



# Protección de Transformadores de Potencia



Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica  
*Formando Profesionales de Éxito*



Asignatura: Protección de Sistema de Potencia

Docente:

Año : 2012



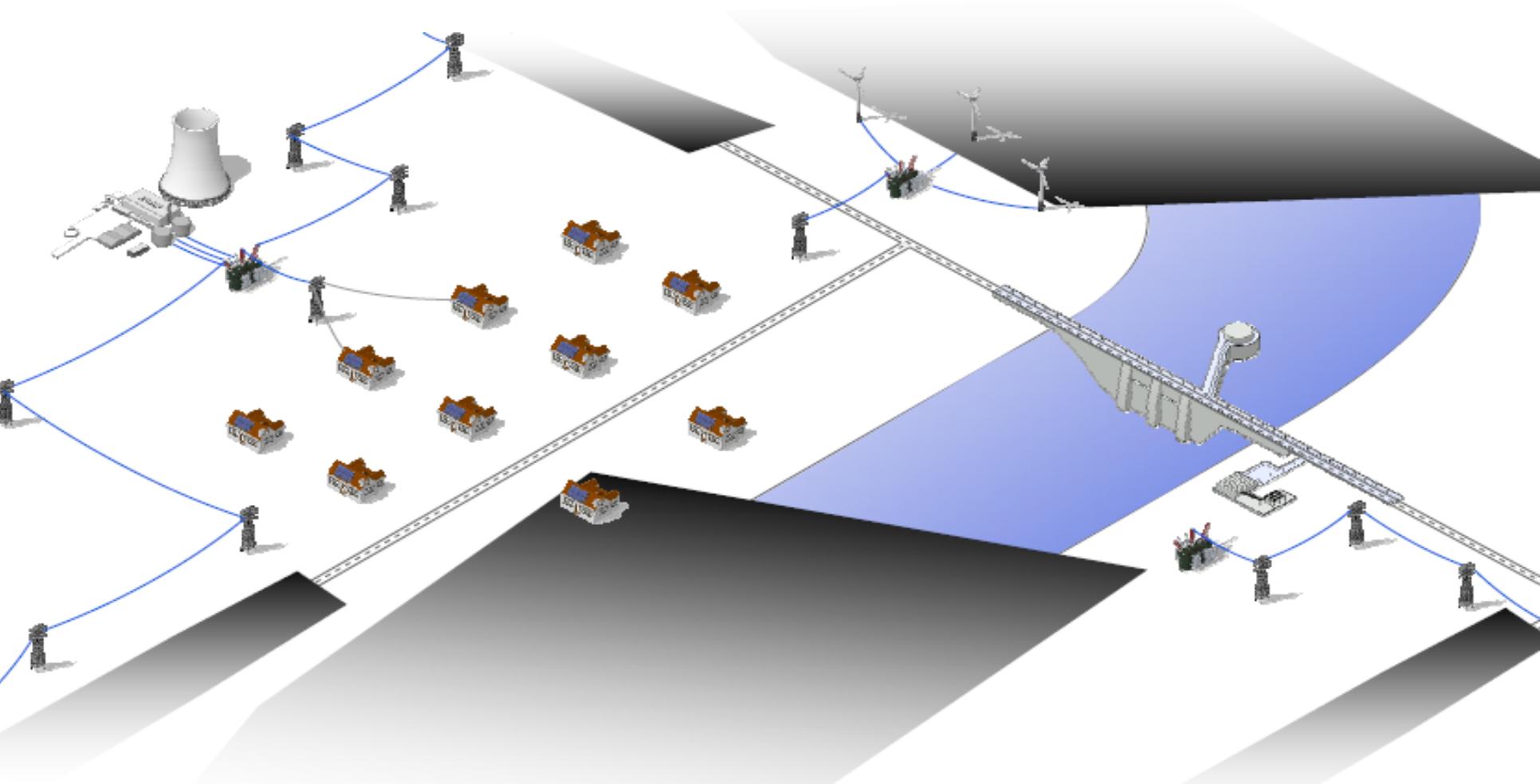
# Contenido

-  **Fallas comunes**
-  **Sistemas de Protección aplicados**
-  **La Protección Diferencial**





# Introducción





# 1.- Fallas en el Transformador de Potencia



Fallas  
EXTERNAS

- Sobrecarga
- Cortocircuito Externo
- Sobretensión / Reducción de frecuencia
- Condiciones ambientales adversas.
- Ciclos de trabajo

Fallas  
INTERNAS

- Cortocircuitos entre espiras en la misma fase
- Cortocircuitos entre espiras en fases distintas
- Defectos fase – carcasa.
- Defectos en el circuito magnético.
- Defectos en el conexionado / aisladores.
- Defectos en el sistema de refrigeración





# Fallas por Sobrecarga

FALLA

EXTERNAS

La sobrecarga eléctrica es el motivo principal de envejecimiento prematuro de una máquina.

Desde un punto de vista térmico, la sobrecarga se produce cuando la condición de equilibrio térmico en la máquina se establece a una temperatura tal que provoca la degradación de los dieléctricos que aíslan los conductores o las chapas que forman el núcleo magnético del transformador.

La condición de sobrecarga involucra parámetros de naturaleza distinta:

1. Nivel de carga eléctrica
2. Condiciones ambientales: temperatura, humedad y altura sobre el nivel del mar.
3. Condiciones de explotación: continua, ocasional, etc.





## Fallas por Cortocircuito Externo

El cortocircuito externo al transformador es la condición de explotación más grave a la que puede someterse.

Desde el punto de vista eléctrico la intensidad de cortocircuito simétrico en una red está limitada únicamente por la potencia de cortocircuito de dicha red.

Si dicho cortocircuito se produce en el secundario del transformador, la potencia de cortocircuito en dicho punto se obtendrá como combinación de la potencia de cortocircuito de la red en el primario y la propia potencia de cortocircuito del transformador.

Cuando se produce un cortocircuito, además del efecto térmico que produce dicha intensidad en los devanados, aparece un elevado esfuerzo electrodinámico entre conductores que puede producir daños mecánicos en la máquina.

