



T&D electric

INNOVANDO SOLUCIONES

“

Somos una empresa especializada en proyectos, servicios y equipamientos electromecánicos. Contamos con equipos de tecnología de punta, que nos permite brindarle una solución a medida, garantizando el cumplimiento de estándares en seguridad y respeto al medio ambiente.

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018

BUREAU VERITAS
Certification



”

PROTECCION DIFERENCIAL DE TRANSFORMADOR



19/05/2022



6:00pm

(Hora Peruana
GMT-5)



Value Added Reseller
Grid Solutions

INNOVANDO SOLUCIONES



EXPOSITOR

T&D ELECTRIC

JUAN ALBERTO AMAYA HURTADO

- Ingeniero Electricista, con más de 05 años de experiencia, realizando servicios de pruebas y comisionamientos de sistemas de protección y equipamientos primarios en subestaciones eléctricas de baja, media y alta tensión.
- También cuenta con experiencia realizando estudios eléctricos de flujo de carga, cortocircuito y coordinación de protecciones.
- En su experiencia laboral ha desarrollado estudios eléctricos, puestas en servicios, configuraciones y pruebas eléctricas a dispositivos de protección y control de subestaciones eléctricas. Además a desarrollado pruebas eléctricas y comisionamientos a múltiples equipamientos primarios en instalaciones eléctricas de alta, media y baja tensión.
- Actualmente se desempeña como especialista en protecciones de sistemas eléctricos de potencia en T&D Electric S.A.C.

CONTENIDO

- 1) FALLAS EN TRANSFORMADORES
- 2) CONSIDERACIONES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)
- 3) RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL
- 4) FUENTES DE ERROR DE LA CORRIENTE DIFERENCIAL
- 5) CURVA CARACTERISTICA DE OPERACIÓN
- 6) AJUSTES DE PROTECCIÓN 87T
- 7) PRUEBAS ELECTRICAS DE PROTECCIÓN 87T

1. FALLAS EN LOS TRANSFORMADORES

T&D  ELECTRIC

Fallas en los componentes del Transformador:

- Fallas en los Devanados.
- Fallas en los Cambiador de tomas.
- Fallas en los bushings.
- Fallas en el Núcleo.

1. FALLAS EN LOS TRANSFORMADORES

Estadística de fallas en los transformadores:

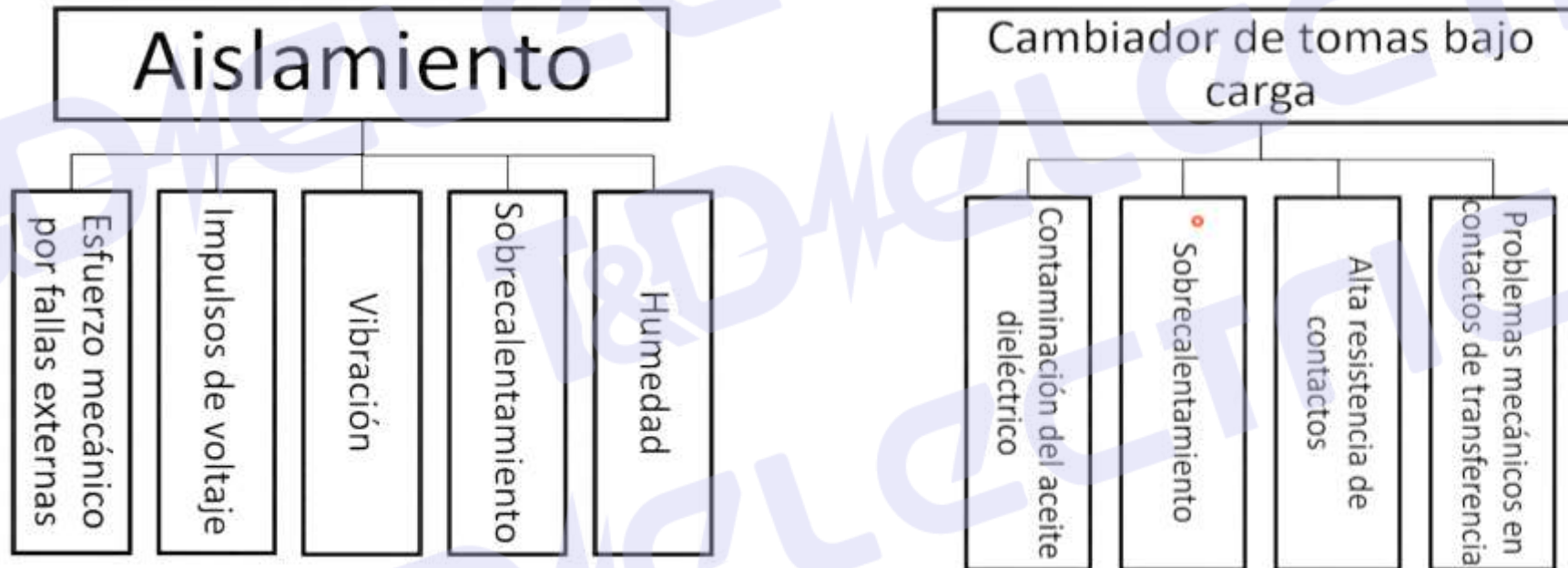
Failure Statistics of Transformers

	1955- 1965		1975- 1982		1983- 1988	
	Number	% of Total	Number	% of Total	Number	% of Total
Winding failures	134	51	615	55	144	37
Tap changer failures	49	19	231	21	85	22
Bushing failures	41	15	114	10	42	11
Terminal board failures	19	7	71	6	13	3
Core failures	7	3	24	2	4	1
Miscellaneous	12	4	72	6	101	26
Total	262	100	1127	100	389	100

FUENTE IEEE C37.91 (Estadística EE.UU)

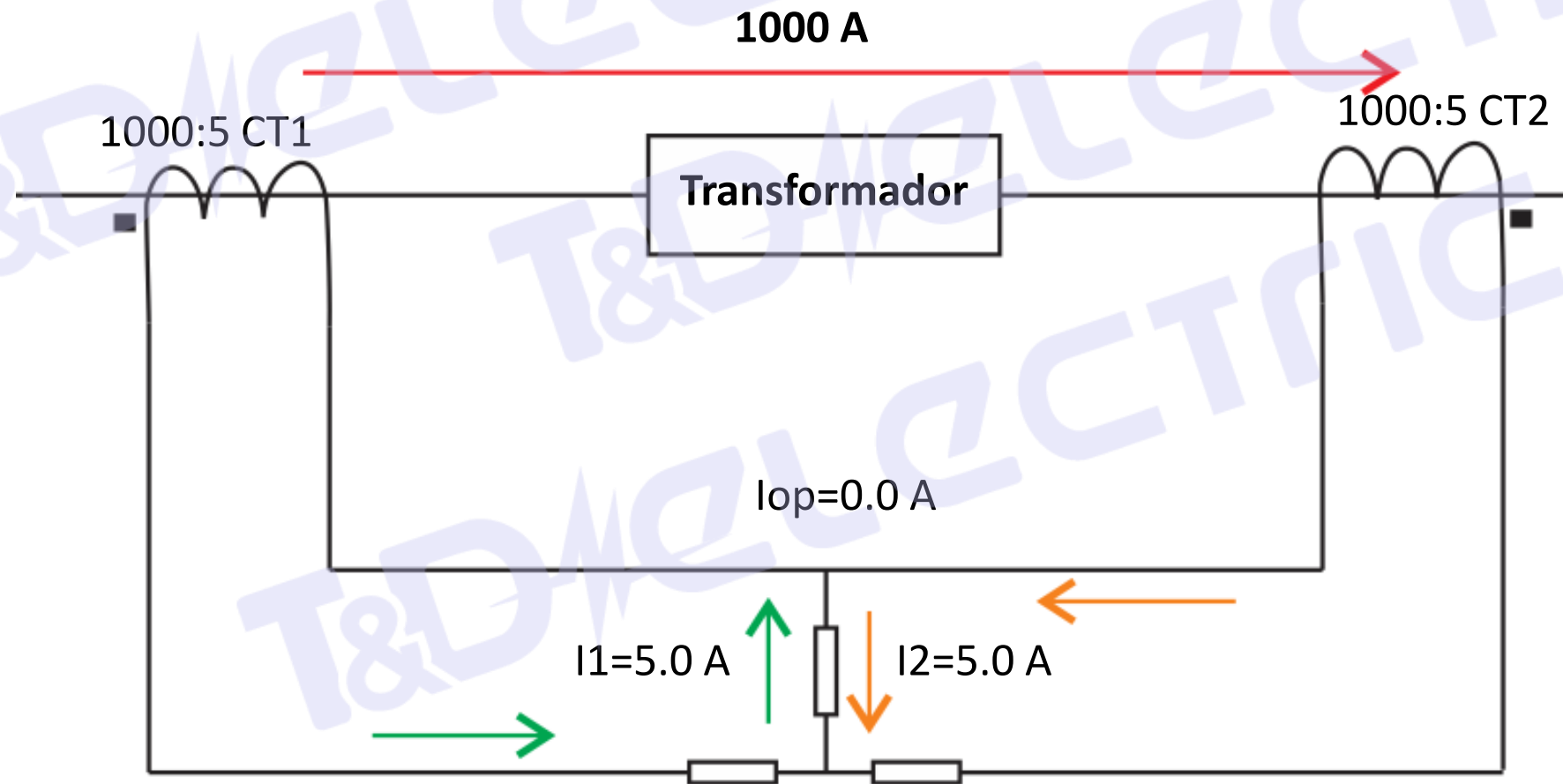
1. FALLAS EN LOS TRANSFORMADORES

Causas de las fallas:

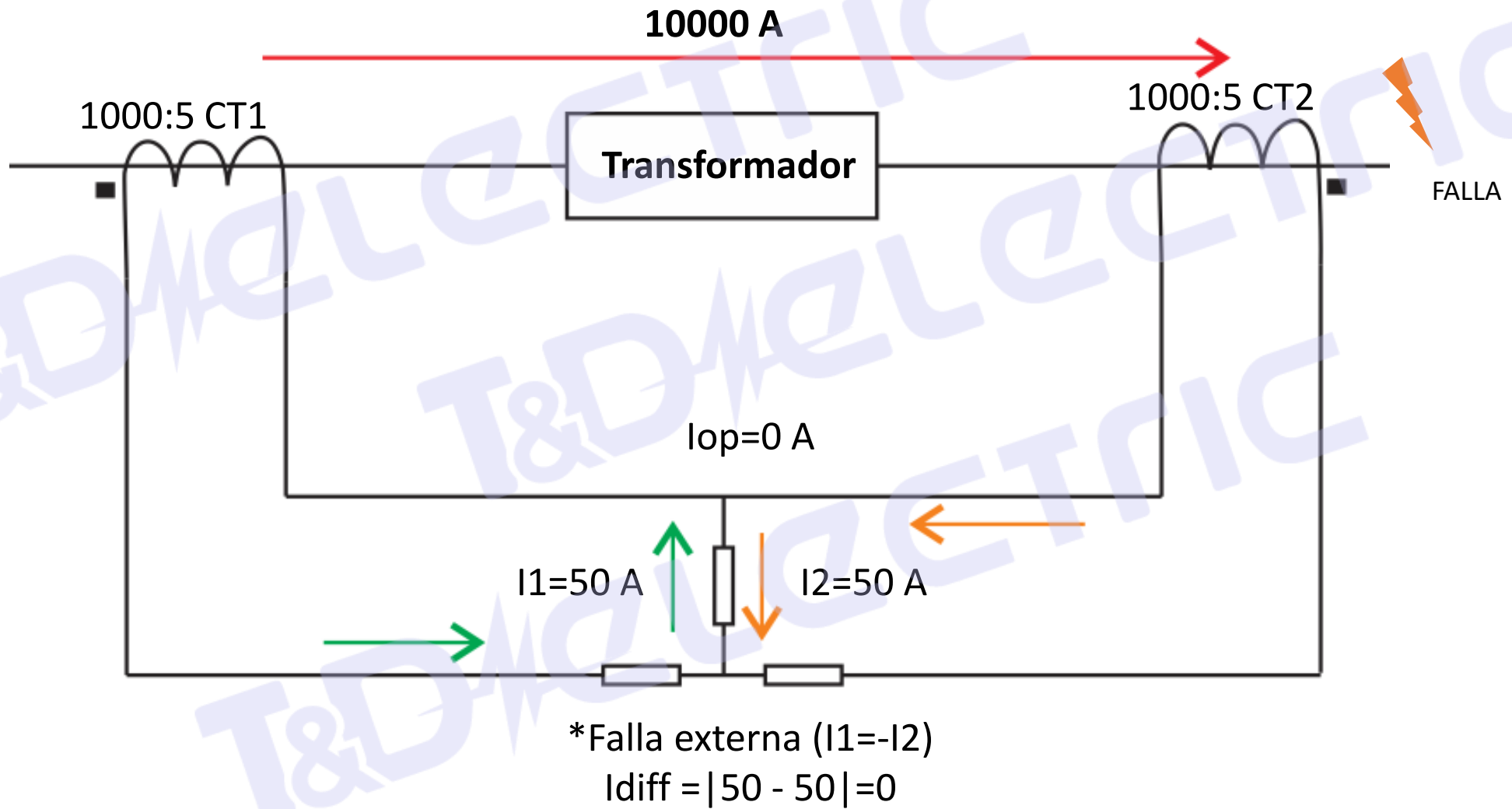


2. CONSIDERACIONES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)

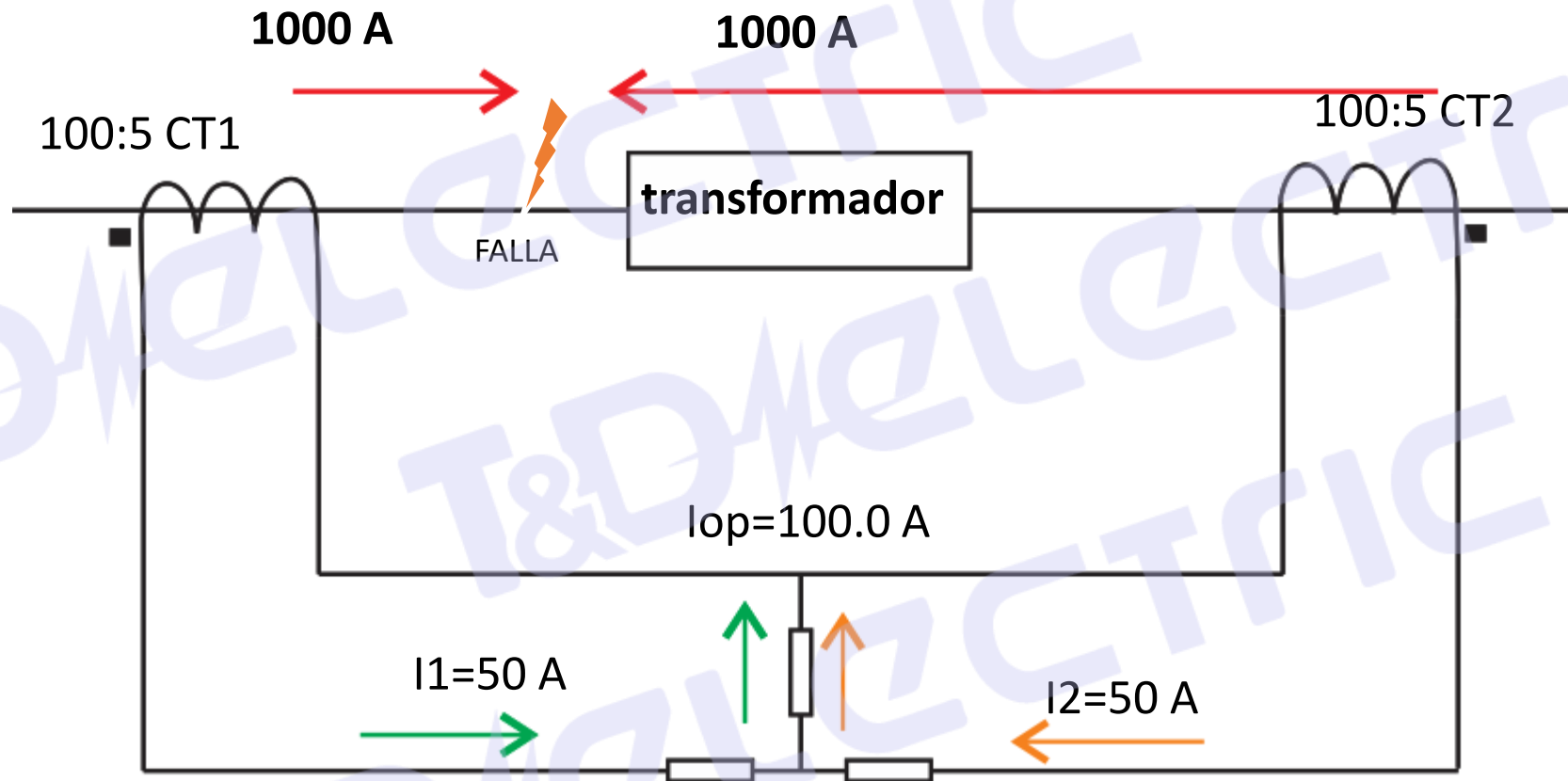
T&D ~~electric~~



2. CONSIDERACIONES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)

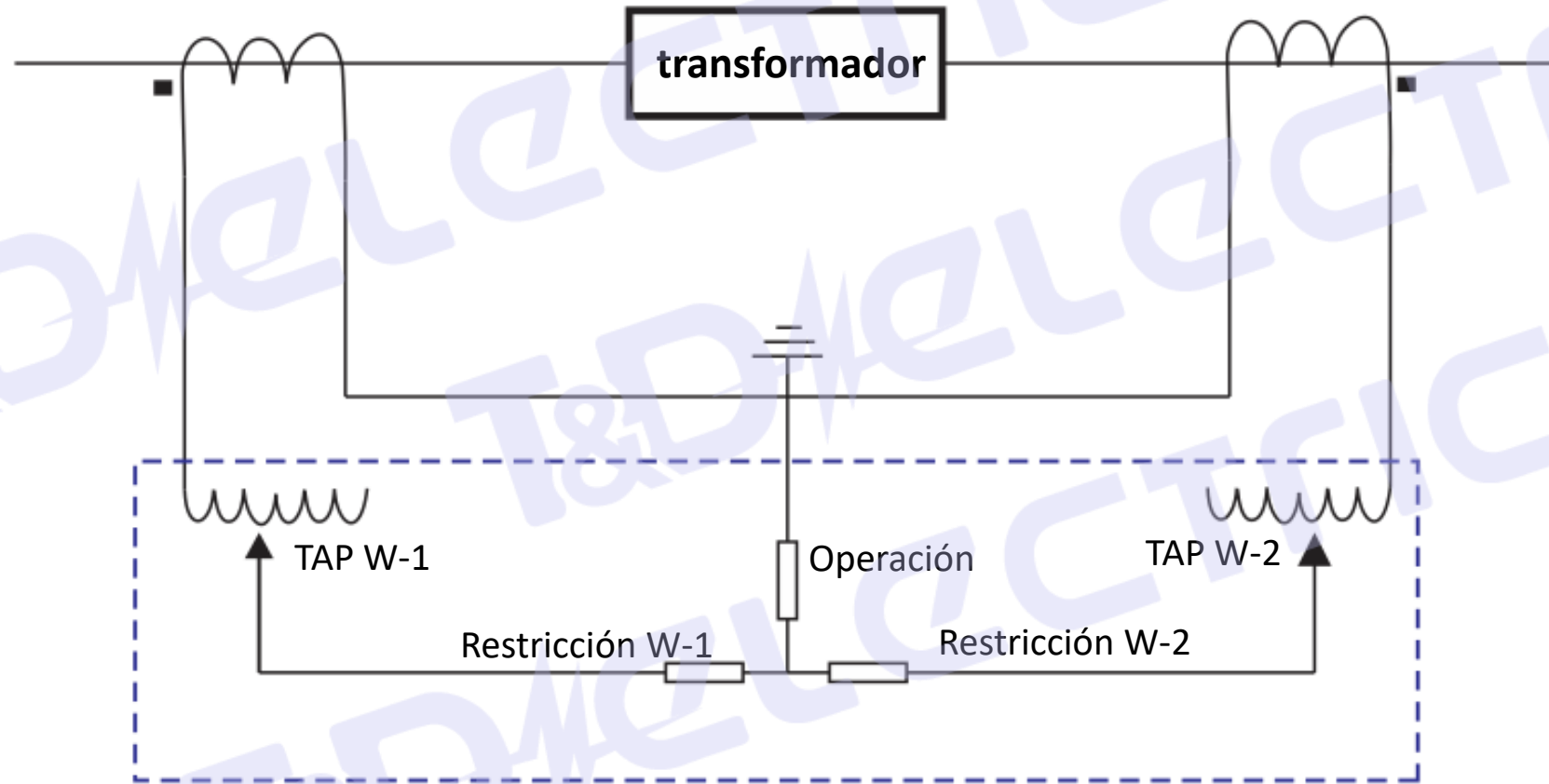


2. CONSIDERACIONES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)



*Falla interna
 $I_{diff} = |50 + 50| = 100A$

2. CONSIDERACIONES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)



2. CONSIDERACIONES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)

ASPECTOS GENERALES

- ✓ El principio se basa en las medidas de las corrientes de entrada y salida del transformador.
- ✓ En los relés, las corrientes se adaptan en magnitud y ángulo de fase, y se determina una diferencia (Corriente diferencial).
- ✓ Si la corriente diferencial sobrepasa algún valor predeterminado, la protección diferencial del relé opera.
- ✓ Generalmente se debe considerar el punto estrella hacia el equipo a proteger.

2. CONSIDERACIONES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)

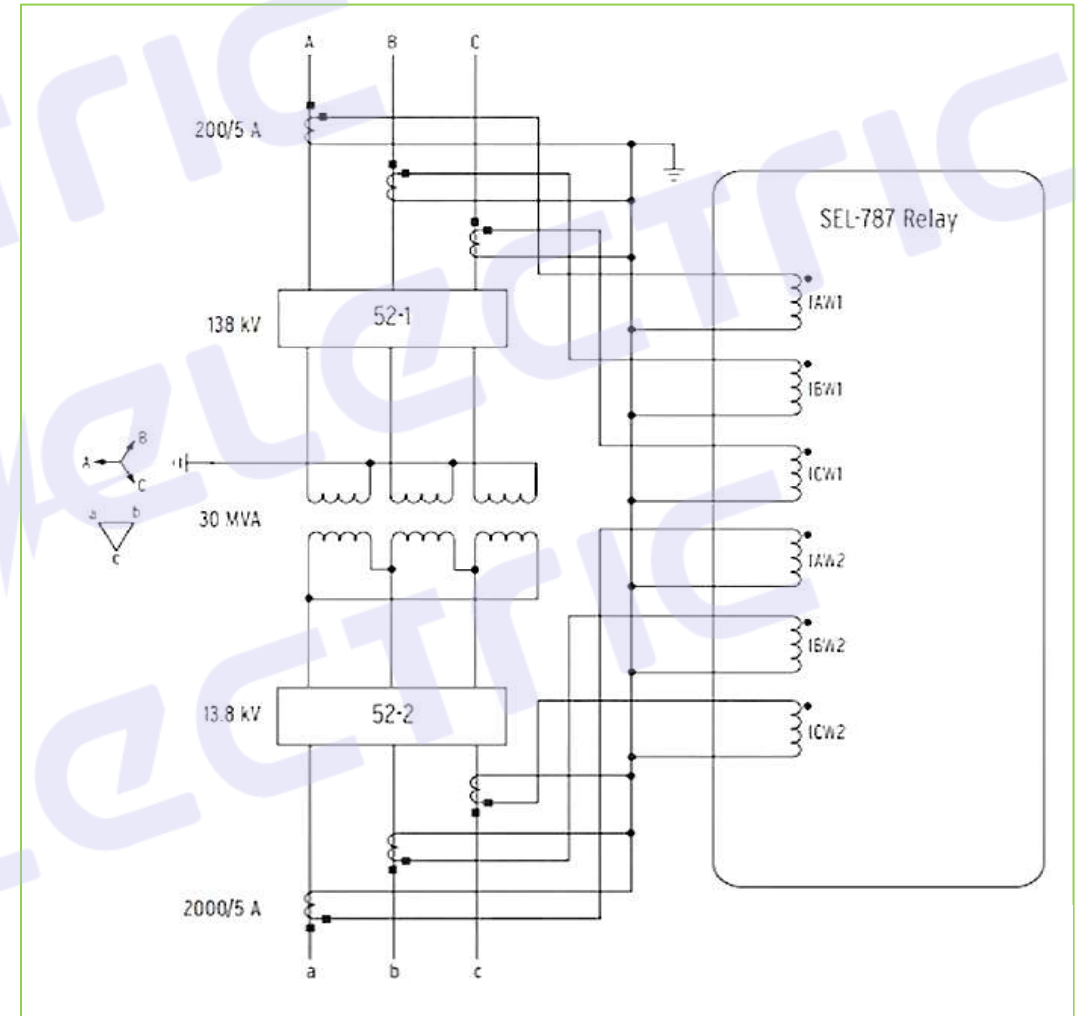
ASPECTOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL

- ✓ Es considerada la protección más importante para los transformadores, por su rapidez y selectividad.
- ✓ Su zona de protección se encuentra limitada por los transformadores de corriente.
- ✓ Se considera completamente selectiva por que solo opera contra fallas internas y no contra fallas externas.

2. CONSIDERACIONES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)

AREA DE ALCANCE DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL

- ✓ El área de cobertura debe contener a los interruptores asociados a la protección diferencial
- ✓ Se cubre zonas de cableado, que pueden estar fuera de cobertura de cualquier otra protección.



2. CONSIDERACIONES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)

Corriente Diferencial (I_{op})

La corriente diferencial I_{OP} . Esta corriente debe tener valores bajos para corrientes nominales o fallas externas y valores altos para fallas internas. La manera de calcularla es:

$$I_{OPERATE} = I_{Winding1} \angle \theta_{Winding1} + I_{Winding2} \angle \theta_{Winding2}$$

$$I_{OP} = |\vec{I}_1 + \vec{I}_2|$$

2. CONSIDERACIONES DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)

Corriente de Restricción (Ibias - Irs)

La corriente de restricción, frenado o bias IRS. Esta corriente es una indicación de cuánta corriente está circulando por el transformador. Los fabricantes tienen distintos modos de calcular la corriente IRS. Las ecuaciones más comunes son las siguiente:

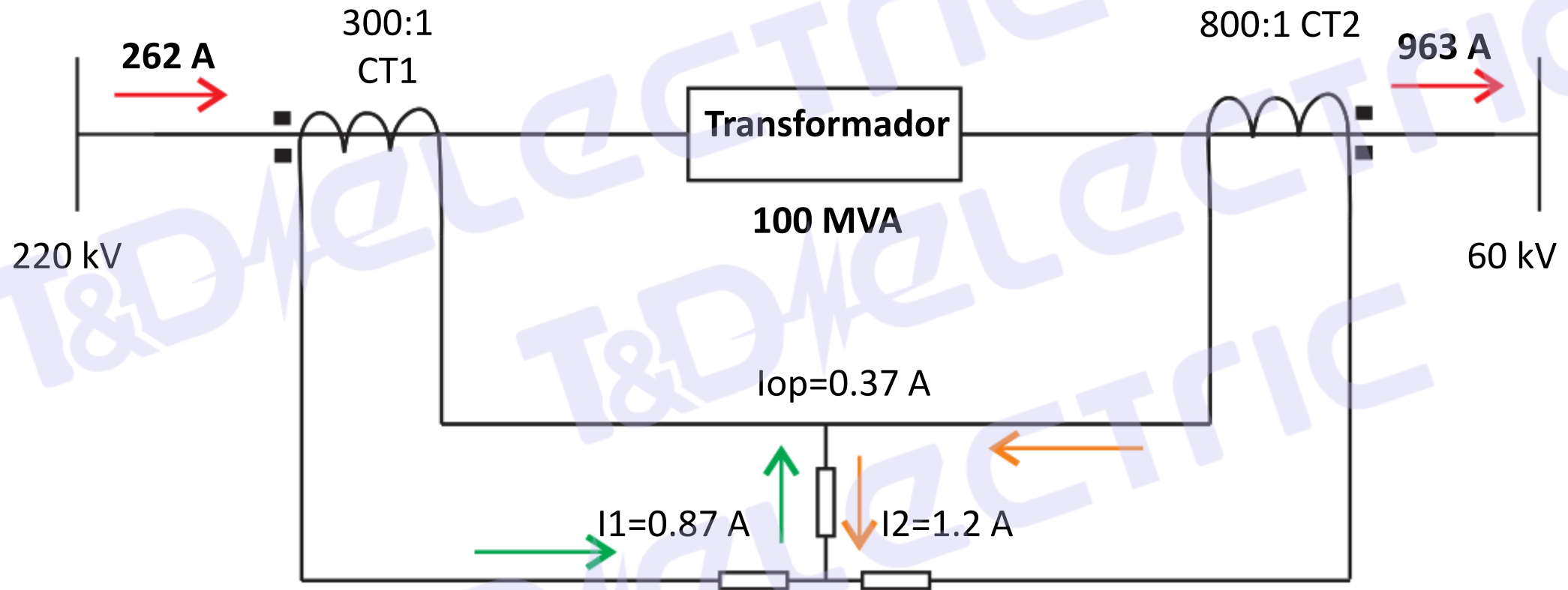
Equation	Manufacturer
$I_{RS} = \frac{ \vec{I}_1 + \vec{I}_2 }{2}$	SEL 487, SEL 787, Siemens 7UT5X Series, and Siemens 7UT6X Series
$I_{RS} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 $	
$I_{RS} = \max(\vec{I}_1 , \vec{I}_2)$	
$I_{RS} = \min(\vec{I}_1 , \vec{I}_2)$	
$(I_p + I_s)$	SEL 387, SEL 587, AREVA/Schneider P63X
$(I_p + I_s)/2$	
$> I_p \text{ or } I_s $	ABB RET670, GE Multilin SR 745, UR T-60, T-35

3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T)

T&D  ELECTRIC

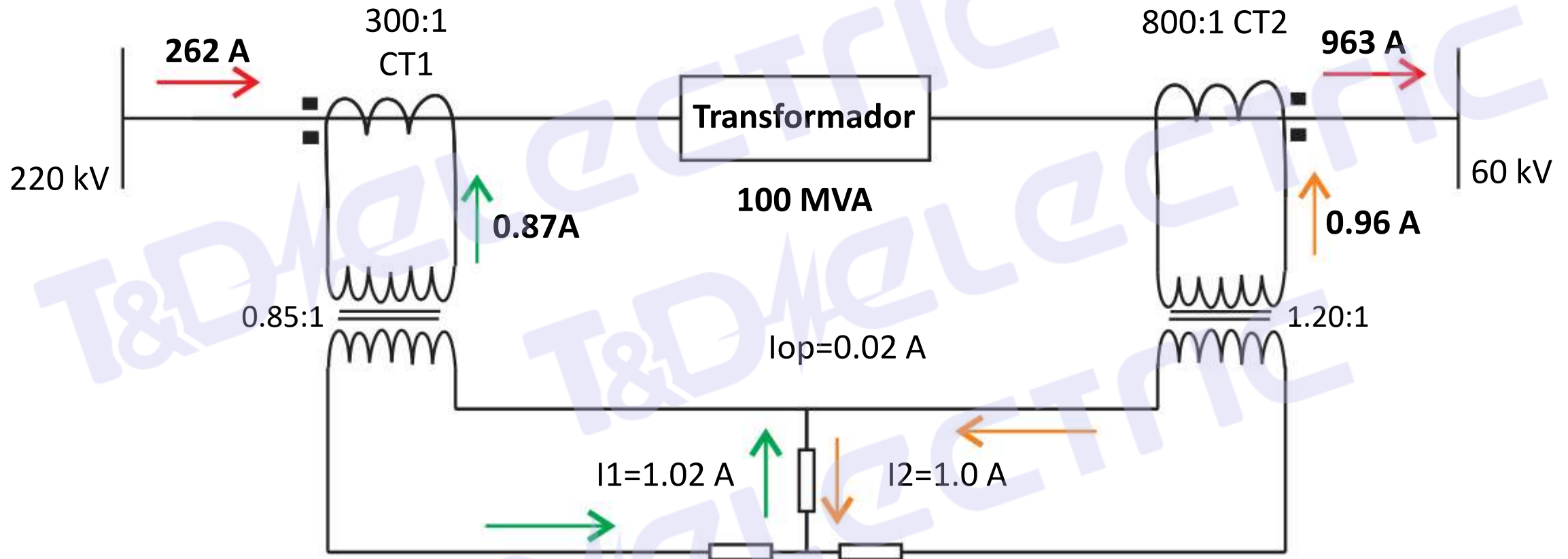
- ✓ Diferente relación de los transformadores de corriente.
- ✓ Desfasaje debido al grupo de conexión del transformador.
- ✓ Fallas externas monofásicas.
- ✓ Corriente de energización.

3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))



Diferente relación del transformador de corriente.

3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))



Uso de TC intermedio multiratio para compensar las corrientes entrantes al relé diferencial
Existe un error mínimo en las corrientes entrantes al relé.

3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))

Solución a la Diferente relación de los transformadores de corriente en los relés numéricos.

$$TAP_n = \frac{1,000 S_{MAX} C_n}{\sqrt{3} V_n CTR_n}$$

$$TAP_1 = \frac{1,000 * 30MVA}{\sqrt{3} * 138kV * 40}$$

$$TAP_1 = 3.14$$

$$TAP_2 = \frac{1,000 * 30MVA}{\sqrt{3} * 138kV * 400}$$

$$TAP_2 = 3.14$$

$C_1 = 1$; Si la conexión de los transformadores de corriente es en estrella.

$C_1 = 1.73$; Si la conexión de los transformadores de corriente es en delta.

S_{MAX} =Capacidad máxima del transformador en MVA.

V_n =Tensión de línea a línea en Kv.

CTR_n = Relación del transformación del TC.

(Debe realizar para lado de alta y lado de baja)

Los reveladores digitales realizan automáticamente esta compensación a partir de los datos base ingresados.

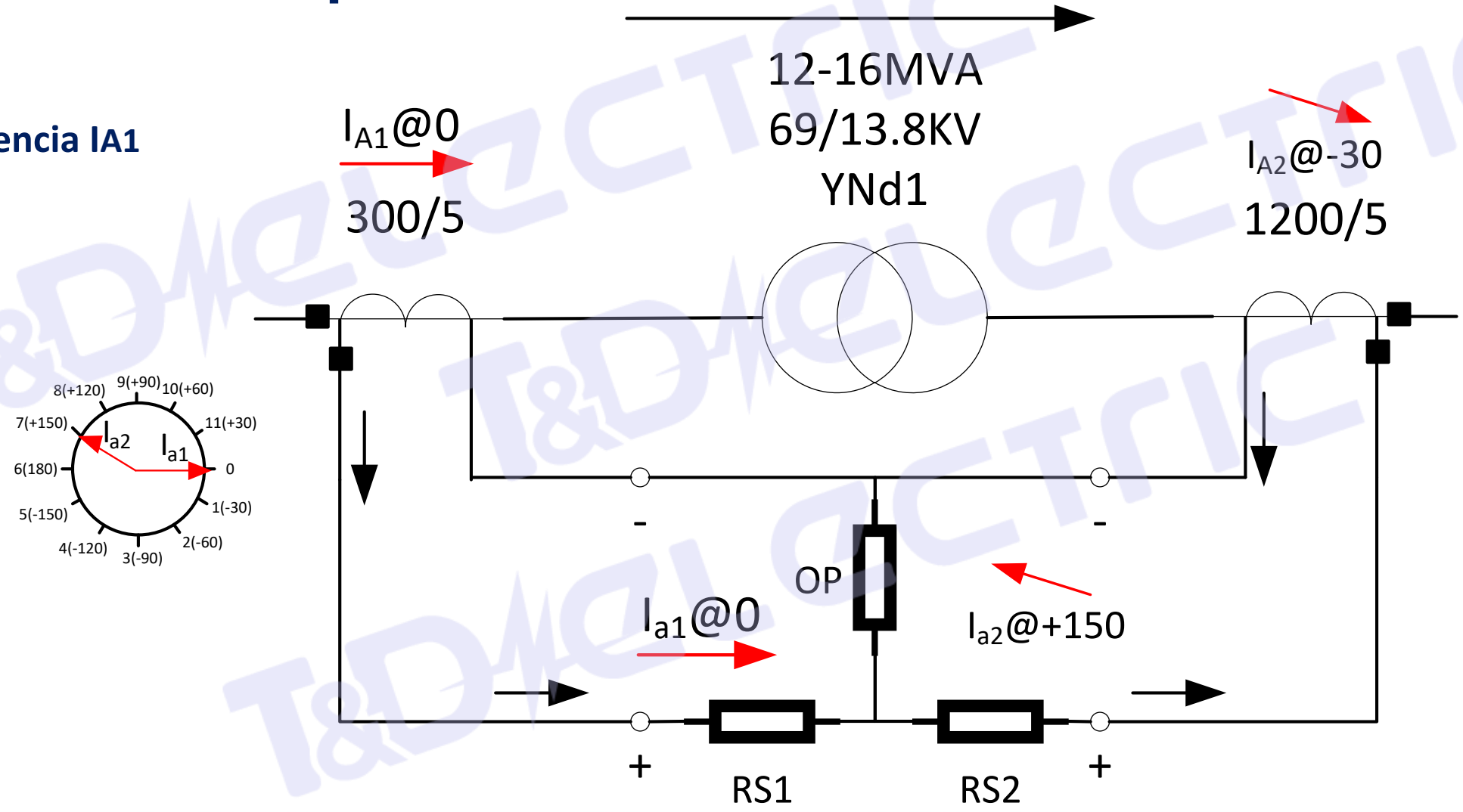
Fasores Típicos en Protección Diferencial

Conexiones Normalizadas

Dd0	Yy0			Dz0	
		Dy1	Yd1		Yz1
Dd2				Dz2	
Dd4				Dz4	
		Dy5	Yd5		Yz5
Dd6	Yy6			Dz6	
		Dy7	Yd7		Yz7
Dd8				Dz8	
Dd10				Dz10	
		Dy11	Yd11		Yz11

Corrientes Vistas por el Relé

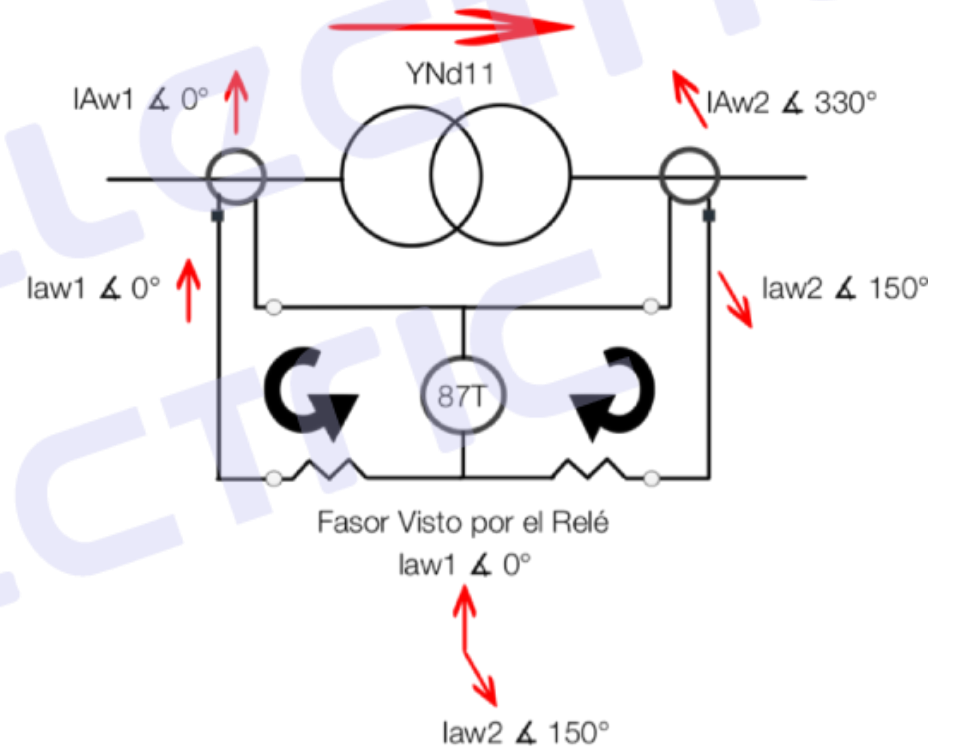
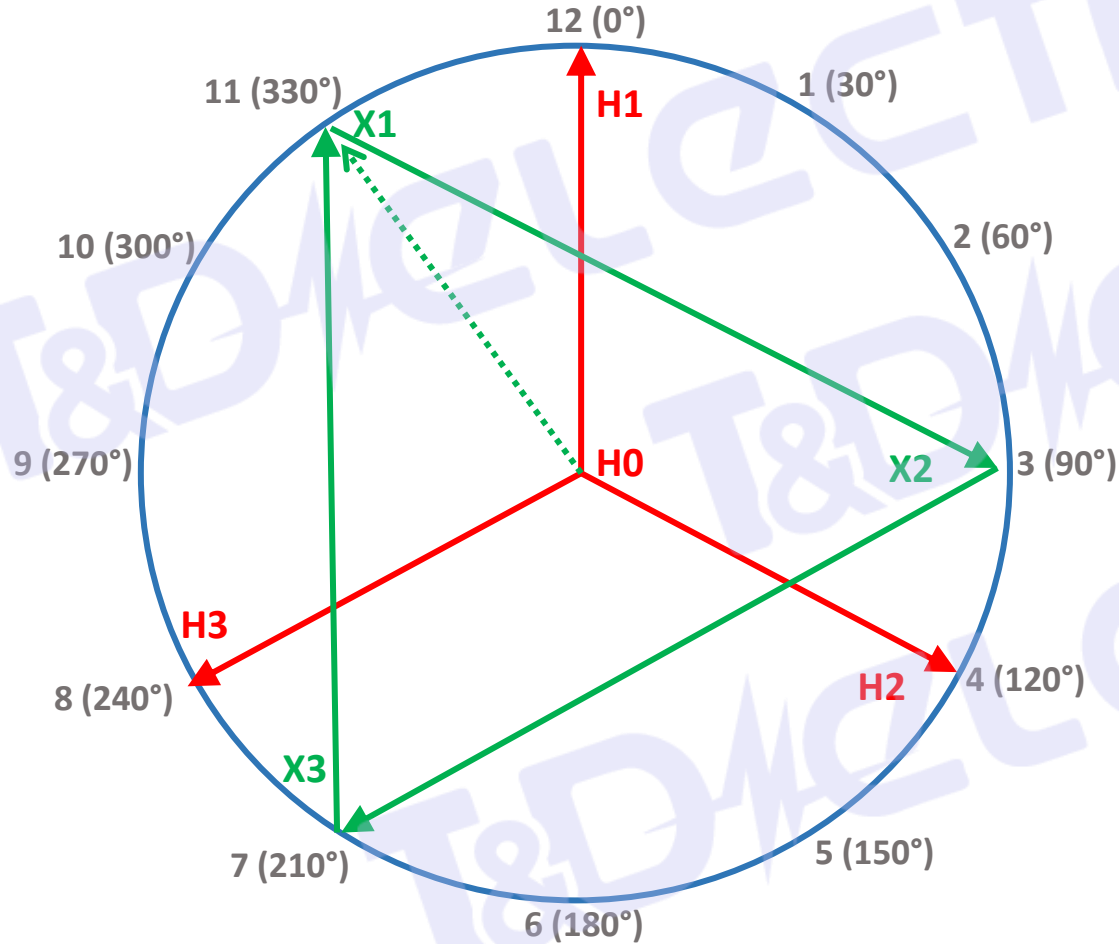
Referencia I_{A1}



