

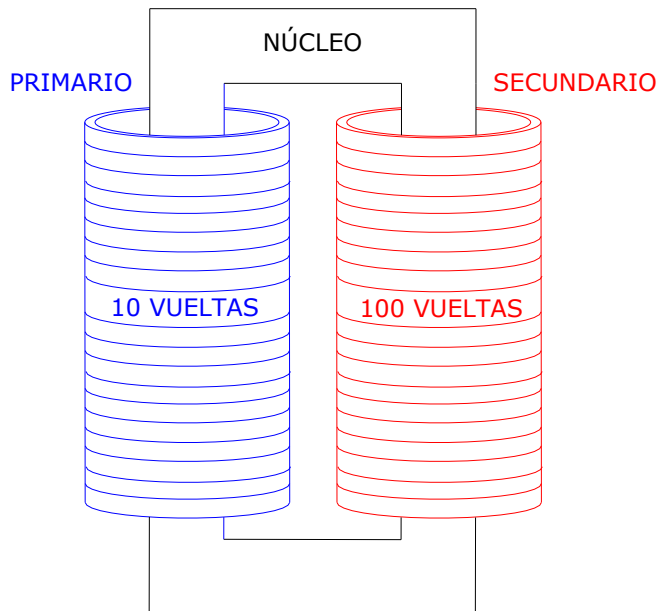
# PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

■	<b><u>Principio de funcionamiento del transformador</u></b>	<b>3</b>
■	<b><u>La polaridad de un transformador</u></b>	<b>5</b>
■	<b><u>El cambiador de derivaciones</u></b>	<b>7</b>
■	<b><u>Teoría de la prueba</u></b>	<b>15</b>
■	<b><u>Conexiones</u></b>	<b>17</b>
■	<b><u>Prueba de la Fase A Transformador Delta-Estrella</u></b>	<b>23</b>
■	<b><u>Prueba de la Fase B Transformador Delta-Estrella</u></b>	<b>24</b>
■	<b><u>Prueba de la Fase C Transformador Delta-Estrella</u></b>	<b>25</b>
■	<b><u>Prueba de la Fase A Transformador Estrella-Delta</u></b>	<b>26</b>
■	<b><u>Prueba de la Fase B Transformador Estrella-Delta</u></b>	<b>27</b>
■	<b><u>Prueba de la Fase C Transformador Estrella-Delta</u></b>	<b>28</b>
■	<b><u>Cálculos e interpretación de resultados</u></b>	<b>29</b>

# PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR

Antes de estudiar la teoría de la prueba de relación de transformación, es necesario revisar algunos conceptos relacionados con el principio de funcionamiento de un transformador.

El transformador está integrado por dos bobinas devanadas en un mismo núcleo, como se ilustra en la Figura.



A la bobina donde se aplica el voltaje se le conoce como devanado primario (**azul**).

A la otra bobina se le conoce como devanado secundario (**rojo**) y es la encargada de reducir o aumentar el voltaje, dependiendo del número de vueltas de cada bobina.

En este ejemplo, la bobina del primario tiene 10 vueltas y la bobina del secundario tiene 100 vueltas; entonces, la relación de transformación será:

$$R = \frac{100 \text{ vueltas}}{10 \text{ vueltas}} = 10$$

# PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR

Esto quiere decir que el voltaje que se aplique en el devanado primario **será aumentado 10 veces en el devanado secundario.**

En resumen, la relación de transformación se define como:

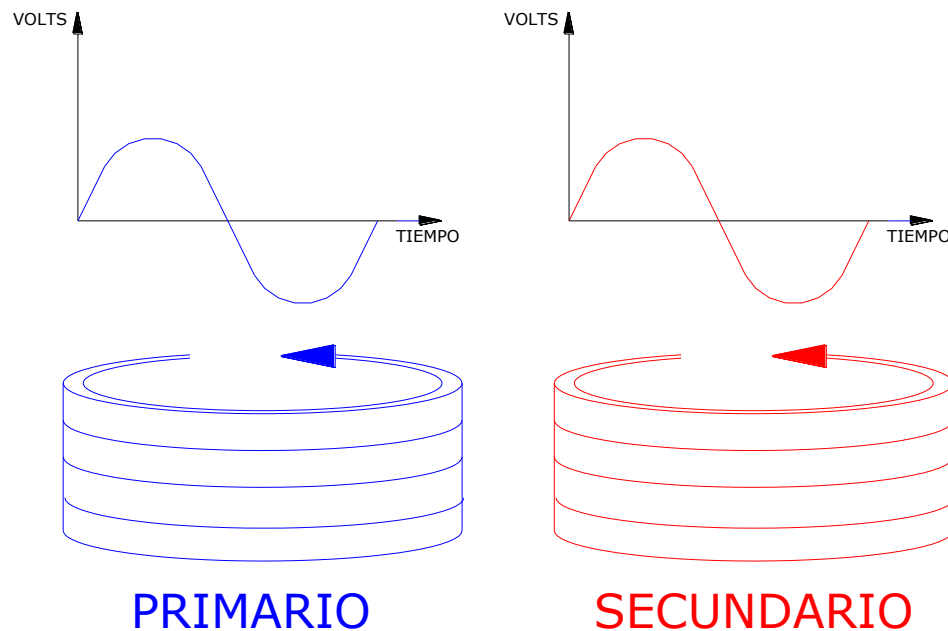
$$R = \text{Relación de transformación} = \frac{\text{Número de vueltas del devanado de mayor tensión}}{\text{Número de vueltas del devanado de menor tensión}}$$

Debido a que el voltaje en cada bobina es proporcional a su número de vueltas, se puede concluir que la relación de transformación es:

$$R = \text{Relación de transformación} = \frac{\text{Voltaje de la bobina de alta tensión}}{\text{Voltaje de la bobina de baja tensión}}$$

# LA POLARIDAD DE UN TRANSFORMADOR

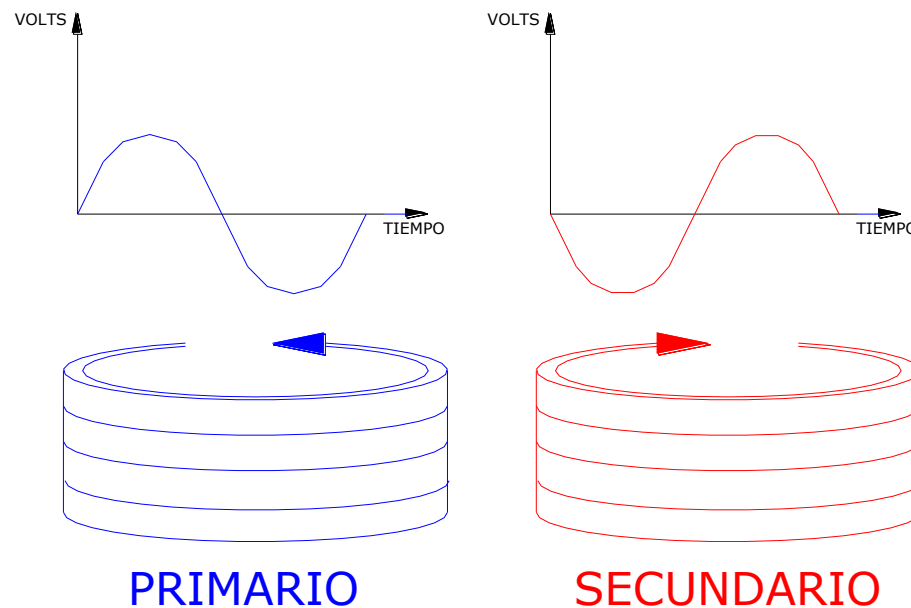
La polaridad de un transformador depende del sentido en que son enrolladas las vueltas de los devanados primario y secundario.



