

Boletín 135

TODO SOBRE GRUPOS DE CONEXION EN TRANSFORMADORES TRIFASICOS

Boletín técnico N°135
PARTE 2
Ing. Gregor Rojas

TODO SOBRE GRUPOS DE CONEXION EN TRANSFORMADORES TRIFASICOS PARTE 2

Por:

Ing. Gregor Rojas
GERENTE NACIONAL
MERCADERO Y VENTAS
División materiales eléctricos

9 General.

Para comprender mejor el tema referido a los grupos de conexión en transformadores trifásicos que veremos a continuación, es necesario haber visto previamente el Boletín Técnico N° 100xx PARTE 1, donde partimos desde principios básicos sobre esta materia y abarcamos la norma internacional IEC 60076-1 en su capítulo 6.

El grupo de conexión es el método de la Comisión Electrotécnica Internacional cuyas siglas son IEC para categorizar las diferentes configuraciones de conexiones de los bobinados de un transformador trifásico tanto del lado de alto voltaje como el de bajo voltaje.

El grupo de conexión muestra la configuración de los bobinados del transformador y la diferencia en ángulo de fase existente entre ellos. Para ilustrar con un ejemplo, imaginemos un transformador trifásico conformado por un bobinado de alta tensión en estrella y un bobinado de baja tensión en delta, adelantado 330 grados, esto se expresa como Yd11.

Las fases de un transformador polifásico se pueden conectar internamente de maneras diversas, dependiendo de las características requeridas del transformador.

9.1 Conexión estrella – estrella (Y-y)

En las conexiones estrella Y, la corriente de línea es la misma que la que circula por cada devanado del transformador. No obstante, el voltaje en los

bornes de una bobina del devanado es $\sqrt{3}$ veces menor que el voltaje de fase-fase.

$$U_c = \sqrt{3} \times U_f$$

Así mismo, al estar el primario y el secundario del transformador en conexión estrella, la relación de transformación será la proporción entre el número de espiras de los devanados.

$$m = N_p / N_s$$

El esquema de conexión estrella-estrella es mostrado en la figura 14.

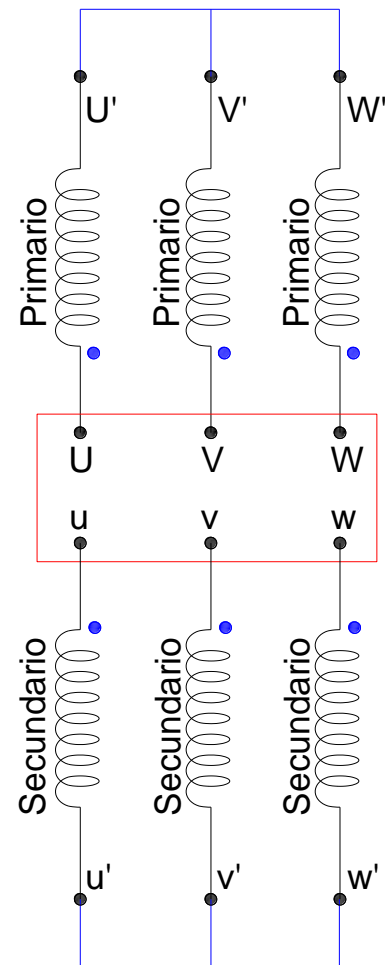


Figura 14. Conexión estrella-estrella

9.1.1 Ventajas

La conexión Y-y permite disponer del neutro tanto en el devanado del primario del transformador como en el secundario, de igual forma, permite vincular el neutro del primario del transformador con el neutro de la fuente de energía, entre sus ventajas se encuentran:

- La conexión Y-y permite disponer de dos tensiones distintas, la de fase a fase y la de fase a neutro.
- La conexión Y-y permite conectar a tierra el neutro por medida de seguridad en ciertas instalaciones.
- La conexión Y-y presenta buen funcionamiento en pequeñas potencias, ya que además de poder disponer de 2 tensiones, es más económico por aplicar una tensión a cada fase de $V/\sqrt{3}$ y por consiguiente, disminuir el número de espiras.
- El aumento de sección de los conductores favorece la resistencia mecánica a los esfuerzos de cortocircuito.
- Si una fase en cualquier bobinado funciona defectuosa, las otras dos fases restantes pueden desempeñarse resultando una transformación monofásica, la carga que podría suministrar sería del 58% de la potencia normal trifásica.

