

PROTECCIONES ELÉCTRICAS

NOTAS DE CLASE ANEXOS

Gilberto Carrillo Caicedo

Ingeniero Electricista UIS

Master of Engineering, RPI, Troy, New York, USA

Especialista Universitario en Técnicas de Investigación, UPCO, Madrid

Doctor Ingeniero Industrial, Área Ingeniería Eléctrica, UPCO, Madrid

Bucaramanga, Octubre de 2007

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABLAS.....	5
LISTA DE TABLAS.....	5
2 ESPECIFICACIONES DE LOS TRANSFORMADORES DE MEDIDA	6
2.A Como especificar un transformador de corriente.....	6
2.A.1 Escoger la corriente nominal del primario (I_{1n})	6
2.A.1.1 Carga del T.C	6
2.A.1.2 TC con varias relaciones y varias corrientes primarias nominales 6	
2.A.2 Escoger la corriente nominal del secundario	6
2.A.3 Escoger el número de núcleos	7
2.A.4 Escoger la precisión y el factor de saturación (f_s) para cada núcleo 8	
2.A.5 Determinar la corriente máxima permisible dinámica y térmica del tc	10
2.A.6 Escoger el diseño del TC para interiores y exteriores	12
2.A.7 Escoger el material aislante	14
2.A.8 Escoger el tipo de montaje	14
2.A.9 Provisión para altas corrientes.....	14
2.B Como especificar un transformador de potencial	16
2.B.1 Escoger voltaje primario nominal.....	16
2.B.1.1 TP's de un solo polo	16
2.B.1.2 TP aislados de dos polos.....	16
2.B.1.3 Dos voltajes primarios nominales.....	17
2.B.1.4 Factor de Voltaje (FV)	18
2.B.2 Escoger voltaje secundario nominal.....	18
2.B.3 Escoger el numero de arrollamientos secundarios.....	19

2.B.4	Escoger va nominales para cada arrollamiento.....	19
2.B.5	Escoger precisión para cada arrollamiento	19
2.B.6	Escoger clasificación térmica.....	20
2.B.7	Escoger diseño para interiores o exteriores	21
2.B.8	Escoger material aislante.....	21
3	INVERSIÓN DE CIRCUNFERENCIA	25
3.A	Procedimiento.....	25
4	EQUIPO DE ONDA PORTADORA	28
4.A	Componentes.....	28
4.B	Características de la linea de transmision	28
4.B.1	Impedancia Característica De La Línea.	28
4.B.2	Atenuación De La Línea	29
5	FIJACIÓN DE UN RELÉ DIFERENCIAL.....	31
5.A	Procedimiento.....	31
7	RECOMENDACIONES PARA PROTECCIÓN DE GENERADORES	37
8	CONSTANTES DE TIEMPO.	38
8.A	Medición	38
8.A.1	Valores Típicos	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.A.1	26
Figura 3.A.2	27
Figura 5.A.1. Transformador	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.A.1. Precisión de los aparatos según la norma.....	9
Tabla 2.B.1. Valores típicos de VA absorbidos por el circuito de voltaje de instrumentos, relés y error de conectores.	22
Tabla 2.B.2. Valores típicos de VA absorbidos por el circuito de corriente de instrumentos, relés y conductores.....	23
Tabla 8.A.1. Constantes de tiempo térmicas aproximadas de motores trifásicos.	38

2 ESPECIFICACIONES DE LOS TRANSFORMADORES DE MEDIDA

2.A COMO ESPECIFICAR UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

2.A.1 Escoger la corriente nominal del primario (I_{1n})

Esta se calcula de las corrientes nominales absorbidas por las máquinas y otros usuarios de corriente conectados en el circuito de potencia.

$$I_{1n} = \frac{VA_{3j}}{\sqrt{3} V_{línea}} \text{ Ampéres}$$

2.A.1.1 Carga del T.C

- *Diseño normal*, en trabajo continuo con $1,1I_n$
- *Diseño amplio rango*, corriente nominal extendida (I_{ec}).

2.A.1.2 TC con varias relaciones y varias corrientes primarias nominales

- *Conmutación primaria*. Mediante conexiones en paralelo o en serie de las espiras primarias.
- *Tomas del primario*
- *Conmutación secundaria*. Mediante conexión en serie o en paralelo de las espiras del secundario.
- *Taps del secundario*. Si por ejemplo se requiere un número relativamente grande de relaciones, estos taps permiten el cambio de la relación independiente entre diferentes núcleos del TC con relaciones múltiples.

<i>Ejemplo</i>	<i>TC</i>	<i>Produce alternativas</i>
1	1:2 Conmutable	400 u 800 A
2	1:2:4 2X400	300 y 600 ó 1200 A

2.A.2 Escoger la corriente nominal del secundario

Normalmente 5A, 1A con conexiones largas entre el TC y los instrumentos o relés (pérdidas de potencia más bajas en los conductores para la corriente secundaria de 1A).

Ejemplo:

Para 30, 48m de distancia entre los TC y los instrumentos, conectores de cobre de 2X6, $45(10^{-6})\text{m}^2$.

Pérdidas en los conductores a 5A: 4,25 VA

Pérdidas en los conectores de 1A: 0,17 VA

El seleccionar 5A en este caso implica un TC con VA nominales más altos, ya que la pérdida de 4,25 VA debe alimentarse por medio del TC. En Colombia se consigue fácilmente con corriente secundaria de 5A.

2.A.3 Escoger el número de núcleos

- Se toman los VA nominales para cada núcleo.
- Se toman los VA nominales absorbidos por los instrumentos que se van a alimentar más la pérdida de potencia (a la corriente nominal) entre los conectores de los TC y los instrumentos.