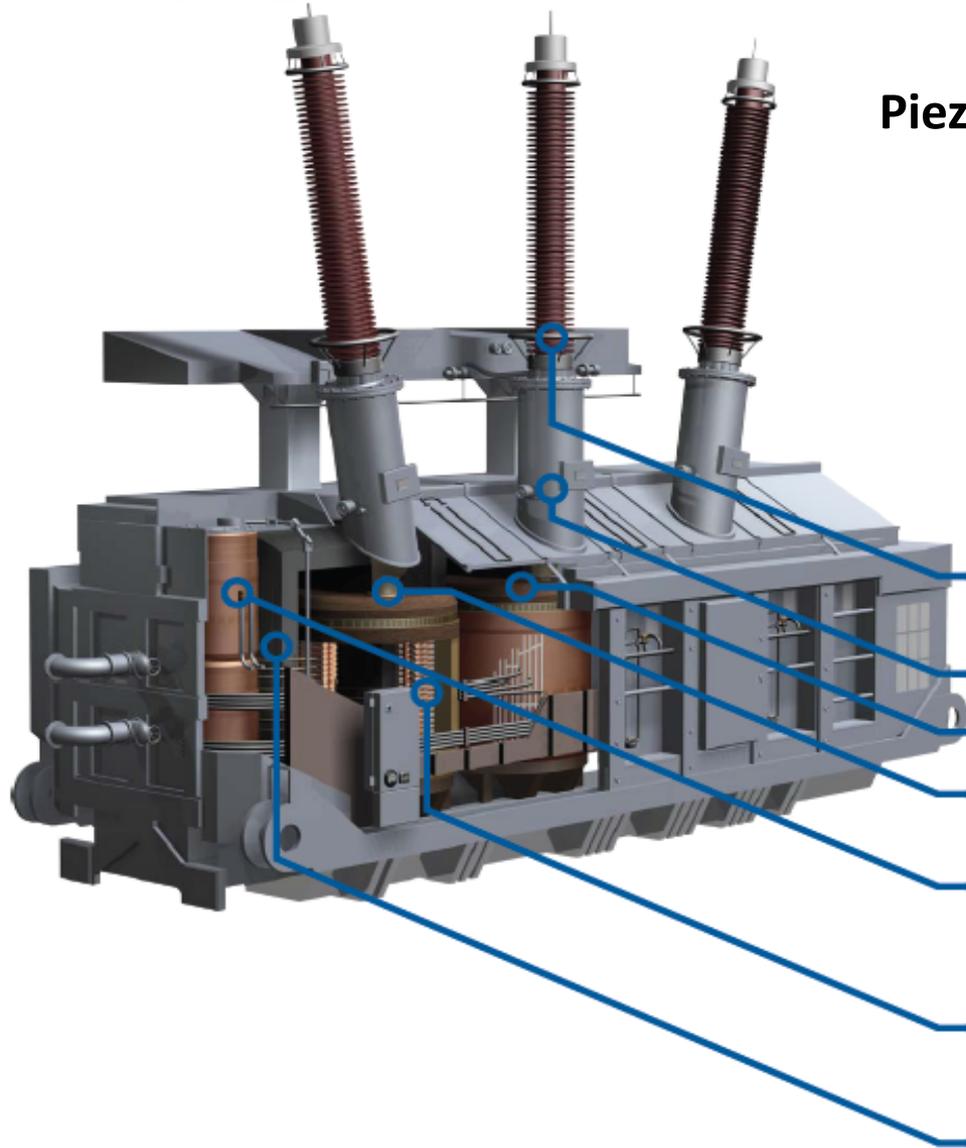
FALLA

EXTERNAS





## Piezas del transformador y sus posibles fallas



Pieza	Fallas detectables
Bornas	Rotura parcial entre capas potenciales de compensación, fisuras en el aislamiento con ligante de resina Envejecimiento y humedad Conexión defectuosa de la toma de medición Descargas parciales en el aislamiento Pérdida de aceite en una borna con relleno de aceite
TC de borna	Error de relación de corriente o de fase teniendo en cuenta la carga, remanencia excesiva, incumplimiento de la norma IEEE o IEC correspondiente
Materiales de aislamiento	Humedad en el aislamiento sólido Envejecimiento, humedad, contaminación de los fluidos de aislamiento Descargas parciales
Cables	Problemas de contacto Deformación mecánica
OLTC	Problemas de contacto en el selector de toma y en el interruptor de derivación Círculo abierto, espiras cortocircuitadas o conexiones de alta resistencia en el transformador automático preventivo del OLTC, transformador automático serie o transformador serie Problemas de contacto en el DETC
Devanados	Cortocircuitos en devanado y entre espiras Cortocircuito de hebras paralelas Circuitos abiertos en hebras Cortocircuito a tierra Deformación mecánica Problemas de contacto, circuitos abiertos
Núcleo	Deformación mecánica Conexión a tierra del núcleo flotante Laminados del núcleo cortocircuitados
Disipadores de sobretensión	Deterioro y envejecimiento



## 2.- Sistema de Protección Aplicados al Transformador de Potencia

### Protecciones Externas

- ✓ Relé de Sobreintensidad.
- ✓ Relé Diferencial.
- ✓ Relé de Cuba.



### Protecciones Internas

- ✓ Relé Buchholz.
- ✓ Válvula de Sobrepresión.
- ✓ Relé de Flujo de RBC
- ✓ Termómetro.
- ✓ Relé de Imagen Térmica.
- ✓ Indicador de Nivel de Aceite.



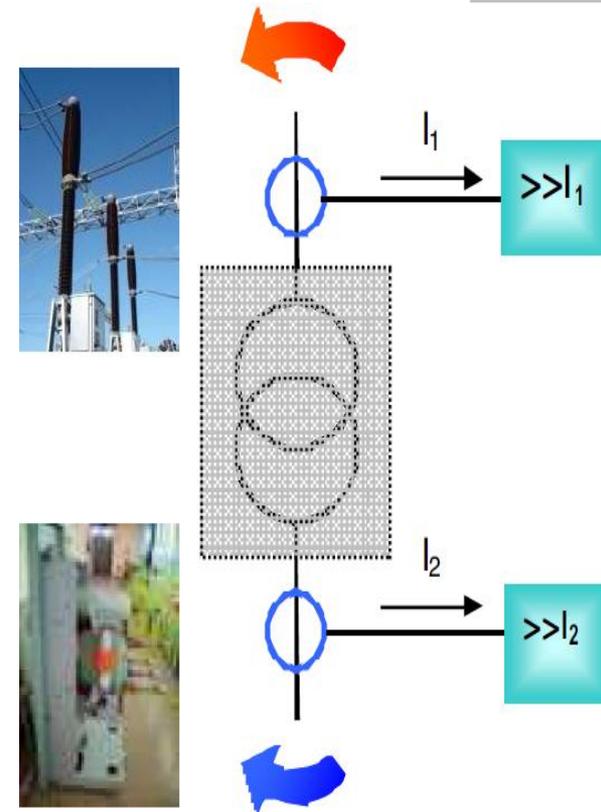
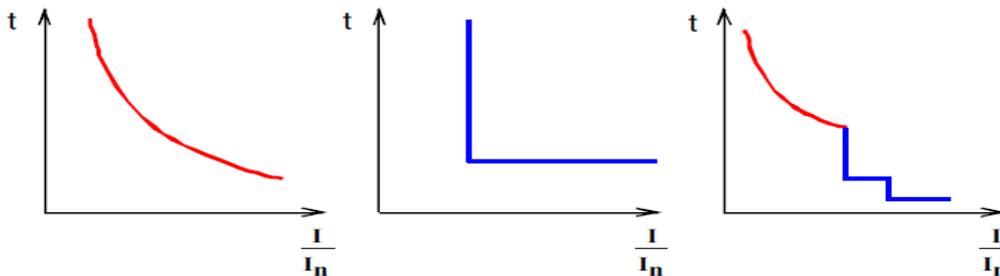


## Protecciones externas : Relé de Sobreintensidad

**Protege contra la ocurrencia de sobrecargas y cortocircuitos.**

Puede ser de tiempo dependiente, de tiempo constante o una combinación de ambas.

Para la protección principal de un transformador se debe ajustar la unidad instantánea del relé por encima de la corriente primaria, cuando ocurre un corto cerca de los terminales secundarios, generalmente este ajuste está por encima de la corriente de energización del transformador y puede ser 12 a 14 veces la corriente nominal de la carga.





## Protecciones externas : Relé Diferencial

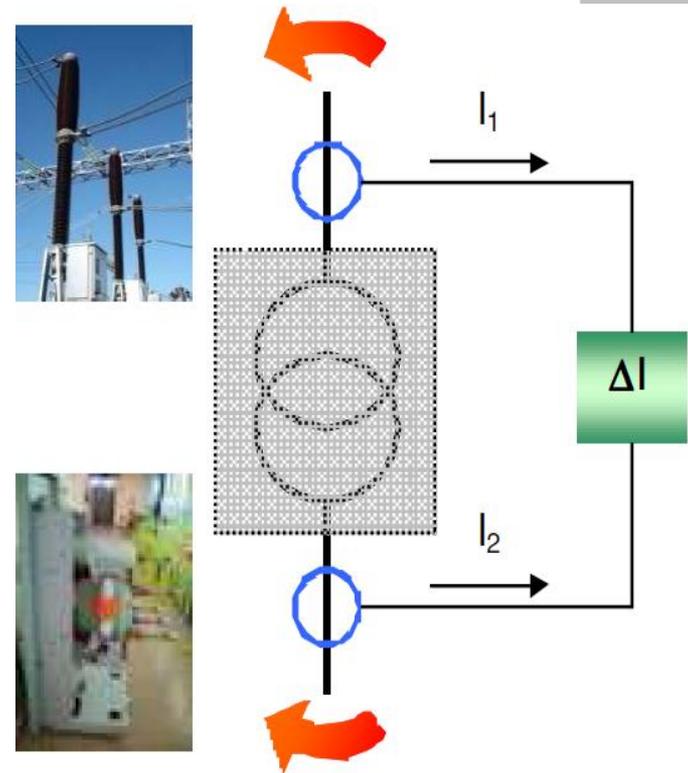
**Protege contra la ocurrencia de fallas de origen interno**

Operación basada en la comparación de los valores de las corrientes de entrada y salida del transformador.