9.1.2 Desventajas

La conexión Y-Y debe evitarse a menos que se haga una conexión del neutro muy sólida, es decir, de baja impedancia entre el primario y la fuente de potencia, entre sus desventajas están:

- Si las cargas en el circuito alimentado por el transformador no están equilibradas, esto trae como consecuencia que los voltajes de fase tienden a desequilibrarse severamente.

- En la conexión estrella-estrella se presentan problemas con las terceras armónicas. Sus voltajes son grandes a causa de la no linealidad del circuito magnético del hierro.
- Si es inevitable tener que hacer una conexión Y-y con un neutro primario débil o inexistente, cada transformador de fase debe poseer un tercer devanado igualmente del primario y del secundario al que se denomina terciario.
- Este tercer devanado es conectado en delta con lo cual se logra anular los inconvenientes causados por los armónicos o por los desequilibrios de cargas. No obstante, no es necesario que estos devanados a menudo se disponen con terminales hacia el exterior para aprovechar su potencia en servicios auxiliares.
- Otra desventaja es el aumento de la sección de los conductores, por circular la corriente de línea IL por cada fase.

La principal aplicación de transformadores con grupo de conexión Yy0 es en transformadores de distribución, con una carga de neutro inferior al 10% que presenta la de fase.

9.2 Conexión delta-delta (D-d)

Es empleada mayormente en transformadores de baja tensión ya que con esta configuración se requieren más espiras de menor sección.

Lo anterior es gracias a que la corriente que circula por los devanados del transformador es $\sqrt{3}$ veces menor que la de línea. No obstante, el voltaje que soportan es la propia tensión compuesta de la línea.

$$I_c = \sqrt{3} \times I_f$$

Así mismo, al estar el primario y el secundario del transformador en conexión delta, la relación de

transformación será la proporción entre el número de espiras de los devanados.

$$m = N_p / N_s$$

El esquema de conexión delta-delta es mostrado en la figura 15.

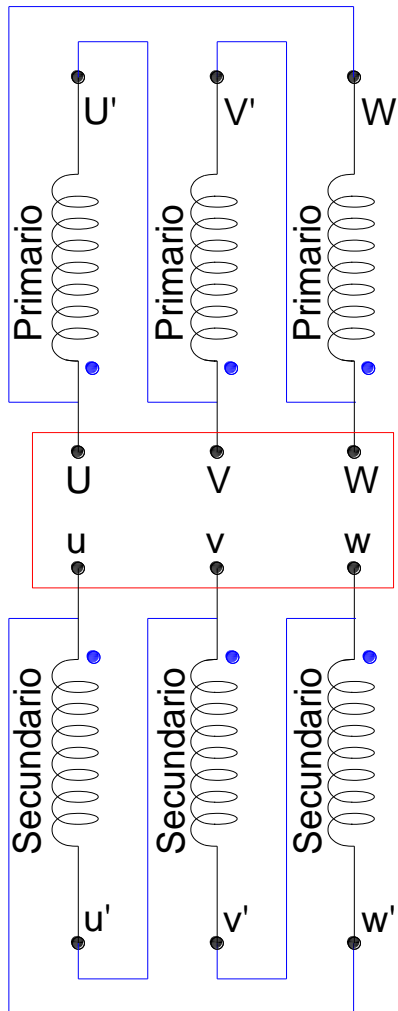


Figura 15. Conexión delta-delta.

9.2.1 Ventajas

La conexión D-d tiene la ventaja de que, en caso de producirse una falla, si se trata de un banco de transformadores monofásicos, el transformador averiado puede ser separado del conjunto sin que esto impida la continuidad en el funcionamiento

del sistema trifásico, no obstante, con una menor potencia que la original del sistema, otras de sus ventajas son:

- No tiene desplazamiento de fase.
- No tiene inconvenientes con armónicos o con cargas desequilibradas.
- Los desequilibrios motivados por las cargas secundarias se reparten entre las fases del primario, evitando los desequilibrios de los flujos magnéticos.
- Cuando han de circular corrientes elevadas, por cada fase sólo circulará $\sqrt{3}/IL$, lo que permitirá disminuir la sección de los conductores.

