

CEDECO



ESTUDIOS PROFESIONALES

ELECTRICIDAD INDUSTRIAL



CURSO VIRTUAL



Módulo 1

Equipos e instalaciones de distribución y suministros de energía en Baja Tensión



- Capítulo 1.- Introducción a la electricidad
- Capítulo 2.- Planos y croquis
- Capítulo 3.- Redes de distribución
- Capítulo 4.- Materiales y equipos
- Capítulo 5.- Dispositivos de medida
- Capítulo 6.- Aparatos de medida
- Capítulo 7.- Herramientas
- Capítulo 8.- Reglamento electrotécnico de baja tensión
- Capítulo 9.- Instalación de líneas: Cálculos

Prácticas de instalaciones básicas: Corrientes monofásicas



Capítulo 1

Introducción a la electricidad Conceptos fundamentales

Índice

1. Introducción a la electricidad	1
Producción de la Energía Eléctrica. Centrales eléctricas	1
2. El átomo	3
Cargas eléctricas	4
Electrización del átomo	5
3. Cuerpo conductor y aislado	5
4. Corriente eléctrica	6
Símil hidráulico	6
Instalación eléctrica	7
5. Voltaje	8
El voltímetro	8
6. Cantidad de electricidad: Culombio	9
Amperímetro	9
7. Resistencia eléctrica	11
8. Ley de Ohm	11
Otras expresiones de la Ley de Ohm	12
9. Potencia y energía eléctrica	14
10. Potencia	15
11. Unidad eléctrica de potencia: Vatio	15
Voltaje (en función de la potencia)	17
Intensidad de corriente (en función de la potencia)	18
12. Combinación de la Ley de Ohm con la fórmula de la potencia	18
13. Caballo de Vapor	19
Ejemplo de cálculo	20
14. El Vatio hora	20
15. Consumo eléctrico	21
16. Resistencia de los conductores	24
17. Resistividad	24
18. Caída de tensión en la línea	25
19. Conductancia de un conductor	26
20. Ley de Joule	26
21. Resistencias en serie	28
22. Resistencias en paralelo	30
Shunt	33
25. Montaje mixto	34
Ejemplo de cálculo	35

Capítulo 1

Introducción a la electricidad Conceptos fundamentales

1. INTRODUCCIÓN

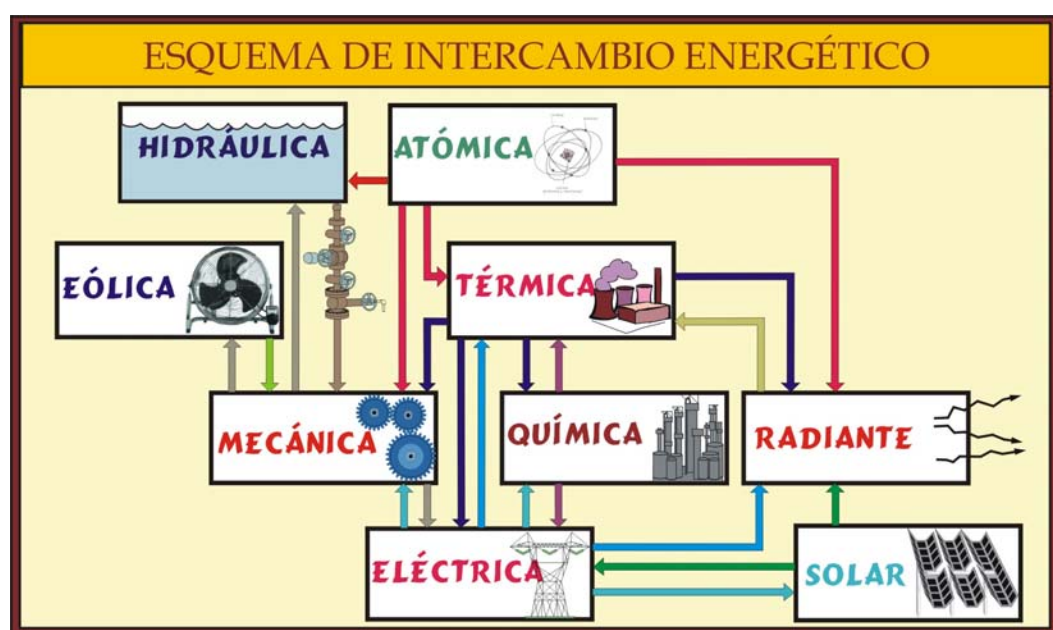
La electricidad es la forma de energía más utilizada por el hombre. Gracias a ella, se puede hacer que funcionen las lámparas eléctricas, las maquinarias, los electrodomésticos, las herramientas, los ordenadores, etc.