Los VA nominales escogidos no deben ser mucho más altos que los VA calculados por las siguientes razones:

- *Error*, los errores del TC a pequeñas cargas (menores que $\frac{1}{4}$ de 'Burden' nominal) pueden estar por fuera de los límites de precisión de la clase.
- *Sobrecarga de los elementos*, los instrumentos y los relés están normalmente diseñados para soportar una corriente máxima de 3 a 30 veces su corriente nominal, por segundo. Así la corriente secundaria del TC no debe exceder:

Número de veces la In del instrumento

Para duración del cortocircuito

3 a 30	1 segundo
1,7 a 17,3	3 segundos

Sin embargo, ya que el factor de saturación nominal (F_s) se aplica solamente cuando se conecta el 'burden' nominal, una corriente secundaria de $4F_s$ veces la corriente nominal podría aparecer si solo tiene conectado $\frac{1}{4}$ del 'burden'. Esto significa que si se tiene F_s nominal de 5, aparecería 20 veces la corriente nominal en el secundario. De la tabla anterior se puede ver que en este caso el TC puede proveer la protección suficiente a los instrumentos conectados.

- *Precio*, el tamaño y precio del TC se incrementa a medida que se incrementan sus VA.

2.A.4 Escoger la precisión y el factor de saturación (f_s) para cada núcleo

Guía General

La clasificación de la precisión depende de la norma nacional aplicable. Es esencial que se haga referencia a la respectiva norma porque las relaciones y errores de ángulo de fase varían considerablemente.

Tabla 2.A.1. Precisión de los aparatos según la norma

Aplicación		VDE		ANSI		BSS		IEC	
		Clase	F _s	Clase	F _s	Clase	F _s	Clase	F _s
Núcleos de Medición	Amperímetro	5		31**					
	Registradores	3	5	1.2		0,C		5,3,1	
	Etc.	1		0.6		C,M		0.5	
		0.5							
Núcleos de Medición	Contadores de Activa Industriales	100,5	5	1.2,0		CM		100,5	
	Contadores de facturación	0,5				BM		0.5,0.2	
		0,2	5	0,3		AM		0.1	
		0,1				AL			
Núcleos de Réles	Protección de Sobrecarga	5p	5				5		FLP
		10p	15	C,T	20	S,T	10	5P	5,10
			20				15	10P	15,20
Núcleos de Réles	Protección de Selectividad	5p	10				10		
		10p	15	C,T	20	S,T	15	5P	10,15
			20			X	20	10P	20,30

Factor de Seguridad del Instrumento: El valor deber ser tan pequeño como sea posible entre fabricante y comprador.

Aunque no especificado, una precisión del 3% se usa y acepta ampliamente.

ANSI no define particularmente el F_s, sin embargo determina el incremento de la corriente secundaria hasta 20 veces la normal para precisión de los réles mientras que no se da ningún valor para aplicación en mediciones.

El factor límite de precisión FLP se refiere a núcleos de protección de normas inglesas (BSS) e internacionales (IEC), para límites exactos de clases de precisión ver las nacionales pertinentes.

2.A.5 Determinar la corriente máxima permisible dinámica y térmica del tc

I_t = Corriente térmica de corto tiempo de 1 segundo (rms)

I_{din} = Corriente máxima dinámica permisible (valor pico)

I_t depende de la máxima corriente que puede fluir en el punto donde el TC se encuentra ubicado y también de la duración de tal corriente. Se debe cumplir la siguiente ecuación:

$$I_t \geq I_{coci} \times t + \frac{2.50}{f} \quad (\text{kA rms por 1 segundo})$$

Donde:

I_{coci} : Corriente de cortocircuito en el punto de la localización del T.C. (kA rms)

t: Duración del cortocircuito (s)

f: Frecuencia nominal del sistema (Hz)

El factor 2,5 tiene en cuenta la componente C.D. y la frecuencia base del cálculo.

Diseño Ritz normales: (I_n = Corriente nominal primaria del TC)

	Rango normal (VDE)	Rango amplio (VDE)
Tcis de bajo voltaje (hasta 660 V)	$I_t = 60 - 70 \times I_n$	$120 \times I_n$
Tcis de medio voltaje (1 a 46 kV)	$I_t = 100 \times I_n$	$120 \times I_n$
Tcis de bajo voltaje (por encima de 46 kV)	$I_t = 120 \times I_n$	$150 \times I_n$

Para los valores más altos por ejemplo $1000 \times I_n$ (con secciones transversales de cobre más grandes).

Si los TC's están montados cerca del generador se tiene que considera la corriente de tiempo corto inicial, respectivamente el factor o la constante de tiempo del sistema.

A menudo sin embargo I_t puede ser pequeño comparativamente. El valor del I_{din} que soporta el TC es por lo menos igual a 2,5 veces I_t (máximo 125 KA). Se da como valor pico (para cortocircuito de duración de menos de 1 segundo el valor de I_{din} es el factor decisivo desde el punto de vista del fabricante).

