Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Buenos Aires

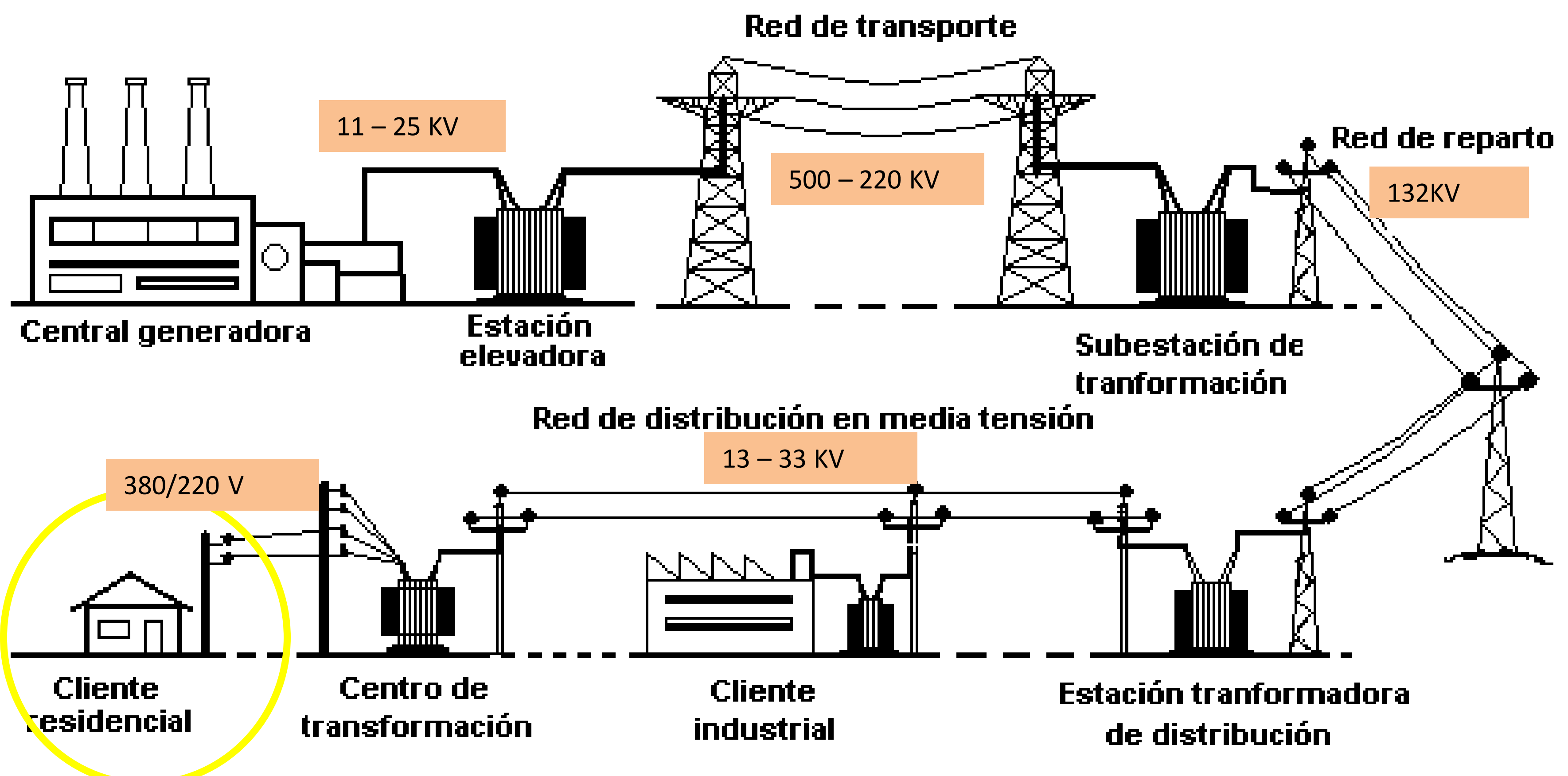
CLASE DE SISTEMA ELECTRICO TRIFASICO

Asignatura : Máquinas e Instalaciones Eléctricas

Ingeniero Mario Marcelo Flores

SISTEMA ELECTRICO TRIFASICO

¿Cómo llega la energía al usuario de Baja Tensión?



VENTAJAS

GENERACION:

mejor aprovechamiento de los materiales magnéticos y conductores

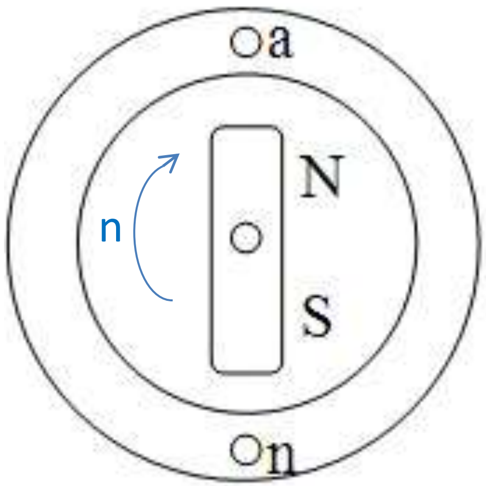
TRANSMISION Y DISTRIBUCION:

posibilidad de variar los niveles de tensión
Ahorro de material en conductores eléctricos

CONSUMO:

versatilidad en los niveles de tensión disponibles
flujo de Potencia estable
motores presentan una cupla o par estable
Las cargas pueden conectarse en distintas configuraciones

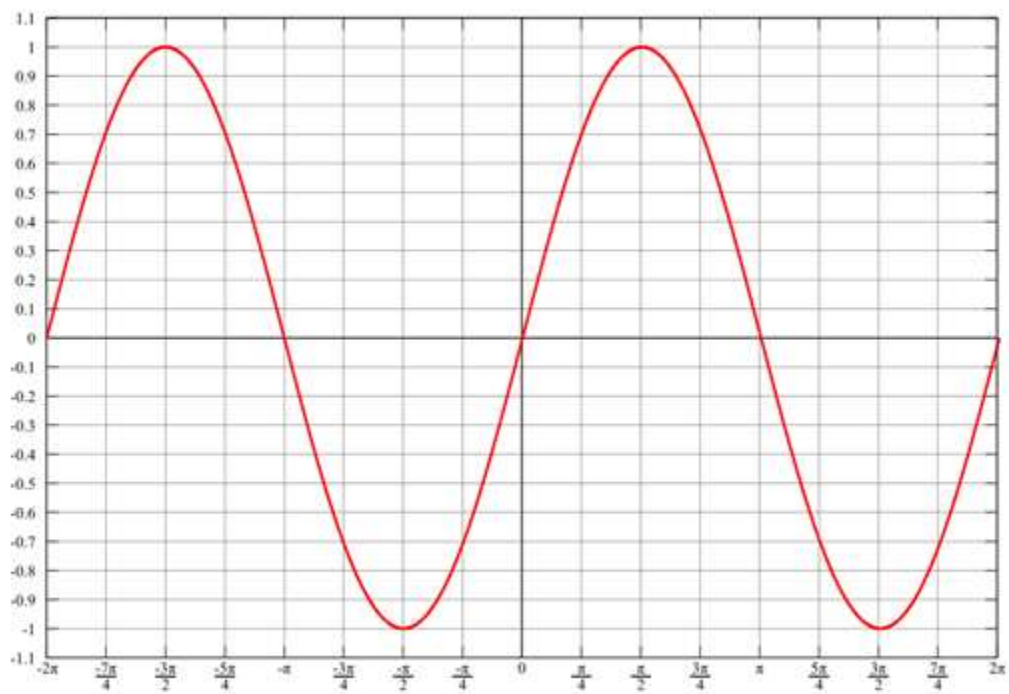
Generación Monofásica



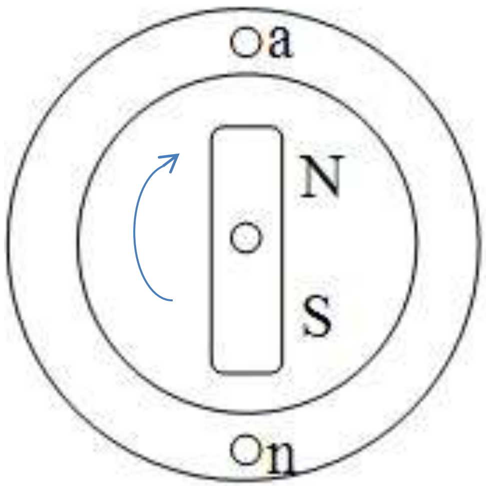
Maquina elemental

Rotor con polos salientes
1 Par de polos
1 bobina concentrada en estator

Onda de tensión resultante en bobina elemental



Generación Monofásica



Maquina elemental

Rotor con polos salientes
1 Par de polos
1 bobina concentrada en estator

Ley de Faraday

$e = B.L.v$

B = densidad de Flujo [Web/m^2]
L = longitud de lado de bobina [m]
v = velocidad tangencial de lado de bobina [m/s]

Ley de Lenz

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

e = Fuerza electromotriz inducida
N = Nº de espiras
$\frac{d\Phi}{dt}$ = variación de flujo respecto al tiempo [Web/s]
$\Phi = B.S$
S = Área debajo de la expansión polar

Generación Monofásica

Para una distribución espacial de B cosenoidal

$B = B_{máx.} \cos \omega t \quad \rightarrow \quad \Phi = \Phi_{max} \cos \omega t$

$\frac{d\Phi}{dt} = -\Phi_{max}\,\omega \,\text{sen}\, \omega t$

$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N.(-\Phi_{max}\,\omega \,\text{sen}\, \omega t) = N.\,\Phi_{max}\, 2\pi.f.\text{sen}\, \omega t = E_{max}\, \text{sen}\, \omega t$

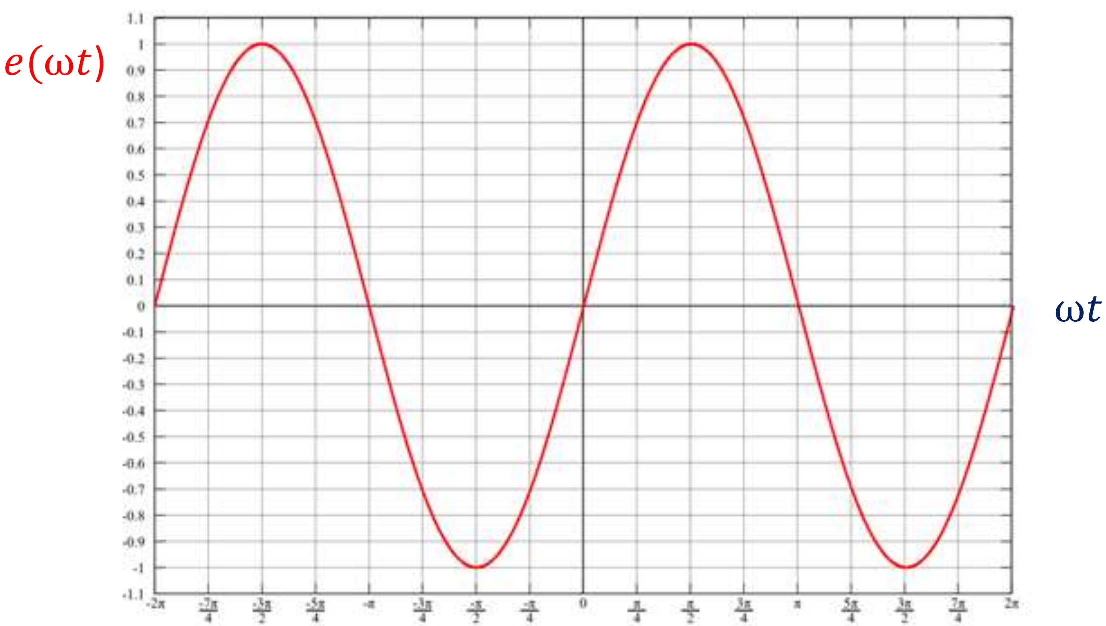
$E_{max} = 2\pi.f.\,\Phi_{max}$

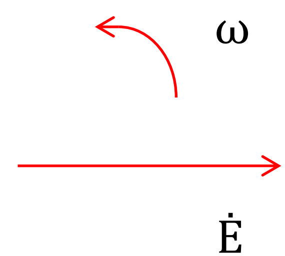
$E_{eficaz} = E_{max} / \sqrt{2} = 2\pi.f.\,\Phi_{max} / \sqrt{2} = 4{,}44\ N.f.\,\Phi_{max}$

