

TRANSFORMADORES S DE MEDICIÓN Y PROTECCIÓN.

Presentan:

Pedro Alexander Moreno Martínez

Edwin Fabián Parra Jarro

Juan Sebastián Suna Pinzón

- ① **TRANSFORMADOR:** Máquina que permite aumentar o disminuirla tensión en corriente alterna, manteniendo la frecuencia y la potencia con valores similares en la entra como en la salida, pero teniendo en cuenta un pequeño porcentaje de perdida.
- ① **TRANSFORMADORES DE MEDIDA Y PROTECCIÓN:** Fueron creados por la necesidad de la utilización de aparatos de medida, instalar instrumentos, contadores y relees protectores en líneas de alta y media tensión.

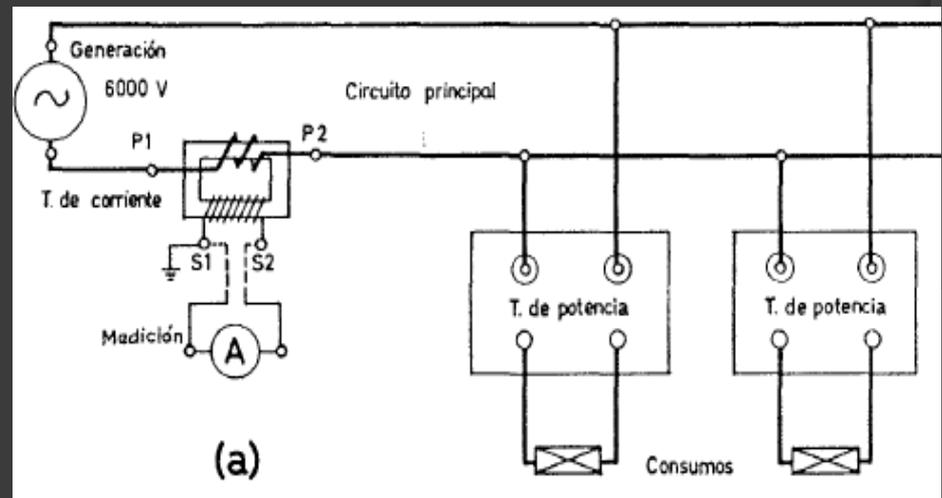


OBJETIVOS DE LOS TRANSFORMADORES DE MEDIDA

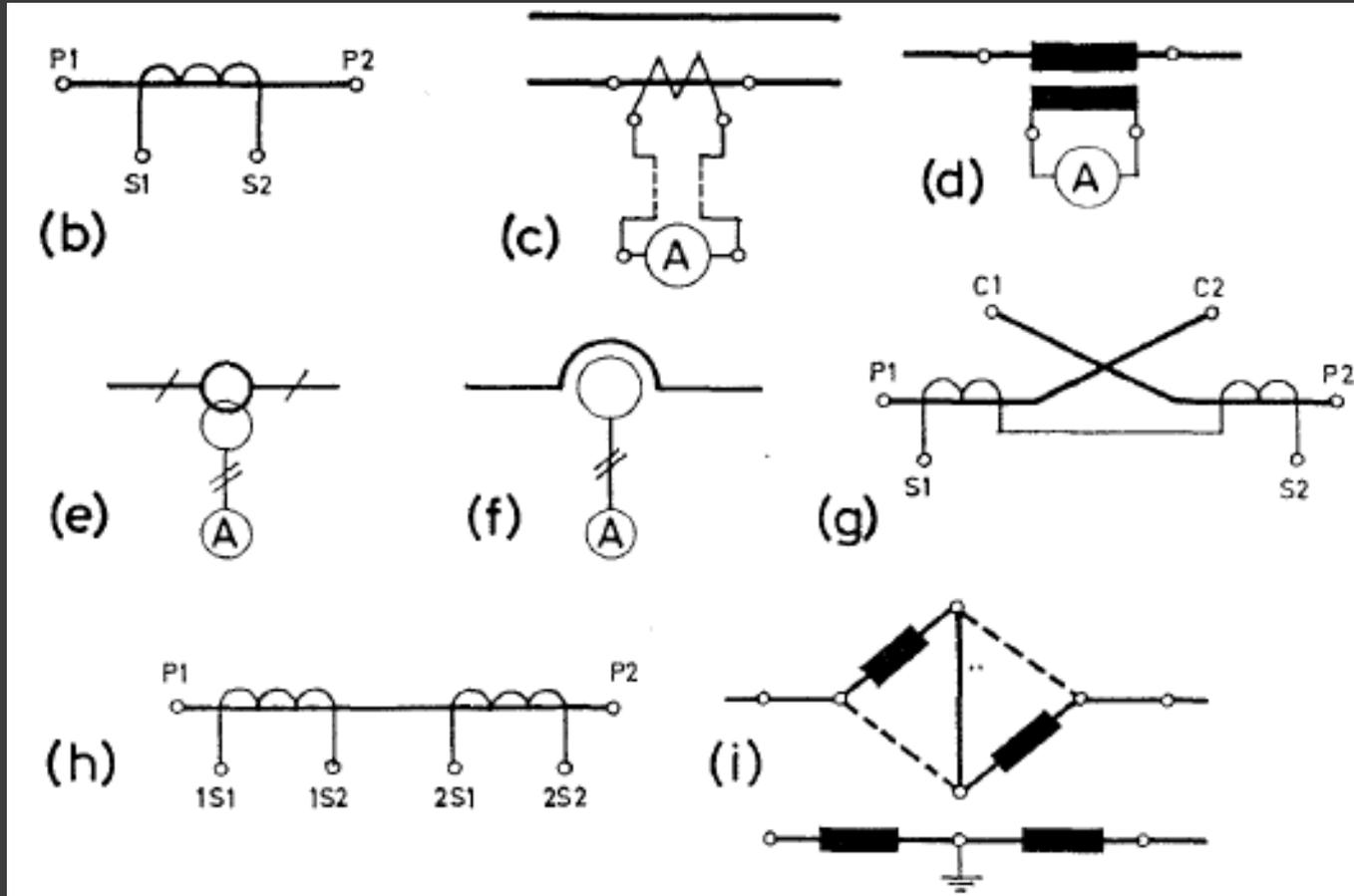
- ⦿ Aislar circuitos y aparatos de medida y protección de la alta tensión.
- ⦿ Evitar perturbaciones electromagnéticas de las corrientes fuertes.
- ⦿ Reducir corrientes de cortocircuito a valores admisibles para AM.
- ⦿ Obtener intensidades de corrientes y tensiones proporcionales a las que se desea medir o vigilar para transmitir a los aparatos apropiados.