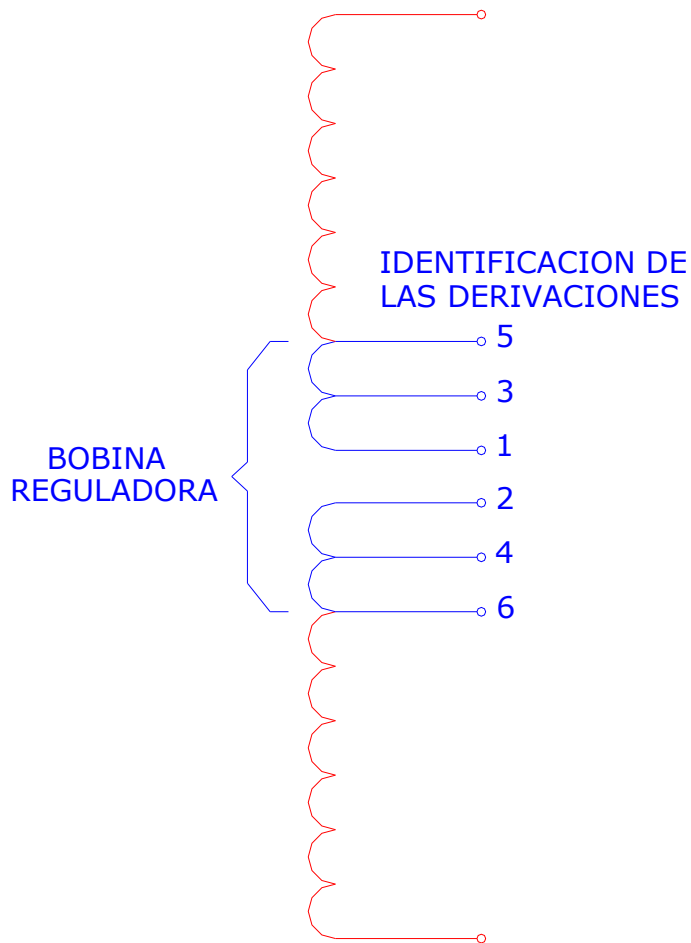
Cuando ambas bobinas se devanan en el mismo sentido, se dice que el transformador tiene una polaridad sustractiva, y el voltaje del primario y del secundario están en fase, como se ilustra en la Figura:

# LA POLARIDAD DE UN TRANSFORMADOR

Por el contrario, cuando una bobina se devana en el sentido opuesto que la otra, se dice que el transformador tiene una polaridad aditiva y el voltaje del primario está defasado 180 grados con respecto al devanado secundario, como se ilustra en la Figura.



# EL CAMBIADOR DE DERIVACIONES



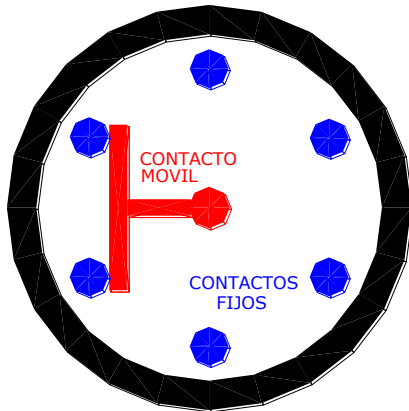
Los transformadores, en la realidad, no tienen bobinas tan sencillas como las ilustradas anteriormente. Es común que los devanados tengan algunas derivaciones para poder ajustar el voltaje al valor requerido.

En la Figura a la izquierda se muestra el diagrama de una bobina, indicando con color **azul** la sección en donde se encuentran las derivaciones (bobina reguladora) y con color **rojo** la bobina principal.

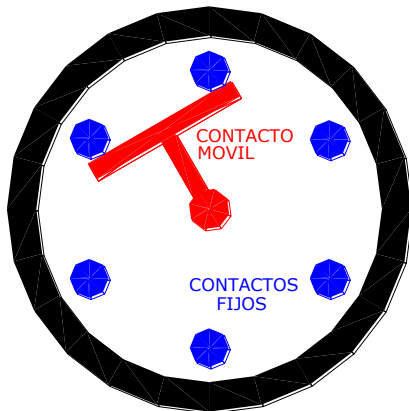
Dichas derivaciones tienen como función agregar o quitar vueltas al devanado y, por lo tanto, sumar o restar voltaje. La bobina reguladora permite ajustar el voltaje entre un 5 y 10 % del voltaje total.

# EL CAMBIADOR DE DERIVACIONES

POSICIÓN 1



POSICIÓN 2



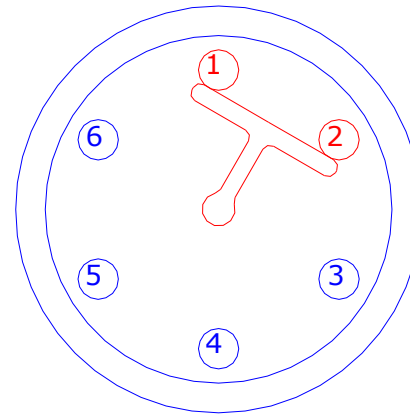
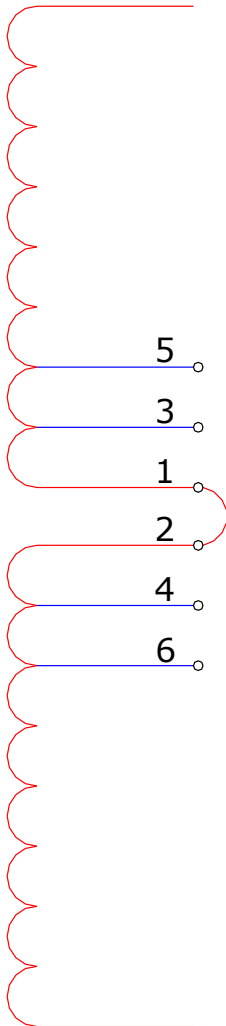
Para realizar las conexiones en la bobina reguladora se utiliza un dispositivo llamado cambiador de derivaciones.

Este dispositivo cuenta con un contacto móvil (**rojo**) que se hace girar para hacer los cambios de conexiones.

Cuenta además con una serie de contactos fijos (**azul**) que son unidos dependiendo de la posición del contacto móvil, como se ilustra en la Figura.



# EL CAMBIADOR DE DERIVACIONES

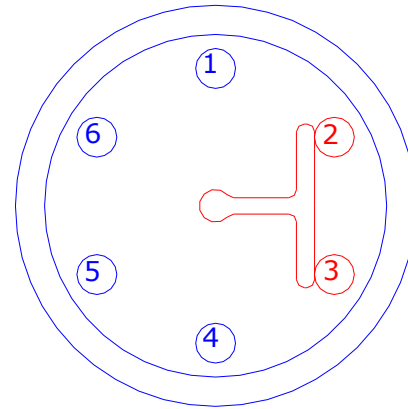
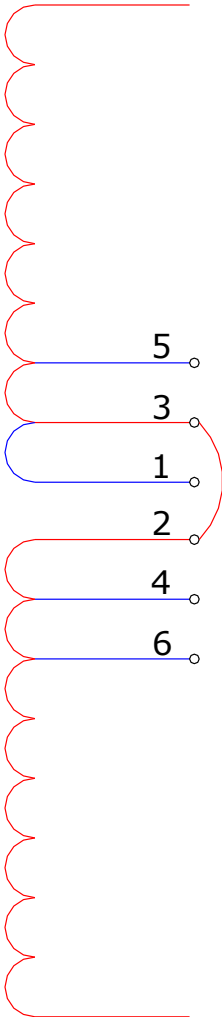


Une terminales 1 y 2

En esta figura, se muestra el cambiador de derivaciones en la primera posición, donde el contacto móvil une las terminales 1 y 2.

Como se puede observar en el diagrama de la bobina, al unir estas terminales la corriente sigue la trayectoria roja que incluye todas las vueltas de la bobina.

# EL CAMBIADOR DE DERIVACIONES

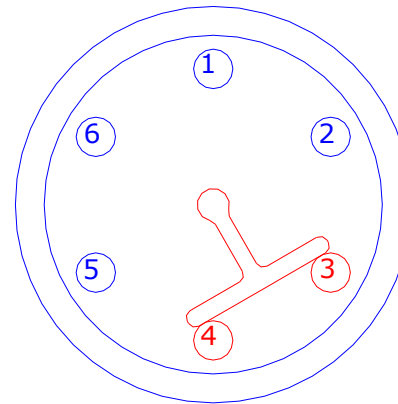
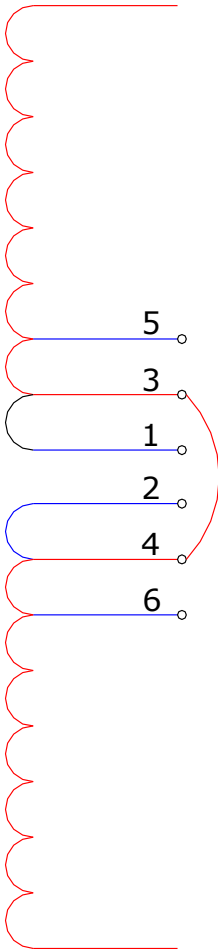


Une terminales 2 v 3

En esta figura, se muestra el cambiador de derivaciones en la siguiente posición, donde el contacto móvil une las terminales 2 y 3.

