

ANÁLISIS DE CIRCUITOS

GRADO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA INDUSTRIAL

CURSO 2011-12

TEMA 3. SISTEMAS TRIFÁSICOS
PARTE I

Profesor: Francisco I. Cabello Albalá

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

TEMA 3. SISTEMAS TRIFÁSICOS

3.1 Generadores trifásicos

3.2 Sistemas trifásicos equilibrados

3.3 Potencia en sistemas trifásicos equilibrados. Medida de potencia

3.4 Análisis de sistemas desequilibrados

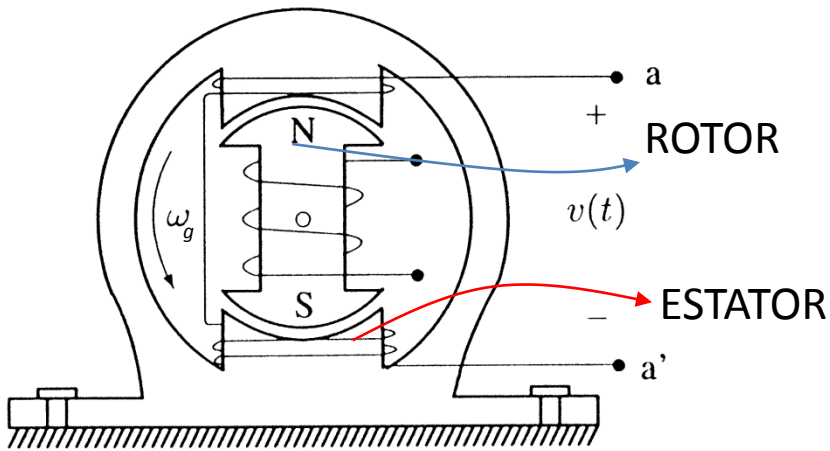
The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, dark green font. The '99' is significantly larger and more prominent than the rest of the text. The logo is set against a light blue and orange gradient background that resembles a stylized wave or a banner.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3.1 GENERADORES TRIFÁSICOS

GENERADOR ELÉCTRICO (ALTERNADOR) MONOFÁSICO



Imanes permanentes o electroimanes

↓
Campo magnético constante dispuesto sobre un elemento giratorio (ROTOR, ω_g)

↓ ↑
x ej.: originado por turbina

↓
Campo variable (sinusoidal) visto desde el ESTATOR

↓
Se induce una fuerza electromotriz en la bobina del ESTATOR (Ley de Faraday), con pulsación eléctrica $\omega_e = p \cdot \omega_g$

(p: nº pares de polos del rotor)

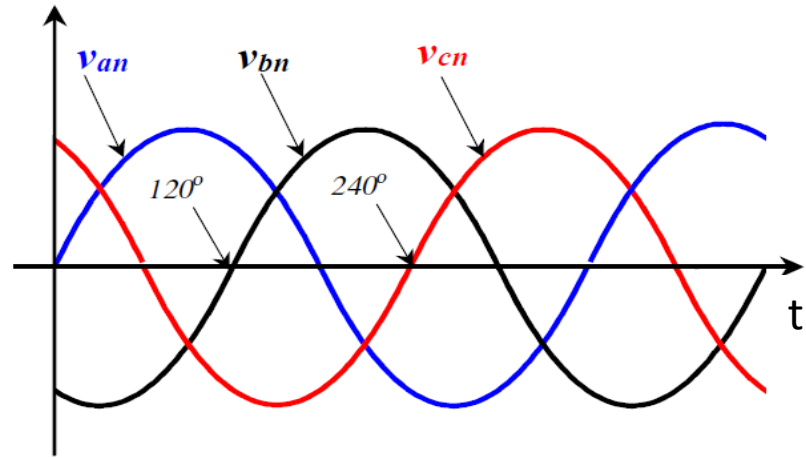
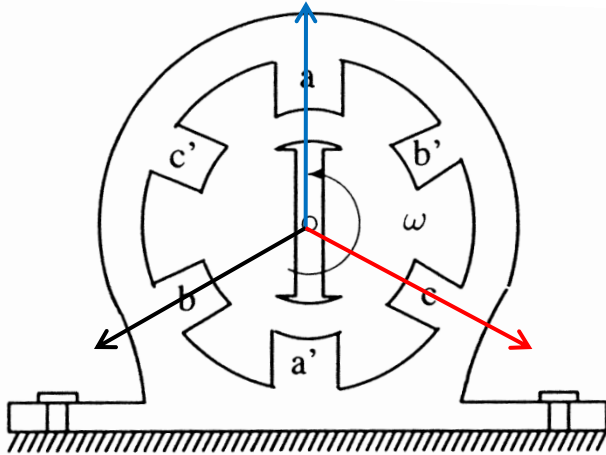