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

- Los transformadores de corriente pueden considerarse como transformadores en el cual la corriente del primario y del secundario guarda una proporción, siendo ésta igual a la relación de transformación característica del propio transformador.



ESQUEMAS MAS USADOS PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE



USOS DE LOS TRANSFORMADORES SEGÚN SU CLASE

Transformadores para medida	
Clase de precisión	Usos más generales
0.1	Mediciones de precisión (laboratorio)
0.2	Contadores de precisión, en especial para grandes potencias (elevadas tensiones). Casos que son de prever factores de potencia bajos. Mediciones de laboratorio. Patrones portátiles.
0.5	Contadores normales. Aparatos de medida, y reguladores, sensibles.
1	Amperímetros, vatímetros y fasímetros.

Transformadores para protección	
Clase de precisión	Usos más generales
5P	Relés diferenciales, de distancia, direccionales, de contacto a tierra y otros de cierta precisión. En general todos aquellos que afecte el error de ángulo.
10P	Relés ordinarios de protección y otros. En general aquellos a los que no les afecte el error de ángulo.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

- ⦿ En un margen muy amplio de variación de la carga primaria, la corriente secundaria no sufre cambios apreciables.
- ⦿ El circuito secundario de un Transformador de Corriente no debe ser abierto si el primario se halla energizado, puesto que los voltajes desarrollados serían limitados únicamente por la impedancia de la rama de magnetización y pueden ser demasiado altos.
- ⦿ Los errores de relación y ángulo de fase puede calcularse fácilmente si la característica de magnetización y la impedancia de carga son conocidas.

CIRCUITOS EQUIVALENTES DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Donde:

$n^2 Z_p$ = Impedancia primaria.

Z_s = impedancia secundaria.

