

CARNET INSTALADOR ELECTRICISTA



TECNIO

© Reservados todos los derechos de esta edición para POWEREDUCATION S.L., 2024.



TECNI

TEMA 1



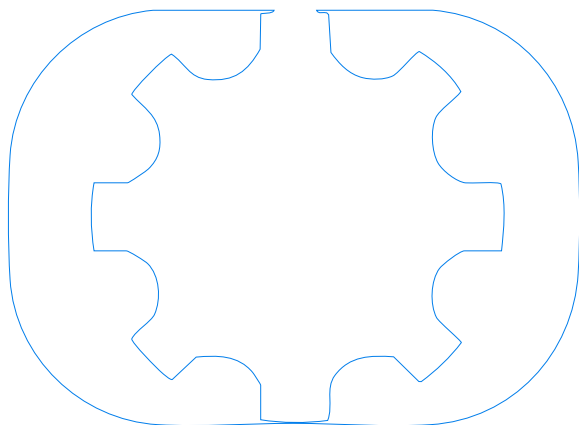
Fundamentos de las instalaciones eléctricas

TECNIO



CARNET INSTALADOR ELECTRICISTA

© Reservados todos los derechos de esta edición para POWEREDUCATION S.L., 2024.



© Reservados todos los derechos de esta edición para POWEREDUCATION S.L., 2024.

Queda rigurosamente prohibida cualquier forma de reproducción, distribución comunicación pública o transformación total o parcial de esta obra sin el permiso escrito de los titulares de los derechos de explotación.

Índice

1. Fundamentos eléctricos.....	1
1.1 Corriente eléctrica.....	1
1.2. Conductores, aislantes y semiconductores	2
1.3. Tipos de corriente eléctrica	3
1.4. Circuito eléctrico.....	5
1.5. Magnitudes del circuito eléctrico	7
1.5.1. Tensión eléctrica.....	7
1.5.2. Intensidad de corriente eléctrica	8
1.5.3. Resistencia eléctrica	9
1.5.4. Resistividad	10
1.5.5. Variación de la resistencia con la temperatura	11
1.5.6. Conductancia eléctrica	12
1.5.7. Conductividad.....	12
1.5.8. Densidad de corriente eléctrica	13
1.6. Ley de ohm	14
1.7. Potencia eléctrica	16
1.8. Energía eléctrica	17
1.9. Efecto Joule	18
1.10. Caída de tensión	20
1.11. Pérdida de potencia	21
1.12. Asociación de resistencias	22
1.12.1. Conexión de resistencias en serie	22
1.12.2. Conexión de resistencias en paralelo	23
1.12.3. Conexión de resistencias en mixto	25
1.13. Condensador eléctrico.....	27
1.13.1. Capacidad de un condensador	28
1.13.2. Agrupamiento de condensadores en serie.....	30
1.13.3. Agrupamiento de condensadores en paralelo.....	31

2. Electromagnetismo	32
2.1. Introducción al magnetismo	32
2.2. Campo magnético	33
2.3. Electromagnetismo	34
2.3.1. Campo magnético producido en un conductor eléctrico	34
2.3.2. Campo magnético producido en una espira	36
2.3.3. Campo magnético producido en una bobina	36
2.4. Magnitudes del circuito magnético	37
2.4.1. Flujo magnético	38
2.4.2. Inducción magnética	38
2.4.3. Fuerza magnetomotriz	39
2.4.4. Intensidad de campo magnético	39
2.4.5. Reluctancia	40
2.4.6. Permeabilidad magnética	40
2.5. Histéresis magnética	42
3. Corriente alterna monofásica	44
3.1. Conceptos trigonométricos	44
3.2. Conceptos sobre vectores	45
3.3. Inducción electromagnética. Ley de Faraday y Lenz	45
3.3.1. Ley de inducción de Faraday	45
3.3.2. Ley Lenz	46
3.4. Producción de una corriente alterna.	46
3.5. Valores de referencia de una onda senoidal	48
3.6. Valor eficaz de la tensión y la intensidad	49
3.7. Representación vectorial de tensión e intensidad (fasores). Angulo de desfase	49
3.8. Circuitos de corriente alterna monofásica	52
3.8.1. Circuito resistivo puro	52
3.8.2. Circuito inductivo puro	53
3.8.3. Circuito capacitivo puro	54
3.9. Circuito RLC	56

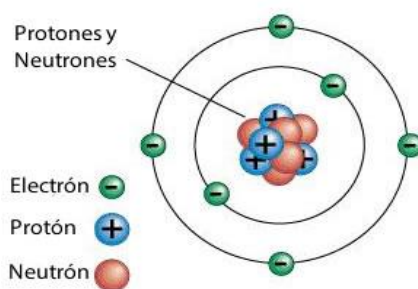
3.10. Potencia en corriente alterna monofásica	58
3.10.1. Potencia activa (P)	59
3.10.2. Potencia reactiva (Q)	59
3.10.3. Potencia aparente (S)	60
3.10.4. Factor de potencia ($\cos \varphi$)	61
3.10.5. Triangulo de potencias.....	61
3.10.6. Potencia total de un circuito.....	62
 4. Corriente alterna trifásica.....	64
4.1. Generador trifásico	64
4.2.1. Generador trifásico conectado en estrella.....	65
4.2.2. Generador trifásico conectado en triángulo	66
4.2. Conexión de receptores trifásicos	66
4.2.1. Carga trifásica conectada en estrella.....	66
4.2.2. Carga trifásica en triángulo	67
4.3. Potencias de una carga trifásica	68
 5. Compensación del factor de potencia.....	69
5.1. Introducción	69
5.2. Cálculo de la potencia reactiva de la compensación del factor de potencia	70
5.2.1. Circuito monofásico	71
5.2.2. Circuito trifásico	72
5.3. Forma de compensación de la energía reactiva (REBT ITC-BT 43).....	73
5.3.1. Compensación individual (por cada receptor)	74
5.3.2. Compensación por grupo (por grupo de receptores).....	74
5.3.3. Compensación global (por la totalidad de la instalación)	75
5.4. Cálculo del factor de potencia de una instalación	76
5.4.1. Mediante medida.....	76
5.4.2. Mediante la lectura de los contadores de energía.....	76

Conceptos básicos de electrotecnia (I)

1. Fundamentos eléctricos

1.1 Corriente eléctrica

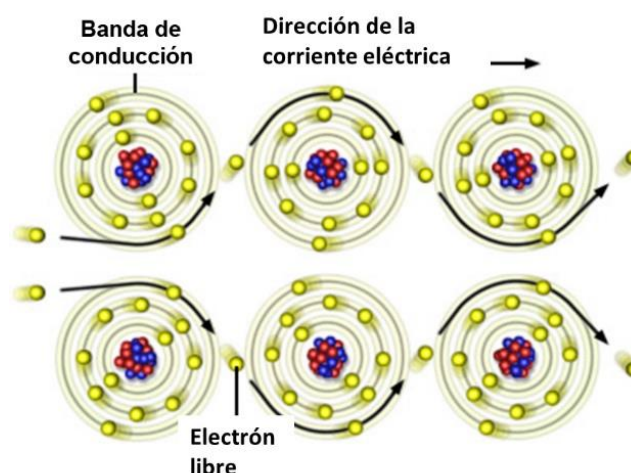
Los átomos están formados por un conjunto de partículas, que son los electrones, los protones y los neutrones. Los protones y neutrones se encontrarían en el centro del átomo formando el núcleo y los electrones estarían orbitando alrededor de éste. El electrón posee una carga eléctrica negativa, mientras que el protón tiene la misma carga eléctrica, pero con signo positivo. El neutrón no tiene carga eléctrica.



Decimos que un material es eléctricamente neutro cuando el número de electrones que giran alrededor del núcleo es igual al número de protones contenidos en él. Por ejemplo, el silicio (Si) posee 14 protones (p^+) en el núcleo y 14 electrones (e^-) orbitando alrededor de él. En consecuencia, al no presentar descompensación de carga, es un material eléctricamente neutro.

Los electrones se distribuyen alrededor del núcleo a diferentes niveles o capas. El número de electrones de la última capa es determinante para comprender las características que diferencian a los materiales conductores, aislantes y semiconductores.

Cuando la última capa del átomo no está completa, algunos electrones pueden pasar libremente de un átomo a otro para intentar completar la capa del otro átomo. Este desplazamiento de electrones se da en los conductores y es a lo que se denomina corriente eléctrica. Sin embargo, cuando la última capa del átomo está completa, no hay movilidad de los electrones y esto sucede en los materiales aislantes.



Desplazamiento de electrones en un material conductor

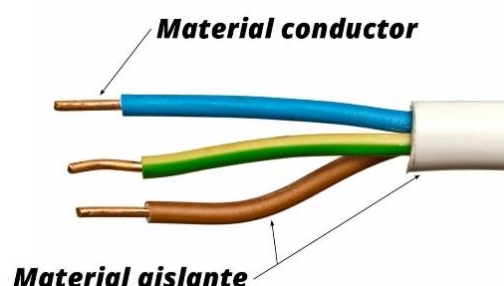
1.2. Conductores, aislantes y semiconductores

Conductores:

Los materiales cuyos átomos de su última capa tengan entre uno y tres electrones tienden a desprenderse de ellos, puesto que el coste energético necesario para liberarlos es mucho menor que el necesario para completar la capa. Por ejemplo, el cobre solamente posee un electrón en su última capa y, por lo tanto, necesita muy poca energía para desprenderse de él. La tendencia natural a ceder este electrón hace que el cobre sea un material buen conductor de la electricidad.

Los metales, en general, son buenos conductores de la electricidad porque se requiere muy poca energía externa para hacer que los electrones de su última capa abandonen esta órbita.

Ejemplos de metales conductores: oro (Au), plata (Ag), cobre (Cu), aluminio (Al) y hierro (Fe).



Aislantes

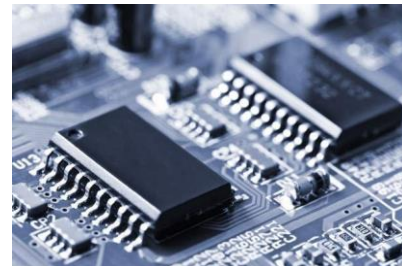
Los materiales aislantes se caracterizan por disponer de un número de electrones en su última capa comprendido entre cinco y siete. En esta situación, el coste energético para completar esta capa con ocho electrones es menor que el que supone desprenderse de ellos. Por lo tanto, un material aislante presenta una elevada oposición a la circulación de electrones, debido a que cualquier electrón libre existente en el entorno próximo de un átomo es "atrapado" por éste.

Son aislantes naturales el aire seco, el aceite mineral, el vidrio, la porcelana, la mica, etc., y artificiales el cloruro de polivinilo (PVC), polietileno reticulado (XLPE), etc.

Semiconductores

Cuando un material contiene cuatro electrones en su última capa recibe el nombre de semiconductor. En estos materiales el coste energético que supone desprenderse de los electrones es idéntico al necesario para completar la capa con ocho electrones.

Aunque los materiales semiconductores puros tienen poca utilidad práctica, cuando se modifica su conductividad son muy utilizados en la fabricación de dispositivos electrónicos. Ejemplos de semiconductores son el silicio (Si) y el germanio (Ge).

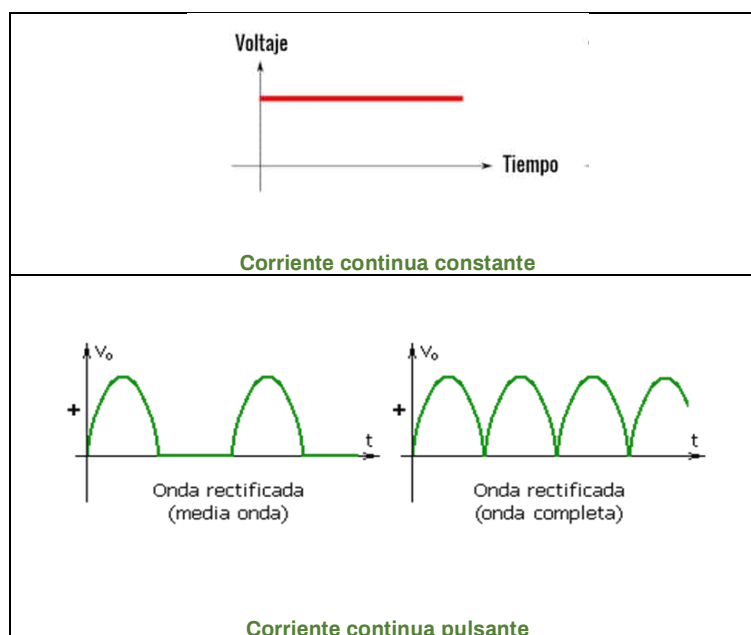


1.3. Tipos de corriente eléctrica

Se llama corriente eléctrica al desplazamiento de los electrones a través de un conductor. Este desplazamiento se da desde un cuerpo con carga negativa hasta un cuerpo con carga positiva. La corriente eléctrica puede dividirse en dos grandes grupos:

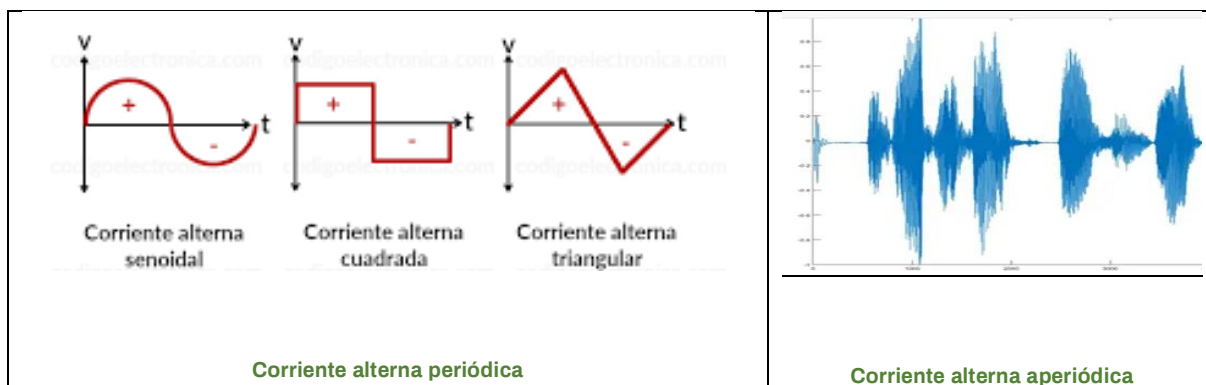
Corriente continua, que mantiene la polaridad a lo largo del tiempo, es decir, los electrones se mueven siempre en el mismo sentido. Puede ser:

- Corriente continua constante: Cuando el valor instantáneo no varía con el tiempo; habitualmente, la corriente continua es de este tipo.
- Corriente continua variable o pulsante, cuyo valor instantáneo varía a lo largo del tiempo. Normalmente surge de la rectificación o el filtrado de la corriente alterna.



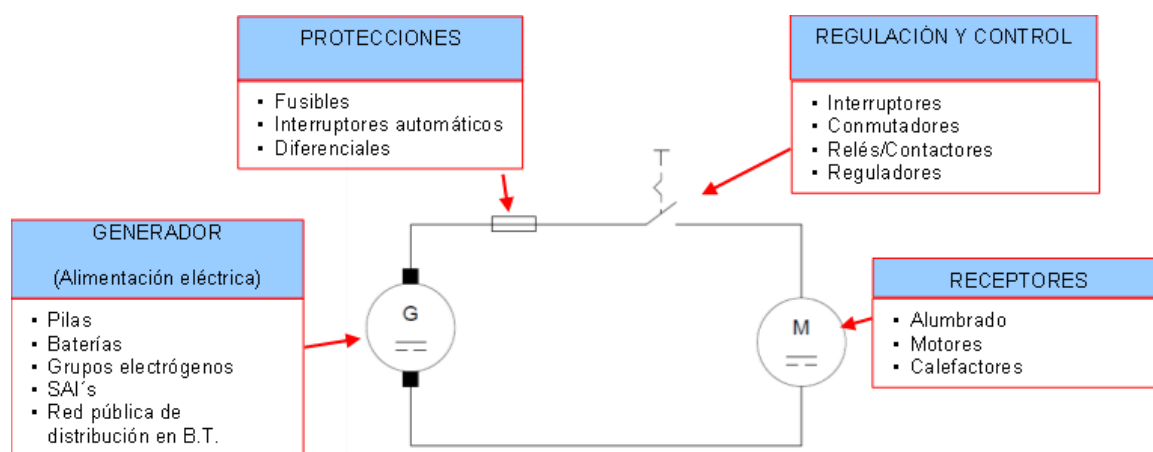
Corriente alternativa o alterna, que sufre cambios de polaridad y de valor instantáneo a lo largo del tiempo, es decir, los electrones se mueven por el conductor en un sentido y en el contrario. Puede ser:

- Corriente alterna periódica, cuando la variación de su valor instantáneo con el tiempo describe ciclos perfectamente diferenciados. Si los ciclos son de forma senoidal se denomina corriente alterna. Es la que se utiliza normalmente en las instalaciones eléctricas.
- Corriente alterna aperiódica, cuando la variación de su valor instantáneo a lo largo del tiempo produce cambios de polaridad, pero no describe ciclos. Por ejemplo, las señales de comunicación y el ruido eléctrico.

