



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE POZA RICA

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ING. LUIS FELIPE MARTÍNEZ CISNEROS

NOMBRE DE LOS INTEGRANTES :

**PÉREZ SALAZAR GRACIELA
POCHAT REYES MARTHA
QUILANTÁN HERNÁNDEZ PAULINA**

ASIGNATURA:

SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

CAPITULO 5

CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS

INTRODUCCIÓN

En un sistema eléctrico de potencia se encuentran básicamente los siguientes tipos de protecciones, mismas que son aplicables a la mayoría de las instalaciones eléctricas en sistemas de tipo industrial.

1. Protección contra incendio.

2. Protección por relevadores.

3. Protección contra sobretensiones.

ELÉCTRICAS

Debidas a las características del sistema de potencia (naturaleza de las fallas, sensibilidad a la inestabilidad del sistema, regímenes de trabajo y características generales de los equipos, condiciones de operación, etc.)

ECONÓMICAS

Debidas a la importancia funcional del equipo (costo del equipo principal contra costo relativo del sistema de protección).

FÍSICAS

Debidas principalmente a las facilidades de mantenimiento, de localización (de los relevadores, de los transformadores de instrumento y tableros, medios de comunicación, etc.).

CONSIDERACIONES PARA LA PROTECCIÓN DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS

Si se parte del hecho que se ha fijado en la planeación una primera versión de las instalaciones como previsión del crecimiento de la demanda, se deben verificar los siguientes conceptos:

1. La elaboración de programas óptimos de generación.

2. La constitución de esquemas de interconexión apropiados.

3. La utilización de un conjunto coherente de protecciones.

1. Programas de generación.

Se debe realizar un compromiso óptimo entre:

- a) La utilización mas económica de los grupos de generadores disponibles.
- b) La repartición geográfica de los grupos en servicio, evitando las sobrecargas permanentes en transformadores y líneas de transmisión, y asegurando la atención de los usuarios prioritarios, en la hipótesis de un disturbio grave en la red.

2. Esquemas de interconexión.

El desarrollo de la red se debe hacer tan interconectada como sea posible, tendiendo a la condición ideal de realización de anillo o mallas, cuidando que por razones técnicas y económicas se atiendan los siguientes objetivos:

- a) Limitaciones de los valores de corrientes de cortocircuito para salvaguardar los equipos y materiales, por ejemplo:

40.0 kA en 400 kV

31.5 kA en 230 kV

25.0 kA en 115 kV

- b) Limitaciones de sobretensiones por maniobra de interruptores para las redes de 400 kV y 230kV a valores no mayores de 2.5 p.u.
- c) En caso de disturbios, evitar las transferencias inadmisibles de carga sobre las líneas o instalaciones que permanecen en servicio, impidiendo con esto:

- ☐ Sobrecalentamiento.
- ☐ El funcionamiento anárquico de las protecciones.
- ☐ La pérdida de sincronismo entre regiones o áreas interconectadas.

3. Conjunto coherente de protecciones.

Para atenuar los efectos de los disturbios, el sistema de protecciones debe:

- a) Asegurar lo mejor posible la continuidad de alimentación a los usuarios.
- b) Proteger los equipos e instalaciones de la red.

En el cumplimiento de estas misiones, se debe:

- ☐ Alertar a los operadores, en caso de peligro no inmediato, sobre como retirar de servicio una instalación que tiene, por ejemplo, un cortocircuito que podría deteriorar al equipo o afectar toda la red.

- ❑ Verificar, si hay necesidad, los diversos positivos de protección para:
- ❑ Las situaciones anormales de funcionamiento del sistema interconectado o de elementos aislados de red (por ejemplo pérdida de sincronismo).
- ❑ Cortocircuito o fallas de aislamiento.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS FALLAS

En algunos sistemas eléctricos las fallas tienen una distribución de probabilidad de ocurrencia como sigue:

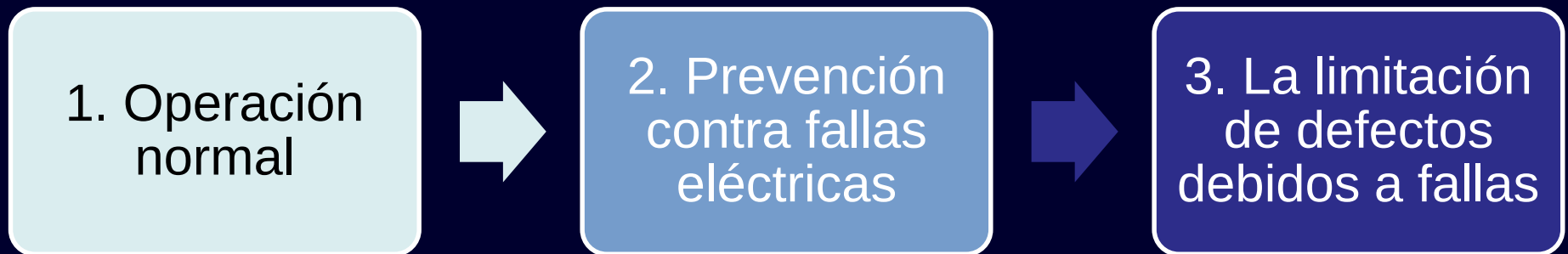


Como un ejemplo de referencia, se pueden mencionar algunos datos típicos de fallas en sistemas de 230/115 kV como una distribución anual (referidas como porcentaje de la capacidad instalada).

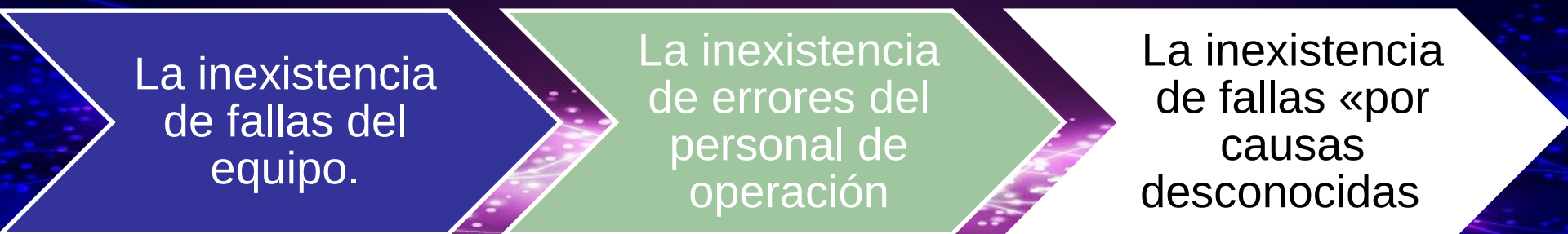
EQUIPO O PARTE DEL SISTEMA:	PORCENTAJE TOTAL ANUAL:
Líneas aéreas (mayor de 115 kV)	33% o 1 falla / 80 Km.
Equipos de maniobra	10% o 1 falla / 400 MW
Transformadores	12% o 1 falla / 15 MW
Generadores	7% o 1 falla / 40 MW
Equipo secundario (TC' x TP's, relevadores, etc)	38% o 1 falla / 180 MW

OTROS ASPECTOS CONSIDERADOS EN LA PROTECCIÓN

En la protección de un sistema eléctrico, se deben examinar tres aspectos:



Una operación normal supone:



ALGUNOS ELEMENTOS PARA LA PREVENCIÓN CONTRA FALLAS ELÉCTRICAS

Considerando que resultaría antieconómico intentar eliminar por completo las fallas del sistema, se deben tomar en cuenta de cualquier forma algunas medidas en el sentido de prevenir o limitar los efectos de las mismas. Algunas de estas medidas preventivas son:

- ☐ Uso del aislamiento adecuado.
- ☐ La coordinación del aislamiento.
- ☐ Verificación del blindaje en líneas y subestaciones y del bajo valor de resistencias al pie de la torre.
- ☐ Revisar que las instrucciones o procedimientos para operación, mantenimiento, etc., sean los apropiados.

LA LIMITACIÓN DE LOS EFECTOS DE FALLA DEBEN INCLUIR:

1. La limitación de la magnitud de las corrientes de cortocircuito (seccionamiento de barras, uso de reactores serie).
2. El diseño capaz de soportar los efectos mecánicos y térmicos de las corrientes de falla.
3. La existencia de circuitos múltiples y la generación de reserva apropiada para cada condición de operación.
4. La existencia de los relevadores apropiados y de otros dispositivos, como por ejemplo, los interruptores con suficiente capacidad interruptiva.
5. Los medios para observar la efectividad de las medidas anteriores (registradores).
6. Análisis frecuentes de los cambios en el sistema (crecimiento y variaciones de carga), con los consecuentes ajustes de los relevadores, reorganización del esquema operativo, etc.

ES CONVENIENTE MENCIONAR QUE LOS PRINCIPALES OBJETIVOS DE LOS ESTUDIOS DE LOS ESQUEMAS DE PROTECCIÓN ES MINIMIZAR:

- ❖ El costo de reparación de las fallas.
- ❖ La probabilidad de que una falla se puede propagar o involucrar a otro equipo.
- ❖ El tiempo que un equipo permanezca inactivo, reduciendo la necesidad de las reservas.
- ❖ Las perdidas económicas.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN:

1. En ningún caso, una protección debe operar si no existe falla en su zona de influencia o control.
2. Si existe falla en su zona, las ordenes deben corresponder exactamente aquello que se espera, considerando de alguna forma la severidad y localización de la falla.

LA PROTECCIÓN POR MEDIO DE RELEVADORES TIENE DOS FUNCIONES:

❖ **Una función principal** que es la de promover una rápida salida de servicio de un elemento del sistema , cuando éste sufre un cortocircuito o cuando comienza a operar de manera anormal; de tal forma que pueda causar daños o interferir con la correcta operación del resto del sistema. En esta función, un relevador (elemento detector-comparador y analizador) es auxiliado por el interruptor, de manera que el esquema de protección engloba las dos funciones:

❖ **Una función secundaria** indicando la localización de los distintos tipos de fallas, permitiendo una reparación mas rápida y la posibilidad de analizar la eficiencia y las características operativas de la protección adoptada.

LAS CAUSAS PRINCIPALES QUE PUEDEN CONSTITUIR MOTIVO DE FALLA DE LOS ESQUEMAS DE PROTECCIÓN SON:

- ❖ Transformadores de corriente y sus circuitos asociados.
- ❖ Transformadores de potencial y sus circuitos asociados.
- ❖ Pérdida de alimentación auxiliar de corriente directa por:
 - a) Cortocircuito
 - b) Circuito abierto
 - c) Falla de switches auxiliares
- ❖ Fallas de relevadores.
- ❖ Falla de canal de comunicación en los esquemas de protección piloto.

Los esquemas de protección se eslabonan finalmente a interruptores para aislar la falla. Estos también fallan ocasionalmente.

LAS CAUSAS DE LAS FALLAS EN LOS INTERRUPTORES SON, EN ORDEN DECRECIENTE DE FRECUENCIA DE APARICIÓN:

1. Pérdida de la alimentación auxiliar de corriente directa.
2. Bobina de disparo abierta.
3. Bobina de disparo en cortocircuito.
4. Falla mecánica del mecanismo de disparo.
5. Incapacidad de los contactos principales para interrumpir la corriente o falla en cámaras interruptivas o elementos de las mismas.
6. Falla del canal de comunicación en los esquemas de protección piloto.
7. Pérdida de transmisión/recepción del canal de comunicación.
8. Transmisión/recepción presente antes de la ocurrencia de falla.
9. Operación de la transmisión/recepción por interferencia electromagnética.

INTRODUCCIÓN A LOS TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

Bajo el nombre de «transformadores de instrumento» se hace una designación general para clasificar los transformadores de corriente o los transformadores de potencial, que son dispositivos para transformar con precisión la corriente o voltaje de una magnitud a otra generalmente menor, debido principalmente a las siguientes razones:

1. Para reducir en forma precisa, a través de la transformación, la magnitud de la corriente primaria o del voltaje del circuito a valores que sean mas fáciles de manipular por razones de seguridad de personal. Para los transformadores de corriente, el valor secundario de corriente es 5A y para los transformadores de potencial los voltajes secundarios son 120 o 115V.
2. Para aislar el equipo secundario (instrumentos de medición y/o protección) de los voltajes primarios que son peligroso.
3. Para dar a los usuarios mayor flexibilidad en la utilización del equipo, en aplicaciones tales como: medición y protección.

Se sabe que el uso de los transformadores de instrumento se usan principalmente en aplicaciones de protección y medición, pero también en boquillas de: interruptores, transformadores de potencia y generadores. Desde luego, se usan también en:

Subestaciones.....para protección y medición.

Generadores.....para protección y medición.

INFORMACIÓN BASICA PARA LA ESPECIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO:

Los transformadores de instrumento, como se mencionó, pueden ser de dos tipos:

- a) Transformadores de potencial: se usan para transformar o cambiar el voltaje.**
- b) Transformadores de corriente: se usan para transformar o cambiar la corriente.**

Para las aplicaciones de protección y medición, se deben especificar algunas cantidades básicas en los transformadores de instrumento, como son:

- ❖ La relación de transformación
- ❖ La precisión
- ❖ El burden
- ❖ Las características generales

RELACION DE TRANSFORMACION

La relación de transformación se expresa como el cociente de la cantidad primaria a la cantidad secundaria. Para los transformadores de potencial.

$$RTP = \frac{V_p}{V_s}$$

V_p = voltaje primario de fase a neutro.