2.A.6 Escoger el diseño del TC para interiores y exteriores

Diagrama de Conexión	Las diferentes relaciones		Placa de Clasificación	Valores resultantes (Aprox.)		Notas
A. Primario Serie	Itér Depend Idin e Iln		2 x 40 / 5 A 2 x 4 kA tér. m.	Serie A 40 / 5 A	Paralelo A 80 / 5 A	1. No es para bajo voltaje 2. Dos o tres relaciones 3. Factor de Costo: 1,0
	P independiente C1 tes de Fs lin		2 x 10 kA din 30 VA C1 0,5 Fs 5	4 kA tér. m. 10 kA din 30 VA C1 0,5 Fs 5	8 kA tér. m. 20 kA din 30 VA C1 9,5 Fs 5	
Paralelo				Taps Secundarios		1. Muchas relaciones posibles 2. Fácil conmutación desde el lado secundario 3. Factor de costo alrededor de 1,3 a 1,6.
B. Taps Secundarios	Idin Idep Iterm de lin P dependientes C1 de Iln Fs		80 - 40 / 5 A 8 kA term. 20 kA din 30 VA C1 0,5 Fs 5	A 40 / 5 A 8 kA term. 20 kA din 30 VA C1 0,5 Fs 5	A 8 / 5 A 8 kA term. 20 kA din VA 30 / 60 C1 0,2 / 0,5	
	Itér m Idin P C1 Fs	Normalmente independiente de In	10 ; 80 / 5 A 8 kA term 20 kA din 25 VA C1 0,5	Taps Primarios		1. Itér m más alta que los anteriores a la más pequeña lin posible. 2. Más de tres relaciones posibles.
				A 40 kA 8 kA term 20 kA din 25 VA	A 8 / 5 A 8 kA term 20 kA din 25 VA	

			Fs 5	C1 0,5 Fs 5	C1 0,5 Fs 5	3.Más cobre primario (A). 4.Algunos menos VA que (A). 5.Factor de Costo 1,1 a 1,3.
--	--	--	------	----------------	----------------	--

2.A.7 Escoger el material aislante

Algunos materiales usuales:

	Aislamiento externo (entre la conexión primaria y tierra al cuerpo del TC)		Aislamiento interno (entre los arrollamientos primarios y secundarios)
	Interior	Exterior	
Bajo Voltaje (Hasta 660V)	Resina Prensada Resina Fundida	Resina Fundida	Resina Prensada Resina Fundida
Medio Voltaje (por debajo de 46 kV)	Porcelana Resina Fundida	Porcelana Resina Fundida	Resina Fundida Papel de aceite
Alto Voltaje (por encima de 46 kV)	Porcelana Resina Fundida	Porcelana	Papel de Aceite

2.A.8 Escoger el tipo de montaje

Bajo Voltaje: Ventana, barra, bobinado, disco, toroidal, dividido y trifásico.

Medio y Alto Voltaje: Pasa muro, condensador de buje, resina fundida y ventana.

2.A.9 Provisión para altas corrientes

Si tienen corrientes nominales de 100 A y más altas, el efecto del camino de retorno se debe tener en cuenta.

Para cumplir con los requerimientos de precisión es recomendable establecer la distancia exacta de la barra adyacente al conductor de retorno. Provisiones especiales con los TC's Ritz Preveen esta influencia.

I_n : Corriente nominal primaria P: CA nominales

I_{term} : Corriente térmica de corto C1: Clase de Precisión
Tiempo de 1 segundo (kA rms)

I_{din} : Soporte de corriente dinámico F_s : Factor de Saturación Nominal (kA picos)

2.B COMO ESPECIFICAR UN TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

2.B.1 Escoger voltaje primario nominal

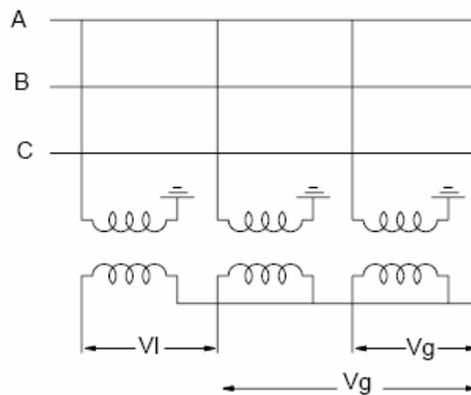
Norma VDE 0414: La clase de precisión se satisface desde 30% a 120% el voltaje nominal del TP.

Norma ANSI: LA precisión es del 90% al 110%

2.B.1.1 TP's de un solo polo

El voltaje del sistema que toma es de la fase a neutro, por ejemplo:

$$\frac{132}{\sqrt{3}} \text{ kV}$$



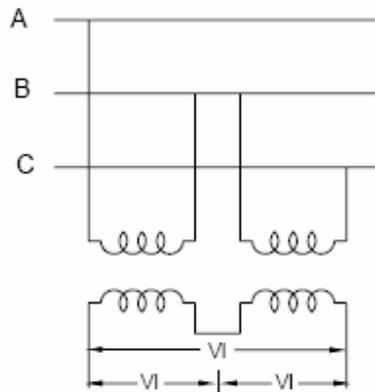
Estos transformadores se conectan entre un conductor de línea a tierra, en esta forma hace posible la detección de falla a tierra; además, se tiene mayor seguridad que si los TP's estuvieran aislados (dos polos) ya que una falla de aislamiento crea solamente una falla a tierra y no una entre fases.

Al usar TP's monopolares los costos son más altos porque se requieren tres de estos.

Existe peligro de ferro-resonancia (oscilaciones) en sistemas no aterrizados, esto se puede remediar colocando arrollamientos de falla a tierra especiales (arrollamiento "tn" y resistencial).

2.B.1.2 TP aislados de dos polos

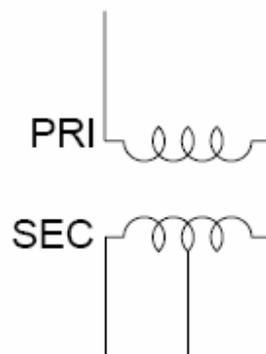
El voltaje que se toma es el de la línea, por ejemplo 13,2kV.