Como se puede observar en el diagrama de la bobina, al unir estas terminales la corriente sigue la trayectoria roja que deja fuera del circuito las vueltas contenidas en la sección 1-3. Con esto se logra reducir el voltaje de la bobina.

# EL CAMBIADOR DE DERIVACIONES

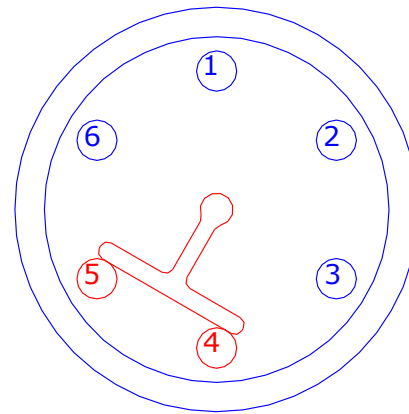
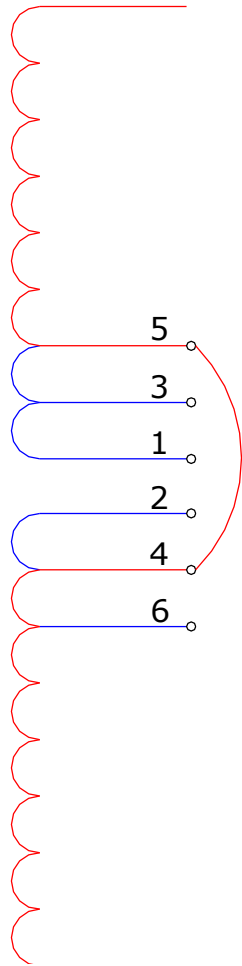


Une terminales 3 y 4

En esta figura, se muestra el cambiador de derivaciones en la siguiente posición, donde el contacto móvil une las terminales 3 y 4.

Como se puede observar en el diagrama de la bobina, al unir estas terminales la corriente sigue la trayectoria roja que deja fuera del circuito las vueltas contenidas en la secciones 1-3 y 2-4. Con esto se logra reducir aún más el voltaje de la bobina.

# EL CAMBIADOR DE DERIVACIONES

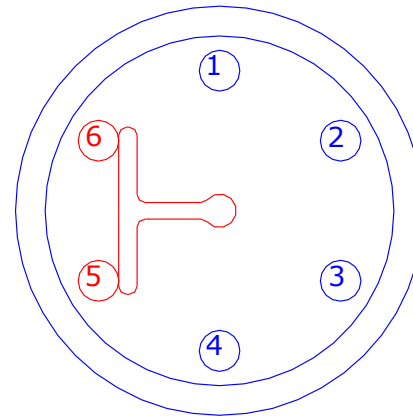
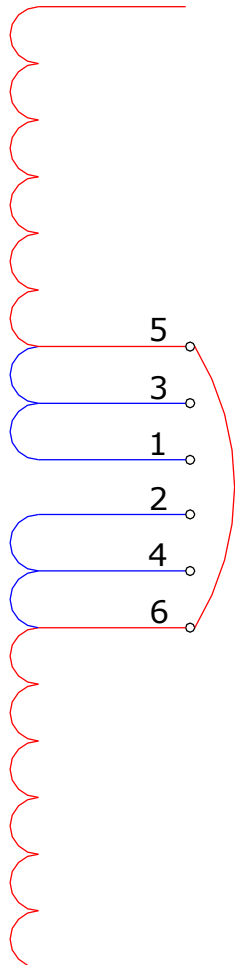


Une terminales 4 y 5

En esta figura, se muestra el cambiador de derivaciones en la siguiente posición, donde el contacto móvil une las terminales 4 y 5.

Como se puede observar en el diagrama de la bobina, al unir estas terminales la corriente sigue la trayectoria roja que deja fuera del circuito las vueltas contenidas en las secciones 1-3, 2-4 y 3-5. Con esto se logra reducir aún más el voltaje de la bobina.

# EL CAMBIADOR DE DERIVACIONES



Une terminales 5 y 6

En esta figura, se muestra el cambiador de derivaciones en la última posición, donde el contacto móvil une las terminales 5 y 6.

Como se puede observar en el diagrama de la bobina, al unir estas terminales la corriente sigue la trayectoria roja que deja fuera del circuito todas las vueltas de la bobina reguladora. Con esto se logra obtener el voltaje más bajo.

# EL CAMBIADOR DE DERIVACIONES

Como ejemplo, supongamos que tenemos un transformador con un cambiador de derivaciones de 5 posiciones que recibe 13,200 volts y los transforma, dependiendo de la posición del cambiador, en los siguientes voltajes:

Posición 1 = 109,250 Volts      Posición 2 = 112,125 Volts      Posición 3 = 115,000 Volts  
Posición 4 = 117,875 Volts      Posición 5 = 120,750 Volts

Entonces, la relación de transformación de este equipo será:

Relación de transformación para posición 1 =  $109,250 / 13,200 = 8.276$

Relación de transformación para posición 2 =  $112,125 / 13,200 = 8.494$

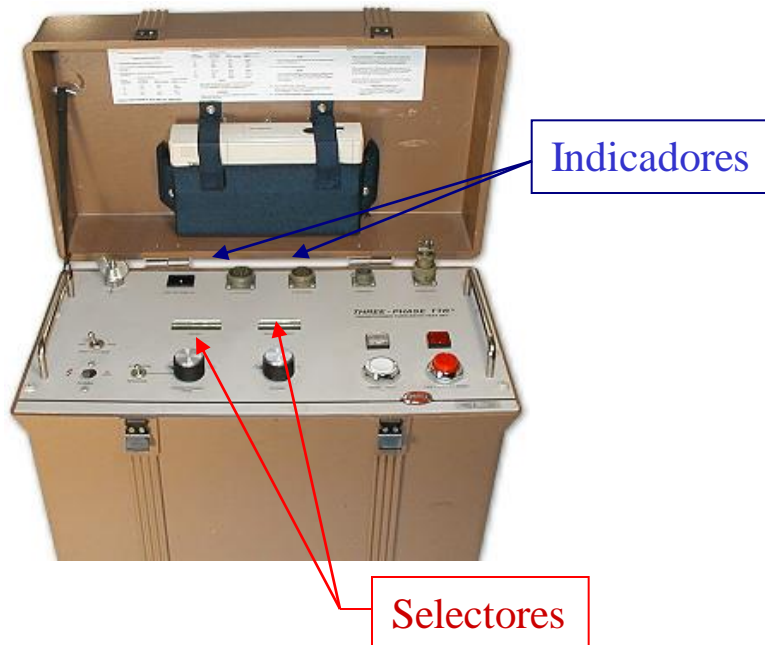
Relación de transformación para posición 3 =  $115,000 / 13,200 = 8.712$

Relación de transformación para posición 4 =  $117,875 / 13,200 = 8.929$

Relación de transformación para posición 5 =  $120,750 / 13,200 = 9.147$

# TEORÍA DE LA PRUEBA

La prueba de relación de transformación tiene como objetivo verificar la polaridad y la relación de transformación de los devanados de un transformador, para asegurar que no existen corto-circuitos entre espiras ni errores en las conexiones de boquillas y cambiadores de derivaciones. También se pueden detectar falsos contactos y circuitos abiertos. Respecto a la polaridad, permite verificar el diagrama de conexión de los transformadores o determinarlos cuando la placa se ha extraviado.