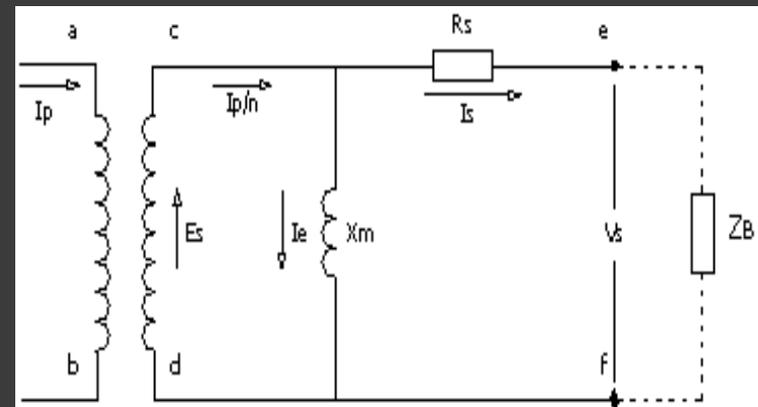
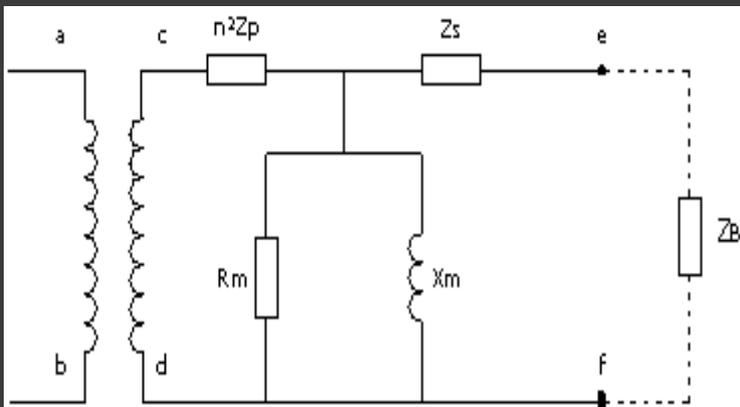
R_m, X_m = representan las pérdidas y la excitación del núcleo.

A continuación observamos el circuito reducido:

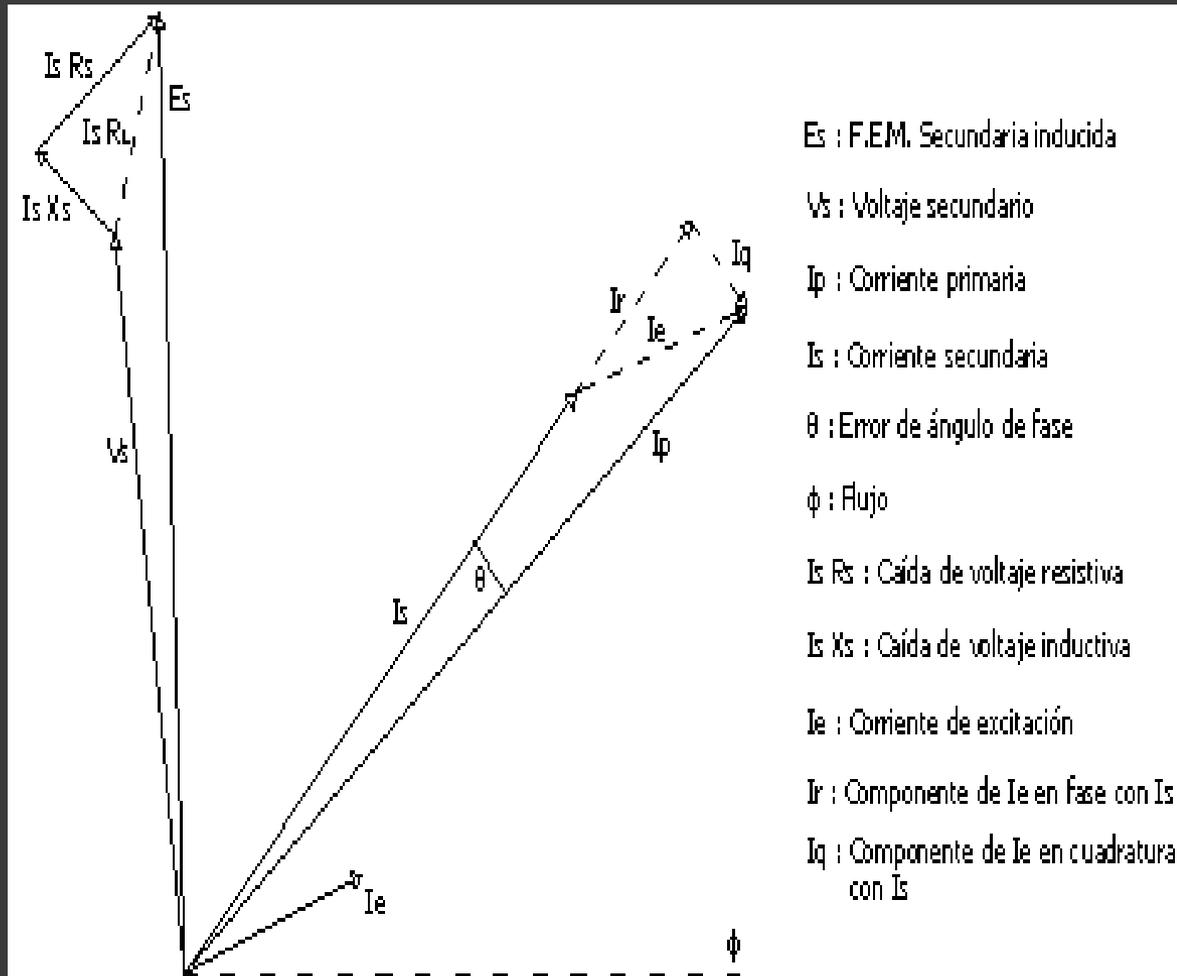
Donde

Z_p = puede ser ignorada puesto que no influye

I_s = corriente de excitación

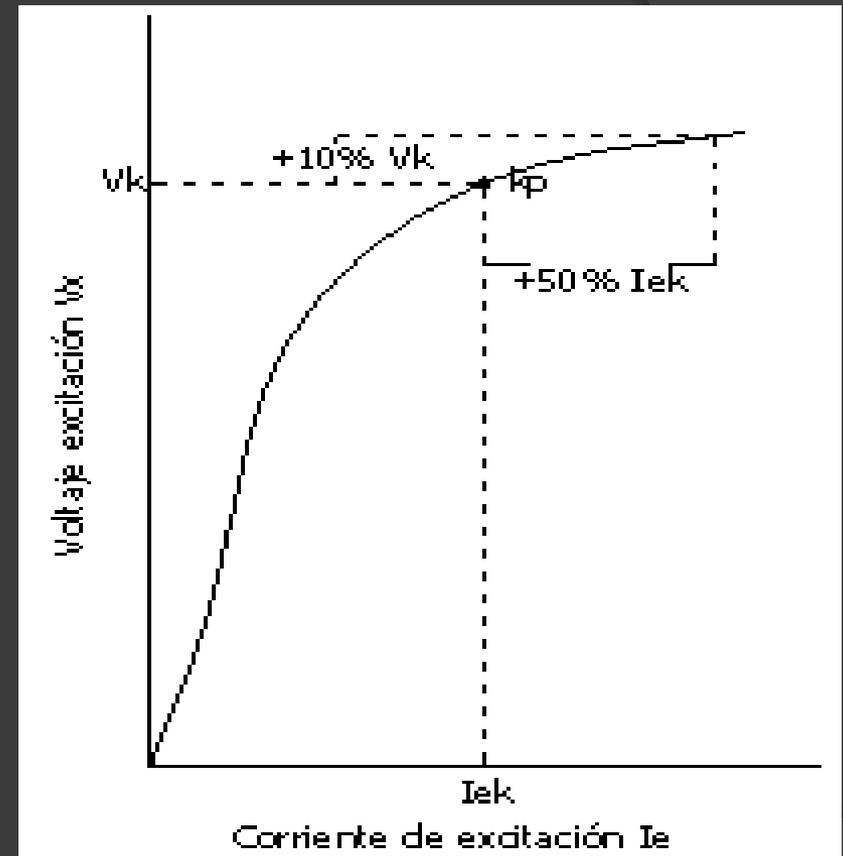


EL DIAGRAMA VECTORIAL



SATURACIÓN

se debe garantizar que los transformadores operen en la porción lineal de la curva de magnetización. Debe tenerse en cuenta que estos deben ser capaces de suministrar suficiente corriente para que el relevador opere satisfactoriamente



DESIGNACIÓN DE LA CLASE DE EXACTITUD

Para los transformadores de corriente para medida, la clase de exactitud se designa por el mayor porcentaje de error de corriente permisible a la corriente nominal establecida para la clase de exactitud implicada. [4]

Clases de exactitud normalizadas

Las clases de exactitud normalizada para los transformadores de corriente para medida son:

0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 3 - 5.

LIMITES DE ERROR DE CORRIENTE Y DESPLAZAMIENTO DE FASE (CLASES 0,1 A 1 Y 3 A 5)

Clase de exactitud	± Error de corriente porcentual (relación), al porcentaje de corriente nominal presentado abajo				± desplazamiento de fase al porcentaje de corriente nominal presentada abajo							
					Minutos				Centirradia <u>nes</u>			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Clase	Error de corriente (relación) porcentual, ± al porcentaje de corriente nominal presentado abajo	
	50	120
3	3	3
5	5	5

SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE MEDIDA

Tipo de medición	Tipo de servicio	Nivel de tensión	Relación del t.c. (RTC) ¹⁾	Transformadores de medida		
				Tipo	Cantidad	Clase ²⁾
Semi-directa	Monofásico trifilar o Trifásico tetrafililar	BT	$RTC \leq 400/5 \text{ A}$	t.c.	2 ó 3	0,5 ó 0,6
			$RTC > 400/5 \text{ A}$			0,5S
Indirecta	Trifásico trifilar	MT ($1 \text{ kV} < V \leq 30 \text{ kV}$)	$RTC \leq 15/5 \text{ A}$	t.c.	2 ó 3	0,5 ó 0,6
			$RTC > 15/5 \text{ A}$	t.t.		0,5S
		MT ($30 \text{ kV} < V < 57,5 \text{ kV}$)	Para todas las RTC	t.c.	2 ó 3	0,5 ó 0,6
				t.t.		0,5S
		AT y EAT	Para todas las RTC	t.c.	3	0,2S
				t.t.		0,2 ó 0,3

1) La relación de transformación de los transformadores de corriente en función de la carga instalada y del nivel de tensión se especifica en las Tablas 4 y 5.

2) Las clases de exactitud normalizadas son:

0,2, 0,2S, 0,5 y 0,5S para transformadores de corriente fabricados bajo la NTC 2205 (IEC 60044-1)

0,2 y 0,5 para transformadores de tensión fabricados bajo la NTC 2207 (IEC 60044-2)

0,3 y 0,6 para transformadores fabricados bajo la norma ANSI / IEEE C57.13

Los índices de clase especificados corresponden a valores máximos; es decir, que se pueden instalar transformadores con índices de clase inferior a lo exigido, por ejemplo, donde se especifica un índice de Clase 0,5 se puede instalar un transformador Clase 0,5S ó Clase 0,2.

ERROR EN EL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Error en la relación de transformación diferencia en magnitud entre I_p/s e I_s y es igual a I_r , la componente de I_e en línea con I_s .

Error en ángulo de fase: Es la diferencia en ángulo de fase entre las corrientes primaria y secundaria. Es representado por θ , relacionado con I_q , la componente de I_e que está en cuadratura con I_s

El porcentaje de error de corriente está dado por

$$\% \text{ de error de corriente} = \frac{(kn I_s - I_p) \cdot 100}{I_p}$$

Donde:

Kn : Relación de transformación nominal

I_p : corriente primaria real

I_s : Corriente secundaria real cuando fluye I_p

El desplazamiento de fase esta definido por:

$$\text{Desplazamiento de Fase} = \angle \text{Vector de } I_p - \angle \text{Vector de } I_s$$

El error compuesto se expresa como un % del valor eficaz de I_p así:

$$E_c = \frac{100}{I_P} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n i_s - i_p)^2 dt}$$

Donde:

E_c : Error Compuesto.

I_p : Valor rms de la corriente primaria

i_p : Valor instantáneo de la corriente primaria

i_s : Valor instantáneo de la corriente secundaria

T : duración de un ciclo

K_n : relación de transformación nominal

SELECCIÓN DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Aplicación de la formula

Utilizando la ecuación fundamental de los transformadores [4]

$$VS = 4.44 f A N B_{max} * 10^{-8}$$

Donde:

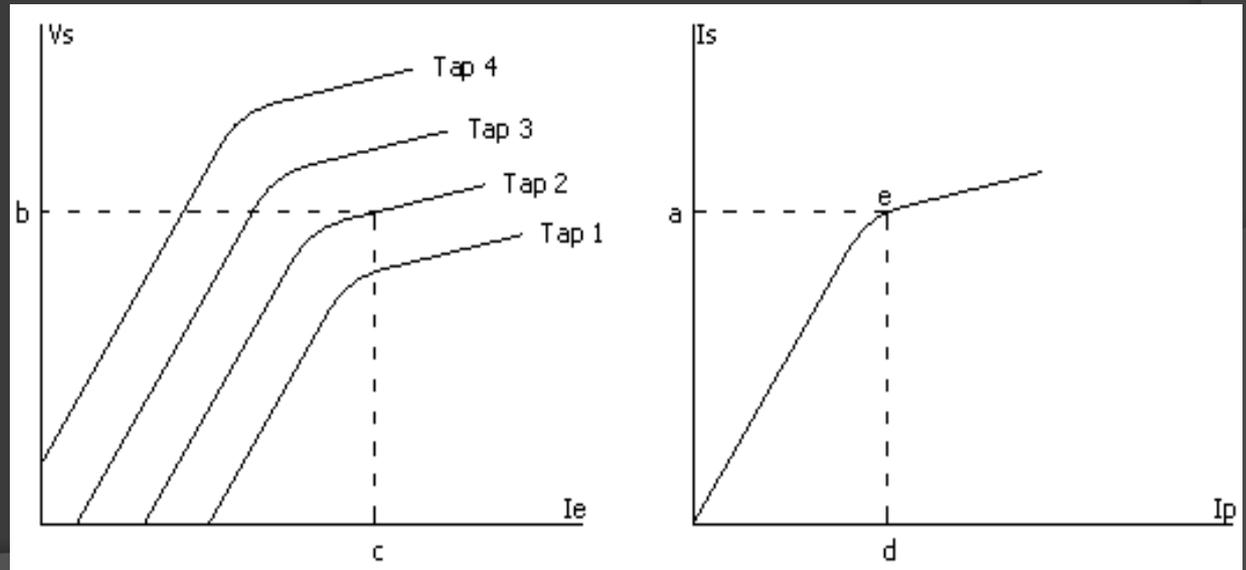
f: frecuencia en Hz

A: Área transversal del núcleo

N: Numero de vueltas

B: Densidad de flujo

- **Usando Curvas De Magnetización:** Las curvas típicas de saturación de Transformador de Corriente que son suministradas por los fabricantes establecen la corriente rms obtenida al aplicar un voltaje rms al devanado secundario, con el devanado primario en circuito abierto. Las curvas dan la magnitud de la corriente de excitación requerida a fin de obtener un voltaje secundario específico. El método consiste en producir una curva que muestre la relación entre las corrientes primaria y secundaria para una derivación (tap) y condiciones especificadas de carga tal como se muestra



- ⦿ Asumir un valor para IS.
- ⦿ Calcular Vs
- ⦿ $V_S = I_S * Z_S + Z_C + Z_B$
- ⦿ Localizar el valor de Vs en la curva de magnetización
- ⦿ Calcular $I_P \square n = I_S + I_e$ y multiplicar este valor por n para referirlo al lado primario del Transformador de corriente
- ⦿ Esto proporciona un punto en la curva de IS contra IP y el proceso es luego repetido para obtener otros valores de IS y el valor resultante de IP

NTC 5019 SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

⦿ Para Transformadores De Tensión

La tensión primaria nominal, la tensión secundaria nominal, la relación de transformación nominal, la frecuencia nominal, la clase de exactitud y la carga nominal (*Burden*).

⦿ Para Transformadores De Corriente

La corriente primaria nominal, la corriente secundaria nominal, la corriente térmica nominal de corta duración, la corriente dinámica nominal, la relación de transformación nominal, la frecuencia nominal, la clase de exactitud y la carga nominal (*Burden*).

TIPOS DE MEDICIÓN SEGÚN SU CONEXIÓN

Dependiendo del nivel de tensión (NT) y de la magnitud de la carga a la cual se le va a medir el consumo de energía, la medición puede ser realizada en forma directa, semi-directa o indirecta.

● **Medición Directa**

Tipo de conexión en el cual las señales de tensión y de corriente que recibe el medidor son las mismas que recibe la carga.

● **Medición Semi-Directa**

Tipo de conexión en el cual las señales de tensión que recibe el medidor son las mismas que recibe la carga y las señales de corriente que recibe el medidor provienen de los respectivos devanados secundarios de los transformadores de corriente (t.c.) utilizados para transformar las corrientes que recibe la carga.

● **Medición Indirecta**

Tipo de conexión en el cual las señales de tensión y de corriente que recibe el medidor provienen de los respectivos devanados secundarios de los transformadores de tensión (t.t.) y de corriente (t.c.) utilizados para transformar las tensiones y corrientes que recibe la carga.

SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

- ⦿ **Corriente primaria nominal** La corriente primaria nominal del transformador de corriente se debe seleccionar de tal forma que el valor de la corriente a plena carga en el sistema eléctrico al cual está conectado el transformador de corriente, esté comprendida entre el 80 % de la corriente nominal y la corriente nominal multiplicada por el factor de cargabilidad del t.c
- ⦿ **Corriente secundaria nominal** El valor normalizado de corriente secundaria nominal es 5 A. En casos especiales se permite la instalación de t.c. con corriente nominal secundaria de 1 A.
- ⦿ **Carga nominal.** La carga nominal (*Burden*) del transformador de corriente debe seleccionarse de tal forma que la carga real del circuito secundario (incluyendo los cables de conexión del transformador al medidor) esté comprendido entre el 25 % y el 100 % de su valor.