$E = E_{eficaz}$

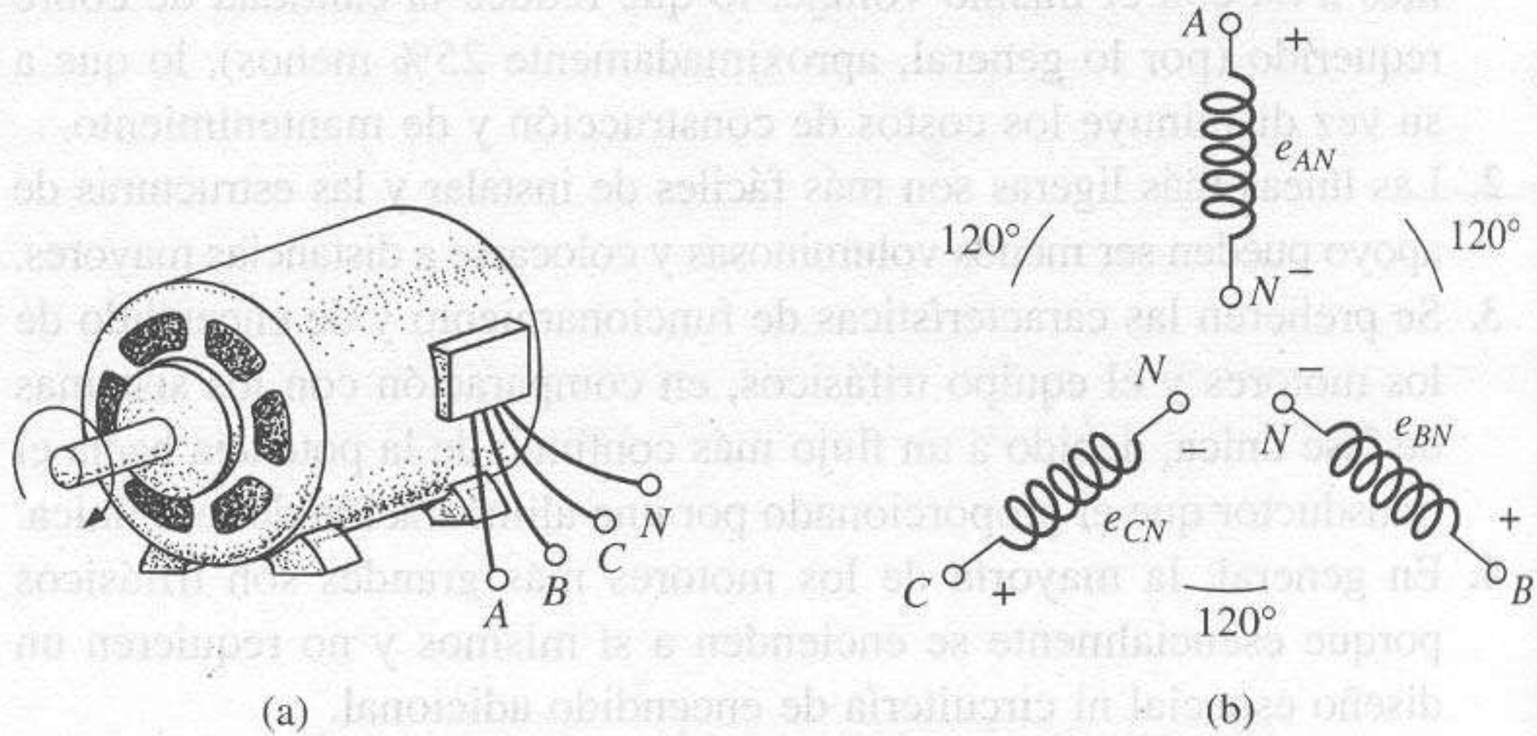
$\dot{E} = E e^{j(\omega t + 0)}$

Onda de tensión resultante en bobina elemental

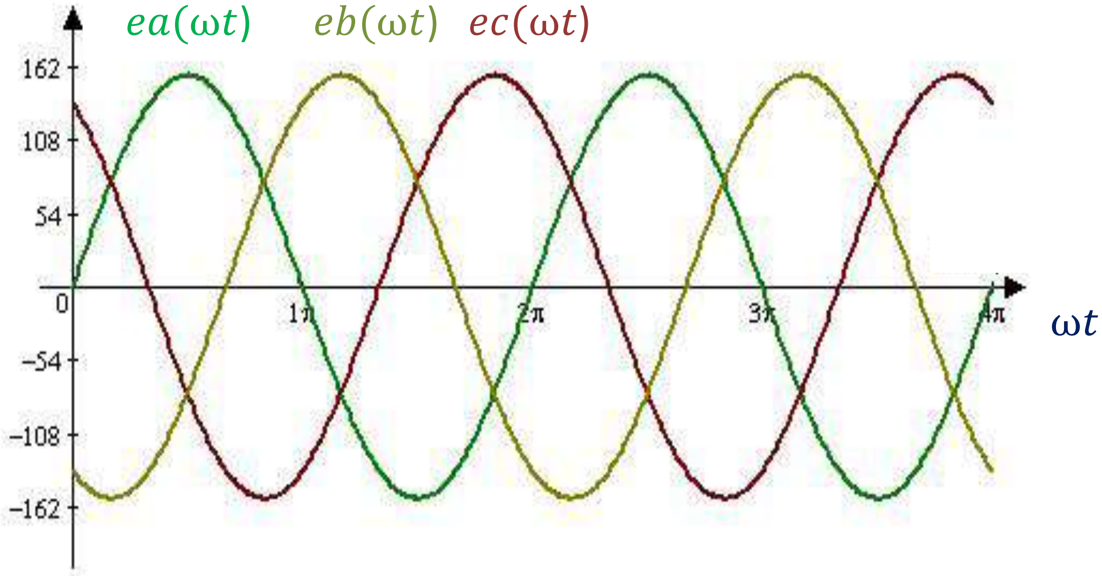




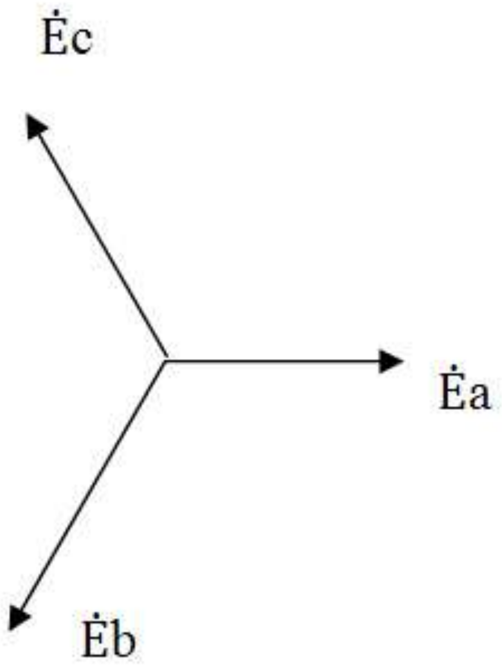
GENERACION TRIFÁSICA



FORMA DE ONDA TRIFASICA



ANALISIS FASORIAL



$$\dot{E}a = Ea\, e^{j\omega t + 0º} = Ea\, e^{j0º}$$

$$\dot{E}b = Eb\, e^{j\omega t + 240º} = Eb\, e^{j240º}$$

$$\dot{E}c = Ec\, e^{j\omega t + 120º} = Ec\, e^{j120º}$$

Características Sistema Trifásico

Secuencia

Directa e indirecta

Simetría

Igualdad de Módulos

Igualdad de ángulos entre fasores componentes

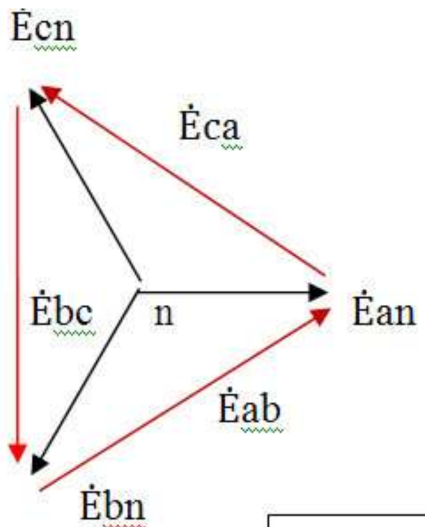
Equilibrio

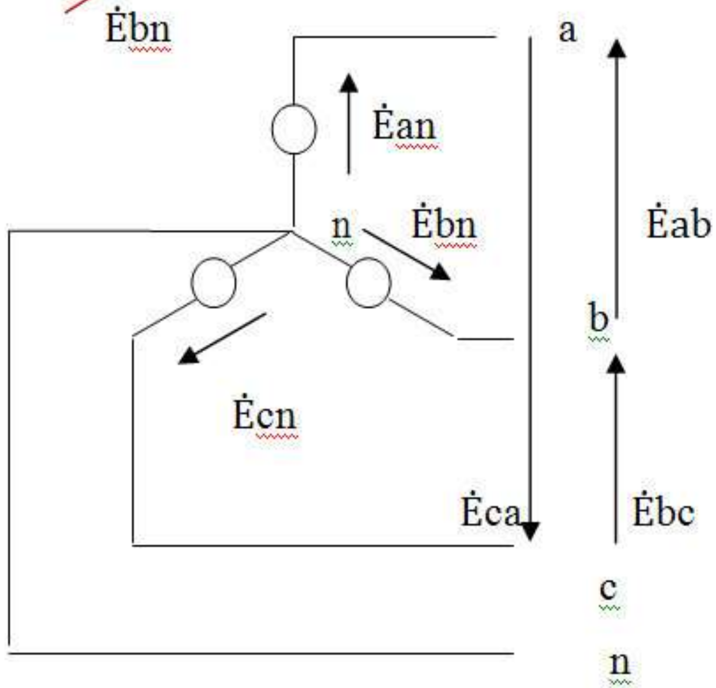
Suma de fasores componentes es nula

Perfección

Debe cumplir Simetría y Equilibrio

FUENTE TRIFASICA EN ESTRELLA





Tensiones de Fase

$\dot{E}an = |Ean|\, e^{j0º} = E\, e^{j0°}$

$\dot{E}bn = |Ebn|\, e^{j240º} = E\, e^{j240°}$

$\dot{E}cn = |Ecn|\, e^{j120º} = E\, e^{j120°}$

Tensiones Compuestas

$\dot{E}ab = \dot{E}an - \dot{E}bn = \sqrt{3}E\, e^{j30°}$

$\dot{E}bc = \dot{E}bn - \dot{E}cn = \sqrt{3}E\, e^{j270°}$

$\dot{E}ca = \dot{E}cn - \dot{E}an = \sqrt{3}E\, e^{j150°}$

FUENTE TRIFASICA EN ESTRELLA

Determinación de la Tensión de Línea o Compuesta $\dot{E}ca$

$$\dot{E}ca = \dot{E}cn - \dot{E}an = E\, e^{j120°} - E\, e^{j0°} = E\,(e^{j120°} - e^{j0°}]$$

$$\dot{E}ca = E[\frac{-1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} - (1 + j0)] = E[\frac{-3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}]$$

$$\dot{E}ca = E\sqrt{3}\,[\frac{-\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}] = E\sqrt{3}\, e^{j150°}$$

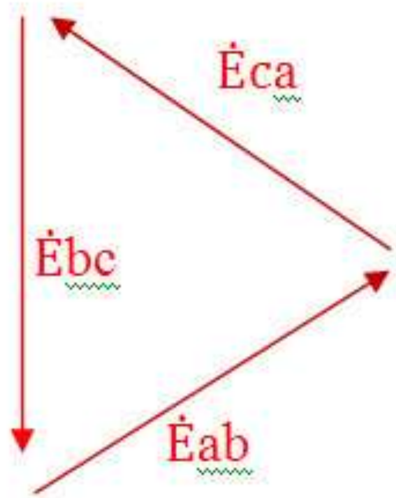
Tensiones Compuestas

$$\dot{E}ab = \dot{E}ao - \dot{E}bo = \sqrt{3}E\, e^{j30°}$$

$$\dot{E}bc = \dot{E}bo - \dot{E}co = \sqrt{3}E\, e^{j270°}$$

$$\dot{E}ca = \dot{E}co - \dot{E}ao = \sqrt{3}E\, e^{j150°}$$

FUENTE TRIFASICA EN TRIANGULO

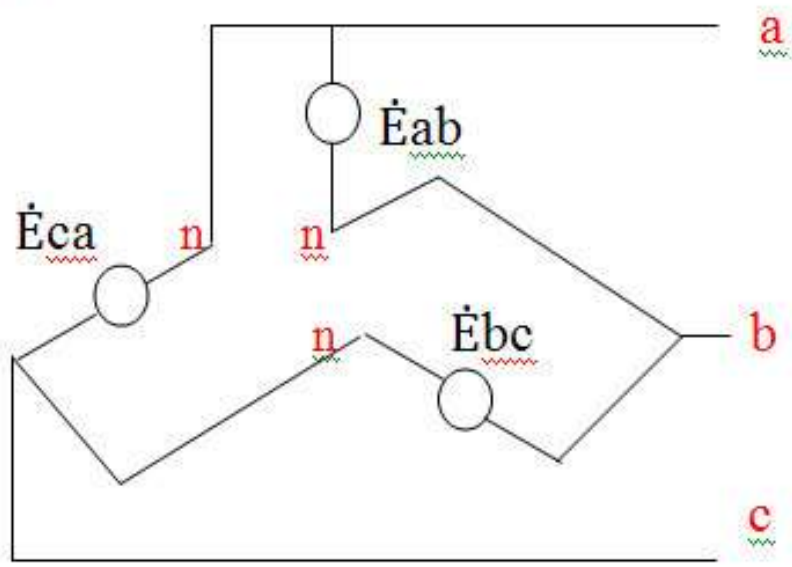


Tensiones Compuestas

$\dot{E}ab = \dot{E}an - \dot{E}bn = \sqrt{3}E\ e^{j30°}$

$\dot{E}bc = \dot{E}bn - \dot{E}cn = \sqrt{3}E\ e^{j270°}$

$\dot{E}ca = \dot{E}cn - \dot{E}an = \sqrt{3}E\ e^{j150°}$



Tipos de carga en Sistema Trifásico

La carga es un dispositivo receptor de potencia que se la denomina Impedancia y se la identifica con la letra Z.

En los sistemas de potencia y consumo trifásicos la carga se denomina **Carga o Impedancia Trifásica**, y la misma está compuesta por tres impedancias conectadas de distinta forma, en Estrella o en Triángulo.