Pero, ¿qué es la electricidad?, ¿cómo se produce?, ¿cómo se transporta?, ¿De qué manera se controla?, ¿cómo se calcula?. A lo largo de este curso, se darán las respuestas adecuadas a estas y otras interrogantes relacionados con las aplicaciones eléctricas.

Producción de la Energía Eléctrica. Centrales eléctricas

La **energía no se crea**, está en la naturaleza y se puede transformar para sacar un rendimiento útil. El hombre ha evolucionado en bienestar conforme encontraba utilidades a la energía; pero el gran salto se consiguió al transformar las distintas clases de energías primarias en electricidad. Un ejemplo: Antes, para poder aprovechar la fuerza del agua de un río, se utilizaba la noria y hacer que se moviera la piedra del molino. Esta noria debía de estar necesariamente en la orilla del río. La electricidad permite cambiar la noria por un motor, y colocarlo a muchos kilómetros del río donde se genera la fuerza necesaria para moverlo.

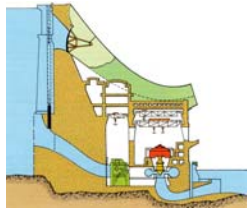
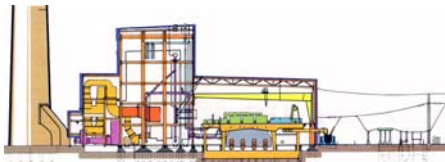
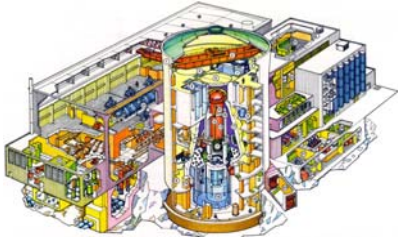
Por tanto, el descubrimiento de poder transportar la energía a través de unos conductores, es lo que hace que la “**energía eléctrica**” sea la más interesante de todas las formas que aparecen en la naturaleza, unido esto a la posibilidad de almacenamiento en acumuladores adecuados, la hace que, además, sea una de las formas más económicas en transformarla en otra clase de energía.



Las **centrales eléctricas**, son “fábricas” de producción de **Energía eléctrica**. Donde se **transforma** una **Energía primaria** en **Energía eléctrica**



Según el tipo de Energía Primaria a transformar, las Central eléctrica recibe diferente denominación:

	ENERGÍA PRIMARIA	TIPO DE CENTRAL ELÉCTRICA	
1	Salto de agua	Central hidráulica	
2	Quema de Carbón, Petróleo, gas, etc.	Central térmica	
3	Reacción de fusión, Fusión de núcleo atómico	Central nuclear	
4	Movimiento del mar	Central mareomotriz	
5	Calor recogido de la tierra	Central geotérmica	
6	Calor procedente del Sol	Central solar	
7	Luz procedente del sol	Central fotovoltaica	
8	Producido por el viento	Central eólica	

En la mayor parte de las Centrales eléctricas, el movimiento se logra con agua (fría, caliente o vapor), para hacer girar las paletas de la turbina. En una Central hidráulica, las paletas de la turbina giran cuando el agua fría pasa de una altura a otra inferior. Cuando la central es térmica o nuclear las paletas son impulsadas por agua caliente o el vapor de agua.