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE T.C. PARA MEDICIONES SEMI-DIRECTAS

Circuitos a 3 x 120/208 V		Circuitos a 3 x 127/220 V		Circuitos a 3 x 254/440 V		Circuitos a 120/240 V	
Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c
28 A 43	100/5	30 A 45	100/5	60 A 91	100/5	19 A 28	100/5
44 A 65	150/5	46 A 68	150/5	92 A 137	150/5	29 A 43	150/5
66 A 86	200/5	69 A 91	200/5	138 A 183	200/5	44 A 57	200/5
87 A 129	300/5	92 A 137	300/5	184 A 274	300/5	58 A 86	300/5
130 A 162	400/5	138 A 182	400/5	275 A 365	400/5	87 A 108	400/5
163 A 194	500/5	183 A 228	500/5	366 A 457	500/5	109 A 129	500/5
195 A 259	600/5	229 A 274	600/5	458 A 548	600/5	130 A 172	600/5
260 A 324	800/5	275 A 365	800/5	549 A 731	800/5	173 A 216	800/5
325 A 389	1 000/5	366 A 457	1 000/5	732 A 914	1000/5	217 A 259	1 000/5
390 A 467	1 200/5	458 A 548	1 200/5	915 A 1097	1200/5	260 A 311	1 200/5
468 A 648	1 600/5	549 A 731	1 600/5	1 098 A 1463	1600/5	312 A 438	1 600/5

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE T.C. PARA MEDICIONES INDIRECTAS

Circuitos a 11,4 kV		Circuitos a 13,2 kV		Circuitos a 34,5 kV	
Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los t.c
79 a 118	5/5	91 a 137	5/5	239 a 358	5/5
158 a 237	10/5	183 a 274	10/5	478 a 717	10/5
238 a 355	15/5	275 a 411	15/5	718 a 1 075	15/5
356 a 473	20/5	412 a 503	20/5	1 076 a 1 314	20/5
474 a 592	25/5	504 a 617	25/5	1 315 a 1 613	25/5
593 a 710	30/5	618 a 823	30/5	1 614 a 2 151	30/5
711 a 947	40/5	824 a 1 029	40/5	2 152 a 2 689	40/5
948 a 1 184	50/5	1 030 a 1 234	50/5	2 690 a 3 226	50/5
1 185 a 1 421	60/5	1 235 a 1 554	60/5	3 227 a 4 063	60/5
1 422 a 1 829	75/5	1 555 a 1 829	75/5	4 064 a 4 780	75/5
1 830 a 2 369	100/5	1 830 a 2 743	100/5	4 781 a 7 170	100/5
2 370 a 3 554	150/5	2 744 a 4 115	150/5	7 171 a 10 756	150/5
3 555 a 4 739	200/5	4 116 a 5 144	200/5	10 757 a 13 445	200/5

NOTA Para las Tablas 4 y Tabla 5, los rangos de capacidad instalada han sido definidos considerando un Factor de Cargabilidad del t.c. del 120 %. Para el caso de rangos de carga no contemplados en la Tabla 4 (por ejemplo 119 kVA a 157 kVA para circuitos a 11,4 kV puede especificarse un t.c. con Factor de cargabilidad del 150 % o del 200 % según sea el valor de la carga, o utilizarse un t.c. de relación 7,5/5 A.

- **Carga nominal.** La carga nominal (*Burden*) del transformador de corriente debe seleccionarse de tal forma que la carga real del circuito secundario (incluyendo los cables de conexión del transformador al medidor) esté comprendido entre el 25 % y el 100 % de su valor. [6]

TRANSFORMADORES DE MEDIDA Y PROTECCIÓN COMPARACIÓN

- Los TC de medida debe trabajar lo más exactamente posible bajo condiciones normales de operación.

No suelen soportar valores muy grandes de corriente, ni mide magnitudes anormalmente grandes.

- Los TC de protección debe operar correctamente entre márgenes muy amplios de carga, desde corrientes mínimas hasta valores varias veces mayores que la corriente nominal.
- Aparatos de protección necesita en todo momento un valor fidedigno de la magnitud para poder actuar en todo momento según conveniencia

DISEÑO Y SELECCIÓN DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE ANSI –C57-13

- Un transformador de corriente es un transformador de medición, donde la corriente secundaria es dentro de las condiciones normales de operación, prácticamente proporcional a la corriente primaria, y desfasada de ella un ángulo cercano a cero, para un sentido apropiado de conexiones.

FACTORES A LA HORA DE SELECCIONAR UN TC

- ⦿ Tipo devanado primario.
- ⦿ Tipo Barra.
- ⦿ Tipo Boquilla
- ⦿ El tipo de instalación.
- ⦿ El aislamiento
- ⦿ La potencia nominal.
- ⦿ El tipo de conexión.
- ⦿ La corriente nominal

Cargas Normalizadas para Transformadores de Corriente
 Según Normas ANSI C.57.13
 Corriente Secundaria de 5 Amps.