Clasificación de carga o impedancia trifasica

I - CARGA O IMPEDANCIA TRIFASICA EQUILIBRADA

Se la denomina también, simétrica o balanceada

Za = $|Za|\ e^{j\varphi a}$

Zb = $|Zb|\ e^{j\varphi b}$

Zc = $|Zc|\ e^{j\varphi c}$

Su característica es que las tres son iguales en módulo y ángulo de fase

$|Za| = |Zb| = |Zc| = |Z|$

$\phi a = \phi b = \phi c = \phi$

Clasificación de carga o impedancia trifasica

II - CARGA O IMPEDANCIA TRIFASICA DESEQUILIBRADA

Se la denomina también, asimétrica o desbalanceada

Su característica es que **las tres no cumplen la condición de perfección**, es decir, que se pueden presentar los siguientes casos:

Son iguales en módulo y difieren en todos o al menos en un ángulo de fase

$|Za| = |Zb| = |Zc| = \mathbf{|Z|}$

$\phi_a \neq \phi_b \neq \phi_c$ o $\phi_a = \phi_b \neq \phi_c$

Difieren en todos o al menos en un módulo y son iguales en ángulo de fase

$|Za| \neq |Zb| \neq |Zc|$ o $|Za| \neq |Zb| = |Zc|$

$\phi_a = \phi_b = \phi_c = \boldsymbol{\phi}$

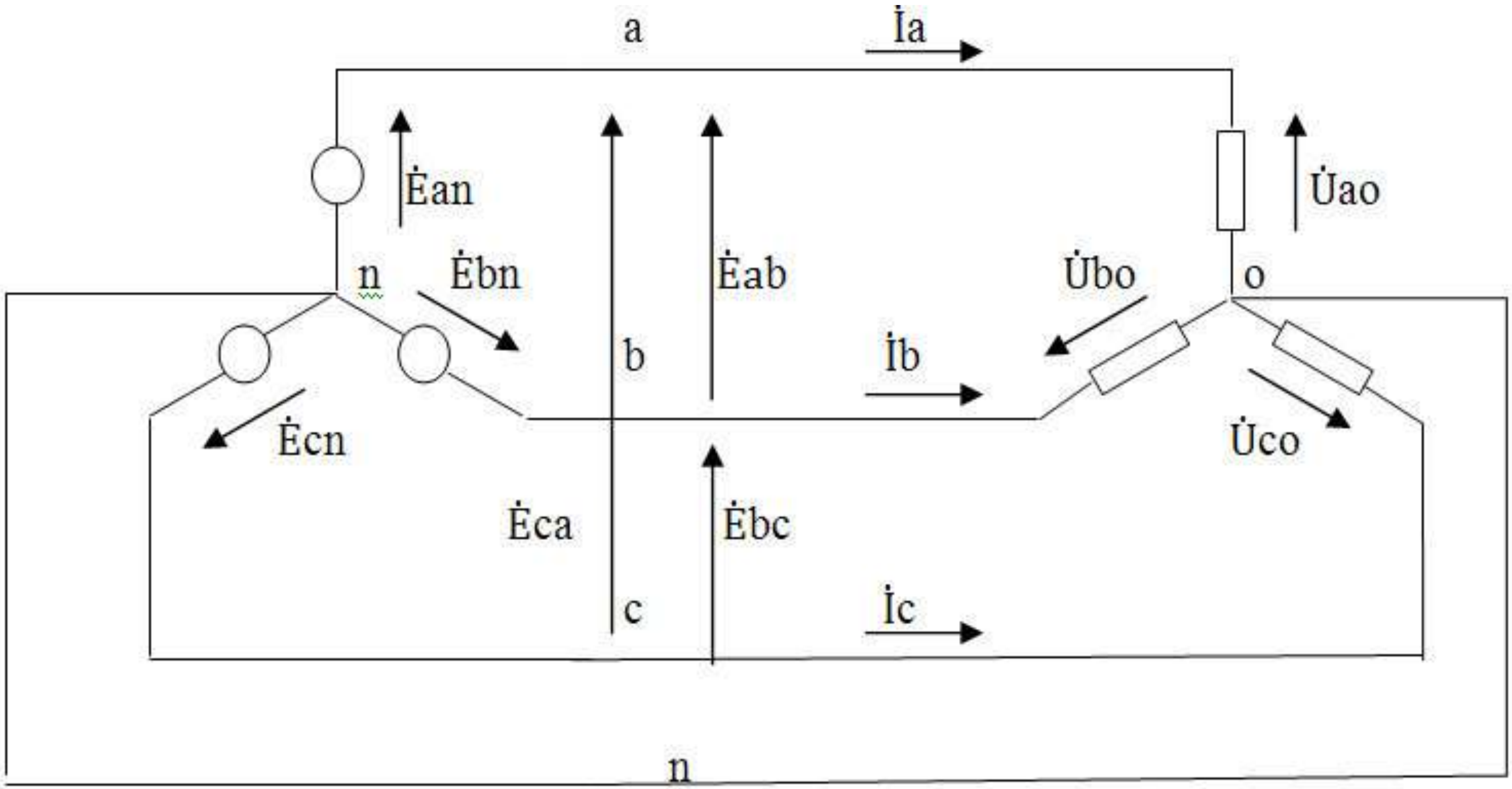
Difieren en todos o al menos en un módulo y difieren todos o al menos en un ángulo de fase

$|Za| \neq |Zb| \neq |Zc|$ o $|Za| \neq |Zb| = |Zc|$

$\phi_a \neq \phi_b \neq \phi_c$ o $\phi_a = \phi_b \neq \phi_c$

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN ESTRELLA

Fuente Perfecta y Carga Equilibrada



FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN ESTRELLA

Fuente Perfecta y Carga Equilibrada

Tensiones de Fase

$\dot{E}an = |Ean|\ e^{j0º}$

$\dot{E}bn = |Ebn|\ e^{j240º}$

$\dot{E}cn = |Ecn|\ e^{j120º}$

Tensiones en la Carga

$\dot{E}an = \dot{U}ao$

$\dot{E}bn = \dot{U}bo$

$\dot{E}cn = \dot{U}co$

Impedancia equilibrada en estrella

$Za = Zb = Zc = Z_Y = |Z_Y|\ \mathbf{e^{j\varphi º}}$

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN ESTRELLA

Fasorial de tensiones y corrientes

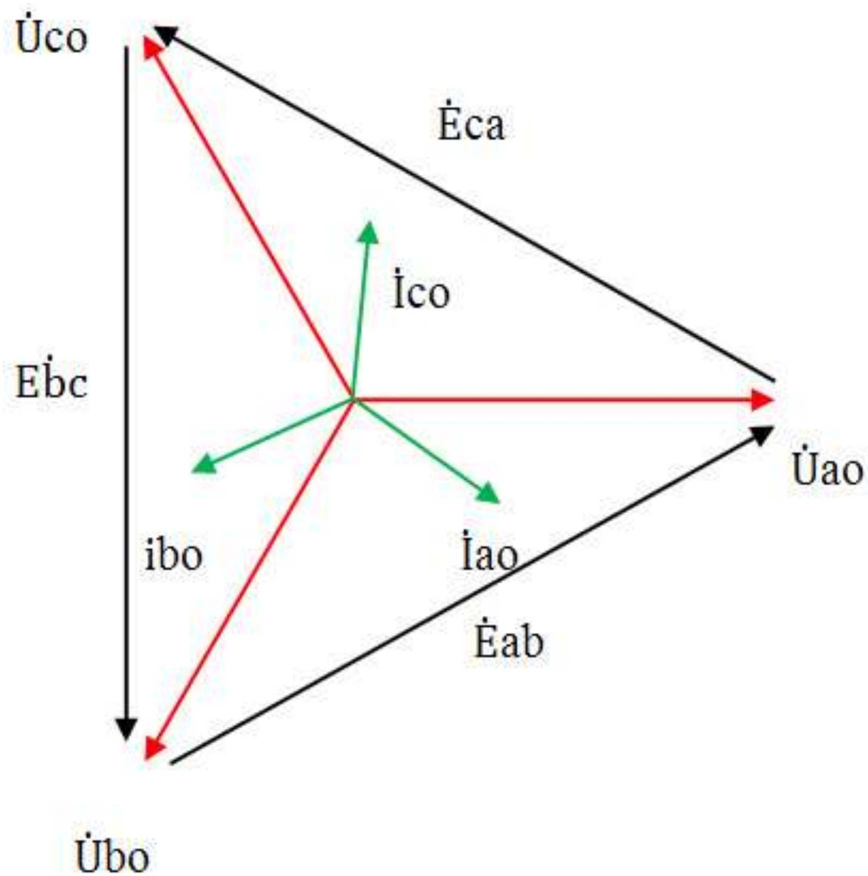
Corrientes en cada Impedancia de la estrella

$$\dot{I}ao = \frac{\dot{U}ao}{ZY} = \frac{E}{ZY}\, e^{j(0°-\varphi)}$$

$$\dot{I}bo = \frac{\dot{U}bo}{ZY} = \frac{E}{ZY}\, e^{j(240°-\varphi)}$$

$$\dot{I}co = \frac{\dot{U}co}{ZY} = \frac{E}{ZY}\, e^{j(120°-\varphi)}$$

$$\dot{I}ao + \dot{I}bo + \dot{I}co = 0$$



CONCLUSIONES CON CARGAS TRIFASICAS EQUILIBRADAS EN ESTRELLA:

El Sistema de tensiones de fase conforma un **Sistema de Tensiones Trifásicas Perfectas**.
Dado que las tensiones de fase son iguales a las tensiones de carga correspondientes, el **Sistema de Tensiones de Carga**, también es **Perfecto.**

El Sistema de tensiones de línea conforma otro **Sistema de Tensiones Trifásicas Perfecto**.

La **relación de módulos** entre las tensiones de línea y las de fase **es el factor** $\sqrt{3}$, esta proporcionalidad se obtiene tanto gráfica como analíticamente.

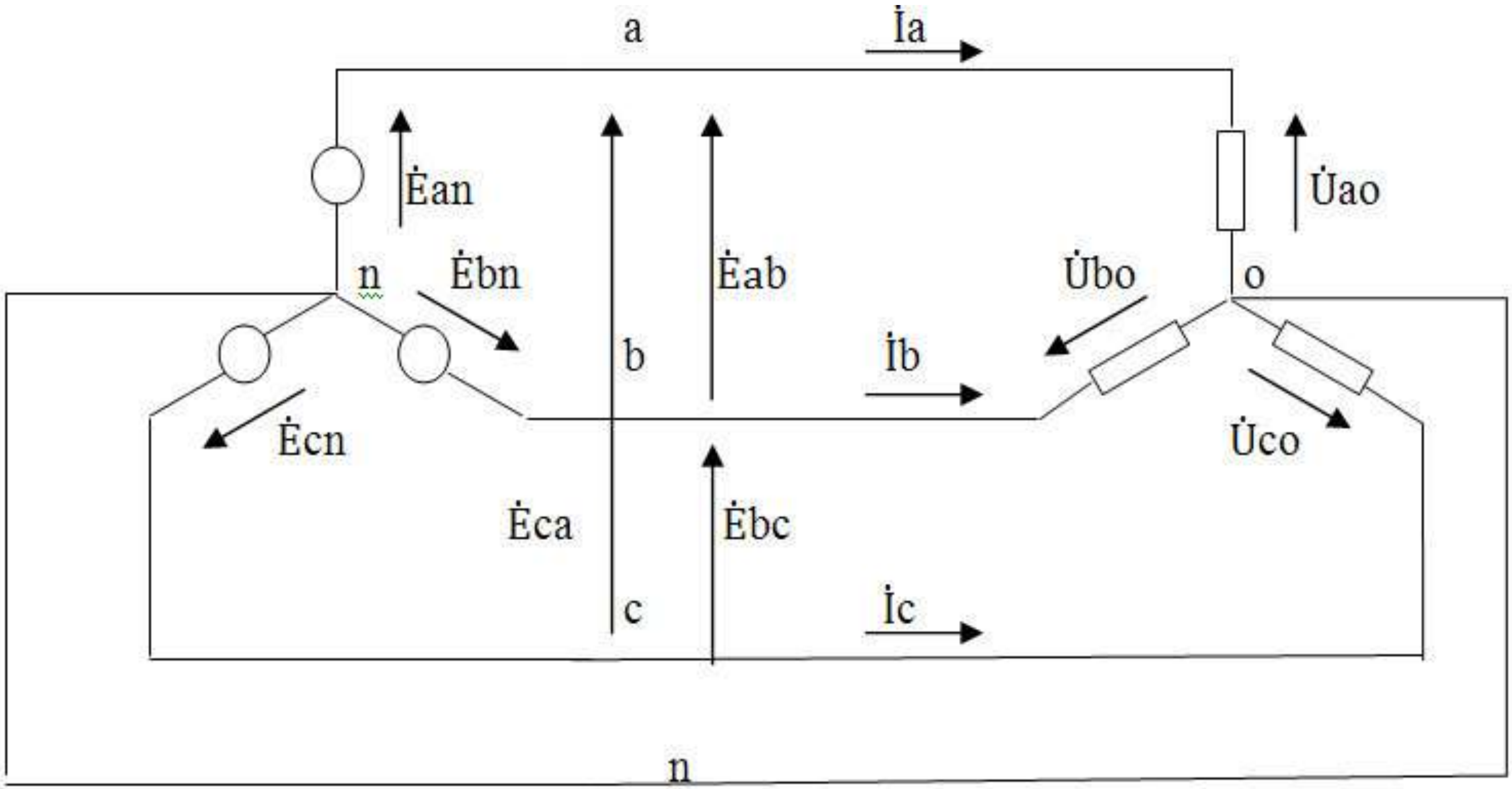
$|E_L| = \sqrt{3} \; |E_F|$

El **Sistema de Corrientes de Fase** es el mismo que el de **Corrientes de Línea**, y conforman un **único Sistema de Corriente Trifásicas Perfectas.**