3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))

Fasores Típicos en Protección Diferencial

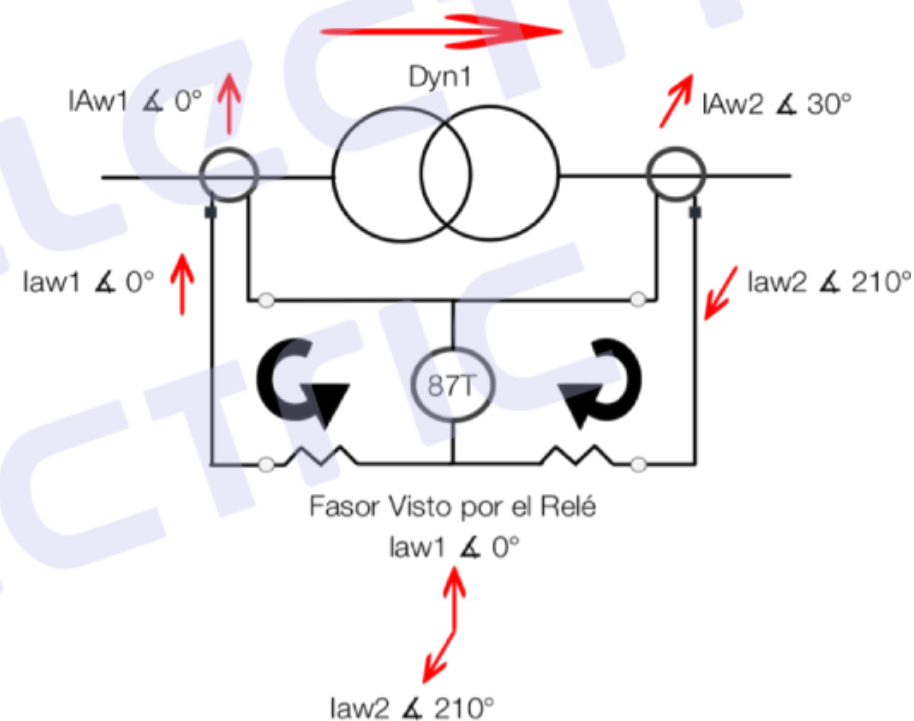
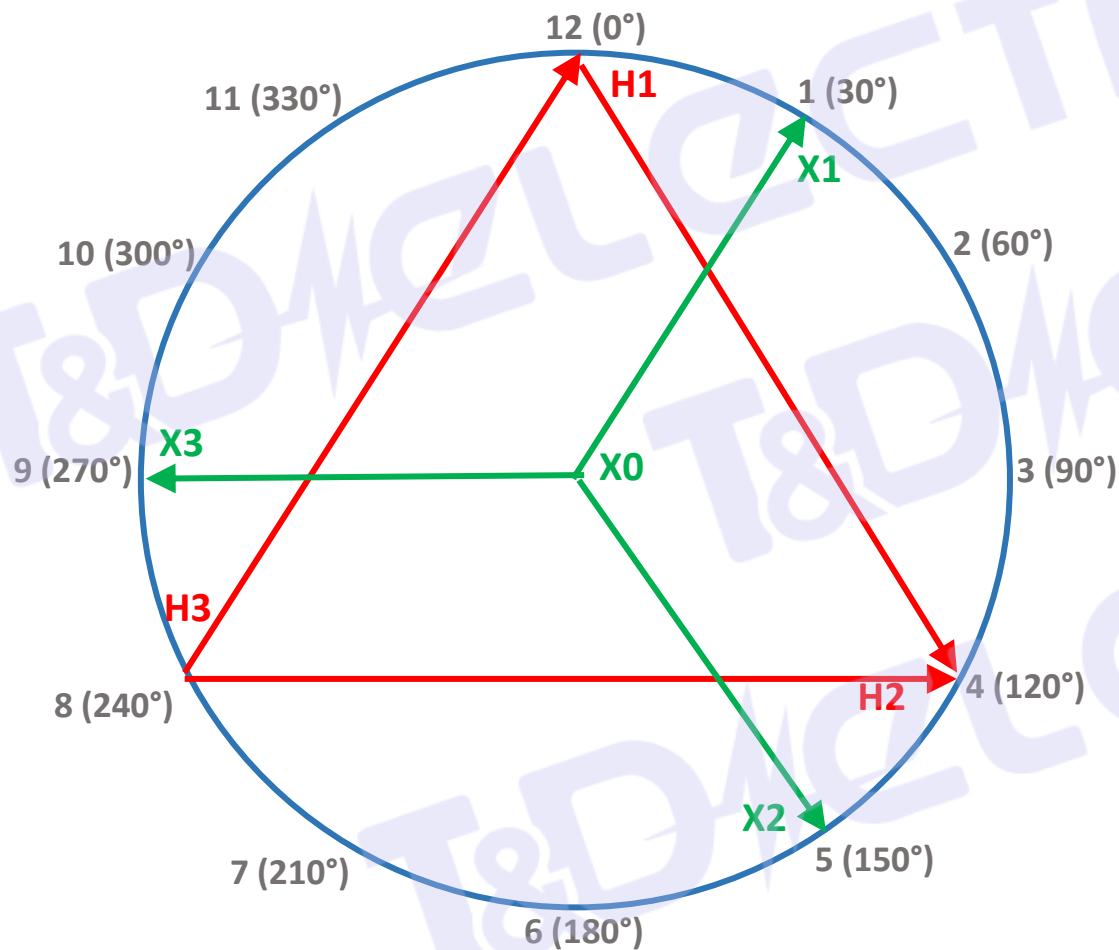
YNd11 Transformador Elevador de Generación:



3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))

Fasores Típicos en Protección Diferencial

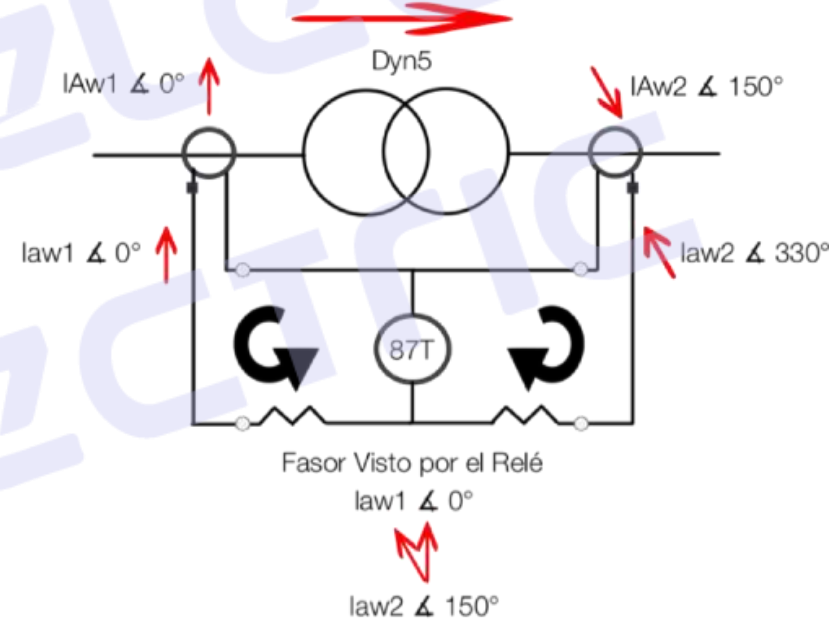
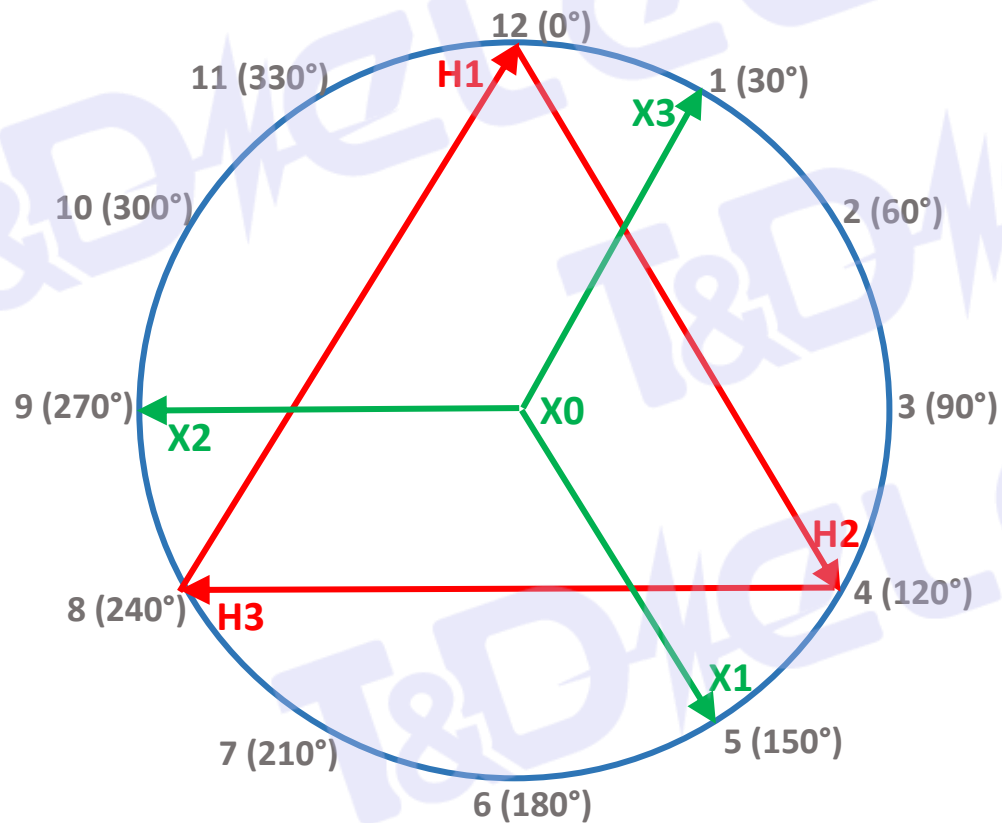
Dyn1 Transformador Reductor Distribución:



3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))

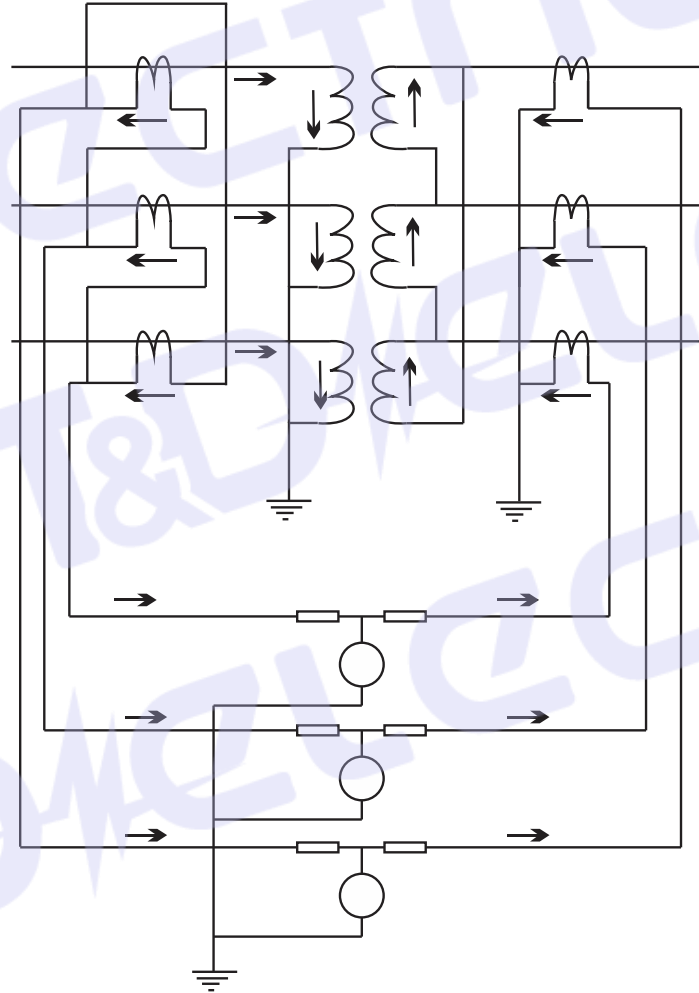
Fasores Típicos en Protección Diferencial

Dy5 Transformador Reductor Excitación: Este grupo vectorial se encuentra principalmente en transformadores de excitación en estaciones generadoras, los cuales están conectados directamente a la salida del generador y autoalimentan el sistema de excitación luego que el voltaje de salida del generador ha alcanzado un nivel de alrededor de un 70%.