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

GENERADOR ELÉCTRICO (ALTERNADOR) TRIFÁSICO



[Ver animación](#)

Si se disponen 3 bobinas en el estator de forma simétrica tendremos el
ALTERNADOR TRIFÁSICO



Si el ROTOR es simétrico y si todas las bobinas del estator son iguales y están igualmente separadas, las f.e.m inducidas forman un SISTEMA TRIFÁSICO DE TENSIONES EQUILIBRADO.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

SISTEMA TRIFÁSICO DE FUENTES DE TENSIÓN EQUILIBRADO

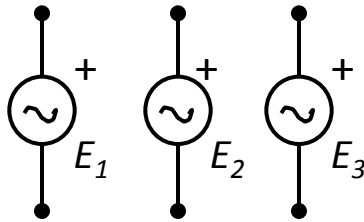
→ Igual amplitud (y valor eficaz) en todas las fases

→ Desfase de 120° ($360^\circ/3$, $2\pi/3$) entre fases sucesivas

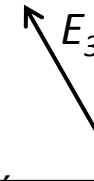
$$\begin{cases} e_1(t) = E_o \cdot \text{sen} \omega_e t \\ e_2(t) = E_o \cdot \text{sen}(\omega_e t - 120^\circ) \\ e_3(t) = E_o \cdot \text{sen}(\omega_e t - 240^\circ) = E_o \cdot \text{sen}(\omega_e t + 120^\circ) \end{cases}$$

En TRIFÁSICA se trabaja siempre en fasores y VALORES EFICACES:

$$E = \frac{E_o}{\sqrt{2}}$$



$$\begin{cases} E_1 = E \angle 0^\circ \\ E_2 = E \angle -120^\circ \\ E_3 = E \angle -240^\circ \end{cases}$$



Cartagena99

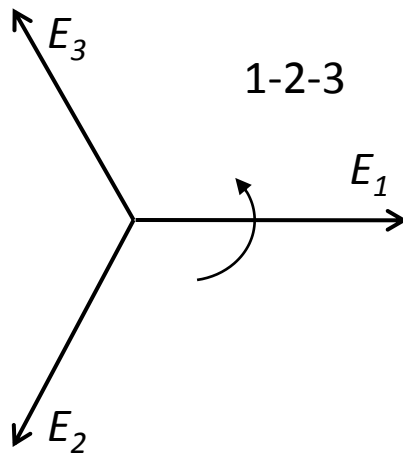
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

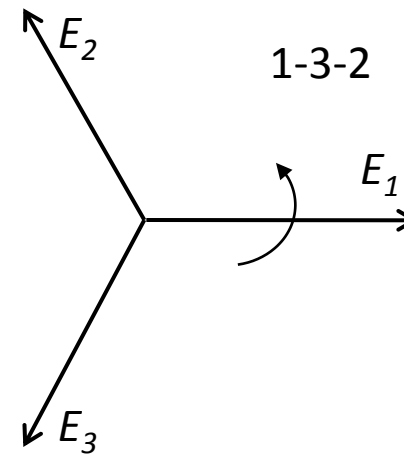
DEFINICIÓN de FASE. SECUENCIA de FASE

FASE: cada una de las partes de un circuito en que se genera, se transmite o se utiliza una de las tensiones del sistema.

