

# Distribución de la energía eléctrica

Introducción a los sistemas en corriente alterna



Tecnológico  
de Monterrey

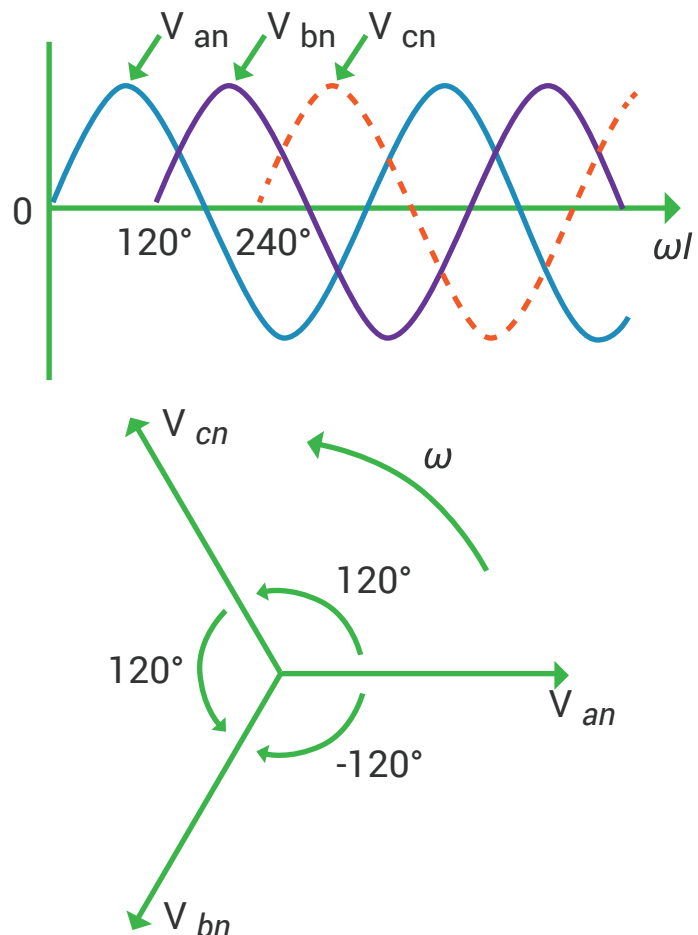
# Circuitos trifásicos

## Circuitos trifásicos balanceados y sus conexiones

Aunque hasta ahora solo hemos analizado circuitos con una sola fase, los **sistemas eléctricos de potencia** utilizan sistemas polifásicos, específicamente trifásicos (tres fases) para generar transportar y distribuir la energía eléctrica. A continuación encontrarás más información sobre esto.

### ¿Qué son sistemas trifásicos?

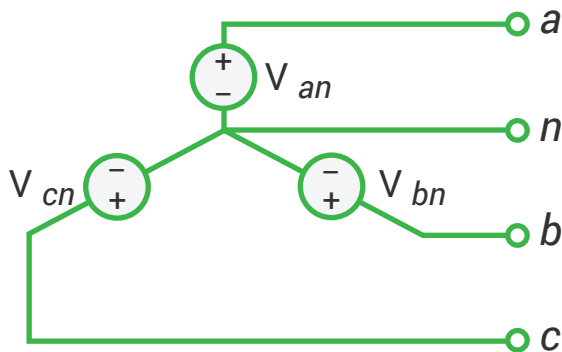
Los sistemas trifásicos consisten básicamente en tres fuentes de voltaje que operan a la misma frecuencia, pero con diferente ángulo de fase, se dice que el sistema es balanceado, cuando el voltaje de las fuentes es el mismo y la diferencia de ángulo entre cada fuente es de 120 grados. El motivo para utilizar sistemas trifásicos es que la **transmisión de potencia es más uniforme**, y que, para una misma cantidad de potencia, se requiere menor cantidad de conductor que en un sistema monofásico. En las siguientes figuras se muestra el **diagrama fasorial** y en el **dominio del tiempo** de un sistema trifásico.