La conexión se hace entre dos conductores de línea, se requieren solamente dos T.P. No hay peligro de ferro-resonancia. No es posible la detección de falla a tierra.

2.B.1.3 Dos voltajes primarios nominales

(Para el mismo voltaje nominal secundario). Se pueden obtener mediante una toma secundaria, cualquier relación de los dos voltajes primarios. Sin embargo los VA nominales les varían con el cuadrado del voltaje nominal del primario.



Ejemplo:

11000–22000 V (110V con 200 VA) para 22000 V produce:

$$200 \times \left(\frac{11000}{22000} \right)^2 = 50 \text{ VA}$$

2.B.1.4 Factor de Voltaje (FV)

Se determina por el voltaje de operación máximo, el cual a su vez es dependiente del sistema y de las condiciones de aterrizaje del transformador.

Los factores de voltaje nominal varían de acuerdo a la norma:

VDE, IEC: 1,2 – 1,5 – 1,9 (Proporcionalmente referente a servicios de 30 seg, 4h, 8h).

ANSI C57, 13: 1,1 – 1,25 – 1,4 – 1,73 (opcionalmente referente a servicio continuo de un minuto).

BS 3941: 1,1 – 1,5 – 1,9 (Opcionalmente referente al servicio continuo de 30 seg, 8h).

Ciertas clases de precisión especifican compatibilidad con los límites dados; hasta FV veces el voltaje primario nominal (ver A 2.5 y A 2.6.2).

2.B.2 Escoger voltaje secundario nominal

Se escoge: 100 V, 120 V para TP aislados de dos polos:

$$\frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}, \frac{110}{\sqrt{3}} \text{ V}, \frac{120}{\sqrt{3}} \text{ V} \text{ para TP aislados de un solo polo.}$$

$$\frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}, \frac{110}{\sqrt{3}} \text{ V} \text{ para arrollamiento de falla a tierra (TP de un solo polo).}$$

2 x 100 V, 2 x 110 V, 2 x 120 V para un TP aislados de dos polos arrollamiento secundario conmutable.

$\frac{2x100}{\sqrt{3}} V$, $\frac{2x110}{\sqrt{3}} V$, $\frac{2x120}{\sqrt{3}} V$ para TP aislados de un solo polo con arrollamiento secundario conmutable.

2.B.3 Escoger el numero de arrollamientos secundarios

Si se requieren dos arrollamientos separados, por ejemplo uno para instrumentos y otro para contadores; o uno para instrumentos y otro para protecciones (ver 2.B.2.2).

2.B.4 Escoger va nominales para cada arrollamiento

Se toman los VA nominales absorbidos por los aparatos alimentados (Ver valores guía en la tabla A.1.3).

2.B.5 Escoger precisión para cada arrollamiento

GUÍA GENERAL: La clasificación de la precisión depende de la norma aplicada según la siguiente tabla:

TIPO DE ARROLLAMIENTO	APLICACIÓN	CLASES DE PRECISIÓN			
		VDE	USAS	BSS	IEC
Arrollamiento de medición	Medidores de alta precisión (facturación), medidas de laboratorio	0,1	0,3	AL;A	0,1
		0,2			0,2
	Contadores medida de precisión	0,2	0,3	A;B	0,2
		0,5	0,6		0,5
	Voltímetros registradores contadores	0,5	0,6	B; C;	0,5
		1,3	1,2	D	1,3
			3%		

	industriales				
Arrollamiento de Réles	Protección General	3P32 6P6	0,6; 2; 3%	C, D; E; F	
	Detección de falla a tierra	3P32 6P6	0,3; 2; 3%	C, D; E; F	
		3P3 ² 6P6	0,3; 2; 3%	C; D; E F	
		Arrl	0,3;	E, F	
		Tn	0,6; 1,2		

Un error del 3% es típico.

En la tabla se observa 3P3² donde:

Primer 3 = valor de voltaje en porcentaje del rango de voltaje nominal.

P = protección

Segundo 3 = Error de voltaje en porcentaje de rango de voltaje extendido como se determina para el factor de voltaje (FV) apropiado. (Ver A.2.1.4)

En los Estados Unidos es práctico usar un arrollamiento secundario para servicio de medición y un arrollamiento terciario como arrollamiento de voltaje residual con los mismos requerimientos de precisión.

2.B.6 Escoger clasificación térmica

Se toma según los VA continuos máximos de salida sin exceder el incremento de temperatura especificado. Los valores normales se dan en las listas de precios o en la cotización. Los arrollamientos In tienen que soportar una corriente para largo tiempo en el caso de falla a tierra. Las figuras respectivas que se refieren a 1,9 veces Vn para una duración de 4 u 8 horas son como sigue:

Clase de Aislamiento (kV)	Máximo Voltaje de servicio continuo permisible	Corriente de largo tiempo nominales de arrollamientos "In" 9,19 Vn	Corresponde a una clasificación de 30 sg (máx.) de 20 A/ Pul mm.
10	12 kV	1,3,6 A	10, 30, 60 A
20, 30	24, 36 kV	3, 6, 9 A	30, 60, 90 A
110, 220	125, 250 kV		
380	420 kV	6, 9, 15, 25 A	60, 90, 150, 250 A

2.B.7 Escoger diseño para interiores o exteriores

2.B.8 Escoger material aislante

Algunos materiales usuales son:

	Aislamiento Exterior entre la conexión primaria y tierra o el cuerpo del transformador		Aislamiento interno entre arrollamientos primario y secundario
	INTERIOR	EXTERIOR	
Bajo Voltaje Hasta 660 V	Resina prensada Resina Fundida	-	Papel Impregnado Papel con baquelita
Medio Voltaje (1 a 46 kV)	Resina fundida	Porcelana	Papel de Aceite Papel con baquelita
Alto Voltaje	Porcelana	Porcelana	Resina fundida Papel de Aceite Papel con baquelita

<p>CONECTORES ENTRE EL TP Y LOS INSTRUMENTOS ALIMENTADOS O RELES.</p> <p>Caída de voltaje por 100 pies conductores de cobre de dos núcleos a 100 y 110 VA con:</p> <p>2 x 0,01 pulg²</p> <p>2 x 0,02 pulg²</p> <p>2 x 14 AWG</p> <p>2 x 12 AWG</p> <p>2 x 10 AWG</p> <p>2 x 8 AWG</p> <p>A 100 VA y 100/3 V con:</p> <p>2,5 pulg²</p> <p>4,0 pulg²</p> <p>6,0 pulg²</p> <p>10,0 pulg²</p>		<p>0,41% error</p> <p>0,21%</p> <p>1,27%</p> <p>0,80%</p> <p>0,50%</p> <p>0,32%</p> <p>4,20% error</p> <p>2,60%</p> <p>1,75%</p> <p>1,05%</p>
---	--	---

Tabla 2.B.2. Valores típicos de VA absorbidos por el circuito de corriente de instrumentos, relés y conductores.

<p>AMPERIMETROS</p> <p>Hierro Móvil hasta 4" (100 mm) de diámetro</p> <p>Amperímetros múltiples</p> <p>Amperímetros de grabación</p> <p>Amperímetros térmicos de grabación</p> <p>Amperímetros térmicos (bimetálico)</p>	<p>0,7 a 1,2 VA</p> <p>1,2 a 3</p> <p>0,05 a 5</p> <p>0,3 a 9</p> <p>2,5 a 3</p>
<p>VATIMETROS</p> <p>Vatímetros registradores</p>	<p>0,5 a 5 VA</p> <p>3 a 12</p>
<p>MEDIDORES DE FACTOR DE POTENCIA</p> <p>Registrador de factor de potencia</p>	<p>2 a 6 VA</p> <p>9 a 16</p>
<p>CONTADORES (kWH)</p>	<p>0,5 a 2 VA</p>
<p>RELES</p>	

Relé de sobrecorriente	0,2 a 14 VA
Relé de sobrecorriente de tiempo	0,1 a 6
Relé direccional	7,5 a 10
Relé de distancia (13 ... 45 ms)	1 a 30; Fs 10
Relé de falla a tierra	0,5 a 22
Relé de diferencial (35 ms)	0,16 a 2; Fs
Protección de barra (2 ... 13 ms)	100
Relé de Potencia Inversa	0,1 a 10
Relé de secuencia negativa	3,5 a 12
Relé bimetálico (térmico)	5 a 40
	5 a 20
DISPARO DE CORRIENTE DEL TC (viaje serie AC)	5 a 150
REGULADORES DE CORRIENTE	18 a 180 VA
CONECTORES ENTRE EL TC Y LOS INSTRUMENTOS ALIMENTADOS O RELES	
Por 100 pies conductor de cobre de 2 núcleos:	A 5 amp, 1 amp
2 x $1,29 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	2. 12, 0.09
2 x $1,29 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	4.25 VA,
	0.170 A
2 x No 14 AWG	13,0 0,52
2 x No 12 AWG	8,25 0,33
2 x No 10 AWG	5,15 0,21
2 x No 8 AWG	3,26 0,13
2 x No 6 AWG	2,06 0,08
Por 1 metro de conductor de cobre de 2 núcleos:	
$1.61 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	0,36 0,015
$2.58 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	0,22 0,009
$3.97 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	0,15 0,006
$6.45 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	0,09 0,004

3 INVERSIÓN DE CIRCUNFERENCIA

3.A PROCEDIMIENTO

$$A_1 * (R^2 + X^2) + A_2 * R + A_3 * X + A_4 = 0 \quad \text{Ec.1}$$

Como:

$$Z = R + jX \qquad Z^* = R - jX$$

$$R = \frac{(Z + Z^*)}{2} \qquad X = \frac{(Z - Z^*)}{2j}$$

Por tanto reemplazando:

$$A_1 \cdot \frac{1}{Y} \cdot \frac{1}{Y^*} + A_2 \cdot \left(\frac{Z + Z^*}{2}\right) + A_3 \cdot \left(\frac{Z - Z^*}{j2}\right) + A_4 = 0$$

Como: $Z = \frac{1}{Y}$ Queda así:

$$A_1 \cdot \frac{1}{Y} \cdot \frac{1}{Y^*} + A_2 \cdot \frac{\left(\frac{1}{Y} + \frac{1}{Y^*}\right)}{2} + A_3 \cdot \frac{\left(\frac{1}{Y} - \frac{1}{Y^*}\right)}{j2} + A_4 = 0$$

$$A_1 + A_2 \cdot \left(\frac{Y + Y^*}{2}\right) + A_3 \cdot \left(\frac{Y^* - Y}{j2}\right) + A_4 Y Y^* = 0$$

Y Como:

$$Y = G + jB \qquad Y^* = G - jB$$

$$G = \left(\frac{Y + Y^*}{2}\right) \qquad B = \left(\frac{Y - Y^*}{j2}\right)$$

Remplazando queda:

$$A_1 + A_2.G - A_3.B + A_4.(G^2 + B^2) = 0$$

Ó

$$A_4.(G^2 + B^2) - A_3.B + A_2.G + A_1 = 0 \quad \text{Ec.2}$$

Como se ve la inversa de una circunferencia es otra circunferencia (note que la recta aparece como un caso particular de la circunferencia).