V_s = voltaje secundario de fase a neutro.

Para los transformadores de corriente:

$$RTC = \frac{I_p}{I_s}$$

I_p = corriente en el primario.

I_s =corriente en el secundario.

PRECISIÓN

La precisión de un transformador debe estar; en el calculo de la medición global, o bien, los errores deben estar dentro de los limites de un valor pequeño previamente especificado, de manera que puedan ser despreciables.

La precisión obtenida con un transformador de instrumento depende de su diseño, las condiciones del circuito y su carga o burden impuesta o conectada en el secundario, y se mide en términos de su valor verdadero y ángulo de fase, bajo condiciones de operación especificadas.

LA CARGA O BURDEN

La carga o burden en el secundario para un transformador de instrumento es aquella que esta propiamente conectada al devanado secundario y que determina las potencias activa y reactiva en las terminales del secundario.

El burden se puede expresar en forma de la impedancia total de la carga expresada en ohm con la resistencia efectiva y las componentes reactivas o bien, como los volt-amperes totales (VA) y factor de potencia a un valor de corriente especificado o de voltaje y una frecuencia dada.

El burden sobre el circuito secundario de un transformador de instrumento afecta la precisión del dispositivo.

CALCULO DEL BURDEN PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

El burden en el secundario se expresa como volts-amperes (VA) a un factor de potencia especie.

ALIMENTACIÓN

PRIMARIO

TC

SECUNDARIO

R = RESISTENCIA DE LOS CABLES DE CONTROL

KWH

KOH

WATT

AMP

RELEV

KWH = KILOWATTHORÍMETRO
KOH = KILOVARHORÍMETRO
WATT = WATTMETRO
RELE = RELEVADOR

IMPEDANCIA TOTAL DEL BURDEN (Z) = (SUMA DE RESISTENCIA) + (SUMA DE REACTANCIA)

POTENCIA ACTIVA:	POTENCIA REACTIVA:
WATTS = (VA) x FP = VA x COS	VAR = VA x $\sqrt{1 - FP^2}$
WATTS = $I^2 \times R$	VAR = $I^2 X$

DONDE:

R = RESISTENCIA X = $2\pi fL$ = REACTANCIA INDUCTIVA
L = INDUCTANCIA f = FRECUENCIA EN HERTZ
 EN HENRY

$VA_{\text{TALES}} = \sqrt{(WATTS_{\text{TALES}})^2 + (VAR_{\text{TALES}})^2}$

FACTOR DE POTENCIA DE LAS CARGAS COMBINADAS

FACTOR DE POTENCIA = $COS = \frac{WATTS_{\text{TOTAL}}}{VA_{\text{TOTAL}}} = \frac{R}{Z}$

El burden de los transformadores de corriente (TC's) se expresa por lo general en ohms (Ω) referidos a 5 amperes, por lo que se usan 5 A. nominales para convertir los VA a ohms. La impedancia total se puede expresar en VA o en ohms:

$$\text{Ohms} = \text{VA} / I^2$$

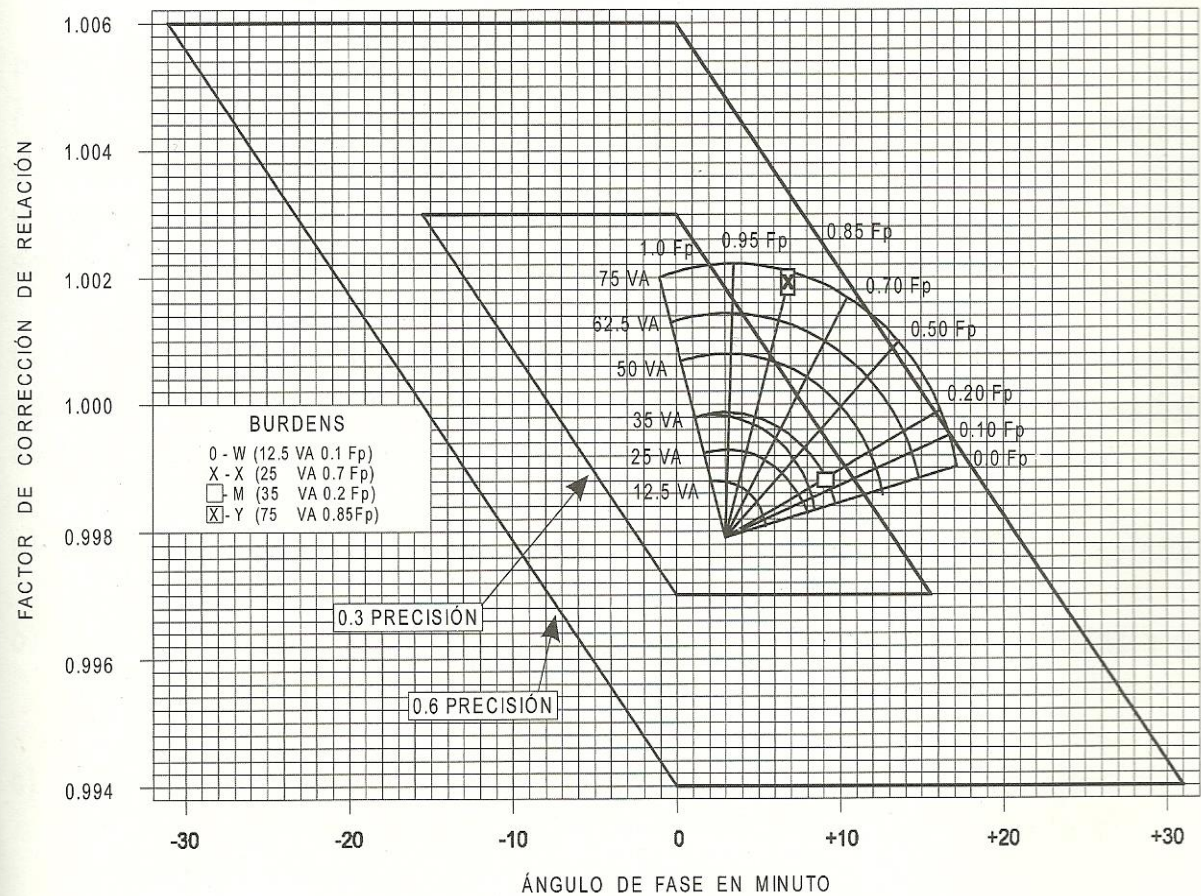
Por ejemplo: $5\text{VA} / (5)^2 \text{ A} = 0.2 \text{ ohms}$

LA CLASE DE PRECISION

Para los transformadores de potencial se debe asignar o indicar una especificación denominada “clase de precisión” para cada uno de los burden estándar para el cual esta designado.

En las tablas se indica con tres designaciones la clase de precisión, que son: 0.3, 0.6, y 1.2 que representan el porcentaje de desviación (máximo y mínimo) con respecto al voltaje nominal. Por ejemplo, una especificación de clase de precisión puede ser: 0.3 W, 0.3 X, 0.6 Y y 1.2 Z.

La clase de precisión se basa en los requerimientos de que el factor de corrección del transformador (FCT) debe estar dentro de límites especificaciones cuando el factor de potencia de la carga medida tiene cualquier valor entre 0.6 atrasado y 1.0, desde el burden cero hasta el valor especificado y, cualquier voltaje entre 90 y 110% del valor nominal.



CARACTERÍSTICAS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL 120V-60 Hz.

Para los transformadores de corriente, la clase de precisión está basada en los requerimientos que el factor de corrección debe cumplir dentro de límites especificados, cuando el factor de potencia (atrasado) de la carga por medir está dentro del rango de 0.6 a 1.0 a burden dado y al 100% de la corriente primaria correspondiente al factor térmico de corriente.

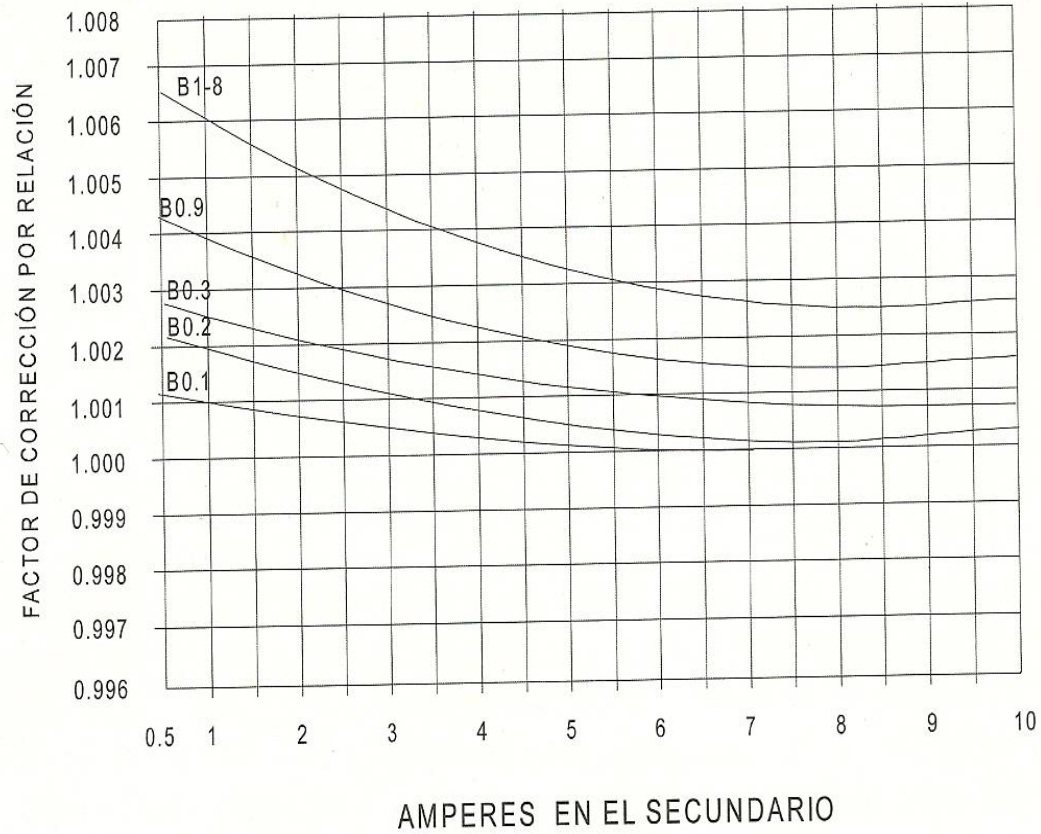
CLASE DE PRECISIÓN ESTÁNDAR PARA MEDICIÓN Y LÍMITE DE CORRECCIÓN
PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTES

CLASE DE PRECISIÓN	100% CORRIENTE NOMINAL		100% CORRIENTE NOMINAL		LÍMITES DEL FACTOR DE POTENCIA DE POTENCIA (ATRASADO DE LA CARGA MEDIDA)
	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	
0.3	0.997	1.003	0.994	1.006	0.6 – 1.0
0.6	0.994	1.006	0.988	1.012	0.6 – 1.0
1.2	0.988	1.012	0.976	1.024	0.6 – 1.0

CLASE DE PRECISIÓN PARA TRANSFORMADORES
DE POTENCIAL USADOS EN MEDICIÓN

CLASE DE PRECISIÓN	LÍMITES DEL FACTOR DE CORRECCIÓN
0.3	1.003 – 0.997
0.6	1.006 – 0.994
1.2	1.012 – 0.988

FACTOR DE CORRECCIÓN DE RELACIÓN
DE TRANSFORMACIÓN PARA TC's



Por ejemplo, la clase de precisión de un transformador de corriente puede ser 0.3 B-0.1 y 0.2 ó 0.6 B-0.5. La clase de precisión que representan la desviación en por ciento (máxima y mínima) con respecto a la corriente (0.3 ó 0.6%) nominal son 0.3 y 0.6. Los burdens estándar, de acuerdo con la tabla, son 0.1, 0.2 y 0.5 para estos ejemplos.

La clase de precisión para relevadores o clases de precisión se designan con dos símbolos: C o T, los cuales describen las características de los relevadores como sigue:

- La letra C indica que es para protección y, por lo general, del tipo ventana.
- La letra T significa que la relación se puede determinar por pruebas y que generalmente es aplicable al tipo devanado.
- El voltaje terminal secundario (al relevador) es la caída de voltaje o voltaje que puede entregar el transformador a la carga a 20 veces la corriente normal (5A), sin exceder el 10% de error de relación.

Por ejemplo, para un transformador que alimenta a un relevador que tiene una clase de precisión C400, significa que la impedancia o burden en el secundario a 20 veces la corriente nominal

(20 X 5 = 100 A) se calcula como: $20 \times 5 \cdot Z = 400$

$$Z = \frac{400}{100} = 4 \text{ ohms}$$

Los voltajes estándar en el secundario son: 10, 20, 50, 100, 200, 400 y 800 Volts. Otros datos a especificar para un transformador de corriente son:

LA POLARIDAD

Un aspecto muy importante para todos los transformadores de instrumento es la polaridad. Si se conecta en forma equivocada, se pueden tener resultados erróneos o inclusive ninguno, especialmente en medición, las marcas del primario y secundario en sus terminales indican cuales tienen dirección común en el circuito para el flujo de corriente en cualquier instante del tiempo.