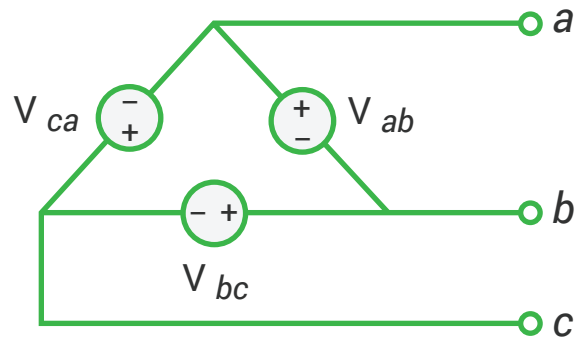
Como se puede observar la gráfica temporal, las **señales sinusoidales** tienen un desplazamiento de fase de 120 grados, por su parte, en el diagrama vectorial se aprecian los vectores de voltaje con el mencionado desplazamiento. El desplazamiento en los voltajes se produce debido a la posición de las bobinas en las máquinas con las que se produce la energía eléctrica. En cada fase se puede ver como una fuente de voltaje independiente.

Existen **dos tipos de conexión principales** como se puede apreciar en la figura:

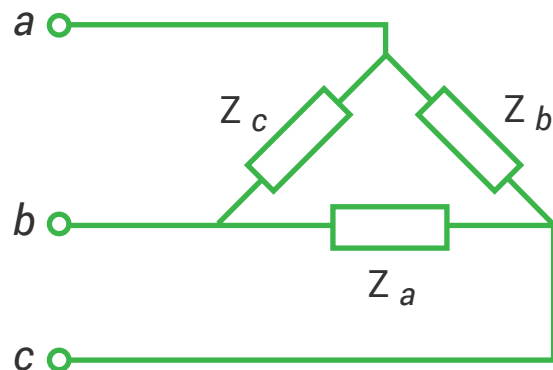
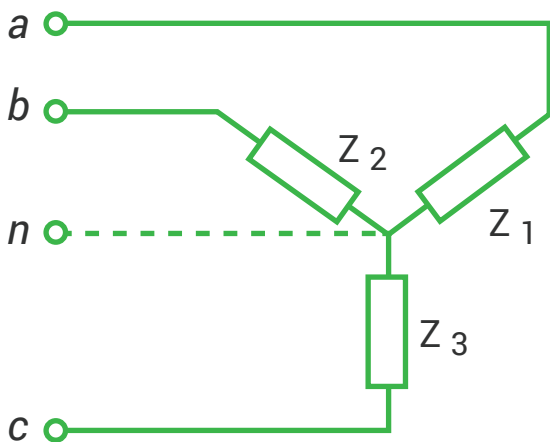
La primera se conoce como **conexión en Y** o en **estrella**, en la cual las fuentes se conectan en un punto común llamado neutro y las terminales de fase son cada una de las terminales restantes.