En condiciones normales las corrientes secundarias de entrada y salida de los transformadores de corriente son similares, resultando nula su sumatoria en el relé.

Ante una avería en la zona protegida por el relé, parte de la corriente entrante se deriva por el aporte a la falla, siendo la corriente de salida menor que la de entrada.

Dentro del relé *se originará una corriente diferencial*, provocando su actuación.





## Protecciones externas : Relé de Cuba

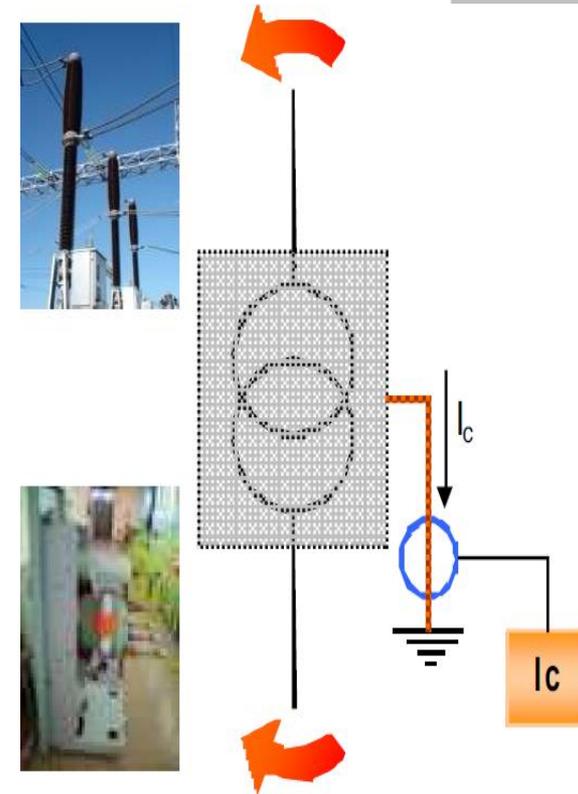
### ***Protege contra la ocurrencia de descargas internas a tierra***

Operación basada en la medición de la corriente de circulación a tierra de la cuba del transformador.

En condiciones normales las corrientes circulantes de cuba a tierra son insuficientes para provocar la actuación del relé.

Ante averías internas, de descargar a tierra la corriente de falla, al alcanzar el valor ajustado en el relé provocará su actuación.

Su adecuada operación requiere una única vinculación a tierra de la cuba, *pasante por el transformador de corriente*, que envía información al relé de la circulación de corriente a tierra.



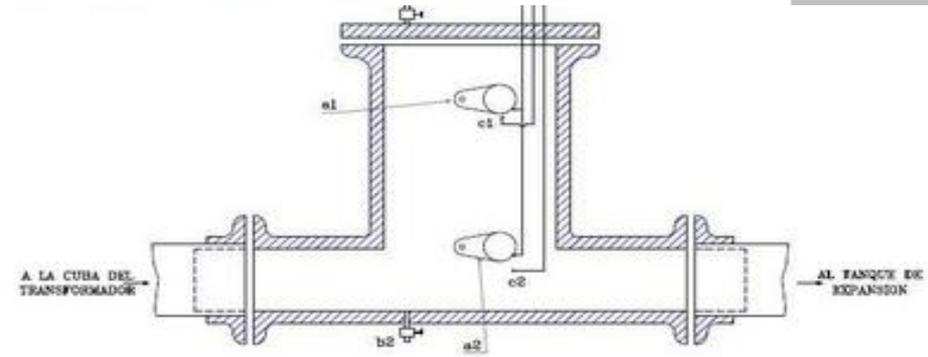
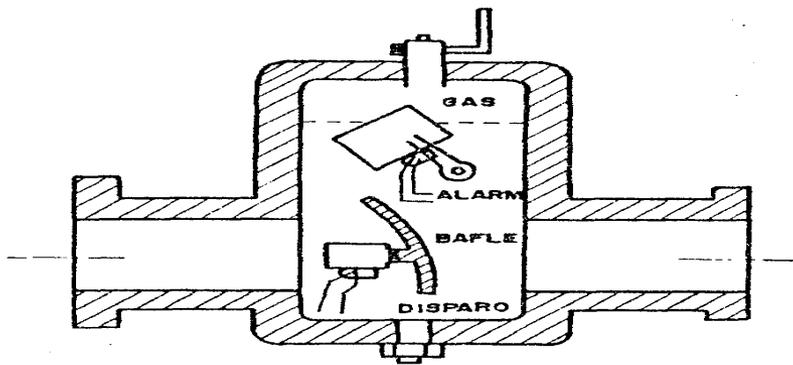
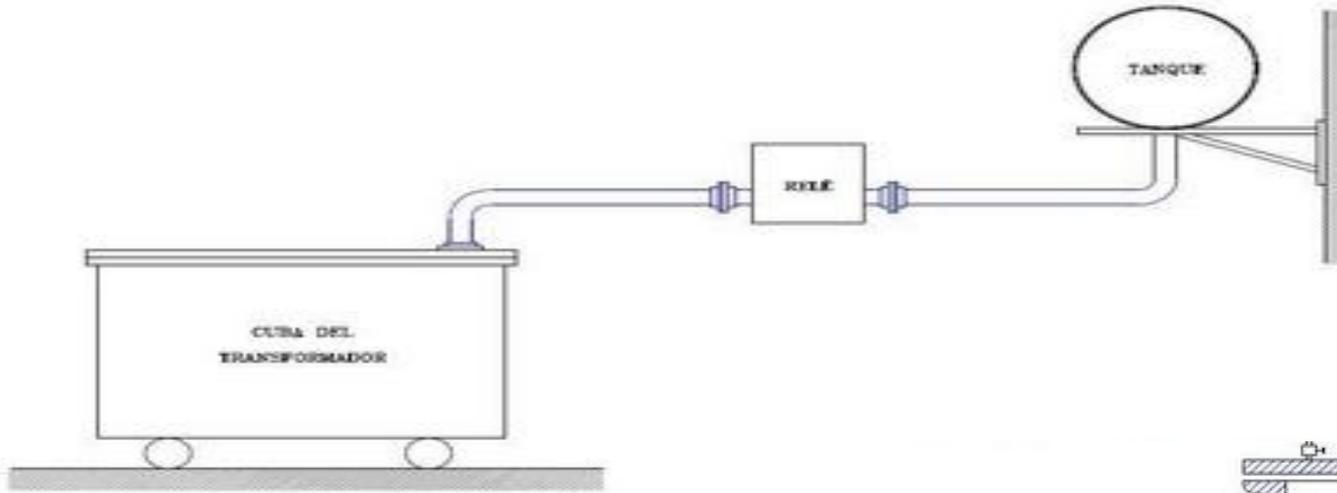


## Protecciones Internas : Relé Buchholz

Protege contra la ocurrencia de fallas internas que provocan generación de gases en el aceite, cuya magnitud y rapidez en su desarrollo aumenta a medida que crece la avería.

*Su operación permite obtener una alarma temprana o el desenganche inmediato del transformador de acuerdo a la magnitud de la avería.*



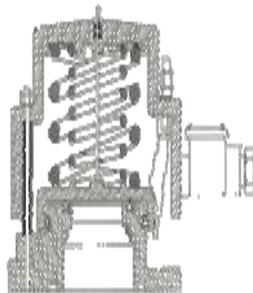
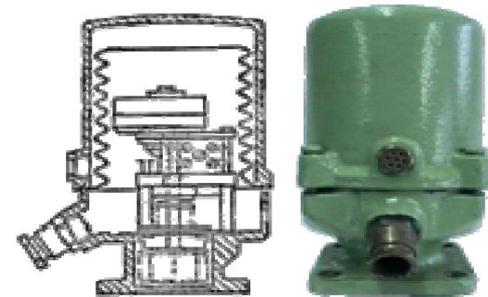




## Protecciones internas : Válvula de Sobrepresión

Protege contra la ocurrencia de sobrepresiones producidas en el interior de la máquina como consecuencia de fallas internas.