Nota: Se dice agua fría, por comparación, aunque su temperatura sea la ambiental

En el caso de las central Fotovoltaica, se consigue la transformación de la Luz procedente del Sol, en Energía Eléctrica, mediante elementos Semiconductores especiales. Esta energía, generalmente se acumula en baterías para poder ser utilizada cuando el Sol deje de incidir sobre las placas.

Los generadores eléctricos son “máquinas” que cuando se les proporciona un movimiento, estas lo transforman en Energía Eléctrica. Se basa en el “Efecto Faraday” que se resume así:

“Cuando se mueve un conductor metálico dentro de un campo magnético, sea un imán o un electroimán, se engendra en dicho conductor una corriente eléctrica y al contrario, si se mueve el imán, o el electroimán, y se fija el conductor, también se produce en el conductor dicha corriente”.

Los generadores eléctricos (alternadores y dínamos) producen la corriente eléctrica haciendo girar las bobinas dentro de campos magnéticos creados a tal efecto. Cuando lo que se mueve es un imán y lo que permanece estático es la bobina también se genera corriente eléctrica (magnetos de las que se usan en las motocicletas).

En un principio, cuando los generadores eran de corriente continua (dínamos), existía el problema del transporte, por lo que, el generador debía de estar próximo al lugar de consumo. Con el uso de los alternadores, y los transformadores, ya no es necesaria esta proximidad al ser posible el transporte a grandes distancias, empleando la técnica adecuada.

La electricidad tiene muchísimas aplicaciones, se puede transformar cualquier clase de energía en corriente eléctrica; pero, durante siglos, nadie ha sabido encontrar la respuesta a una pregunta básica: ¿Qué es la electricidad?. Se sabía como crear corriente, como controlarla, calcular sus efectos, pero no se sabía que era. La respuesta requiere explicar primero como está constituida la materia.

2. EL ÁTOMO

Al tomar un “trocito” de metal y dividirlo miles y miles de veces, se llega o obtener una “molécula” de este pedacito de metal, que sigue conservando las mismas propiedades físicas del “trocito” original. Se define el átomo como la parte más pequeña de un elemento químico que puede entrar en combinación.

El átomo es como “Un sistema solar”, en cuyo centro estaría el Núcleo Atómico (el Sol) y orbitando a su alrededor los electrones (los planetas). El Núcleo Atómico está formado por Protones (de carga positiva) y electrones (de carga Negativa, y de masa 1.136 veces menor).

Los Neutrones, que comparten núcleo con los Protones, poseen la misma masa que estos, pero sin carga eléctrica (ver figura 4).

Cuando el número de protones y electrones son iguales, se dice que el átomo tiene carga eléctrica nula. Si el número de protones, supera al de electrones el átomo tiene carga positiva, y por el contrario, si el número de protones es inferior al de electrones, el átomo está cargado negativamente. En la figura 1 está representado un átomo de cobre en estado neutro.

Por otro lado, un átomo con carga positiva o negativa, es susceptible de intercambiar electrones con otros átomos de su alrededor, con el fin de conseguir la estabilidad eléctrica, es decir, se iguala el número de protones y electrones, para conseguir la carga nula.

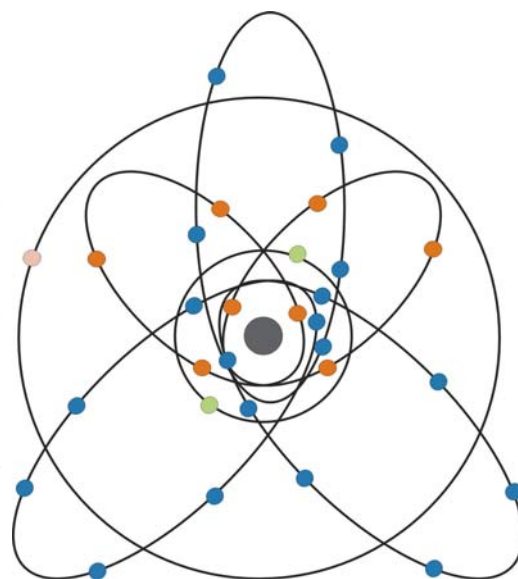


Figura 1. Átomo de cobre

Cargas eléctricas

Colocados una sustancia falta de electrones frente a otra, también falta de electrones, se observa que ambas se alejan rápidamente. Por otro lado, si se enfrentan dos sustancias sobrantes de electrones, también ocurriría lo mismo. Es decir: **dos cargas del mismo signo se repelen entre sí** (figura 2)

