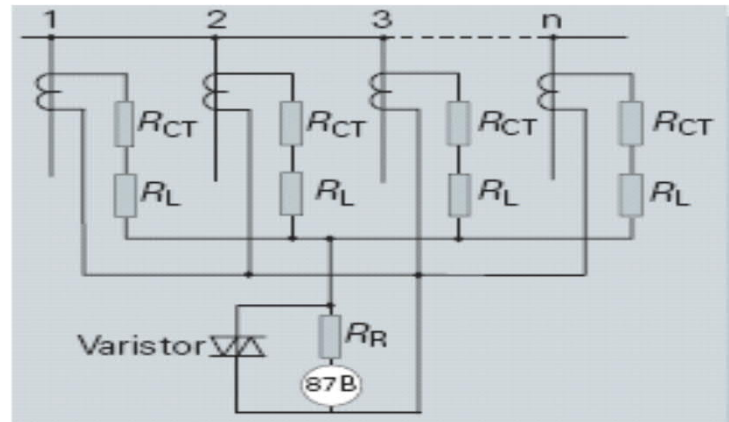


- **Protección diferencial de porcentaje**

- En condiciones de falla interna (en el elemento protegido), la corriente diferencial I_d es igual a la corriente de restricción I_R por lo que la característica de la falla corresponde a una línea recta con una pendiente de 45°.



► **Protección diferencial de alta impedancia**



- En esta protección la corriente diferencial circula por una resistencia de alta impedancia lo que produce un voltaje con el que opera la protección. Esta es una protección muy segura ante fallas externas pero es muy exigente en cuanto a las características de los transformadores de corriente que deben ser de igual relación (requiere transformadores de corriente auxiliares para igualación), su punto de saturación debe ser alto (el voltaje de saturación debe ser al menos el doble del voltaje de operación del relé). Adicionalmente, en casos de fallas muy violentas, se pueden producir voltajes elevados en el secundario de los TCs, por lo que obliga a instalar limitadores de sobretensiones (varistores) en paralelo con el relé.

► **Protección diferencial de transformador**

- La protección diferencial de transformadores trifásicos es bastante mas complicada, por los motivos siguientes:
 - Las corrientes de primario y secundario no tienen el mismo valor, debido a que normalmente la relación de voltajes entre estos dos devanados no es la unidad.
 - Las corrientes del primario y secundario del transformador pueden no estar en fase, dependiendo de la conexión del transformador.
 - Las relaciones de los TCs de cada devanado no siempre arrojan valores secundarios iguales a comparar.
 - La protección no debe ser afectada por las condiciones de operación del transformador, como cambios de taps o funcionamiento en vacío.
 - La corriente de excitación en el momento de la conexión del transformador (corriente de in-rush) puede tomar valores muy elevados, dependiendo del valor instantáneo de la onda de voltaje en el momento de la conexión. Su forma es exponencial decreciendo en el tiempo y disminuyendo su desplazamiento para tomar finalmente el valor de régimen permanente.
 - En transmisión se usan bastante transformadores de tres devanados, lo que complica más la situación.

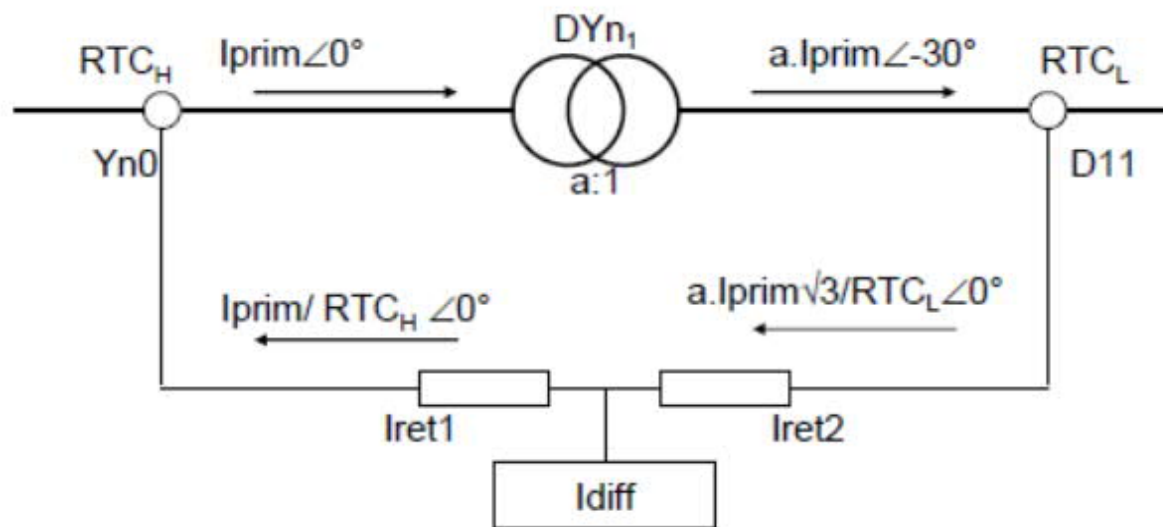
► **Protección diferencial de transformador**

