

# 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 'Cartagena' part. The text is set against a light blue and orange gradient background that resembles a stylized wave or a banner.

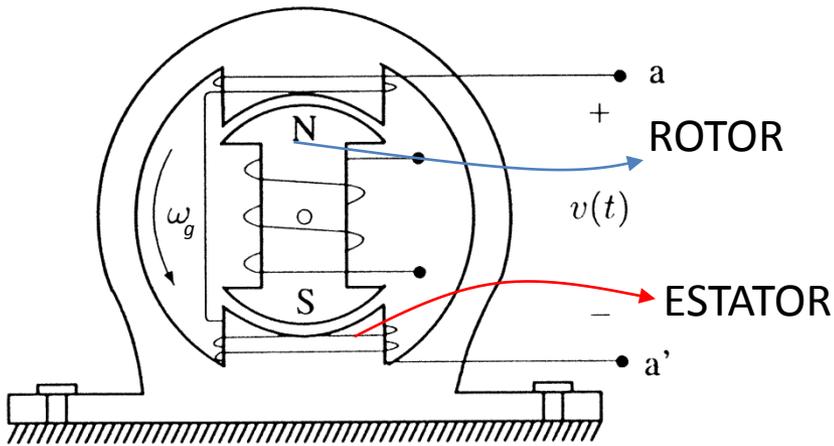
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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,  $\omega_g$ )

↓  
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)



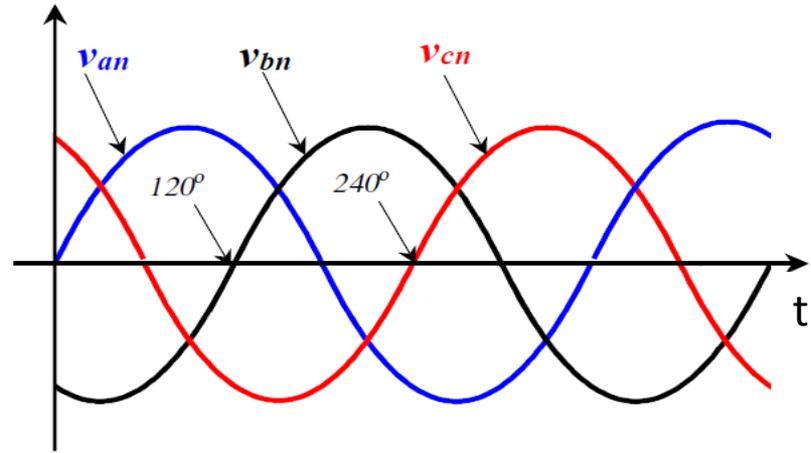
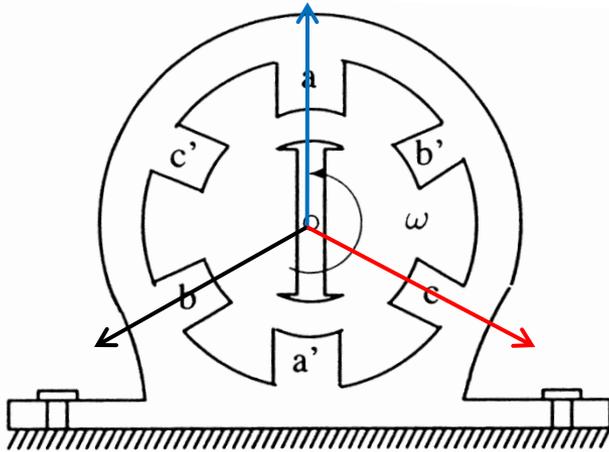
Cartagena99

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

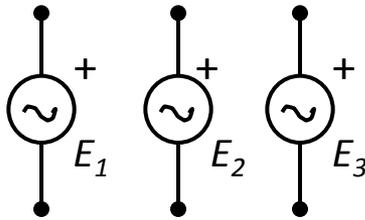
→ Igual amplitud (y valor eficaz) en todas las fases

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

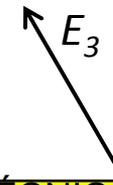
$$\begin{cases} e_1(t) = E_o \cdot \text{sen} \omega_e t \\ e_2(t) = E_o \cdot \text{sen}(\omega_e t - 120^\circ) \\ e_3(t) = E_o \cdot \text{sen}(\omega_e t - 240^\circ) = E_o \cdot \text{sen}(\omega_e t + 120^\circ) \end{cases}$$