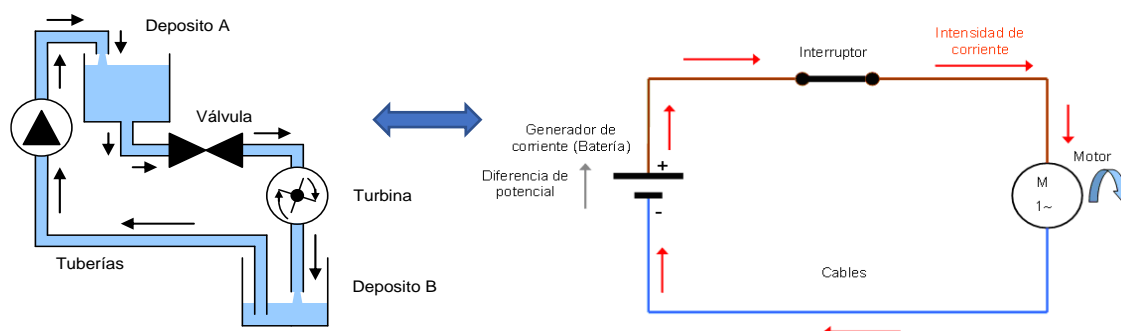


1.4. Circuito eléctrico

El circuito eléctrico es el camino que recorre la corriente eléctrica. Todos los circuitos eléctricos constan básicamente de generador, conductores eléctricos, dispositivos de protección, dispositivos de maniobra y receptores.



Se puede hacer una comparación de un circuito hidráulico y un circuito eléctrico para comprender los elementos y las magnitudes que forman parte del circuito eléctrico:



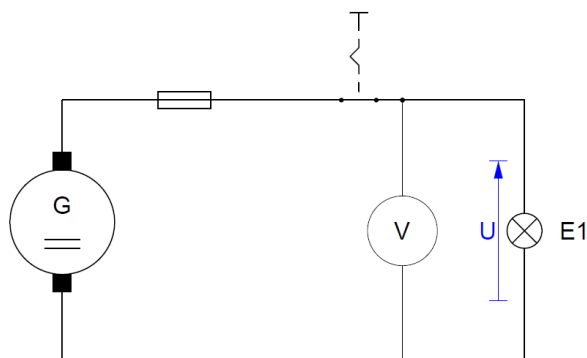
CIRCUITO HIDRÁULICO	CIRCUITO ELÉCTRICO
Bomba hidráulica	Generador
Diferencia de cota	Diferencia de potencial (tensión)
Tuberías	Cables (conductor)
Caudal de agua	Corriente eléctrica
Turbina	Motor
Válvula	Interruptor

- La bomba del circuito hidráulico es la encargada de proporcionar la suficiente presión y fuerza para elevar el líquido desde el depósito B al depósito A. En el caso del circuito eléctrico esta función la realiza el generador que produce la fuerza electromotriz (U) encargada del desplazamiento de los electrones a través de circuito entre el polo negativo y el polo positivo. Esta fuerza electromotriz conocida como f.e.m. tiene unidades de voltio (V) y la podemos medir con el voltímetro.
- La diferencia de cota entre el depósito A y el depósito B nos proporciona una energía potencial que posteriormente transformaremos en energía para mover la turbina. En el circuito eléctrico la diferencia de “nivel de electricidad” sería la tensión U_{ab} (diferencia de potencial) que existe en bornes del receptor. Esta tiene la misma naturaleza que la f.e.m. y por lo tanto su unidad de medida es el voltio (V).
- Las tuberías del circuito hidráulico por donde circula el líquido serían similares a los conductores del circuito eléctrico por donde se desplazan los electrones.
- El caudal de agua que circula por las tuberías del circuito hidráulico es similar a la corriente eléctrica que circula por los conductores. La corriente tiene un sentido establecido por convenio donde la corriente viaja del lado positivo del generador (pila) hasta llegar al polo negativo del mismo. Esta magnitud se define como intensidad de corriente (I) y se puede medir con el amperímetro. Su unidad de medida es el Amperio (A).
- La turbina en el circuito hidráulico se movería por el paso del líquido a través suyo, al igual que movería un motor eléctrico o calentaría una resistencia al paso de la corriente eléctrica.
- La válvula es la encargada de cerrar el paso del líquido por las tuberías en el circuito hidráulico. En el circuito eléctrico, esta función de interrumpir la circulación de los electrones lo hacen los interruptores.

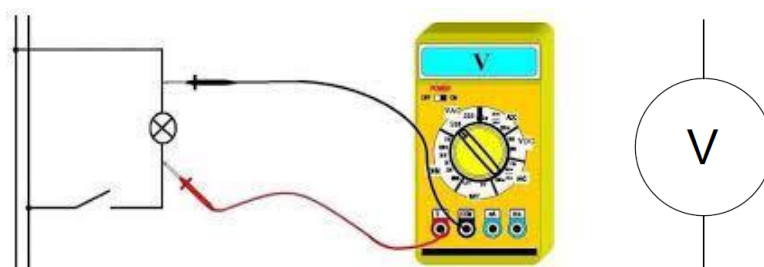
1.5. Magnitudes del circuito eléctrico

1.5.1. Tensión eléctrica

También llamada diferencia de potencial es la diferencia de nivel eléctrico entre dos puntos cualesquiera de un circuito eléctrico. Se representa con la letra U y su unidad es el voltio (V).



La tensión de un circuito eléctrico puede medirse con un voltímetro conectado en paralelo con el circuito.



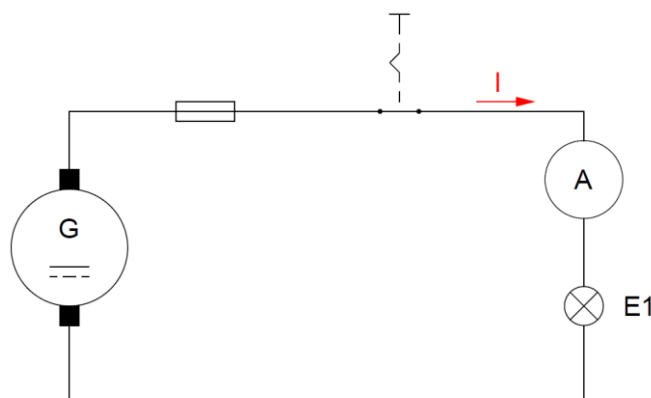
Medida de tensión en la lámpara con un polímetro en la posición de voltios (V)

Múltiplo de voltio: Kilovoltio (kV) = 1.000 V

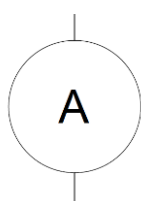
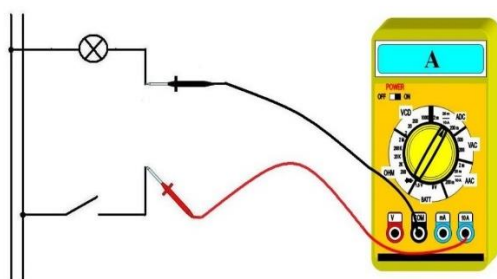
Submúltiplo de voltio: Milivoltio (mV) = $\frac{1}{1.000}$ V

1.5.2. Intensidad de corriente eléctrica

Es el número total de electrones que recorren un conductor eléctrico en un tiempo igual a un segundo. Se representa por la letra I y su unidad es el amperio (A).



La intensidad de corriente de un circuito eléctrico puede medirse con un amperímetro conectado en serie con el circuito o con una pinza amperimétrica.



Medida de intensidad en la lámpara con un polímetro en la posición de amperios (A)



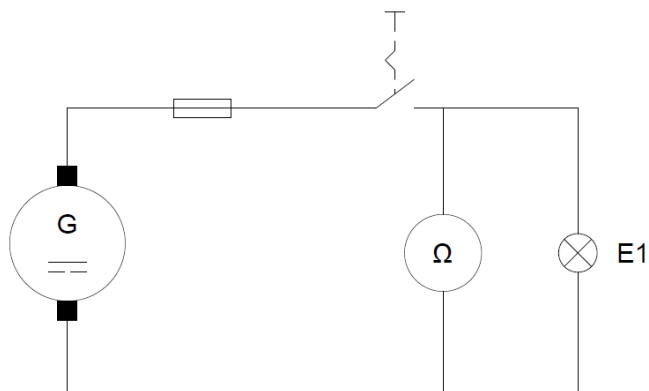
Medida de intensidad con una pinza amperimétrica

Múltiplo de amperio: Kiloamperio (kA) = 1.000 A

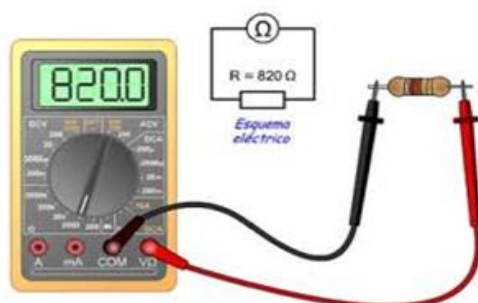
Submúltiplo de amperio: Miliamperio (mA) = $\frac{1}{1.000}$ A

1.5.3. Resistencia eléctrica

Es la mayor o menor dificultad ofrecida por un conductor eléctrico al paso de la corriente eléctrica. Se representa por la letra R y su unidad es el ohmio (Ω).



La resistencia eléctrica puede medirse con un óhmetro conectado en paralelo con el circuito cuya resistencia se desea medir- Para realizar la medida el circuito debe estar sin tensión.



Medida de resistencia con un polímetro en la posición de ohmios (Ω)

Múltiplo de ohmio: $K\Omega = 1.000 \Omega$

Múltiplo de ohmio: $M\Omega = 1.000.000 \Omega$

La resistencia de un conductor eléctrico puede hallarse en función de su longitud, de su sección y de un coeficiente llamado resistividad (ρ) cuyo valor depende de cada material.

$$R = \rho \times \frac{L}{S}$$

- ✓ R = Resistencia en ohmios (Ω)
- ✓ ρ = Resistividad $\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$
- ✓ L = Longitud en metros (m)
- ✓ S = Sección del conductor en mm^2

1.5.4. Resistividad

Se entiende por **RESISTIVIDAD** de un determinado material a la resistencia que tiene un trozo de dicho material de 1 metro de longitud, de 1 mm^2 de sección. Se representa con la letra griega " ρ " (rho) y su unidad es el $\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$

MATERIAL	Resistividad a 20 °C
Cobre	$\rho = 0,018 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$
Aluminio	$\rho = 0,029 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$
Almelec	$\rho = 0,032 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$
Plata	$\rho = 0,017 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$
Hierro	$\rho = 0,13 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$
Zinc	$\rho = 0,061 \Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$

1.5.5. Variación de la resistencia con la temperatura

La resistencia de un material varía con la **TEMPERATURA** de manera que a mayor temperatura mayor es su resistencia. La fórmula que nos da esta variación es:

$$R_f = R_i [1 + \alpha(T_f - T_i)]$$

- ✓ R_f = Resistencia (Ω) a la temperatura final.
- ✓ R_i = Resistencia (Ω) a la temperatura inicial (a 20 °C).
- ✓ α = Coeficiente de temperatura (según el material) en °C⁻¹
- ✓ T_f = Temperatura final (°C).
- ✓ T_i = Temperatura inicial (°C).

Cuando varía la resistencia de un conductor con la temperatura, no varían ni la longitud ni la sección de dicho conductor, luego se puede admitir que lo que varía es la resistividad de dicho conductor. La fórmula dada para la variación de la resistencia con la temperatura puede generalizarse para obtener la variación de la resistividad con la temperatura, sustituyendo R_f y R_i por ρ_f y ρ_i .

$$\rho_f = \rho_i [1 + \alpha(T_f - T_i)]$$

MATERIAL	Coeficiente de temperatura
Cobre	$\alpha = 0,00392 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Aluminio	$\alpha = 0,00403 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Almelec	$\alpha = 0,0036 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Plata	$\alpha = 0,0036 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Hierro	$\alpha = 0,00625 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Zinc	$\alpha = 0,0042 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

1.5.6. Conductancia eléctrica

La conductancia es la magnitud inversa a la resistencia por lo que se define como la mayor o menor facilidad ofrecida por un conductor eléctrico al paso de la corriente eléctrica. Se representa por la letra G y su unidad es el siemens que es el inverso del ohmio.

$$G = \frac{1}{R}$$

- ✓ G = Conductancia en siemens (S)
- ✓ R = Resistencia en ohmios (Ω)

1.5.7. Conductividad.

Se entiende por **CONDUCTIVIDAD** de un determinado material a la inversa de la resistividad. Luego la conductividad tiene unidades de $\frac{m}{\Omega \times mm^2}$. Se representa con la letra γ .

La conductividad de un material, al igual que la resistividad, varía con la temperatura.

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

- ✓ γ = Conductividad en $m/(\Omega \times mm^2)$
- ✓ ρ = Resistividad en $\Omega \times mm^2 / m$

MATERIAL	Conductividad a 20 °C
Cobre	$\gamma = 56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$
Aluminio	$\gamma = 35 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$
Almelec	$\gamma = 31,2 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$
Plata	$\gamma = 59 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$
Hierro	$\gamma = 7,7 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$
Zinc	$\gamma = 16,4 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$

También se podrá calcular la resistencia de un material conociendo el valor de la conductividad, la sección y su longitud, de la siguiente forma:

$$R = \frac{L}{\gamma \times S}$$

- ✓ R = Resistencia en ohmios (Ω).
- ✓ γ = Conductividad en $\text{m}/(\Omega \times \text{mm}^2)$
- ✓ L = Longitud en metros (m)
- ✓ S = Sección del conductor en mm^2

1.5.8. Densidad de corriente eléctrica

Es la intensidad de corriente eléctrica que recorre un conductor por mm^2 de sección. Se representa por δ y su unidad es el A/mm^2 .

$$\delta = \frac{I}{S}$$

- ✓ δ = Densidad de corriente en A/mm^2 .
- ✓ I = Intensidad en amperios (A).
- ✓ S = Sección del conductor en mm^2 .

1.6. Ley de ohm

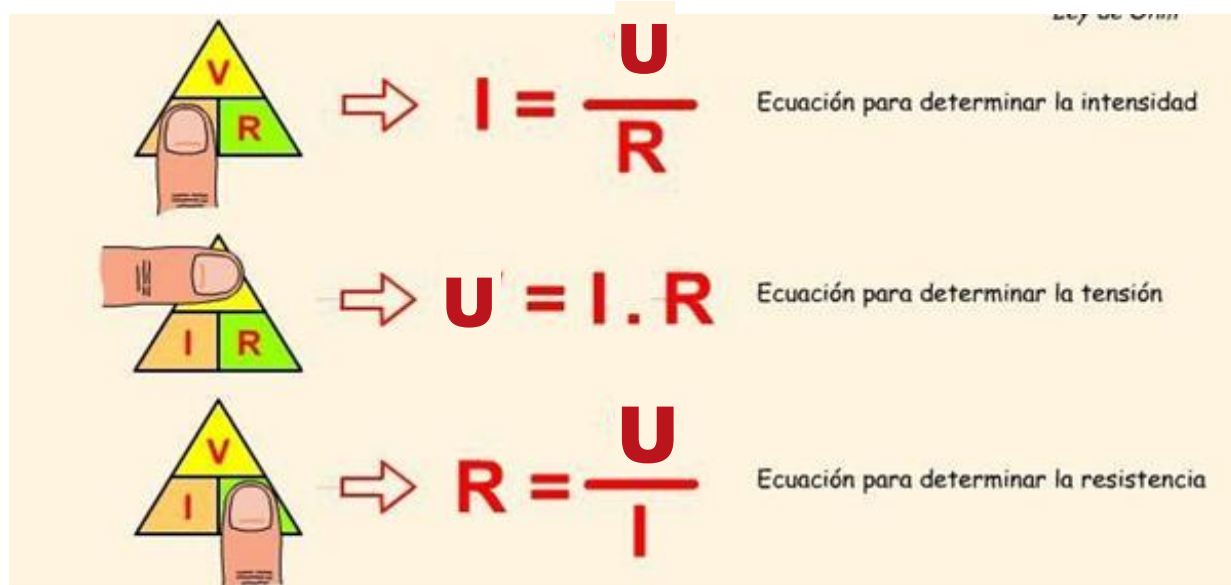
La ley de Ohm dice: la intensidad de la corriente que recorre un circuito eléctrico es directamente proporcional al valor de la tensión e inversamente proporcional al valor de la resistencia de dicho circuito eléctrico. Esto queda reflejado en la siguiente fórmula:

$$I = \frac{U}{R}$$

- ✓ I = Intensidad en amperios (A).
- ✓ U = Tensión en voltios (V).
- ✓ R = Resistencia en ohmios (Ω).

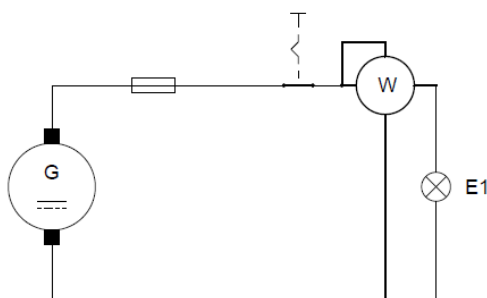


Para recordar la fórmula, tapamos con el dedo la magnitud que queremos conocer (intensidad, tensión o resistencia) y conocemos la fórmula que tenemos que aplicar.

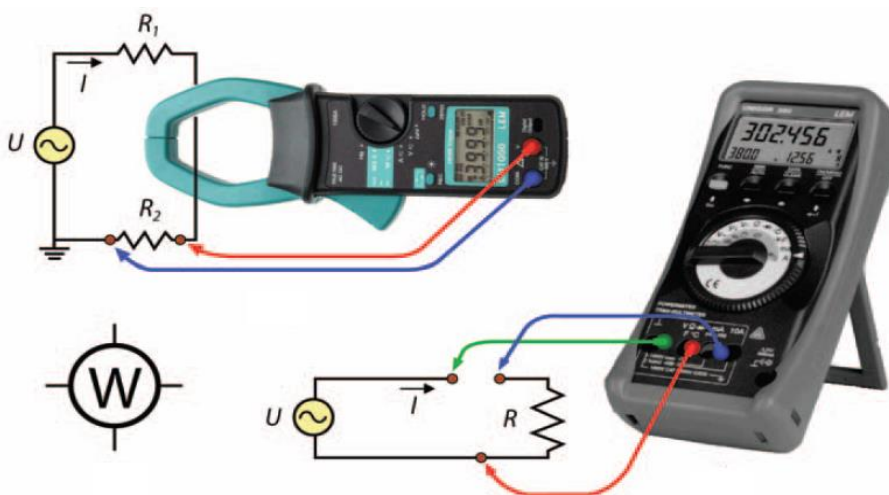


1.7. Potencia eléctrica

Es la cantidad de trabajo desarrollada por un receptor eléctrico en un tiempo igual a un segundo. Se representa por la letra P y su unidad es el vatio (W).