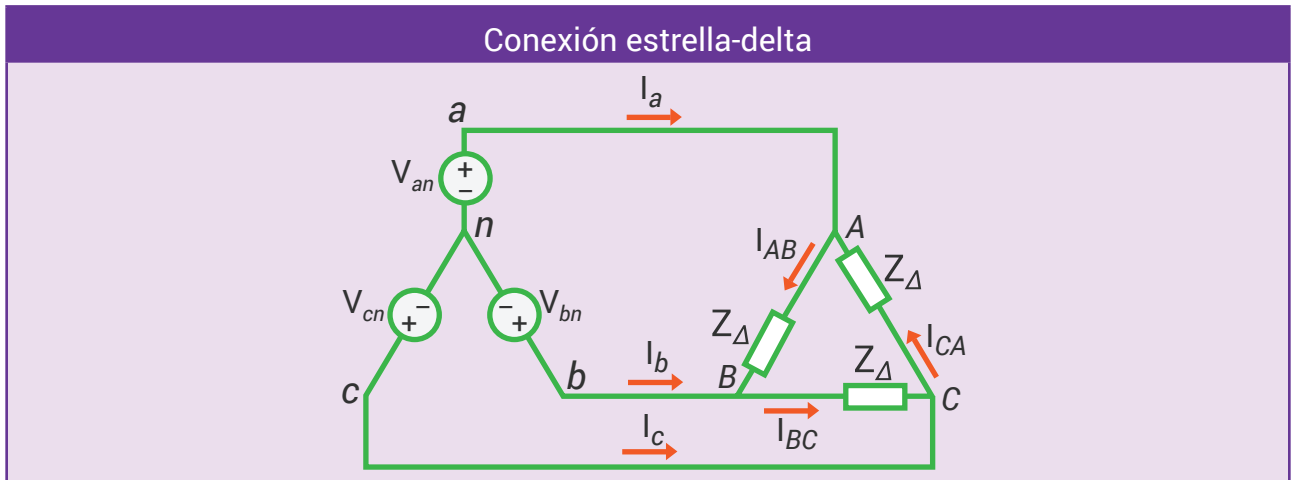
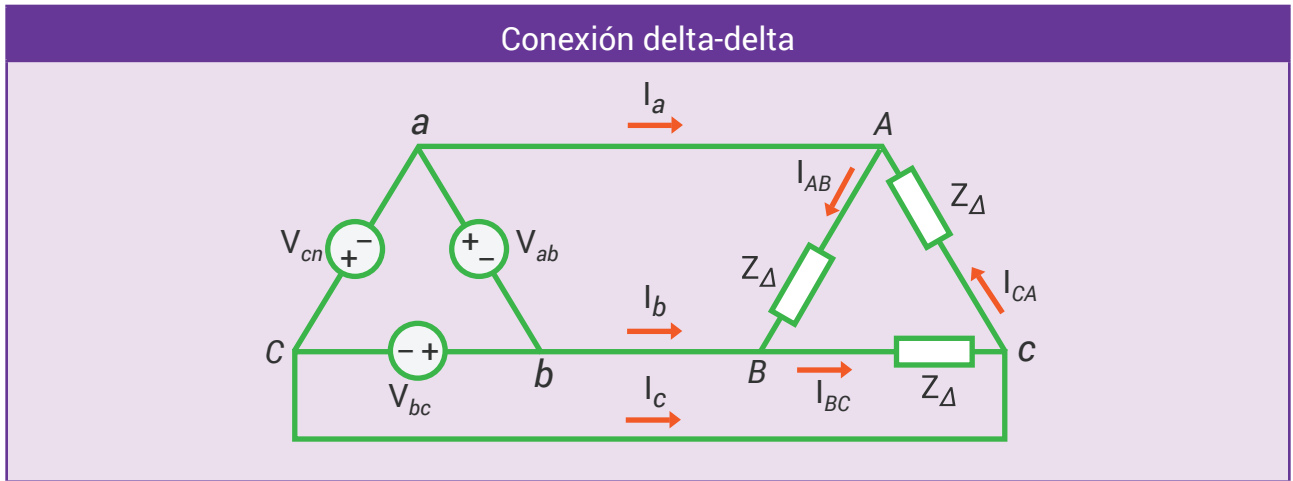
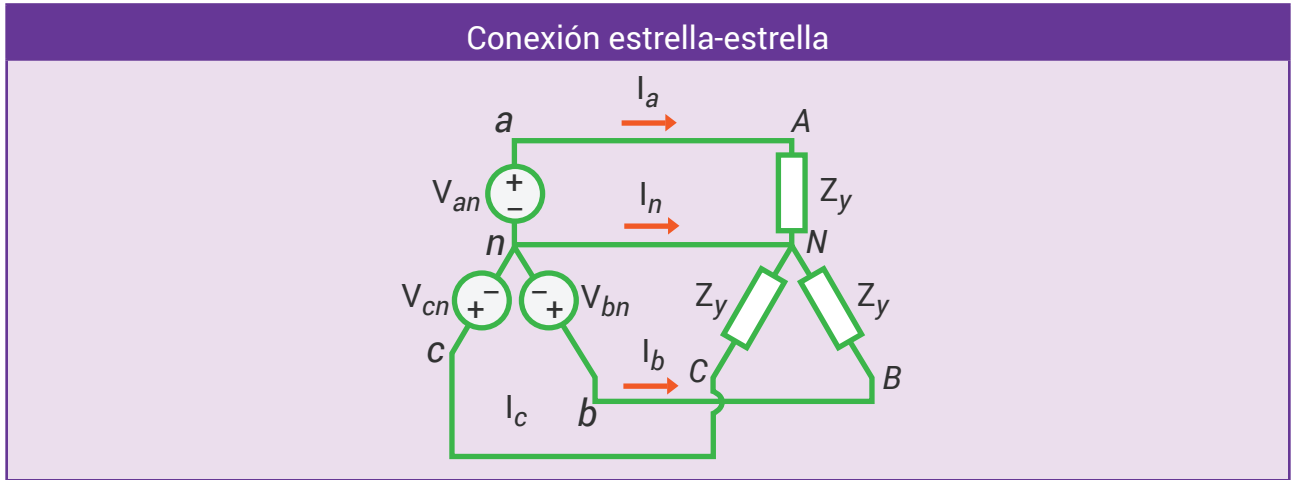
La otra conexión se conoce como **delta** y en ella, cada una de las terminales de las fuentes están conectadas entre sí, y las salidas son los puntos de conexión de las terminales.