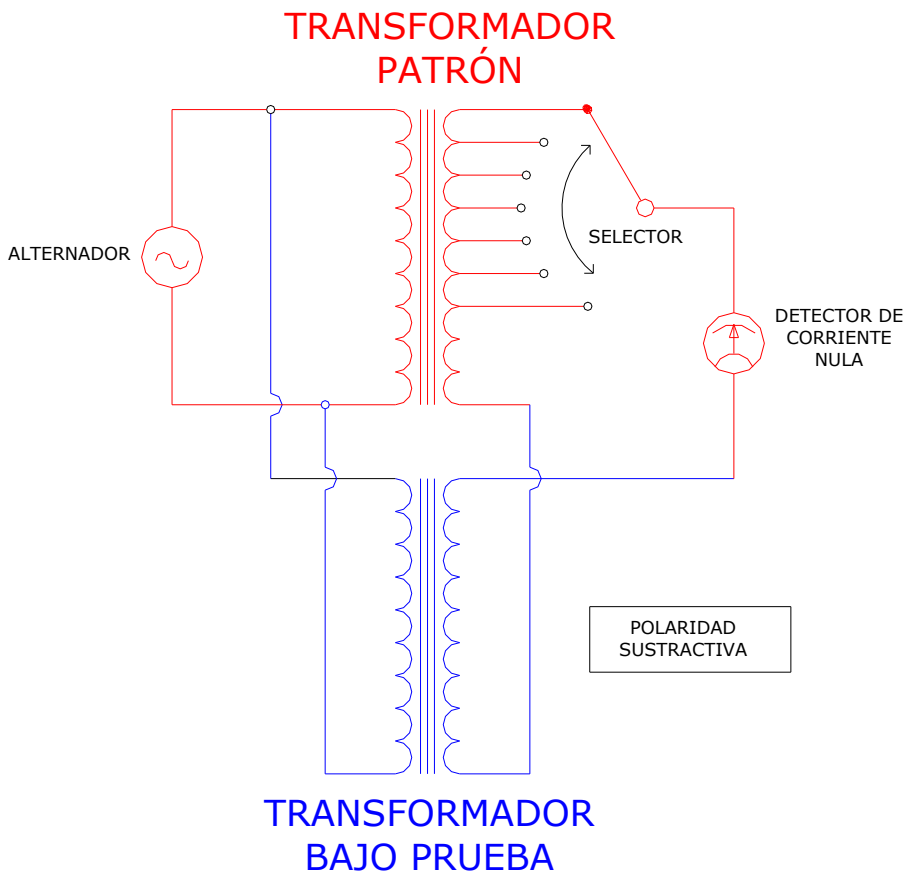


Las pruebas se realizan con un probador de relación de transformación, también conocido como TTR (Transformer Test Ratio). Este equipo está integrado por un transformador patrón con un gran número de derivaciones, lo cual permite obtener una relación de transformación variable.

Para modificar la relación de transformación del patrón, se utilizan los selectores localizados en la parte superior del equipo, como se ilustra en la Figura.

La lectura de la relación de transformación se obtiene directamente en los indicadores del equipo.

# TEORÍA DE LA PRUEBA



Como se ilustra en la figura, el transformador patrón incluye un pequeño alternador que se utiliza para excitar en paralelo, los devanados primarios del transformador patrón y del transformador bajo prueba.

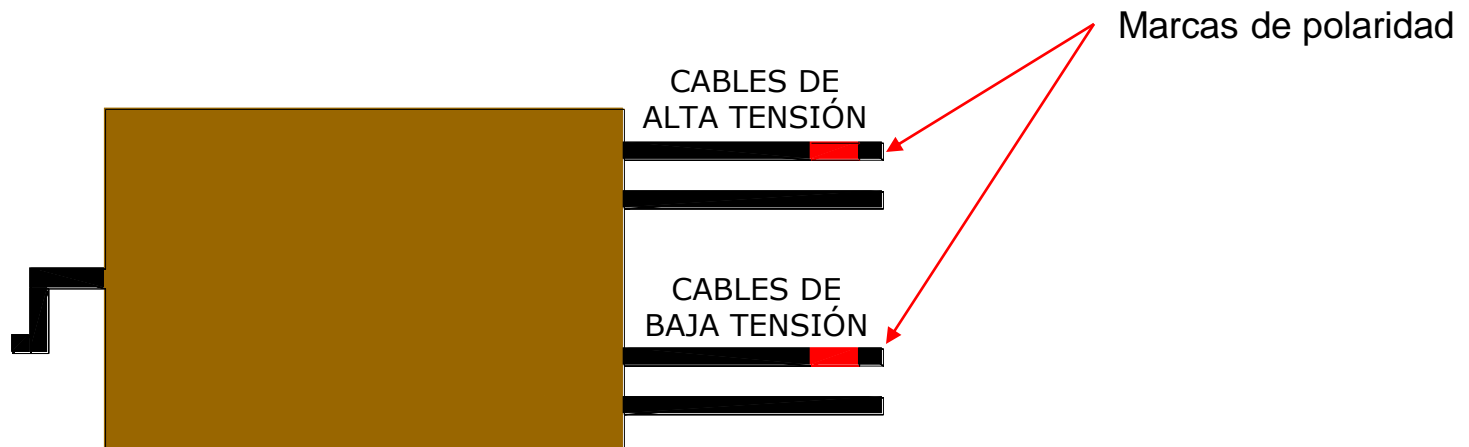
En el secundario de ambos transformadores se induce un voltaje que será proporcional al número de vueltas de cada uno. Cuando se ajusta el selector del transformador patrón, es posible lograr que el voltaje inducido en ambos transformadores sea igual y por lo tanto circule una corriente nula en el detector de corriente.

Por lo tanto, el procedimiento de prueba consiste en mover el selector de derivaciones hasta lograr que el detector de corriente marque cero y en esta condición, leer el valor de la relación de transformación que indique el instrumento.



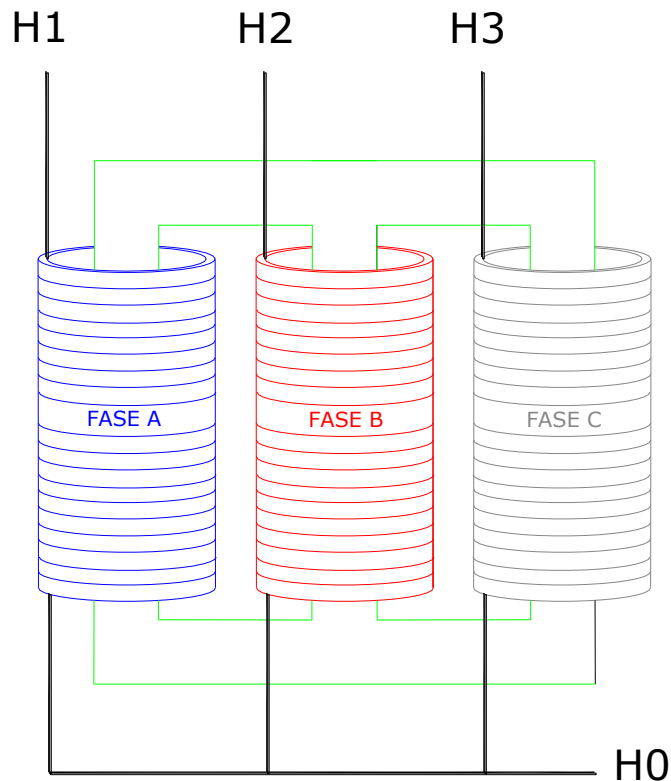
# CONEXIONES

El equipo de pruebas de relación de transformación (TTR) cuenta con dos cables de alta tensión y dos cables para baja tensión. Ambos tienen una marca roja de polaridad, como se ilustra en la figura.

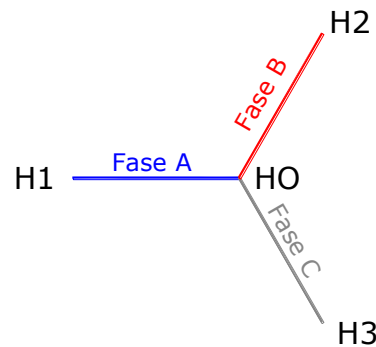


En las siguientes tablas y figuras se observan las formas correctas de conectar el equipo de pruebas al transformador.

# CONEXIONES



CONEXION ESTRELLA

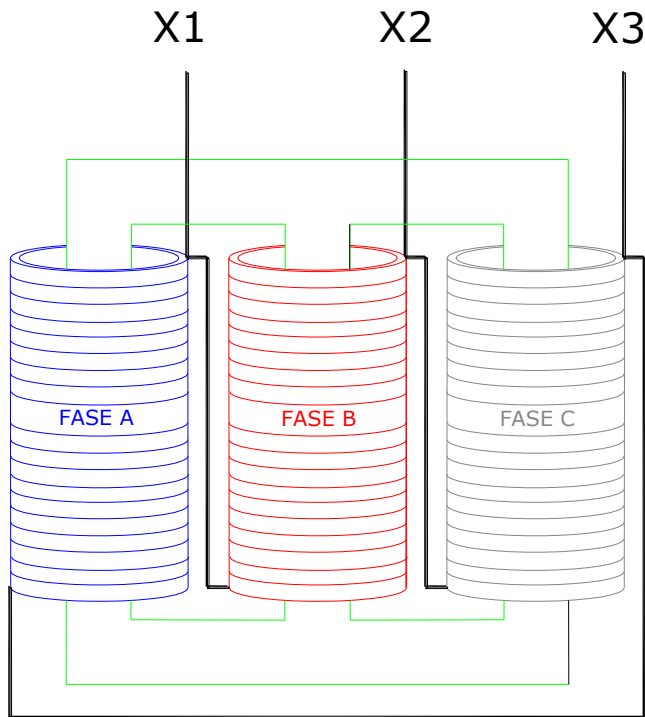


Hasta ahora sólo hemos hablado de transformadores monofásicos donde sólo se tienen dos bobinas: una de alta tensión y otra de baja tensión.