La potencia eléctrica puede medirse con un vatímetro.



La potencia eléctrica en corriente continua puede hallarse en función de la tensión y de la intensidad:

$$P = U \times I$$

- ✓ P = Potencia eléctrica en vatios (W).
- ✓ U = Tensión en voltios (V).
- ✓ I = Intensidad en amperios (A).

Múltiplo de vatio → Kilovatio (kW) = 1.000 W

Múltiplo de vatio → Caballo de vapor (CV) = 736 W

A partir de la expresión analítica de la Ley de Ohm pueden obtenerse nuevas fórmulas para hallar la potencia eléctrica en corriente continua:

$$P = U \times I = U \times \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = U \times I = R \times I \times I = R \times I^2 \rightarrow P = R \times I^2$$

1.8. Energía eléctrica

Es la cantidad de trabajo desarrollado en un tiempo distinto a un segundo. Se representa por la letra E y su unidad es julio que se representa con la letra J.

$$E = P \times t$$

- ✓ E = Energía en Julios
- ✓ P = Potencia eléctrica en W
- ✓ t = Tiempo en segundos

$$1 \text{ julio (J)} = 1 \text{ vatio (W)} \times 1 \text{ segundo (s)}$$

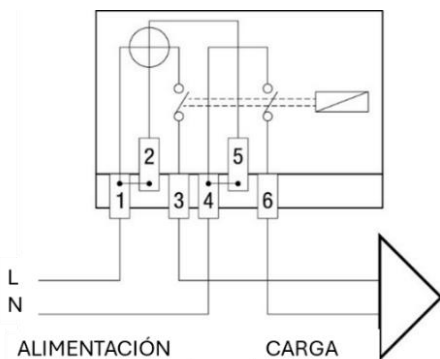
No obstante, el julio es una unidad de valor muy reducido por lo que la unidad de la energía en la práctica es el vatio por hora ($W \times h$).

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ vatio (W)} \times 1 \text{ hora (h)}$$

Un múltiplo muy utilizado es el kilovatio por hora ($kW \times h$). La equivalencia entre kWh y Julios es la siguiente:

$$1 \text{ kW} \times h = 3,6 \times 10^6 \text{ julios (J)}$$

La energía eléctrica (en $kW \times h$) es la magnitud que miden los contadores de energía. Por lo tanto, es el valor empleado por las compañías eléctricas suministradoras para hacer la facturación de la energía.



Esquema de contador monofásico de energía eléctrica



Contador monofásico de energía eléctrica

1.9. Efecto Joule

Es el calentamiento experimentado por un conductor cuando es recorrido por la corriente eléctrica. Hay una equivalencia entre el calor producido en un conductor por efecto Joule y la energía consumida.

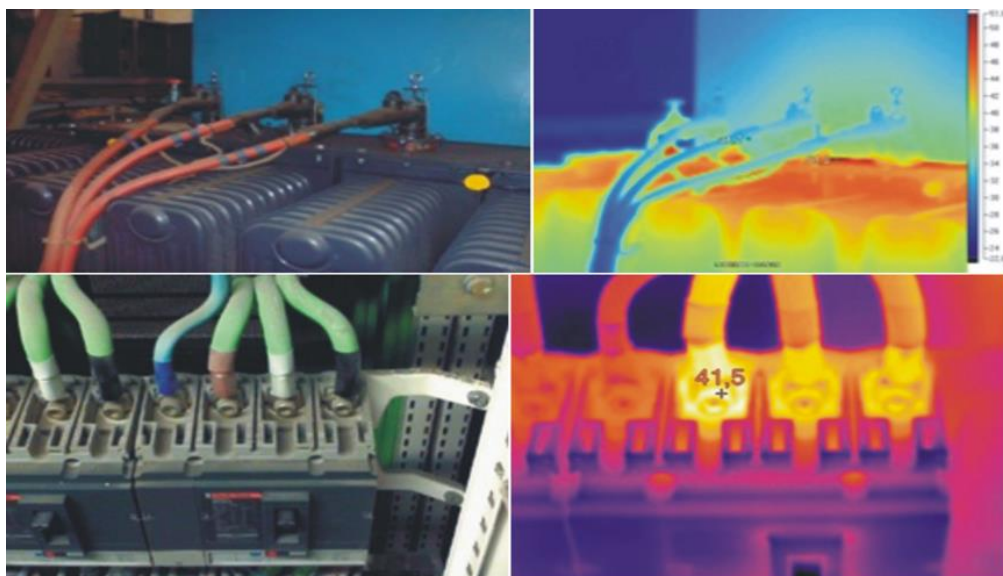
$$1 \text{ julio} = 0,24 \text{ calorías}$$

Por tanto el calentamiento por efecto Joule en calorías (Q) puede conocerse mediante las siguientes expresiones:

$$Q = 0,24 \times E = 0,24 \times U \times I \times t$$

$$Q = 0,24 \times E = 0,24 \times R \times I^2 \times t$$

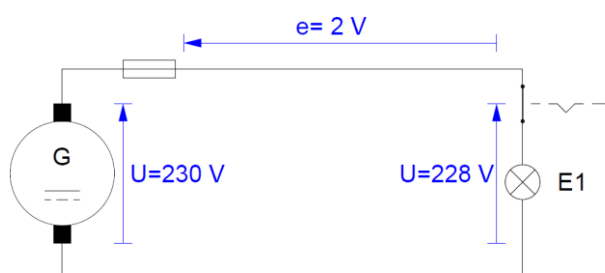
$$Q = 0,24 \times E = 0,24 \times \frac{U^2}{R} \times t$$



Disipación de calor vista con cámara termográfica.

1.10. Caída de tensión

La tensión en el final de un circuito eléctrico (junto al receptor) es siempre menor que en el origen (en la alimentación). Esto es debido a la caída de tensión que se produce por efecto óhmico en los conductores del circuito. Esta pérdida de tensión (caída de tensión) se representa con la letra “e” y su valor es igual a la resistencia de los conductores del circuito multiplicada por la intensidad que circula por el mismo. El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión regula los valores máximos de caída de tensión permitidos en cada tramo de instalación, según el tipo de carga y el tipo de instalación.



$$e = \frac{\rho \times 2 \times L}{S} \times I = \frac{2 \times L \times I}{\gamma \times S}$$

Caída de tensión en función de intensidad de la carga

$$e = \frac{\rho \times 2 \times L \times P}{S \times U} \times I = \frac{2 \times L \times P}{\gamma \times S \times U}$$

Caída de tensión en función de potencia de la carga

- ✓ e = caída de tensión en voltios (V).
- ✓ I = Intensidad en amperios (A).
- ✓ γ = Conductividad en $m/(\Omega \times mm^2)$.
- ✓ ρ = resistividad en $(\Omega \times mm^2)/m$.
- ✓ L = Longitud en metros (m).
- ✓ S = Sección del conductor en mm^2 .
- ✓ Potencia de la carga en vatios (W).
- ✓ Tensión en voltios (V).

1.11. Pérdida de potencia

En un circuito eléctrico se produce una pérdida de potencia en los conductores originada por efecto óhmico. Esta potencia provoca un calentamiento en los conductores. Para hallar el valor de la pérdida de potencia se aplica la fórmula:

$$P_p = R \times I^2$$

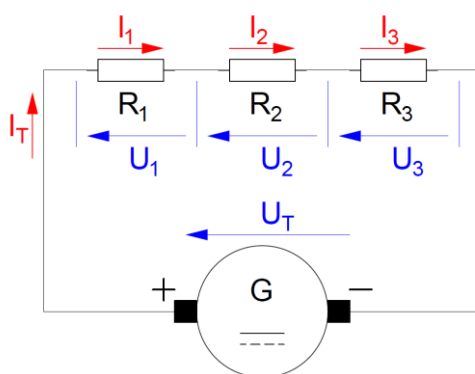
- ✓ P_p = Potencia perdida en vatios (W)
- ✓ R = Resistencia de los conductores en ohmios (Ω)
- ✓ I = Intensidad en amperios (A).

RESUMEN DE MAGNITUDES Y DE SUS UNIDADES		
Magnitud	Representación	Unidad
Tensión	U	Voltio (V)
Cantidad de electricidad	Q	Culombio (C)
Intensidad de corriente	I	Amperio (A)
Densidad de corriente	δ	A/mm^2
Resistencia eléctrica	R	Ohmio (Ω)
Resistividad	ρ	$\Omega \times mm^2/m$
Conductancia	G	Siemens (S)
Conductividad	γ	$m/\Omega \times mm^2$
Potencia	P	Vatio (W)
Energía	E	Kilovatio hora (kW.h)

1.12. Asociación de resistencias

1.12.1. Conexión de resistencias en serie

Se dice que varias resistencias están conectadas en serie cuando está unido el final de una con el principio de la siguiente, el final de ésta con el principio de la siguiente, y así sucesivamente. Es decir cuando está una a continuación de otra.



La resistencia total (R_T) de la asociación de resistencias en serie será la suma de todas las resistencias:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

La intensidad de corriente total del circuito (I_T) será la misma que circula por cada resistencia.

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

La tensión del generador (U_T) será la suma de las caídas de tensión en cada una de las resistencias conectadas en serie.

$$U_T = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Y se cumplirá la ley de Ohm:

$$U_T = R_T \times I_T$$

La potencia total del circuito (P_T) sería la suma de las potencias que consume cada resistencia.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n$$

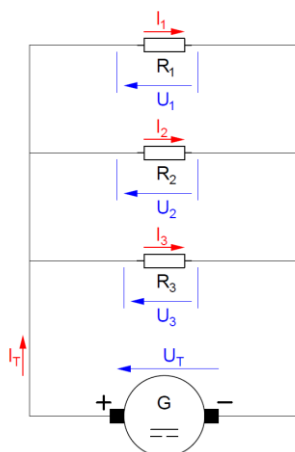
$$P_T = U_T \times I_T$$

$$P_T = R_T \times I_T^2$$

$$P_T = \frac{U_T^2}{R_T}$$

1.12.2. Conexión de resistencias en paralelo

Se dice que varias resistencias están conectadas en paralelo cuando tienen los principios juntos y los finales juntos, conectados al polo positivo y al polo negativo del generador respectivamente.



La resistencia total de un circuito paralelo es menor que la menor de las resistencias conectadas.

La resistencia total del circuito se calcularía de la siguiente forma:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Cuando sólo hay dos resistencias, la resistencia total se puede calcular:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Cuando todas las resistencias son de idéntico valor la resistencia total puede hallarse dividiendo el valor de una de las resistencias entre el número de resistencias:

$$R_T = \frac{R}{\text{Número de resistencias}}$$

La intensidad de corriente total del circuito (I_T) será la suma de las intensidades que circula por cada resistencia.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

La tensión del generador (U_T) será igual que las tensiones en cada una de las resistencias.

$$U_T = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n \dots \dots$$

Y se cumplirá la ley de Ohm:

$$I_T = \frac{U_T}{R_T}$$

La potencia total del circuito (P_T) sería la suma de las potencias que consume cada resistencia.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \dots + P_n$$

$$P_T = U_T \times I_T$$

$$P_T = R_T \times I_T^2$$

$$P_T = \frac{U_T^2}{R_T}$$

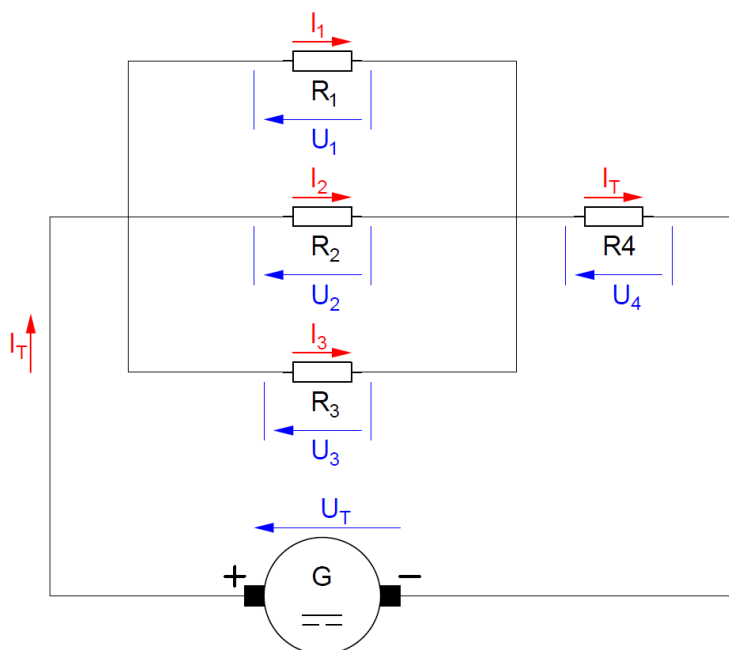
1.12.3. Conexión de resistencias en mixto

Un circuito con resistencias en conexión mixta, es aquel que tiene resistencias conectadas en serie y resistencias conectadas en paralelo. Las características en cada tramo del circuito dependen de la conexión de las resistencias en dicho tramo.

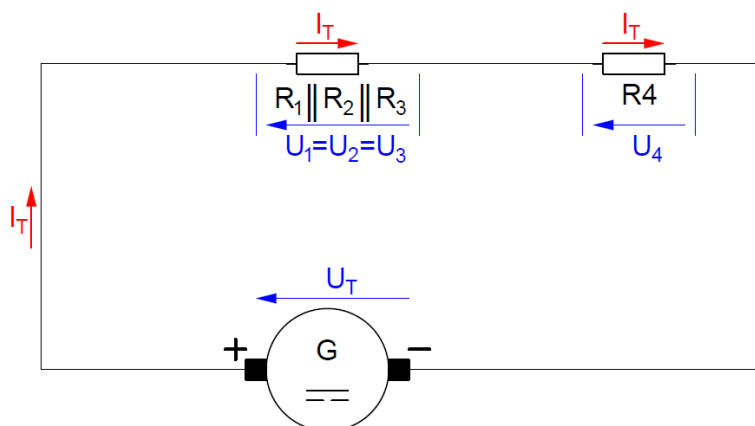
Para la resolución de un circuito mixto se descompone en otros circuitos elementales y a cada uno de estos circuitos elementales se les aplican las normas de los circuitos serie o paralelo, según la conexión que corresponda.

Puede decirse que hay dos tipos de circuitos mixtos:

- ✓ Circuitos paralelo-serie: Primero se resuelven las ramas paralelas y el circuito queda simplificado en uno serie que se resuelve y se obtiene la R_T .

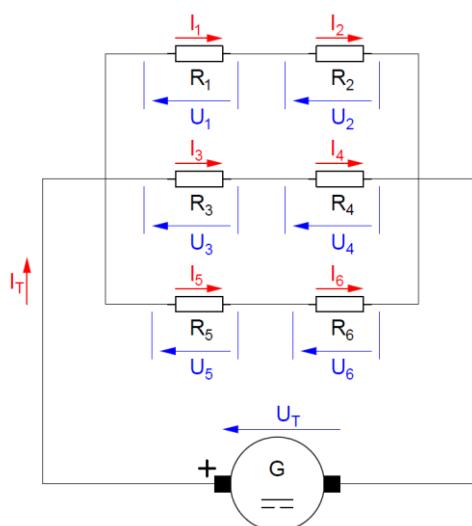


Calculando la resistencia equivalente R_1 , R_2 , R_3 queda simplificado de la siguiente manera:

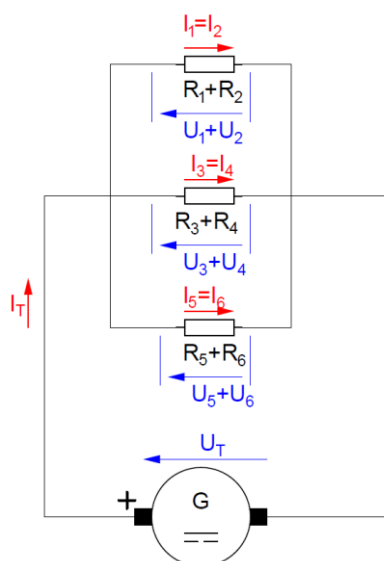


Finalmente se resuelve este circuito serie y se obtiene la R_T .

- ✓ Circuitos serie-paralelo: Primero se resuelven las ramas serie y el circuito queda simplificado en un circuito con resistencias en paralelo.



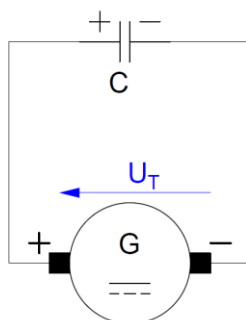
Posteriormente se resuelve el circuito paralelo resultante.



1.13. Condensador eléctrico

Un condensador eléctrico es un elemento pasivo formado por dos superficies conductoras llamadas armaduras separadas por un aislante. La cara de cada armadura que da al aislante recibe el nombre de cara activa y la otra es la cara libre.