*Su operación provoca la desconexión inmediata del transformador.*



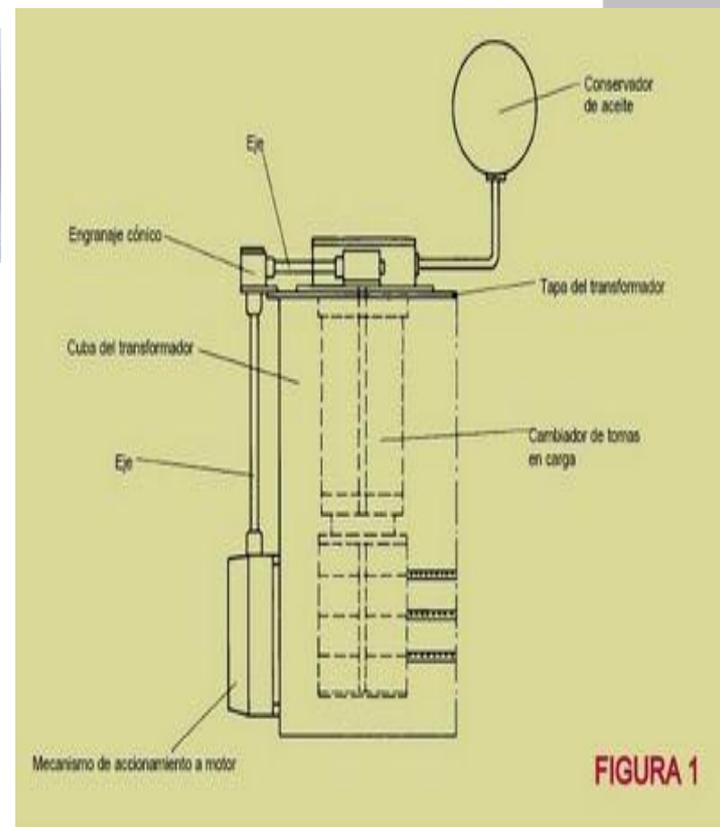


## Protecciones internas : Relé de Flujo del Regulador Bajo Carga

Protege contra fallas producidas en el compartimiento del regulador bajo carga, limitando el daño en caso de avería a dicho compartimiento.



*Su operación provoca la desconexión inmediata del transformador.*

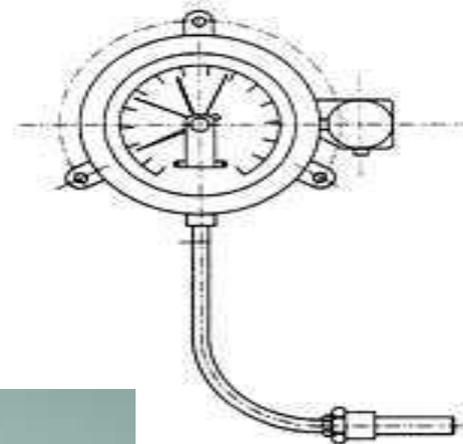




## Protecciones internas : Termómetro

**Protege contra fallas producidas en el compartimiento del regulador bajo carga, limitando el daño en caso de avería a dicho compartimiento.**

*Su operación provoca la desconexión inmediata del transformador.*





## Protecciones internas : Relé de Imagen Térmica

Protege contra sobre elevaciones de la temperatura de los arrollamientos que originen calentamientos inadmisibles, indicando y controlando la temperatura de los mismos.



*Su operación habilita la orden para el arranque de la refrigeración forzada y de acuerdo a la magnitud de la anomalía térmica envía señal de alarma o desenganche.*

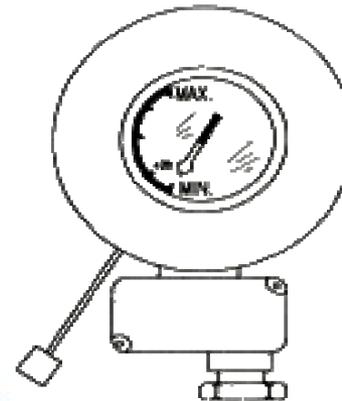




## Protecciones internas : Indicador de Nivel de Aceite

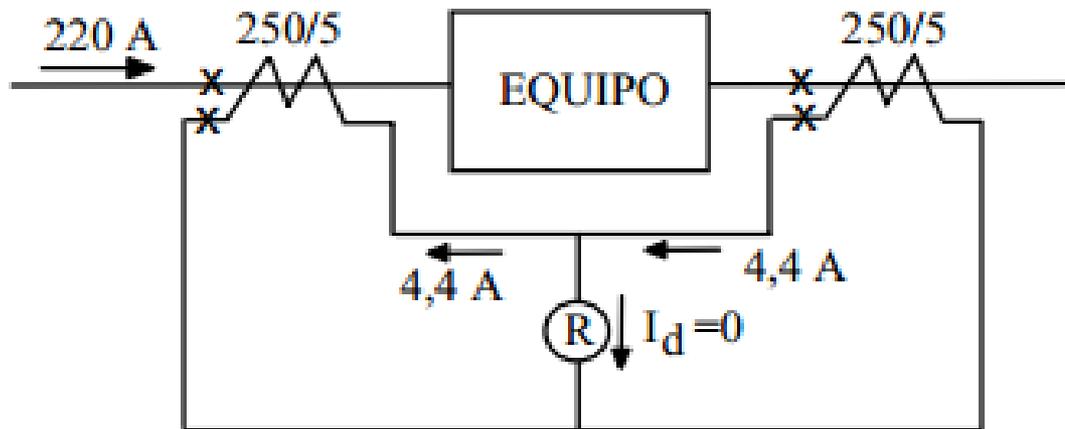
Protege contra descensos del nivel de aceite riesgosos para la seguridad de la máquina, indicando y controlando el nivel del líquido aislante dentro del tanque de expansión de cuba y RBC.

*Su operación da alarma por bajo y alto nivel. En general no da señal de desenganche.*





# PROTECCION DIFERENCIAL EN UN TRANSFORMADOR



basan su funcionamiento en la comparación de las corrientes que entran y salen de un equipo





## APLICACIONES DE LA PROTECCION DIFERENCIAL

- Protección Diferencial de Barras
- Protección Diferencial de Porcentaje
- Protección Diferencial de Porcentaje tipo Disco de Inducción
- Protección Diferencial para Maquinas Rotatorias
- Protección Diferencial para Transformadores





# PROTECCION DIFERENCIAL PARA TRANSFORMADORES

La protección para transformadores es mas compleja a la protección para generadores, por los siguientes motivos:

Las corrientes de primario y secundario no tienen el mismo valor, debido a que normalmente la relación de voltajes entre estos dos enrollados no es la unidad.

Las corrientes del primario y secundario del transformador pueden no estar en fase, dependiendo de la conexión del transformador.

Las razones de los TT/CC no siempre arrojan valores secundarios iguales a comparar.

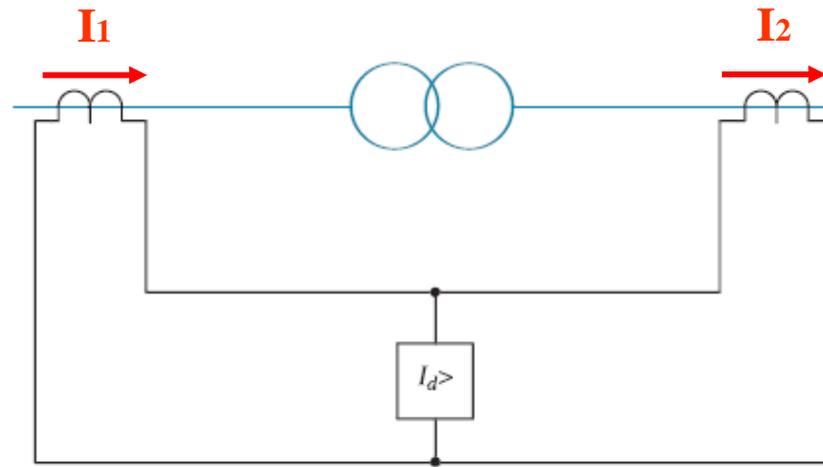
La protección no debe ser afectada por las condiciones de operación del transformador, como cambios de taps o funcionamiento en vacío.