Ejemplo C.1

La característica de un relé tipo reactancia esta definida por una recta paralela al eje R, $X=10 \Omega$ (ver Fig. C.1). Obtener la grafica en el plano Y.

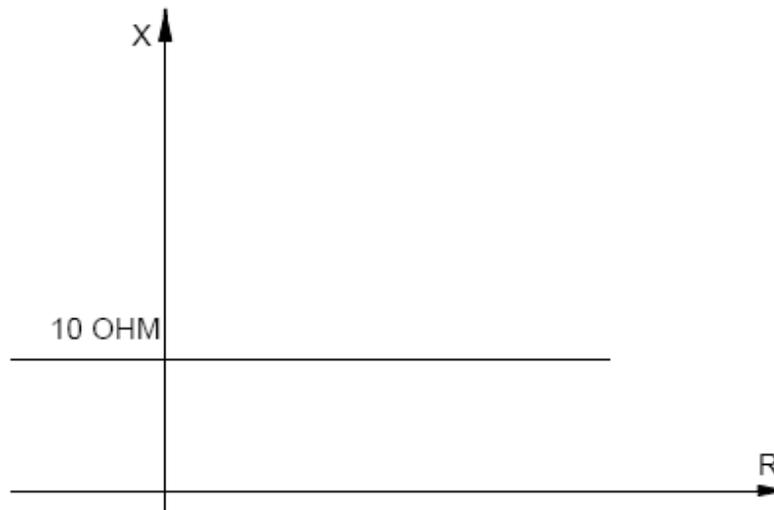


Figura 3.A.1

Solución:

$X=10 \Omega$. Comparando con la ecuación 1 se tiene que:

$A_1=0, A_2=0, A_3=1, A_4=-10$

Reemplazando estos valores en la ecuación 2 y completando el cuadrado aparece:

$$\begin{aligned} -10(G^2 + B^2) - B &= 0 \\ G^2 + B^2 + \frac{1}{10}B &= 0 \\ G^2 + B^2 + \frac{1}{10}B + \frac{1}{400} &= \frac{1}{400} \\ G^2 + (B + \frac{1}{20})^2 &= \frac{1}{400}; \end{aligned}$$

Lo que corresponde a una circunferencia de radio $1/20$ y con centro en $(0, -1/20)$.

La grafica correspondiente se muestra en la Fig. C.2.

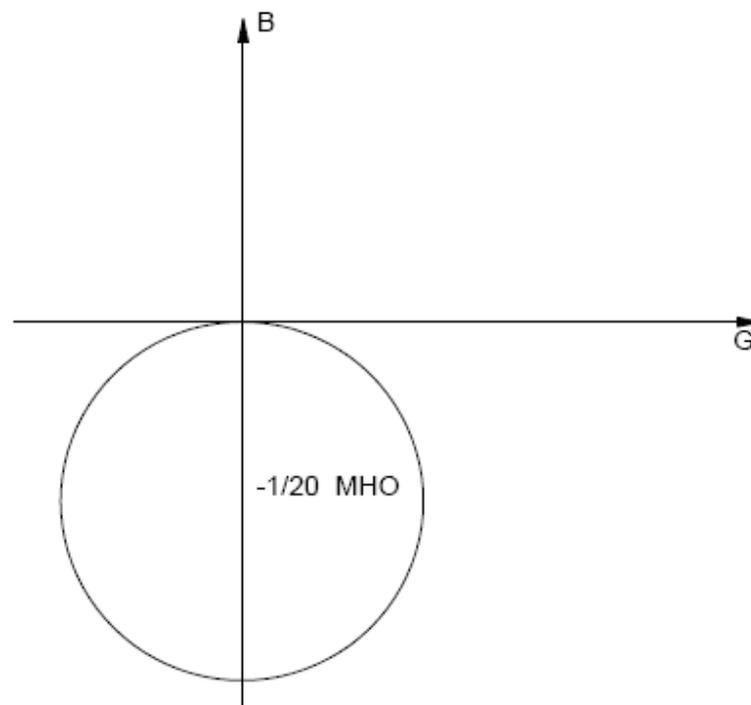


Figura 3.A.2

4 EQUIPO DE ONDA PORTADORA

4.A COMPONENTES

Los elementos constitutivos: el transmisor, la línea de transmisión, el circuito de acoplamiento y el receptor.

El acoplamiento se hace a través de condensadores construidos para soportar la tensión de la red y protegidos contra la formación de arcos, su capacidad oscila entre 2 y 5 nf.

La unidad de sintonía la forma un receptor utilizado para neutralizar (reactancia de choque) la reactancia capacitiva del condensador de acoplamiento formado en el filtro que separa las señales de radio frecuencia de las tensiones de la línea.

4.B CARACTERISTICAS DE LA LINEA DE TRANSMISION

Los parámetros mas importantes que se consideran de la línea de transmisión para el manejo de onda portadora son la impedancia característica y la atenuación de la línea.

4.B.1 Impedancia Característica De La Línea.

Una expresión aproximada para el cálculo de la impedancia característica de una línea de potencia que la suficiente altura de la tierra la da la expresión.

$$Z = 120 \operatorname{Ln} \left(\frac{d}{r} \right) [\Omega]$$

En donde

d= separación de los conductores

r= radio del conductor

La configuración de la línea tiene poca importancia a causa que solamente el logaritmo natural del cociente d/r entra en la fórmula.