SECUENCIA DE FASES: orden en que se suceden las diferentes tensiones (fasores giratorios)



Secuencia positiva o directa



Secuencia negativa o inversa

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

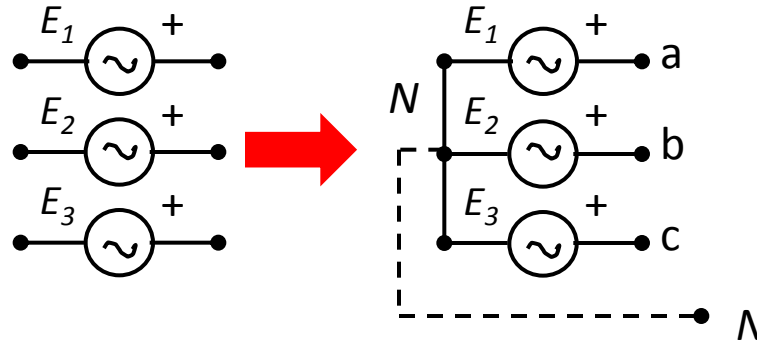
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

CONEXIÓN DE FUENTES EN ESTRELLA Y TRIÁNGULO

A) Conexión de fuentes en estrella (Y)

Se conectan los terminales de la misma polaridad (negativa) a un punto común → PUNTO NEUTRO:

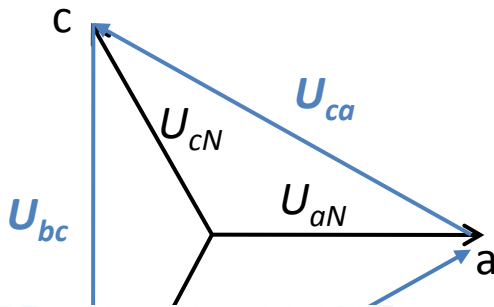
$$\begin{cases} E_1 = E \angle 0^\circ \\ E_2 = E \angle -120^\circ \\ E_3 = E \angle +120^\circ \end{cases}$$



FUENTE TRIFÁSICA
IDEAL en conexión
ESTRELLA



- 3 hilos (sin hilo neutro)
- 4 hilos (con hilo neutro)



$$U_{ab} = U_{aN} - U_{bN} = E_1 - E_2 = E \cdot (\sqrt{3} \angle_{30^\circ}) = U_{aN} \cdot (\sqrt{3} \angle_{30^\circ})$$

$$U_{bc} = U_{bN} - U_{cN} = E_2 - E_3 = E \cdot (\sqrt{3} \angle_{-90^\circ}) = U_{bN} \cdot (\sqrt{3} \angle_{30^\circ})$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

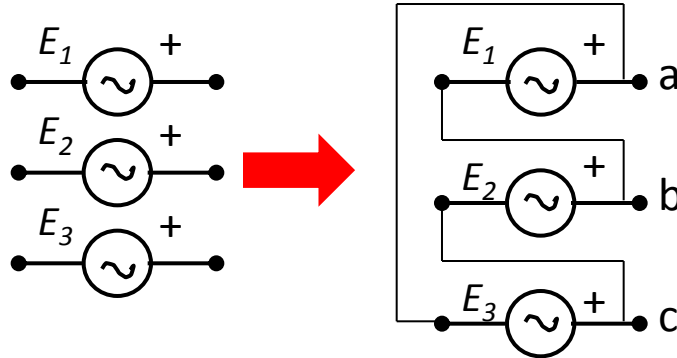
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

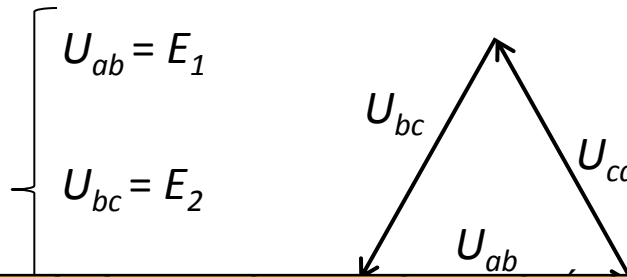
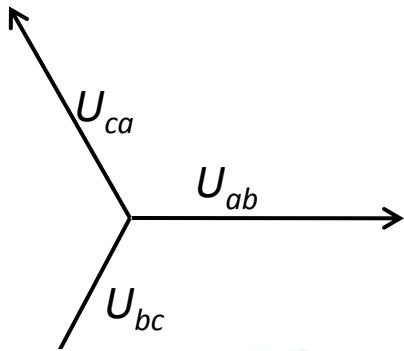
B) Conexión de fuentes en triángulo (Delta D)

Se conectan los terminales de diferente polaridad de forma sucesiva:

$$\begin{cases} E_1 = E \angle 0^\circ \\ E_2 = E \angle -120^\circ \\ E_3 = E \angle +120^\circ \end{cases}$$



FUENTE TRIFÁSICA
IDEAL en conexión
TRIÁNGULO



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3.2 SISTEMAS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS

Un SISTEMA TRIFÁSICO está formado por:

- Generadores trifásicos reales (impedancias Z_g en serie con generadores ideales)
- Líneas de conexión
- Cargas trifásicas

Tanto los generadores como las cargas pueden tener configuración estrella o triángulo.