Sistema de Corrientes también es Simétrico y Equilibrado.
Por lo tanto la corriente de neutro es nula

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN ESTRELLA

Fuente Perfecta y Carga Desequilibrada



FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN ESTRELLA

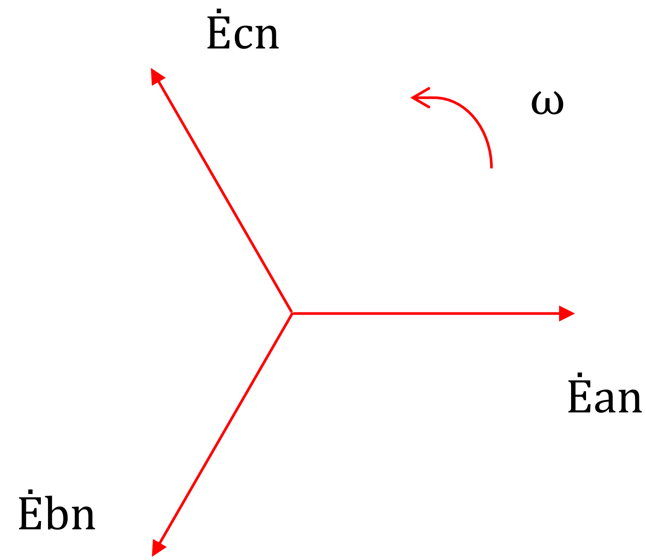
Fuente Perfecta y Carga Desequilibrada

Tensiones de Fase

$\dot{E}an = |Ean|\, e^{j0º}$

$\dot{E}bn = |Ebn|\, e^{j240º}$

$\dot{E}cn = |Ecn|\, e^{j120º}$



Impedancia desequilibrada en estrella

$$Za \neq Zb \neq Zc$$

$$|Z_a|e^{j\varphi a°} \neq |Z_b|e^{j\varphi b°} \neq |Z_c|e^{j\varphi c°}$$

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN ESTRELLA

Corrientes con carga desequilibrada

Corrientes en cada Impedancia de la estrella

$$\dot{I}ao = \frac{\dot{U}ao}{Za} = \frac{E}{|Za|} \; e^{j(0° - \varphi a)}$$

$$\dot{I}bo = \frac{\dot{U}bo}{Zb} = \frac{E}{|Zb|} \; e^{j(240° - \varphi b)}$$

$$\dot{I}co = \frac{\dot{U}co}{Zc} = \frac{E}{|Zc|} \; e^{j(120° - \varphi c)}$$

Estas 3 corrientes no cumplen la condición de Perfección, pues al menos una de ellas es distinta, en módulo o en fase, de las restantes.

Al ser el Sistema de corrientes de fase Imperfecto resulta

$$\dot{I}ao + \dot{I}bo + \dot{I}co = \dot{I}n \neq 0$$

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN ESTRELLA

Corrientes con carga desequilibrada

Por la característica de la conexión de la fuente en estrella con la carga en estrella, resulta que las corrientes de fase son las mismas que las corrientes de la línea que alimentan cada borne de la carga

Corrientes en cada línea de alimentación a la carga

$\dot{I}a = \dot{I}ao$

$\dot{I}b = \dot{I}bo$

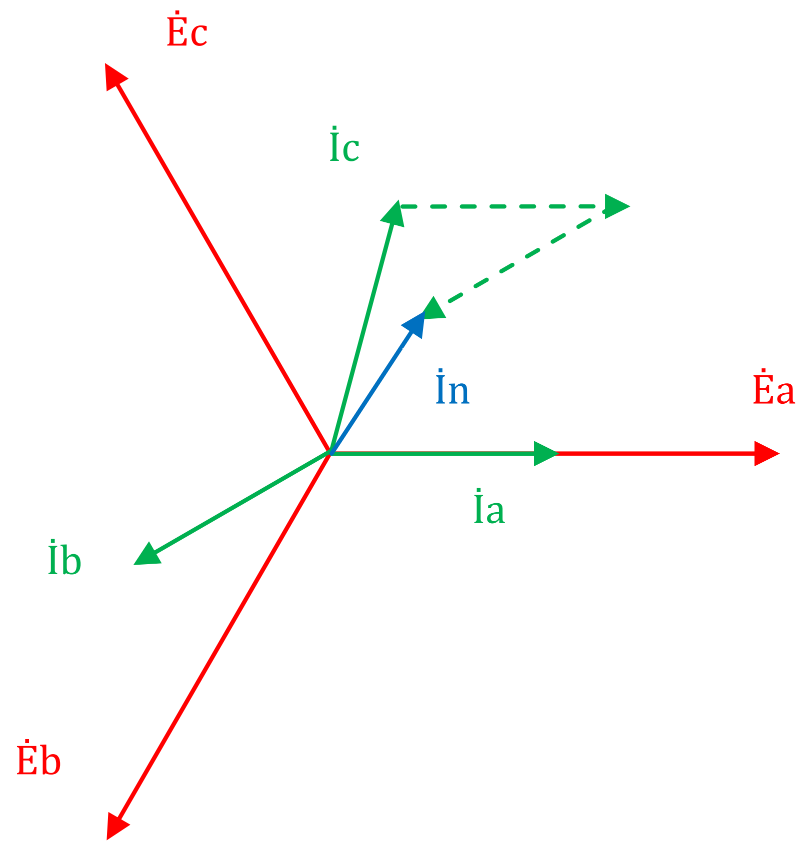
$\dot{I}c = \dot{I}co$

Como el Sistema de Corrientes de Línea también es Imperfecto, resulta:

$$\dot{I}a + \dot{I}b + \dot{I}c = \dot{I}n \neq 0$$

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN ESTRELLA

Corrientes con carga desequilibrada



CONCLUSIONES CON CARGAS TRIFASICAS DESEQUILIBRADAS EN ESTRELLA:

El Sistema de tensiones de fase conforma un **Sistema de Tensiones Trifásicas Perfectas**.
Dado que las tensiones de fase son iguales a las tensiones de carga correspondientes, el **Sistema de Tensiones de Carga**, también es **Perfecto.**

El Sistema de tensiones de línea conforma otro **Sistema de Tensiones Trifásicas Perfecto**.

La **relación de módulos** entre las tensiones de línea y las de fase **es el factor** $\sqrt{3}$, esta proporcionalidad se obtiene tanto gráfica como analíticamente.

$|E_L| = \sqrt{3} \; |E_F|$

El **Sistema de Corrientes de Fase** es el mismo que el de **Corrientes de Línea**, y conforman un **único Sistema de Corriente Trifásicas Imperfecto.**

Por lo tanto la corriente de neutro **NO es nula**

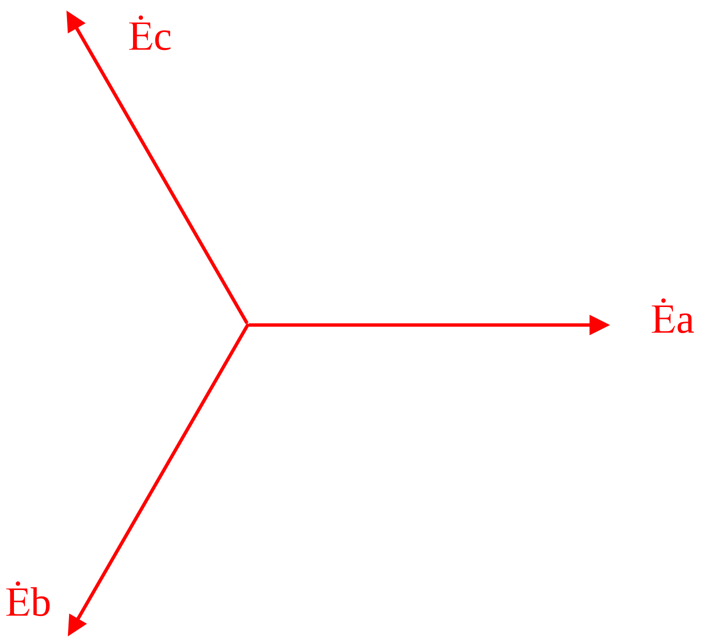
Resolución de Problema N° 2

Un sistema trifásico de 3 x 380/220 V de 4 conductores, alimenta una carga trifásica equilibrada conectada en estrella. El valor de cada impedancia es de 36,7 Ohm con ángulo de desfasaje de 30º capacitivo.

2.1 Calcular las corrientes Ir, Is, It, representar diagrama fasorial de tensiones y corrientes.

Primero debemos determinar el sistema de tensiones Trifásicas. Si consideramos que es de secuencia directa, se debe cumplir la siguiente sucesión de fases R,S,T o 1,2,3 o a,b,c girando en el esquema fasorial en sentido antihorario.

El Sistema de tensiones de fase conforma un **Sistema Perfecto**.



Resolución de Problema N° 2

Como la carga es equilibrada Za = Zb = Zc = Z_Y = $36{,}7\ e^{-j30°}\Omega$, entonces puedo calcular las corrientes en la carga, que por condición estrella son iguales a las de línea.

$$\mathrm{Ia}\ e^{j\,0-\varphi a} = \frac{\mathrm{Ea}\ e^{j0°}}{\mathrm{Za}\ e^{-j\varphi a}} = \frac{220\ e^{j0°}}{36{,}7\ e^{-j30}} = 6{,}0\ e^{j30°} = 5{,}2 + j\ 3\ \Omega$$

$$\mathrm{Ib}\ e^{j\,240-\varphi b} = \frac{\mathrm{Eb}\ e^{j240°}}{\mathrm{Zb}\ e^{-j\varphi b}} = \frac{220\ e^{j240°}}{36{,}7\ e^{-j30}} = 6{,}0\ e^{j270°} = 0 - j\ 6\ \Omega$$

$$\mathrm{Ic}\ e^{j\,120-\varphi a} = \frac{\mathrm{Ec}\ e^{j120°}}{\mathrm{Zc}\ e^{-j\varphi c}} = \frac{220\ e^{j120°}}{36{,}7\ e^{-j30}} = 6{,}0\ e^{j150°} = -5{,}2 + j\ 3\ \Omega$$

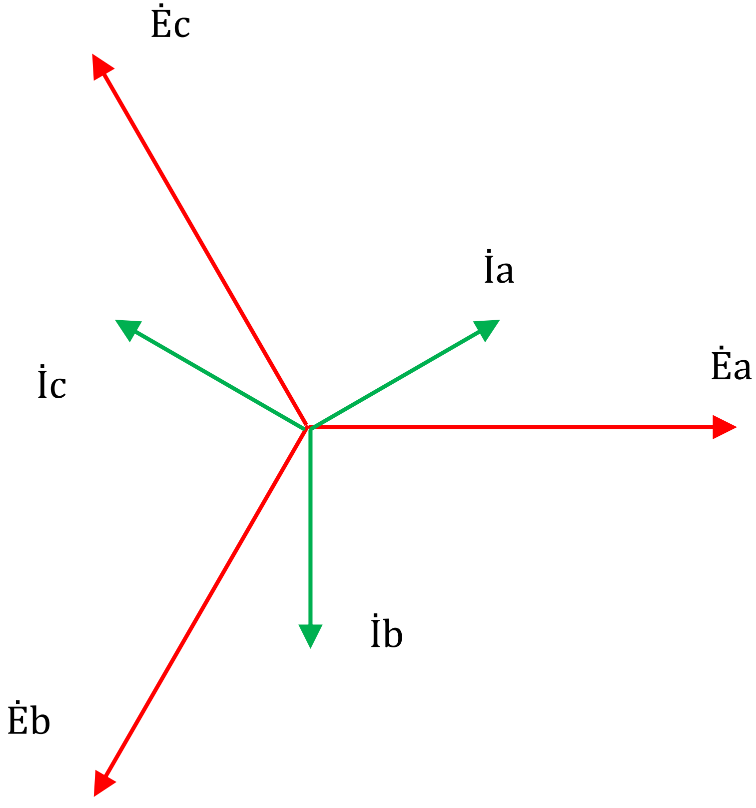
Verificamos la condición de corriente el neutro con carga en estrella

$$\dot{\mathrm{I}}\mathrm{a} + \dot{\mathrm{I}}\mathrm{b} + \dot{\mathrm{I}}\mathrm{c} = \dot{\mathrm{I}}\mathrm{n}$$

$$\dot{\mathrm{I}}\mathrm{n} = (5{,}2 + 0 - 5{,}2) + j\ (3 - 6 + 3) = 0$$

Resultado que verifica la nulidad de la corriente de neutro para carga equilibrada en estrella

Resolución de Problema N° 2



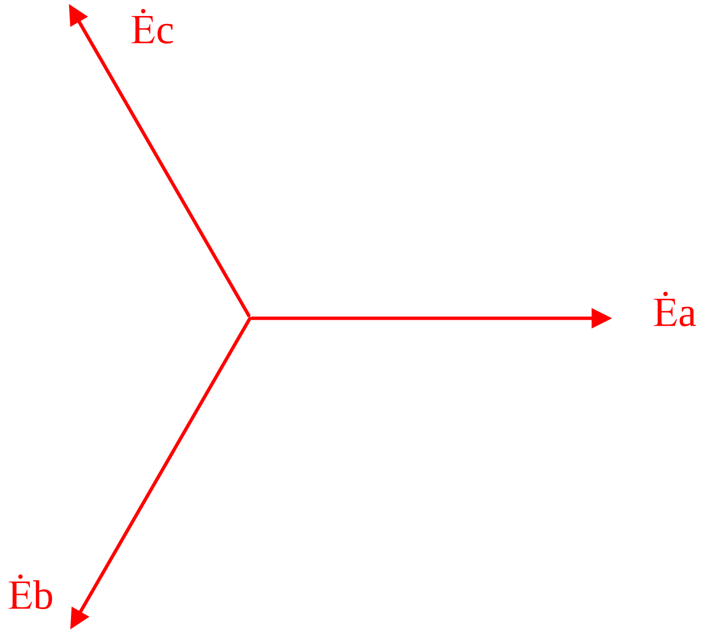
Resolución de Problema N° 3

Un sistema trifásico de 3 x 380 V de 4 conductores, alimenta una carga trifásica conectada en estrella.
Za = 6 Ohm con ángulo de desfasaje 0º
Zb = 6 Ohm con ángulo de desfasaje 30º inductivo
Zc = 5 Ohm con ángulo de desfasaje 45º inductivo

3.1 Calcular las corrientes Ir, Is, It, representar diagrama fasorial de tensiones y corrientes.

Primero debemos determinar el sistema de tensiones Trifásicas. Si consideramos que es de secuencia directa, se debe cumplir la siguiente sucesión de fases R,S,T o 1,2,3 o a,b,c girando en el esquema fasorial en sentido antihorario.