- La protección diferencial de transformadores trifásicos es bastante mas complicada, por los motivos siguientes:
 - Las corrientes del primario y secundario del transformador pueden no estar en fase, dependiendo de la conexión del transformador.
 - Las relaciones de los TCs de cada devanado no siempre arrojan valores secundarios iguales a comparar.
 - La protección no debe ser afectada por las condiciones de operación del transformador, como cambios de taps o funcionamiento en vacío.
 - La corriente de excitación en el momento de la conexión del transformador (corriente de in-rush) puede tomar valores muy elevados, dependiendo del valor instantáneo de la onda de voltaje en el momento de la conexión. Su forma es exponencial decreciendo en el tiempo y disminuyendo su desplazamiento para tomar finalmente el valor de régimen permanente.
 - En transmisión se usan bastante transformadores de tres devanados, lo que complica más la situación.

► **Protección diferencial de transformador**

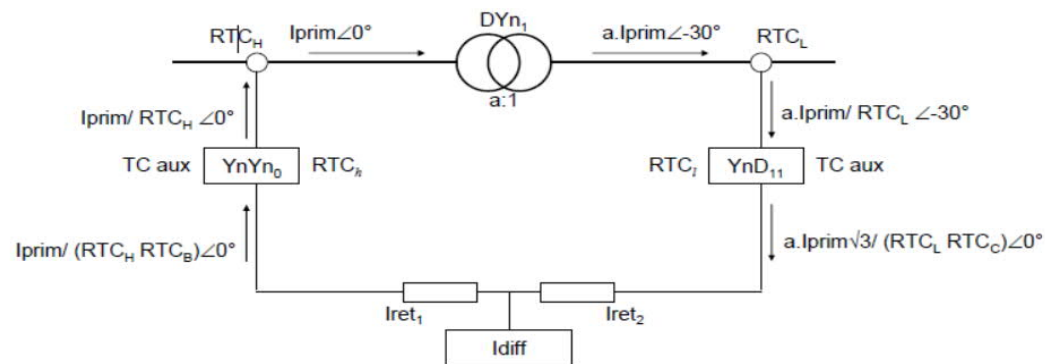
- Las corrientes del primario y secundario del transformador pueden no estar en fase, dependiendo de la conexión del transformador.:
- Los relés diferenciales se conectan a circuitos secundarios provenientes de juegos de TCs cuya conexión debe efectuarse en forma inversa a aquella de los devanados primario y secundario del transformador de potencia.
- De esta manera se anula el desplazamiento angular de las corrientes por fase. Por ejemplo, si un transformador tiene conexión DY1, los TCs del lado primario se conectarán en estrella y los del lado secundario, en delta, de tal forma que las corrientes secundarias por línea de los TCs, adelanten en 30° a las correspondientes dentro de la delta. De todas formas, es conveniente asegurarse de la correcta conexión de los TCs, dibujando los diagramas fasoriales respectivos. En el caso de las protecciones electrónicas, los TCs de ambos lados se pueden conectar en estrella, ya que el desfase puede ser compensado en forma interna por la protección.

► Protección diferencial de transformador



► Protección diferencial de transformador

- Las relaciones de los TCs de cada devanado no siempre arrojan valores secundarios iguales a comparar.
- Para solucionar el problema de que los TCs entreguen magnitudes secundarias diferentes a comparar, se puede hacer uso de relés diferenciales de porcentaje, de diferentes porcentajes o pendientes; por ejemplo; 15-25-40-50%, o bien, utilizar transformadores de corriente auxiliares (transformadores de adaptación o de interposición) que dispongan de un amplio rango de relaciones de taps, para igualar las corrientes que llegan al relé.