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

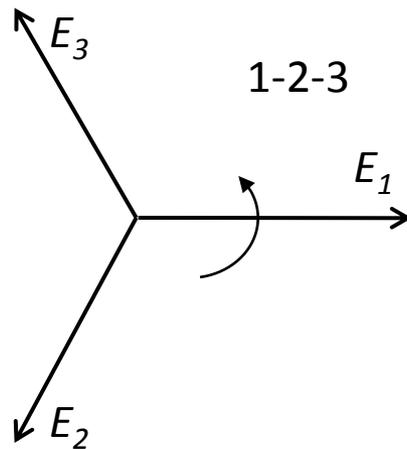
---

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

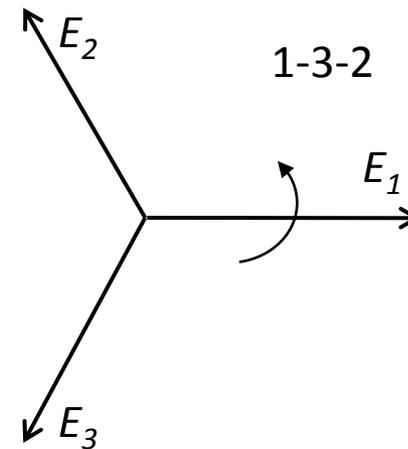
## DEFINICIÓN de FASE. SECUENCIA de FASE

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

---

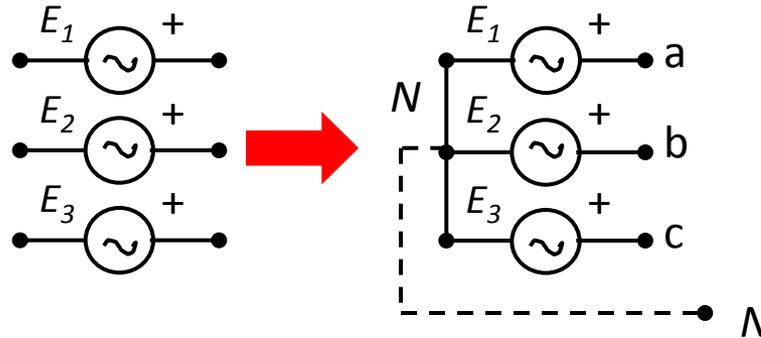
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 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:

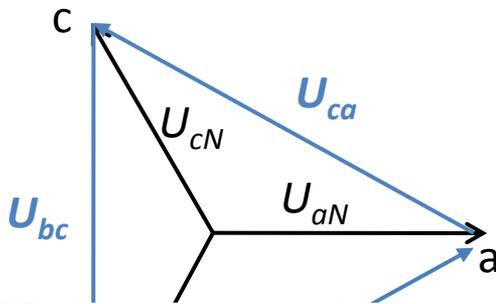
$$\begin{cases} E_1 = E \angle 0^\circ \\ E_2 = E \angle -120^\circ \\ E_3 = E \angle +120^\circ \end{cases}$$



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

---

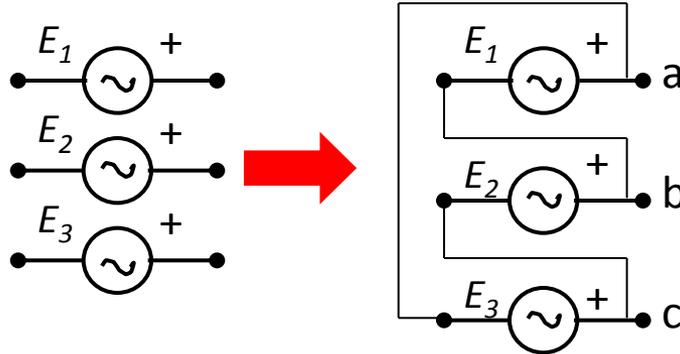
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