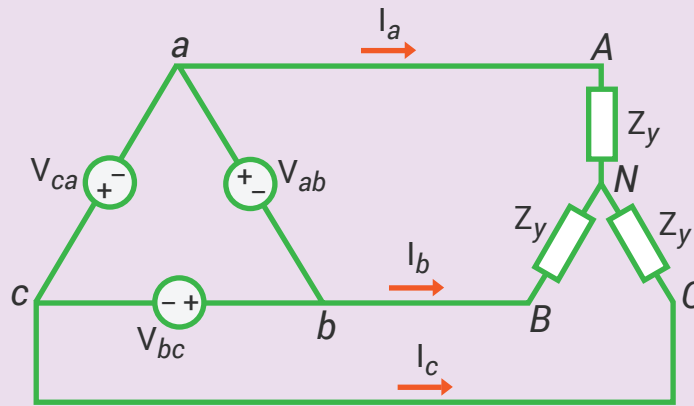
Al igual que las fuentes, las cargas también se pueden conectar en estrella o delta siguiendo las mismas reglas de conexión como se muestra en la siguiente figura:



La conexión de fuente y carga da lugar a **cuatro diferentes combinaciones**, las cuales se muestra a continuación:



### Conexión delta- estrella



Se les llama voltajes de fase a los voltajes de línea a neutro (e.g.  $V_{an}$ ,  $V_{cn}$ ), mientras que los voltajes de línea son los voltajes de línea a línea (e.g.  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$ ).

Las corrientes de línea son las que circulan por las conexiones de la fuente a la carga (e.g.  $I_a$ ,  $I_b$ ), mientras que las corrientes de fase son las que circulan por la carga (e.g.  $I_{AB}$ ,  $I_{CB}$ ). En la siguiente tabla se muestran las relaciones de los voltajes y corrientes de línea y los voltajes y corrientes de fase para cada una de las cuatro conexiones anteriores.