El Sistema de tensiones de fase conforma un **Sistema Perfecto**.



Resolución de Problema N° 3

Como la carga es desequilibrada

$Za = 6\ e^{j0°}\Omega$,

$Zb = 6\ e^{j30°}\Omega$

$Zc = 5\ e^{j45°}\Omega$

Puedo calcular las corrientes en la carga, que por condición estrella son iguales a las de línea.

$$\mathrm{Ia}\ e^{j\,0-\varphi a} = \frac{\mathrm{Ea}\ e^{j0°}}{\mathrm{Za}\ e^{-j\varphi a}} = \frac{220\ e^{j0°}}{6\ e^{j0}} = 36{,}7\ e^{j0°} = 36{,}7 + j\ 0\Omega$$

$$\mathrm{Ib}\ e^{j\,240-\varphi b} = \frac{\mathrm{Eb}\ e^{j240°}}{\mathrm{Zb}\ e^{-j\varphi b}} = \frac{220\ e^{j240°}}{6\ e^{j30}} = 36{,}7\ e^{j210°} = -31{,}8 - j\ 18{,}4\ \Omega$$

$$\mathrm{Ic}\ e^{j\,120-\varphi a} = \frac{\mathrm{Ec}\ e^{j120°}}{\mathrm{Zc}\ e^{-j\varphi c}} = \frac{220\ e^{j120°}}{5\ e^{j45}} = 44\ e^{j75°} = 11{,}4 + j\ 42{,}5\ \Omega$$

Verificamos la condición de corriente el neutro con carga desequlibrada en estrella

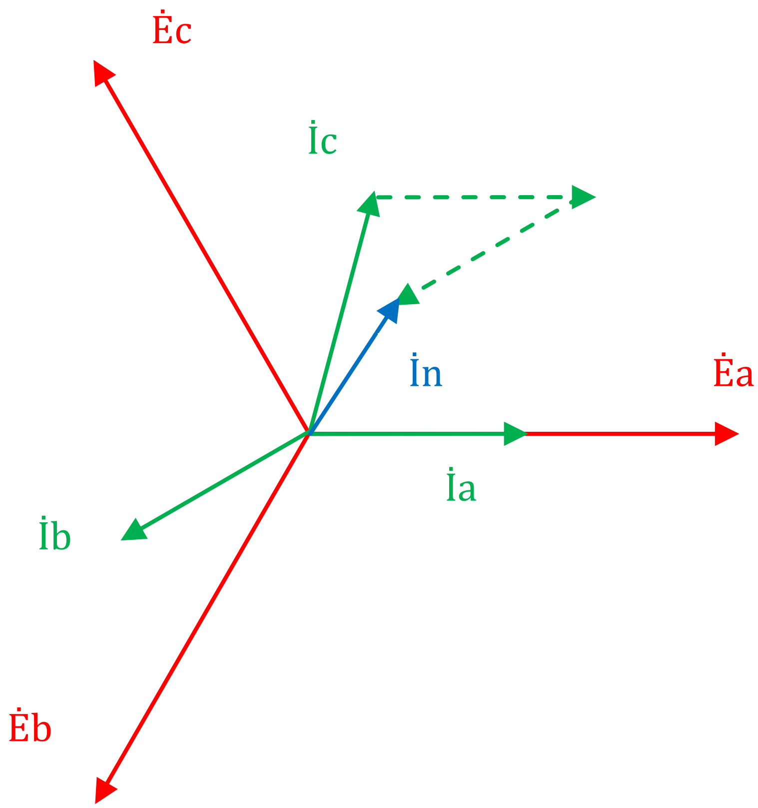
$\dot{I}a + \dot{I}b + \dot{I}c = \dot{I}n$

$\dot{I}n = (36{,}7 - 31{,}8 + 11{,}4) + j\ (0 - 18{,}4 + 42{,}5)$

$\dot{I}n = 16{,}3 + j\ 24{,}1 = 29{,}1\ e^{56°}A$

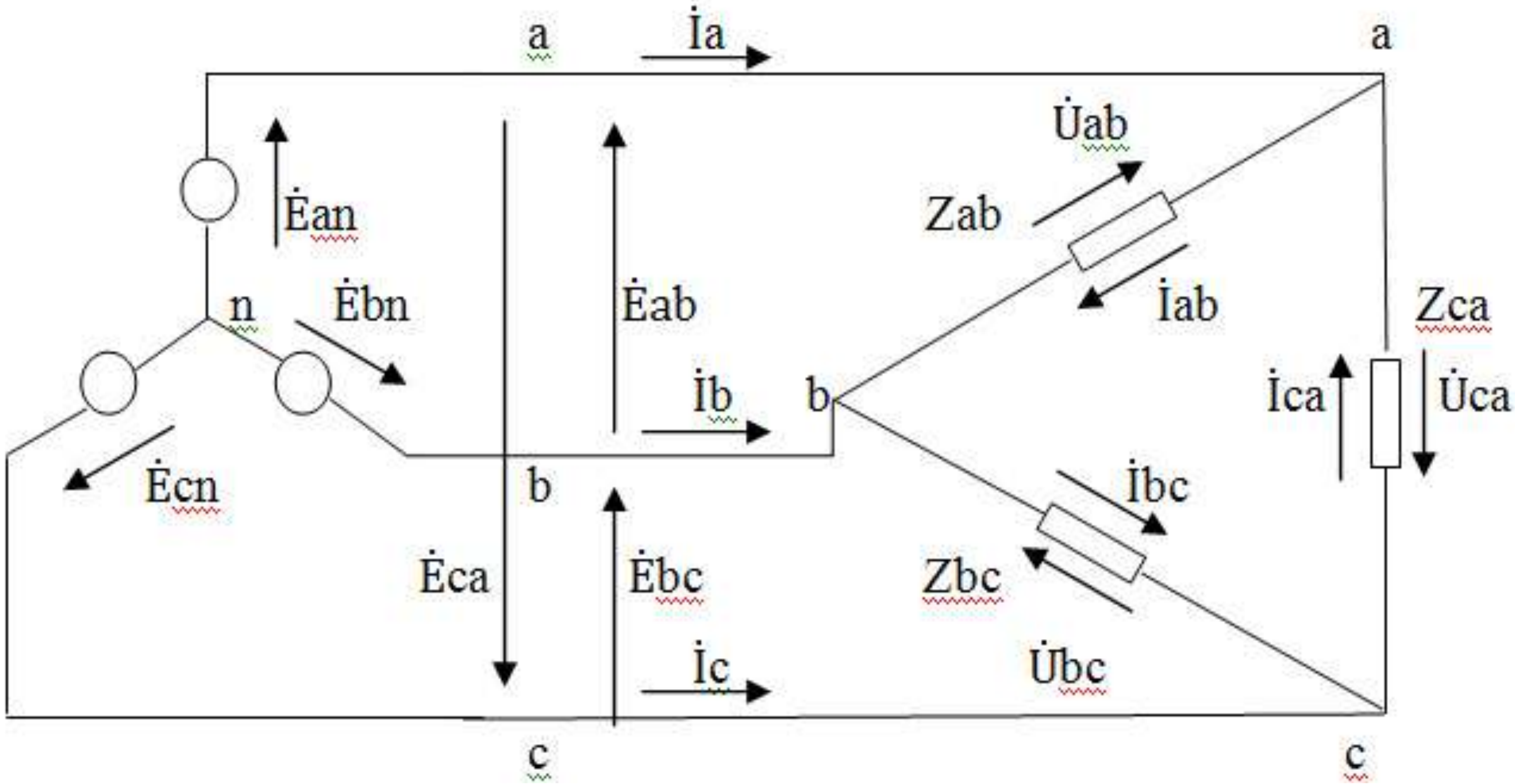
Resultado que verifica que la corriente de neutro para carga desequilibrada en estrella no es nula

Resolución de Problema N° 3



FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO

Fuente Perfecta y Carga Equilibrada



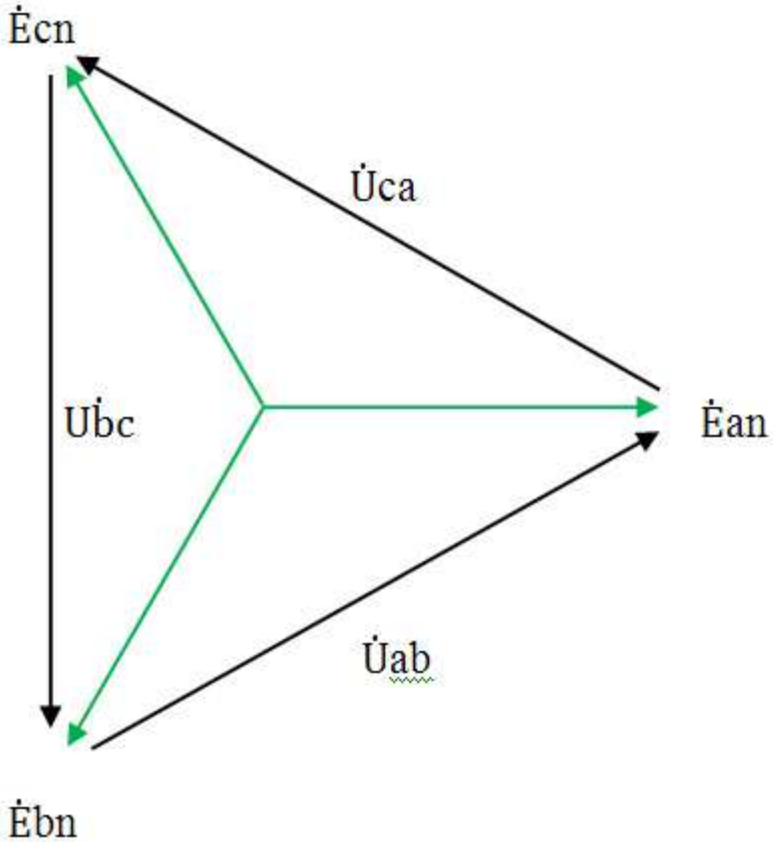
FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO

Tensiones de Fase

$\dot{E}a = Ea\, e^{j0º}$

$\dot{E}b = Eb\, e^{j240º}$

$\dot{E}c = Ec\, e^{j120º}$



Tensiones Compuestas

$\dot{E}ab = \dot{E}a - \dot{E}b = \sqrt{3}E\, e^{j30°}$

$\dot{E}bc = \dot{E}b - \dot{E}c = \sqrt{3}E\, e^{j270°}$

$\dot{E}ca = \dot{E}c - \dot{E}a = \sqrt{3}E\, e^{j150°}$

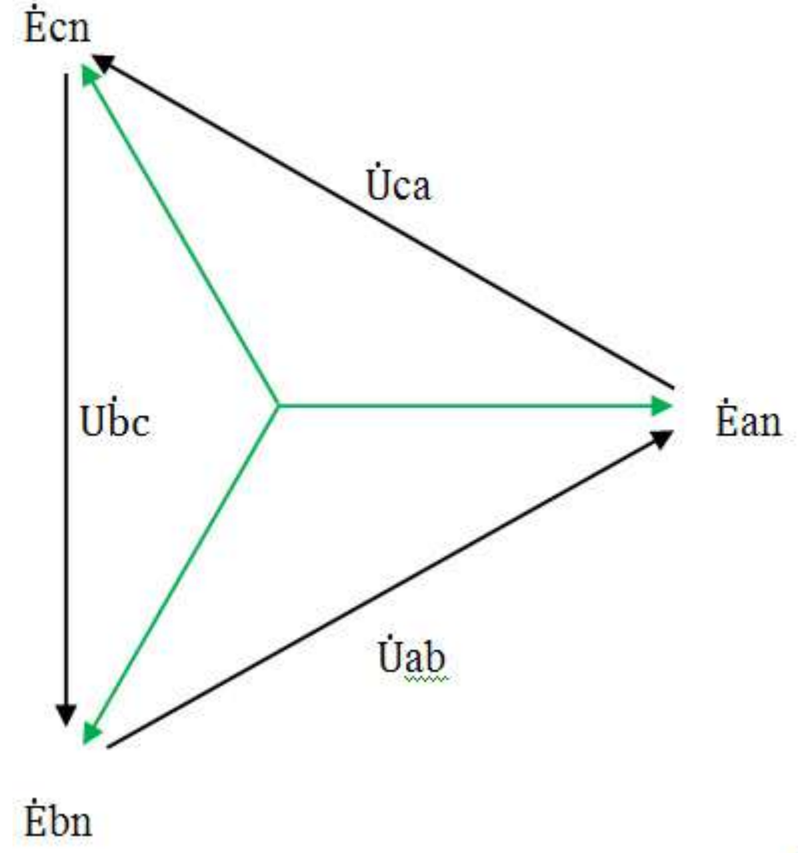
Tensiones en la Carga

$\dot{E}ab = \dot{E}a - \dot{E}b = \dot{U}ab$

$\dot{E}bc = \dot{E}b - \dot{E}c = \dot{U}bc$

$\dot{E}ca = \dot{E}c - \dot{E}a = \dot{U}ca$

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO



FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO

Impedancia equilibrada en triángulo

$$Zab = Zbc = Zca = Z_{\Delta} = |Z_{\Delta}|\ e^{j\varphi^{\circ}}$$

Corrientes en cada

Impedancia del triángulo

$$\dot{I}ab = \frac{\dot{U}ab}{Z\Delta} = \frac{\sqrt{3}E}{Z\Delta}\ e^{j(30^{\circ}-\varphi)}$$

$$\dot{I}bc = \frac{\dot{U}bc}{Z\Delta} = \frac{\sqrt{3}E}{Z\Delta}\ e^{j(270^{\circ}-\varphi)}$$

$$\dot{I}ca = \frac{\dot{U}ca}{Z\Delta} = \frac{\sqrt{3}E}{Z\Delta}\ e^{j(150^{\circ}-\varphi)}$$