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.





# CARACTERISTICA DE RELE DIFERENCIAL

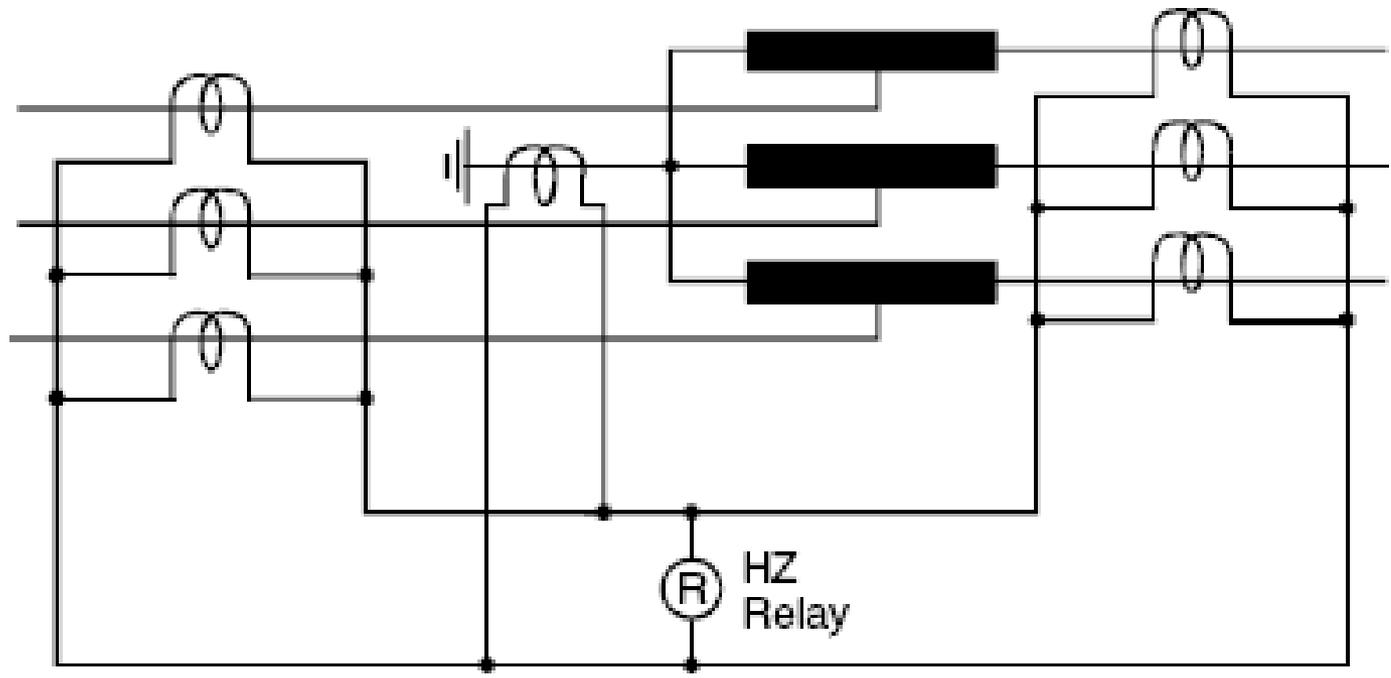


El principio de funcionamiento del relé diferencial consiste básicamente en la detección de una corriente diferencial producto justamente de la diferencia (sobre todo de signo) de las corrientes de las fases cuando un cortocircuito ocurre dentro de la zona de protección.



# ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LOS TCS

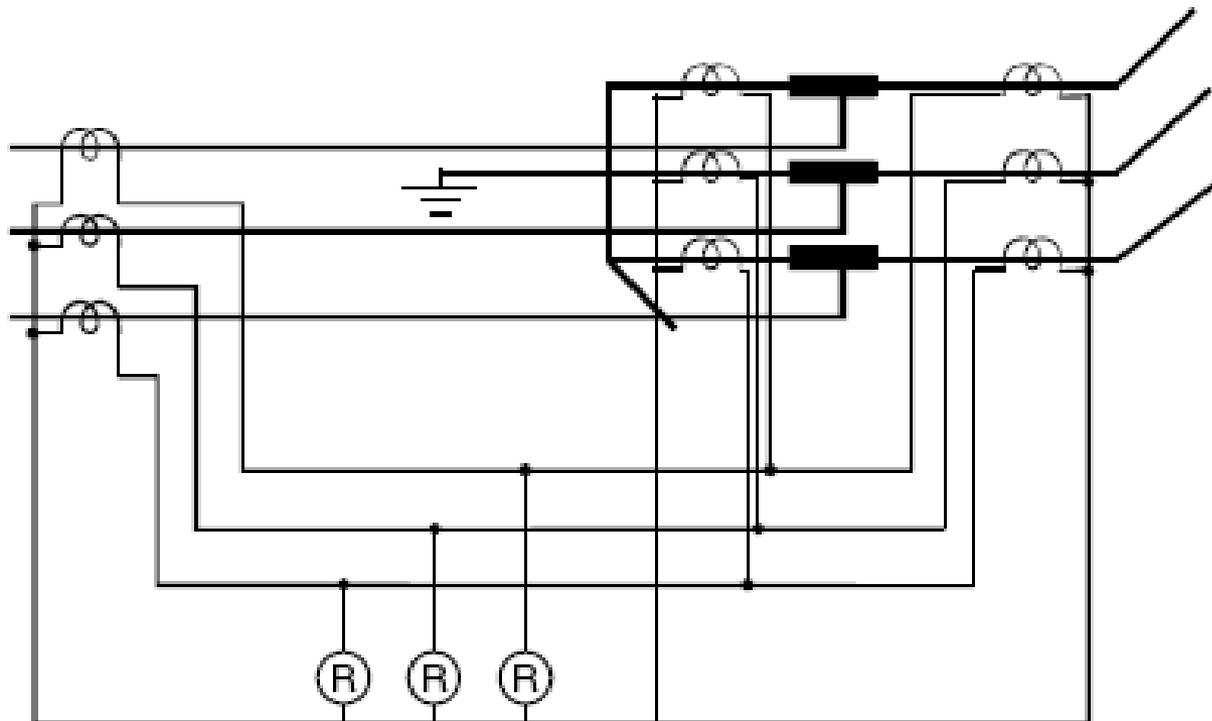
## Protección diferencial a tierra en un Auto-Transformador





# ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LOS TC's

Protección diferencial de fases y tierra en un Auto-Transformador



Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica

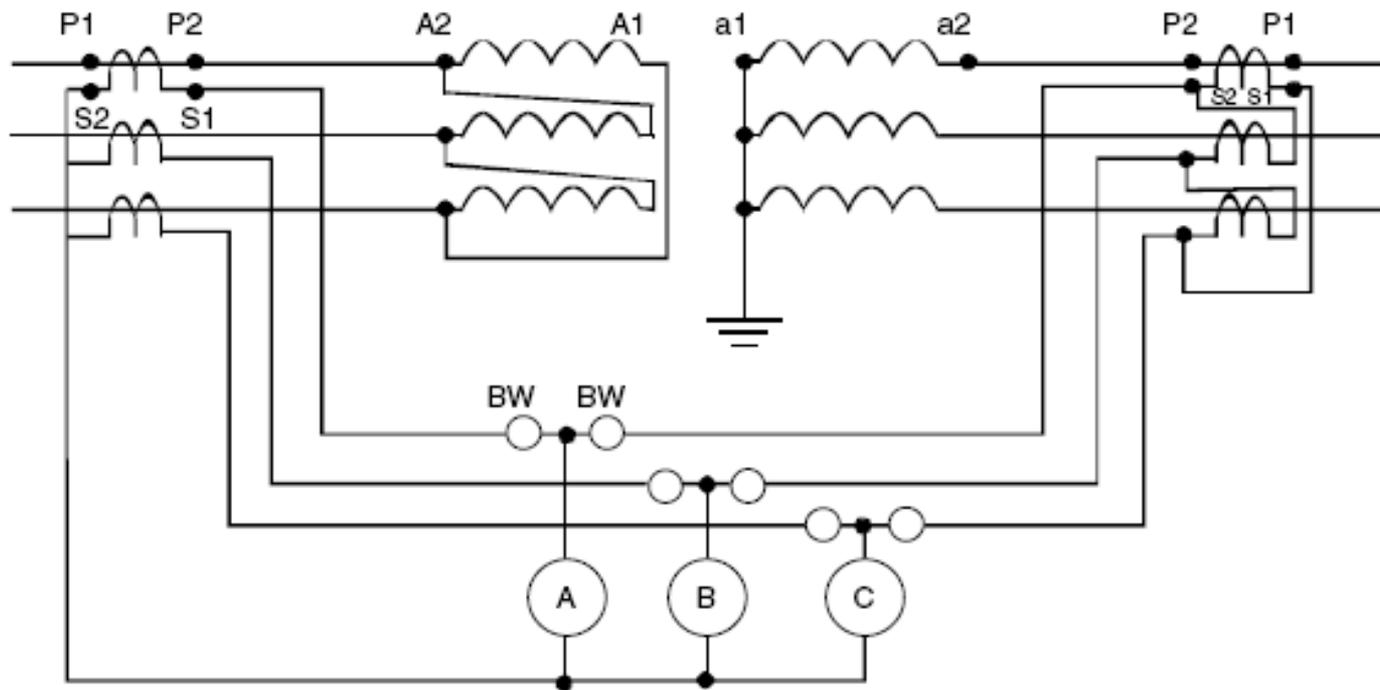
Formando Profesionales de Éxito





# ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LOS TC's

Protección diferencial en un transformador Delta – Estrella



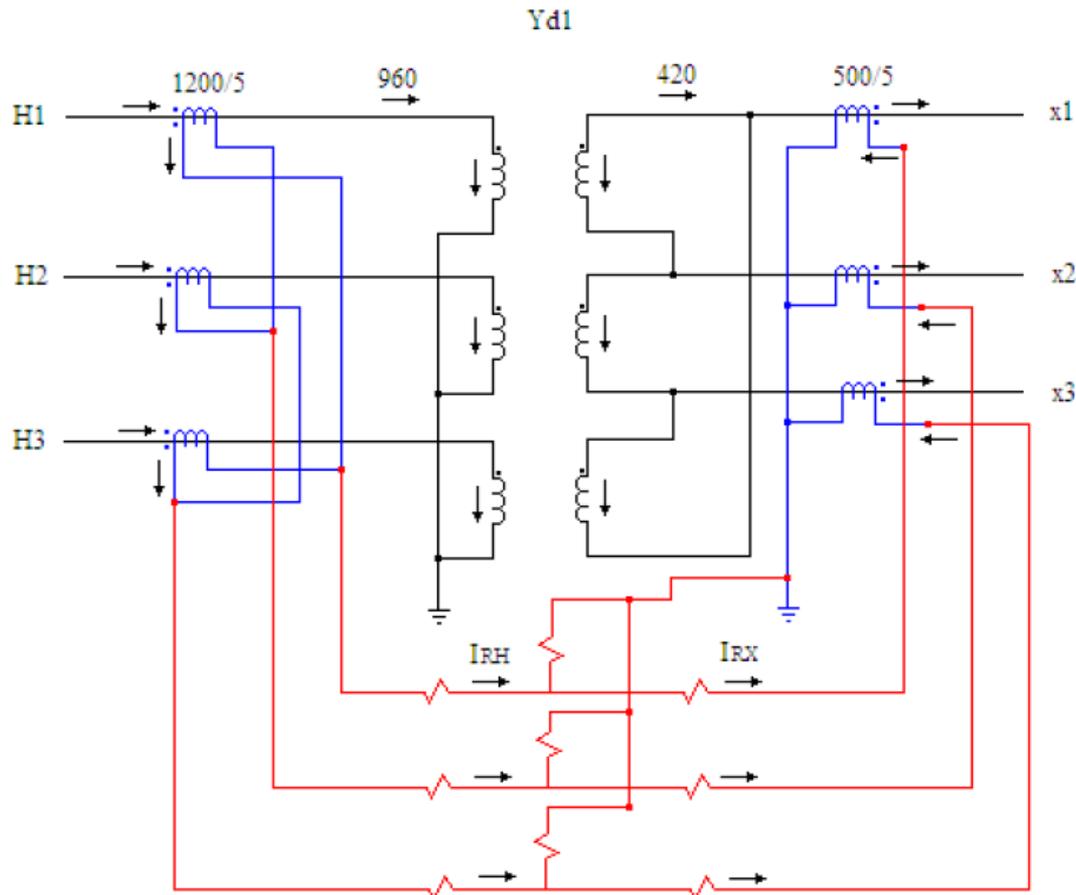
Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica

Formando Profesionales de Éxito



# EXPLICACION DE CONEXIÓN DE TC'S

Para efectos de explicación usaremos el esquema de conexión del transformador Y-D de 10 MVA, 6 kV – 13,8 kV, con corrientes máximas de cortocircuito externas de 11,8 kA en el lado de 6 kV y 7,6 kA en el lado de 13,8 kV



# EXPLICACION DE CONEXIÓN DE TC's

Los TCs juegan un papel muy importante en la correcta aplicación de la protección diferencial tomando en cuenta que en los transformadores, la magnitud del voltaje y la corriente en el primario y secundario son diferentes no solo en magnitud sino también en ángulo (que depende del grupo de conexión del transformador).

Para el caso explicativo, nuestro transformador maneja las siguientes corrientes en condiciones nominales:

$$I_{n1} = \frac{10MVA}{\sqrt{3} \times 6kV} = 960 [A]$$

$$I_{n2} = \frac{10MVA}{\sqrt{3} \times 13,8kV} = 420 [A]$$



# EXPLICACION DE CONEXIÓN DE TC'S

Las corrientes máximas que no producen saturación en los TCs son quienes definen su relación de transformación. Si el TC seleccionado es de clase 5P20 (TC de protección que produce el 5% de error cuando circula una corriente de 20 veces la corriente nominal), se tiene que:

$$I_{f1} = \frac{11,8 \text{ kA}}{20} = 590 \text{ [A]}$$

$$I_{f2} = \frac{7,6 \text{ kA}}{20} = 380 \text{ [A]}$$

Seleccionar la relación de transformación del TC1 en base al cálculo de  $I_{f1}$  significa que, si la corriente nominal que circula por el primario fuera 590A, la corriente de falla de 11,8kA sería exactamente 20 veces la corriente nominal, por lo tanto se aprovecharía el TC 5P20 inicialmente planteado. Pero como la corriente nominal no es 590A, sino 960A, quien define la relación de transformación del TC1 es la mayor, es decir 960A (la corriente nominal real), de tal forma que el TC será capaz de manejar una corriente de falla máxima de  $960\text{A} \times 20 = 19,2\text{kA}$  sin producir saturación. Esta corriente es mayor a la corriente de falla máxima de 11,8kA, por lo tanto el TC funcionará sin problemas



# EXPLICACION DE CONEXIÓN DE TC'S

En el ejemplo planteado, quienes definen la relación de transformación son las corrientes  $I_{n1}$  e  $I_{n2}$ . Las RTCs deben ser aproximadas a valores estándar disponibles, en este caso se tiene:

$$RTC1 = 1200/5$$

$$RTC 2 = 500/5$$

La forma de conexión de los TCs de las fases (en Y o en delta) está relacionada directamente con el grupo de conexión del transformador de potencia y es especialmente importante cuando se trata de una conexión Y – D. **El desfasaje de ángulo, debido a esta conexión, se compensa conectando los TCs en forma contraria al del bobinado del transformador de potencia en ese lado;** para el ejemplo anterior, se asume una conexión Yd1 (ver gráfica 5.1), los TCs en el secundario (lado D), deberán estar conectados en Y, mientras que los del primario en delta con el mismo desfasaje que el grupo de conexión que el transformador de potencia. Para la correcta aplicación de este criterio hay que tomar muy en cuenta la polaridad de los TCs.