Se necesita que:
$$\frac{I_{prim}}{RTC_H RTC_B} = \frac{a \cdot I_{prim} \sqrt{3}}{RTC_L RTC_C}$$

► Protección diferencial de transformador

O sea que: $RTC_H RTC_h = \frac{RTC_L RTC_l}{a\sqrt{3}}$

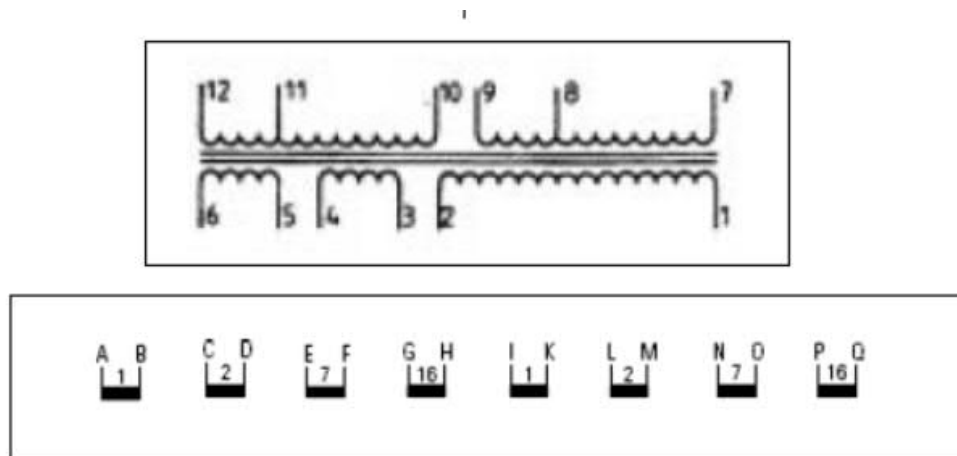
de donde a , RTC_H y RTC_L son conocidas

- Generalmente se podría prescindir de los transformadores auxiliares para el devanado de alta, es decir, en la ecuación se tomaría $RTC_h = 1$, por lo que se pueden dimensionar los transformadores auxiliares para el devanado de baja así:

$$RTC_l = \frac{a\sqrt{3}RTC_H}{RTC_L}$$

► Protección diferencial de transformador

- Un transformador de adaptación es un transformador de corriente con múltiples devanados y haciendo combinaciones de devanados se puede obtener un amplio rango de relaciones. El fabricante suministra el rango de relaciones y las posibles combinaciones con sus conexiones.:



► **Protección diferencial de transformador**

- La protección no debe ser afectada por las condiciones de operación del transformador, como cambios de taps o funcionamiento en vacío.
 - El problema señalado en este punto también puede ser solucionado empleando relés diferenciales de porcentaje, con valores más elevados, tal como los indicados en los puntos anteriores.
- La corriente de excitación en el momento de la conexión del transformador (corriente de in-rush) puede tomar valores muy elevados, dependiendo del valor instantáneo de la onda de voltaje en el momento de la conexión. Su forma es exponencial decreciendo en el tiempo y disminuyendo su desplazamiento para tomar finalmente el valor de régimen permanente.
- Una solución no muy práctica sería retardar la operación de la protección o insensibilizarlo para evitar que opere durante las maniobras de energización del transformador, con lo que se atenta contra las principales ventajas de la protección diferencial como lo son su rapidez y sensibilidad.