Sin embargo, es común encontrar transformadores trifásicos que cuentan con tres bobinas de alta tensión y tres de baja tensión.

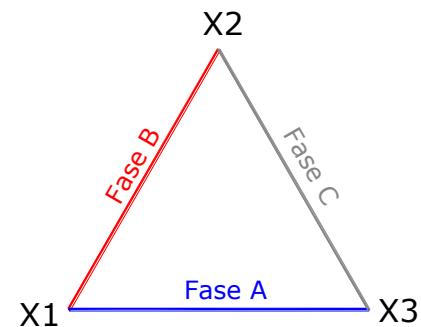
En la Figura se ilustran las bobinas de un transformador trifásico con las bobinas de alta tensión conectadas en estrella.

# CONEXIONES

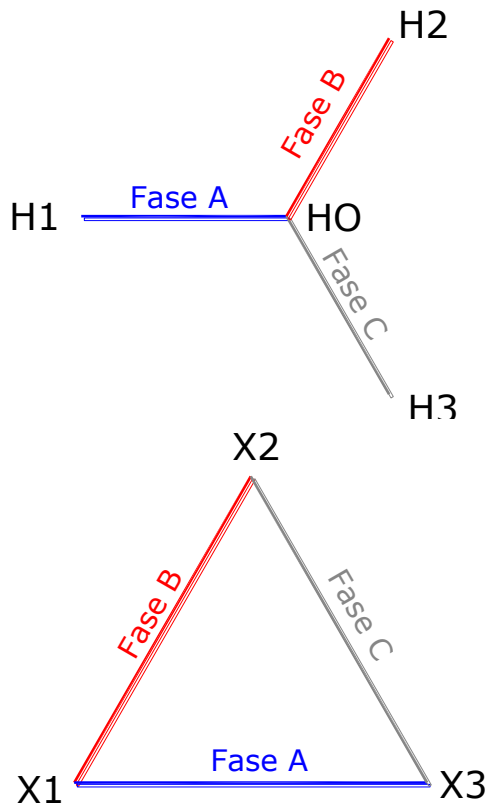


CONEXION DELTA

En esta Figura se ilustran las bobinas del mismo transformador con las bobinas de baja tensión conectadas en delta.



# CONEXIONES

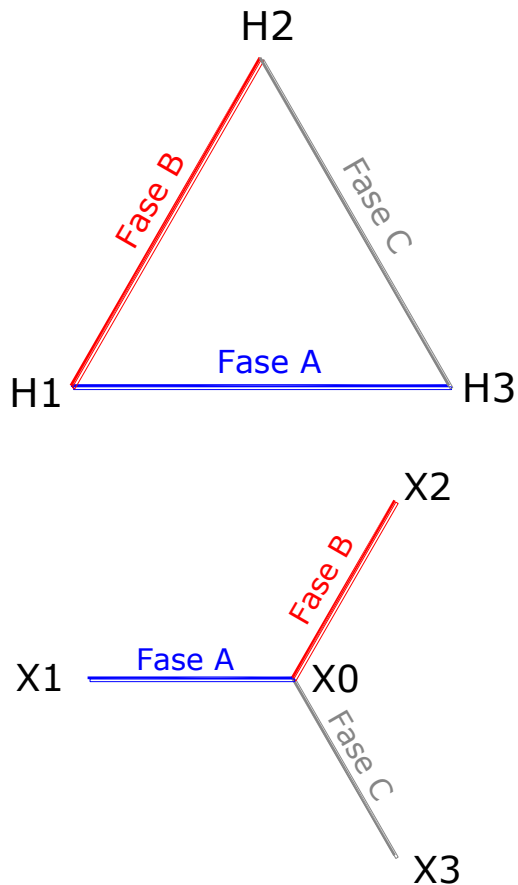


La prueba de relación de transformación se realiza fase por fase, teniendo cuidado de conectar las fases correspondientes, que en el diagrama se ven como líneas paralelas. Para el caso de un transformador estrella-delta como el mostrado en el diagrama, las conexiones serían:

Para la **Fase A**, las conexiones del equipo de prueba deben realizarse en las boquillas de alta tensión (**H1-H0**) y en las boquillas de baja tensión (**X1-X3**).

Para la **Fase B**, las conexiones del equipo de prueba deben realizarse en las boquillas de alta tensión (**H2-H0**) y en las boquillas de baja tensión (**X2-X1**).

Para la **Fase C**, las conexiones del equipo de prueba deben realizarse en las boquillas de alta tensión (**H3-H0**) y en las boquillas de baja tensión (**X3-X2**).



La conexión de transformadores trifásicos también puede ser delta-estrella, como se ilustra en la figura.

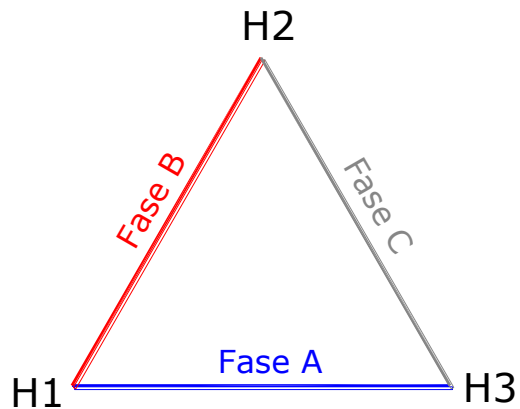
En este caso, las conexiones son las siguientes:

Para la **Fase A**, las conexiones del equipo de prueba deben realizarse en las boquillas de alta tensión (**H1-H3**) y en las boquillas de baja tensión (**X1-X0**).

Para la **Fase B**, las conexiones del equipo de prueba deben realizarse en las boquillas de alta tensión (**H2-H1**) y en las boquillas de baja tensión (**X2-X0**).

Para la **Fase C**, las conexiones del equipo de prueba deben realizarse en las boquillas de alta tensión (**H3-H2**) y en las boquillas de baja tensión (**X3-X0**).

# CONEXIONES



La polaridad de las conexiones también es importante. En transformadores con polaridad sustractiva, se deben colocar las terminales con la marca roja en el mismo extremo de las líneas paralelas.

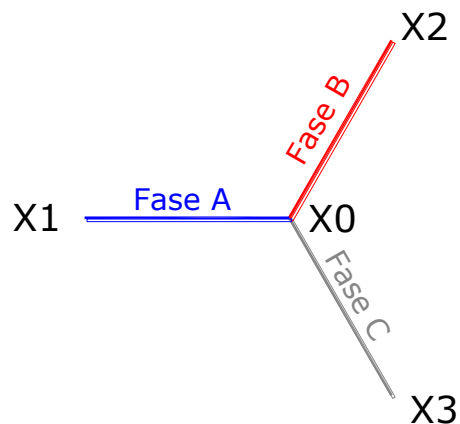
Por ejemplo, para la **Fase A**, las terminales del equipo de pruebas marcadas con rojo deben conectarse en H1 y X1. Las terminales negras se deben conectar en H3 y X0.

Si la polaridad fuera aditiva, se deben invertir las conexiones.