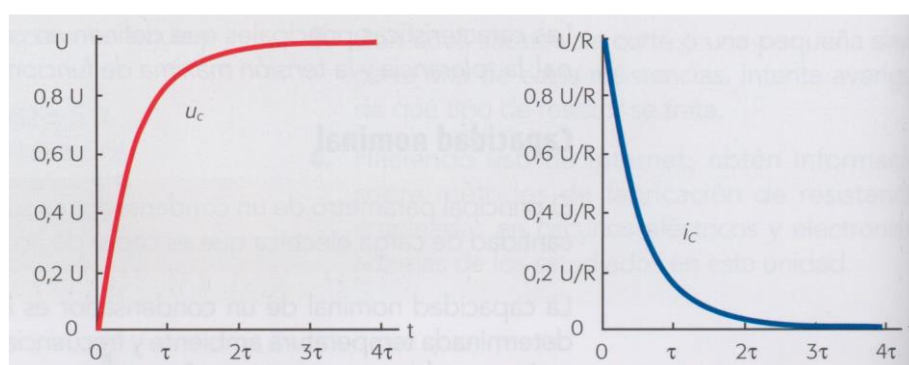
La misión de un condensador es almacenar cargas de energía eléctrica para devolverlas cuando sea necesario.



Cuando un condensador se conecta a una fuente de tensión eléctrica continua se carga hasta que llega al valor de la tensión de la fuente a la que ha sido conectado. Si se aumenta el valor de dicha tensión el condensador inicia una nueva carga hasta este nuevo valor de tensión.

Si un condensador se conecta en serie en un circuito de corriente continua existe una corriente eléctrica hasta que se carga. Una vez cargada dicha corriente eléctrica desaparece y el circuito queda interrumpido. Se deduce que un condensador en corriente continua no es conductor.

CURVA DE CARGA DE UN CONDENSADOR



Tensión en el condensador durante el tiempo Intensidad en el condensador durante el tiempo

Si un condensador se conecta en serie en un circuito de corriente alterna se carga cuando aumenta la tensión (en valor positivo y en valor negativo) y se descarga en los flancos de descenso de dicha tensión. Se deduce que un condensador en corriente alterna es conductor.

1.13.1. Capacidad de un condensador

Se denomina capacidad de un condensador, a la actitud de sus dos placas conductoras para acumular cargas eléctricas. Se representa por la letra C .

La unidad de capacidad es el Faradio (F) que es la capacidad de un condensador para almacenar una cantidad de electricidad de 1 Culombio (C) cuando entre sus armaduras existe una diferencia de potencial de 1 voltio(V).

$$1 \text{ Faradio} = \frac{1 \text{ Culombio}}{1 \text{ Voltio}}$$

El Faradio es una unidad muy grande para las necesidades prácticas, por ello es más habitual el empleo submúltiplos.

Submúltiplo de faradio: Milifaradio (mF) = 10^{-3} F

Submúltiplo de faradio: Microfaradio (μ F) = 10^{-6} F

Submúltiplo de faradio: Nanofaradio (nF) = 10^{-9} F

Submúltiplo de faradio: Picofaradio (pF) = 10^{-12} F

La capacidad de un condensador puede obtenerse mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Desde el punto de vista constructivo la capacidad de un condensador puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{\varepsilon \times S}{36 \times \pi \times e \times 10^5}$$

S = Superficie de las placas en cm^2 .

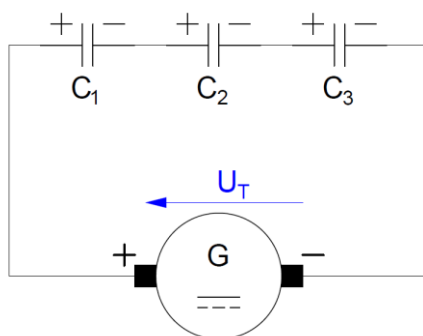
e = Espesor del aislante en cm.

ε = Constante (depende del aislante).

1.13.2. Agrupamiento de condensadores en serie

Al igual que ocurría con las resistencias varios condensadores están agrupados en serie cuando el final de uno está conectado con el principio del siguiente, el final de este con el principio del siguiente, y así sucesivamente.

En el siguiente dibujo puede verse esta conexión:

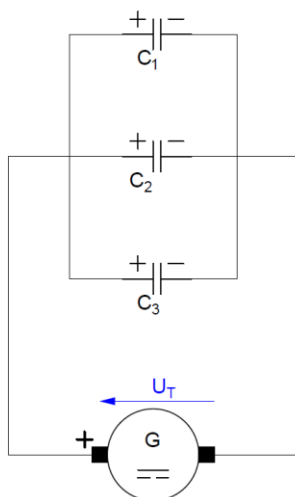


La capacidad total de un circuito serie se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

1.13.3. Agrupamiento de condensadores en paralelo

Varios condensadores están agrupados en paralelo cuando tienen sus principios juntos y sus finales juntos, puede verse esta conexión en el siguiente dibujo:



La capacidad total de un circuito de condensadores conectados en paralelo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

2. Electromagnetismo

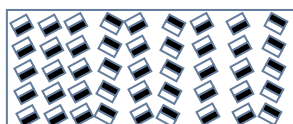
2.1. Introducción al magnetismo

Un imán es una sustancia que tiene la propiedad de atraer elementos de hierro o sus derivados. Puede ser:

- ✓ Natural, cuando tiene la propiedad magnética por naturaleza, por ejemplo, la magnetita.
- ✓ Artificial, cuando ha adquirido la propiedad magnética de forma artificial. Puede ser a su vez:
 - Temporal, si la propiedad magnética existe únicamente mientras actúa la acción imantadora. Se construyen con hierro. Por ejemplo, los electroimanes, que tienen propiedades magnéticas cuando están bajo la influencia de una corriente eléctrica.
 - Permanente, si la propiedad magnética existe también cuando cesa la acción imantadora. Por ejemplo, los imanes de neodimio o de ferrita.

Teoría molecular de los imanes:

Las moléculas magnéticas que forman un trozo de hierro o de acero están constituidos por imanes elementales. Si estos imanes elementales están completamente o parcialmente orientados se crea un imán. Cuando estos imanes están desorientados por completo es porque el trozo de hierro o de acero no ha sido sometido a acción imantadora alguna. Así la teoría molecular de los imanes demuestra que crear un imán es orientar sus moléculas magnéticas.



Moléculas desorientadas



Orientación parcial



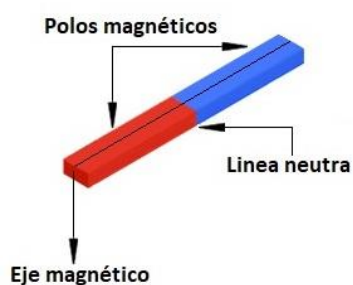
Moléculas orientadas

Un imán es temporal cuando sus moléculas elementales se ordenan y desordenan con facilidad. Un imán es permanente porque a sus moléculas elementales, una vez ordenadas, les cuesta volver a su estado de total desorden inicial debido al rozamiento.

Cuando se crea un imán permanente no vuelve a conseguirse el estado de total desorden de las moléculas ni, aunque cese la causa imantadora. A este orden parcial de las moléculas magnéticas de un material cuando cesa la causa que lo magnetiza se le llama magnetismo remanente.

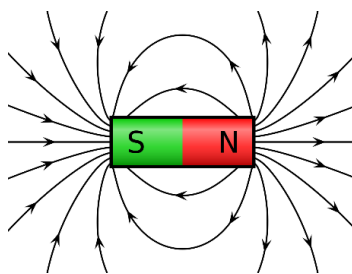
Partes de un imán:

- **Los polos** son los extremos de un imán. Un imán tiene dos polos, uno polo norte y otro sur.
- **Línea neutra** de un imán es la que hay entre los polos, en ella se compensan los efectos magnéticos de dichos polos.
- **El eje magnético** de un imán es la línea que divide longitudinalmente a un imán en dos partes iguales.



2.2. Campo magnético

Se llama campo magnético al espacio hasta donde se hacen patentes los efectos de un imán. El campo magnético provocado por un imán se representa mediante unas líneas llamadas líneas de fuerza. Estas líneas de fuerza se considera que salen por el polo norte del imán, recorren el espacio exterior y vuelven a entrar en el imán por el polo sur.



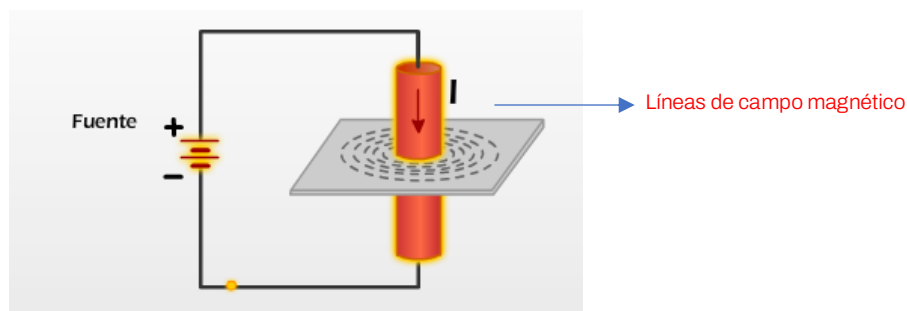
Los polos de un imán del mismo nombre se repelen y los polos de un imán de distinto nombre se atraen.

2.3. Electromagnetismo

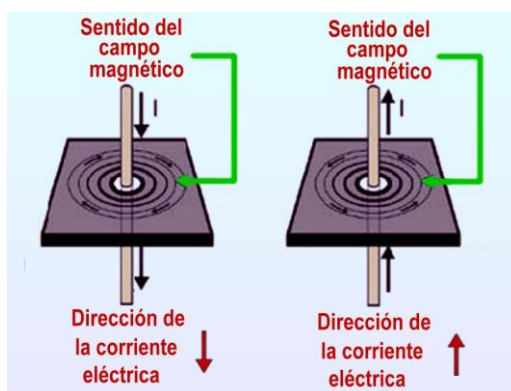
Electromagnetismo es la ciencia que estudia la relación que existe entre los campos magnéticos y la corriente eléctrica.

2.3.1. Campo magnético producido en un conductor eléctrico

Siempre que un conductor es recorrido por la corriente eléctrica aparece a su alrededor un campo magnético en forma de circunferencias concéntricas perpendiculares a dicho conductor.



El valor de la intensidad de este campo magnético en un punto del campo depende del valor de la intensidad de corriente eléctrica que recorre el conductor y de la distancia de dicho punto al conductor.



El sentido de estas líneas de fuerza se obtiene con la llamada regla del sacacorchos o la regla de la mano derecha:

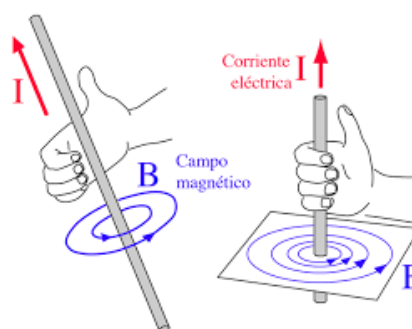
Regla del sacacorchos:

Si se hace girar el sacacorchos de forma que avance en el mismo sentido que la corriente eléctrica, el giro del sacacorchos indica el sentido de giro de las líneas de fuerza alrededor del conductor eléctrico.



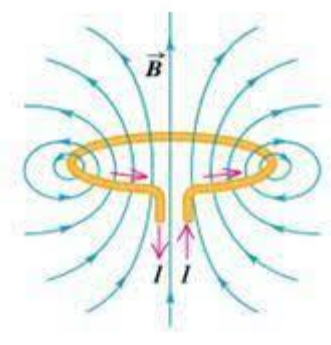
Regla de la mano derecha:

El dedo pulgar apunta en el sentido de la intensidad de corriente y el resto de dedos indican el sentido de giro del campo magnético.



2.3.2. Campo magnético producido en una espira

Una espira es un conductor en forma de anillo. Si se hace circular una corriente eléctrica por una espira surge un campo magnético cuyas líneas de fuerza pasan por el centro de la espira en un mismo sentido. De esta forma la espira puede compararse con un imán con su polo norte y su polo sur.



El valor de la intensidad del campo magnético creado por una espira es más elevado que el de un conductor rectilíneo ya que las líneas de fuerza están más concentradas en el centro de la espira.

El sentido de estas líneas de fuerza viene dado por la regla del sacacorchos que deberá colocarse de forma que su eje esté perpendicular y centrado respecto al plano de la espira. Se hace girar el sacacorchos en el mismo sentido de circulación que la corriente eléctrica en la espira. El sentido de avance del sacacorchos coincide con el sentido de avance de las líneas de fuerza por el centro de la espira.

2.3.3. Campo magnético producido en una bobina

Una bobina es un conductor eléctrico aislado y enrollado sobre un molde constituyendo un determinado número de espiras. Con esta disposición los campos magnéticos de las espiras se suman y el campo magnético resultante es de valor elevado.

El valor de la intensidad de campo magnético depende del valor de la intensidad de corriente eléctrica y del número de espiras de la bobina, según la siguiente fórmula:

$$H = \frac{N \times I}{L}$$

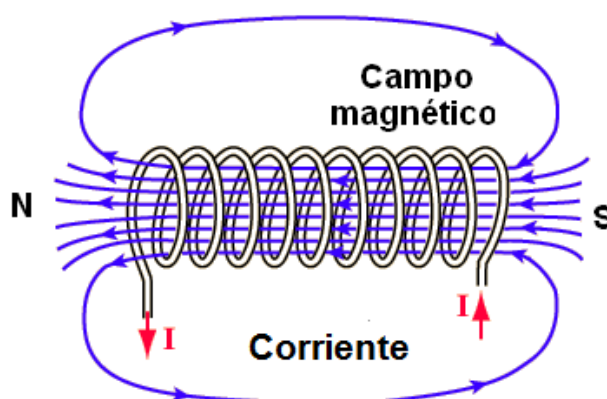
H = Intensidad del campo en un punto (en Av/m).

N = Número de espiras de la bobina.

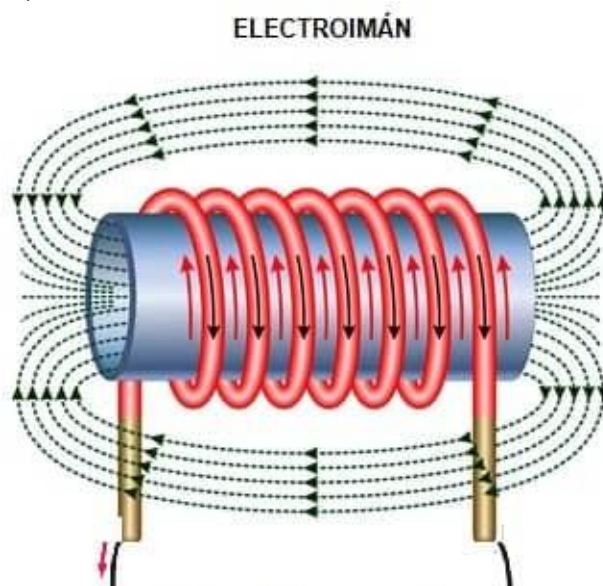
I = Intensidad de corriente eléctrica que recorre el conductor (en A).

L = longitud de la bobina (en m).

Para saber el sentido de las líneas de fuerza se hace girar el sacacorchos el mismo sentido que la corriente en la bobina, el avance del sacacorchos coincide con el sentido de avance de las líneas de fuerza.



En la práctica el campo magnético creado por una bobina se refuerza con la inclusión en su interior de un núcleo de hierro. Este se imanta por la influencia de la bobina y el campo resultante queda reforzado. Al conjunto formado por una bobina con un núcleo de hierro se le llama **electroimán**. Existen distintos tipos de electroimanes según la aplicación.



2.4. Magnitudes del circuito magnético

Al camino recorrido de las líneas de fuerza de un campo magnético se le llama circuito magnético. La principal diferencia entre un circuito eléctrico y un circuito magnético está en que la corriente eléctrica de un circuito eléctrico puede ser interrumpida, ya que el circuito puede estar abierto o cerrado, pero un circuito magnético siempre está cerrado.

2.4.1. Flujo magnético

Se llama flujo magnético al número total de líneas de fuerza que hay en un circuito magnético. Se representa por la letra griega Φ . Sus unidades son:

El weber (Wb) en el sistema internacional.

El maxvelio (Mx) en el sistema CGS.

$$1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ Mx.}$$

2.4.2. Inducción magnética

Se llama inducción magnética a la cantidad de líneas de fuerza que hay en un circuito magnético por unidad de superficie perpendicular a las líneas de fuerza de dicho campo magnético. Se representa por la letra B y sus unidades son:

El Tesla (T) en el sistema internacional.

El Gaus (G) en el sistema CGS

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G.}$$

La siguiente fórmula relaciona el flujo y la inducción:

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

B = Inducción en Teslas (T) o en Gaus (G).

Φ = Flujo en Weber (Wb) o en Maxwell (Mx).

S = Superficie en m² o en cm².

$$1 \text{ Tesla} = \frac{1 \text{ Wb}}{1 \text{ m}^2}$$

2.4.3. Fuerza magnetomotriz

Se llama fuerza magnetomotriz a la causa que mantiene el flujo de líneas de fuerza en el circuito magnético. Se representa con la letra ε y su unidad es el amperio-vuelta (Av).

La fuerza magnetomotriz de una bobina puede hallarse mediante la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = N \times I$$

ε = Fuerza magnetomotriz en amperio.vuelta (Av).

N = Número de espiras de la bobina.

I = intensidad de corriente en amperios (A).

2.4.4. Intensidad de campo magnético

Se entiende por intensidad de campo magnético en un punto a la fuerza con que es atraída o repelida la unidad de masa situada en dicho punto. La intensidad de campo es un parámetro que indica lo intenso que es un campo magnético, se representa mediante la letra H y su unidad es el amperio-vuelta / metro.