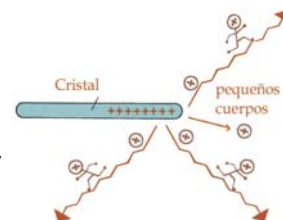


Figura 2 Cargas de igual signo se repelen

Un protón enfrentado a un electrón se atrae rápidamente, conclusión: **Cargas del mismo signo se repelen, y cargas de distintos signos se atraen.** (Figura 3).

Tanto el electrón, como el protón, tiene una propiedad especial desconocida, y que es intrínseca a la materia, a la que se denomina "**Carga eléctrica**" y que por su actuación, explicada anteriormente, la carga del Protón (+) es distinta del Electrón (-). Dada esta "propiedad especial e intrínseca de la materia". En cuanto al comportamiento se llama de diferente manera:

Protón: Tiene una **Carga Eléctrica Positiva**.

Electrón: Posee una **Carga Eléctrica Negativa**.

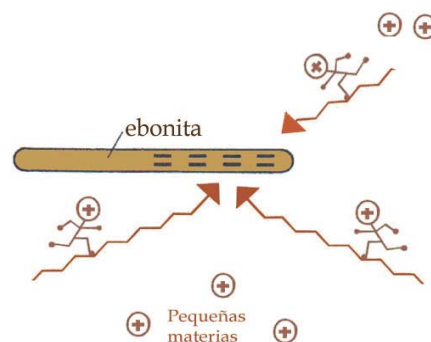


Figura 3 Cargas de distinto signo se atraen

En el Núcleo Atómico, al haber más de una Carga Positiva, estas se repelerían. Esto no ocurre debido a la fuerza de carácter Nuclear (partículas subatómicas [neutrinos]) que anulan el carácter repulsivo de las cargas positivas.

Electrización del átomo

Al frotar un material, este puede ganar o perder electrones. Se puede experimentar frotando un bolígrafo, con un paño, se observará que el bolígrafo puede atraer “trocitos de papel”. Se dice entonces que tiene una carga de electricidad positiva respecto al papel. En realidad, un material tiene exceso de electrones y el otro está falto de ellos. El material **con exceso de electrones se comporta como Carga Negativa**, y, por el contrario, el material **con defecto de electrones, tiene Carga Positiva**.

Los **electrones** que se comparten en la materia son denominados de “las últimas órbitas atómicas”, que al estar más alejados del propio núcleo atómico es más fácil de ser arrancado, y por tanto, de ser compartido. Volviendo la comparación con “el sistema solar” y a modo de ejemplo, es como si se pudiera compartir Plutón con otras estrellas.

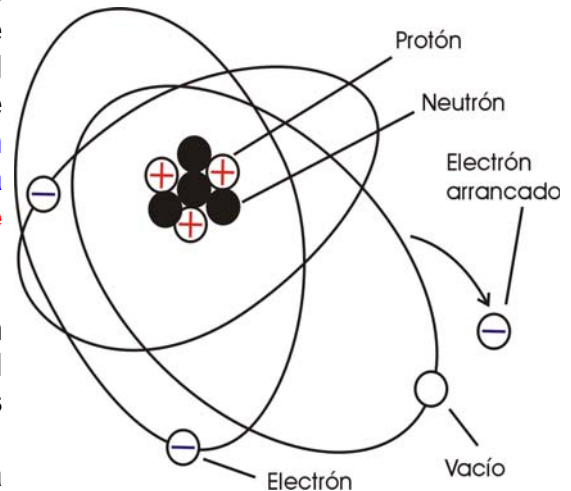
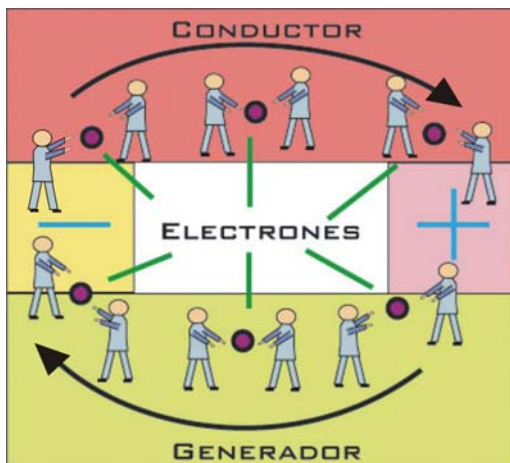