En los siguientes diagramas se presentan las conexiones completas para probar cada una de las fases en los dos tipos de transformadores:

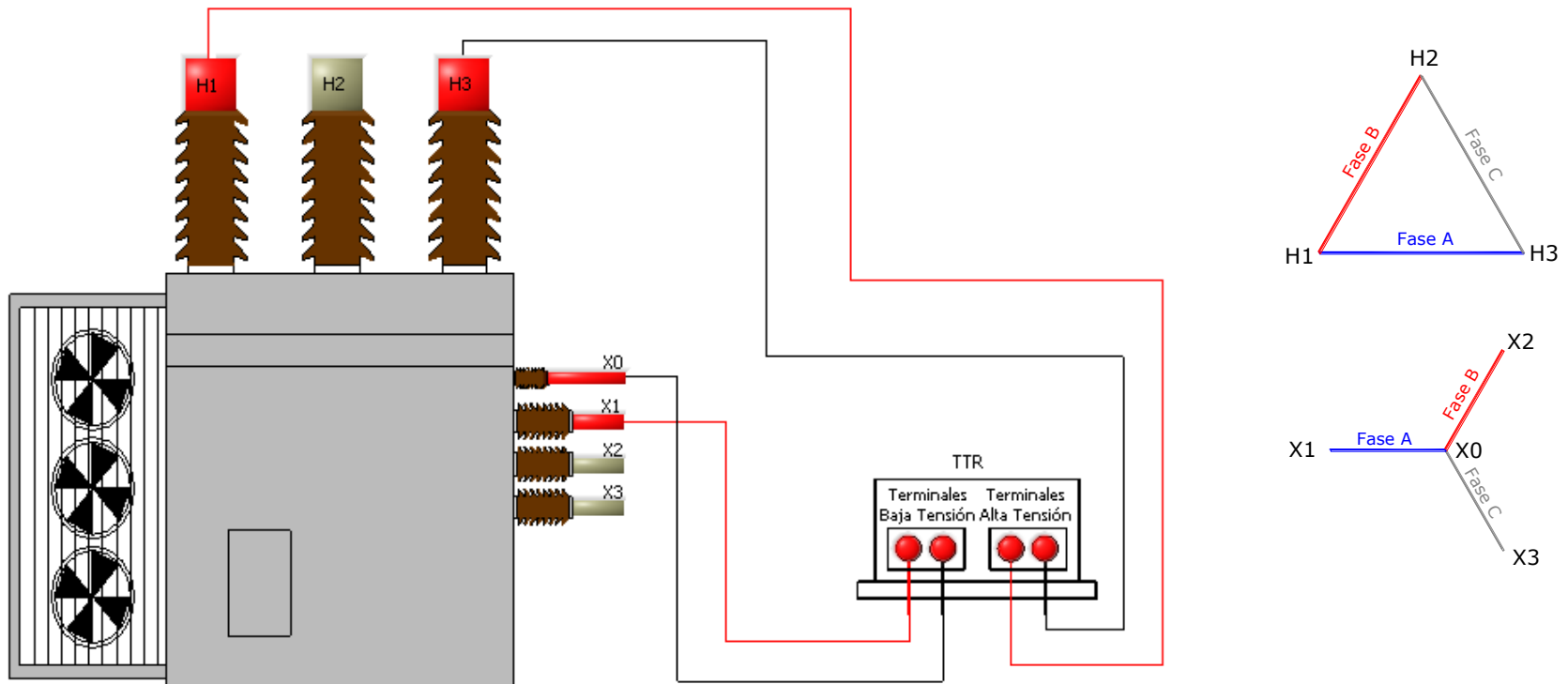
delta- estrella

estrella-delta.



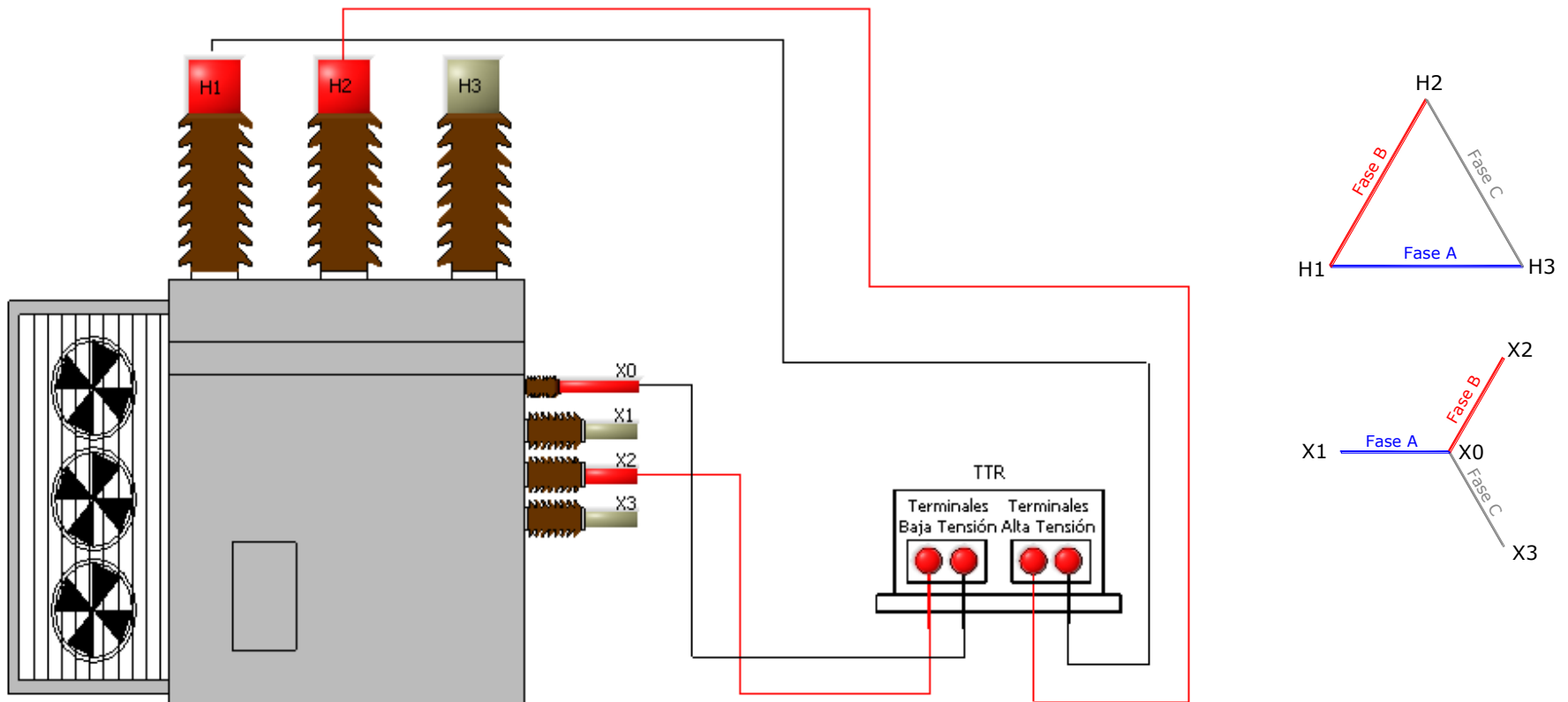
# PRUEBA DE LA FASE A TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA

Para probar la fase A se debe conectar el cable de alta tensión con marca roja a la terminal H1 y el otro cable de alta tensión a la terminal H3. El cable de baja tensión con marca roja se debe conectar a la terminal X1 y el otro cable a la terminal X0.