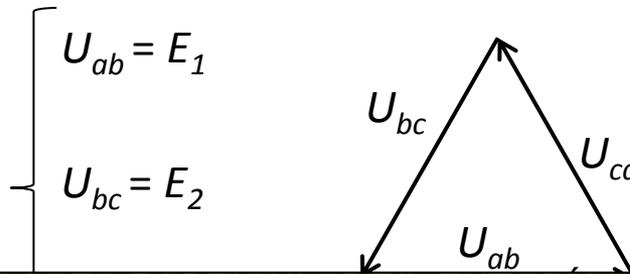
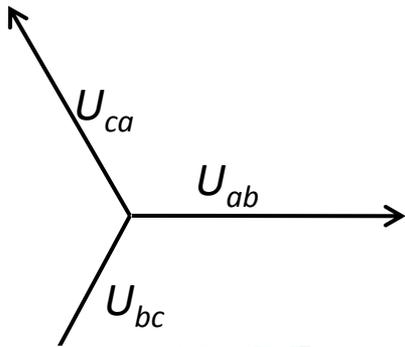
B) Conexión de fuentes en triángulo (Delta D)

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



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

## 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

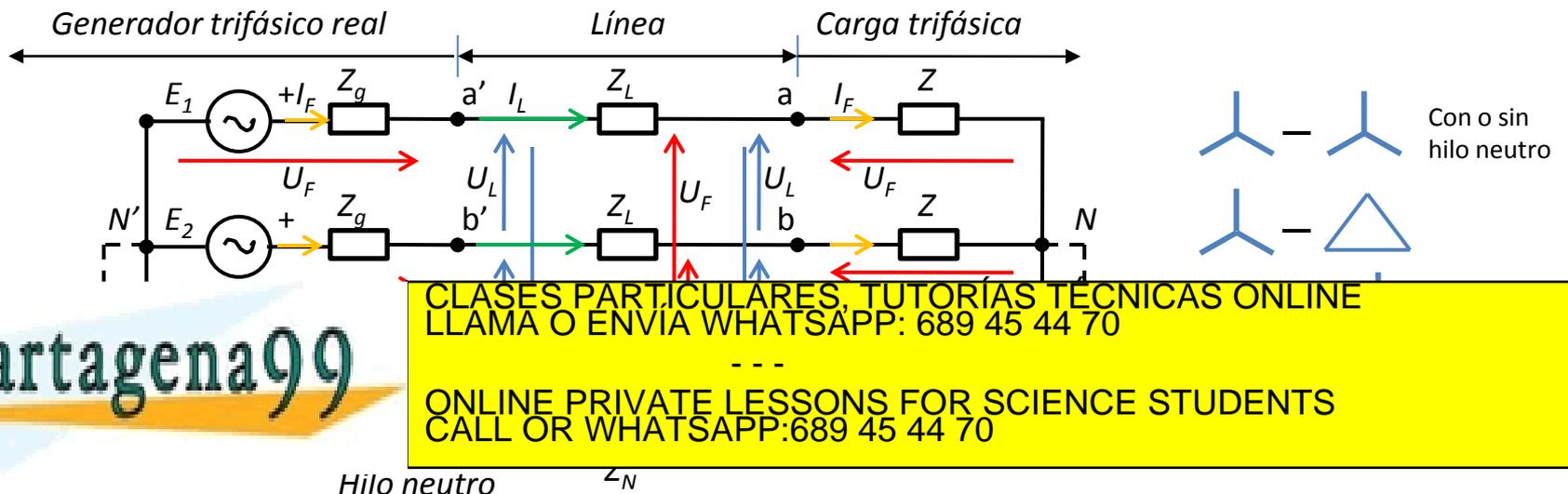
N

## 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.

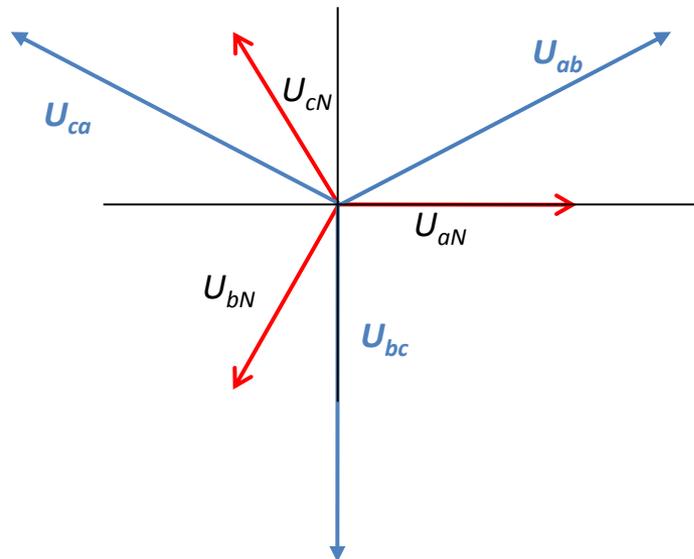
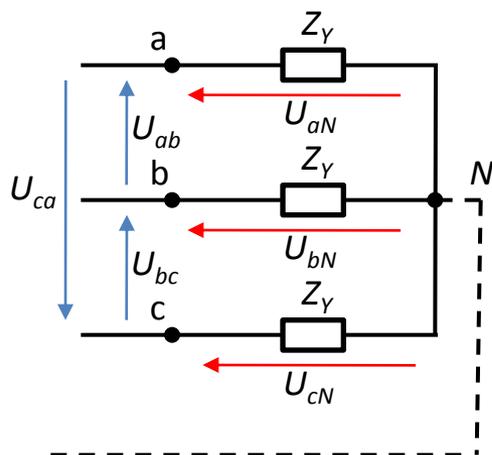
EJEMPLO: Configuración Y-Y con hilo neutro



Cartagena99

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