Por lo tanto, la polaridad de un transformador es simplemente una identificación de la terminal primaria y de la terminal secundaria, de manera que satisfagan la condición previamente establecida. Todos los transformadores de instrumento, sean de potencial o corriente, deben tener marcas de polaridad asociadas con al menos una terminal primaria y una secundaria, con alguna clase de marca o señal.

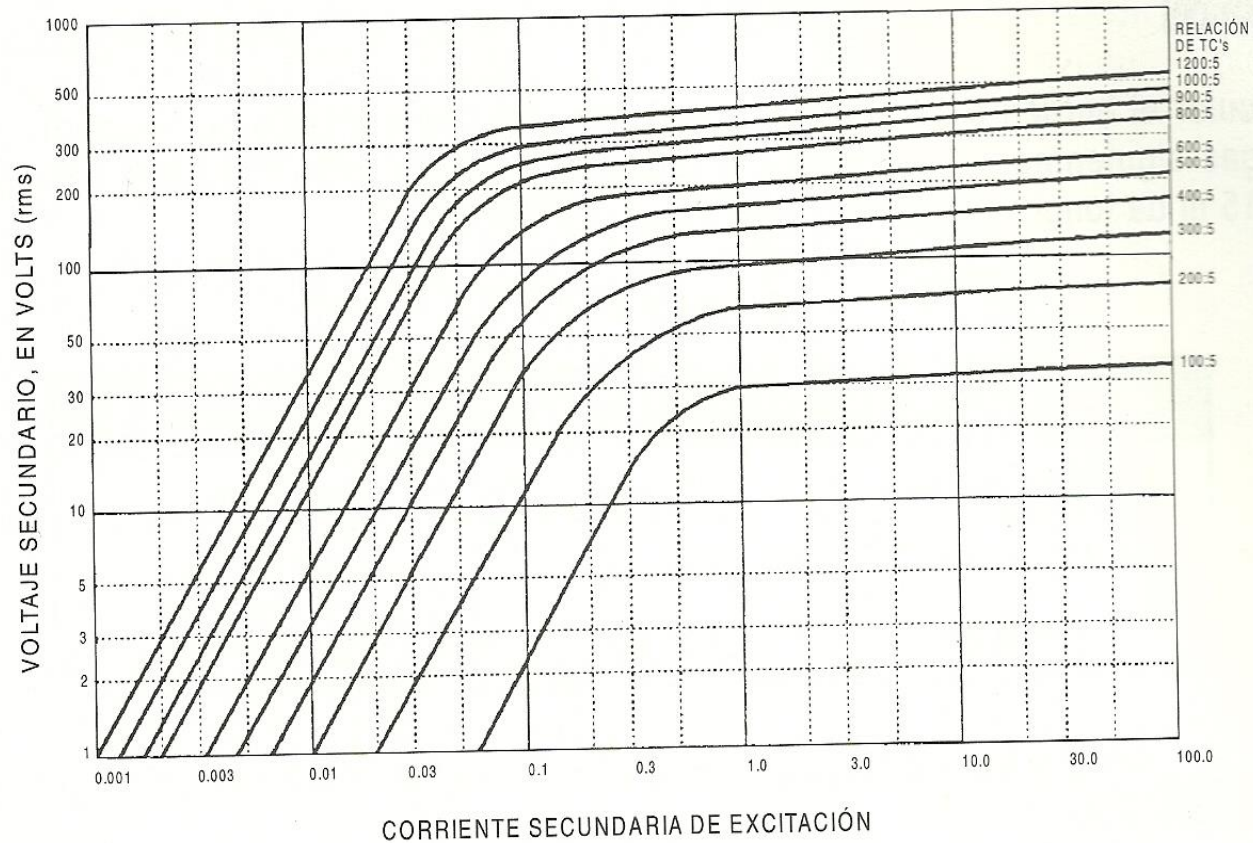
CONDICIONES DE OPERACIÓN

1) Temperatura.

La temperatura exterior es normalmente especificada a 30° C. En sitios o instalaciones cerradas se especifica 55° C.

2) Altitud

Los valores nominales se refieren a una altura hasta 1000 MSNM. Para alturas mayores sobre el nivel del mar, se requiere indicar en la especificación.



CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE MAGNETIZACIÓN PARA
UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

DATOS PARA ESPECIFICACION

- 1.La relación de transformación, las curvas de factor de corrección y ángulo de fase para los burdens estándar.
- 2.La corriente de cortocircuito de efectos dinámicos (esfuerzos mecánicos) y térmicos.
- 3.Clasificación del TC para protección, con su designación T o C.
- 4.Resistencia del devanado secundario.
- 5.Curva típica de excitación.
- 6.Pruebas de producción.

EJEMPLO

Calcular el burden o carga para un transformador de corriente que alimenta las cargas siguientes, alimentadas por cable de control del No. 10 AWG de cobre de 15 m. de longitud total.

C A R G A S		
DISPOSITIVO	RESISTENCIA	REACTANCIA
WATTHORÍMETRO	0.013 ohms	0.044 milihenry
WÁTTMETRO	0.023 ohms	0.260 milihenry
AMPÉRMETRO	0.055 ohms	0.270 milihenry

SOLUCION

La resistencia de los cables de control de cobre del No. 10 AWG es: $R_c = 3.27\Omega \text{ Km}$. la resistencia total es:

$$R_c = \frac{3.27 \times 15}{1000} = 0.049\Omega$$

La resistencia total es :

$$R_T = 0.013 + 0.023 + 0.055 + 0.049 = 0.140\Omega$$

La potencia activa:

$$P = R_T I^2 = 0.140 \times (5)^2 = 3.525 \text{ Watts}$$

La potencia reactiva:

$$Q = X_T I^2 = 2\pi f L_T I^2$$

$$Q = 2\pi \times 60 \times (0.044 + 0.266 + 0.270) \times (5)^2 = 5.41 \text{ VAR}$$

La potencia aparente total:

$$VA = \sqrt{(3.525)^2 + (5.41)^2} = 6.46$$

El factor de potencia:

$$\cos\theta = \frac{P}{S} = \frac{3.525}{6.46} = 0.546$$

El valor total de la impedancia de carga es:

$$ZT = \frac{VA}{I^2} = \frac{6.46}{(5)^2} = 0.26 \text{ ohms}$$

La carga o burden del transformador de corriente es entonces:

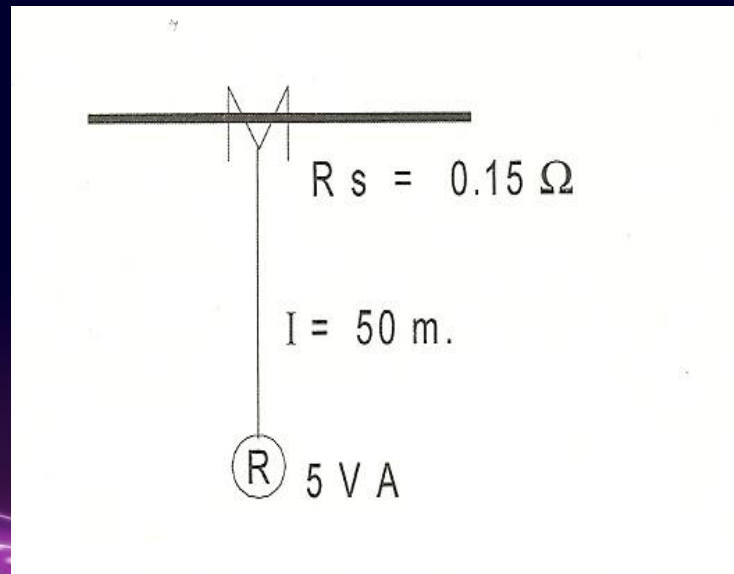
$$ZT = 0.26 \text{ ohms, o bien, } 6.46 \text{ VA}$$

Nota: Datos para cables de control.

CALIBRE AWG	DIÁMETRO NOMINAL mm	RESISTENCIA NOMINAL Ohms/km a 20°C
10	2.588	3.277
12	2.052	5.208
14	1.628	8.288

EJEMPLO

Calcular el burden de un transformador de corriente (TC) que tiene una relación de transformación de 150/5 y una resistencia en el secundario de 0.15 ohms. Sus terminales del secundario están conectadas a un relevador cuya carga es de 5 VA por medio de un cable de 10 mm² de sección transversal y 50 m de longitud la resistividad del cable es de 0.0175 ohm-mm²/m.



La carga del devanado secundario del TC es:

$$VA_s = R_s \times I_s^2 = 0.15 \times 5^2 = 3.75$$

La carga del cable de control es:

$$VA = \frac{2 R_\ell \ell}{A} I_s^2$$

Donde:

R = Resistividad del cable en ohm-mm²/m.

A = Área del conductor en mm².

ℓ = Longitud del cable en un

$$VA_{\text{cable}} = \frac{2 \times 0.0175 \times 50 \times (5)^2}{10} = 4.4 \text{ VA}$$

Los VA del relevador son: $VA_{\text{rel}} = 5$

Por lo tanto, el burden total es:

$$VA_t = VA_s + VA_{\text{cable}} + VA_{\text{rel}}$$

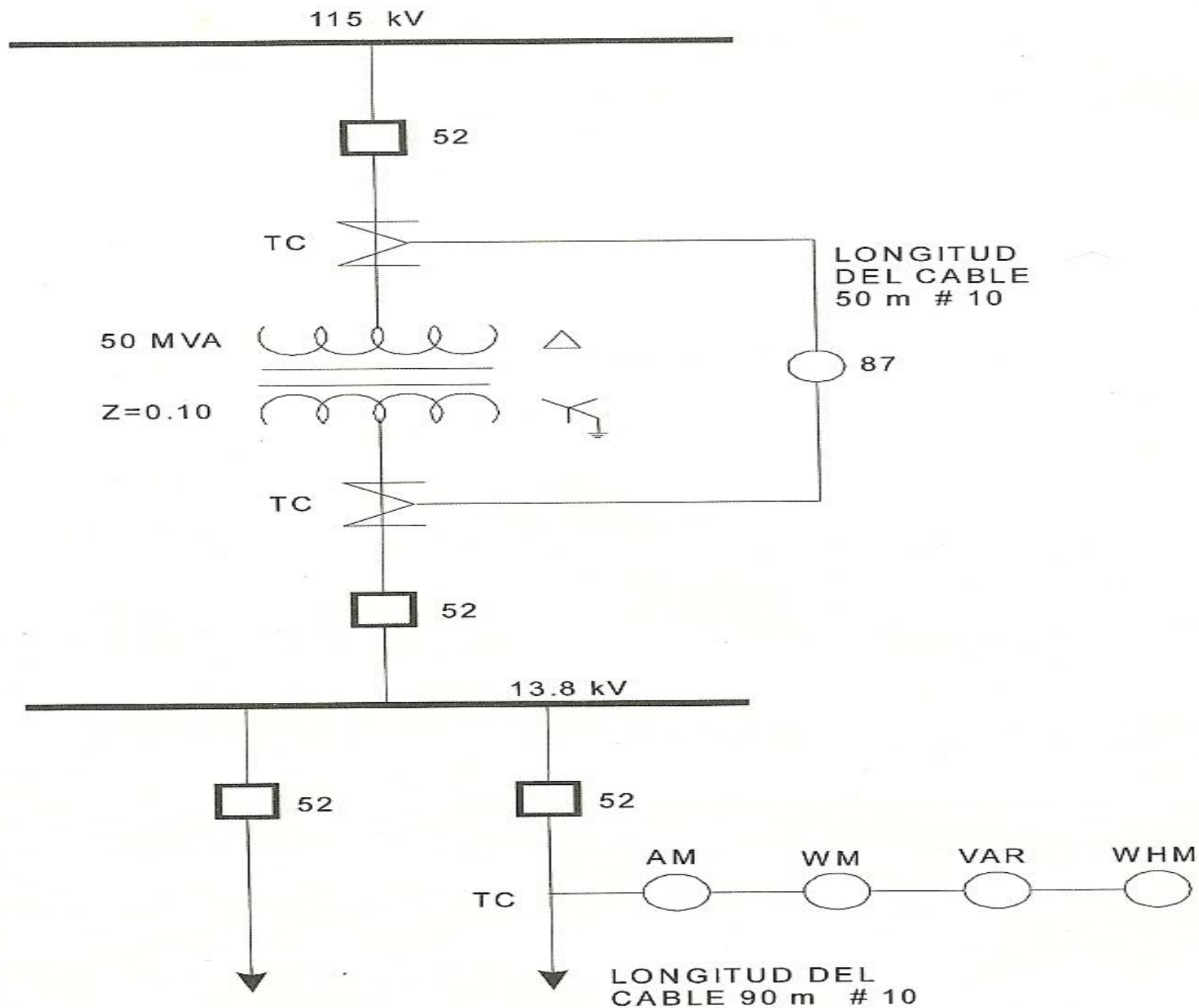
$$VA_t = 3.75 + 4.4 + 5.0 = 13.15$$

EJEMPLO

Para el sistema mostrado en la figura y los datos indicados, seleccionar la relación de transformación, la clase de precisión y el burden de los transformadores de corriente.

Datos de carga:

Ampérmetro	(AM)	$2VA \cos\theta = 1.0$
Relevador diferencial	(87)	$3VA \cos\theta = 0.5$
Wáttmetro	(WM)	$5VA \cos\theta = 0.6$
Watthorímetro	(WHM)	$10VA \cos\theta = 0.7$



SOLUCION

Lado de 115 KV

Calculo de la corriente primaria:

$$\frac{P}{3} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} I_P \quad ; \quad I_P = \frac{\sqrt{3}P}{3V_{LL}} = \frac{3(50 * 10^6)}{3(115 * 10^3)} = 251.02A$$

Para encontrar el burden total, se necesita la carga del cable de control y la del relevador diferencial, para esto es necesario expresar estos valores en Watts o Var's.