Cuando se utilizan conductores múltiples en la línea de alta tensión en el calculo de impedancia característica, el radio r debe reemplazarse por un radio efectivo.

$$r' = r \left[\frac{K * S}{r} + \frac{n - 1}{n} \right]$$

S = separación entre los conductores adyacentes del grupo

n = numero de conductores

K = constante derivada de:

n	2	3	4	5
K	1	1	1.14	1.27

4.B.2 Atenuación De La Línea

Las perdidas de una línea de comunicaciones pueden calcularse a partir de las perdidas por frecuencia y la impedancia característica de la línea:

$$= \frac{R}{2 * Z}$$

R = es la resistencia por el efecto piel, la cual es función de la frecuencia de transmisión y varia con la raíz cuadrada, de la misma. La atenuación se ve afectada también por la altura promedio del conductor de acoplamiento a tierra, debido a la presencia de corrientes circulantes.

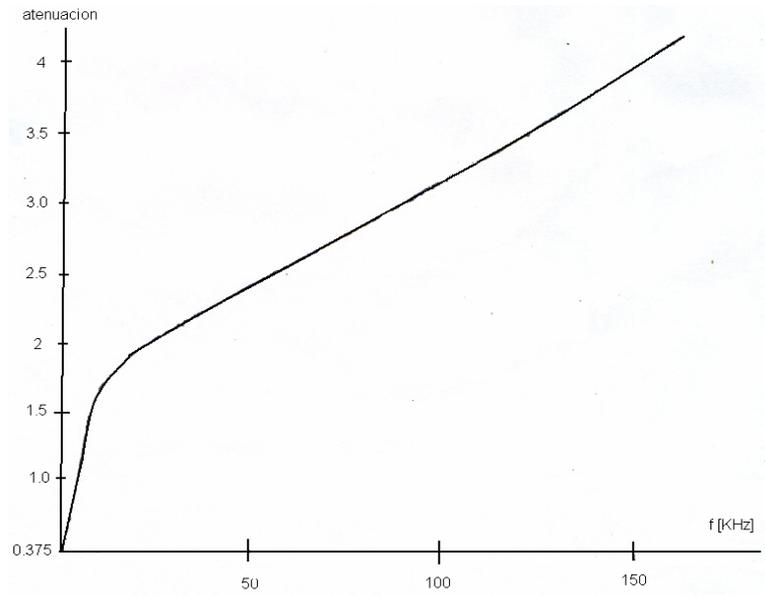


FIGURA 4A.1. ATENUACION Vs FRECUENCIA

5 FIJACIÓN DE UN RELÉ DIFERENCIAL

5.A PROCEDIMIENTO

Dado el transformador trifásico de la figura 5.A.1, seleccione los transformadores de corriente y ajuste los relés diferenciales. Se tienen instalados relés STD, General Electri

3000 KVA Autoenfriado

3750 KVA Enfriado por aire forzado

A: Alta tensión

B: Baja tensión

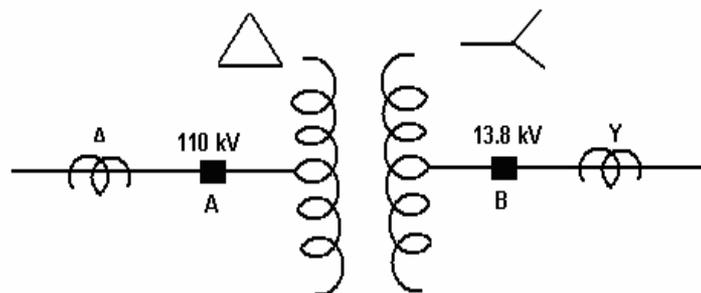


Figura 5.A.1. Transformador

1. CONEXIÓN DE LOS TC's	BAJA TENSION	ALTA TENSION
1.1 Los TC's se conectan de acuerdo con la regla dada en la tabla 5.3	TC's en: Y	TC's en: Δ

2. Chequeo de la relación de los TC's

2.1 Máxima corriente de línea (Ip máx.)

$$I_{p \max} = \frac{KVA_{\max \text{ transf}}}{\sqrt{3}(KV \text{ linea})}$$

$$\frac{3750}{\sqrt{3} * 13.8} = 156.88 \text{ A}$$

$$\frac{3750}{\sqrt{3} * 110} = 19.68 \text{ A}$$

2.2 Corriente de Línea de plena carga nominal (100% Ip máx.) Para potencia nominal.

$$I_p = \frac{KVA_{\text{del transf}}}{\sqrt{3}(KV \text{ linea})}$$

$$\frac{3000}{\sqrt{3} * 13.8} = 125.51 \text{ A}$$

$$\frac{3000}{\sqrt{3} * 110} = 15.75 \text{ A}$$

2.3 Para incrementar la sensibilidad se selecciona las relaciones de los TC's tan cerca a Ip como sea posible.

$$n = \frac{200}{5} = 40$$

$$n = \frac{50}{5} = 10$$

2.4 Cálculo de las corrientes secundarias Is de los TC's

$$I_s = \frac{156.88}{40} = 3.92 \text{ A}$$

$$I_s = \frac{19.58}{10} = 1.97 \text{ A}$$

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

2.5 Cálculo de las corrientes en el relé

$$I_{rB} = 3.92 \text{ A}$$

$$I_{rB} = 1.97 \times \sqrt{3} \\ = 3.41 \text{ A}$$

2.6 Cálculo de la relación de corrientes en el relé

$$\frac{I_{rB}}{I_{rA}} = \frac{3.92}{3.41}$$

$$= 1.15$$

3. CHEQUEO DE PORCENTAJE DE AJUSTE DE CORRIENTE.

3.1 Utilizando relés tipo STD General Electric cuyos taps son: 2.9; 3.2; 3.8; 4.2; 4.6; 5.0; 8.7. Estos taps son comunes a los relés citados.