Designación de Carga	Resistencia ohms	Inductancia mHenrys	Impedancia ohms	Volt-Amperes a 5 Amps.	Factor de Potencia
Cargas de Medición					
B-0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
B-0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
B-0.5	0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
B-0.9	0.81	1.04	0.9	22.5	0.9
B-1.8	1.62	208	1.8	45.0	0.9
Cargas de Protección					
B-1	0.5	2.3	1.0	25	0.5
B-2	1.0	4.6	2.0	50	0.5
B-4	2.0	9.2	4.0	100	0.5
B-8	4.0	18.4	8.0	200	0.5

Clase	Utilización
0.10	Calibración.
0.20-0.30	Mediciones en Laboratorios, Alimentación de Integradores para Sistemas de Potencia.
0.50-0.60	Instrumentos de Medición e Integradores. Wattorímetros para Facturación
1.20-3.00	Amperímetros de Tableros. Amperímetros de Registradores. Wattmetros de Tableros. Wattorímetros Indicadores. Fasómetros Indicadores. Fasómetros Registradores Frecuencímetros de Tableros. Protecciones Diferenciales. Relevadores de Impedancia. Relevadores de Distancia, etc.
5.00	Relevadores de Protección en general.

DEFINICION DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DE MEDIDA Y PROTECCION SEGÚN IEC60044

- ⦿ Adaptar las corrientes elevadas a valores compatibles con los que trabajan los instrumentos de medida y los relés de protección.
- ⦿ Proporcionar aislación a los instrumentos de medida y relés de protección con respecto a la alta tensión del circuito de potencia.
- ⦿ Permitir el uso normalizado para las corrientes nominales de los instrumentos de medida y relés de protección.

PARA LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA

MEDICIÓN:

- Transformador de corriente para medición
- Corriente límite nominal primario, para medición
- Factor de seguridad
- Clase de precisión
- Corriente límite de precisión nominal
- Factor límite de precisión
- Relación de vueltas nominal
- Error en la relación de vueltas

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA PROTECCION

- Clase P
- Clase PX
- Clase PR
- Clase PXR
- Clase TPX
- Clase TPY
- Clase TPZ

CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS

ENSAYOS TIPO

Los siguientes son ensayos tipo hechos sobre un transformador de cada tipo demuestra que la construcción es correcta:

- ⦿ Ensayos de corriente de cortocircuito.
- ⦿ Ensayos de elevación de temperatura.
- ⦿ Ensayo de impulso tipo rayo.
- ⦿ Ensayo de impulso tipo maniobra.
- ⦿ Ensayo húmedo para transformadores de tipo exterior.
- ⦿ Determinación de errores.
- ⦿ Medición de las perturbaciones radioeléctricas.
- ⦿ Se recomienda llevar a cabo todos los ensayos dieléctricos tipo en el mismo transformador, a menos que se especifique algo diferente.

ENSAYOS DE RUTINA

Los siguientes ensayos se aplican a cada transformador individual:

- ⦿ Verificación de la marcación de los terminales.
- ⦿ Ensayo a frecuencia industrial en devanados primarios.
- ⦿ Medición de descargas parciales.
- ⦿ Ensayo a frecuencia industrial sobre devanados secundarios.
- ⦿ Ensayos a frecuencia industrial, entre secciones.
- ⦿ Ensayo de sobretensión entre espiras.
- ⦿ Determinación de errores.

ENSAYOS ESPECIALES

Los siguientes ensayos se deben llevar a cabo mediante acuerdo entre el fabricante y el comprador.

- ⦿ Ensayo de impulso recortado tipo rayo.
- ⦿ Medición de la capacitancia y del factor de disipación dieléctrica.
- ⦿ Ensayo de impulsos recortados múltiples sobre devanados primarios.
- ⦿ Ensayos mecánicos.
- ⦿ Medición de las sobretensiones transmitidas.

BIBLIOGRAFIA

[1]	Lescop, « http://www.lescop.com/ ,» [En línea]. Available: http://www.lescop.com/es/pdf/Nota_tecnica_II_(Caracteristicas).pdf .
[2]	D. E. R. Oliva, Transformadores de potencia, de medida y de proteccion, barcelona: Alfaomega, 1991.
[3]	siemens, « https://w3.siemens.com/ ,» [En línea]. Available: https://w3.siemens.com/powerdistribution/global/SiteCollectionDocuments/en/mv/indoor-devices/protective-measuring-transformers-m4/catalogue-protective-and-measuring-transformers-m4_es.pdf .
[4]	S. R. Castaño, Proteccion de Sistemas Electricos, Universidad Nacional de Colombia Manizales.
[5]	Icontec, «Norma tecnica colombiana NTC 2205».
[6]	Icontec, «Seleccion de Equipos de Medicion de energia electrica NTC 5019».
[7]	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, ANSI C-57-13.
[8]	Comision Electrotecnica Internacional, IEC 60044-1.