3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))

Compensación de ángulos de fase por medios de los transformadores de corriente.



3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))

Compensación automática de los grupos de conexión de los relés modernos.

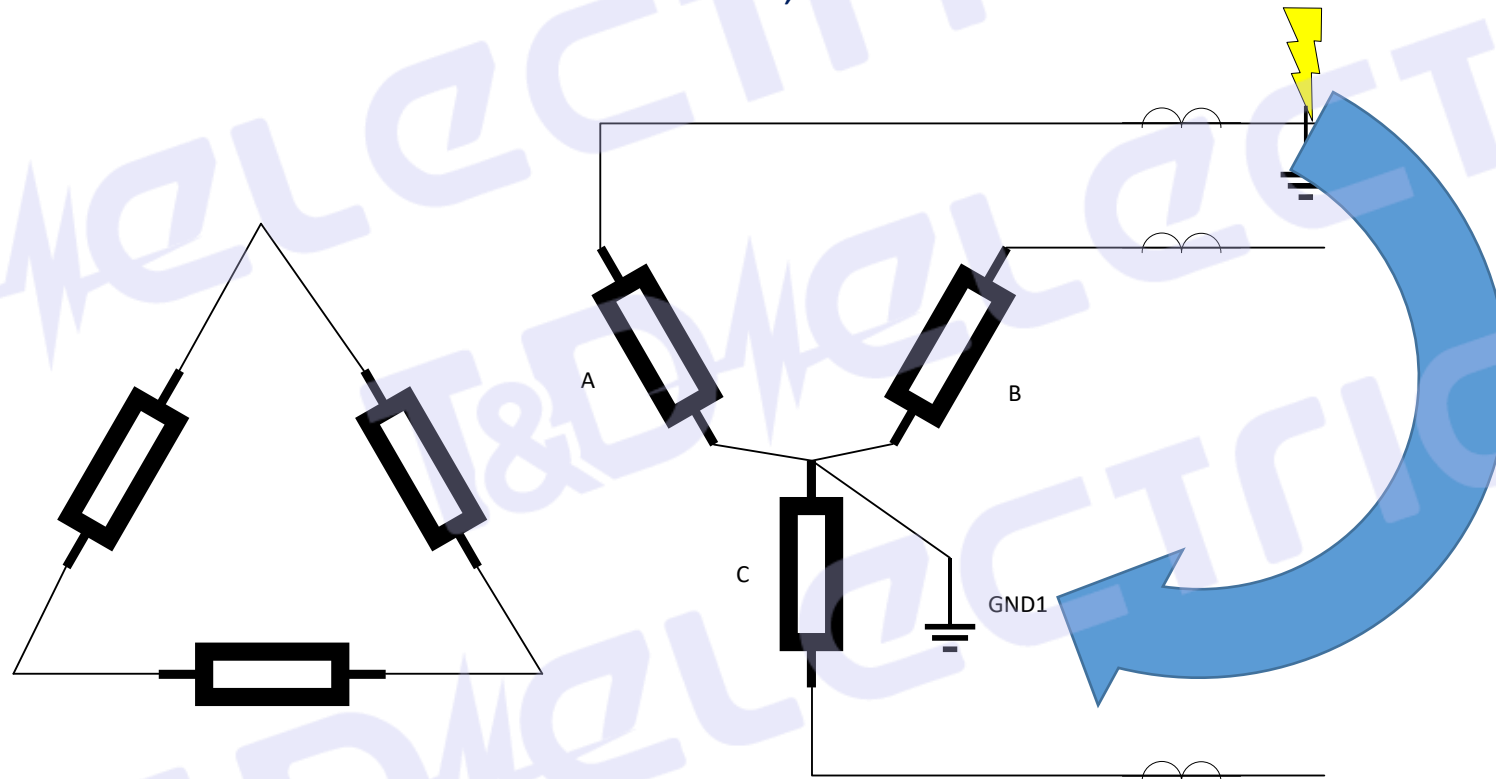
Para el grupo de conexión Yd5, debe de considerarse la siguiente matriz de compensación, los resultados indican que son la corriente secundaria referida al devanado primario en p.u.

$$\begin{bmatrix} I_a^{**} \\ I_b^{**} \\ I_c^{**} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a^* \\ I_b^* \\ I_c^* \end{bmatrix}$$

3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))

Eliminación de Corriente de Secuencia Cero

- ❑ LA CORRIENTE DE FALLA LA VE EL DEVANADO EN ESTRELLA, PERO NO EL DE DELTA



- ❑ APARECERIA UNA CORRIENTE DIFERENCIAL, A MENOS QUE SEA ELIMINADA EN LOS CALCULOS DEL RELE

3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))

COMPENSACIÓN DE CORRIENTE HOMOPOLAR

La corriente de secuencia cero es: $I_0 = \frac{1}{3} \cdot (I_A + I_B + I_C)$

La eliminación de la corriente de fase es calculado como se muestra en la siguiente ecuación:

$$I_A^* = I_A - I_0$$

$$I_B^* = I_B - I_0$$

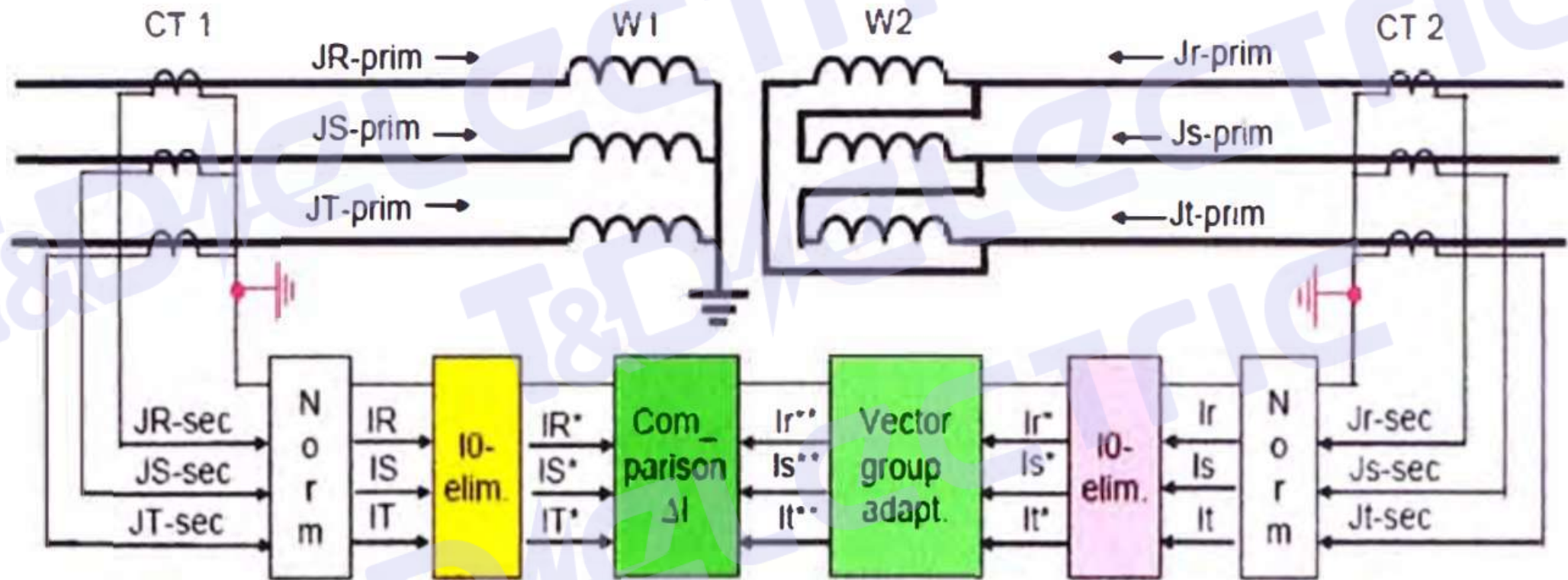
$$I_C^* = I_C - I_0$$

O de forma matricial

$$\begin{bmatrix} I_A^* \\ I_B^* \\ I_C^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}$$

3. RETOS DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL (87T))

ESQUEMA FINAL DEL RELE MODERNO



4. FUENTES DE ERROR 87T

T&D~~1~~ELECTRIC

FUENTES DE ERROR DE LA CORRIENTE DIFERENCIAL 87T:

- CORRIENTE DE ENERGIZACIÓN (INRUSH)
- CAMBIADOR DE TOMAS
- SATURACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

4. FUENTES DE ERROR (87T))

FUENTES DE ERROR DE LA CORRIENTE DIFERENCIAL 87T:

- CORRIENTE DE ENERGIZACIÓN (INRUSH)
- CAMBIADOR DE TOMAS
- SATURACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

4. FUENTES DE ERROR (87T))

CORRIENTE DE ENERGIZACIÓN (INRUSH)



4. FUENTES DE ERROR (87T))

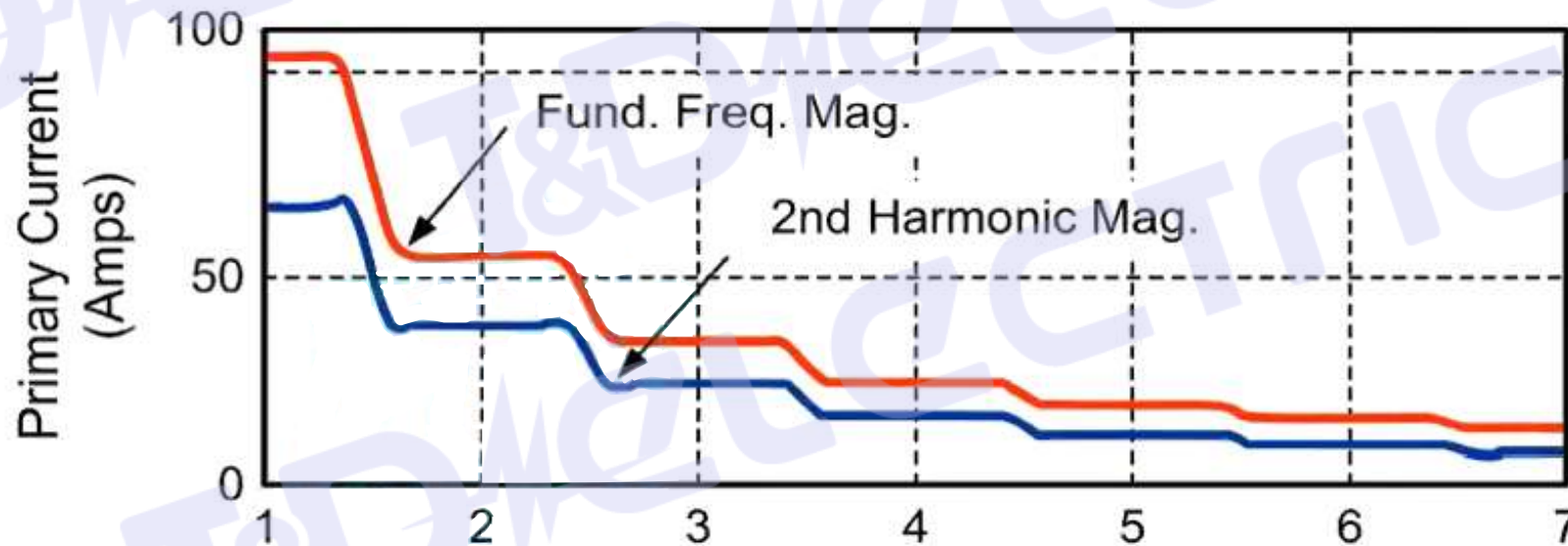
BLOQUEO ANTE LA ENERGIZACIÓN

- BLOQUEO POR ARMÓNICOS
- BLOQUEO POR FORMA DE ONDA

4. FUENTES DE ERROR (87T))

BLOQUEO POR ARMÓNICOS

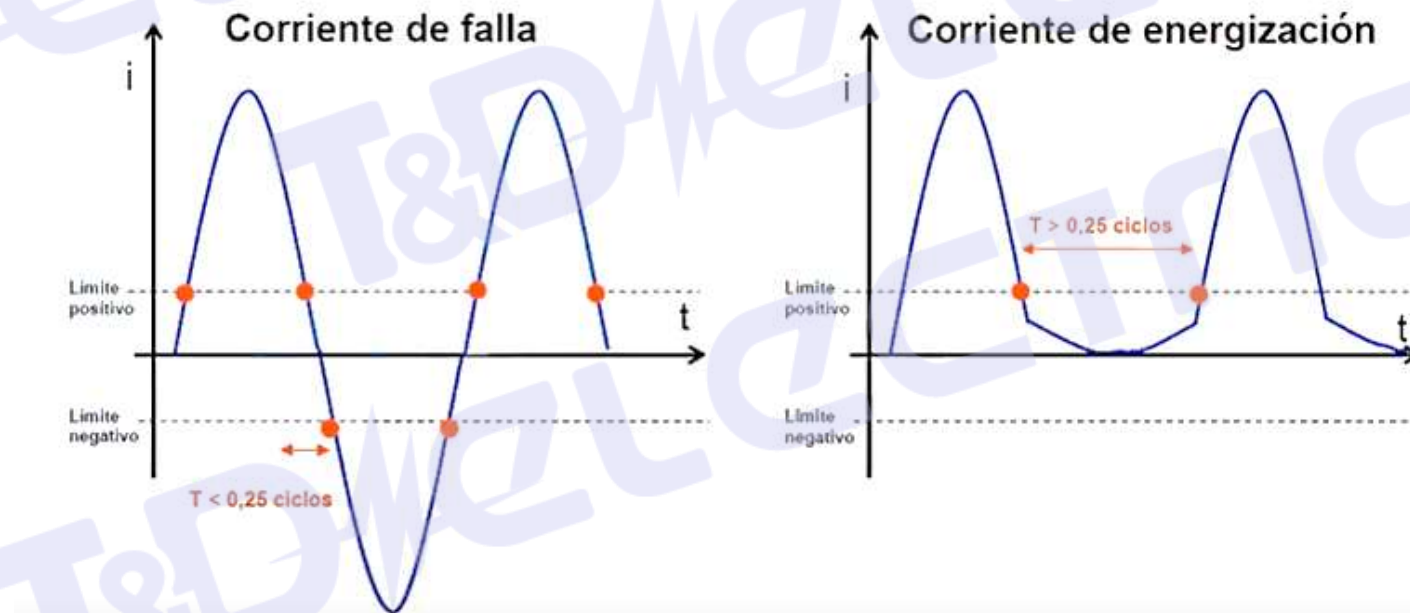
-Al energizar el transformador el 2 armónico se hace presente con alto valor de amplitud.