9.2.2 Desventajas.

La conexión D-d presenta los inconvenientes siguientes:

- No dispone de salida o conexión a neutro, tanto en el primario como en el secundario, con la resultante limitación de su uso.
- Cada bobinado debe soportar la tensión de red (compuesta), con el consiguiente aumento del número de espiras.
- No se puede suministrar energía con 4 conductores.
- Cuando debe opera con altas tensiones de línea, los costos de diseño de las bobinas son mayores

9.3 Conexión delta-estrella (D-y)

La conexión D-y se utiliza para elevar la tensión, debido a que además de la propia relación de transformación habida por las espiras, aumenta en raíz de tres veces la tensión del secundario:

$$m = \sqrt{3} \times N_1/N_2$$

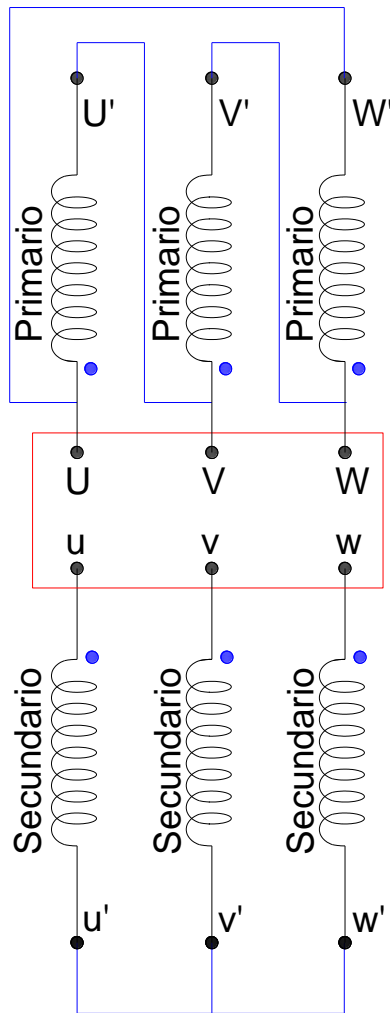


Figura 16. Conexión delta-estrella

Su esquema de conexión es el reflejado en la figura 15. Se utiliza mucho como transformador elevador en las redes de alta tensión. En este caso la alta tensión está en el lado de la estrella, lo cual permite poner a tierra el punto neutro, con lo que queda limitado del potencial sobre cualquiera de las fases a la tensión simple del sistema.

9.3.1 ventajas

Es el tipo de conexión más utilizado en los transformadores de distribución, el índice habitual es el Dy11 y también se usa el Dy5. Entre sus bondades figuran:

- Poseer conexión en estrella en baja tensión nos permite conectar tanto cargas trifásicas como monofásicas, al tener neutro.
- Cuando se emplea esta conexión en el lado de alta, podemos realizar la puesta a tierra del neutro, haciendo que quede limitado el potencial sobre cualquier carga.
- Al producirse un desequilibrio en la carga, no motiva asimetría del flujo, por producirse un reparto entre las tres columnas del primario.
- Presentar un neutro asequible, nos permite realizar la puesta a tierra con protección de la instalación.
- Puede distribuirse el neutro en su secundario siendo muy utilizado para redes de distribución con dos tensiones. Tenga presente que no es recomendable conectar el neutro a tierra en las líneas de transporte.
- Esta conexión no presenta problemas con las componentes en sus voltajes de terceros armónicos.
- La conexión es de gran utilidad cuando se requiere elevar el voltaje a valores muy alto.

9.3.2 Desventajas.

La conexión D-y presenta los inconvenientes siguientes:

- Cuando se presenta una falla en una de las fases, deja sin operación al transformador.
- No se dispone de neutro en el primario para conectarlo con la tierra. Esto no es precisamente un inconveniente pues, por lo general en el circuito del primario del transformador hay una toma de tierra, sea en el generador o en el secundario del transformador elevador de tensión.

- El enrollamiento en delta del transformador puede presentar fragilidad mecánicamente, para el caso de un transformador reductor de tensión con el primario a tensión muy alta o con una tensión mediana y baja potencia.

9.4 Conexión estrella-delta (Y-d)

La conexión estrella-delta de nomenclatura Y-d es empleada para reducir la tensión, ya que, además de la propia relación de transformación debida a las espiras, reduce a la tercera parte la tensión en el secundario.