En una bobina el valor de la intensidad de campo magnético depende del valor de la intensidad de corriente eléctrica y del número de espiras de la bobina, según la siguiente fórmula:

$$H = \frac{N \times I}{l}$$

H = Intensidad del campo en un punto (en Av/m).

N = Número de espiras de la bobina.

I = Intensidad de corriente eléctrica que recorre el conductor (en A).

L = longitud de la bobina (en m).

2.4.5. Reluctancia

Se llama reluctancia a la mayor o menor resistencia que ofrece un circuito magnético al establecimiento de las líneas de fuerza. Se representa por la letra \mathfrak{R} .

Puede hallarse despejando de la siguiente expresión conocida como Ley de Hopkinson.

$$\Phi = \frac{\varepsilon}{\mathfrak{R}}$$

Φ = Flujo en Weber (Wb).

ε = fuerza magnetomotriz en Av.

\mathfrak{R} = Reluctancia en Av / Wb.

2.4.6. Permeabilidad magnética

Si a una bobina se le introduce un núcleo magnético se incrementa notablemente el campo magnético. Esto se explica porque el núcleo magnético se imanta por la influencia del campo que origina la bobina. De esta manera podemos suponer que en realidad lo que ocurre es que se produce un incremento de las líneas de fuerza del campo magnético por unidad de superficie.

Se da el nombre de permeabilidad magnética a la relación entre el número de líneas de fuerza que atraviesan el núcleo de hierro y el número de líneas de fuerza que recorren el interior de la bobina cuando no hay núcleo de hierro. Se representa por la letra μ y su unidad es el henrio / metro.

$$\mu = \frac{\beta}{H}$$

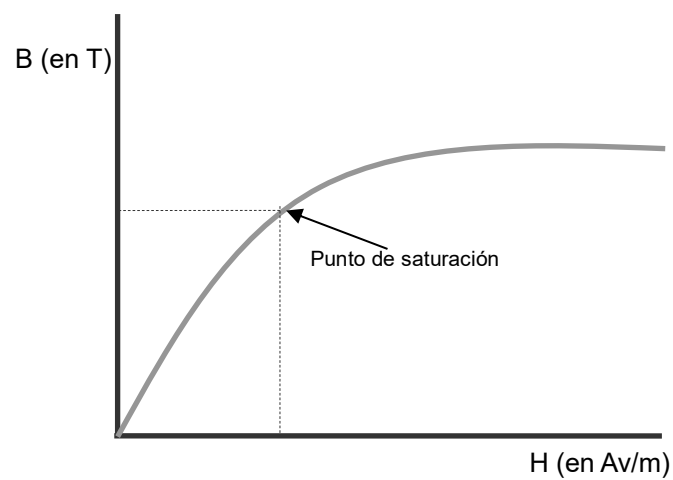
μ = Permeabilidad magnética en H/m.

β = Inducción magnética en Tesla (T).

H = Intensidad de campo en Av / m.

El coeficiente de permeabilidad depende de cada material, por lo tanto, las propiedades magnéticas de un material aumentan con este coeficiente.

Si se somete el conjunto formado por una bobina con un núcleo de hierro a la acción de un campo magnético de intensidad creciente (H), aparece una inducción que también aumenta, pero no de forma constante. En realidad, la inducción crece de forma casi constante hasta que el núcleo magnético se satura. A partir del punto de saturación se necesitan grandes aumentos de la intensidad de campo (H) para lograr pequeños aumentos de la inducción (B).

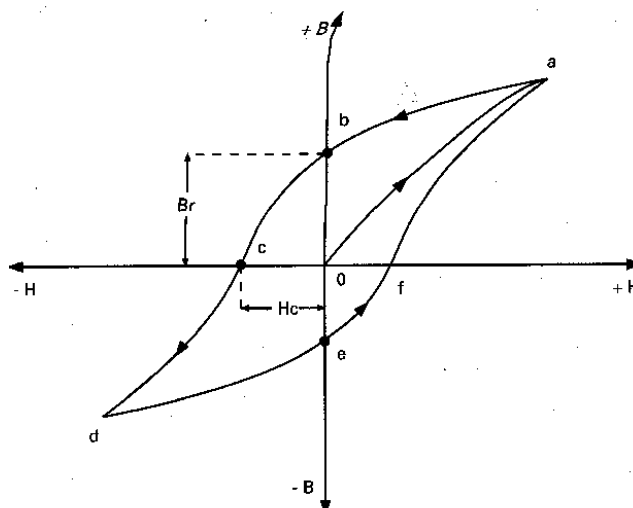


Un núcleo magnético está saturado cuando no es posible conseguir un aumento apreciable del valor de la inducción, aunque se aumente el valor de la intensidad del campo magnético originado por la bobina. Es muy difícil llegar al punto de saturación de un material magnético.

Una sustancia es no magnética cuando no sufre cambios magnéticos, en estas el valor del coeficiente de permeabilidad es igual a la unidad, ejemplos son el aire, el cobre, la mica, el cartón, etc. A una sustancia no magnética introducida en un campo magnético se dice que es un entrehierro.

2.5. Histéresis magnética

Se entiende por histéresis a la propiedad que tienen los materiales magnéticos de mantener cierta imantación cuando ya no existe la causa imantadora. Este fenómeno provoca calentamientos en las máquinas eléctricas y por ello pérdidas de potencia.



Cuando una bobina no es recorrida por una corriente eléctrica el valor de la intensidad de campo (H) es igual a cero y por lo tanto el valor de la inducción (B) es cero. Es el punto **O** de la curva que representa el estado neutro del material magnético.

Si se aumenta el valor de la intensidad de corriente eléctrica en la bobina y con ello el de la intensidad de campo, aumentará el valor de la inducción en el núcleo hasta la saturación. El punto **a** representa el punto de saturación del material magnético.

Si ahora se reduce el valor de la intensidad de corriente eléctrica que recorre la bobina disminuirá igualmente el valor de la intensidad de campo y de la inducción del campo magnético. Pero ocurre que el valor de la inducción en la curva de descenso **ab** no coincide, para un mismo valor de la intensidad del campo, con el valor de la inducción en la curva de ascenso **oa**.

Cuando la intensidad de la corriente eléctrica que recorre la bobina es nula, también lo es la intensidad de campo. En este momento la curva de descenso corta a la recta de coordenadas en el punto **b**, lo que indica que el valor de la inducción no es cero cuando es cero el valor de la intensidad del campo magnético. Ello demuestra que el material conserva cierta imantación llamada **magnetismo remanente**.

Este magnetismo remanente desaparece si se alimenta a la bobina con una intensidad de corriente de distinto signo por lo que la intensidad del campo magnético es de sentido contrario al anterior. En este caso la variación de la inducción está representada por la curva **bcd**, en la que se observa el valor **oc** que es el valor de la intensidad de campo que hace que la inducción quede anulada. A dicho valor se le llama **fuerza coercitiva**.

Llegado el punto **d** de la curva se ha vuelto a saturar el núcleo magnético por lo que se reduce el valor de la intensidad de corriente negativa que alimenta la bobina. La curva **oef** representa este proceso de reducción de la corriente eléctrica en la bobina, donde puede observarse de nuevo el magnetismo remanente **oe**.

Si se restablece el sentido inicial de la corriente eléctrica y con ello el de la intensidad del campo magnético se llega a la curva **efa**, en la que puede observarse de nuevo la fuerza coercitiva de valor **of**.

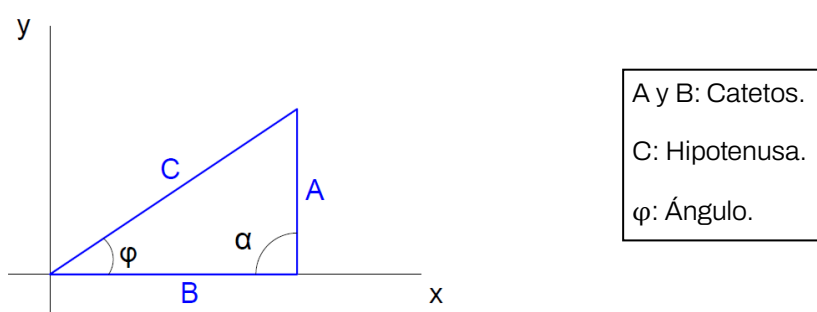
Finalmente la curva vuelve al punto **a** de saturación del núcleo magnético y se dice que se ha recorrido un ciclo magnético.

Los aumentos y reducciones de la intensidad de campo hacen girar a los imanes en uno y otro sentido. El fenómeno que se ha explicado de retraso de la inducción respecto a la intensidad de campo por la histéresis magnética es debido al rozamiento de las moléculas magnéticas entre sí cuando giran. Este rozamiento provoca calentamiento de los núcleos magnéticos y con ello pérdidas de potencia que son proporcionales al área de la curva de histéresis.

3. Corriente alterna monofásica

3.1. Conceptos trigonométricos

Se llama ángulo al espacio comprendido entre dos rectas que se cruzan. Triángulo es el espacio comprendido entre tres rectas que se cruzan. Un triángulo rectángulo es el que tiene dos ángulos agudos y uno recto (véanse en el dibujo el ángulo agudo “ φ ” y el ángulo recto “ α ”).



Los dos lados de un triángulo rectángulo que forman el ángulo recto son llamados catetos (véanse los lados A y B). El otro lado del triángulo es la hipotenusa (véase lado C).

El teorema de Pitágoras permite hallar el valor de uno de los lados de un triángulo rectángulo si se conocen los otros dos lados.

$$A^2 + B^2 = C^2$$

$$\text{Hipotenusa: } C = \sqrt{A^2 + B^2}$$

$$\text{Cateto: } A = \sqrt{C^2 - B^2}$$

$$\text{Cateto: } B = \sqrt{C^2 - A^2}$$

Se llaman razones trigonométricas de un triángulo rectángulo a las siguientes:

$$\text{Sen } \phi = \frac{A}{C} \quad \text{Cos } \phi = \frac{B}{C} \quad \text{Tan } \phi = \frac{A}{B}$$

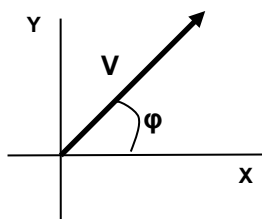
Se llaman relaciones trigonométricas de un triángulo rectángulo a las expresiones:

$$\tan \phi = \frac{\text{Sen } \phi}{\text{Cos } \phi} \qquad \text{Sen}^2 \phi + \text{Cos}^2 \phi = 1$$

3.2. Conceptos sobre vectores

Un vector es un segmento orientado, es decir, una recta finita (con una medida determinada) de la que se conocen la dirección y el sentido. Un vector queda definido por:

- ✓ Módulo (V): Es la distancia entre el punto origen y el extremo del vector.
- ✓ Argumento (ϕ): Es el ángulo que forma el vector con el eje horizontal, considerando positivo el sentido antihorario.



3.3. Inducción electromagnética. Ley de Faraday y Lenz

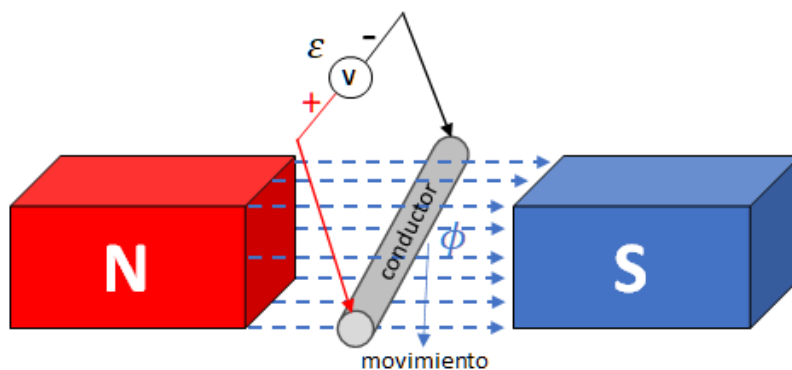
El fenómeno de inducción electromagnética está basado en la fuerza electromotriz que aparece entre los extremos de un conductor eléctrico cuando se mueve dentro de un campo magnético.

3.3.1. Ley de inducción de Faraday

Cuando se varía el flujo magnético en una espira se induce una fuerza electromotriz en sus extremos. Esta variación de flujo puede ser debida a:

- ✓ Que la espira se mueva dentro del campo magnético.
- ✓ Que la espira no se mueva pero que varíe el campo magnético.

Si se cierra el circuito de la espira circulará una corriente eléctrica debido a la tensión inducida.



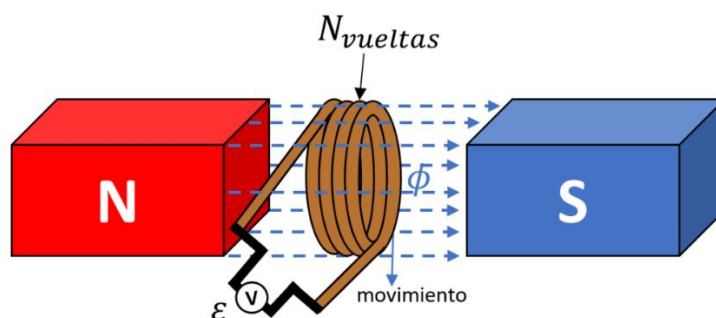
3.3.2. Ley Lenz

La corriente eléctrica inducida que circula por una espira crea un campo magnético que se opone al campo magnético que la originó. La ley de Lenz se enuncia así:

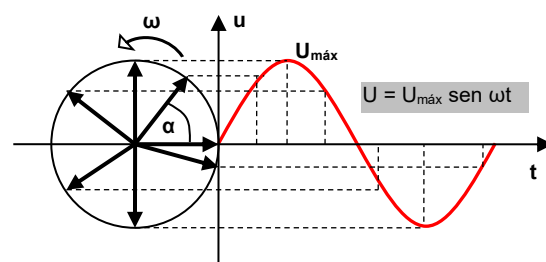
“El sentido de la corriente inducida en un conductor es tal que tiende a oponerse a la causa que la produjo”.

3.4. Producción de una corriente alterna.

Para producir una corriente alterna introducimos un grupo de espiras dentro de un campo magnético. Cuando las espiras giran con una velocidad constante dentro del campo magnético se induce una fuerza electromotriz entre sus extremos según la ley de inducción de Faraday.



El valor de la tensión inducida dependerá de la posición de la espira con respecto a las líneas de fuerza del campo magnético. La representación gráfica del valor de esta tensión inducida a lo largo del tiempo puede verse en la figura y corresponde a una onda senoidal.



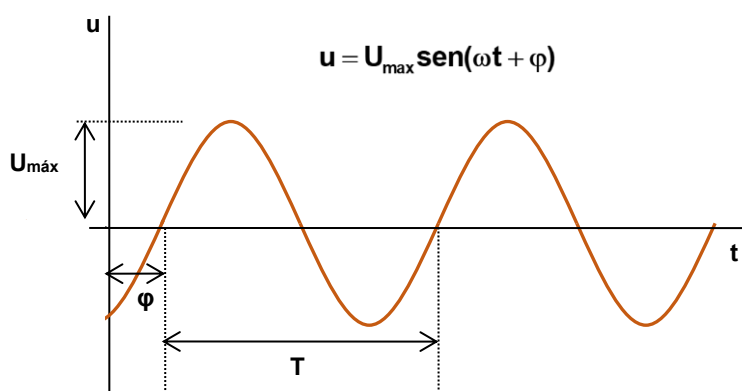
También se puede representar gráficamente la tensión en función del tiempo en un diagrama vectorial donde el vector tiene de módulo la tensión máxima ($U_{\text{máx}}$) y el ángulo respecto al eje horizontal corresponde al ángulo descrito por la espira en un instante determinado.

La tensión obtenida varía en el tiempo, de forma periódica, alterna y senoidal:

- ✓ Periódica porque se repite en el tiempo de manera regular.
- ✓ Alterna porque toma valores positivos y negativos.
- ✓ Senoidal porque describe una función matemática llamada senoide, descrita a continuación.

3.5. Valores de referencia de una onda senoidal

Los valores representativos de una onda senoidal son los siguientes:



U_{\max}	Amplitud máxima	Voltios (V)
f	frecuencia	Hercios (Hz)
T	Periodo	Segundos (s)
ω	Pulsación	(rad/s)

- ✓ **Valor instantáneo (u).** Valor que alcanza la onda senoidal en cada instante.

$$u = U_{\max}$$

- ✓ **Valor máximo (U_{\max}).** Valor máximo que alcanza la onda senoidal a lo largo del tiempo. También se llama amplitud o valor de cresta.
- ✓ **Frecuencia (f).** Es el número de veces que se repite la onda senoidal completa en 1 segundo. Se expresa en Hercios (Hz). La frecuencia utilizada en España es 50 Hz.
- ✓ **Periodo (T).** Tiempo que tarda la onda senoidal en hacer un ciclo completo. Se expresa en segundos. El periodo es la inversa de la frecuencia.

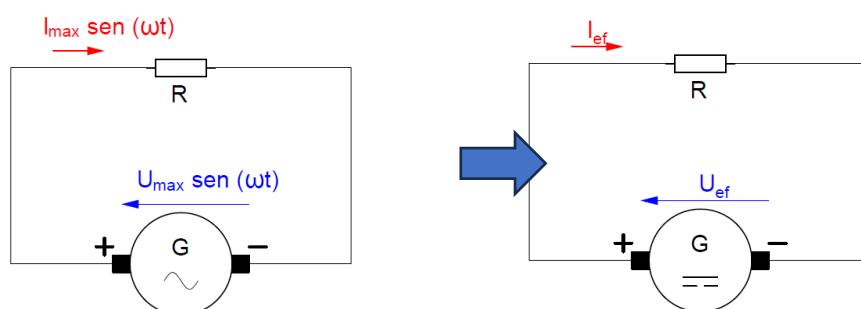
$$T = \frac{1}{f}$$

- ✓ **Pulsación o velocidad angular (ω).** Velocidad a la que gira la onda senoidal expresada en radianes por segundo.

$$\omega = 2 \times \pi \times f$$

✓ **Ángulo de fase inicial (ϕ).** Es el ángulo de la onda senoidal en el instante inicial, es decir, para $t = 0$.