Relevador diferencial:

$$\cos^{-1} 0.5 = 60^\circ$$

$$W = VA * \cos 60 = (3)(0.5) = 1.5 \text{ Watts}$$

$$VAR = VA * \sin 60 = (3)(0.866) = 2.6 \text{ VAR}$$

Cable de control:

$$R_{\text{conductor}} = (50 \text{ mts})(0.0038 \Omega/\text{mts}) = 0.19 \Omega$$

$$W = R_{\text{conductor}} I_s^2$$

$$W = (0.19)(5)^2 = 4.75 \text{ Watts}$$

$$\begin{aligned} \text{WattsTOTAL} &= \text{Watts relevador} + \text{Watts cable} \\ &= 1.5 + 4.75 = 6.25 \text{ Watts} \end{aligned}$$

$$\text{VAR total} = \text{VAR relevador} = 4.33 \text{ VAR}$$

$$\begin{aligned} \text{VA total} &= \sqrt{\text{watts}^2 \text{total} + \text{VAR}^2 \text{total}} = \sqrt{(6.25)^2 + (4.33)^2} \\ \text{VA total} &= 7.6033 \text{ VA} \end{aligned}$$

El burden del T.C. del lado de 115 KV es de 7.6033 VA

Las especificaciones principales del TC son:

- Corriente primaria: 300 A
- Corriente secundaria: 5 A
- Relación de transformación: $300/5=60$
- Clase de precisión: 1.2 (NORMAS SEGÚN ANSI)

Para el lado de 13.8 kV se tiene:

$$I_P = \frac{\sqrt{3P}}{3V} = \frac{\sqrt{3}(50 * 10^6)}{3(13.8 * 10^3)} = 2091 A$$

Carga del devanado secundario:

Cable:

$$W = R_{\text{conductor}} I_s^2 = 0.19 (5)^2 = 4.75 \text{ W}$$

Relevador diferencial:

$$\text{Watts} = VA_{\cos 60} = (3)(0.5) = 1.5 \text{ Watts}$$

$$VA = VA_{\text{sen } 60} = (3)(0.866) = 2.6 \text{ VAR}$$

$$\text{Watts}_T = \sqrt{(6.25)^2 + (4.33)^2} = 7.6033 \text{ VA}$$

$$\text{VAR}_T = 4.33 \text{ VAR}$$

El burden del devanado secundario es 7.6033 VA.
Siendo las mismas especificaciones del lado secundario y primario.

CALCULO PARA LOS CIRCUITOS CONECTADOS EN EL LADO DE 13.8 kV.

Se considera que los dos circuitos conectados se encuentran balanceados, es decir, que cada circuito tiene 25 MVA de carga.

$$I = \frac{\sqrt{3}P}{3V} = \frac{\sqrt{3}(25 \cdot 10^6)}{3(13.8 \cdot 10^3)} = 1045 \text{ A}$$

Se calcula la carga Watts y VAR.

Para el cable:

$$W = R_{\text{cond}} I^2 = (90 \text{ mts})(0.0038 \text{ } \Omega/\text{m})(5)^2 = 8.55 \text{ W}$$

Ampérmetro:

$$\cos^{-1} 1 = 0^\circ$$

$$W = VA_{\cos} 0^\circ = 2(1) = 2 \text{ W}$$

$$VAR = VA_{\sin} 0^\circ = 0$$

Vármetro:

$$\cos^{-1} 0.3 = 72.54^\circ$$

$$W = VA_{\cos} 72.54 = 5(0.3) = 1.5 \text{ W}$$

$$VAR = VA_{\sin} 72.54 = 5(0.9539) = 4.7696 \text{ VAR}$$

Wattthorímetro:

$$\cos^{-1} 0.7 = 45.57^\circ$$

$$W = VA_{\cos} 45.57 = 10(0.7) = 7 \text{ W}$$

$$VAR = VA_{\sin} 45.57 = 10(0.714) = 7.141 \text{ VAR}$$

$$W_T = 8.55 + 2 + 1 + 1.5 + 7 = 20.05 \text{ Watts}$$

$$VAR_T = 1.732 + 4.7696 + 7.141 = 13.6426 \text{ VART}$$

$$VA = \sqrt{W_T^2 + VAR_T^2} = \sqrt{(20.05)^2 + (13.6426)^2}$$

$$VA = 24.25 \text{ VA}$$

La carga para el transformador es 24.25 VA

Se tienen las siguientes especificaciones para el TC:

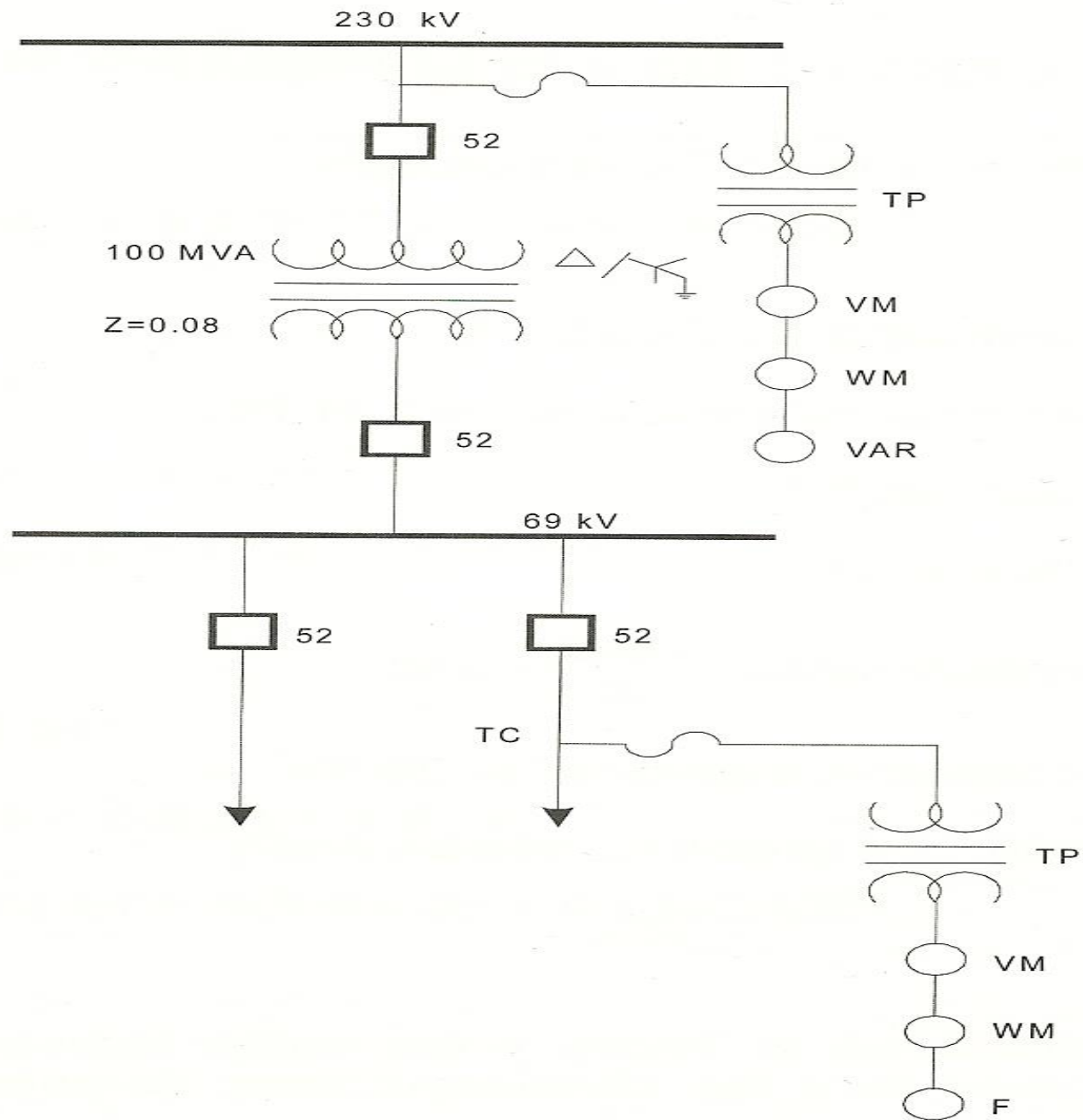
- Corriente primaria: 1200 A
- Corriente secundaria: 5 A
- Relación de transformación: $1200/5=240$
- Potencia en el devanado secundario: 25 VA
- Clase de precisión: 1.2 (NORMAS SEGÚN ANSI)

EJEMPLO

Para el sistema mostrado en la figura y los datos indicados, seleccionar las características principales para los transformadores de potencial.

Datos de carga:

Vóltmetro	(VM)	3VA	$\cos \theta = 1.0$
Frecuencímetro	(F)	3VA	$\cos \theta = 0.1$
Wáttmetro	(WM)	5VA	$\cos \theta = 0.6$
Vármetro	(VAR)	5VA	$\cos \theta = 0.3$



PARA EL LADO DE 230 KV

Para encontrar el valor del burden, se hace la suma de todas las cargas incluyendo sus componentes en Watts y Vars.

Vóltmetro:

$$\cos^{-1} 1 = 0^\circ$$

$$W = VA_{\cos} 0^\circ = 3(1) = 3 \text{ W}$$

$$\text{VAR} = VA_{\sin} 0^\circ = 0$$

Wáttmetro:

$$\cos^{-1} 0.6 = 53.13^\circ$$

$$W = VA_{\cos} 53.13 = (5) (0.6) = 3 \text{ W}$$

$$\text{VAR} = VA_{\sin} 53.13 = (5) (0.8) = 4 \text{ VAR}$$

Vármetro:

$$\cos^{-1} 0.3 = 72.54^\circ$$

$$W = VA_{\cos} 72.54 = (5) (0.3) = 1.5 \text{ W}$$

$$\text{VAR} = VA_{\sin} 72.54 = (5) (0.9539) = 4.7696 \text{ VAR}$$

$$W_T = 3 + 3 + 1.5 + 7.5 \text{ W}$$

$$\text{VAR}_T = 4 + 4.7696 = 8.7696 \text{ VAR}$$

$$VA_T = \sqrt{(W_T)^2 + (\text{VAR}_T)^2} = \sqrt{(7.5)^2 + (8.7696)^2}$$

$$VA_T = 11.5393 \text{ VA}$$

$$\text{fp} = \frac{W_T}{VA_T} = \frac{7.5}{11.5393} = 0.6499 \quad \cos^{-1} 0.6499 = 49.46^\circ$$

Las especificaciones del TP son:

- Voltaje primario: $\frac{230}{\sqrt{3}} \text{ kV}$
- Voltaje secundario: $120/\sqrt{3} \text{ V}$
- Relación de transformación: $\frac{230/\sqrt{3}}{120/\sqrt{3}} = 1.916$
- Potencia devanado secundario: 25 MVA
- Designación: X
- Para el lado de 69 kV.

LA PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES

La protección de transformadores de potencia es un tema relativamente variado, debido a que, dependiendo de la protección de la potencia y el nivel de tensión, es el grado de protección que se le puede aplicar. De esta manera, se encuentran diferencias importantes en los dispositivos de protección usados. Por otra parte, se puede considerar que los transformadores por ser máquinas estáticas, tienen un número de fallas relativamente bajo a otros elementos o componentes del sistema. Sin embargo, no están exentos de fallas, y cuando llega a fallar, puede ser que la falla sea aparatosa y grave, ya que en algunos casos se puede presentar hasta incendio.

Es frecuente también que la magnitud de las corrientes de falla interna sea baja en comparación con la corriente nominal o de plena carga, por lo que la protección requiere de una alta sensibilidad y rapidez de operación.

Las condiciones anormales que se pueden presentar en un transformador se agrupan como:

- ❖ Fallas incipientes
- ❖ Fallas internas
- ❖ Fallas eléctricas

Las llamadas fallas incipientes en su etapa inicial no son serias, pero en ocasiones, cuando no se libran pronto, pueden dar lugar a fallas mayores. Dentro de esta categoría de fallas se pueden presentar las siguientes:

- ❖ Fallas de aislamiento en los tornillos sujeción de las laminaciones de los núcleos y del aislamiento que los recubre.
- ❖ Puntos calientes por conexiones de alta resistencia i defectos en las bobinas, que producen puntos de calentamiento localizados o eventualmente con producción de arco eléctrico.

- ❖ Arcos eléctricos entre devanados y el núcleo o al tanque, debido a sobretensiones por descargas atmosféricas.
- ❖ Fallas en el sistema de enfriamiento (en el caso de transformadores con enfriamiento por aceite por ejemplo) como pueden ser nivel bajo de aceite, o bien obstrucción del flujo de aceite.

Las llamadas **fallas eléctricas** son más graves y notorias en tanto mas grande es el transformador (de mayor capacidad), dentro de estas se encuentran las fallas de aislamientos por sobretensión de origen atmosférico, o bien, por maniobras de interruptores para los conectados a redes en altas tensión.

Las corrientes de cortocircuito pueden producir movimiento en las bobinas o entre las bobinas y el núcleo.