# PRUEBA DE LA FASE B TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA

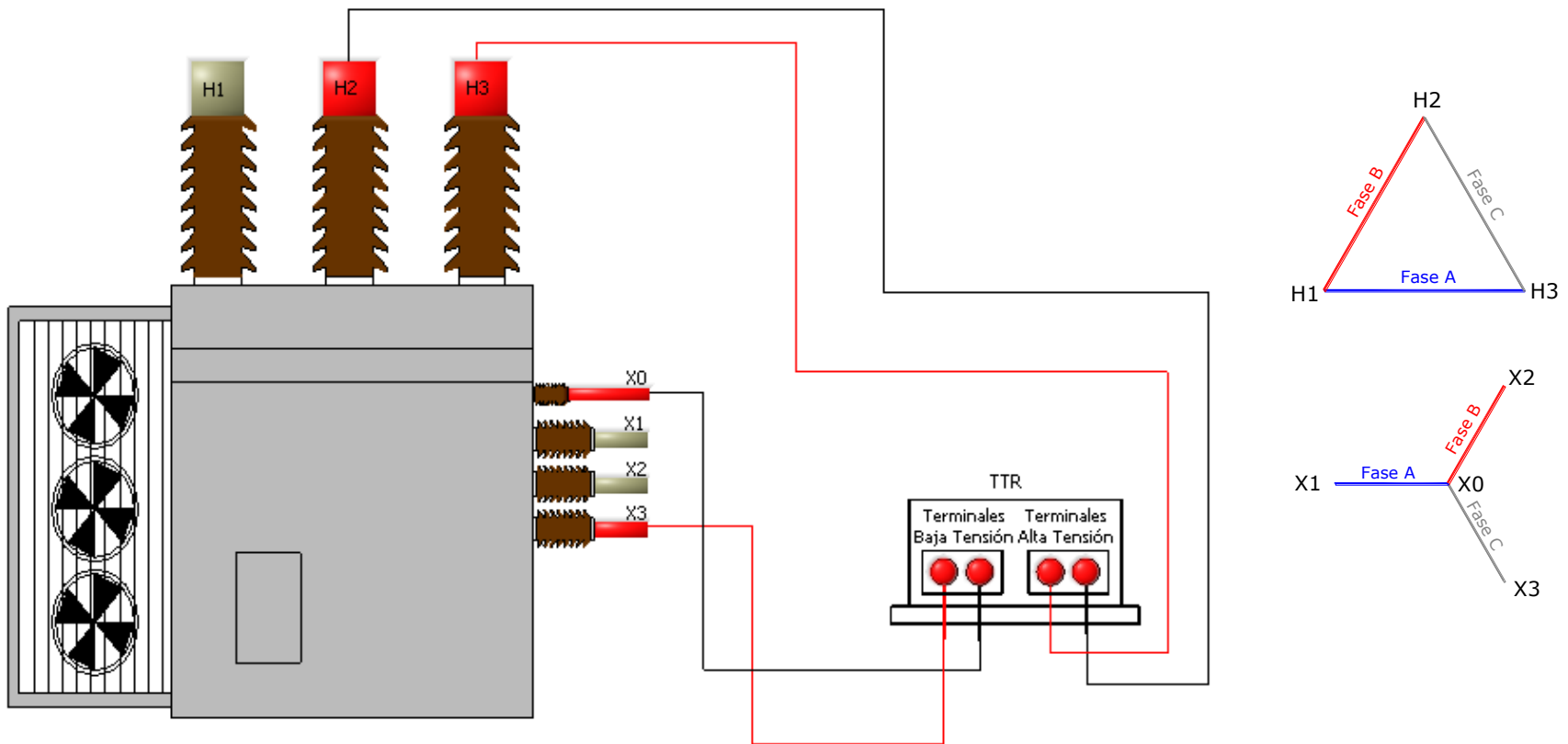
Para probar la fase B se debe conectar el cable de alta tensión con marca roja a la terminal H2 y el otro cable de alta tensión a la terminal H1. El cable de baja tensión con marca roja se debe conectar a la terminal X2 y el otro cable a la terminal X0.





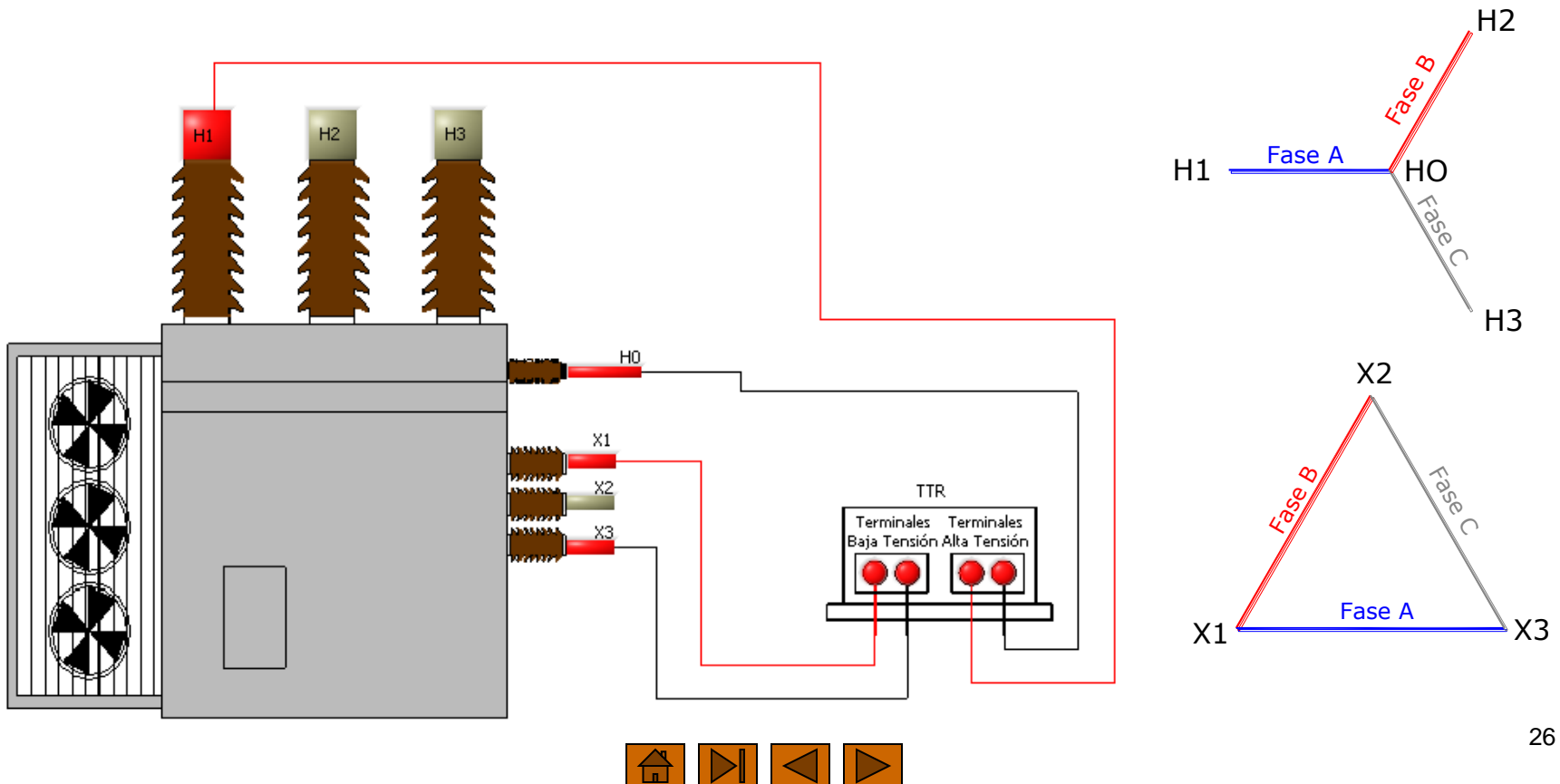
# PRUEBA DE LA FASE C TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA

Para probar la fase C se debe conectar el cable de alta tensión con marca roja a la terminal H3 y el otro cable de alta tensión a la terminal H2. El cable de baja tensión con marca roja se debe conectar a la terminal X3 y el otro cable a la terminal X0.



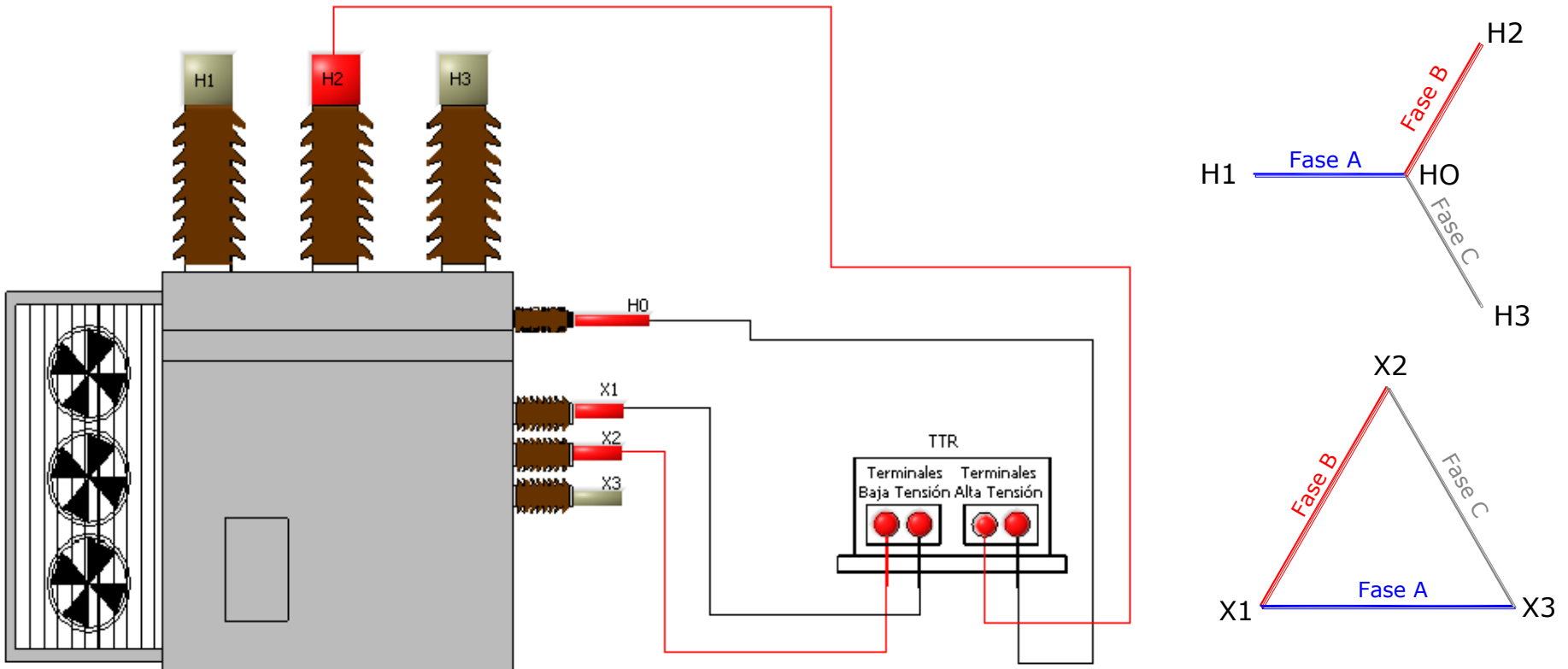
# PRUEBA DE LA FASE A TRANSFORMADOR ESTRELLA-DELTA