► **Protección diferencial de transformador**

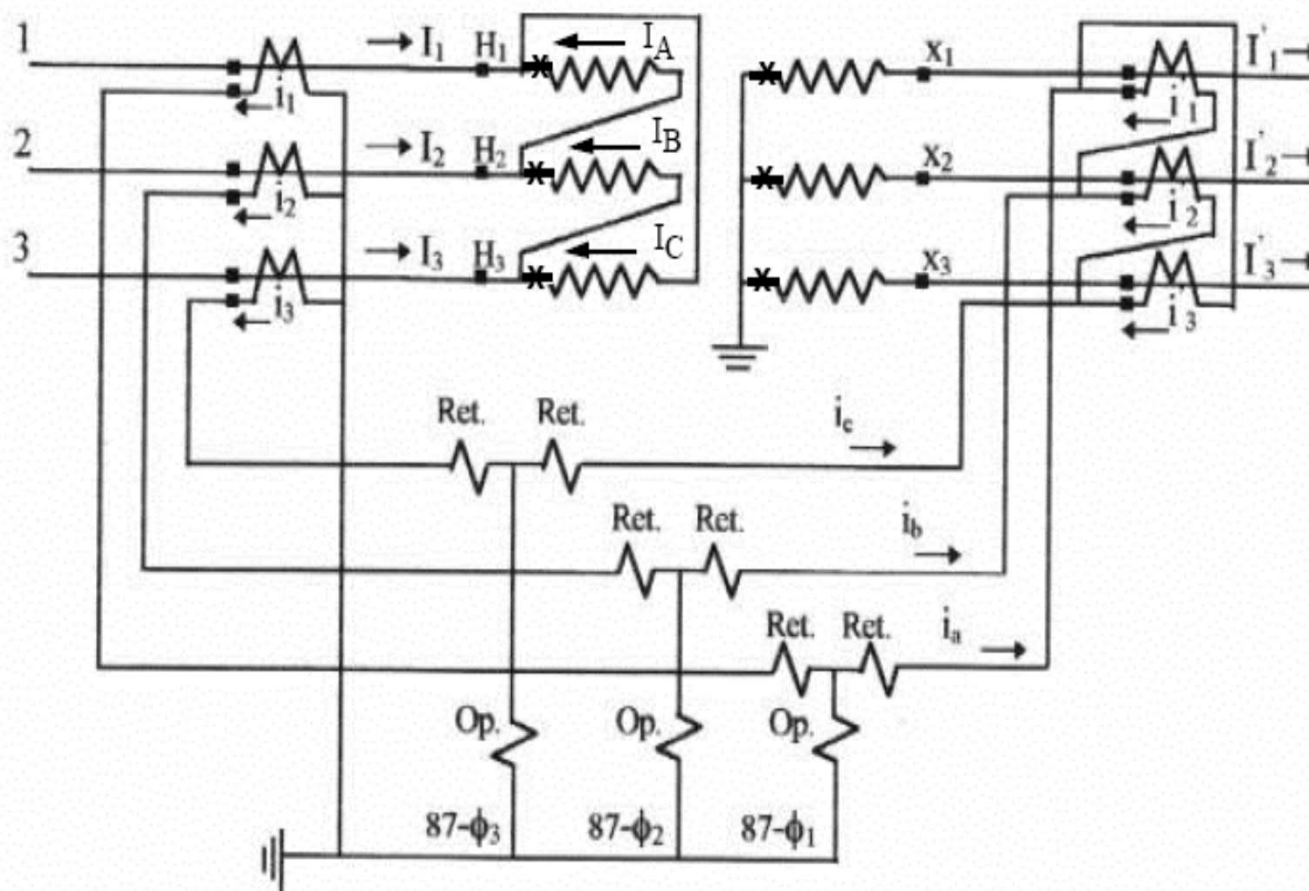
- La protección no debe ser afectada por las condiciones de operación del transformador, como cambios de taps o funcionamiento en vacío.
 - El problema señalado en este punto también puede ser solucionado empleando relés diferenciales de porcentaje, con valores más elevados, tal como los indicados en los puntos anteriores.
- La corriente de excitación en el momento de la conexión del transformador (corriente de in-rush) puede tomar valores muy elevados, dependiendo del valor instantáneo de la onda de voltaje en el momento de la conexión. Su forma es exponencial decreciendo en el tiempo y disminuyendo su desplazamiento para tomar finalmente el valor de régimen permanente.
- Una solución no muy práctica sería retardar la operación de la protección o insensibilizarlo para evitar que opere durante las maniobras de energización del transformador, con lo que se atenta contra las principales ventajas de la protección diferencial como lo son su rapidez y sensibilidad.

► **Protección diferencial de transformador**

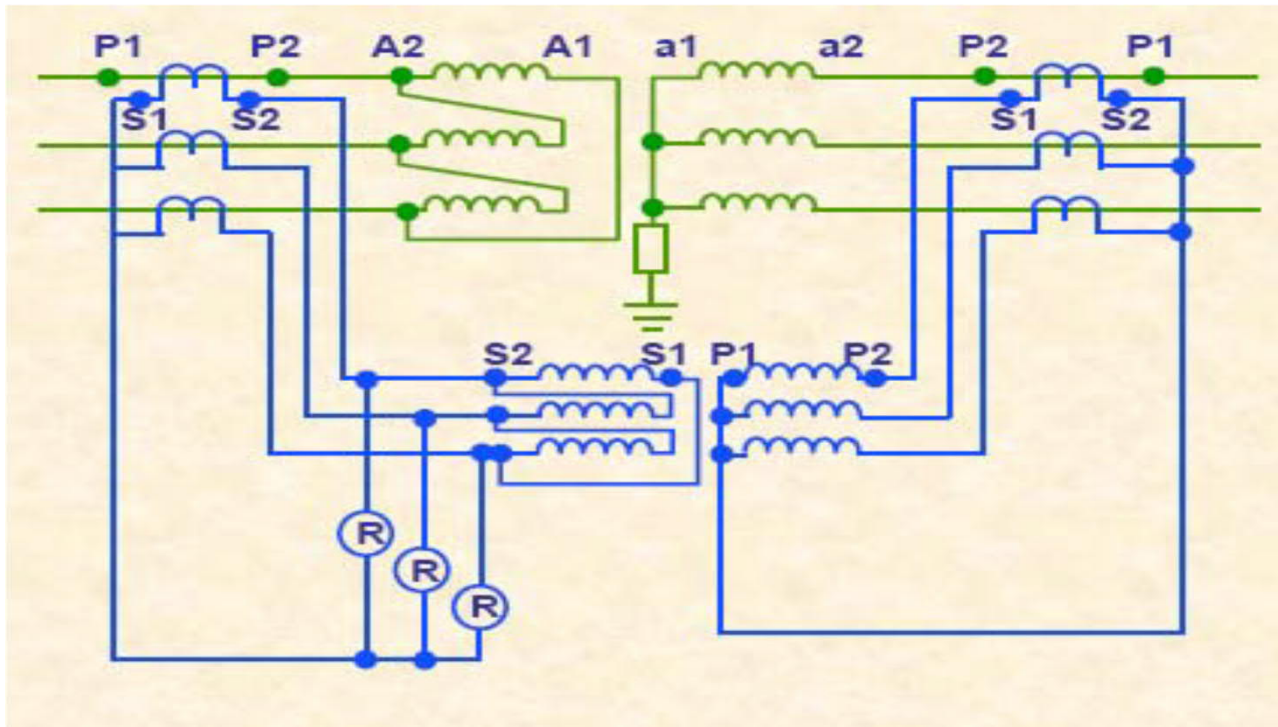
- La mejor solución es la aplicación de la protección diferencial con restricción de armónicos donde se aprovecha la distorsión que caracteriza a la corriente de in-rush, especialmente el alto contenido del segundo armónico que puede ser usado como retención. De esta forma se puede diferenciar entre corrientes de falla y corrientes de inrush.