Un SISTEMA TRIFÁSICO es EQUILIBRADO si:

- Generador trifásico es equilibrado $\left\{ \begin{array}{l} - |E_1| = |E_2| = |E_3| \\ - \text{Desfase de } 120^\circ \text{ entre fases} \\ - Z_g \text{ iguales} \end{array} \right.$
- Líneas de conexión con impedancias iguales $\rightarrow Z_{L1} = Z_{L2} = Z_{L3}$
- Cargas equilibradas $\rightarrow Z_1 = Z_2 = Z_3$

Ejemplos de cargas trifásicas:

- Motor trifásico \rightarrow equilibrado por diseño
- Iluminación, consumo doméstico \rightarrow cargas monofásicas agrupadas en forma de cargas trifásicas:



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

estadísticamente equilibrada

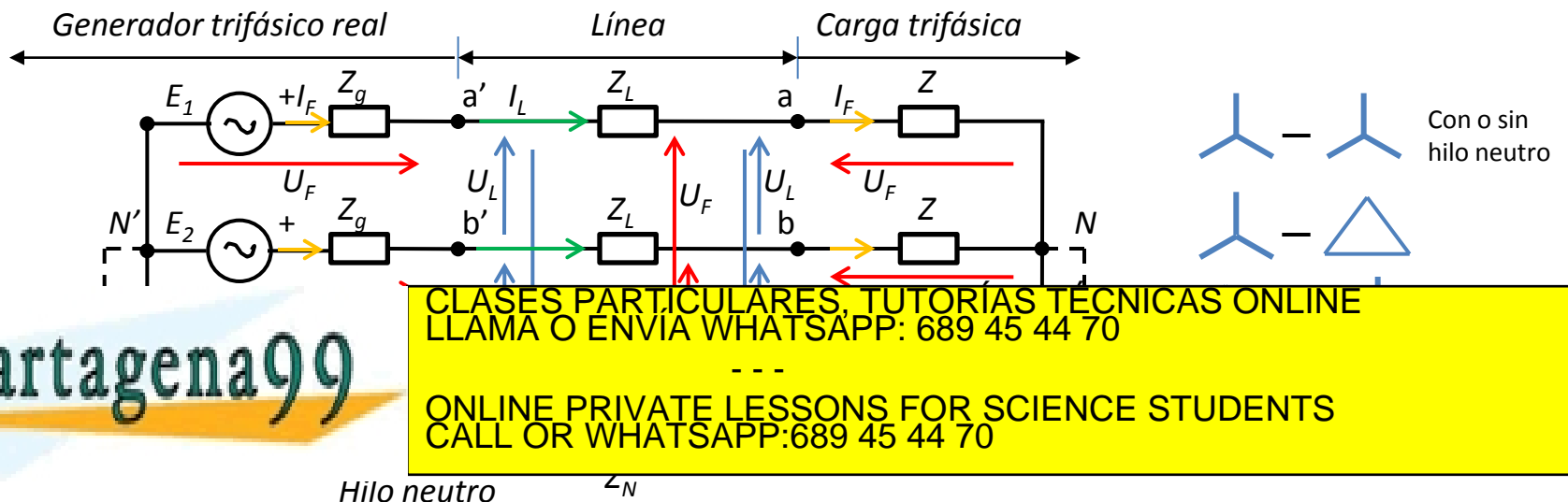
N

DEFINICIONES:

- **TENSIÓN DE FASE, U_F** (Simple): es la tensión en cada una de las fases o ramas monofásicas del generador o de la carga.
- **TENSIÓN DE LÍNEA, U_L** (Compuesta): es la tensión entre dos conductores de línea (hilos).
- **INTENSIDAD DE FASE, I_F** : es la intensidad de corriente que entrega cada fase del generador o que consume cada fase de la carga.
- **INTENSIDAD DE LÍNEA, I_L** : es la intensidad de corriente que circula por cada conductor de línea.