Corrientes en cada línea

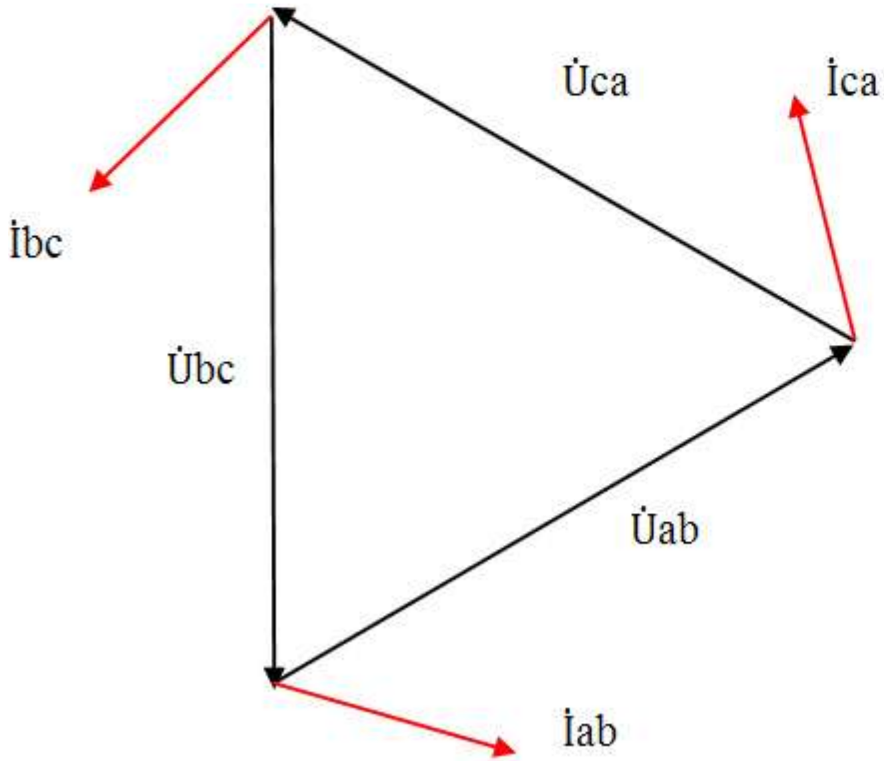
de alimentación a la carga

$$\dot{I}a = \dot{I}ab - \dot{I}ca$$

$$\dot{I}b = \dot{I}bc - \dot{I}ab$$

$$\dot{I}c = \dot{I}ca - \dot{I}bc$$

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO



FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO

Determinación de las Corrientes de línea Ia

$$\dot{I}a = \dot{I}ab - \dot{I}ca = \frac{\sqrt{3}E}{Z\Delta}\left(e^{j(30°-\varphi)} - e^{j(150°-\varphi)}\right) = \frac{\sqrt{3}E}{Z\Delta}\, e^{-j\varphi}\left(e^{j30°} - e^{j150°}\right]$$

$$\dot{I}a = \frac{\sqrt{3}E}{Z\Delta}\, e^{-j\varphi}\left[\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2} - \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right)\right] = \frac{\sqrt{3}E}{Z\Delta}\, e^{-j\varphi}\left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \frac{\sqrt{3}E}{Z\Delta}\sqrt{3}e^{-j\varphi}$$

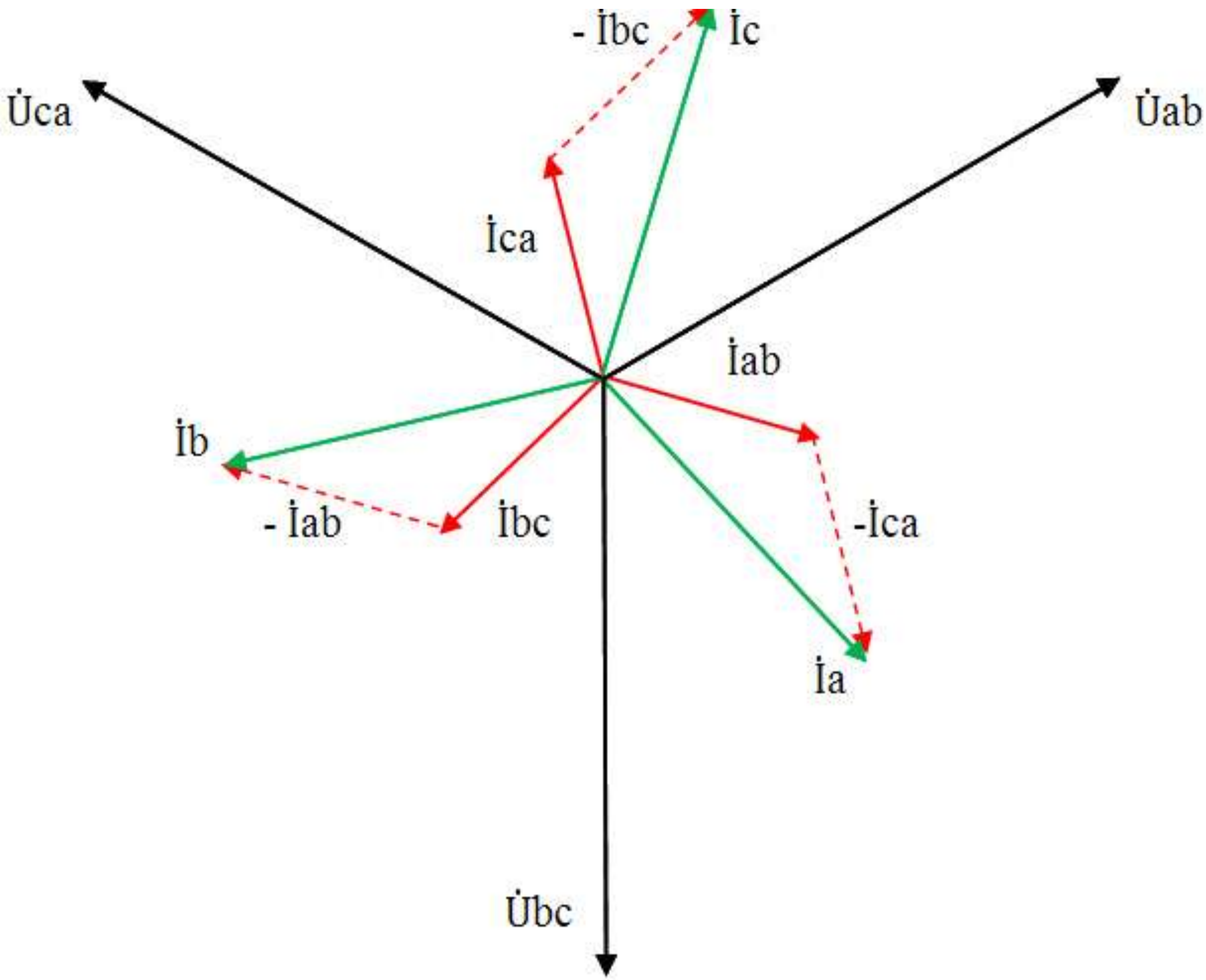
$\mathbf{\dot{I}a = I_{\Delta}\sqrt{3}\,e^{-j\varphi}}$ con $I_{\Delta} = \dfrac{\sqrt{3}E}{Z\Delta}$

$$\mathbf{\dot{I}b = I_{\Delta}\sqrt{3}\,e^{j(240°-\varphi)}}$$

$$\mathbf{\dot{I}c = I_{\Delta}\sqrt{3}\,e^{j(120°-\varphi)}}$$

con $\mathbf{I_{\Delta} = \dfrac{\sqrt{3}E}{Z\Delta}}$

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO



CONCLUSIONES CON CARGAS TRIFASICAS EQUILIBRADAS EN TRIANGULO:

El Sistema de tensiones de línea conforma un **Sistema de Tensiones Trifásicas Perfectas**.
Dado que las tensiones de línea son iguales a las tensiones de carga correspondientes, el **Sistema de Tensiones de Carga**, también es **Perfecto.**

El sistema de Corrientes del triángulo conforma un **Sistema de Corriente Trifásicas Perfectas**

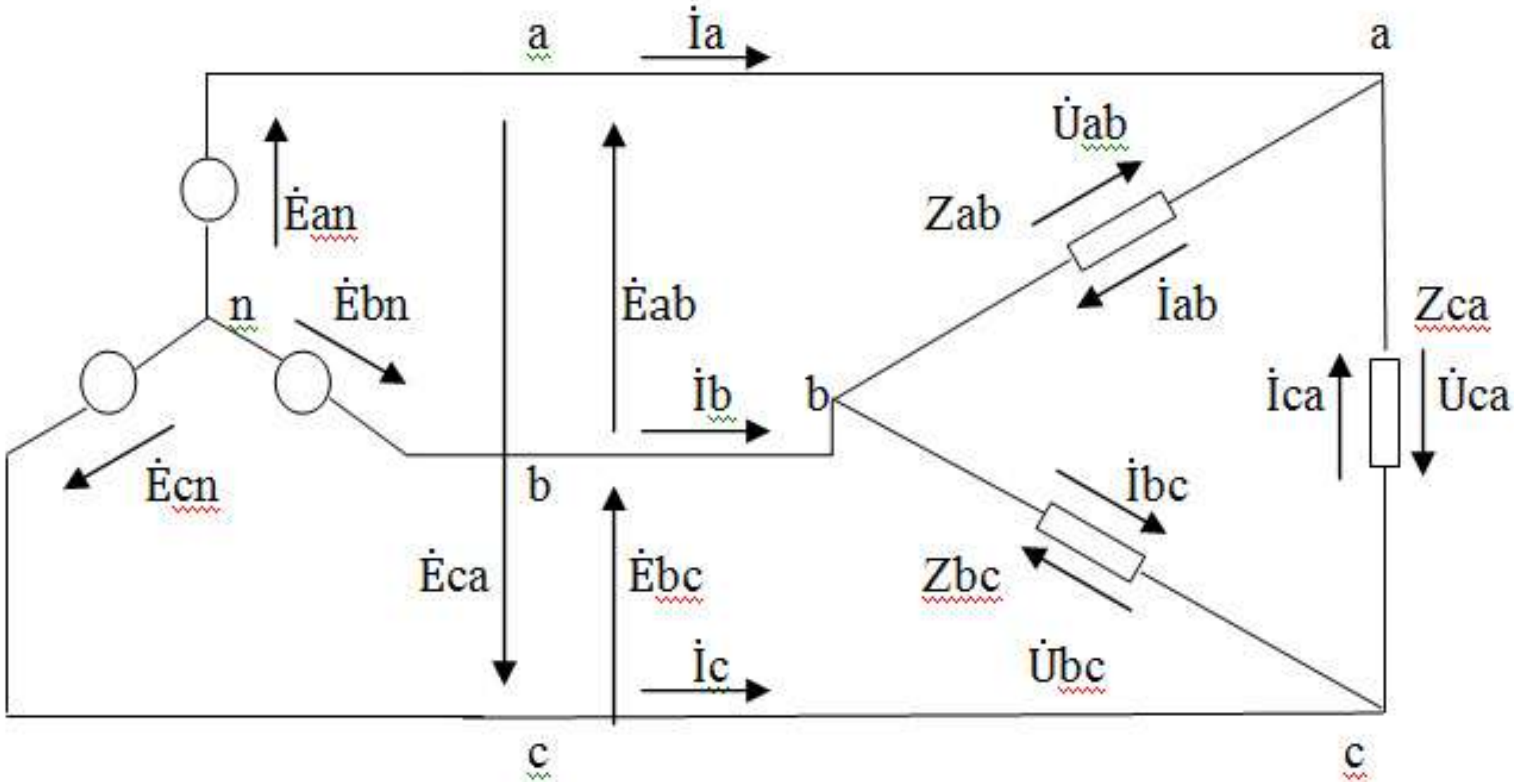
La **relación de módulos** entre las corrientes de línea y las de fase en triángulo **es el factor** $\sqrt{3}$,
esta proporcionalidad se obtiene tanto gráfica como analíticamente.