- ▶ **Diagrama de conexiones para la protección diferencial de transformador**
- ▶ A modo de ejemplo, se considerará la aplicación de la protección diferencial de porcentaje a un transformador de potencia en conexión DY5. Considerando lo indicado anteriormente, los secundarios de los TCs del lado primario del transformador se conectarán en estrella y los del secundario en delta.
- ▶ Diagrama de conexión para la protección diferencial sin transformadores de adaptación.

► Diagrama de conexiones para la protección diferencial de transformador



- ▶ Diagrama de conexiones para la protección diferencial de transformador
- ▶ Diagrama de conexión para la protección diferencial con transformadores de adaptación



PROTECCIÓN DIFERENCIAL - 87T : USOS

Diferenciales porcentuales: RESTRICCIÓN

- ✦ Ésta es una protección que dispone de una **restricción** para **evitar disparos indeseados ante fallas externas** debido a la disparidad en los transformadores de corriente.
- ✦ La restricción permite incrementar la velocidad y seguridad de la protección con *una sensibilidad razonable para corrientes de falla bajas* y al mismo tiempo, se pueden obtener beneficios en caso de *errores de saturación*.
- ✦ Estos relés son aplicables particularmente a transformadores de tamaño moderado localizados a alguna distancia de la fuente de generación mayor.