4. FUENTES DE ERROR (87T))

BLOQUEO POR FORMA DE ONDA

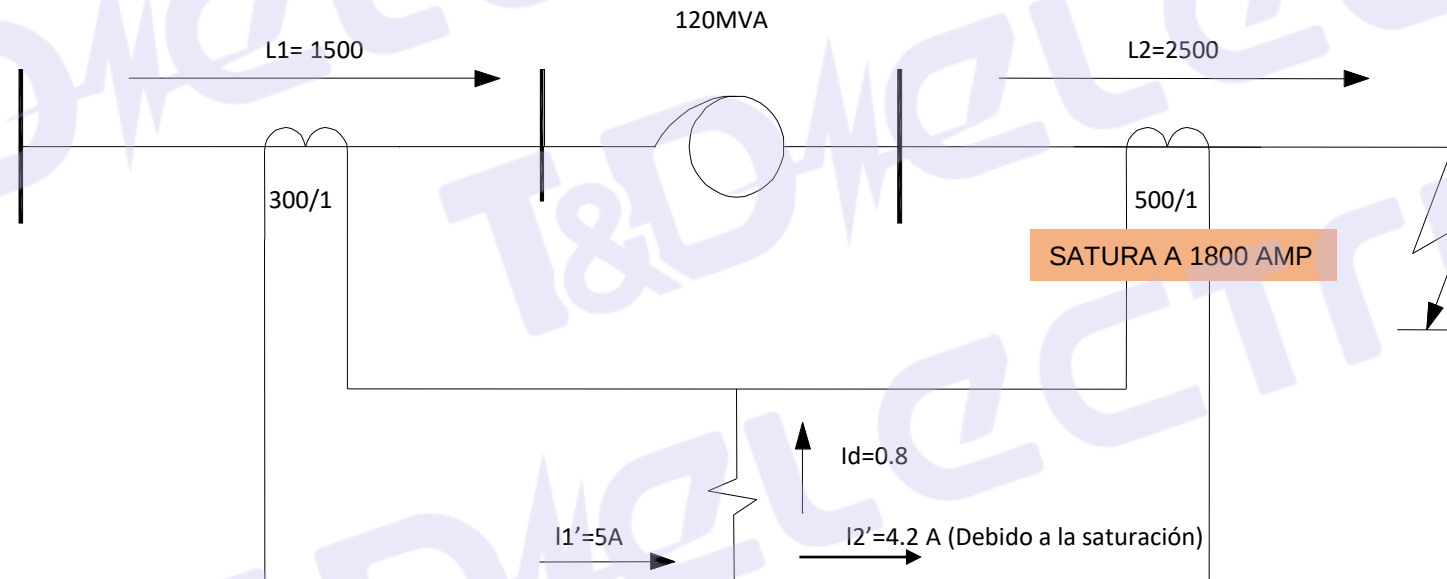
-Al energizar el transformador el 2 armónico se hace presente con alto valor de amplitud.



4. FUENTES DE ERROR (87T))

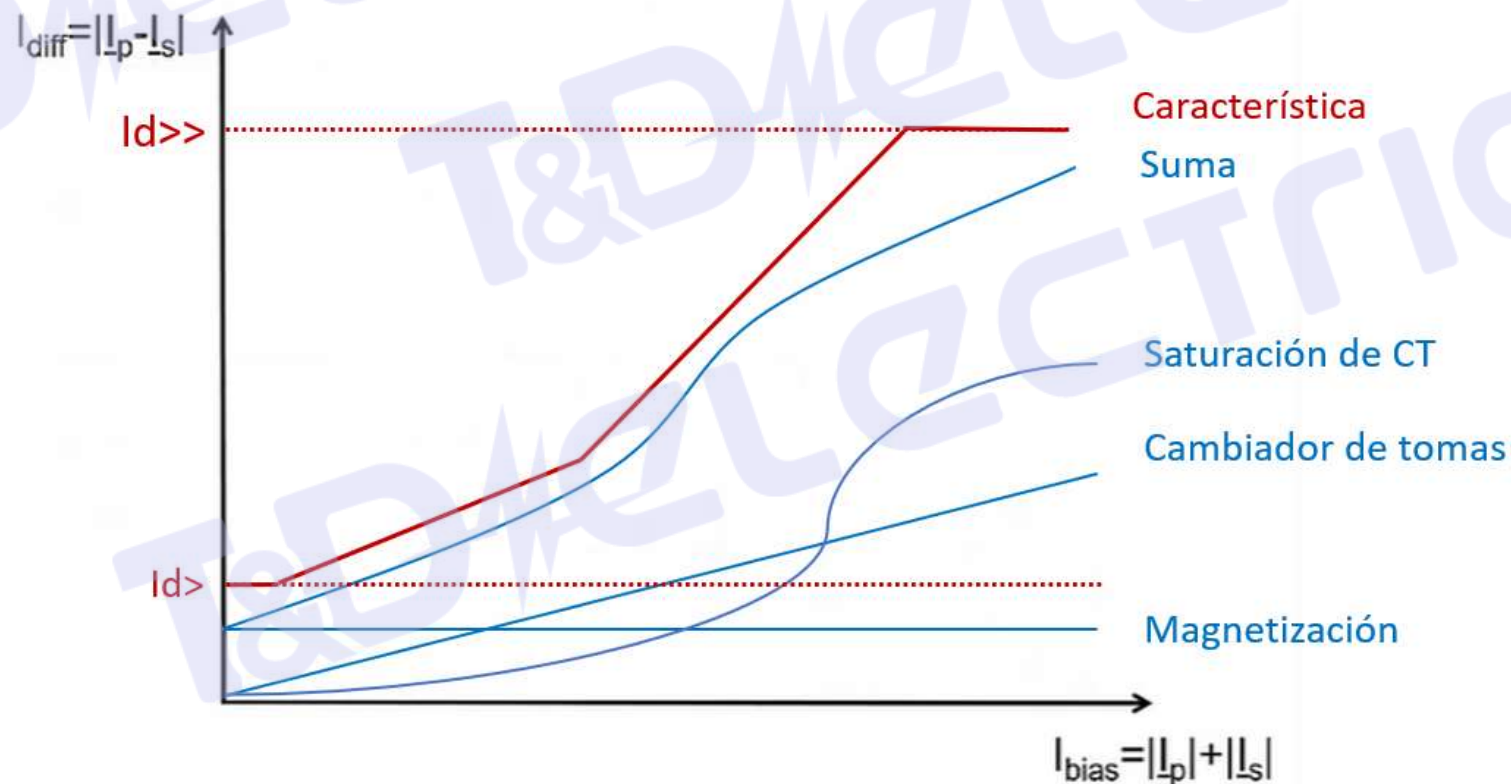
SATURACION DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

- La corriente I_2' debería ser 5 AMP, pero debido a la saturación, esta resulta 4.2 A.



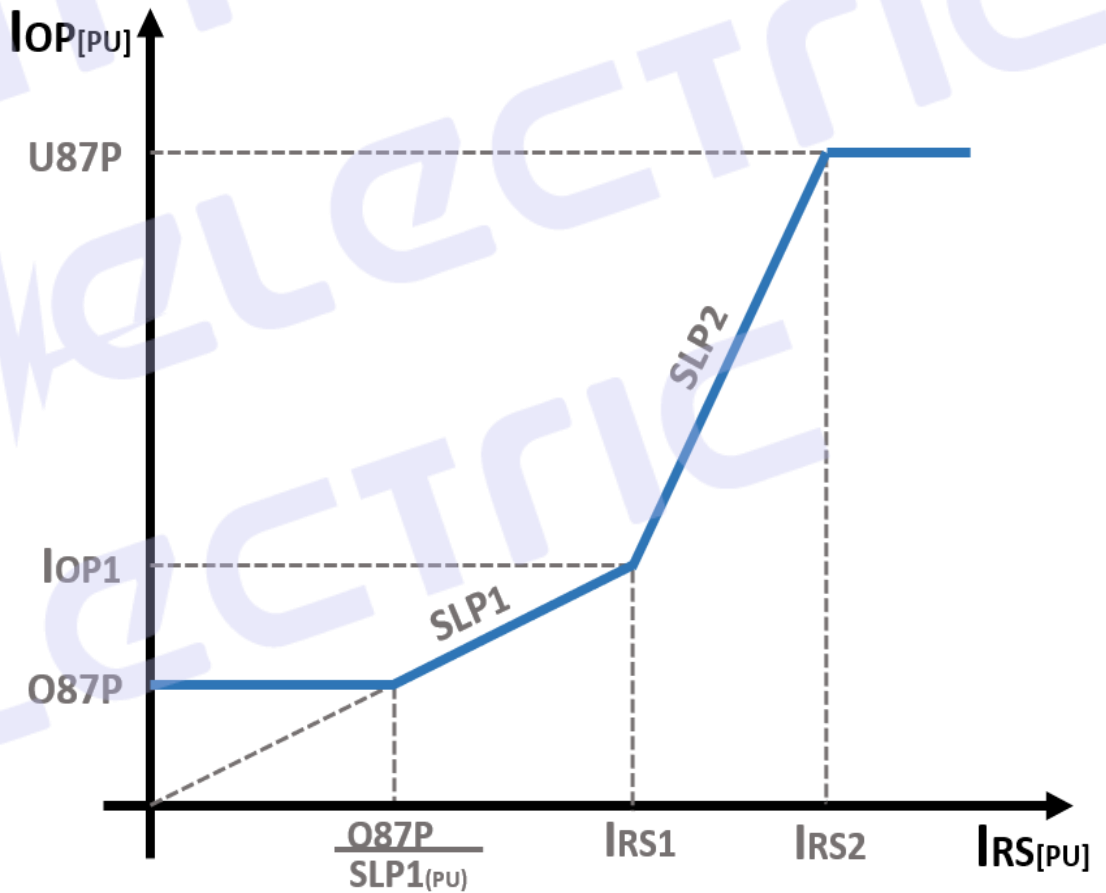
5. CURVA CARACTERISTICA DIFERENCIAL 87T

CARACTERÍSTICA DE OPERACIÓN DE LA FUNCION 87T



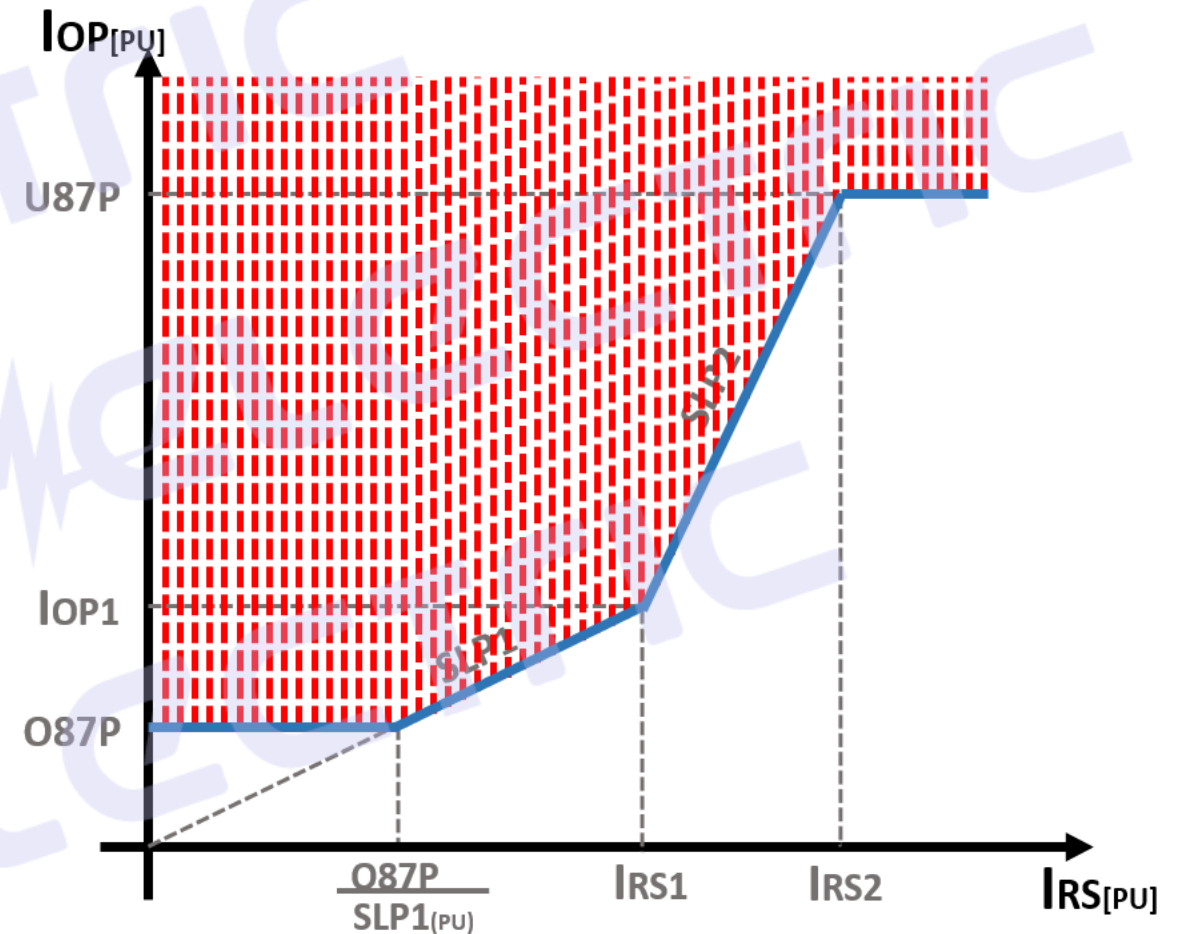
5. CURVA CARACTERISTICA DIFERENCIAL (87T)

- La utilización de pendientes en una función diferencial es con la finalidad de prevenir la activación incorrecta de la protección debido a los errores en la medición de las corrientes (Pendiente 1) o durante la ocurrencia de fallas externas al elemento protegido (Pendiente 2). Esto se logra al aumentar el ajuste de disparo (el nivel de corriente diferencial IOP) a medida que aumenta la corriente del transformador (corriente de restricción o frenado IRS).