Conexión	Voltajes/Corrientes de fase	Voltajes/Corrientes de línea
Y - Y	$V_{an} = V_p \angle 0^\circ$ $V_{bn} = V_p \angle -120^\circ$ $V_{cn} = V_p \angle +120^\circ$ <p>Las mismas que las corrientes de línea</p>	$V_{ab} = \sqrt{3}V_p \angle 30^\circ$ $V_{bc} = V_{ab} \angle -120^\circ$ $V_{ca} = V_{ab} \angle +120^\circ$ $I_a = V_{an} / Z_Y$ $I_b = I_a \angle -120^\circ$ $I_c = I_a \angle +120^\circ$
Y - $\Delta$	$V_{an} = V_p \angle 0^\circ$ $V_{bn} = V_p \angle -120^\circ$ $V_{cn} = V_p \angle +120^\circ$ $I_{AB} = V_{AB} / Z_\Delta$ $I_{BC} = V_{BC} / Z_\Delta$ $I_{CA} = V_{CA} / Z_\Delta$	$V_{ab} = V_{AB} = \sqrt{3}V_p \angle 30^\circ$ $V_{bc} = V_{BC} = V_{ab} \angle -120^\circ$ $V_{ca} = V_{CA} = V_{ab} \angle +120^\circ$ $I_a = I_{AB} \sqrt{3} \angle -30^\circ$ $I_b = I_a \angle -120^\circ$ $I_c = I_a \angle +120^\circ$

$\Delta - \Delta$	$\mathbf{V}_{ab} = V_p \angle 0^\circ$ $\mathbf{V}_{bc} = V_p \angle -120^\circ$ $\mathbf{V}_{ca} = V_p \angle +120^\circ$ $\mathbf{I}_{AB} = \mathbf{V}_{ab} / \mathbf{Z}_\Delta$ $\mathbf{I}_{BC} = \mathbf{V}_{bc} / \mathbf{Z}_\Delta$ $\mathbf{I}_{CA} = \mathbf{V}_{ca} / \mathbf{Z}_\Delta$	<p>Los mismos que los voltajes de fase</p> $\mathbf{I}_a = \mathbf{I}_{AB} \sqrt{3} \angle -30^\circ$ $\mathbf{I}_b = \mathbf{I}_a \angle -120^\circ$ $\mathbf{I}_c = \mathbf{I}_a \angle +120^\circ$
$\Delta - Y$	$\mathbf{V}_{ab} = V_p \angle 0^\circ$ $\mathbf{V}_{bc} = V_p \angle -120^\circ$ $\mathbf{V}_{ca} = V_p \angle +120^\circ$ <p>Las mismas que las corrientes de línea</p>	<p>Los mismos que los voltajes de fase</p> $\mathbf{I}_a = \frac{V_p \angle -30^\circ}{\sqrt{3} \mathbf{Z}_Y}$ $\mathbf{I}_b = \mathbf{I}_a \angle -120^\circ$ $\mathbf{I}_c = \mathbf{I}_a \angle +120^\circ$

Trabajo realizado en el marco del Proyecto 266632 “Laboratorio Binacional para la Gestión Inteligente de la Sustentabilidad Energética y la Formación Tecnológica”, con financiamiento del Fondo de Sustentabilidad Energética CONACYT-SENER (Convocatoria: S001920101).

El trabajo intelectual contenido en este material, se comparte por medio de una licencia de Creative Commons (CC BY-NC-ND 2.5 MX) del tipo “Atribución-No Comercial Sin Derivadas”, para conocer a detalle los usos permitidos consulte el sitio web en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/mx>



Se permite copiar, distribuir, reproducir y comunicar públicamente la obra sin costo económico bajo la condición de no modificar o alterar el material y reconociendo la autoría intelectual del trabajo en los términos específicos por el propio autor. No se puede utilizar esta obra para fines comerciales, y si se desea alterar, transformar o crear una obra derivada de la original, se deberá solicitar autorización por escrito al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

SENER  
SECRETARÍA DE ENERGÍA

SEP  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

CFE  
Comisión Federal de Electricidad

CONACYT  
45 años

Tecnológico  
de Monterrey

INSTITUTO NACIONAL  
DE ELECTRICIDAD Y  
ENERGÍAS LIMPIAS

FONDO  
DE SUSTENTABILIDAD  
ENERGÉTICA

Colaboran:

Berkeley  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

ASU ARIZONA STATE  
UNIVERSITY