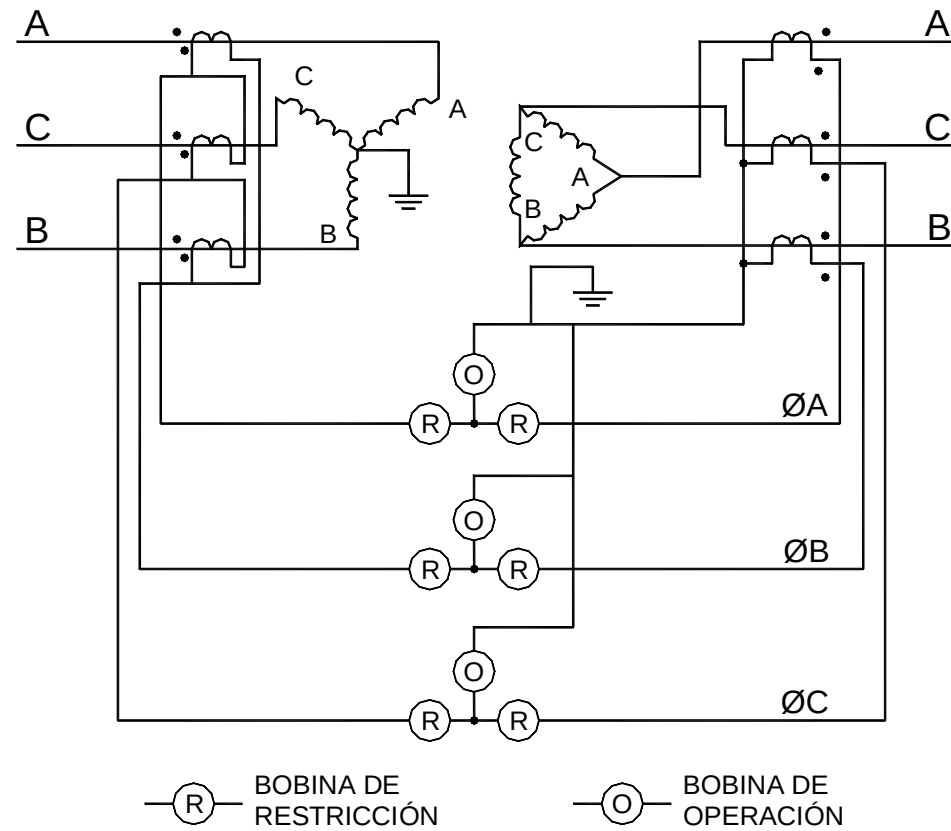
PROTECCIÓN DIFERENCIAL - 87T

Diferenciales porcentuales

- ✦ La cantidad de restricción es establecida como un porcentaje entre la corriente de operación ($I_{diferencial}$) y la corriente de restricción (I_{bias}). Cada fabricante usa una definición ligeramente diferente para la pendiente y la cantidad de restricción puede ser fija, ajustable o variable dependiendo del fabricante.
- ✦ Es de anotar que un relé diferencial porcentual simple puede operar incorrectamente con corrientes “inrush”.
- ✦ En estos relés la característica porcentual puede variar del 5% al 50% o más de valores de corriente. Esta característica es muy sensible a fallas internas e insensible corriente erróneas durante fallas externas.
- ✦ Se utilizan transformadores de corriente con características idénticas y es preferible no conectar otros relés u otros aparatos en estos circuitos de corriente.

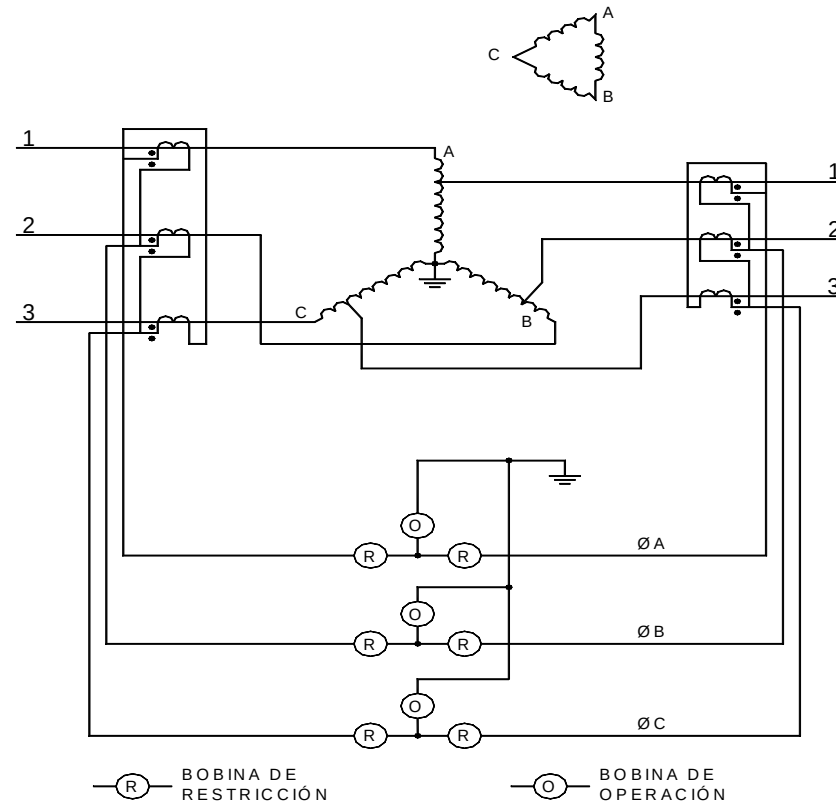
PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87T