La figura 17 nos presenta el esquema de conexión estrella-delta.

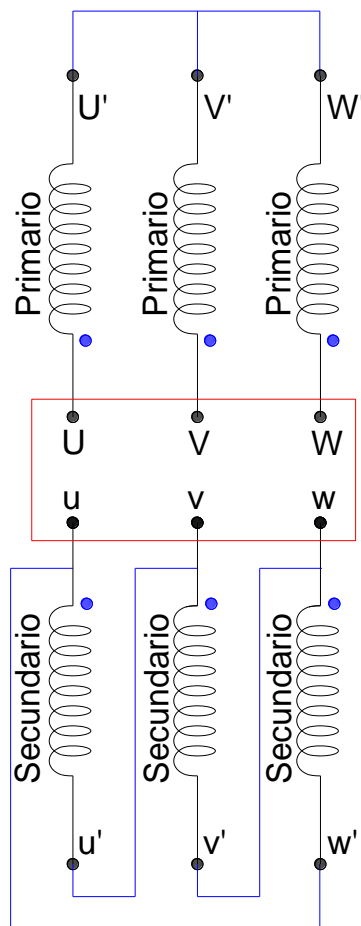


Figura 17. Conexión estrella-delta.

Debido a este factor reductor añadido, hace que este tipo de conexión se aplique principalmente en las subestaciones de alta tensión reductoras, subestaciones de distribución.

9.4.1 Ventajas:

No tiene problemas de armónicos de tensión. Se comporta bien ante cargas desequilibradas, ya que el delta redistribuye posibles desequilibrios.

El empleo habitual de esta conexión es el Yd5, utilizado en centrales y subestaciones. Entre sus bondades se cuentan:

- Esta conexión no presenta problemas con los componentes en sus voltajes de terceros armónicos, puesto que se consume una corriente circulante en el lado de la delta.
- Esta conexión es muy recomendada para los transformadores reductores de tensión, esto se debe a las características inherentes de los enrollamientos en estrella para altas tensiones y de los enrollamientos en delta para las bajas tensiones.
- Esta conexión presenta estabilidad respecto a cargas desequilibradas, esto se debe a que la delta redistribuye cualquier desequilibrio que se presente.
- El neutro del primario del transformador se puede conectar con la tierra.
- El neutro del primario del transformador se mantiene estable debido a el secundario en delta.

9.4.2 Desventajas:

La conexión estrella-delta presenta los siguientes inconvenientes:

- El voltaje secundario se desplaza en retraso de 30° con respecto al voltaje del primario del transformador, esto ocasiona problemas

en el secundario si se requiere realizar alguna conexión en paralelo con otro transformador.

- Tenga presente que una de las condiciones necesarias para conectar transformadores en paralelo es que los ángulos de fase de los secundarios sean iguales.
- No se puede disponer de neutro en el secundario para conectar con tierra o para una distribución de cuatro cables.
- Un defecto en una de las fases hace salga de operatividad el transformador o la unidad trifásica hasta que se subsane la falla.
- El enrollamiento en delta del transformador puede presentar fragilidad mecánicamente, para el caso de un transformador elevador de tensión con el secundario a tensión muy alta o con una tensión mediana y baja potencia.

9.5 Conexión estrella zig-zag (Y-z)

La conexión estrella zig-zag se emplea únicamente en el lado de baja tensión.

Este montaje se utiliza en redes de distribución ya que permite el uso de un neutro en el secundario.

Se comporta bien frente a desequilibrios de cargas. Debido a la composición de voltajes del lado secundario se requiere un 15% más de espiras que una conexión en estrella convencional, con el consiguiente aumento de costos.

Sus aplicaciones se limitan a transformadores de distribución de potencias inferiores a 400 kVA. Se utiliza para redes de distribución que suministren dos tensiones.

La figura 18 nos presenta el esquema de conexión estrella-zig-zag.