- ❖ Fallas en los contactos de los cambiadores de derivaciones, que producen puntos calientes, o bien, cortocircuito entre derivaciones.
- ❖ Fallas en el aislamiento debido al envejecimiento natural o prematuro de los transformadores.
- ❖ Presencia de humedad en el aceite de los transformadores enfriados por aceite.

Se puede decir que no existe un criterio estándar para la protección de transformadores, ya que dependen de varios factores, entre otros, uno muy importante en su capacidad y nivel de tensión en que son aplicados.

PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE MÁS DE 600 V EN INSTALACIONES INDUSTRIALES.

En general, este tipo de transformadores requiere por norma, al menos, la llamada protección **contra sobrecorriente**. En este caso, cuando se aplica la palabra, se quiere decir un transformador o un banco de dos o tres transformadores monofásicos operando como una unidad trifásica.

Protección primaria

Cuando se usan fisibles, su capacidad se debe designar a no más del 250% de la corriente nominal o de plena carga en el primario del transformador. Las normas técnicas para instalaciones permiten el uso del siguiente tamaño o valor normalizado, si el valor calculado con el 250% no corresponde con el valor estándar del fusible.

Si se usa interruptor, su valor no debe ser mayor de 300% de la corriente nominal primaria. Cuando el valor calculado con el 300% no corresponda con una cantidad normalizada, entonces, se usa el valor normalizado inferior. Existen algunas excepciones a esta regla, que deben ser consultas

Protección primaria y secundaria

Para comprender los artículos de las normas técnicas para instalaciones eléctricas relacionados con la protección de transformadores, son necesarias algunas aplicaciones sobre terminología y frases.

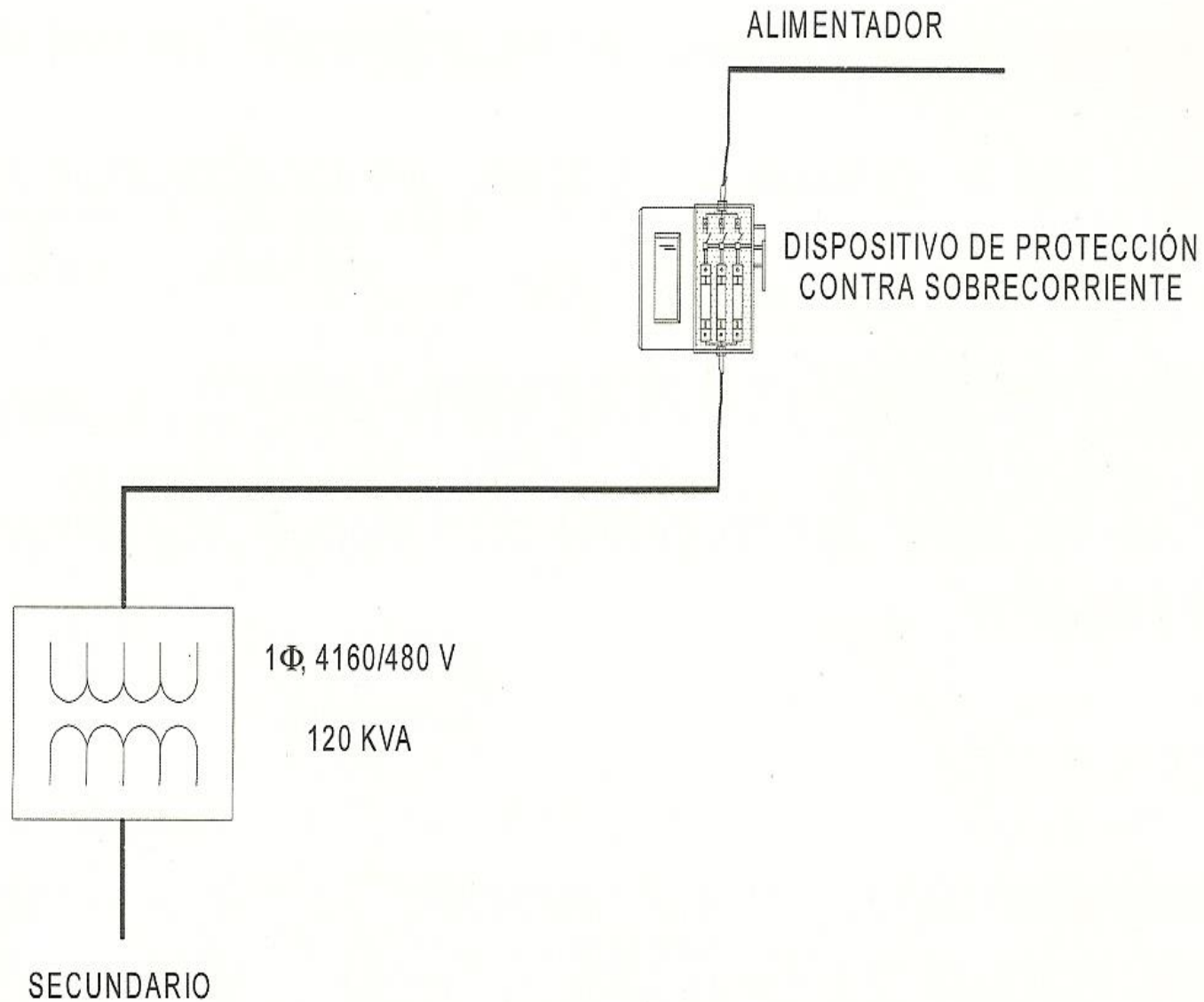
El dispositivo de sobrecorriente del alimentador primario es el dispositivo que está localizado en la fuente en la fuente de alimentación del transformador. Por ejemplo, los fusibles a los interruptores conectados al bus.

Los dispositivos de sobrecorriente individuales en las conexiones primarias son, por lo general, aquellos dispositivos localizados cerca del mismo transformador.

Ejemplo

En las figuras siguientes, se muestra la instalación para un transformador monofásico con una localización supervisada y cuyos datos se muestran en el diagrama.

- a) Si se usa fusibles para proteger al primario, calcular el tamaño del mismo
- b) Si en lugar del fusible se usa interruptor para proteger el primario, calcular el tamaño del mismo.



Solución

a)

$$I = \frac{KVA \cdot 1000}{V} = \frac{120 \cdot 1000}{4160} = 29 A$$

Si se protege con fusible, se puede usar el 250%, de modo que:

$$29 \times 2.5 = 72 A$$

Se puede seleccionar fusible de 90 A

b) si se usa un interruptor para proteger el transformador:

$$I = \frac{KVA \cdot 1000}{V} = \frac{120000}{4160} = 29 A$$

En este caso se puede tomar el 300% de corriente, o sea:

$$29 \times 3.0 = 87 A$$

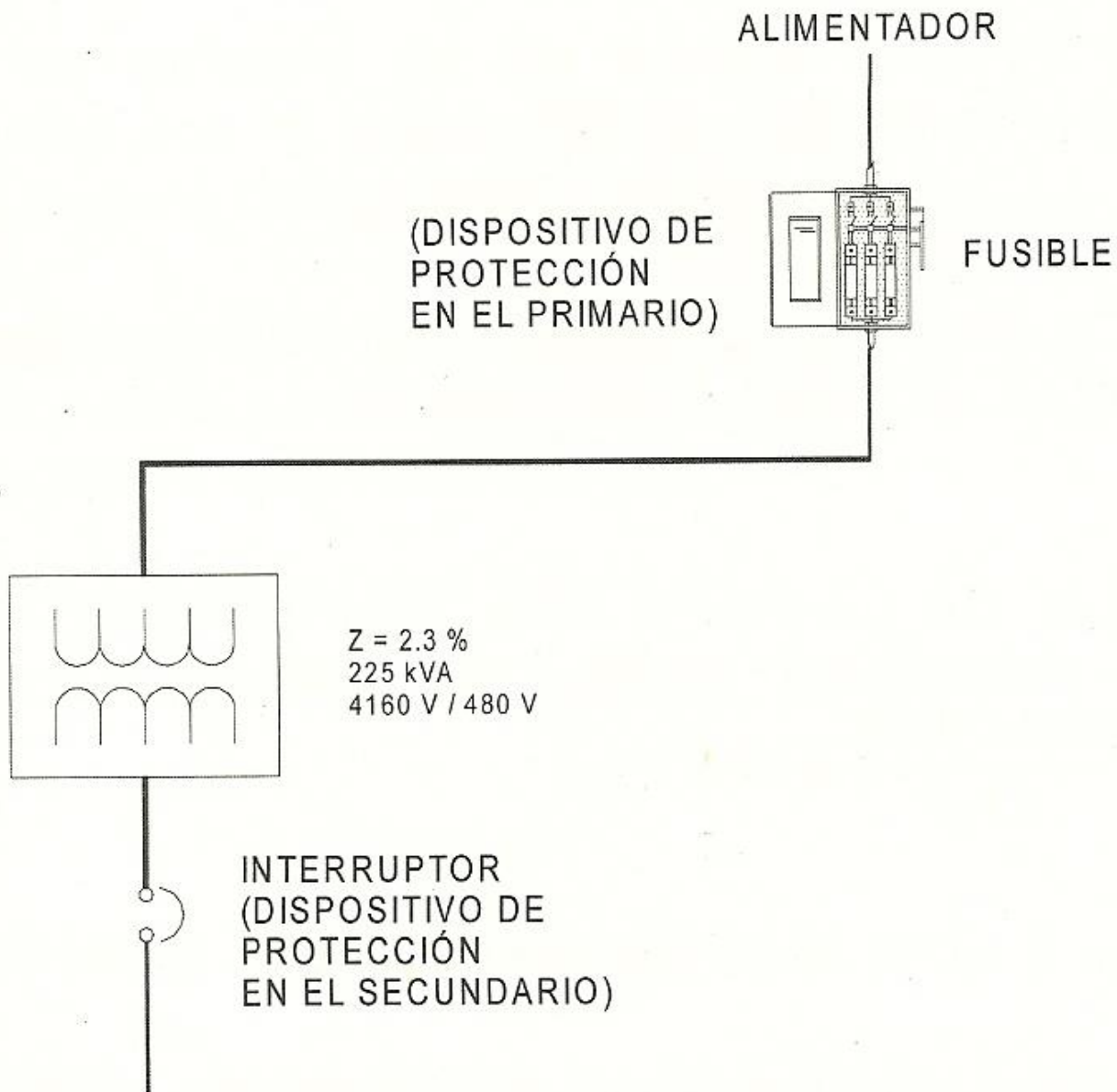
Se puede usar un interruptor de 90 A.

Ejemplo

Para el transformador mostrado en la figura, que es trifásico de 225 KVA, 4160/480 V, $Z=2.3\%$

a) Determine el tamaño del fusible para proteger el primario

b) Si se usa interruptor termomagnético para proteger el secundario ¿Qué tamaño debe tener?



Solución

a) Si se usa fusible para proteger el lado primario del transformador:

$$I = \frac{KVA \cdot 1000}{\sqrt{3} \times V} = \frac{225000}{\sqrt{3} \times 4160} = 31 \text{ A}$$

Usando fusibles se toma el 300% de la corriente nominal del primario, ósea:

$$31 \times 3.0 = 93 \text{ A}$$

En este caso se pueden seleccionar fusibles de 90 A

b) para la protección del secundario por medio de interruptores termomagnético:

$$I = \frac{KVA \cdot 1000}{\sqrt{3} \times V} = \frac{225000}{\sqrt{3} \times 480} = 271 \text{ A}$$

En este caso, se considera el 250% del valor de la corriente nominal en el secundario, es decir:

$$2.5 \times 271 = 677 \text{ A}$$

Ejemplo

En la siguiente figura, se muestra el diagrama unifilar simplificado de un transformador monofásico de 25 KVA, 240 V/120V y se trata de determinar qué tamaño de la protección se debe usar para proteger el primario.



Solución

$$I = \frac{KVA}{V} = \frac{25000}{240} = 104 A$$

Se toma el 125% de la corriente nominal:

$$104 \times 1.25 = 130 A$$

Se puede usar un interruptor de 150 A.