3.6. Valor eficaz de la tensión y la intensidad



Dado que los valores instantáneos de tensión y de intensidad de corriente cambian constantemente a lo largo del tiempo en una corriente alterna, es necesario buscar unos valores intermedios para realizar cálculos y medidas eléctricas. A estos valores se les llama valores eficaces.

El valor de tensión eficaz (U_{ef}) y de intensidad eficaz (I_{ef}) son los valores que trasladados a un circuito de corriente continua, provoca los mismos efectos térmicos que en el circuito de corriente alterna.

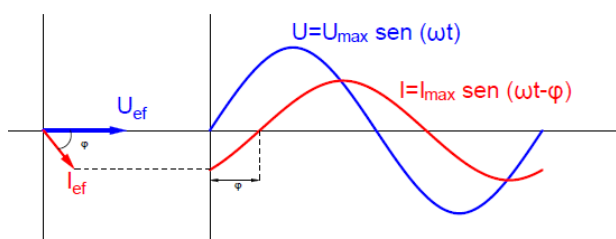
El valor matemático sería:

$$U_{ef} = \frac{U_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \qquad I_{ef} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

3.7. Representación vectorial de tensión e intensidad (fasores). Ángulo de desfase

Se pueden representar vectorialmente los valores de tensión e intensidad de un circuito de corriente alterna de la siguiente forma:

- El módulo será el valor eficaz de la tensión o de la intensidad.
- El argumento será el ángulo de desfase " ϕ " entre tensión e intensidad.



A la representación vectorial de las ondas senoidales de tensión y de intensidad se le llama fasores.

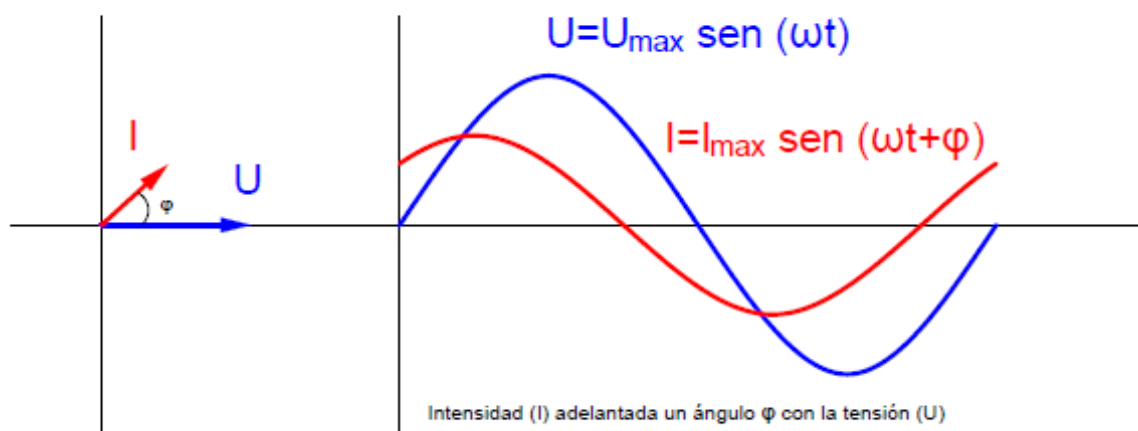
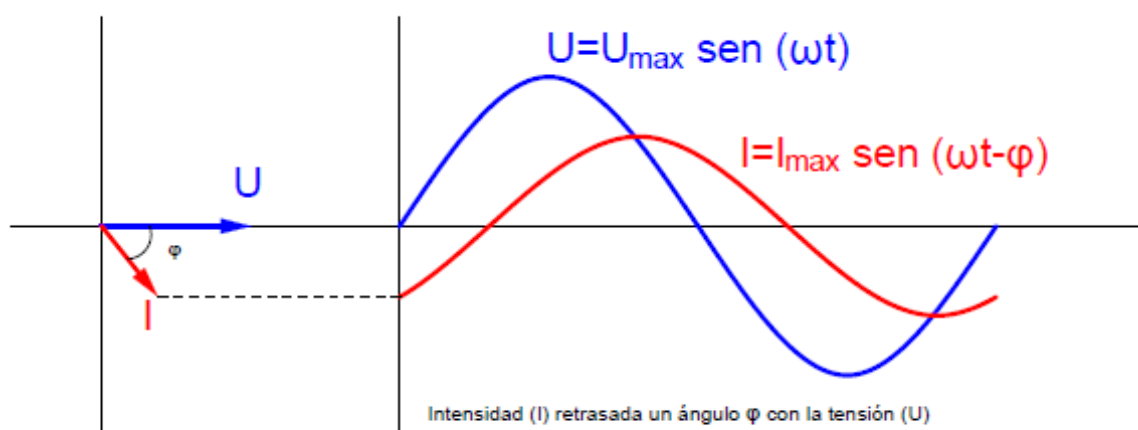
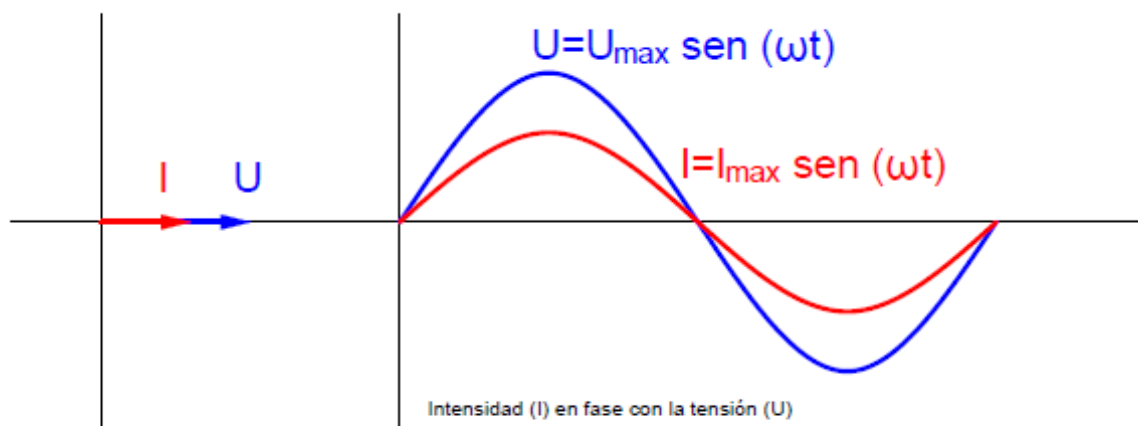
Aunque la tensión y la intensidad de una corriente alterna tienen la misma frecuencia, no necesariamente coinciden en el tiempo. Pueden darse dos casos:

1. Coincidencia de fase, es decir la tensión y la intensidad se hacen cero en el mismo instante (coinciden en el tiempo). Esta situación es típica de los circuitos óhmicos cuyos receptores son resistencias (calefacción, termo ACS, etc.).

2. Diferencia de fase:

Diferencia de fase o desfase, es el tiempo transcurrido entre los pasos por cero de la tensión y de la intensidad. Convencionalmente el desfase se expresa como un ángulo (en radianes o grados sexagesimales) y se representa por φ .

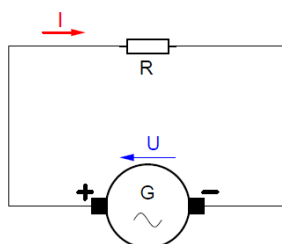
- ✓ La intensidad se retrasa respecto a la tensión. Es decir, la intensidad pasa por cero después de haber pasado la tensión. Esta circunstancia se produce en los circuitos inductivos cuyos receptores son bobinas (motores, transformadores, etc.).
- ✓ La intensidad se adelanta respecto a la tensión. Es decir, la intensidad pasa por cero antes de haber pasado la tensión. Esta situación es producida por la existencia de capacidades en el circuito (condensadores).



3.8. Circuitos de corriente alterna monofásica

3.8.1. Circuito resistivo puro

Es un circuito de corriente alterna en el que el único componente pasivo que se considera es una resistencia. La resistencia se opone al paso de la corriente con un valor R en ohmios.



✓ Intensidad en un circuito resistivo puro:

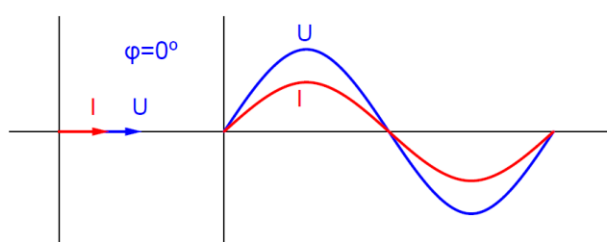
Una resistencia pura se comporta de manera similar en corriente alterna que en corriente continua. En este caso también se cumple la ley de Ohm, pero ahora se aplica con los valores eficaces de tensión e intensidad. Estos valores son los que mediría un voltímetro y un amperímetro, respectivamente.

$$I = \frac{U}{R}$$

U	Tensión	Voltios (V)
I	Intensidad	Amperios (A)
R	Resistencia	Ohmios (Ω)

✓ Desfase de tensión e intensidad en un circuito resistivo puro:

Si aplicamos una tensión que varía de forma senoidal a una resistencia y considerando la ley de Ohm se obtendrá también una variación senoidal en la intensidad. En esta variación de tensión e intensidad se observa que las dos magnitudes alcanzan los valores máximos y mínimos al mismo tiempo. Por lo tanto, se puede decir que la intensidad está en fase con la tensión en un circuito resistivo puro.

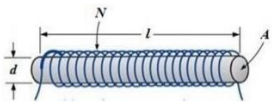


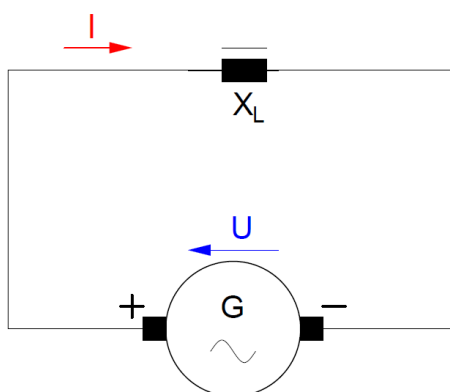
La tensión (U) y la intensidad (I) en un circuito resistivo puro están en fase ($\varphi = 0^\circ$)

3.8.2. Circuito inductivo puro

Es un circuito de corriente alterna en el que el único componente pasivo que se considera es una bobina "L".

Cuando circula una corriente alterna por una bobina aparecerá un campo magnético variable, que provocará una tensión inducida en sus extremos (ley de inducción de Faraday). Esta tensión inducida provocará una corriente de sentido contrario a la corriente por la bobina. Por lo tanto, se puede considerar que la bobina se opone al paso de la corriente por el efecto de los campos magnéticos, con un valor X_L que llamaremos reactancia inductiva y se medirá en ohmios.

$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$	X_L : Reactancia inductiva (Ω) f = frecuencia (Hz). L = Coeficiente de autoinducción (H).
	<p>L: Coeficiente de autoinducción:</p> <p>El coeficiente de autoinducción de una bobina es un valor constante que depende de la geometría de la bobina y de las propiedades magnéticas de los materiales que la componen. Se mide en Henrios (H).</p>



✓ **Intensidad en un circuito inductivo puro:**

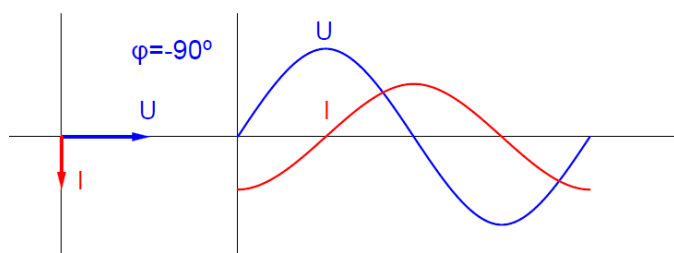
En un circuito de corriente alterna con una bobina pura se cumple la ley de ohm, donde la oposición a la circulación de la corriente eléctrica la ofrece la reactancia inductiva.

$$I = \frac{U}{X_L}$$

U	Tensión	Voltios (V)
I	Intensidad	Amperios (A)
X_L	Reactancia inductiva	Ohmios (Ω)

✓ **Desfase de tensión e intensidad en un circuito inductivo puro:**

Si aplicamos una tensión que varía de forma senoidal a una bobina y considerando la ley de Ohm se obtendrá también una variación senoidal en la intensidad. En esta variación se observa que la intensidad pasa por “cero” cuando la tensión alcanza su valor máximo. Por lo tanto, se puede decir que un circuito inductivo puro la intensidad está retrasada 90° con respecto a la tensión.



La intensidad en un circuito inductivo puro está retrasada 90° con respecto a la tensión ($\varphi = -90^\circ$)

3.8.3. Circuito capacitivo puro

Es un circuito de corriente alterna en el que el único componente pasivo que se considera es un condensador “C”.

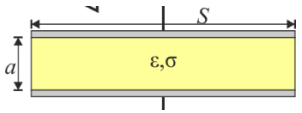
Cuando circula una corriente alterna por un condensador se producirá una carga y descarga de electrones en sus placas dependiendo del valor de la frecuencia de la tensión. Esta variación del campo eléctrico en el condensador provocará una oposición a la circulación de la corriente eléctrica que se llamará reactancia capacitiva X_C y se mide en ohmios.

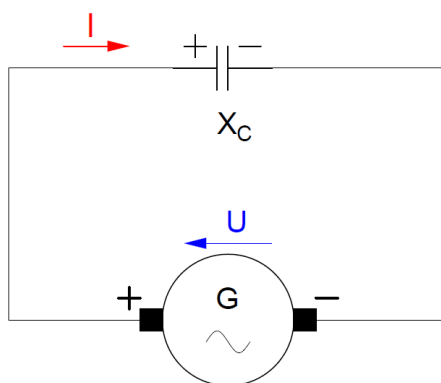
$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}$$

X_C : Reactancia capacitiva (Ω)

f = frecuencia (Hz).

C = Capacidad del condensador (F).

	<p>Capacidad del condensador (C):</p> <p>La capacidad de un condensador es un valor constante que depende de la geometría del condensador. y del dieléctrico utilizado</p> <p>Se mide en faradios (F)</p>
---	---



✓ **Intensidad en un circuito capacitivo puro:**

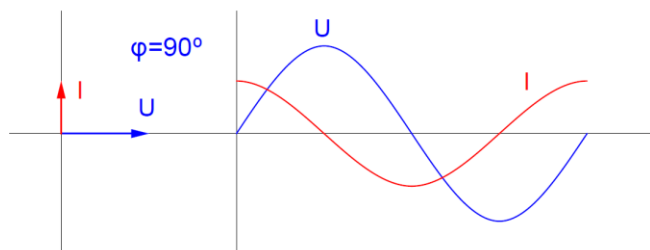
En un circuito de corriente alterna con un condensador puro se cumple la ley de ohm, donde la oposición a la circulación de la corriente eléctrica la ofrece la reactancia capacitiva.

$$I = \frac{U}{X_C}$$

U	Tensión	Voltios (V)
I	Intensidad	Amperios (A)
X_L	Reactancia capacitiva	Ohmios (Ω)

✓ **Desfase de tensión e intensidad en un circuito capacitivo puro:**

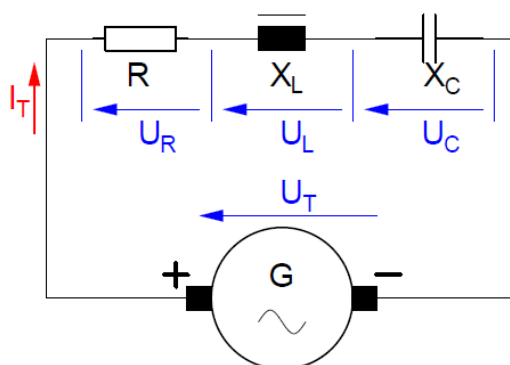
Si aplicamos una tensión que varía de forma senoidal a un condensador y considerando la ley de Ohm se obtendrá también una variación senoidal en la intensidad. En esta variación se observa que la intensidad alcanza su valor máximo cuando la tensión pasa por "cero". Por lo tanto, se puede decir que un circuito capacitivo puro la intensidad está adelantada 90° con respecto a la tensión.



La intensidad en un circuito capacitivo puro está adelantada 90° con respecto a la tensión ($\varphi = 90^\circ$)

3.9. Circuito RLC

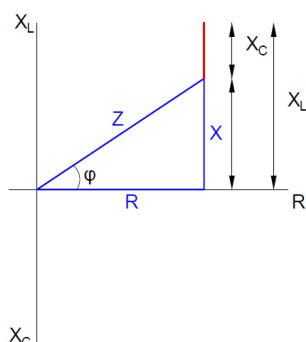
Es un circuito en el que están presentes los tres componentes pasivos, resistencia, bobina y condensador.



- ✓ **Impedancia (Z).** Representa la oposición al paso de la corriente en un circuito de corriente alterna y su unidad es el ohmio (Ω). Es debido a la presencia de resistencias (R), bobinas (X_L) y condensadores (X_C), y su valor es:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

La impedancia de un circuito de corriente alterna se puede representar gráficamente mediante el triángulo de impedancias.