# EXPLICACION DE CONEXIÓN DE TC's

Los relés modernos tienen disponibles TAPs para escalar de mejor manera las corrientes que ingresan a la protección diferencial. Las Corrientes IRH e IRX serán iguales a:

$$I_{RH} = \sqrt{3} \times 960A \times \frac{5}{1200} = 6,92 A$$

$$I_{RX} = 420A \times \frac{5}{500} = 4,2 A$$

Notar que para el cálculo de IRH aparece el factor  $\sqrt{3}$ , esto es porque las corrientes que llegan al relé son corrientes de línea y como los TCs en ese lado están conectados en delta, las corrientes secundarias serían las corrientes de fase dentro de la delta. El Tap del relé deberá ser ajustado a:

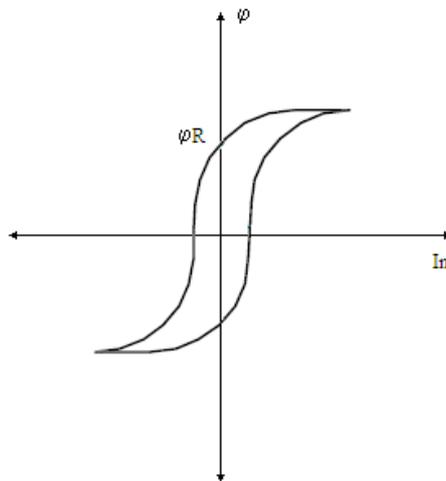
$$\frac{I_{RH}}{I_{RX}} = \frac{TAP}{5A}$$

$$TAP = 5A \frac{6,92A}{4,2A} = 8,3$$



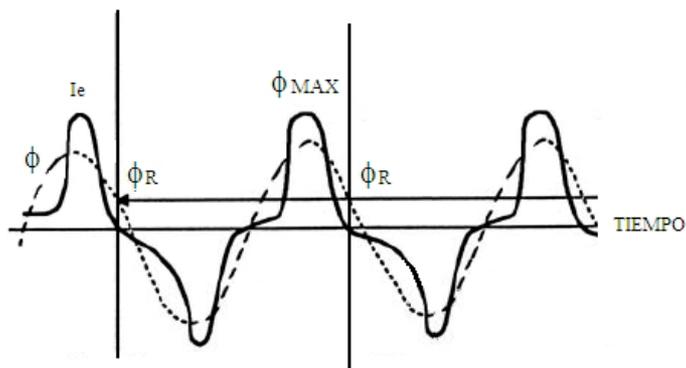
# CORRIENTE DE ENERGIZACION (INRUSH)

En estado normal, la corriente de magnetización de un transformador está entre el 5 y 10% de la corriente nominal; pero en el momento de la energización, aparece una corriente de magnetización transitoria que puede tomar valores iguales a varias veces la corriente nominal. La magnitud de la corriente depende principalmente del valor instantáneo del voltaje que alimenta al transformador en el momento exacto en que ocurre la energización. Otro factor importante es el flujo remanente. La gráfica a continuación muestra una curva típica de magnetización para un transformador.



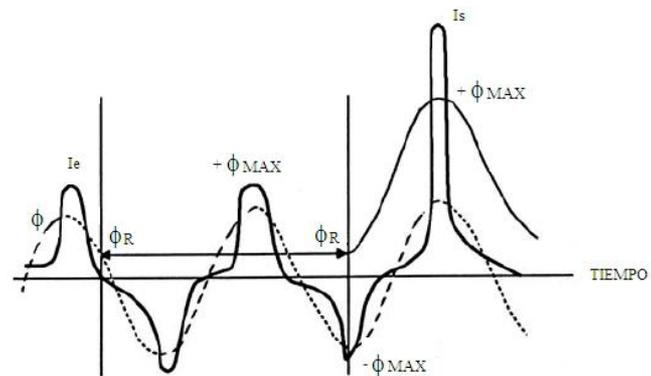
# CORRIENTE DE ENERGIZACION (INRUSH)

El flujo magnético es función de la corriente de magnetización de acuerdo a la curva de magnetización. Cuando se desenergiza el transformador y por tanto se suspende la corriente de excitación, el flujo magnético no desaparece por completo sino que toma un valor  $\phi$  (flujo remanente). Si el transformador es reenergizado, el flujo presente en el núcleo será  $\phi$ , pero debería idealmente cambiar a un valor distinto de acuerdo a la curva de magnetización, dependiendo del voltaje de alimentación en el instante de la reenergización. Si la reenergización ocurre justo cuando la onda de voltaje genere un flujo magnético con valor  $\phi_R$ , la corriente de excitación no sufrirá ningún fenómeno transitorio que la haga crecer; pero si ocurre en cualquier otro punto, por ejemplo cuando el voltaje corresponda a un flujo  $-\phi_{MAX}$ , se producirá un transitorio debido a que el flujo magnético no puede cambiar instantáneamente de  $\phi$  a  $-\phi_{MAX}$ . Para compensar esta discontinuidad, la onda del flujo magnético se desplazará hasta  $+\phi_{MAX}$ .



Transformador desenergizado en este punto

Transformador reenergizado en este punto

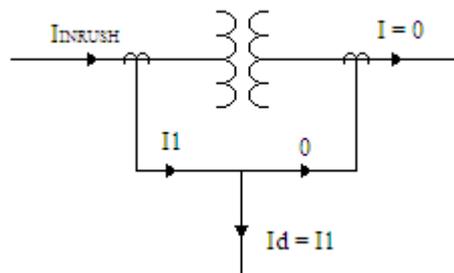


Transformador desenergizado en este punto

Transformador reenergizado en este punto

# CORRIENTE DE ENERGIZACION (INRUSH)

La corriente IINRUSH puede tomar valores de varias veces la corriente nominal, durante su periodo transitorio, y al circular esta únicamente por uno de los dos devanados, podría ser vista por la protección diferencial como una falla interna en el transformador. Al operar la protección diferencial disparará inmediatamente al interruptor del transformador impidiendo que este pueda entrar en operación.



La corriente IINRUSH se caracteriza por tener un alto contenido de armónicos, principalmente de segundo orden, debido a la característica no lineal del núcleo. Para evitar que la protección diferencial opere por la corriente IINRUSH, los RMM cuentan con filtros de armónicos que estiman la cantidad de corriente segunda armónica presente en la corriente de energización, si esta supera un valor establecido como parámetro de calibración, se bloqueará el disparo de la protección.





# CORRIENTE DE ENERGIZACIÓN (INRUSH)

Para determinar el valor de calibración para bloqueo por INRUSH, se puede realizar mediciones de corriente segunda armónica en el transformador en el momento de la energización, sin embargo, debido al alto costo y dificultad que estas pruebas representan, resulta más conveniente encontrar estos valores mediante simulación. El valor de la corriente segunda armónica encontrada por cualquiera de estos dos métodos debe ser utilizado como ajuste para el relé, menos un porcentaje de seguridad del 20%. Se deben realizar varias simulaciones con distintos ángulos de energización (ángulo de la onda de voltaje en el momento de la energización), para tomar el mínimo valor de la corriente segunda armónica para asegurar el bloqueo del relé en cualquier condición de energización.