Conexión protección diferencial porcentual transformador Y- Δ



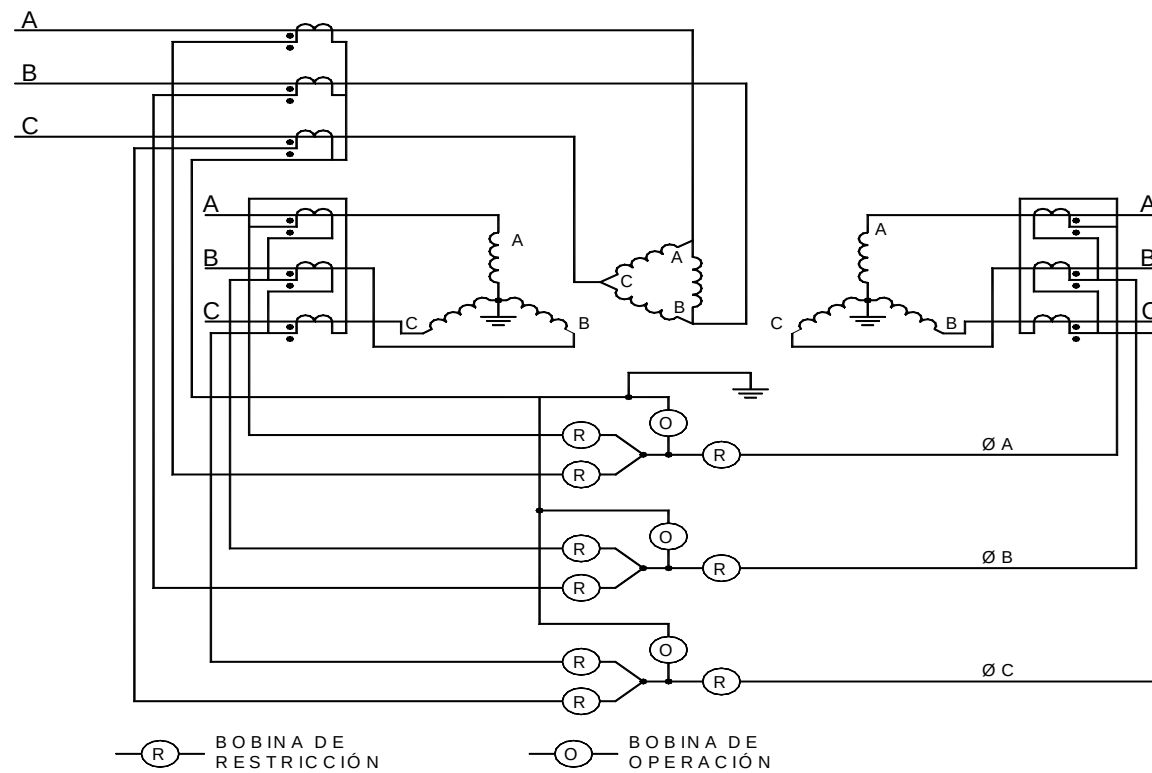
PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87T

Protección diferencial porcentual autotransformador sin carga en la delta del terciario



PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87T

Protección diferencial porcentual autotransformador con carga en la delta del terciario



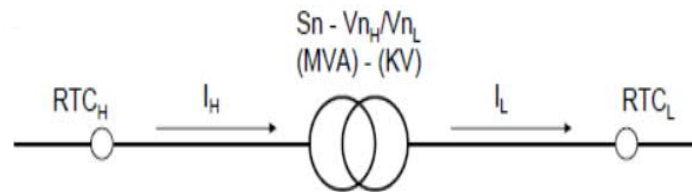
PROTECCIÓN DIFERENCIAL - 87T

Diferenciales de alta impedancia

- ✦ En algunos países (Europa) es una práctica común proteger los autotransformadores utilizando relés diferenciales de alta impedancia tipo barra, operados por voltaje.
- ✦ En este esquema se requiere que todos los transformadores de corriente tengan igual relación de transformación e iguales características de precisión.
- ✦ Este arreglo provee protección contra todo tipo de fallas fase-fase y fallas a tierra, pero no provee protección para fallas entre espiras.
- ✦ En el caso de que el devanado terciario en delta no tenga conectada carga, se puede conectar una esquina de la delta para que la protección diferencial pueda detectar las fallas a tierra en este devanado.
 - De todas maneras, este esquema de conexión de la protección no detectará fallas entre fases o entre espiras del devanado terciario.

- ▶ **Especificación de ajustes de una protección diferencial de transformador**
- ▶ La especificación de ajustes es una etapa importante para obtener un buen comportamiento de una protección.
- ▶ En el caso particular de la protección diferencial, la determinación del ajuste se simplifica bastante, ya que, por ser inherentemente selectiva, no necesita ser coordinada en el tiempo con otra protección, pudiendo ser instantánea.
- ▶ En general, entonces, deberá especificarse lo siguiente:
 - ▶ Relaciones de los transformadores de corriente principales y auxiliares, si los hubiera
 - ▶ Taps
 - ▶ Porcentaje o pendiente

► Cálculo de Taps



- Para determinar los TAPS en que debe dejarse el relé, conviene seguir el siguiente procedimiento:
- 1. Calcular la corriente normal de plena carga en amperios primarios de cada lado del transformador

$$I_H = \frac{S_n(KVA)}{\sqrt{3}V_{n_H}} \quad I_L = \frac{S_n(KVA)}{\sqrt{3}V_{n_L}}$$