Figura 4. La carga positiva indica falta de electrones



Al frotar el bolígrafo con el paño, los **electrones** de la última órbita de los átomos de la misma material son arrancados y pasan al paño. Como el bolígrafo ha pasado a tener un defecto de electrones, a adquirido carga positiva.

Los electrones no se ven, pero se notan sus efectos: **La electricidad**

La **electricidad** se puede definir como un movimiento de **electrones** (figura 5), que en su desplazamiento pueden originar fenómenos térmicos, luminosos, magnéticos y químicos.

Figura 5 La corriente eléctrica es un movimiento de electrones

3. CUERPO CONDUCTOR Y AISLADO

Cuando se desarrolla la electricidad en un cuerpo y los efectos sólo se manifiesta en el punto tratado, sin extenderse al resto, se dice que son **malos conductores, aislante o dieléctricos**.

En cambio, si la electricidad desarrolla en el punto se esparce por toda la superficie, se les llaman cuerpos **buenos conductores** de la electricidad o simplemente **conductor**.

Un cuerpo conductor al ser electrizado conserva indefinidamente esta propiedad mientras no sea unido a tierra. Si por medio de sustancias aislantes se evita que esto suceda, se dice que el conductor está **aislado**.

El concepto **aislado**, dependerá siempre de la tensión de trabajo, **cuando la tensión de aislamiento se rebasa, el cuerpo deja de estar aislado**. El ejemplo se encuentra en la naturaleza, el aire se considera como un buen aislante, sin embargo cuando la electricidad estática de las nubes se acumula en grandes cantidades el rayo atraviesa el aire (figura 6), produciéndose el desprendimiento de electrones sobrantes y el equilibrio de las cargas. Aún no está claro si el rayo baja de las nubes a tierra, o sube de la tierra a las nubes, pues hay versiones en los dos sentidos, y una tercera teoría que sostiene que unas veces las nubes se cargan positivamente y otras negativamente, de ahí los rayos que en verano se observan entre nubes sin caer a tierra.



Figura 6 Caída del rayo

4. CORRIENTE ELÉCTRICA

Cuando la electricidad se mueve a lo largo de los conductores, se producen fenómenos extraños, cuyo estudio ha dado lugar a conclusiones o leyes, que razonan los resultados de los experimentos.

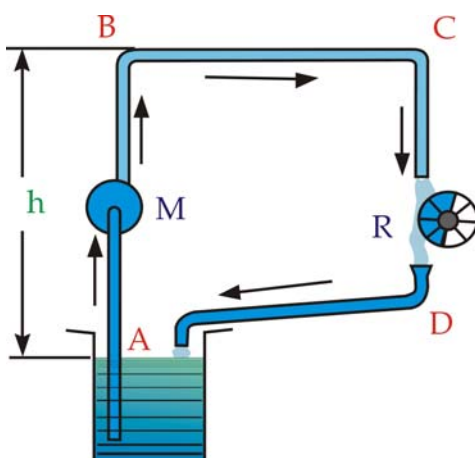
El conocimiento de estas leyes es de gran importancia para la aplicación de la electricidad al bienestar de la humanidad.

Para simplificar el estudio se ha dado en admitir que de las **dos clases de electricidad** existentes, **una sola es la que se mueve**, como lo haría un líquido o un gas por una tubería.

Para empezar con el estudio de la corriente eléctrica, es mejor comparar la electricidad (**circulación de electrones**) con el movimiento del agua que fluye por una cañería.