Un sistema trifásico puede tener diferentes configuraciones, según la conexión de generador-carga.

EJEMPLO: Configuración Y-Y con hilo neutro



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

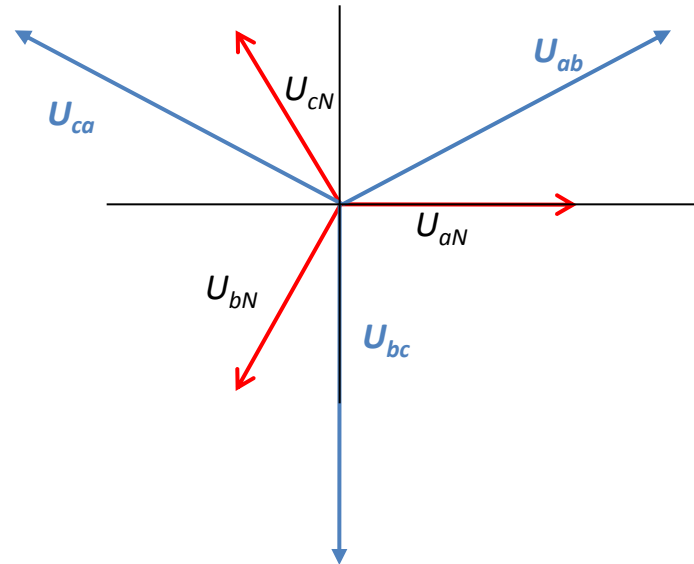
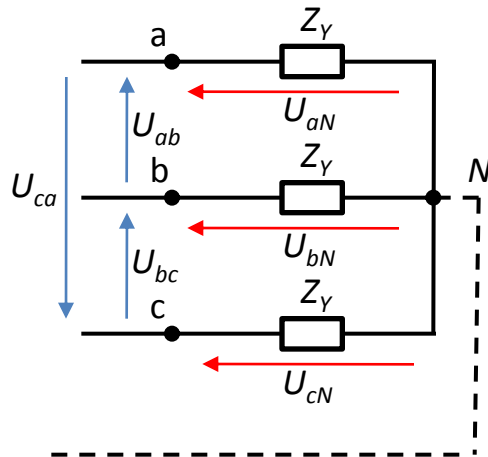
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Hilo neutro \llcorner_N

RELACIÓN entre TENSIONES (Fase y Línea) e INTENSIDADES (Fase y Línea) en SISTEMAS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS

A) Carga en estrella



Tomamos U_{aN} en origen:

$$\begin{cases} U_{aN} = |U_F| \angle 0^\circ \\ U_{bN} = |U_F| \angle -120^\circ \\ U_{cN} = |U_F| \angle +120^\circ \end{cases}$$

$$U_{ab} = U_{aN} - U_{bN} = |U_F| \cdot (\sqrt{3} \angle 30^\circ) = U_{aN} \cdot (\sqrt{3} \angle 30^\circ)$$

$$U_{bc} = U_{bN} - U_{cN} = |U_F| \cdot (\sqrt{3} \angle -90^\circ) = U_{bN} \cdot (\sqrt{3} \angle 30^\circ)$$