Ing. Gregor Rojas

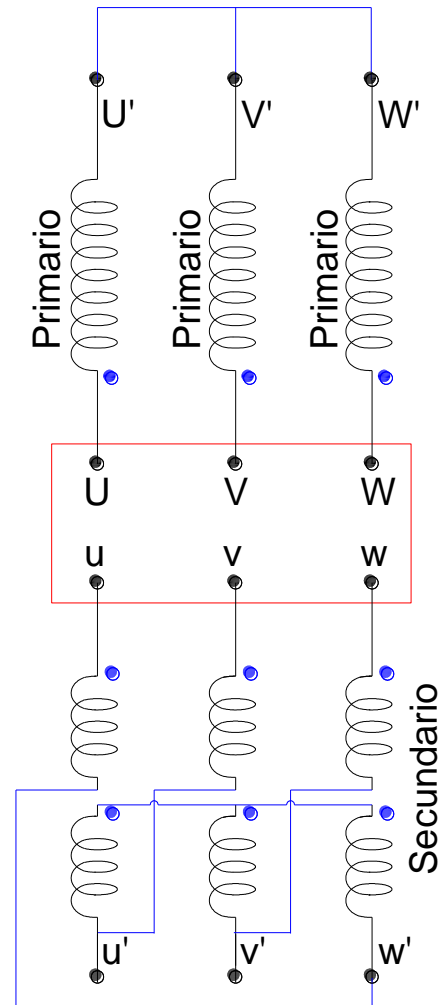


Figura 18. Conexión estrella-zig-zag

9.5.1 Ventajas:

Como ventaja, cabe destacar que no se producen desequilibrios en el primario cuando aparecen cargas desequilibradas en secundario. Otras de sus virtudes son:

- Puede disponerse de neutros para conectar con la tierra tanto en el primario como en el secundario, lo que permite alimentar distribuciones de cuatro cables con cargas equilibradas y desequilibradas.

- Las tensiones del tercer armónico entre las líneas y el neutro en el secundario, se alimentan por la oposición entre tales tensiones en las mismas de los enrollamientos que están conectadas en serie para constituir una fase.
- Ambos enrollamientos son muy robustos mecánicamente

9.5.2 Desventajas:

La conexión estrella-zig-zag presenta los siguientes inconvenientes:

- Se requiere en el enrollamiento secundario un 15,50% de cobre adicional, con el aumento correspondiente en el aislamiento total. Generando incremento en los costos del cobre.
- El tamaño de la armazón debe ser mayor lo que genera que el costo del transformador se haga más elevado.
- Debido a las dificultades de fabricación en la construcción de las bobinas, el enrollamiento en zig-zag debe ser siempre en baja tensión. Por esta razón, esta conexión no resulta apropiada para transformadores reductores de voltaje.
- La tolerancia en los desequilibrios de la carga es mayor cuando el enrollamiento en zig-zag se encuentra en bobinado del secundario.

9.6 Conexión delta zig-zag (Y-z)

La conexión zig-zag en la práctica sólo se emplea en el lado de menor voltaje.

Consiste en subdividir en dos partes iguales los devanados secundarios, una parte se conecta en estrella y luego cada rama se une en serie con las bobinas invertidas de las fases adyacentes, siguiendo un determinado orden cíclico.

La conexión zig-zag se usa en transformadores reductores de tensión, conexión Yz, para distribución, dado que provee de neutro y equilibra las cargas, en un consumo desequilibrado.

La figura 19 nos presenta el esquema de conexión estrella-delta.

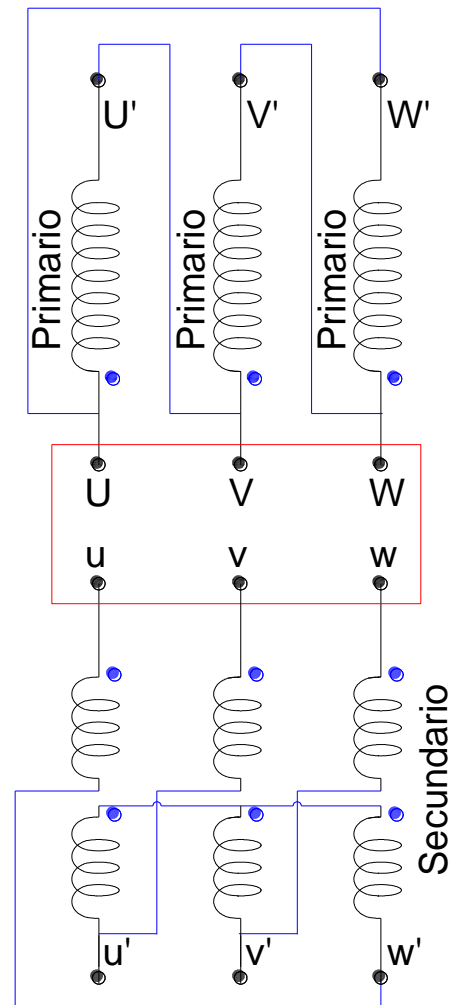


Figura 19. Conexión delta zig-zag

La conexión zig-zag se usa en autotransformadores para neutro artificial.