Símil hidráulico

Suponiendo una instalación como la de la figura 7 destinada a transportar el agua desde el punto **A** (Pozo) hasta otro punto, **R** (noría), entre los que existe una distancia cualquiera.



En esta instalación, así dispuesta, se puede observar:

En primer lugar una máquina **M**, eleva el agua del nivel **A** al **B**, creando una diferencia de nivel **h**, que hará al agua recorrer la tubería en el sentido que indican las flechas. Al llegar a **C** cae bruscamente de **C** a **D**, pasando por el motor **R**; que se pone en movimiento, y puede desarrollar una **energía útil**. El agua que sale de **R** vuelve, siguiendo una pendiente suave al punto de origen **A**. Si el agua no volviese al punto inicial, el depósito se agotaría, y el movimiento del agua cesaría. Por tanto, mientras que exista una diferencia de nivel **h**, el motor **R** permanecerá en movimiento, cesando cuando deje de existir este desnivel.

Figura 7 Símil hidráulico

Las magnitudes que caracterizan esta instalación son:

- Diferencia de nivel, **medido en metros**
- Cantidad de agua transportada, **expresado en litros**
- Gasto de agua transportada en un segundo, **evaluado en litros por segundo**

Instalación eléctrica

Un resultado similar se produce en un circuito eléctrico (figura 8), la similitud entre este circuito y la instalación hidráulica se basa en los siguientes elementos:

- **Generador**, cuya misión es **crear una diferencia de nivel eléctrico**, que recibe el nombre de **diferencia de potencia** o **tensión**. (Se expresa respectivamente por las letras en minúscula **d.d.p.**, o la mayúscula **V**.)
- **El receptor**, esto es, la máquina que *recibirá la energía transportada*, y que es capaz de *desarrollar un trabajo*.
- La unión entre el generador y el receptor se hace por medio de **conductores** semejantes a los conductos del agua, por donde pasará la *corriente eléctrica*, que transportará una *cantidad de electricidad* en la unidad de tiempo, que es el *segundo*.

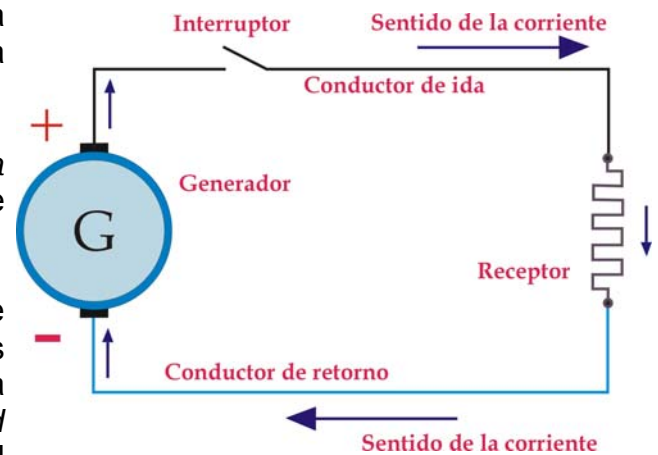


Figura 8 Circuito eléctrico

La energía eléctrica así puesta en movimiento *quedará evaluada* por la medición de *las siguientes magnitudes*:

- Diferencia de potencial o tensión, **medido en Voltios**.
- Cantidad de electricidad, **evaluado en Culombios**.
- Cantidad de electricidad transportada por segundo, **expresada en Amperios**.

5. VOLTAJE

Según se ha dicho, la diferencia de potencial existente entre los dos *polos* de un generador se mide en *voltios*, el aparato con que se efectúa la medición recibe el nombre de *voltímetro*.

Medir el voltaje es hallar la diferencia de potencial que existe entre dos puntos de una instalación eléctrica; en la figura 9 se mide la tensión que existe entre los bornes del receptor.