5. CURVA CARACTERISTICA DIFERENCIAL (87T)

- Para que ocurra un disparo de la protección diferencial, deben darse dos condiciones:
- Que la corriente diferencial calculada sea mayor o igual que la del ajuste mínimo, esto es $IOP \geq O87P$.
- Que la pendiente calculada sea mayor o igual a la del ajuste, esto es $SLPc \geq SLPn$, donde n representa el segmento de pendiente correspondiente.



6. AJUSTES DE PROTECCIÓN 87T



O87P: Es el ajuste en por unidad (pu) que representa el valor mínimo de corriente diferencial de operación.

Ajuste de corriente de arranque mínimo considerando la diferencia de las corrientes debido:

- Error de medición de los CTs (5%),
- Corriente de excitación y pérdidas del transformador (8%),
- Operación del transformador en posición de toma distinta a la nominal (10%)
- Factor de seguridad (7%).

Esto da un ajuste de aproximadamente 0.3 pu.

6. AJUSTES DE PROTECCIÓN (87T)

SLP1: La pendiente 1 expresada en porcentaje %, que indica el nivel de corriente diferencial necesario para que el relé dispare, tomando en consideración los errores en las mediciones de las corrientes.

Su ajuste de protección típicamente se ajusta entre 25 – 40 %.

$$SLP1_{MIN}\% = \left(\frac{Err\%}{(200 - Err\%.k)} \right) \cdot 100$$

Donde:

$SLP1_{MIN}$ = la relación de pendiente solo acomodará Err sin margen

Err = cantidad de error esperada en operación normal

k = Factor de escala de restricción (1 para SEL-787)

Considerando $Err\% = 30\%$, el valor de $SLP1$ min aproximadamente resulta 17%

6. AJUSTES DE PROTECCIÓN (87T)

IRS1: Es el valor en por unidad (pu) de corriente de restricción o frenado donde se hace la transición desde la pendiente 1 hacia la pendiente 2.

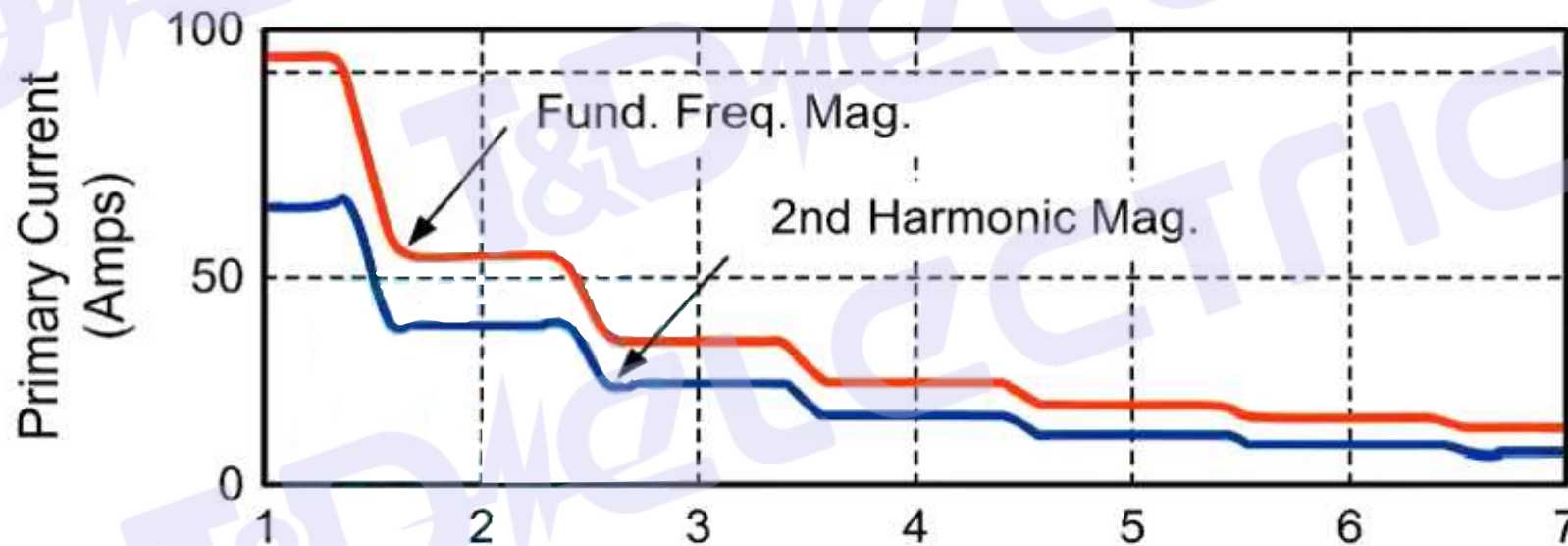
Típicamente esta ajustado entre 2 a 5 p.u.

U87P: Es el ajuste en por unidad (pu) que representa el valor de corriente diferencial de operación sin considerar valores de corriente de restricción o frenado.

Típicamente este valor es ajustado en 7 a 10 corriente nominal.

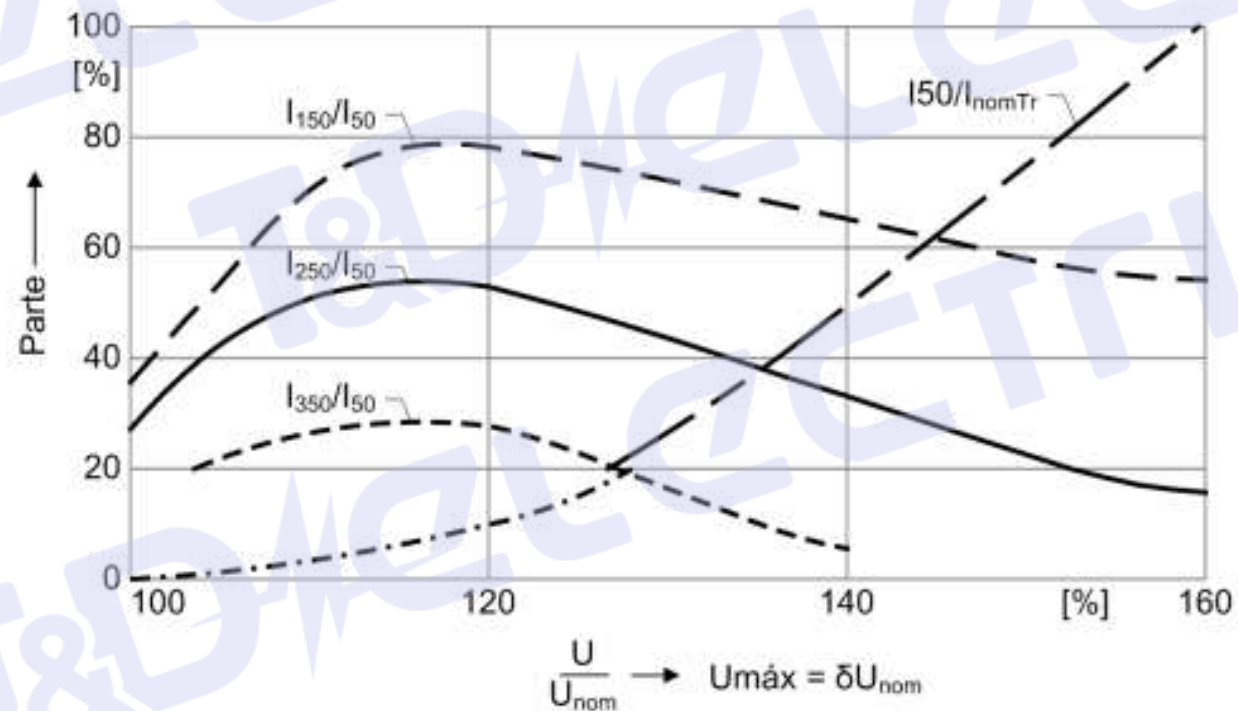
6. AJUSTES DE PROTECCIÓN (87T)

Compon. 2do armónico: Para muchas aplicaciones practicas, el valor preajustado de 15% ha sido utilizado con éxito. En casos excepcionales, con un contenido mínimo de armónicos, se puede disminuir el valor de ajuste. No obstante debe evitarse colocar un valor de ajuste menor a 10%.



6. AJUSTES DE PROTECCIÓN (87T)

Compon. 5to armónico: Para muchas aplicaciones practicas, el valor preajustado de 30% ha sido utilizado con éxito. En la curva mostrada se observa una sobretensión de 140%, y el valor de 5 armónico aún es 35%.



7. PRUEBAS ELECTRICAS DE PROTECCIÓN 87T

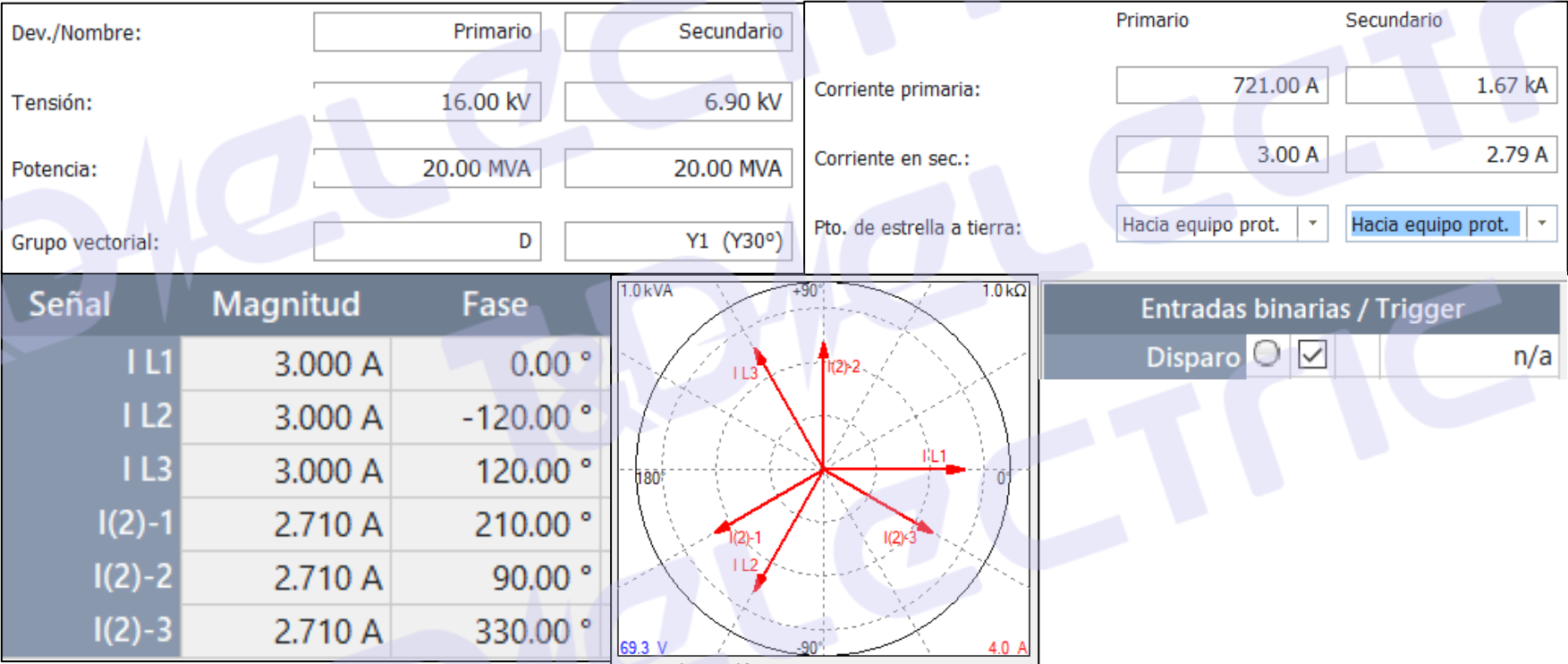
T&D  ELECTRIC

- A) PRUEBA DE ESTABILIDAD
- B) FALLAS EXTERNAS
- C) TIEMPOS DE OPERACIÓN
- D) BUSQUEDAD DE LA CURVA CARACTERISTICA
- E) DISPAROS EN LA CURVA CARACTERISTICA
- F) BLOQUEO DE 2DO Y 5TO ARMÓNICO.

7. PRUEBAS ELECTRICAS DE PROTECCIÓN (87T)

A) Prueba de estabilidad.

- Se inyectan valores de corrientes nominales en los devanados, a fin de simular una operación normal.

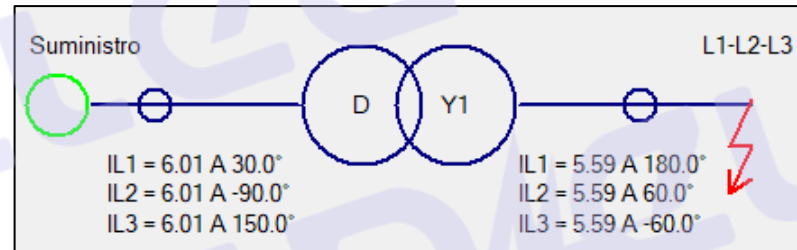


7. PRUEBAS ELECTRICAS DE PROTECCIÓN (87T)

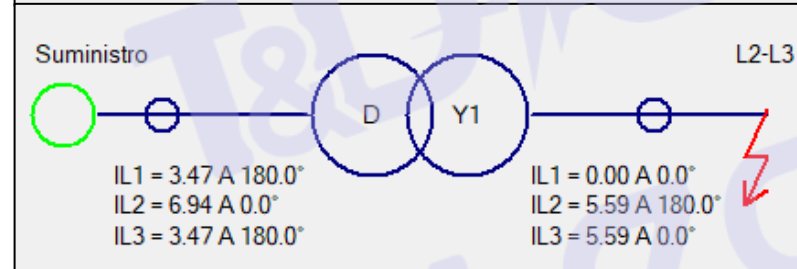
B) Fallas Externas.