La conexión zig-zag se usa en autotransformadores relación 1:1, para protección en caso de tierra accidental de un conductor en líneas trifásicas.

Tenga siempre presente que para que no se queme el bobinado, la conexión debe ser siempre sustractiva tal como se vio en el boletín técnico de la parte 1, y con cualquier bobinado de las otras dos columnas del transformador, solo diferirán en el diagrama vectorial final, pero así puede funcionar sin riesgo la conexión.

9.6.1 Ventajas:

Las tensiones en el tercer armónico quedan eliminadas por la circulación de las corrientes del tercer armónico en el bobinado del primario en el delta.

El neutro del secundario puede ser conectado a la tierra, puede ser utilizado para fines de la carga, o puede servir de neutro para una distribución de corriente continua trefilar. Entre sus ventajas se cuentan:

- Se puede tener una distribución desequilibrada de cuatro cables, y los voltajes de desequilibrio son relativamente pequeños, siendo proporcionales solamente a la impedancia interna de los bobinados lo que permite alimentar simultáneamente circuitos equilibrados y desequilibrados.
- Reducción de corrientes de cortocircuito: este tipo de transformador permite reducir las corrientes de cortocircuito, lo cual puede resultar beneficioso para la protección de los equipos conectados.
- Mayor capacidad de carga, el transformador zig-zag permite una mayor capacidad de carga en comparación con otros tipos de transformadores, siendo útil en sistemas donde se requiere una gran demanda de energía.
- Mayor tolerancia a fallas, el transformador zig-zag puede mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico, debido a que posee una

mayor tolerancia a algunas fallas, como, por ejemplo, las conexiones incorrectas a tierra.

- Una ventaja significativa que poseen los transformadores de tipo zig-zag es que poseen un menor impacto de las armónicas en el sistema eléctrico, lo que puede contribuir a una mejor calidad de la energía suministrada.

9.6.2 Desventajas:

La conexión estrella-zig-zag presenta los siguientes inconvenientes:

- El diseño y fabricación de un transformador zig-zag presenta mayor complejidad en su fase constructiva.
- Un transformador tipo zig-zag resulta más costoso si se le compara con otros tipos de transformadores.
- Debido a su diseño particular, este tipo de transformador en zig-zag requiere más espacio físico en comparación con otros tipos de transformadores, lo cual puede ser un inconveniente en instalaciones con espacio limitado.
- En algunos casos, el transformador zig-zag puede presentar un mayor nivel de pérdidas eléctricas en comparación con otros tipos de transformadores, lo que puede afectar la eficiencia energética del sistema.
- Su diseño y aplicaciones específicas hacen más difícil encontrar transformadores zig-zag en el mercado, lo que puede limitar su disponibilidad para ciertos proyectos.
- No se dispone de neutro para la toma de tierra en el primario, aunque esto no constituya de modo necesario un inconveniente pues la alimentación en el lado del primario del transformador está

conectada a la tierra en el generador o en el secundario del transformador elevador de voltaje.

- Una avería en una fase impide el funcionamiento de una batería o unidad trifásica.
- El enrollamiento en triangulo puede resultar débil mecánicamente en el caso de un transformador reductor con un voltaje muy grande en el primario, o con un voltaje en el primario medianamente alto, y de pequeña potencia.
- Debido al desplazamiento de la fase entre las mitades de los enrollamientos, que están conectados en serie para formar cada fase, los enrollamientos en estrella interconectada requieren un 15.5% más de cobre, con el consiguiente aumento del aislamiento total. Que también repercute en incrementos de costos de fabricación de este tipo de transformador.
- El tamaño del armazón, también por esta razón es mayor con el aumento consiguiente de los costos de producción de este tipo de transformadores.

En el próximo boletín técnico continuaremos con este interesante tema referido a todo sobre grupos de conexión en transformadores trifásicos.

Desarrollaremos ejemplos aplicando los usos horarios para sus diagramas fasoriales.