EL VOLTÍMETRO

Este aparato de medida (figura 10) tiene dos bornes, que se conectan a los dos puntos entre los cuales se quiere averiguar la diferencia de potencial que existe entre ellos

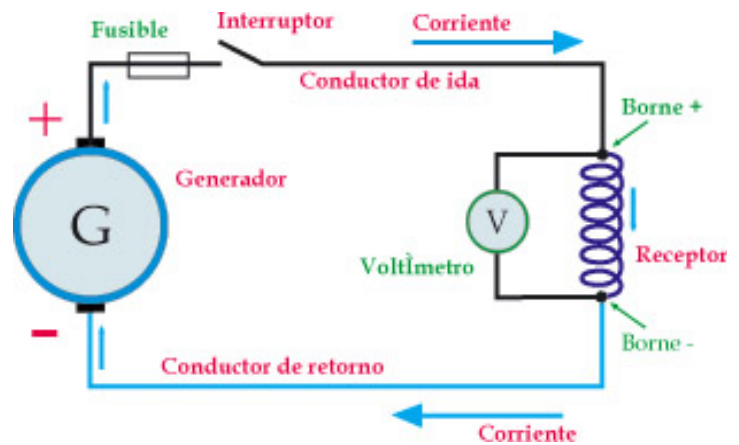


Figura 9 conexión del voltímetro

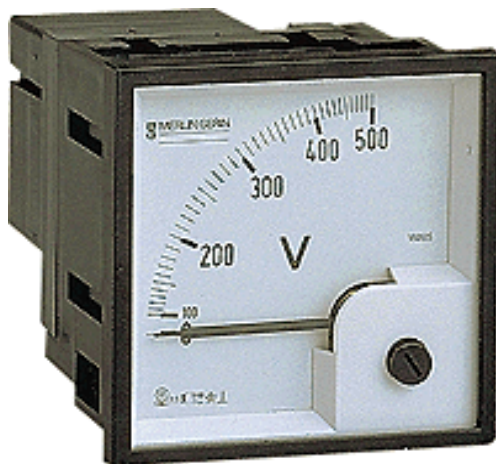


Figura 10 Voltímetro escala 100 a 500 V

Físicamente el aparato debe presentar una gran resistencia al paso de la corriente, o lo que es lo mismo. Una mínima parte de la corriente debe ser suficiente para que se mueva la aguja e indique cual es la tensión entre los dos puntos que se miden; por ello se construyen con hilo muy fino y de muchas vueltas.

El voltaje de una instalación eléctrica depende del que proporciona el generador y es un valor constante con poquísimas variaciones, y cuando las hay, son del grado de las unidades; es decir, en ningún caso van más allá de los seis o siete voltios de diferencia. Por ello los voltímetros no se colocan en todos los cuadros de distribución de electricidad, en muchos se sustituye simplemente por luces pilotos. Cuando se instalan Voltímetros en los cuadros principales de distribución se hace con interruptor para tenerlos desconectados casi siempre y sólo en el momento de ver el voltaje se conectan.

Cuando la red es trifásica los voltímetros se instalan, con conmutador (figura 11) para ver con un solo aparato la tensión entre las tres fases, conmutando dos a dos estas y una cuarta posición de desconectado.

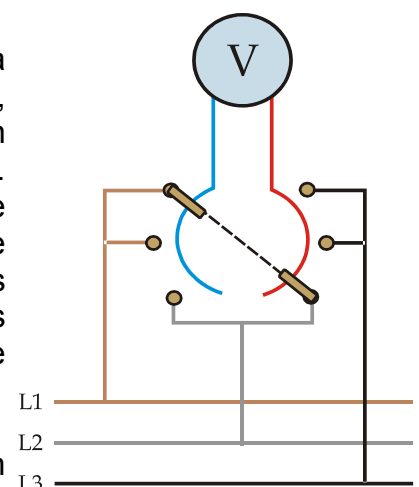


Figura 11 conmutador de voltímetro

6. CANTIDAD DE ELECTRICIDAD: CULOMBIO

El agua transportada por una tubería se mide en litros; del mismo modo, la cantidad de corriente eléctrica transportada se llama **culombio**.

Un **culombio**, es la cantidad de electricidad que en la descomposición del agua libera **0'0104 miligramos de hidrógeno**.