- Se inyectan valores de corrientes de fallas externas al transformador y se debe confirmar su no operación.

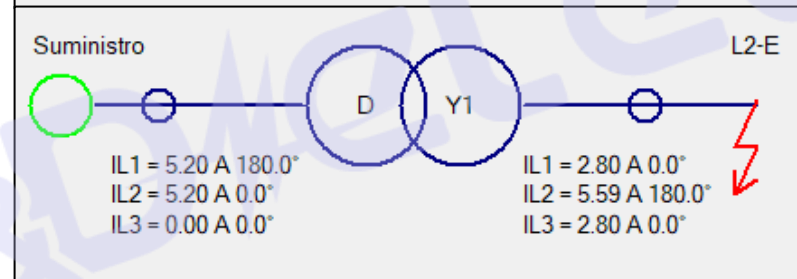
FALLA TRIFASICA



FALLA BIFASICA



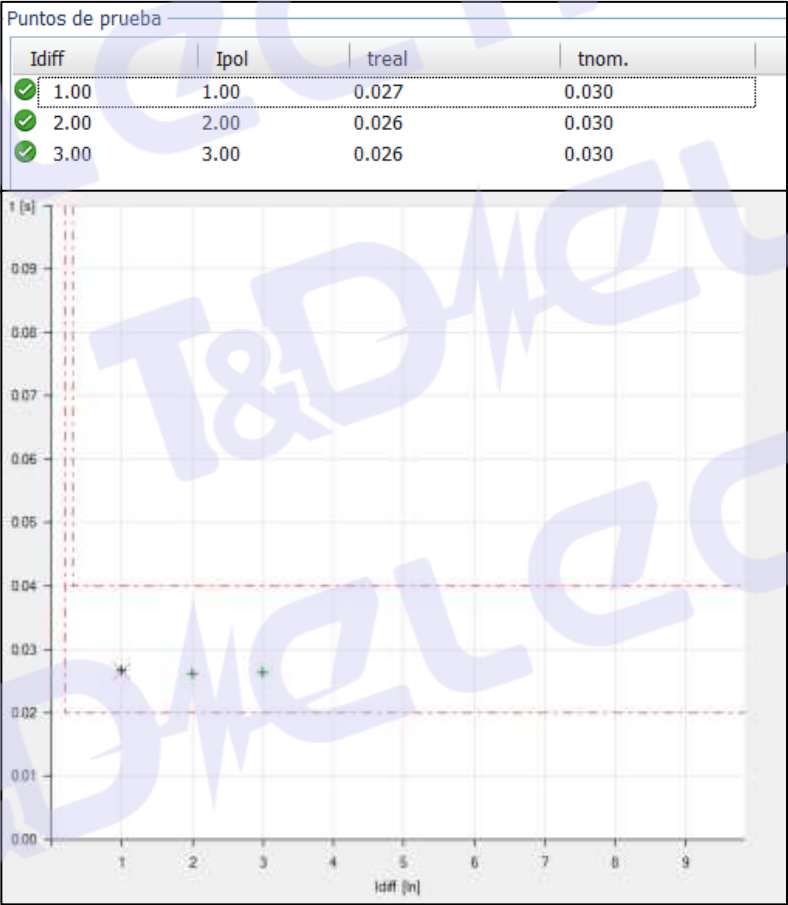
FALLA MONOFASICA



7. PRUEBAS ELECTRICAS DE PROTECCIÓN (87T)

C) Tiempo de Operación.

- Se inyectan valores de corrientes diferencial altos y se verifica el tiempo de operación aprox 30 mili segundos.

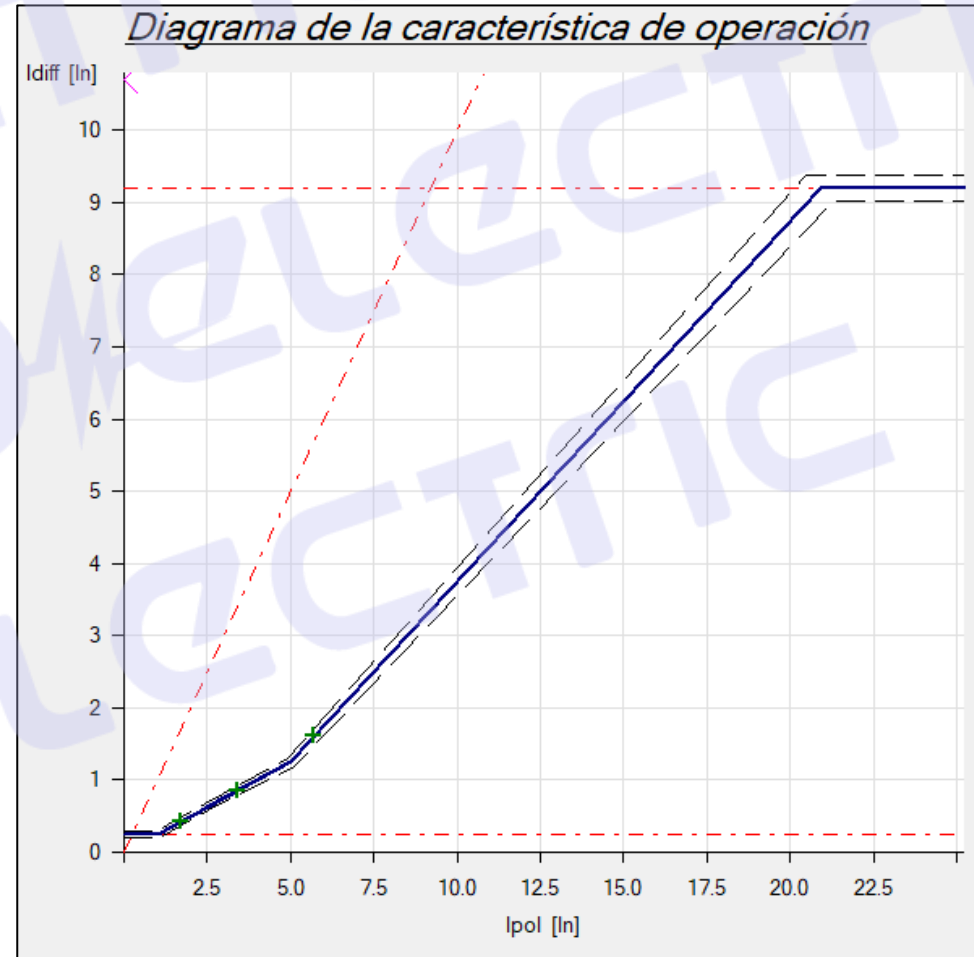


7. PRUEBAS ELECTRICAS DE PROTECCIÓN (87T)

D) Búsqueda de la curva característica.

- Se inyectan valores de corriente diferencial en las zonas de operación y no operación, sin variar la corriente de restricción. Se busca confirmar los puntos de la curva

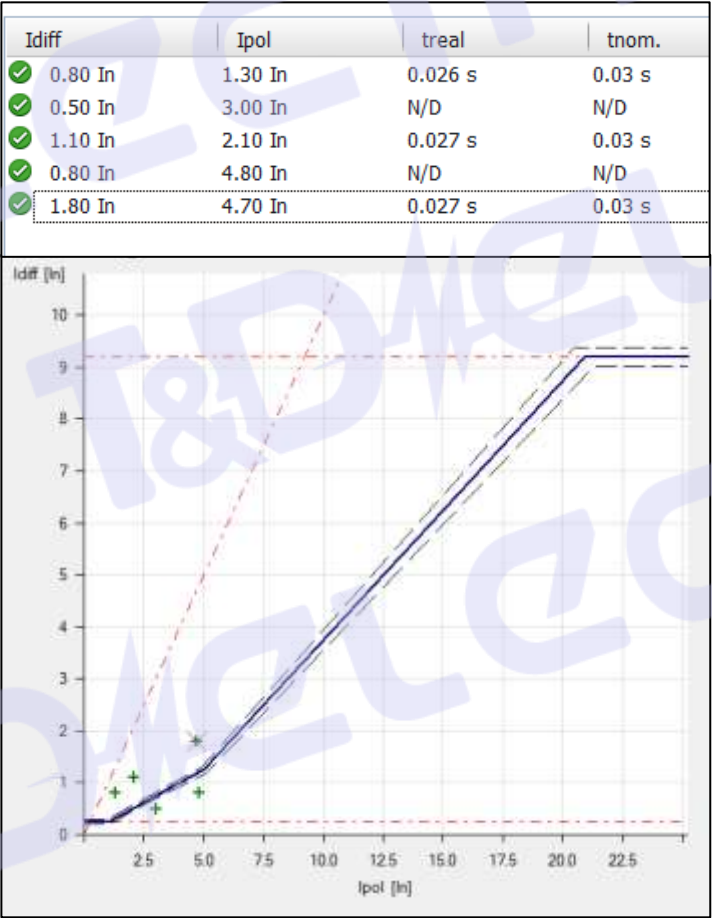
I_{pol}	$I_{diff\ nom}$	I_{diff}
✓ 1.70 In	0.425 In	0.429 In
✓ 3.40 In	0.850 In	0.854 In
✓ 5.70 In	1.600 In	1.611 In



7. PRUEBAS ELECTRICAS DE PROTECCIÓN (87T)

E) Disparos en la curva característica.

- Se inyectan valores de corriente diferencial alrededor de la curva característica se verifican las zonas de operación y no operación.

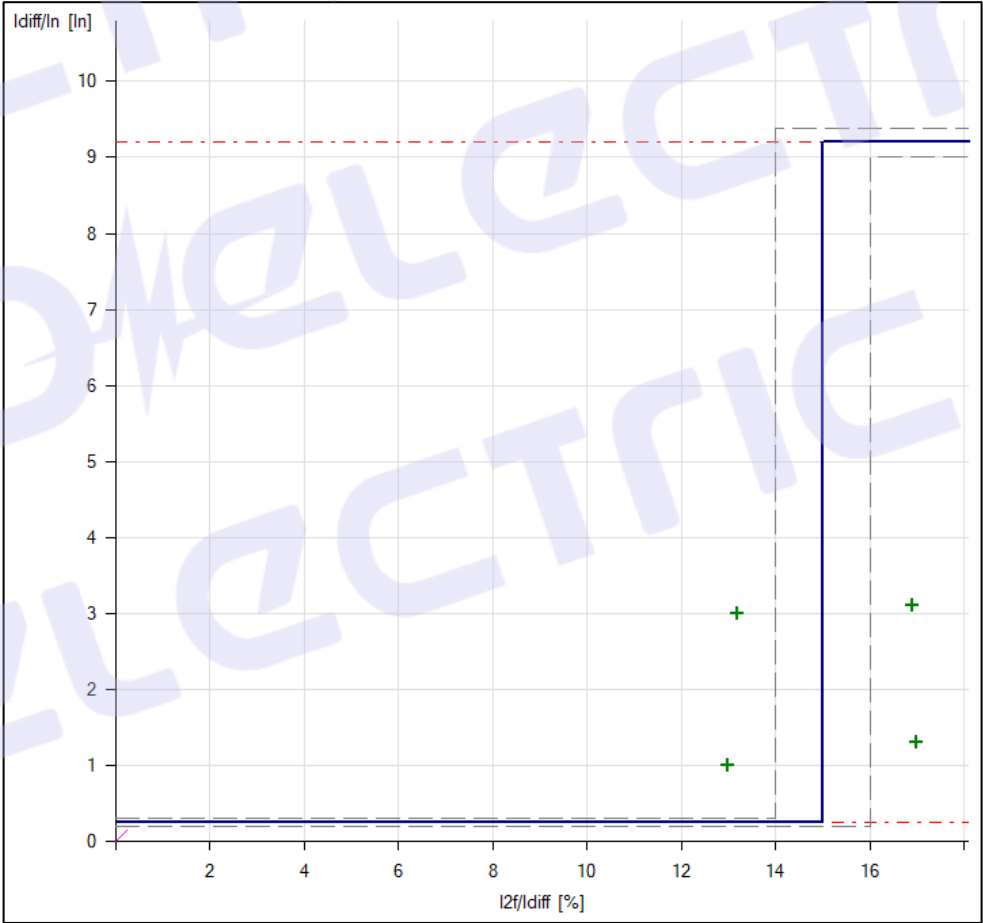


7. PRUEBAS ELECTRICAS DE PROTECCIÓN (87T)

F) Bloqueo por 2do y 5to armónico.

- Se inyectan valores de corriente diferencial de 2do armónico, por encima y debajo del valor umbral y se verifican los bloqueos de la activación diferencial.

Puntos de prueba			
I_{diff}/I_n	I_{xf}/I_n	$I_{xf}/I_{diff} [\%]$	Án...
✓ 1.00	0.130	13.00	-120.00
✓ 1.30	0.221	17.00	-120.00
✓ 3.00	0.396	13.20	-120.00
✓ 3.10	0.524	16.90	-120.00



AREA DE CONTROL Y PROTECCIÓN

T&D  ELECTRIC

SERVICIOS QUE REALIZAMOS

- Pruebas eléctricas a relés de protección (Siemens, ABB, SEL, General Electric, Etc).
- Configuraciones y ajustes en equipos de protección y control.
- Ingeniería secundaria de protección y control.
- Puestas en servicios en sistemas de protección y control.
- Proyectos de sistemas de protección y control.
- Estudios eléctricos de sistemas de potencia.

FORTALEZAS

T&D  ELECTRIC

FORTALEZAS



+12
Servicios en
simultáneo



+10
Homologaciones
de proveedores



24/7
Emergencias



+12
Años de
experiencia



0
Cero
accidentes



+2500
Más de 2500
servicios atendidos



+50
Equipos para
diagnósticos y pruebas



3
Certificación
Trinorma

PREGUNTAS





GRACIAS