Protección de transformadores de potencia

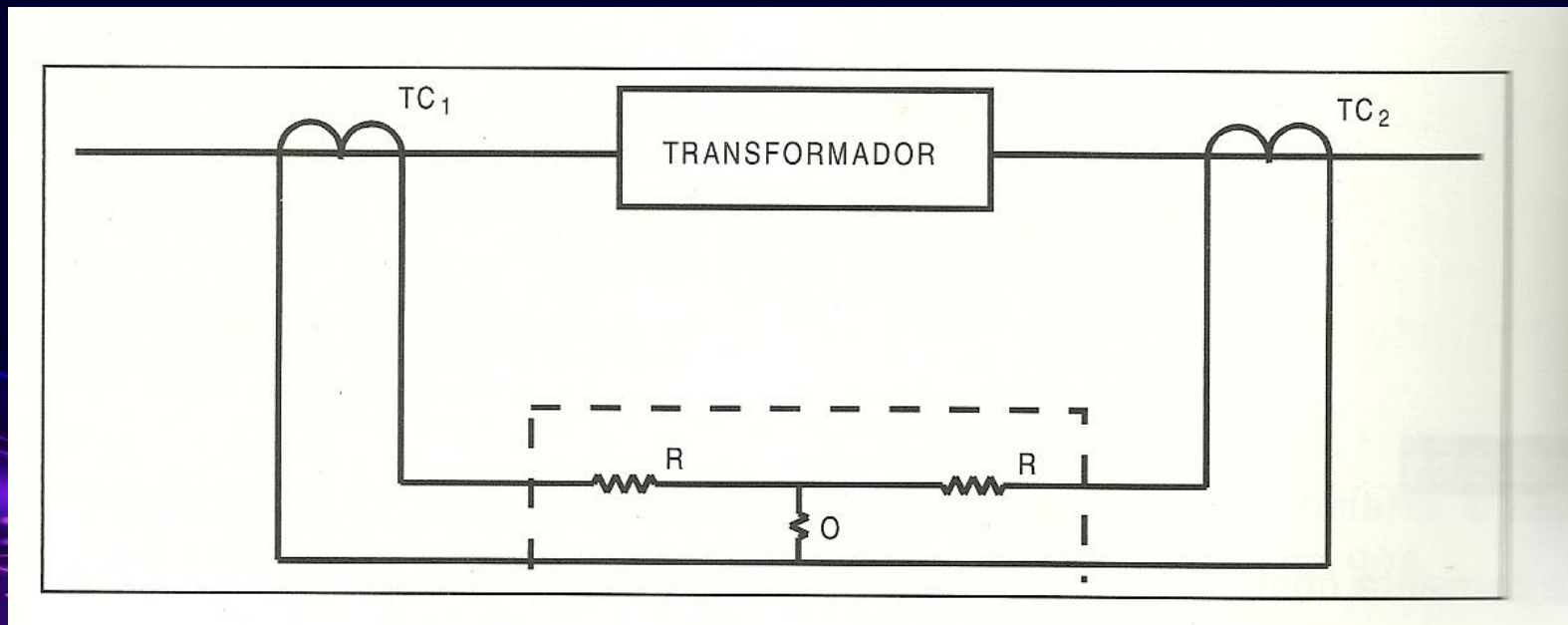
Los transformadores de potencia constituyen la parte más importante de una subestación eléctrica, una falla en estos puede producir una pérdida de alimentación a cargas importante, por esta razón, aun cuando se trata de una maquina estática que tiene un numero de fallas mucho menor que un generador, se pone atención a su protección. El grado de protección que se asigna depende principalmente del tamaño del transformador.

La protección que se va a estudiar que se va a estudiar está enfocada principalmente a los grandes transformadores y consiste de la aplicación de los siguientes esquemas.

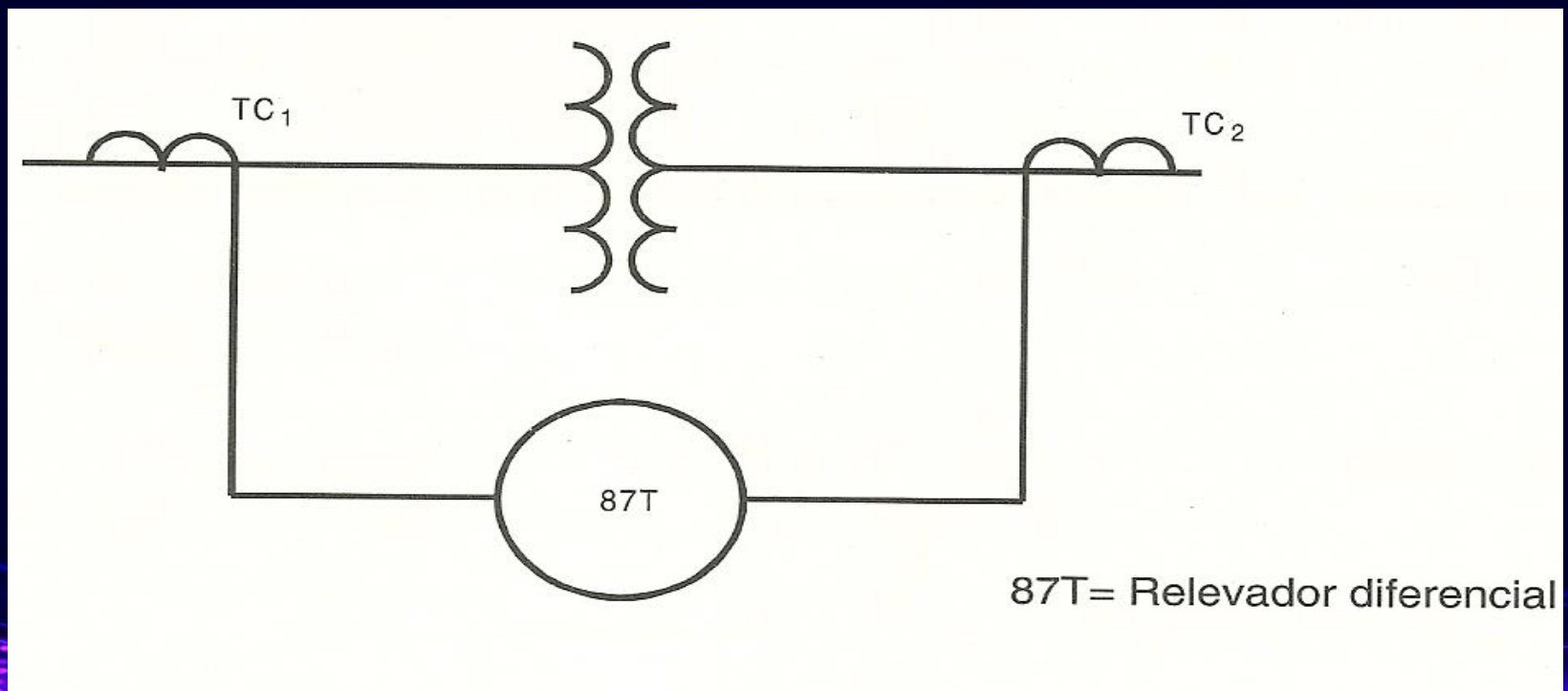
- ❖ Protección diferencial
- ❖ Protección contra presencia de gases (Buchholz).
- ❖ Protección contra fallas a tierra.

PROTECCIÓN DIFERENCIAL

Esta protección está dirigida hacia la fallas internas en los transformadores, se lleva a cabo por un relé diferencial y su aplicación es similar la protección diferencial de los generadores



El esquema unifilar de representación es el siguiente



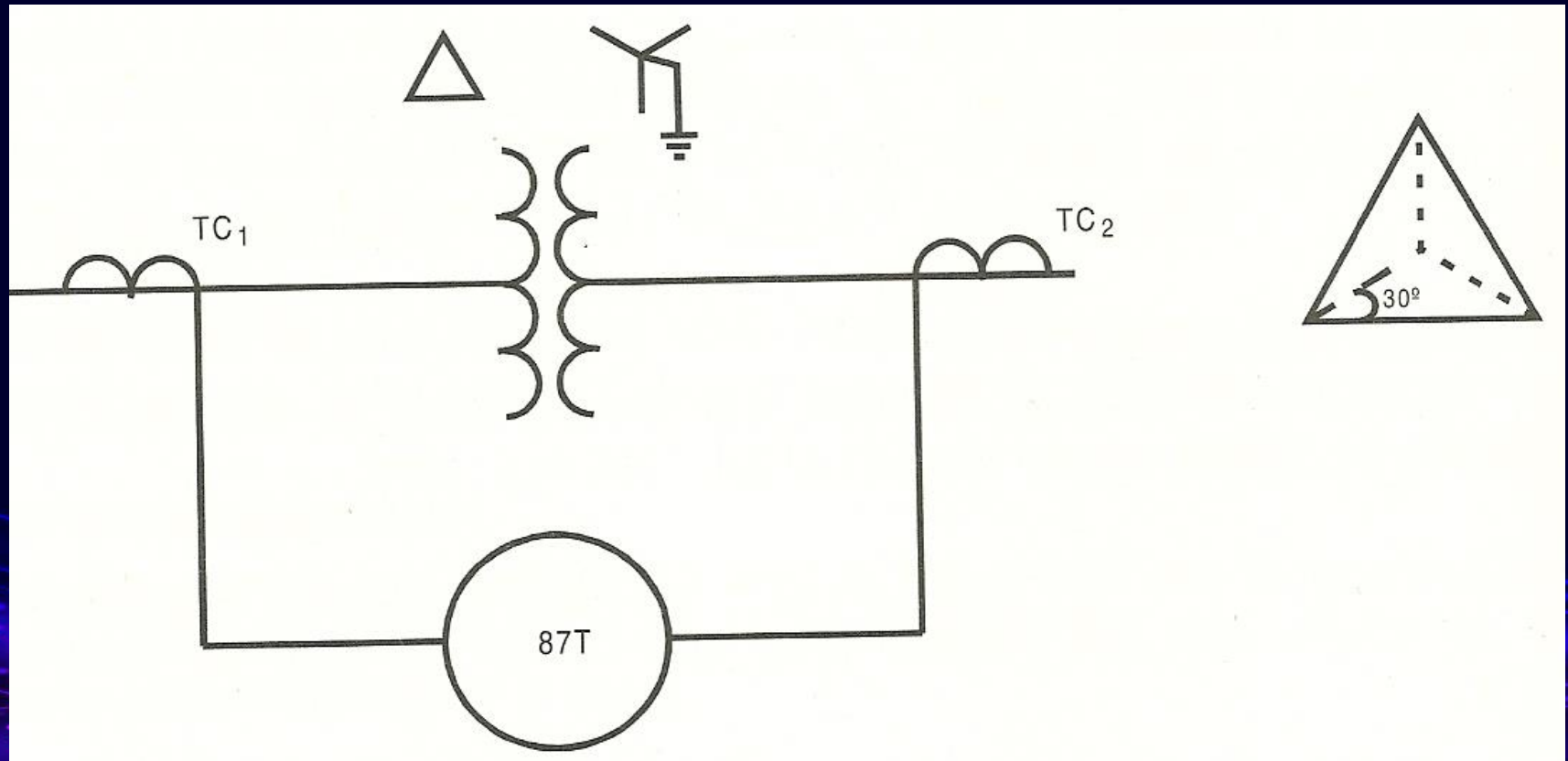
Protección diferencial de los transformadores s diferencia de los generadores se debe considerar los siguientes aspectos:

- a) Los transformadores tienen 2 o 3 devanados con distinta conexión, lo cual no ocurre con los generadores que tienen un solo devanado en el estator.
- b) Los devanados de los transformadores operan a diferente voltaje, lo que no ocurre con los generadores que lo asen al voltaje de generación
- c) Cada devanado del transformador debe tener una conexión distinta, lo que no se tiene con los generadores.

Adicionalmente la protección diferencial en los transformadores se debe tomar en consideración los siguientes factores:

1. Cuando un transformador de potencia se energiza estando en vacío, se presenta una corriente de magnetización en el lado de **energización**. Esta corriente de magnetización tiene un alto contenido de armónicas.
2. La protección diferencial de los transformadores debe prever la diferencia de estas armónicas para que no se produzca una operación falsa, por esta razón la diferencia se debe especificar con “restricción de armónicas”, las armónicas que son notorias son aquellas de orden bajo 3^a, 5^a, 7^a, etcétera.

3. La conexión de los transformadores de corrientes en ambos lados de la diferencial deben tomar en consideración el desfaseamiento de la conexiones delta- estrella en el transformador de potencia, ya que como se sabe en forma natural tiene 30° de desfaseamiento entonces la corriente entra por un lado al relevador estaría desfasada a 30° respecto a la corriente del otro lado.



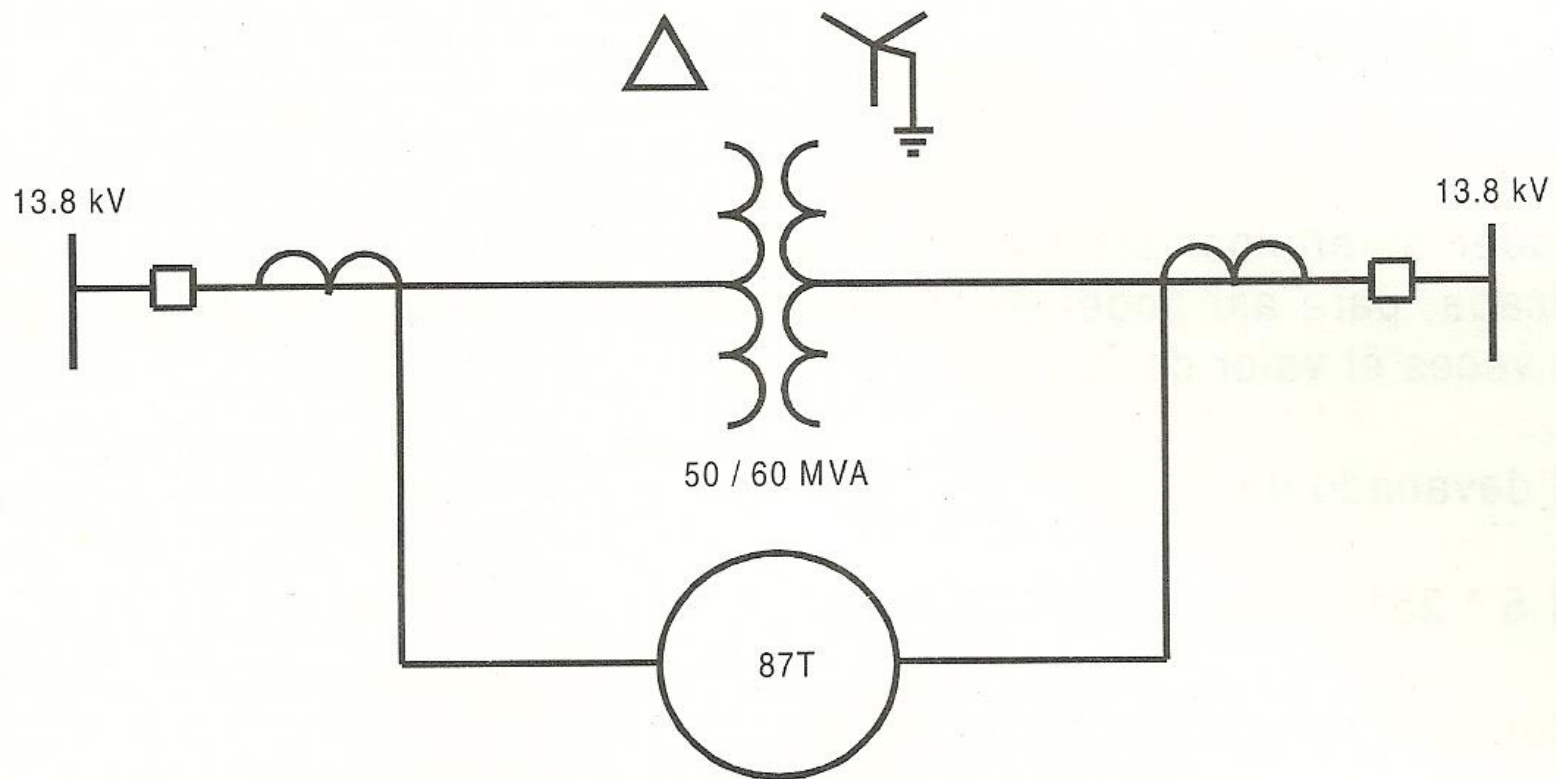
Para evitar este desfaseamiento se da una solución práctica y simple que consiste en conectar los TC'S en ambos lados del diferencial en conexión, opuesta al devanado del transformador de potencia correspondiente.