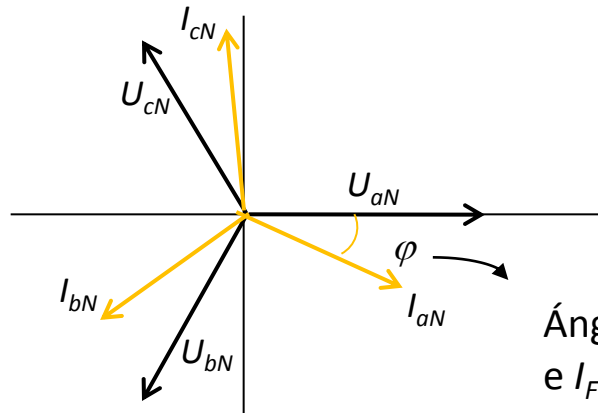
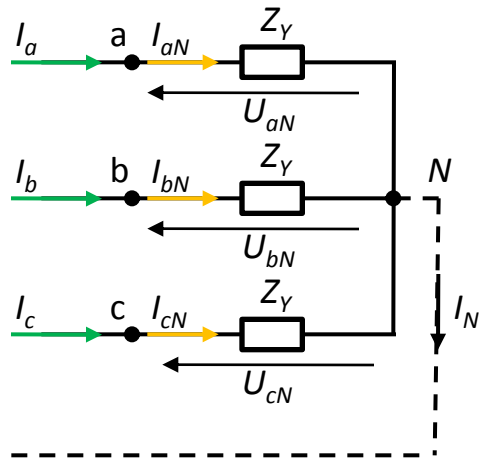
$$U_{ca} = U_{cN} - U_{aN} = |U_F| \cdot (\sqrt{3} \angle 150^\circ) = U_{cN} \cdot (\sqrt{3} \angle 30^\circ)$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Corrientes (carga en estrella)



Ángulo que forman U_F e $I_F \rightarrow \cos \varphi$: factor de potencia de la carga

En configuración estrella:

$$\begin{cases} I_a = I_{aN} \\ I_b = I_{bN} \\ I_c = I_{cN} \end{cases}$$

Corrientes de línea iguales a corrientes de fase:

Cálculo de las corrientes de fase \rightarrow Ley de Ohm en una impedancia:

$$\begin{cases} I_{aN} = \frac{U_{aN}}{Z_Y} \\ I_{bN} = \frac{U_{bN}}{Z_Y} \end{cases}$$

Como Z_Y es igual para todas las fases (carga equilibrada), las corrientes (I_{aN} , I_{bN} , I_{cN}) también forman un sistema

Cartagena99

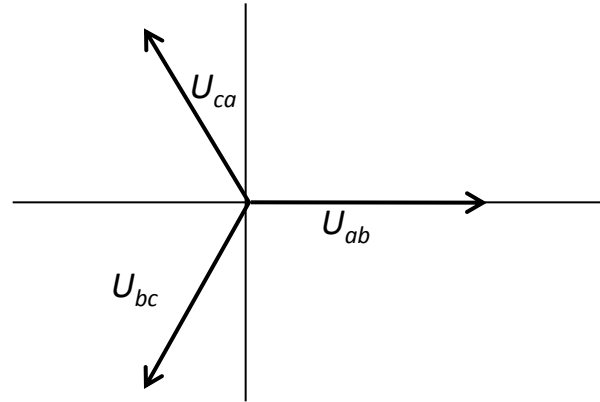
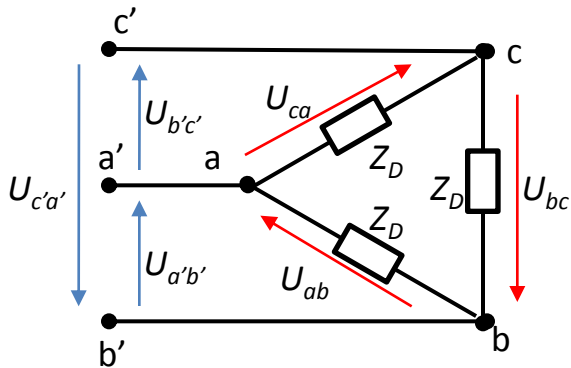
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$I_a + I_b + I_c = 0 = I_N$$

En cargas equilibradas no circula corriente por el neutro

B) Carga en triángulo



$$\left\{ \begin{array}{l} U_{ab} = U_{a'b'} \\ U_{bc} = U_{b'c'} \\ U_{ca} = U_{c'a'} \end{array} \right.$$

\uparrow U_F \uparrow U_L

Tomamos U_{ab} en origen:

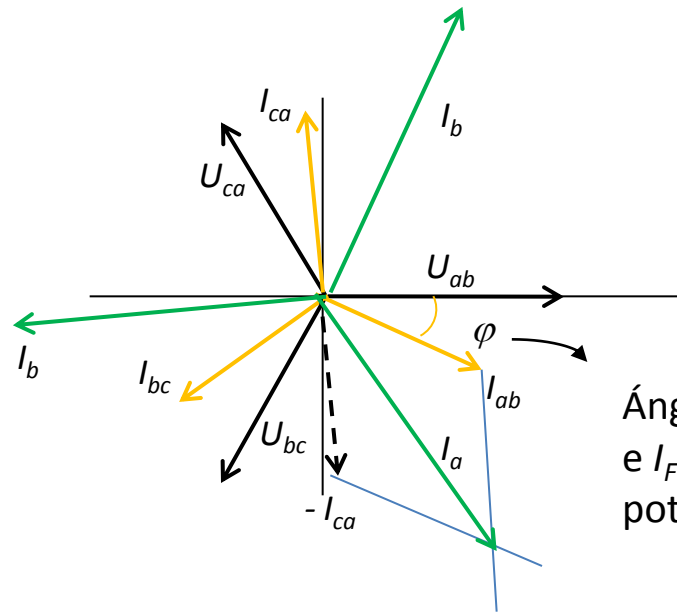
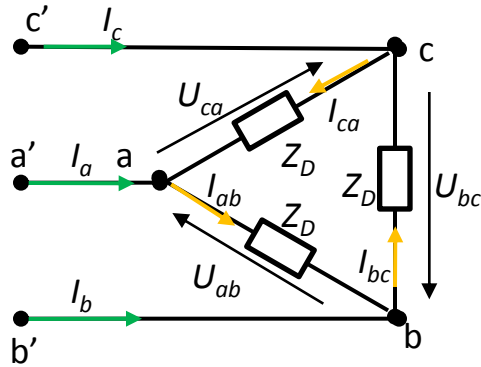
$$\left\{ \begin{array}{l} U_{ab} = |U_F| \angle 0^\circ \\ U_{bc} = |U_F| \angle -120^\circ \\ U_{ca} = |U_F| \angle +120^\circ \end{array} \right.$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Corrientes (carga en triángulo)



Ángulo que forman U_F e $I_F \rightarrow \cos \varphi$: factor de potencia de la carga

Cálculo de las corrientes de fase
 \rightarrow Ley de Ohm en una impedancia:

$$\left. \begin{aligned} I_{ab} &= \frac{U_{ab}}{Z_D} \\ I_{bc} &= \frac{U_{bc}}{Z_D} \\ &U_{ca} \end{aligned} \right\}$$

Cálculo de las corrientes de línea
 \rightarrow 1ª Ley de Kirchhoff:

$$\left. \begin{aligned} I_a &= I_{ab} - I_{ca} = I_{ab} \cdot (\sqrt{3} \angle_{-30^\circ}) \\ I_b &= I_{bc} - I_{ab} = I_{bc} \cdot (\sqrt{3} \angle_{-30^\circ}) \end{aligned} \right\}$$

$$|I_L| = \sqrt{3} \cdot |I_F|$$

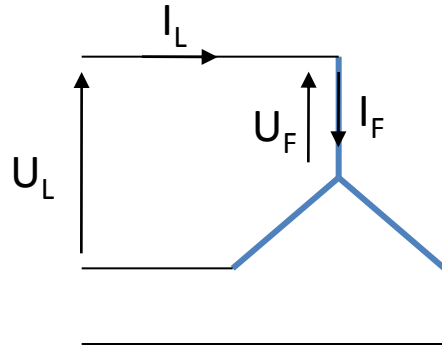
Relación corriente de línea y fase en conexión triángulo (con

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

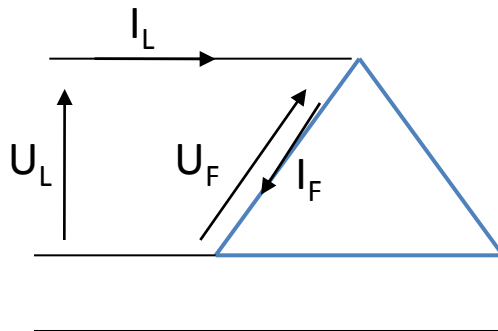
RESUMEN (sistemas equilibrados)



$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_F, \text{ con adelanto de } 30^\circ$$

$$I_L = I_F$$

$$I_{\text{fase}} = \frac{U_{\text{fase}}}{Z} \quad \text{Relación tensión-corriente de fase (Ley de Ohm)}$$



$$U_L = U_F$$

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_F, \text{ con retraso de } 30^\circ$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70