$|I_L| = \sqrt{3}\ |I_\Delta|$

El **Sistema de Corrientes de Línea** conforma también, un **Sistema de Corriente Trifásicas Perfectas.**

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO

Fuente Perfecta y Carga Desequilibrada



FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO

Fuente Perfecta y Carga Desequilibrada

Tensiones de Fase

$\dot{E}a = Ea\, e^{j0º}$

$\dot{E}b = Eb\, e^{j240º}$

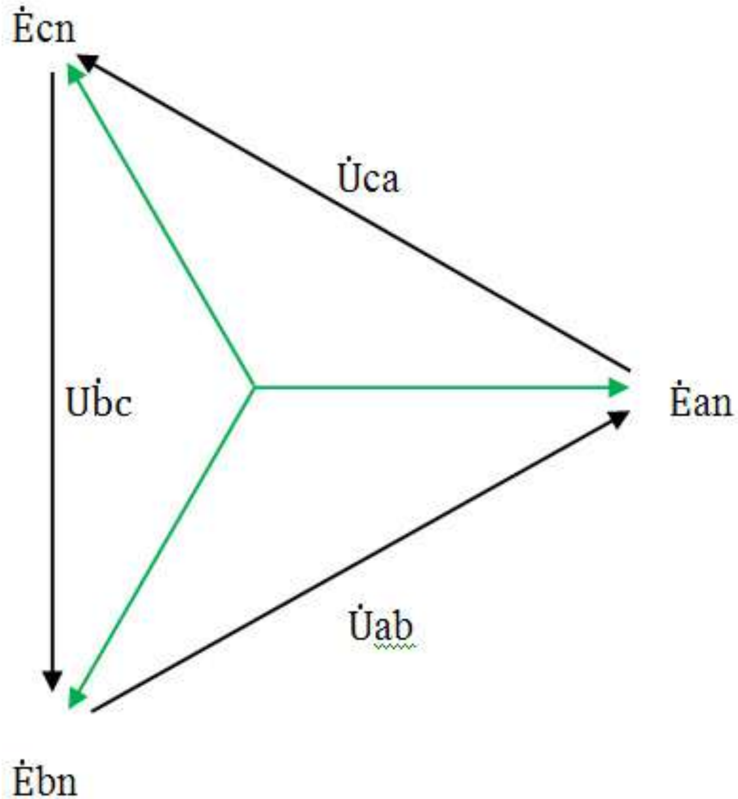
$\dot{E}c = Ec\, e^{j120º}$

Tensiones Compuestas

$\dot{E}ab = \dot{E}a - \dot{E}b = \sqrt{3}E\, e^{j30°}$

$\dot{E}bc = \dot{E}b - \dot{E}c = \sqrt{3}E\, e^{j270°}$

$\dot{E}ca = \dot{E}c - \dot{E}a = \sqrt{3}E\, e^{j150°}$



Tensiones en la Carga

$\dot{E}ab = \dot{E}a - \dot{E}b = \dot{U}ab$

$\dot{E}bc = \dot{E}b - \dot{E}c = \dot{U}bc$

$\dot{E}ca = \dot{E}c - \dot{E}a = \dot{U}ca$

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO

Impedancia desequilibrada en triángulo

$Zab \neq Zbc \neq Zca$

$|Z_{ab}| \; e^{j\varphi ab} \neq |Z_{bc}| \; e^{j\varphi bc} \neq |Z_{ca}| \; e^{j\varphi ca}$

Corrientes en cada Impedancia del triángulo

$$\dot{I}ab = \frac{\dot{U}ab}{Zab} = \frac{\sqrt{3}E}{|Zab|} \; e^{j(30° - \varphi ab)}$$

$$\dot{I}bc = \frac{\dot{U}bc}{Zbc} = \frac{\sqrt{3}E}{|Zbc|} \; e^{j(270° - \varphi bc)}$$

$$\dot{I}ca = \frac{\dot{U}ca}{Zca} = \frac{\sqrt{3}E}{|Zca|} \; e^{j(150° - \varphi ca)}$$

Corrientes en cada línea de alimentación a la carga

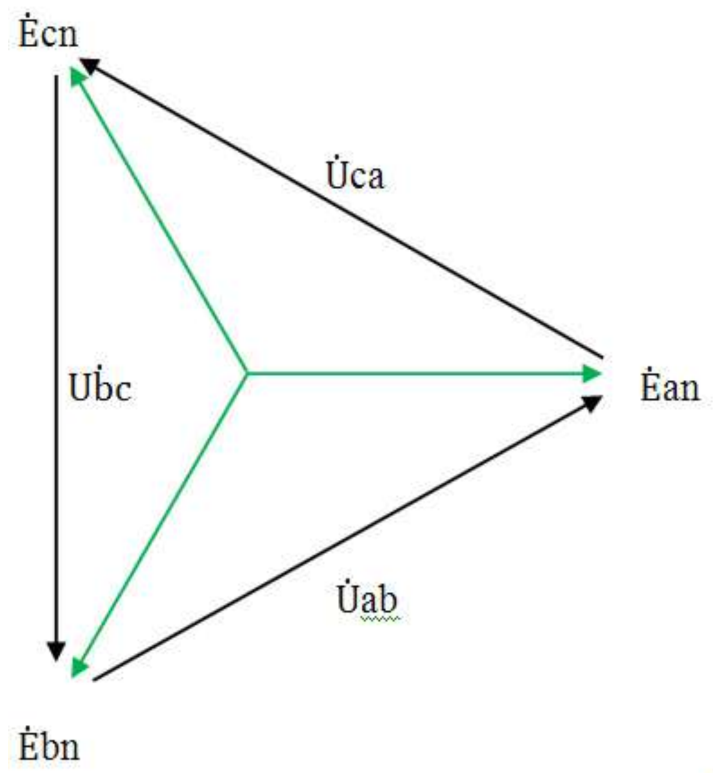
$\dot{I}a = \dot{I}ab - \dot{I}ca$

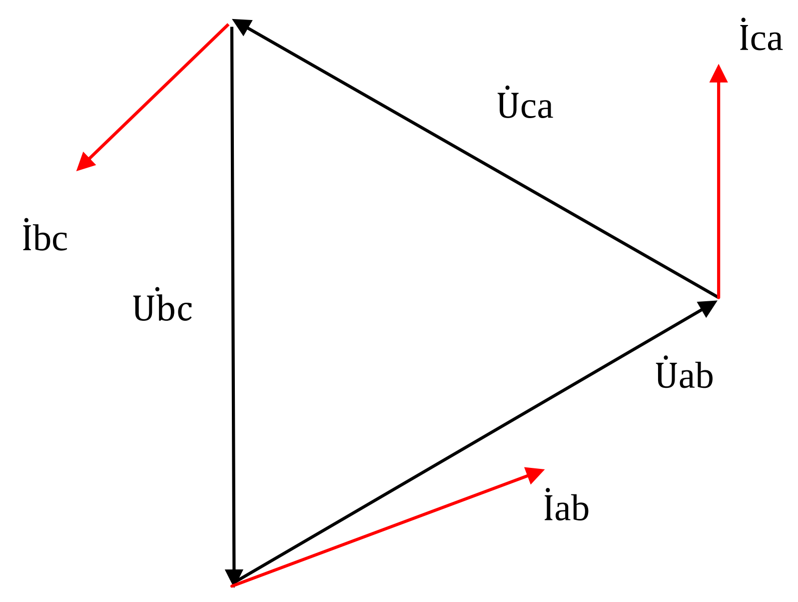
$\dot{I}b = \dot{I}bc - \dot{I}ab$

$\dot{I}c = \dot{I}ca - \dot{I}bc$

FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO
Fuente Perfecta y Carga Desequilibrada

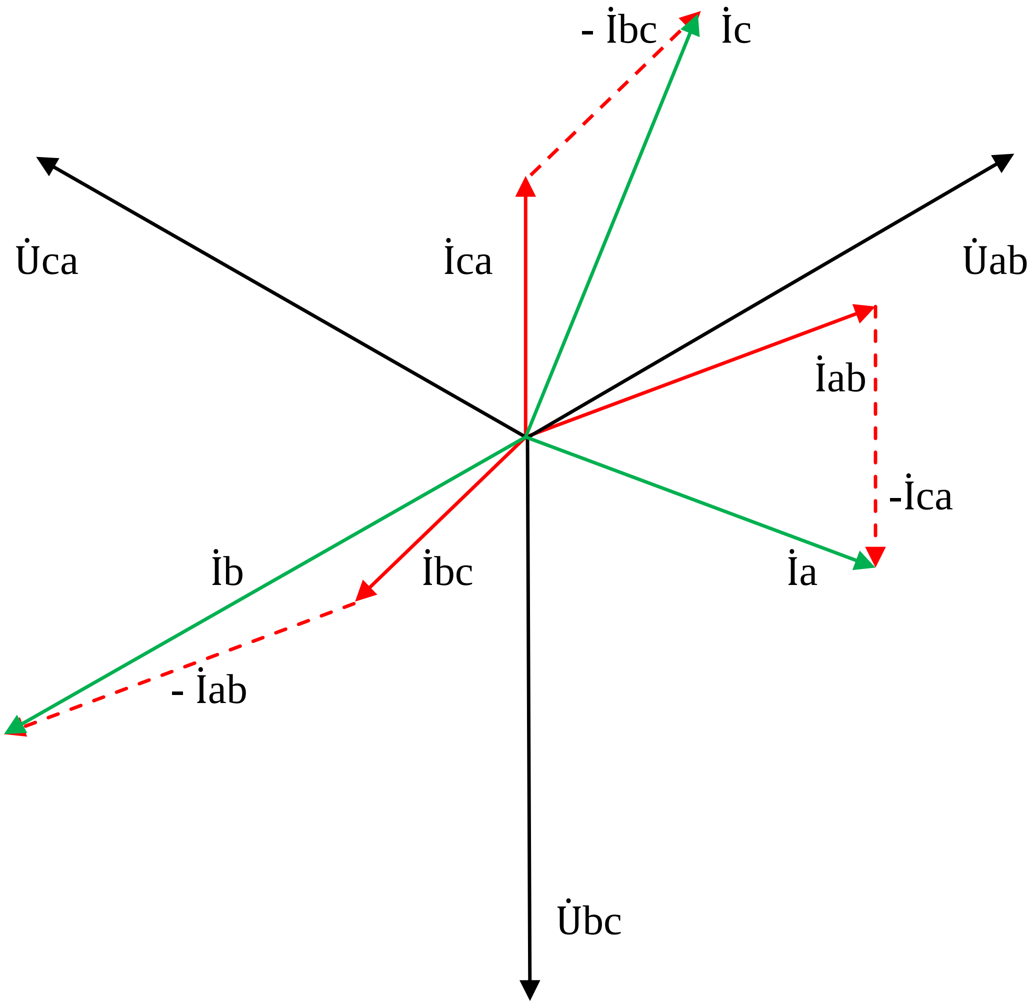
El sistema de Tensiones de Fuente y Corrientes en la carga





FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO
Fuente Perfecta y Carga Desequilibrada

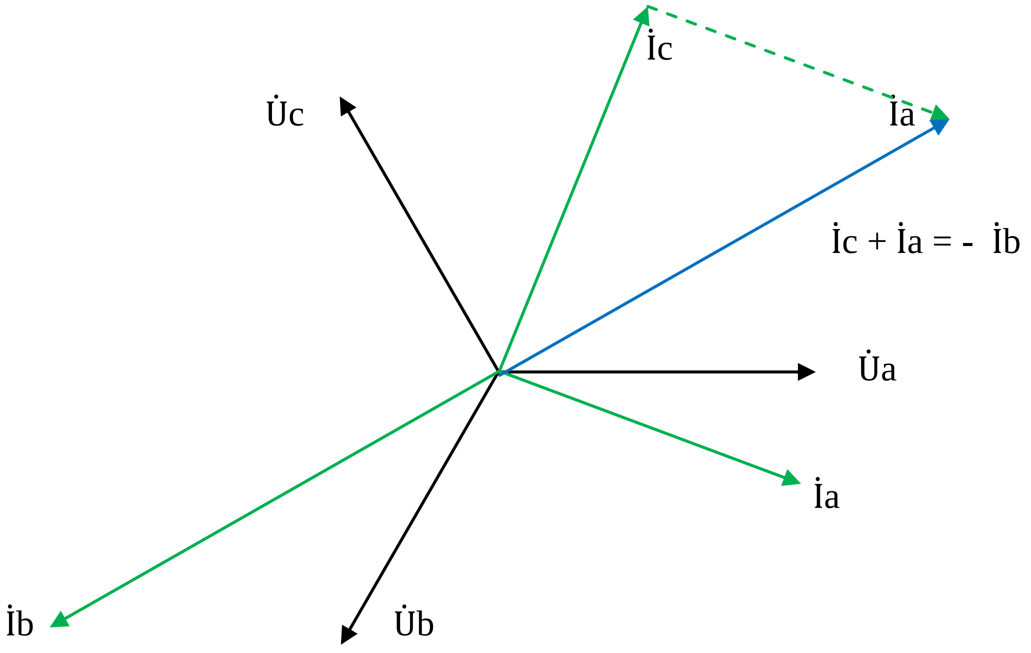
Corrientes del Triángulo y de Línea



FUENTE Y CARGA TRIFASICA EN TRIANGULO

Fuente Perfecta y Carga Desequilibrada

El sistema de Tensiones de Fase y Corrientes de Línea



CONCLUSIONES CON CARGAS TRIFASICAS DESEQUILIBRADAS EN TRIANGULO:

El Sistema de tensiones de línea conforma un **Sistema de Tensiones Trifásicas Perfectas**.
Dado que las tensiones de línea son iguales a las tensiones de carga correspondientes, el **Sistema de Tensiones de Carga**, también es **Perfecto.**

El sistema de Corrientes del triángulo conforma un **Sistema de Corriente Trifásicas Imperfectas**

Por lo tanto, **no son Equilibradas**

$\dot{I}ab + \dot{I}bc + \dot{I}ac = \dot{I}circ \neq 0$

$\dot{I}circ$, se denomina corriente de circulación dentro de la conexión triángulo de la carga, la cual genera un calentamiento no deseado.