3.2 Se deben seleccionar los Taps tales que su relación sea la mas cercana a la relación de corrientes secundarias del paso

2.6

Tap lado de baja (Δ) =
TB

Tap lado de alta (Y) =
TA

TB=5

TA=4.2

3.3 Calculo del porcentaje de desajuste M

$$M = \frac{\frac{I_{rB}}{I_{rA}} - \frac{TB}{TA}}{S}$$

S= Es el mas pequeño
de los dos términos.

$$\frac{I_{rB}}{I_{rA}} \text{ o } \frac{TB}{TA}$$

$$M = \frac{\frac{3.92}{3.41} - \frac{5}{4.2}}{S} \times 100\%$$

$$M = \frac{1.15 - 1.19}{1.15} \times 100\% = 3.48\%$$

El valor anterior esta dentro del 15% de error limite de ajuste.

4. DETERMINACIÓN DEL "BURDEN" DE CADA TC.

Para determinar el
burden se usan las
siguientes expresiones

Para TC's conectados
en: Y

$$Z_t = B + \frac{ne + 2f}{1000} + 2R(\Omega)$$

Utilizando un Relé

Para TC's conectados
en: Δ

$$Z_t = 2B + \frac{ne + 2f}{1000} + 2R(\Omega)$$

	ATD	Utilizando un Relé ATD
Donde:		
B = carga total ofrecida por el relé.	TA= 4.2 (lado Y)	TB = 5 (lado Δ)
n = Relación de espiras en el TC.	B = 0.112	B = 0.088
e = Resistencia por espira del TC a la máxima temperatura esperada.	n = 10	n = 40
f = Resistencia del TC por cable, m (a la máxima temperatura esperada)	e = 4.0	e = 2.6
R = Resistencia en una vía del cable de control (a la máxima temperatura esperada)	f = 50 m	f = 31 m
	Se asume una:	Se asume una:
	R=0.284	R=0.284
	Lado de baja tensión (Δ) (TC's en Y)	Lado de baja tensión (Y) (TC's en Δ)
	$Z_t = 0.088 + \frac{40 * 2.6 + 2 * 31}{1000} + 2(0.284)$	$Z_t = 2 * 0.112 + \frac{10 * 4 + 50}{1000} + 2(0.284)$
	Zt = 0.822	Zt = 0.932
4.1 DETERMINACION DE LA CORRIENTE SECUNDARIA DEL TC PARA 8 VECES EL AJUSTE DEL TAP.	40	33.6
I _s = 8*nominal del tap del relé		
4.2 Cálculo del voltaje secundario en el TC	32.88	31.32

requerido a 8 veces el
ajuste del tap.

$$E_{\text{sec}} = I_s * Z_t$$

4.3 De la curva de
excitación del tap
particular del TC que se
está utilizando se
determina la corriente
de excitación I_e ,
correspondiente a este
voltaje secundario, E_{sec}

4.4 Determinación del
error porcentual

$$\%error = \frac{I_e * 100}{I_s}$$

Este error no debe
exceder el 20% para
ningún TC, si esto
ocurre se escoge un tap
mas alto en TC (mayor
relación).

7 RECOMENDACIONES PARA PROTECCIÓN DE GENERADORES

Sobrecalentamiento de estator	Descargue H
Falla a tierra del estator	Disparo A
Falla entre fases del estator	Disparo A
Sobrevoltaje normal	Restaura voltaje
Sobrevoltios/Hertz	Disparo A (ó B)
Sobrecalentamiento del campo	Disparo D (ó A)
Tierra del campo	Disparo D (ó A)
Pérdida de excitación	Disparo A (ó B)
Corrientes desbalanceadas de armadura	Disparo C (ó B ó A)
Pérdida de sincronismo	Disparo C (ó B ó A)
Operación a frecuencia anormal	Instrucciones de la Turbina
Falla del interruptor esta	Protección contra
Respaldo del sistema	Falla
Impulso de voltaje	Disparo D (ó A)
	Usar pararrayos

ACCIÓN DE LAS PROTECCIONES

A Disparo simultáneo

B Disparo generador

C Disparo interruptor

D Disparo secuencial

G Descargue automático

H Descargue manual

8 CONSTANTES DE TIEMPO.

8.A MEDICIÓN

Corresponde al tiempo que se demoraría la temperatura en llegar a su valor final si siguiera cambiando a la misma velocidad que inicio. Es también, el tiempo que se demora en llegar al 63.2% del cambio total.

8.A.1 Valores Típicos

Tabla 8.A.1. Constantes de tiempo térmicas aproximadas de motores trifásicos.

<i>Tipo</i>	<i>Polos</i>	<i>Potencia Nominal en HP</i>	<i>Contante de Tiempo del relé en minutos</i>
A prueba de goteo completamente encapsulado	3 - 12	11 ¼ - 300	20
	2	-50	30
		50 - 125	40
	4	-40	30
		40 - 300	40
	6	-30	30
		30 - 225	60
8 - 12	-11 ¼	60	
	111 ¼ - 186	60	
Síncrono polos salientes			20 - 60
Síncrono polos lisos			20 - 40