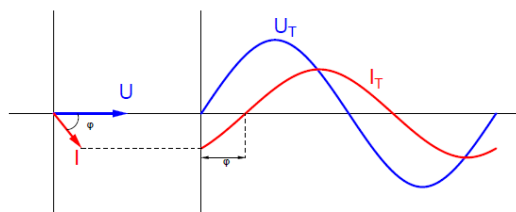


- ✓ **Ángulo de desfase (φ):** Es el ángulo de desfase que habrá entre la tensión y la intensidad en un circuito de corriente alterna. Su valor depende de los valores de los componentes pasivos que existan en el circuito y se calculará de la siguiente forma:

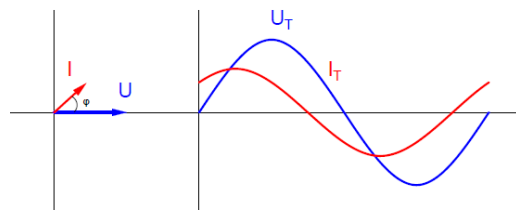
$$\varphi = \text{Tan}^{-1} \frac{(X_L - X_C)}{R}$$

En un circuito RLC, la intensidad podrá estar de una de estas tres formas:

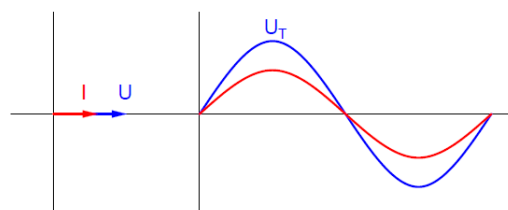
- ✓ *Retrasada un ángulo φ con respecto a la tensión cuando $X_L > X_C$.*



- ✓ *Adelantada un ángulo φ con respecto a la tensión cuando $X_C > X_L$.*



- ✓ En fase con la tensión cuando $X_L = X_C$ (circuito resonante). $\varphi=0^\circ$



- ✓ Intensidad en un circuito RLC:

En un circuito de corriente alterna con resistencias, bobinas y condensadores se cumple la ley de ohm, donde la oposición a la circulación de la corriente eléctrica la ofrece la impedancia, debido a los efectos resistivos, inductivos y/o capacitivos de los componentes pasivos del circuito.

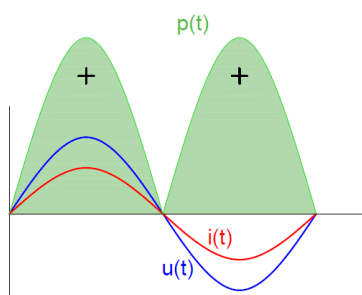
$$I_T = \frac{U_T}{Z}$$

U	Tensión	Voltios (V)
I	Intensidad	Amperios (A)
Z	Impedancia	Ohmios (Ω)

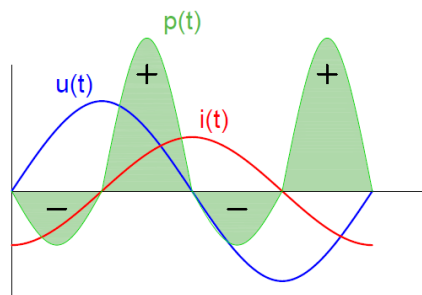
3.10. Potencia en corriente alterna monofásica

La potencia instantánea en un circuito de corriente alterna es el producto de los valores instantáneos de tensión y de intensidad. Este producto se analiza gráficamente en un circuito resistivo (tensión e intensidad en fase) y en un circuito donde la tensión y la intensidad están desfasadas un ángulo " φ ".

$$p(t) = u(t) \times i(t)$$



Coincidencia de fase (tensión e intensidad en fase)



Tensión desfasada con la intensidad

Como se deduce de los gráficos anteriores la potencia instantánea tiene forma también senoidal pero de frecuencia doble que la tensión y la intensidad. La parte positiva de la onda supone una potencia consumida del generador y por lo tanto el receptor desarrolla un trabajo. La parte negativa de la onda es una potencia que la carga “devuelve” al generador y no supone trabajo realizado por el receptor.

Cuando existe un desfase φ la potencia media (la que realiza un trabajo) será menor que en el caso de coincidencia de fase, y cuanto mayor sea el desfase más reducido será el valor de la potencia media.

3.10.1. Potencia activa (P)

Es la que utiliza la carga para producir un trabajo o para transformarse en calor. Supone el valor medio de la potencia instantánea. Se calcula con la siguiente expresión:

$$P = U \times I \times \cos \varphi$$

- ✓ P= Potencia activa en vatios (W).
- ✓ U = Tensión en voltios (V).
- ✓ I = Intensidad en amperios (A).
- ✓ φ = ángulo de desfase entre tensión e intensidad.

El único elemento que consume potencia activa es la resistencia. Por lo tanto, también se podrá calcular la potencia activa de la siguiente forma:

$$P = I^2 \times R$$

La potencia activa se expresa en vatios (W) y se utilizará un vatímetro para medirla.

3.10.2. Potencia reactiva (Q)

Es la que utiliza la bobina para crear el campo magnético y el condensador para cargar sus placas. La potencia reactiva no se consume sino que se está intercambiando entre la bobina o el condensador y el generador en cada semiciclo de onda senoidal. Esta es la explicación del valor negativo de la potencia instantánea representada anteriormente. El intercambio de potencia entre carga y generador hace que haya una corriente extra circulando en un circuito de corriente alterna. Su valor es:

$$Q = U \times I \times \sin \varphi$$

- ✓ Q= Potencia reactiva en voltiamperios reactivos (VAR).
- ✓ U = Tensión en voltios (V).
- ✓ I = Intensidad en amperios (A).
- ✓ φ = ángulo de desfase entre tensión e intensidad.

Los elementos asociados a la potencia reactiva son la bobina y el condensador. Por lo tanto, se podrá calcular también la potencia reactiva de la forma siguiente:

$$Q_L = I^2 \times X_L$$

$$Q_C = I^2 \times X_C$$

La potencia reactiva se expresa en voltiamperios reactivos (VAR) y se utilizará un varímetro para medirla.

La potencia reactiva debida a una bobina tiene signo contrario a la potencia reactiva debida a un condensador. Es decir, que cuando una de ellas está absorbiendo potencia reactiva del generador la otra la está cediendo y viceversa. Por convenio se tendrá:

- ✓ Potencia reactiva debida a una bobina: positiva (+ VAR).
- ✓ Potencia reactiva debida a un condensador: negativa (- VAR).

Por lo tanto, cuando en un circuito hay bobinas y condensadores, la potencia reactiva resultante corresponderá a la diferencia de la potencia reactiva de la bobina y la potencia reactiva del condensador.

$$Q_T = Q_L - Q_C$$

Si el resultado de esta diferencia es positivo, el circuito será inductivo y si el resultado es negativo el circuito será capacitivo.

3.10.3. Potencia aparente (S)

Es la potencia total de un circuito de corriente alterna y se obtiene de la suma geométrica de las potencias activa y reactiva.

La potencia aparente es el producto de la tensión eficaz por la intensidad eficaz en el circuito (como se calcularía en corriente continua). La potencia aparente nos indica el máximo valor de la potencia activa que se podría obtener, es decir, si el "cos φ " fuese 1.

La potencia aparente no es un valor real medible, pero se podrá calcular de la siguiente forma:

$$S = U \times I$$

- ✓ Q= Potencia reactiva en voltiamperios (VA).
- ✓ U = Tensión en voltios (V).
- ✓ I = Intensidad en amperios (A).

Además, sabiendo el valor de la impedancia total del circuito, también se calculará de la siguiente forma:

$$S = I^2 \times Z$$

La potencia aparente se expresa en voltiamperios (VA).

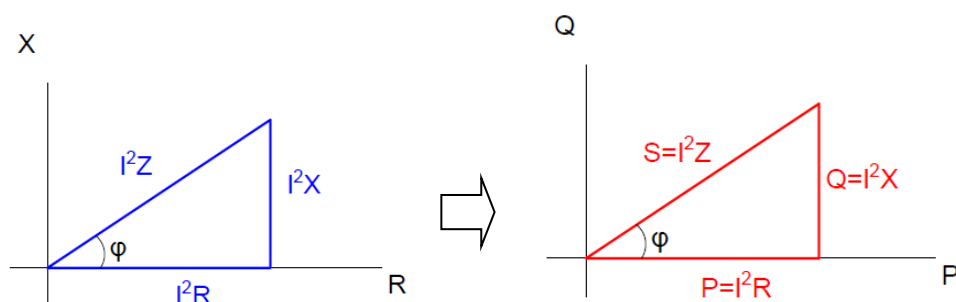
3.10.4. Factor de potencia ($\cos \varphi$)

El factor de potencia indica el valor de desfase entre intensidad y tensión. Es la relación que hay entre la potencia activa y la potencia aparente e indica la cantidad de potencia reactiva que tiene un circuito. Siempre interesará que el $\cos \varphi$ sea lo más próximo posible a la unidad para que no exista potencia reactiva. Su valor es:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

3.10.5. Triángulo de potencias

Relaciona la potencia activa, la potencia reactiva y la potencia aparente mediante una representación gráfica. Si multiplicamos el triángulo de impedancias por I^2 obtendremos un triángulo semejante. Este será el triángulo de potencias.



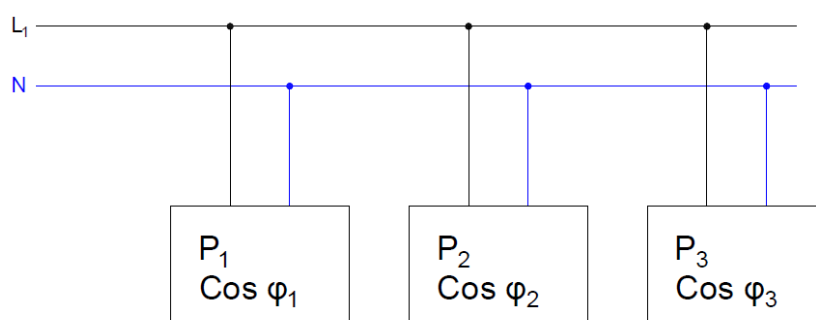
TRIÁNGULO DE POTENCIAS

Para el cálculo de potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente, se pueden utilizar las siguientes expresiones:

$P = U \times I \times \cos \varphi$ $Q = U \times I \times \sin \varphi$ $S = U \times I$	$P = S \times \cos \varphi$ $Q = S \times \sin \varphi$ $Q = P \times \tan \varphi$ $S^2 = P^2 + Q^2$
--	---

3.10.6. Potencia total de un circuito

Cuando en un circuito de corriente alterna existen varias cargas, se podrá calcular la potencia activa total, la potencia reactiva total y como consecuencia de las anteriores una potencia aparente total.

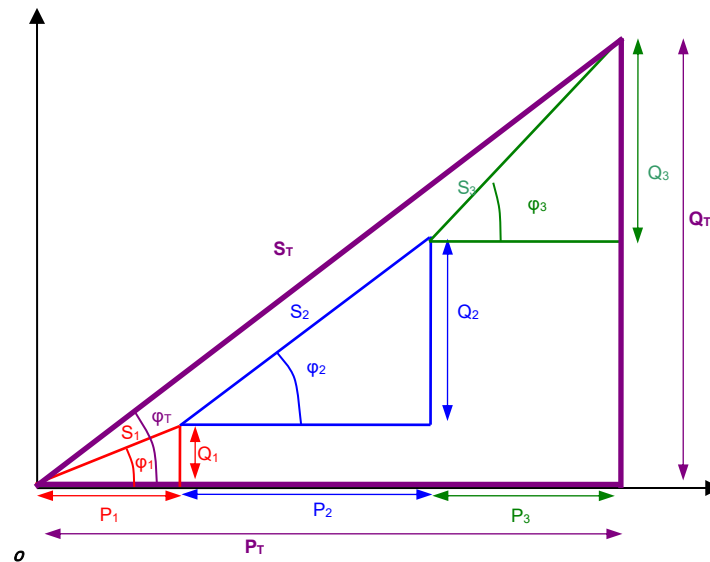


$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$$

En dicho circuito la potencia total puede representarse gráficamente mediante el triángulo de potencias.



El factor de potencia total o medio del circuito será:

$$\cos \varphi_T = \frac{P_T}{S_T}$$

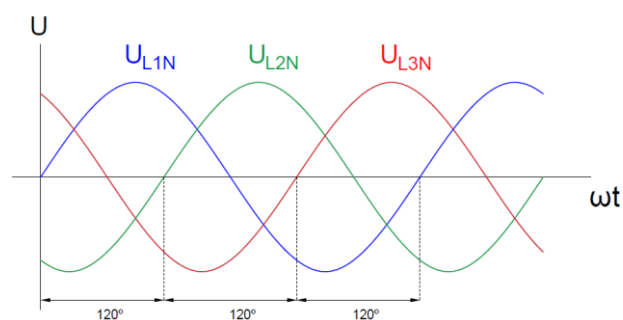
La intensidad total del circuito monofásico será:

$$I_T = \frac{P_T}{V \times \cos \phi_T}$$

4. Corriente alterna trifásica

4.1. Generador trifásico

Lo más característico en un sistema trifásico es que se van a utilizar tres o cuatro hilos (tres fases y un neutro), con lo que se pueden obtener dos valores de tensiones diferentes. En un generador trifásico cada una de estas tensiones formaran un sistema de tres ondas senoidales desfasadas 120° .



Existen dos tipos de conexiones:

- ✓ Conexión estrella.
- ✓ Conexión triángulo.

4.2.1. Generador trifásico conectado en estrella

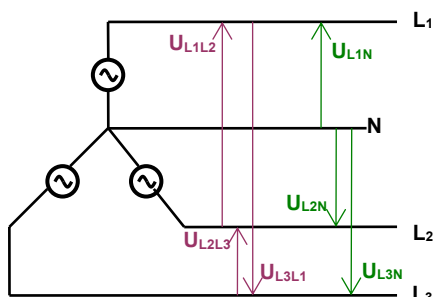
Un generador trifásico conectado en estrella se identifica por tener tres fases (L_1 , L_2 y L_3) y un neutro (N), pudiéndose obtener dos sistemas de tensiones. Cada sistema de tensiones lo forman tres tensiones del mismo valor eficaz desfasadas entre ellas 120° . Estas son:

- ✓ U_L . El sistema de tensiones entre cada una de las fases se denomina tensión de línea, compuesta o tensión entre fases.

$$U_{L1L2} - U_{L2L3} - U_{L3L1}$$

- ✓ U . El sistema de tensiones entre cada una de las fases y el neutro se denomina tensión de fase, simple o tensión entre fase y neutro.

$$U_{L1N} - U_{L2N} - U_{L3N}$$

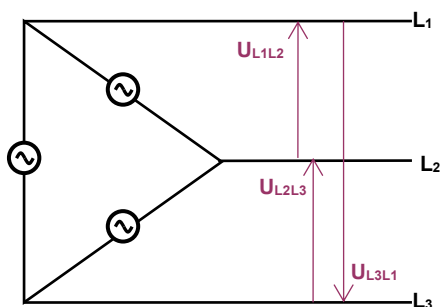


Los dos sistemas de tensiones se relacionan de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

4.2.2. Generador trifásico conectado en triángulo

Un generador trifásico conectado en triángulo se identifica por tener tres fases (L_1 , L_2 y L_3), pudiéndose obtener un solo sistema de tensiones. El sistema de tensiones lo forman tres tensiones del mismo valor eficaz desfasadas entre ellas 120° . Estas son:



U_L . El sistema de tensiones entre cada una de las fases se denomina tensión de línea, compuesta o tensión entre fases.

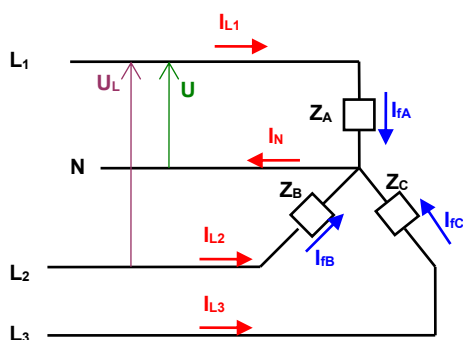
$$U_{L1L2} - U_{L2L3} - U_{L3L1}$$

4.2. Conexión de receptores trifásicos

La conexión de los receptores trifásicos se puede hacer de dos maneras diferentes:

4.2.1. Carga trifásica conectada en estrella

Cada una de las tres impedancias de la carga trifásica está conectada a la tensión simple, es decir, están conectadas entre fase y neutro.



En una carga trifásica conectada en estrella se pueden distinguir dos sistemas de intensidades. Cada sistema de intensidades tiene tres intensidades desfasadas entre ellas 120° . Estas son:

- ✓ I_L . Es la intensidad que circula por cada una de las fases del sistema trifásico. Se denomina intensidad de línea.

$$I_{L1} - I_{L2} - I_{L3}$$

Cuando las impedancias de la carga trifásica son iguales, se dice que el **sistema trifásico está equilibrado**. Entonces se cumple:

- ✓ I_f . Es la intensidad que circulan por cada una de las impedancias de la carga trifásica. Se denomina intensidad de fase.

$$I_{L1} = I_{L2} = I_{L3}$$

$$I_N = 0 \text{ A}$$

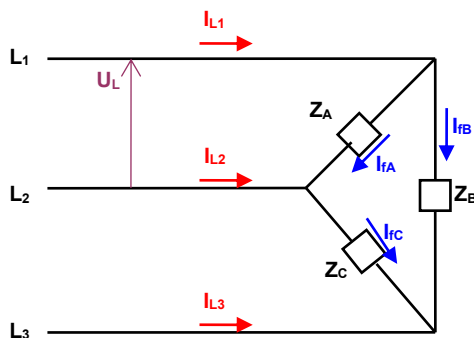
$$I_{fA} - I_{fB} - I_{fC}$$

Los dos sistemas de intensidades se relacionan de la siguiente manera:

$$I_L = I_f$$

4.2.2. Carga trifásica en triángulo

Cada una de las tres impedancias de la carga trifásica está conectada a la tensión compuesta, es decir, están conectadas entre fases.