Para probar la fase A se debe conectar el cable de alta tensión con marca roja a la terminal H1 y el otro cable de alta tensión a la terminal H0. El cable de baja tensión con marca roja se debe conectar a la terminal X1 y el otro cable a la terminal X3.



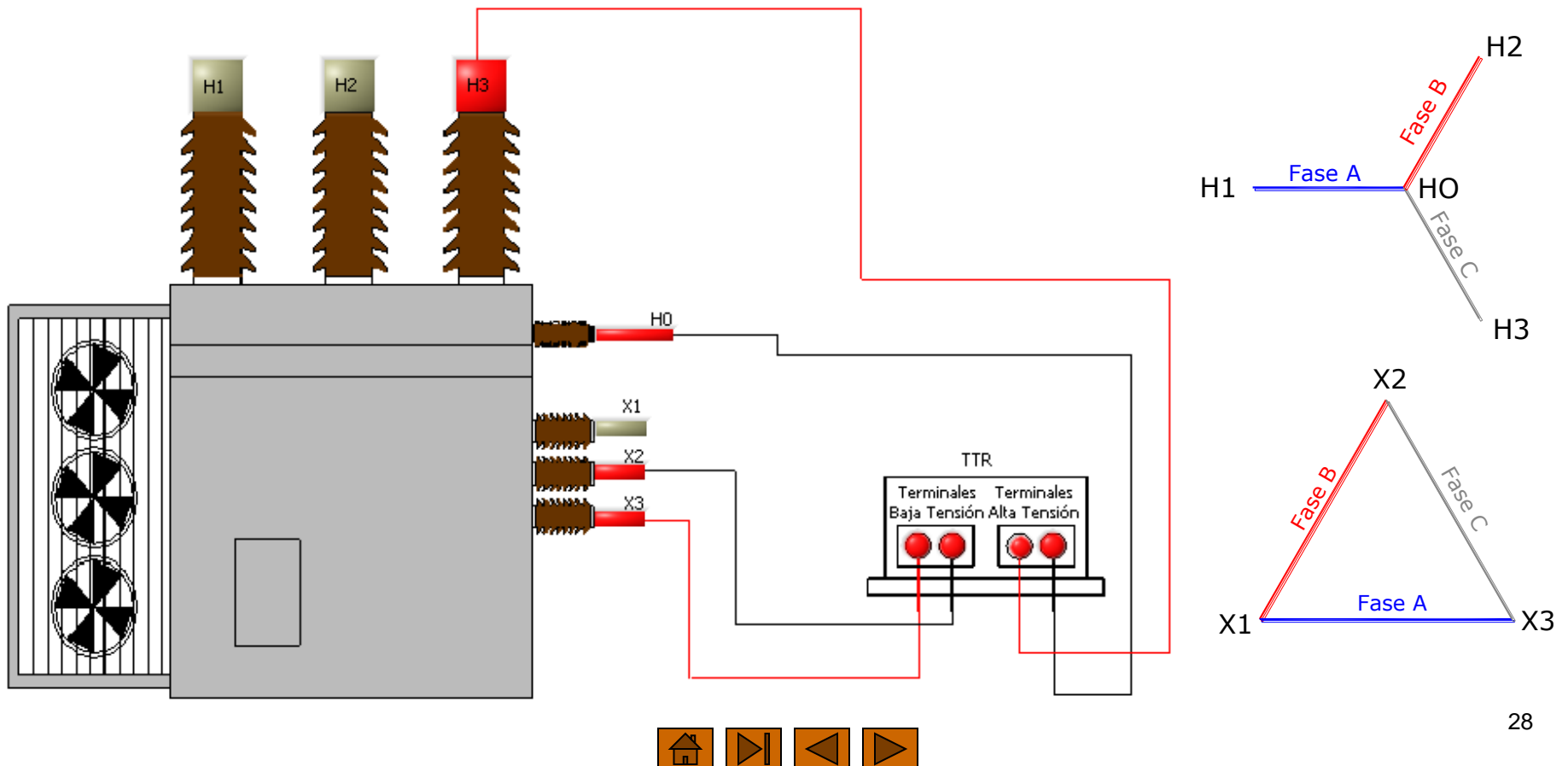
# PRUEBA DE LA FASE B TRANSFORMADOR ESTRELLA-DELTA

Para probar la fase B se debe conectar el cable de alta tensión con marca roja a la terminal H2 y el otro cable de alta tensión a la terminal H0. El cable de baja tensión con marca roja se debe conectar a la terminal X2 y el otro cable a la terminal X1.



# PRUEBA DE LA FASE C TRANSFORMADOR ESTRELLA-DELTA

Para probar la fase C se debe conectar el cable de alta tensión con marca roja a la terminal H3 y el otro cable de alta tensión a la terminal H0. El cable de baja tensión con marca roja se debe conectar a la terminal X3 y el otro cable a la terminal X2.



# CÁLCULOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este ejemplo se ilustra la manera de realizar los cálculos para una prueba de relación de transformación. Asimismo, se presentan los criterios de aceptación o rechazo.

Supongamos un transformador que tiene un devanado de alta tensión de 230,000 volts con conexión delta y un devanado de baja tensión de 13,200 volts con conexión estrella.

En principio, se puede suponer que la relación de transformación de este equipo es:

$$\text{Relación de transformación} = \frac{230,000}{13,200} = 17.424$$



Sin embargo, este cálculo es incorrecto. Ya se vio que cuando el devanado está conectado en estrella siempre se mide entre fase y neutro, y no entre fases. Por lo tanto, es necesario dividir el voltaje de baja tensión (13 200) entre la raíz de tres.

Esta corrección debe hacerse sólo en transformadores con conexión delta-estrella o estrella-delta y siempre se hará al voltaje del lado de la conexión en estrella.

# CÁLCULOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este caso, el devanado de baja tensión está conectado en estrella por lo que deberá aplicarse la corrección de voltaje mencionada. Entonces podemos decir que:

Voltaje de alta tensión = 230,000 Volts  
(no sufre corrección por estar en conexión delta)

Voltaje de baja tensión =  $13,200 / 1.732 = 7,621.24$  Volts  
(se dividió entre la raíz de tres por estar en conexión estrella)

$$\text{Relación de transformación} = \frac{230,000}{7,621.24} = 30.178$$



Recordemos que siempre que se tenga un devanado en estrella se debe dividir el voltaje de baja tensión entre la raíz de tres.

# CÁLCULOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez calculada la relación de transformación teórica, se debe realizar la prueba de relación de transformación. Para decidir si el resultado es satisfactorio, se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Relación de transformación calculada} - \text{Relación de transformación medida}}{\text{Relación de transformación calculada}} \times 100 < 0.5$$

Se efectúa la resta de las relaciones de transformación calculada y medida, se divide entre la relación de transformación calculada y se multiplica por cien.

El resultado de esta operación debe ser menor a 0.5 para que el resultado de la prueba se considere como satisfactorio. Cabe mencionar que el valor puede resultar positivo o negativo. Para aplicar el criterio debe ignorarse el signo, es decir, se debe tomar el valor absoluto.

*Programa Desarrollado por:*



*Contacto:*

*Jorge González de la Vega*

*Tel: (777) 382 1242*

*Fax: (777) 382 1078*

*email: [jvega@cableonline.com.mx](mailto:jvega@cableonline.com.mx)*

© INTEC 2004  
Prohibida su reproducción parcial o total