CONEXIÓN DEL DEVANADO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA	CONEXIÓN DE LOS TC'S DE LA DIFERENCIAL
 (DELTA)	 (ESTRELLA ATERRIZADA)
 (ESTRELLA ATERRIZADA)	 (DELTA)

Ejemplo

Para el transformador mostrado en la siguiente figura, se usa un relevador diferencial porcentual y se desea calcular lo siguiente:

- a) La relación de transformación de los TC's en ambos extremos de la diferencial, así como su conexión.
- b) Para los taps indicados, seleccionar en cada lado el tap correspondiente y calcular el error de la pendiente.



TAPS			
13.8		138	
2.9	4.2	2.9	4.2
3.2	4.6	3.2	4.6
3.5	5.0	3.5	5.0
3.8	8.7	3.8	8.7

Solución

Para calcular la relación de transformación de los TC's se considera la corriente correspondiente a la potencia del mayor paso de enfriamiento, que en este caso es 60 MVA, por lo tanto:

Para el devanado de 13.8 KV tenemos:

$$I_P = \frac{60000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 13.8 \text{ KV}} = 2510.2187 \text{ Amps}$$

Para el devanado de 138 KV tenemos:

$$I_S = \frac{60000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 138} = 251.021 \text{ Amps}$$

Para poder determinar las corrientes primarias de los TC's se aplica la regla simplificada, para así poder evitar saturación, y esta consiste en multiplicar por 1.5 veces el valor de la corriente nominal, por lo tanto:

Para el devanado de 13.8 KV, los TC's son:

$$1.5 * 2510.2185 = 3765.32 \text{ Amps}$$

Por lo tanto, el valor más próximo es de:

$$RTC = 4000/5$$

Para el devanado de 138, los TC's son:

$$1.5 * 251.021 \text{ A} = 376.531 \text{ Amps}$$

Por lo tanto, el valor más próximo es de

$$RTC = 400 / 5$$

Las conexiones del TP y los TC's, se conectan como sigue:

En el lado de 13.8 KV, los TC's se conecta en estrella.

En el lado de 138 KV, los TC's se conectan en delta.

Pero para poder calcular las corrientes del secundario de los TC's al relevador, se toma el valor de la potencia del transformador que corresponde al paso de enfriamiento menor, o sea, 50 MVA, esto se debe a que tenemos una mayor sensibilidad.

Por el devanado de 13.8 KV

$$I_P = \frac{50000KVA}{\sqrt{3} * 13.8 KV} = 2091.84 \text{ Amps}$$

Para el devanado de 138 KV:

$$I_P = \frac{50000KVA}{\sqrt{3} * 138 KV} = 209.184 \text{ Amps}$$

Por lo tanto:

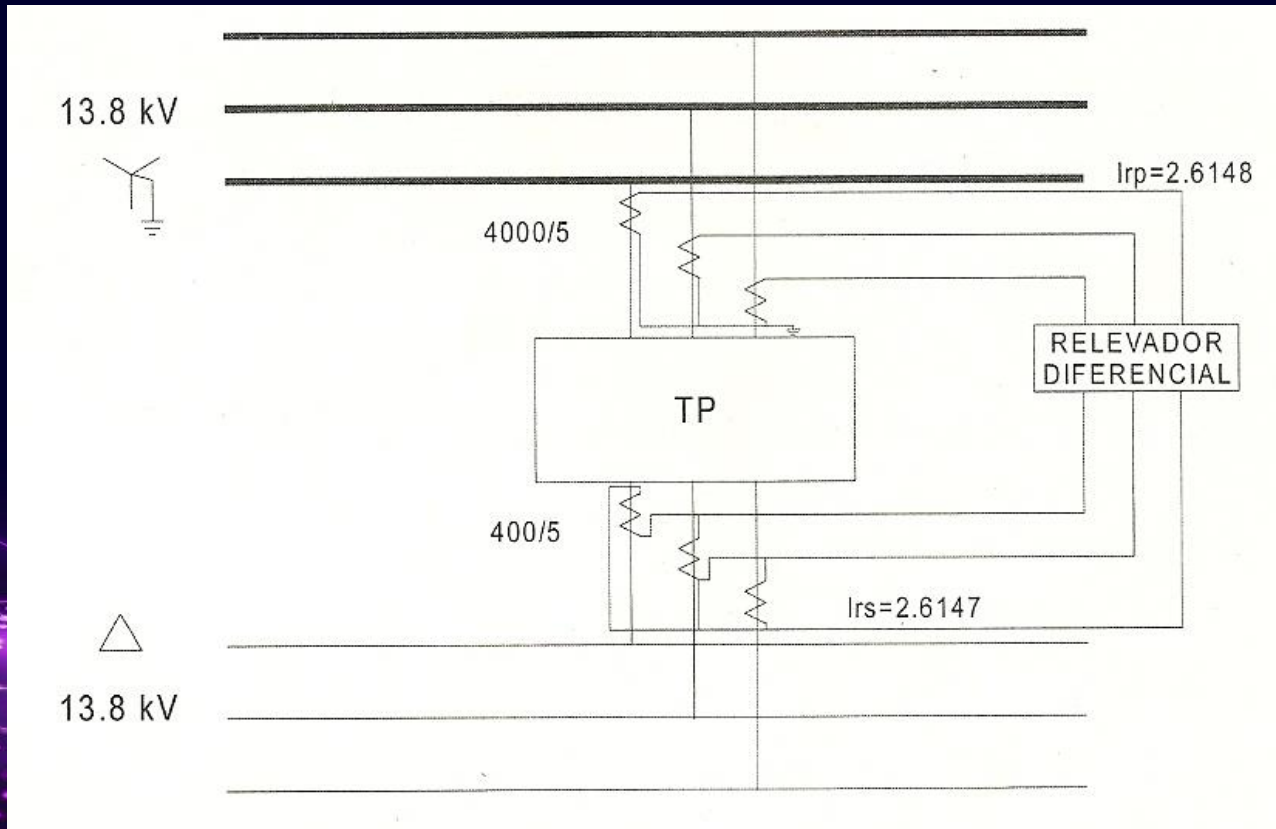
$$I_{SP} = \frac{I_P}{RTC} = \frac{2091.84}{\frac{4000}{5}} = 3.1377 \text{ Amps}$$

La Corriente de los TC's en el lado secundario (138 KV)del transformador es:

$$I_{ss} = \frac{I_s}{R_{TC}} = \frac{209.18}{\frac{400}{5}} = 2.6142 \text{ Amps}$$

Este valor corresponde a la corriente en cada fase de la delta, el valor de corriente al relevador es la corriente de línea de la delta y es igual a:

$$I_{rp} = \sqrt{3} * 2.6147$$
$$I_{rp} = 4.5287$$



Pero como los TC's están conectados en estrella, esta corriente de fase es la misma a la corriente del levador. Los TAP'S que se deben relacionar para el relevador se determinan de acuerdo de acuerdo a los valores indicados en el secundario como sigue:

El TAP máximo a la corriente $I_{rs} = 2.61 \text{ Amps}$, es $TAP = 2.9$

El TAP para el lado primario es $I_{rp} = 4.528$ $TAP = 5.0$

Dados estos valores de TAP seleccionados se procede a determinar el error para determinar así, si los cuales fueron los correctos.

$$Error (\%) = \frac{\left| \frac{TAP_s}{TAP_s} - \frac{I_{rs}}{I_{rp}} \right|}{menor - de - los - valores} * 100$$

$$= \frac{0.003697302}{0.5763026} * 100$$

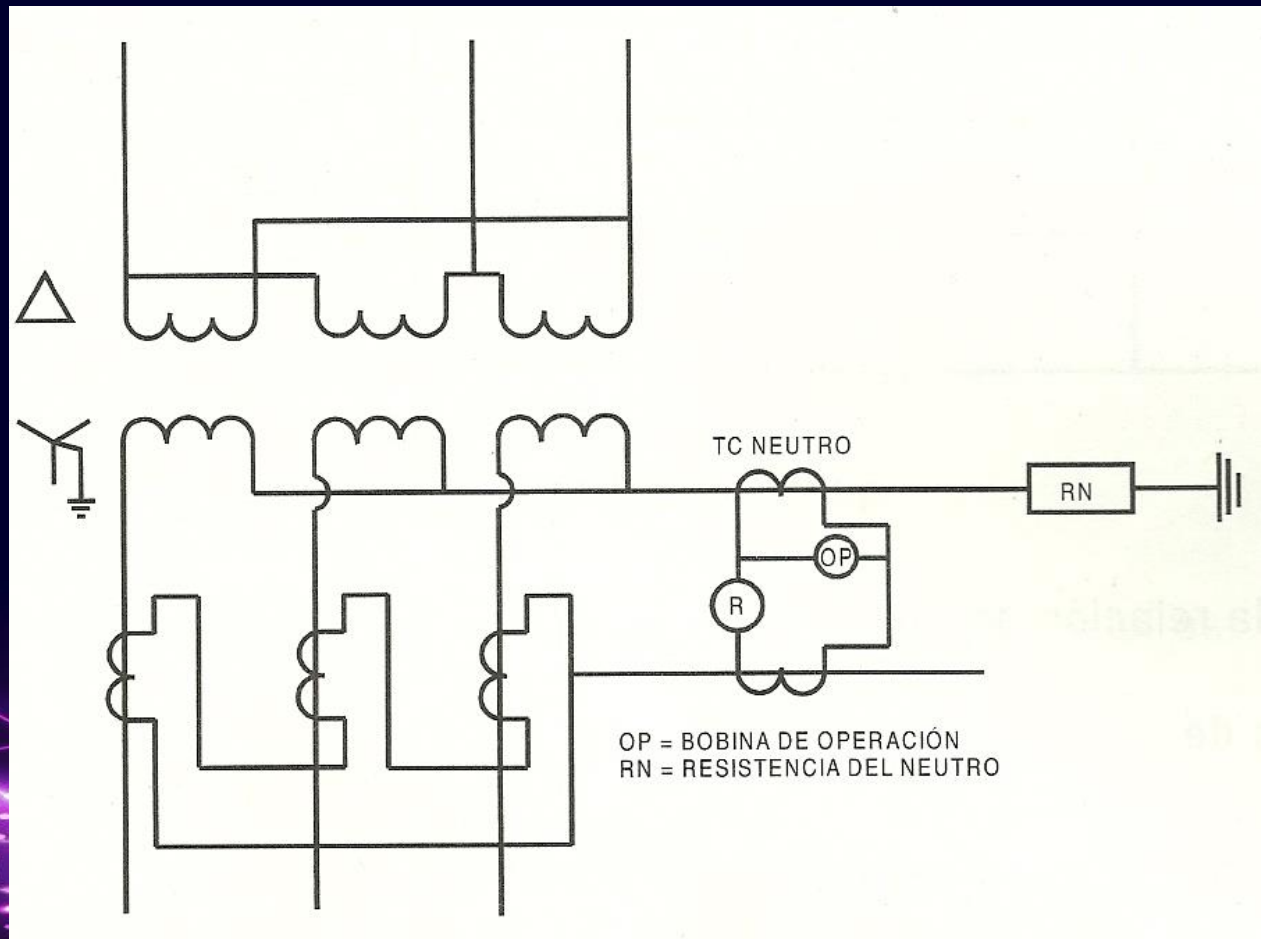
$$Error (\%) = 0.00641555 * 100$$

$$Error (\%) = 0641555\% , que es menor a 15\%$$

PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE TRANSFORMADORES CON NEUTRO CONECTANDO A TIERRA A TRAVÉS DE IMPEDANCIA DE BAJO VALOR