El sistema de Corrientes de línea conforman un **Sistema de Corriente Trifásicas Equilibrado.**
Pues al no haber neutro, se cumple esta condición, a pesar de cumplir la condición de asimetría.

Por lo tanto:

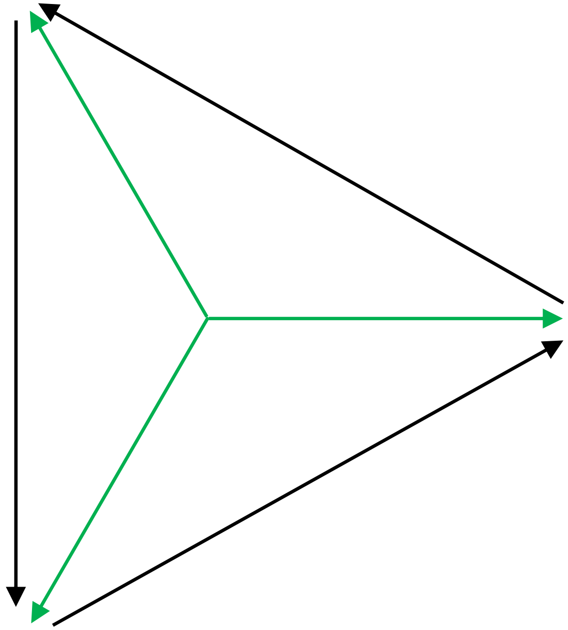
$\dot{I}a + \dot{I}b + \dot{I}c = 0$

Resolución de Problema N° 5

Un sistema trifásico de 3 x 380 V de 3 conductores, alimenta una carga trifásica equilibrada conectada en triángulo. El valor de cada impedancia es de 17,3 Ohm con ángulo de desfasaje de 45º inductivo.

5.1 Calcular las corrientes Ir, Is, It, representar diagrama fasorial de tensiones y corrientes.

Primero debemos determinar el sistema de tensiones Trifásicas. Si consideramos que es de secuencia directa, se debe cumplir la siguiente sucesión de fases R,S,T o 1,2,3 o a,b,c girando en el esquema fasorial en sentido antihorario.



Tensiones de Fase

$\dot{E}a = 220\ e^{j0°}$

$\dot{E}b = 220\ e^{j240°}$

$\dot{E}c = 220\ e^{j120°}$

Tensiones Compuestas

$\dot{E}ab = \dot{E}a\text{-}\dot{E}b = \sqrt{3}\ 220\ e^{j30°}$

$\dot{E}bc = \dot{E}b\text{-}\dot{E}c = \sqrt{3}\ 220\ e^{j270°}$

$\dot{E}ca = \dot{E}c\text{-}\dot{E}a = \sqrt{3}\ 220 e^{j150°}$

Resolución de Problema N° 5

Como la carga es equilibrada Zab = Zbc = Zca = Z_Δ = 17,3 $e^{j45°}\Omega$, entonces puedo calcular las corrientes en cada impedancia del triángulo.

$$\dot{I}ab = \frac{\dot{U}ab}{Z\Delta} = \frac{380}{17,3}\ e^{j(30°-45°)} = 22,0\ e^{-j\ 15°} = 21,25 - j\ 5,70\ \Omega$$

$$\dot{I}bc = \frac{\dot{U}bc}{Z\Delta} = \frac{380}{17,3}\ e^{j(270°-45°)} = 22,0\ e^{j\ 225°} = -15,56 - j\ 15,56\ \Omega$$

$$\dot{I}ca = \frac{\dot{U}ca}{Z\Delta} = \frac{380}{17,3}\ e^{j(150°-45°)} = 22,0\ e^{j\ 105°} = -5,69 + j\ 21,25\ \Omega$$

Observamos que el sistema de corrientes del triángulo **es Simétrico en módulos y desfasajes**

A partir de las corrientes del triángulo podemos calcular las corrientes en cada línea de alimentación a la carga

$$\dot{I}a = \dot{I}ab - \dot{I}ca = [21,25 - (-5,69)] + j(-5,70 - 21,25) = 26,94 - j\ 26,95 = 38,10\ e^{-j\ 45°}$$

$$\dot{I}b = \dot{I}bc - \dot{I}ab = (-15,56 - 21,25) + j[-15,56 - (-5,70)] = -36,81 - j9,86 = 38,11\ e^{j\ 195°}$$

$$\dot{I}c = \dot{I}ca - \dot{I}bc = [-5,69 - (-15,56)] + j[21,25 - (-15,56)] = 9,87 + j36,81 = 38,11\ e^{j\ 75°}$$

Resolución de Problema N° 5

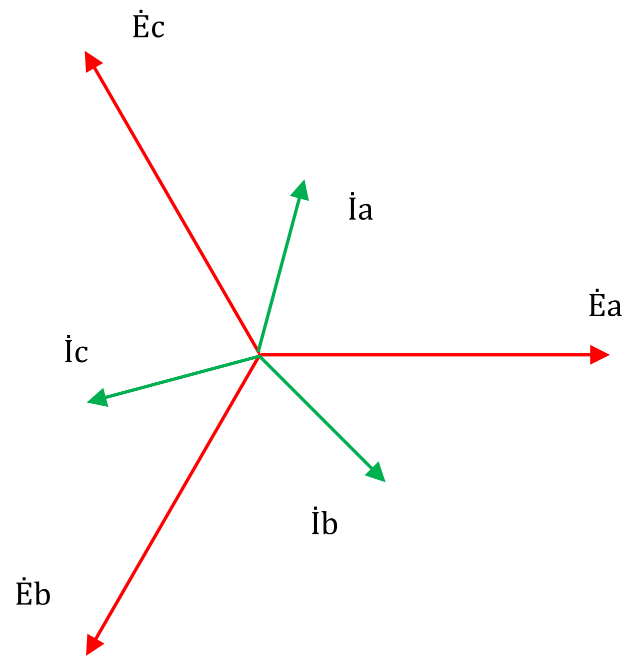
Puede observarse que el sistema de corrientes de línea también resulta simétrico en módulo y desfasajes.

Verificamos la condición de corriente de neutro resultante

$$\dot{I}a + \dot{I}b + \dot{I}c = \dot{I}n$$

$$\dot{I}n = (26{,}94 - 36{,}81 + 9{,}87) + j\,(-26{,}95 - 9{,}86 + 36{,}81) = 0 + j0$$

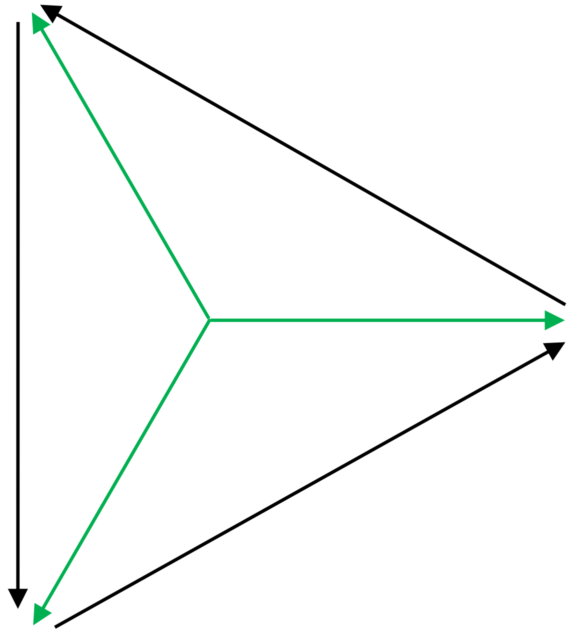
Con lo cual se verifica también que es equilibrado y por lo tanto Perfecto



Resolución de Problema N° 6

Un sistema trifásico de 3 x 380 V de 3 conductores, alimenta una carga trifásica conectada en triángulo.
Zab = 15,8 Ohm con ángulo de desfasaje 0º
Zbc = 15,8 Ohm con ángulo de desfasaje 30º inductivo
Zca = 23,8 Ohm con ángulo de desfasaje 30º capacitivo
6.1 Calcular las corrientes Ir, Is, It, representar diagrama fasorial de tensiones y corrientes.

Primero debemos determinar el sistema de tensiones Trifásicas. Si consideramos que es de secuencia directa, se debe cumplir la siguiente sucesión de fases R,S,T o 1,2,3 o a,b,c girando en el esquema fasorial en sentido antihorario.



Tensiones de Fase

$\dot{E}a = 220\ e^{j0°}$

$\dot{E}b = 220\ e^{j240°}$

$\dot{E}c = 220\ e^{j120°}$

Tensiones Compuestas

$\dot{E}ab = \dot{E}a - \dot{E}b = \sqrt{3}\ 220\ e^{j30°}$

$\dot{E}bc = \dot{E}b - \dot{E}c = \sqrt{3}\ 220\ e^{j270°}$

$\dot{E}ca = \dot{E}c - \dot{E}a = \sqrt{3}\ 220 e^{j150°}$

Resolución de Problema N° 6

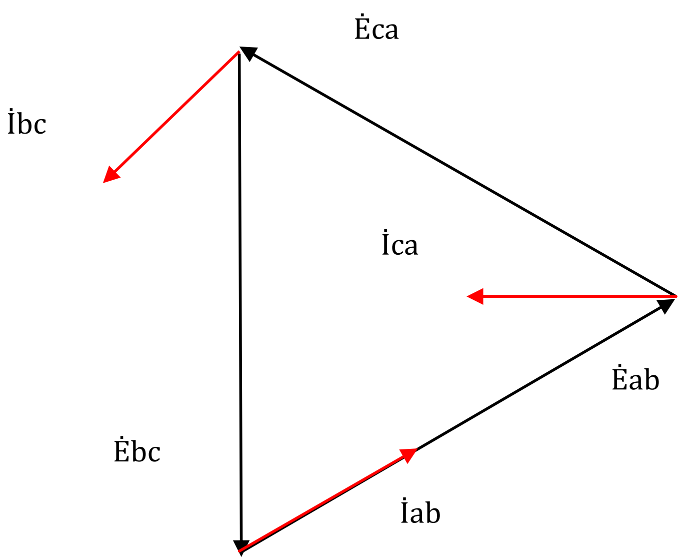
Como la carga es desequilibrada Zab = $15{,}8\ e^{j0°}\ \Omega$, Zbc = $15{,}8\ e^{j30°}\ \Omega$, Zca = $23{,}8\ e^{-j30°}\ \Omega$, entonces puedo calcular las corrientes en cada impedancia del triángulo.

$$\dot{I}ab = \frac{\dot{U}ab}{Zab} = \frac{380}{15.8}\ e^{j(30°-0°)} = 24{,}1\ e^{j\,30°} \quad = 20{,}9 - j\ 12{,}1\ \Omega$$

$$\dot{I}bc = \frac{\dot{U}bc}{Zbc} = \frac{380}{15.8}\ e^{j(270°-30°)} = 24{,}1\ e^{j\,240°} = -12{,}1 - j\ 20{,}9\ \Omega$$

$$\dot{I}ca = \frac{\dot{U}ca}{Zca} = \frac{380}{23{,}8}\ e^{j(150°+30°)} = 16{,}0\ e^{j\,180°} = -16{,}0 + j\ 0\ \Omega$$

Puede observarse que el sistema de corrientes del triángulo **es asimétrico en módulo y desfasaje**



Resolución de Problema N° 6

A partir de las corrientes del triángulo podemos calcular las corrientes en cada línea de alimentación a la carga

$\dot{I}a = \dot{I}ab - \dot{I}ca = [20{,}9 - (-16{,}0)] + j\,(-12{,}1 - 0) = 36{,}9 - j\,12{,}1 = 38{,}8\ e^{-j18°}$

$\dot{I}b = \dot{I}bc - \dot{I}ab = (-12{,}1 - 20{,}9) + j\,[(-20{,}9 - (-12{,}1)] = -33{,}0 - j8{,}8 = 34{,}2\ e^{j\,195°}$

$\dot{I}c = \dot{I}ca - \dot{I}bc = [-16{,}0 - (-12{,}1)] + j[\,0 - (-20{,}9)] = -3{,}9 + j20{,}9 = 21{,}6\ e^{j\,259°}$

Puede observarse que el sistema de corrientes de línea **también resulta asimétrico** en módulo y desfasajes.

Verificamos la condición de corriente de neutro resultante

$\dot{I}a + \dot{I}b + \dot{I}c = \dot{I}n$

$\dot{I}n = (36{,}9 - 33{,}0 - 3{,}9) + j\,(-12{,}1 - 8{,}8 + 20{,}9) = 0 + j\,0$

Con lo cual se verifica que **es equilibrado y por lo tanto Imperfecto**