En una carga trifásica conectada en triángulo se pueden distinguir dos sistemas de intensidades. Cada sistema de intensidades tiene tres intensidades desfasadas entre ellas 120 °. Estas son:

- ✓ I_L . Es la intensidad que circula por cada una de las líneas de fase del sistema trifásico. Se denomina intensidad de línea.

$$I_{L1} - I_{L2} - I_{L3}$$

Cuando cada una de las impedancias de la carga trifásica son iguales, se dice que el **sistema trifásico está equilibrado**. Entonces se cumple:

$$I_{L1} = I_{L2} = I_{L3}$$

- ✓ I_f . Es la intensidad que circula por cada una de las impedancias de la carga trifásica. Se denomina intensidad de fase.

$$I_{fA} - I_{fB} - I_{fC}$$

Los dos sistemas de intensidades se relacionan de la siguiente manera:

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

4.3. Potencias de una carga trifásica

En una carga trifásica, la potencia total consumida por las tres impedancias sería la suma de las potencias consumidas por cada una de ellas. Considerando que la carga trifásica está equilibrada:

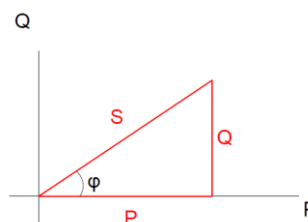
$$\text{Potencia activa: } P = \sqrt{3} \times U_L \times I_L \times \cos \varphi$$

$$\text{Potencia reactiva: } Q = \sqrt{3} \times U_L \times I_L \times \sin \varphi$$

$$\text{Potencia aparente: } S = \sqrt{3} \times U_L \times I_L$$

Relación entre las tres potencias:

$$\begin{array}{l} P = S \times \cos \varphi \\ Q = S \times \sin \varphi \\ Q = P \times \tan \varphi \\ S^2 = P^2 + Q^2 \end{array}$$



TRIÁNGULO DE POTENCIAS

5. Compensación del factor de potencia

5.1. Introducción

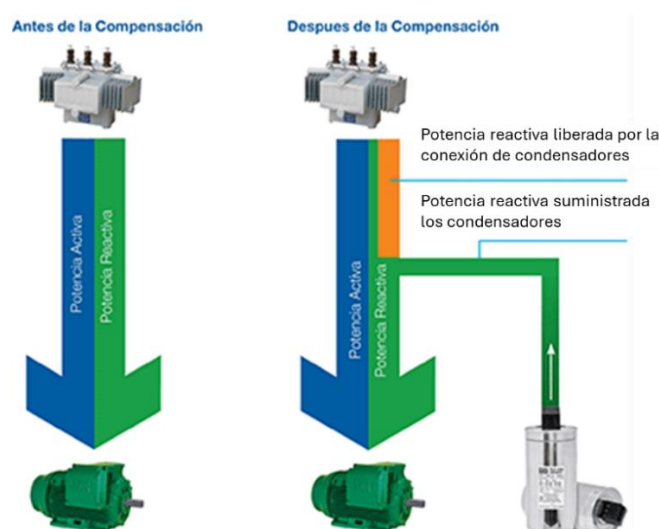
Cuando en un circuito sólo existen resistencias, el factor de potencia es la unidad, toda la potencia es activa y por tanto, la potencia aparente coincide con la potencia activa. Cuando existen bobinas o condensadores el $\cos \varphi$ es distinto de 1 y existe también potencia reactiva.

Generalmente las cargas de las instalaciones son debidas a elementos resistivos (resistencias, calefacción) y a elementos inductivos (motores, transformadores) que crean en la instalación una reactancia inductiva no deseable ya que provocan un aumento de la intensidad de corriente por los conductores.

Debemos observar que, aunque en el receptor sólo se aprovecha la potencia activa (P), las líneas de transporte deben dimensionarse para la potencia aparente (S), que es la que transita por ellas. Esta es la razón principal por la que se trata que todas las instalaciones tengan el $\cos \varphi$ lo más próximo a la unidad.

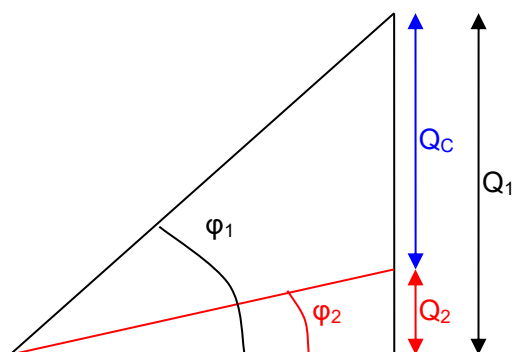
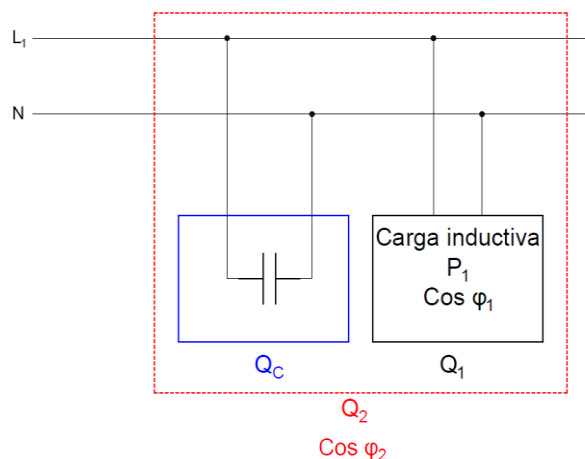
De esta manera se reduce al mínimo la potencia reactiva y se optimiza el rendimiento de las instalaciones.

El procedimiento más sencillo para mejorar el factor de potencia de una instalación y, en consecuencia, el más utilizado consiste en la colocación de condensadores en paralelo que aportan la energía reactiva que precisan los receptores; de este modo se consigue disminuir o incluso anular (técnicamente compensar) la energía reactiva demandada de la red de alimentación. Los condensadores compensan la potencia inductiva de la instalación con la potencia capacitiva que aportan.



5.2. Cálculo de la potencia reactiva de la compensación del factor de potencia

A partir del triángulo de potencias puede deducirse que la potencia reactiva de los condensadores (en VAR) necesaria para efectuar la compensación viene expresada por:



$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P \times \tan \varphi_1 - P \times \tan \varphi_2$$

$$Q_c = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Q_c : Potencia reactiva del condensador (VAR).

P : Potencia activa de los receptores de la instalación (W).

φ_1 : Ángulo de desfase antes de la compensación.

φ_2 : Ángulo de desfase después de la compensación.

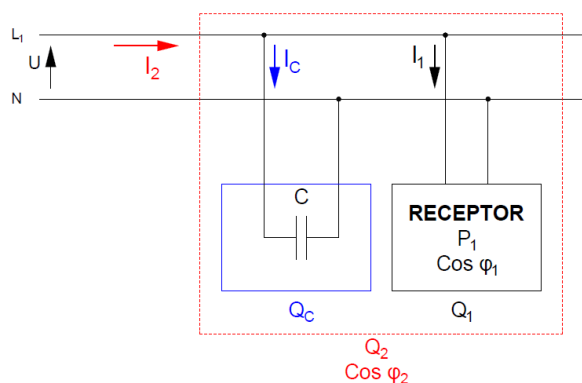
Q_1 : Potencia reactiva antes de la compensación (VAR).

Q_2 : Potencia reactiva después de la compensación (VAR).

Se puede calcular la capacidad del condensador necesario para compensar el factor de potencia, así como las intensidades de consumo del condensador y del conjunto carga-condensador de la siguiente manera:

5.2.1. Circuito monofásico

La capacidad del condensador será:



$$C = \frac{Q_c \times 10^6}{2 \times \pi \times f \times U^2}$$

C: Capacidad del condensador (μF).

Qc: Potencia reactiva del condensador (VAR).

f: Frecuencia de la red (50 Hz).

U: Tensión de alimentación (V).

Las intensidades consumidas por el condensador Ic y por la red I2 (conjunto carga-condensador), serán:

$$I_2 = \frac{Q_2}{U}$$

I2: Intensidad de la red o conjunto carga-condensador (A).

Ic: Intensidad del condensador (A).

$$I_c = \frac{Q_c}{U}$$

I1: Intensidad de la carga (A)

Q2: Potencia reactiva de la red o conjunto carga-condensador (VAR).

$$I_1 = \frac{Q_1}{U}$$

Qc: Potencia reactiva del-condensador (VAR).

Q1: Potencia reactiva de la carga (VAR).

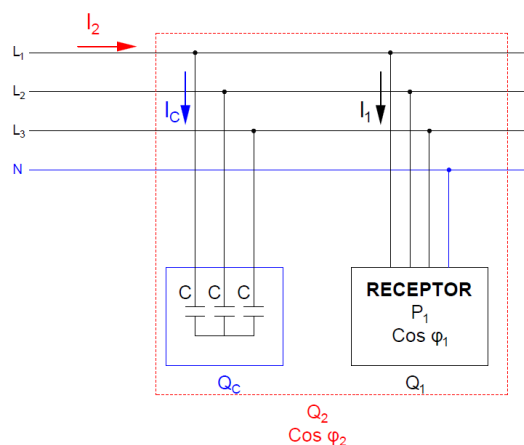
U: Tensión de alimentación (V).

La intensidad I2 será menor que I1 ya que la energía reactiva necesaria por la carga será entregada por el condensador y no por la red de alimentación.

5.2.2. Circuito trifásico

- ✓ Batería de condensadores conectada en estrella.

La capacidad del condensador será:



$$C = \frac{Q_c \times 10^6}{2 \times \pi \times f \times U_L^2}$$

C: Capacidad del condensador por fase (μF).

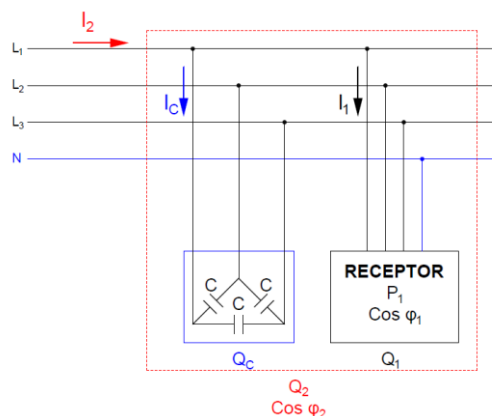
Q_c: Potencia reactiva de la batería de condensadores (VAR).

f: Frecuencia de la red (50 Hz).

U_L: Tensión de línea de la alimentación (V).

- ✓ Batería de condensadores conectada en triángulo.

La capacidad del condensador será:



$$C = \frac{Q_c \times 10^6}{2 \times \pi \times f \times U_L^2 \times 3}$$

C: Capacidad del condensador por fase (μF).

Q_c: Potencia reactiva de la batería de condensadores (VAR).

f: Frecuencia de la red (50 Hz).

U_L: Tensión de línea de la alimentación (V).

Cuando se corrija el factor de potencia de una instalación trifásica con una batería se conectarán los condensadores en triángulo, ya que para una misma potencia reactiva tendrán una capacidad tres veces menor que si se conectaran en estrella.

$$C_{en\ triángulo} = \frac{C_{en\ estrella}}{3}$$

Las intensidades consumidas por los condensadores I_C y por la red I_2 (conjunto carga-condensador), serán:

$$I_2 = \frac{Q_2}{U}$$

I_2 : Intensidad de la red o conjunto carga-condensador (A).

$$I_C = \frac{Q_C}{U}$$

I_C : Intensidad del condensador (A).

$$I_1 = \frac{Q_1}{U}$$

I_1 : Intensidad de la carga (A)

Q_2 : Potencia reactiva de la red o conjunto carga-condensador (VAR).

Q_C : Potencia reactiva del-condensador (VAR).

Q_1 : Potencia reactiva de la carga (VAR).

U : Tensión de alimentación (V).

Tanto para la conexión en estrella como en triángulo la intensidad I_2 será menor que I_1 ya que la energía reactiva necesaria por la carga será entregada por los condensadores y no por la red de alimentación.

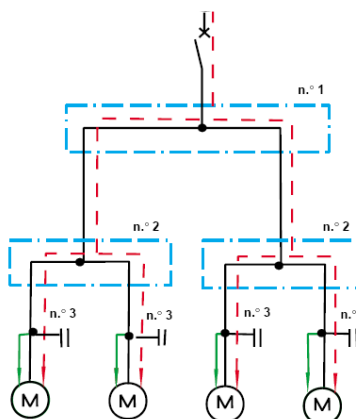
5.3. Forma de compensación de la energía reactiva (REBT ITC-BT 43)

Según REBT ITC-BT 43, las instalaciones que suministren energía a receptores de los que resulte un factor de potencia inferior a 1, podrán ser compensadas, pero sin que en ningún momento la energía absorbida por la red pueda ser capacitiva. La compensación del factor de potencia podrá hacerse de una de las formas siguientes:

- ✓ Compensación individual (por cada receptor).
- ✓ Compensación por grupo (por grupo de receptores).
- ✓ Compensación global (por la totalidad de la instalación).

5.3.1. Compensación individual (por cada receptor)

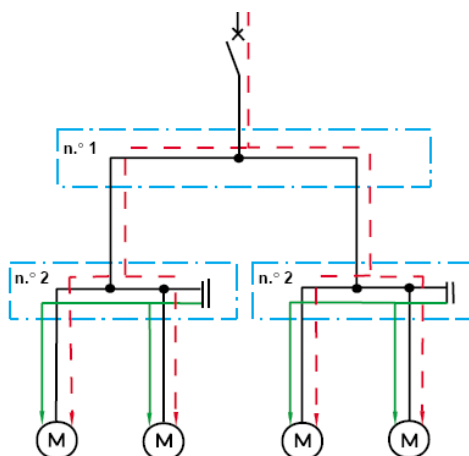
Cada receptor está provisto de su propio condensador de manera que por las líneas de alimentación al receptor circula una intensidad menor. Los costes de instalación y mantenimiento son normalmente más elevados.



Según REBT ITC-BT 43, cuando el receptor y los condensadores se conecten por medio de un sólo interruptor, deberá cortar simultáneamente la alimentación al receptor y al condensador. Además, cuando se instalen condensadores y la conexión de éstos con los receptores pueda ser cortada por medio de interruptores, los condensadores irán provistos de resistencias o reactancias de descarga a tierra.

5.3.2. Compensación por grupo (por grupo de receptores)

Se instala una batería de condensadores por cada grupo de receptores elegida de acuerdo con un criterio determinado (por ejemplo, receptores en un mismo cuadro secundario). Este sistema descarga las líneas de alimentación a los grupos de receptores pero no a los circuitos terminales.

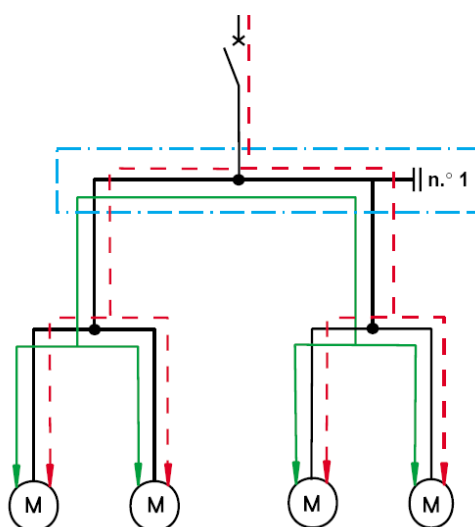


Según REBT ITC-BT 43, cuando el grupo de receptores y los condensadores se conecten por medio de un sólo interruptor, deberá cortar simultáneamente la alimentación al grupo de receptores y al condensador. Además, cuando se instalen condensadores y la conexión de éstos con los receptores pueda ser cortada por medio de interruptores, los condensadores irán provistos de resistencias o reactancias de descarga a tierra.

5.3.3. Compensación global (por la totalidad de la instalación)

Se instala una batería de condensadores en el inicio de instalación interior. Todas las líneas y circuitos de la instalación receptora permanecen en las mismas condiciones de carga que antes de la compensación. Se emplea mayoritariamente en instalaciones de mediana y pequeña dimensión con el objetivo de reducir el coste de la facturación de la energía eléctrica. Se suelen emplear baterías autorregulables que compensan el factor de potencia en función del consumo que haya en cada momento.

Según REBT ITC-BT 43, la instalación de compensación por la totalidad de la instalación ha de estar dispuesta para que, de forma automática, asegure que la variación del factor de potencia no sea mayor de un $\pm 10\%$ del valor medio obtenido durante un prolongado período de funcionamiento.



5.4. Cálculo del factor de potencia de una instalación

5.4.1. Mediante medida

Constituye el método más sencillo para calcular el factor de potencia instantáneo de una carga o de una instalación en un momento determinado.

Se instala un voltímetro para medir la tensión, un amperímetro para medir la intensidad y un vatímetro para medir la potencia activa. Con la lectura obtenida de estos aparatos puede calcularse el factor de potencia.

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \times I}$$

Otra forma fácil de obtener el factor de potencia es mediante la colocación de un fasímetro o un analizador de redes con los que se mide directamente el $\cos \varphi$.

5.4.2. Mediante la lectura de los contadores de energía

Este método sirve para calcular el factor de potencia medio de la instalación en un tiempo determinado. Puede aplicarse a instalaciones en las que se mida la energía activa y la energía reactiva. Estas dos medidas se obtienen de la factura del consumo eléctrico y con ellas puede calcularse el factor de potencia medio a partir de las siguientes fórmulas:

$$\cos \varphi = \frac{E_a}{\sqrt{E_a^2 + E_r^2}} \quad \tan \varphi = \frac{E_r}{E_a}$$

También podría obtenerse la lectura de los contadores en un tiempo distinto al empleado por la compañía suministradora para hacer su facturación.



TECNI