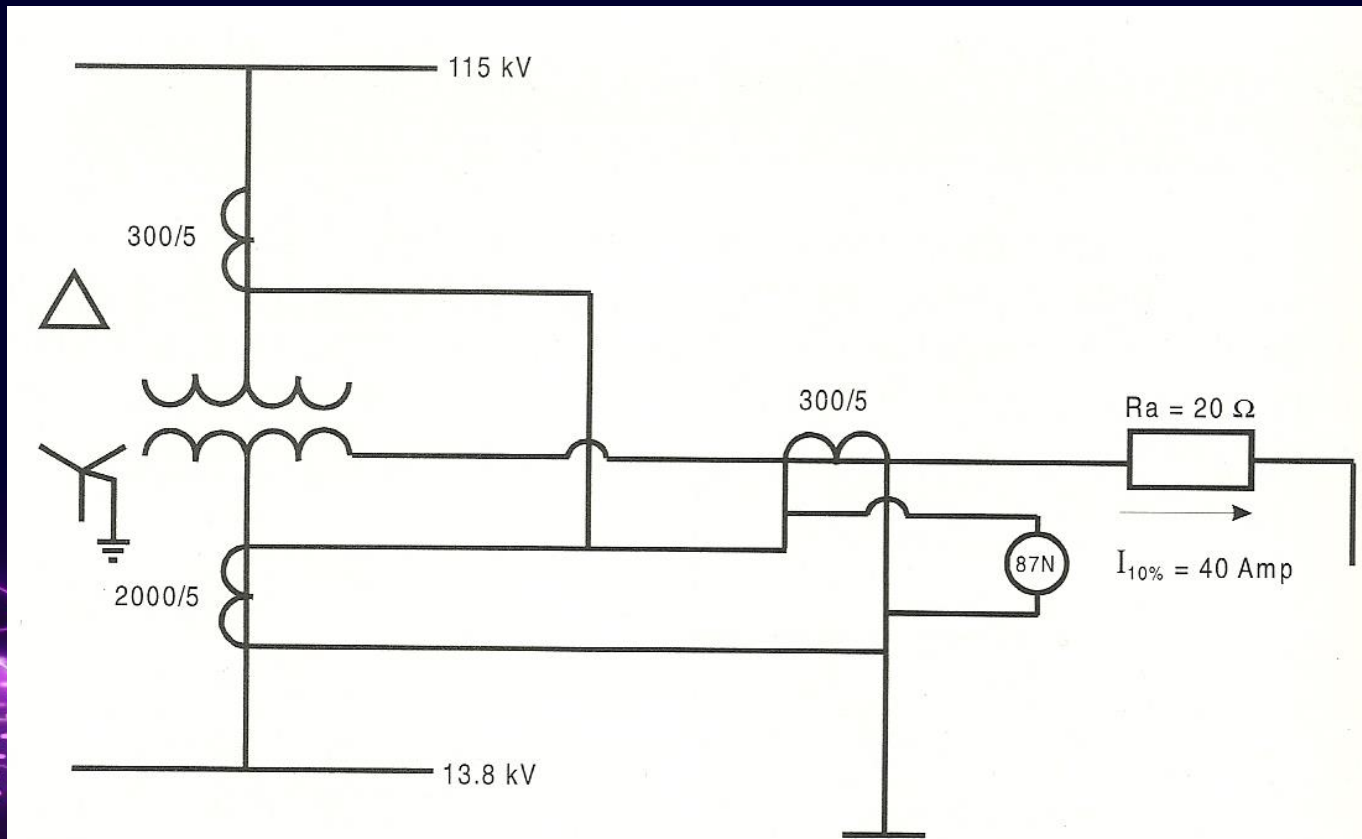
Los transformadores de potencia que se encuentran donde los valores de falla a tierra pueden resultar elevados y requieran de un elemento limitador de corriente en el neutro de la estrella, se puede usar una variante de la protección diferencial para detectar cuando es una falla a tierra.

La RTC de los TC's de fase se selecciona para 1.5 veces la corriente nominal (I_n) y para el TC del neutro RT se calcula con el 50% de la corriente de falla al neutro.



Ejemplo

Calcular la corriente de arranque (Pick-Up) del relevador diferencial del neutro para la protección de un transformador de 40 MVA, 115 – 13.8 KV conexión $\Delta - \text{Y}$ que se conecta a tierra a través de una resistencia de $20\ \Omega$



Solución

Se verifica la relación de los TC's
Para el lado de 115 KV

$$I_p = \frac{40 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 115} = 200.81 \text{ Amp}$$

$$I_p = (1.5)(I_p) = (1.5)(200.81) = 300.1$$

El valor obtenido verifica que la relación 300/5 es adecuada.

El TC de la conexión a tierra se toma como la máxima relación de transformación que los TC's del devanado primario.

Para el lado de 13.8 KV:

$$I_p = \frac{40 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 13.8} = 1673.47 \text{ Amp}$$

$$I_p = (1.5)(I_p) = (1.5)(1673.47) = 2510 \text{ Amp}$$

Como el 1.5 solo es de seguridad para saturación 200/5 adecuada.

Para ajustar la diferencial de tierra, se supone que puede ocurrir una falla en una de las fases del devanado conectado en estrella, a una cierta distancia eléctrica con respecto al neutro. Por ejemplo, se puede considerar aun 10% con relación al neutro.

La corriente máxima de falla a tierra considerando la conexión a tierra a través de una resistencia de 20Ω es:

$$I_{MAX} = \frac{\frac{V_L}{\sqrt{3}}}{R_N} = \frac{\frac{13.800}{\sqrt{3}}}{20} = 398 \text{ A}$$

Tomando el 10% con respecto al neutro.

$$I_{10\%} = \frac{I_{10\%}}{RTC} = \frac{40}{\frac{300}{5}} = 0.67 \text{ Amp}$$

Teniendo lo ajustes del relé se elige uno adecuado. Por ejemplo 0.5 Amp para la alimentación por el lado de 115 KV, la corriente en el secundario de los TC's es:

$$I_N = \frac{I_P}{RTC} = \frac{200.81}{\frac{300}{5}} = \frac{200.81}{60} = 3.34 \text{ Amp}$$

Si se tienen dos taps disponibles de acuerdo al catálogo 3.5 y 2 Amp para dar mayor sensibilidad se pueden seleccionar el tap de 2 Amp.

Por lo tanto, los ajustes son:

Lado 115 kV

Tap= 0.5 Amp

Lado 13.8 kV

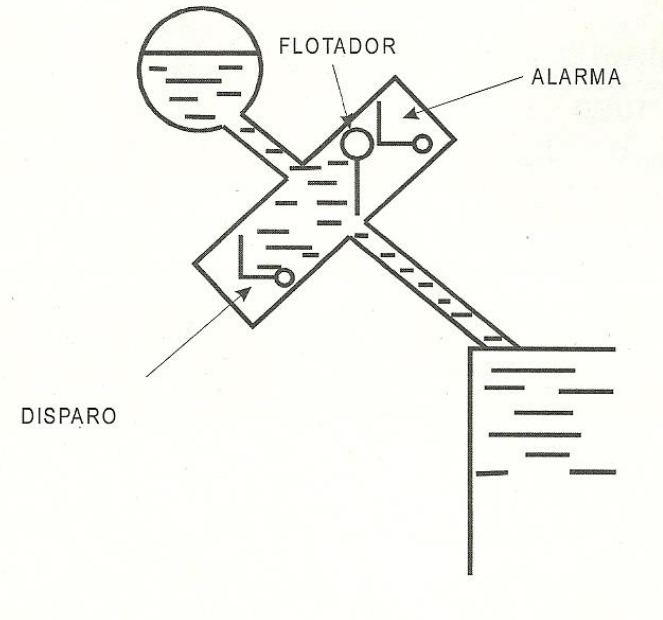
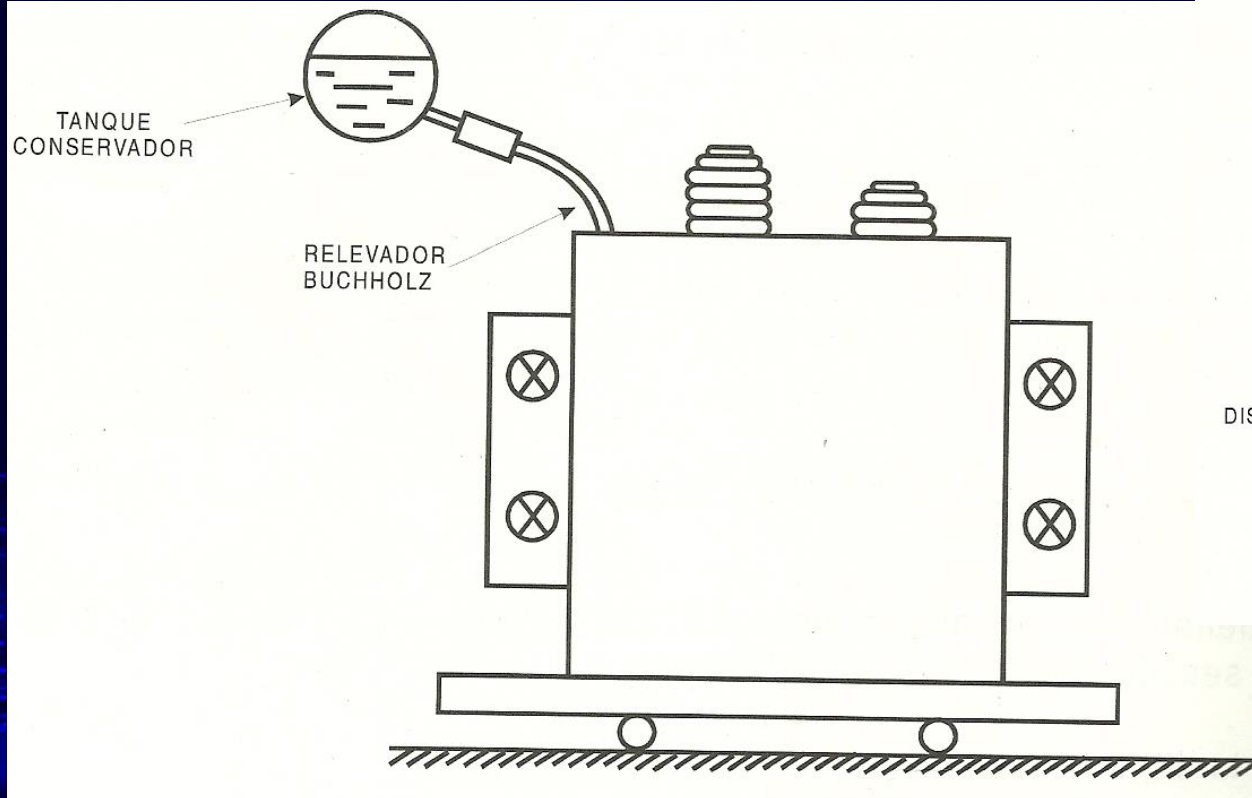
Tap= 2.0 Amp

PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES CONTRA ACUMULACIÓN DE GASES O FALLAS INCIPIENTES

En los transformadores de potencia cierto tipo de fallas tienden a producir gases en el interior, esas fallas por lo general son fallas francas que se manifiestan como arco eléctrico como fallas insipientes, como es decir, el inicio hacia una falla. A esta protección se le conoce también, en honor a su descubridor, protección Buchholz.

Su operación en caso de fallas “mayores” cuando se produce desplazamiento de aceite en el interior del transformador es un rango de tiempo de 6 a 12 ciclos a la frecuencia del sistema.

Siempre que se produce un desplazamiento de $50 \text{ cm}^3 / \text{km} \cdot \text{seg}$ el revelador es de acción mecánica, ya que aprovecha el desplazamiento o movimiento del aceite cuando se inicia la falla. Se instala en el tubo que une al tanque principal del transformador con el tanque conservador, por lo que ese tipo de protección solo es aplicable en transformadores que usan tanque conservador y que por razones económicas generalmente son mayores de 5 MVA.



La acción del relevador se da con una secuencia como la siguiente:

- ❖ Cuando una falla insipiente, por ejemplo una agrietamiento se produce en el aislamiento del transformador, se inicia la producción de gas en el aceite, por efecto de puntos calientes y descomposición.
- ❖ Los gases tienden a desplazarse a la parte superior del transformador, introduciéndose al tanque transformador a través el tubo donde está instalado el relevador.
- ❖ Con este desplazamiento se detecta fallas insipientes, los gases actúan sobre los flotadores de baja presión del relevador mandando una señal de alarma.
- ❖ El desplazamiento de los gases es brusco y produce una mayor presión, entonces actúan los flotadores de disparo.

Estos relevadores, por lo general, son proporcionados por los propios fabricantes de los transformadores y su tamaño varía de acuerdo a la potencia del transformador, además de esto depende de la sensibilidad de la protección. En la tabla siguiente, se dan los datos principales para distintos tipos de relevadores.

CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR	DIÁMETRO DEL TUBO DE CONEX.	GAS ACUMULADO EN CM ³ P/ALARMAS		VELOCIDAD DEL ACEITE cm/seg P/DISPARO	
		RANGO	AJUSTE NORMAL	RANGO	AJUSTE NORMAL
Hasta 119 VA	2.5 cm (1")	100-20	100	75-125	90
De 1-10 MVA	5.0 cm (2")	185-225	210	80-135	100
Mayores 10MVA	7.5 cm (3")	220-250	230	95-155	110