## A) Carga en estrella



Tomamos  $U_{aN}$  en origen:

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

$$\begin{cases} U_{ab} = U_{aN} - U_{bN} = |U_F| \cdot (\sqrt{3} \angle 30^\circ) = U_{aN} \cdot (\sqrt{3} \angle 30^\circ) \\ U_{bc} = U_{bN} - U_{cN} = |U_F| \cdot (\sqrt{3} \angle -90^\circ) = U_{bN} \cdot (\sqrt{3} \angle 30^\circ) \\ U_{ca} = U_{cN} - U_{aN} = |U_F| \cdot (\sqrt{3} \angle 150^\circ) = U_{cN} \cdot (\sqrt{3} \angle 30^\circ) \end{cases}$$

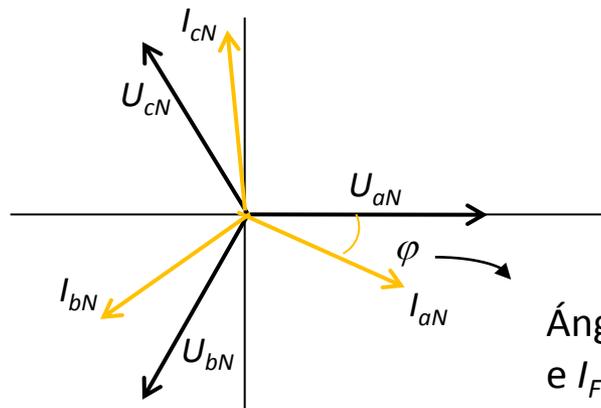
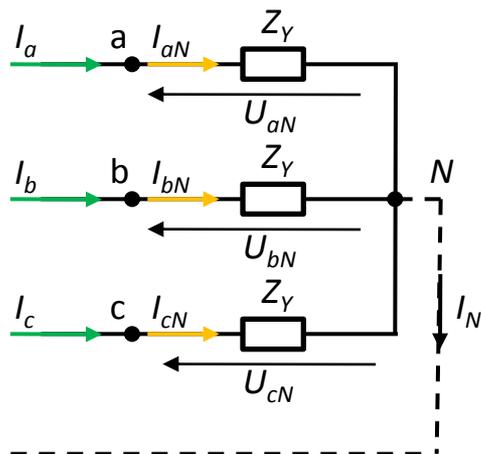
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