► Cálculo de Taps

- 2.- Calcular un tap del relé, correspondiente a un lado cualquiera, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$TAP_H = \frac{I_H K_H}{RTC_H}$$

- Donde K_H es 1 para TCs del lado H conectados en estrella o $\sqrt{3}$ para TCs conectados en delta.
- Por lo general, el TAP no saldrá exacto, y será necesario elegir el más próximo superior. Una vez elegido un tap (TAP_H E en este caso) el otro (TAP_L) se calcula por la expresión:

$$TAP_L = \frac{\frac{I_L K_L}{RTC_L}}{TAP_H} TAP_H E$$

Donde K_L es 1 para TCs del lado L conectados en estrella o $\sqrt{3}$ para TCs conectados en delta.

► **Cálculo del error de los Taps**

- El error de los Taps se calcula de la siguiente manera:
- 1. Calcular las corrientes secundarias que llegan al relé así:

$$ErrorTAP\% = \frac{\frac{TAP_H}{TAP_L} - \frac{TAP_H E}{TAP_L E}}{\frac{TAP_H E}{TAP_L E}} \times 100 \quad \text{si} \quad \frac{TAP_H}{TAP_L} > \frac{TAP_H E}{TAP_L E}$$

o

$$ErrorTAP\% = \frac{\frac{TAP_H E}{TAP_L E} - \frac{TAP_H}{TAP_L}}{\frac{TAP_H}{TAP_L}} \times 100 \quad \text{si} \quad \frac{TAP_H E}{TAP_L E} > \frac{TAP_H}{TAP_L}$$

- El error de los Taps debe ser menor o igual que 5% y se debe verificar que este error se mantiene para fallas trifásicas máximas. Para transformadores tridevanados, el error de los Taps se debe verificar para todas las combinaciones de corrientes y Taps.

Elección del porcentaje o pendiente del relé

- ▶ Se explicó antes que los porcentajes de los relés diferenciales que se aplican en transformadores de potencia pueden ser 15, 25, 40 y 50%.

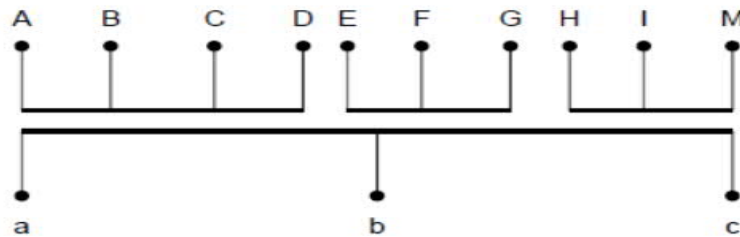
Para elegir la pendiente de un relé diferencial, se toman en cuenta los siguientes factores:

- ▶ Rango máximo de cambio de taps del transformador de potencia, ya sea manual o automático (generalmente no excede $\pm 10\%$).
- ▶ % de error por TAP (no mayor de 5%, según lo visto).
- ▶ Error debido a saturación de los TCs en fallas externas; esto se obtiene conociendo el valor de las corrientes máximas de falla externa y la característica de saturación de los TCs.
- ▶ La suma de estos tres errores permite elegir el porcentaje del relé. Por ejemplo, si esta suma es menor de 10%, se elige 15%; si es menor de 20%, se elige 25%; entre 20 y 35%, se elige 40%; y sobre 40%, se elige 50%

- ▶ Sea un transformador DY1 de 33 MVA 34.5/13.8 KV. Los TCs de los devanados de alta y baja son 600/5 y 1500/5 respectivamente. Ajustar la protección diferencial porcentual, la cual tiene los siguientes valores ajustables de Taps 2.9- 3.2 - 3.5 - 3.8 - 4.2 - 4.6 - 5- 8 y ajustes de pendientes del 15 - 25 - 40 %

- ▶ Sea el mismo transformador al que se le va a instalar una protección diferencial que requiere que las corrientes que le entran a él, sean iguales. La corriente nominal del relé es 5 amperios.

- ▶ Si se tienen transformadores de adaptación de relación 1.2 - 8 : 5 , $5/\sqrt{3}$ A y se requiere la relación 8.66 : 5 A.



- ▶ Este transformador solo dispone relación hasta 8 : 5, entonces se utiliza la relación $8.66/1.73 : 5/1.73 = 5 : 2.89$.
- ▶ De acuerdo con el catálogo de los transformadores de adaptación, para obtener dicha relación se utiliza la siguiente conexión:
 - ▶ Primario 5 A = Entrada C - G y puente D + E
 - ▶ Secundario 2.89 A = a - c