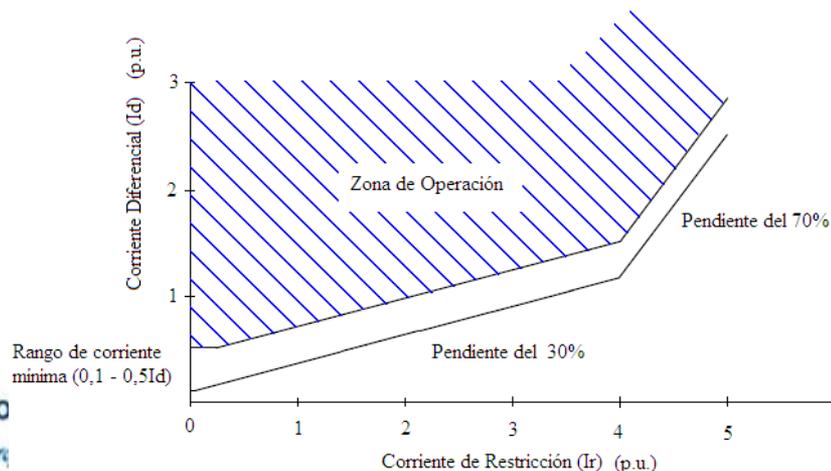
$$I_{BLOQUEO\_INRUSH} = \frac{I_2}{I_1} \times 0,8$$

El relé diferencial se bloqueará cuando cualquiera de las corrientes segunda armónica de las fases supere el valor de bloqueo por INRUSH.



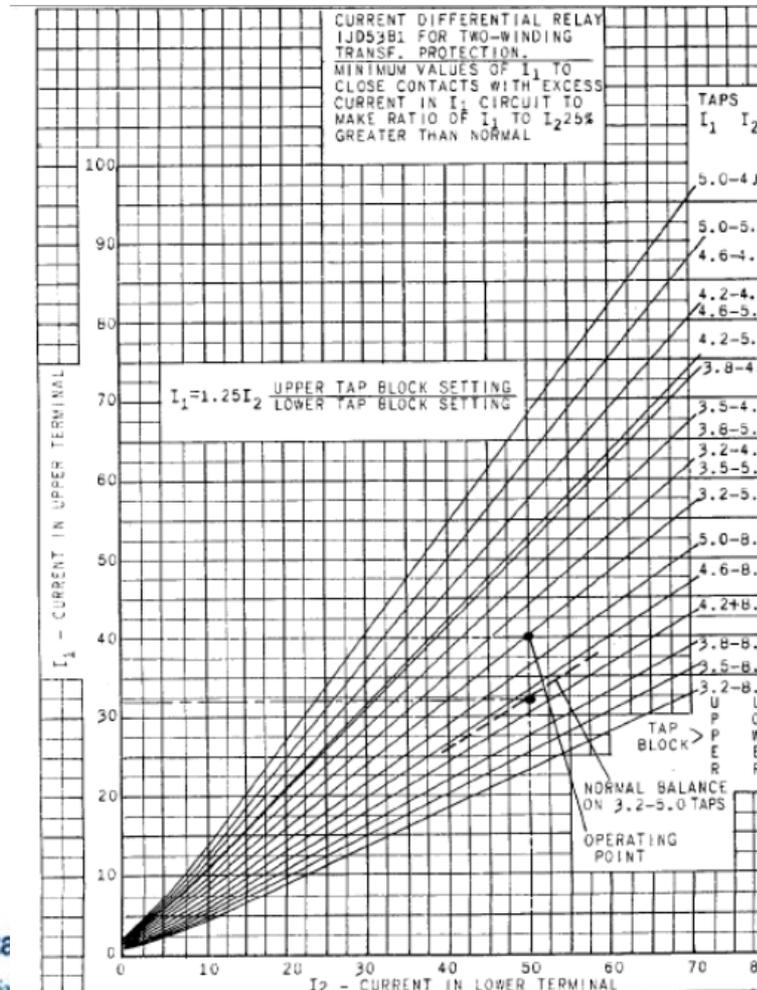
# CALIBRACIÓN DE LA CORRIENTE MÍNIMA Y PENDIENTE DE OPERACIÓN PARA LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE PORCENTAJE

La protección diferencial de porcentaje es aplicada por la misma razón que en el generador; asegurar que el relé pueda discriminar entre una corriente de operación producto de una falla interna, y una producto de la saturación de alguno de los TCs. Cuando una falla ocurre dentro de la zona diferencial, la corriente de restricción  $I_r$  es pequeña respecto a la corriente diferencial  $I_d$  (que resulta de la suma de las corrientes que llegan a los TCs, revisar Capítulo 3), haciendo que el punto de trabajo se ubique por encima de la pendiente definida como parámetro de calibración. Por otro lado, si la corriente de operación es debida a la saturación de los TCs, entonces la corriente de restricción será grande, ya que resulta de la suma de las dos corrientes de los TCs. Tomando en cuenta que la corriente de operación es muy pequeña, la relación entre estas dos magnitudes ( $I_d/I_r$ ) se ubicará por debajo de la pendiente de la protección diferencial.



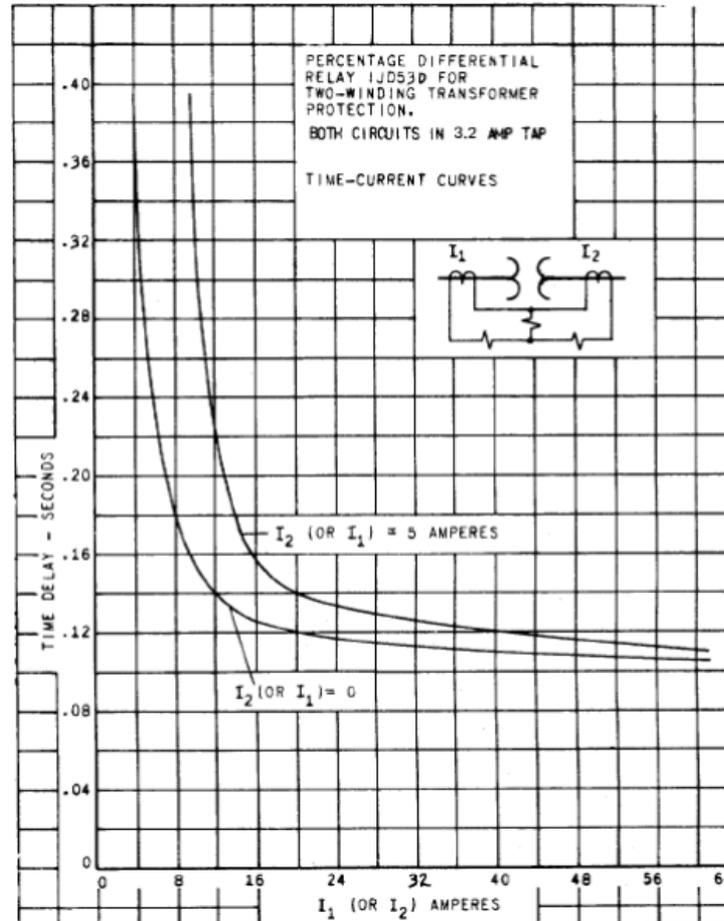
# CURVAS CARACTERISTICAS

Característica de operación de los relés diferenciales IJD53C e IJD53D con 25 % de pendiente



# CURVAS CARACTERISTICAS

Característica de tiempo de operación de los relés diferenciales IID53C e IID53D





# CONCLUSIONES

- a.- Los relés diferenciales se construyen con tap en las unidades de retención, de modo que aunque las corrientes que se comparan no son iguales, el relé opere con el mismo porcentaje o pendiente.
- b.- Los relés diferenciales se conectan a circuitos secundarios provenientes de juegos de TT/CC cuya conexión debe efectuarse en forma inversa a aquella de los enrollados primario y secundario del transformador de poder. De esta manera se anula el desplazamiento angular de las corrientes por fase.
- c.- Para solucionar el problema de que los TT/CC entreguen magnitudes secundarias diferentes a comparar, se puede hacer uso de relés diferenciales de porcentaje
- d.- El problema señalado en este punto también puede ser solucionado empleando relés diferenciales de porcentaje, con valores más elevados, tal como los indicados en c.