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

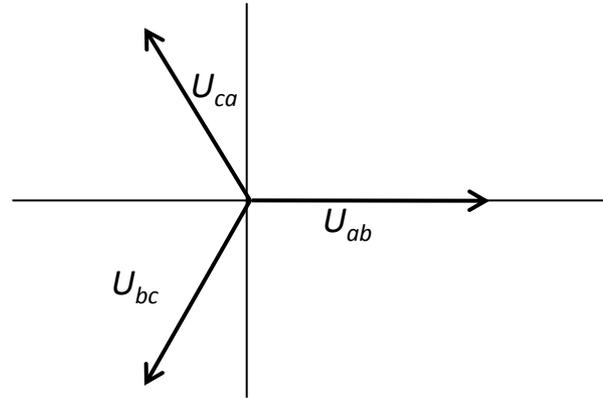
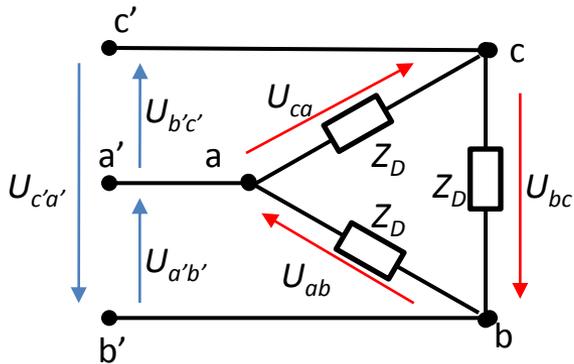
---

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

Cartagena99

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

## 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:

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

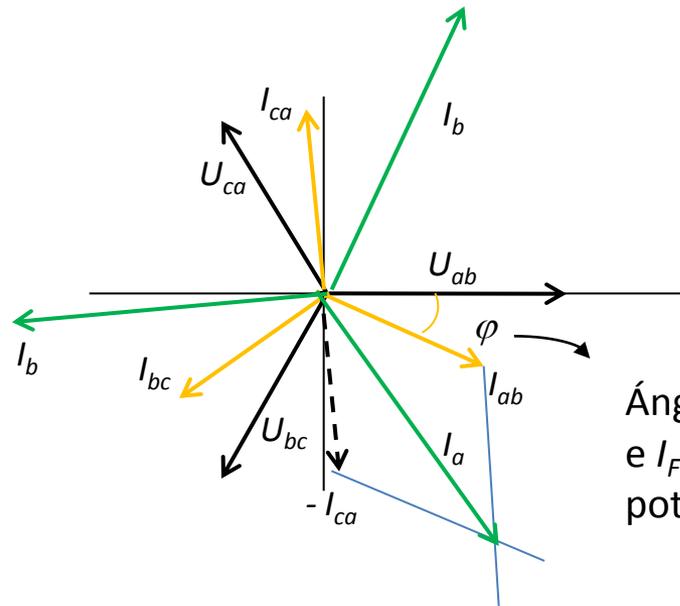
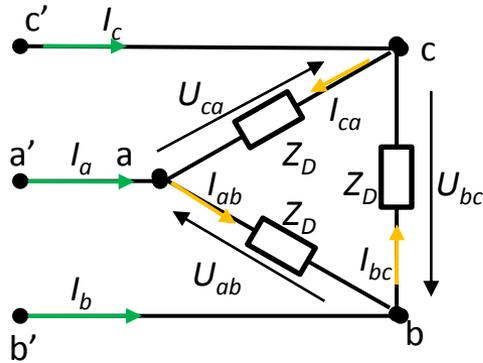
# Cartagena99

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

→ 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

→ 1ª Ley de Kirchhoff:

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

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

Relación corriente de línea y fase en conexión triángulo (con

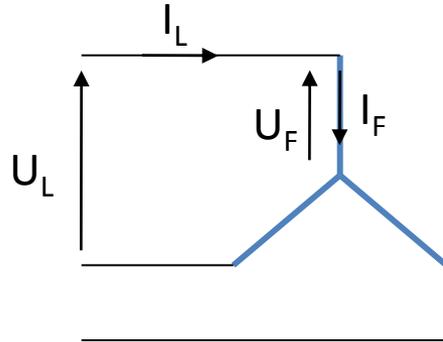
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

Cartagena99

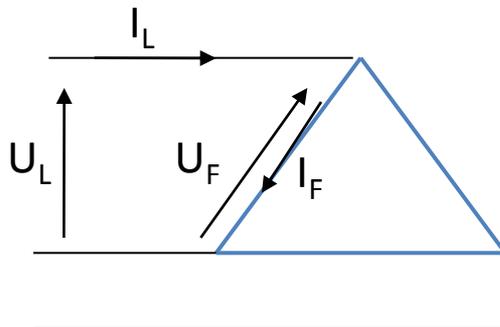
## RESUMEN (sistemas equilibrados)



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

$$I_L = I_F$$

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



$$U_L = U_F$$

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

**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