Amperio

La intensidad de una corriente eléctrica, es la cantidad de electricidad transportada en un segundo. Que es lo mismo que si se dijera: **Amperio** es la *unidad de intensidad*, que en un segundo transporta un Culombio. El **amperio**, se designa por la letra mayúscula **A** y también por la letra **I**.

Decir que una resistencia consume **20 Amperios**, equivale a decir que se transportan 20 Culombios por segundo y que pasan a través de esta resistencia. Se expresa: **$I = 20 \text{ A}$** .

Amperímetro

Para medir una corriente se utilizan los **amperímetros**. Al igual que el voltímetro tiene dos bornes, pero a diferencia con el voltímetro, lo que se quiere saber es la cantidad de corriente que pasa por un conductor. Por lo que, para averiguar esto hay que cortar el conductor e intercalar en este, los dos bornes del amperímetro, de modo que toda la corriente pase a través del aparato de medir.

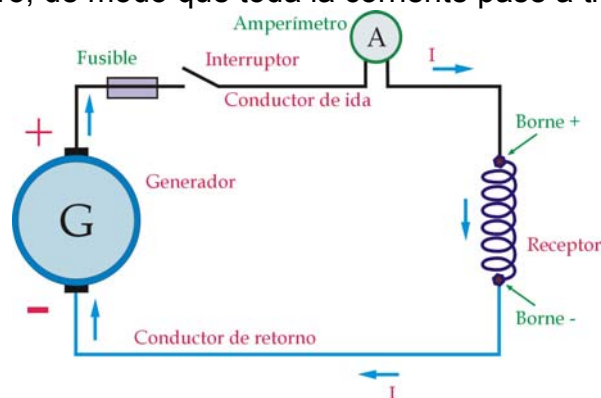


Figura 12 Amperímetro, representación y conexión

El esquema de la figura 12 muestra la disposición de un amperímetro destinados a medir la intensidad de la corriente que consume un receptor. El mismo resultado se obtendría si se colocara el amperímetro en el conductor de retorno de la corriente. Únicamente, habría que tenerse en cuenta que, para corriente continua, el amperímetro tiene una polaridad que hay que respetar, pues si no se hace así, la aguja marcaría en sentido contrario.

Físicamente el amperímetro no ha de producir ninguna caída de tensión en la línea, por lo que el hilo con que se construye su bobina es bastante más grueso que la propia línea, y, además, la bobina que hace mover la aguja tiene el mínimo de vueltas.

Cuando los amperímetros se dedican a medir grandes cantidades de corriente, la conexión no se hace directa, sino que se utilizan transformadores de intensidad que reducen a 100 a 5 Amperios la corriente que pasa por aparato de medida (figura 14). Los amperímetros, casi siempre se colocan tres (uno por cada fase), y están siempre conectados, marcando constantemente la corriente que se consume; a veces, cuando las cargas por fase, son equilibradas, se coloca un solo amperímetro y tres transformadores de intensidad, con un conmutador de amperímetro (figura 15) para cambiar de un transformador a otro.

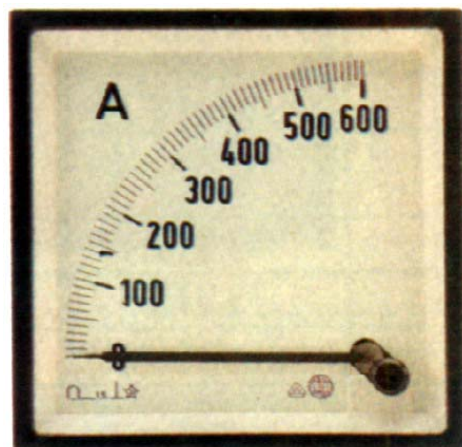


Figura 13 Amperímetro de 0 a 600 A

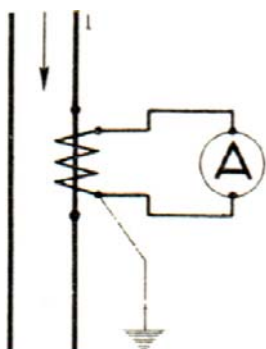


Figura 14 Conexión de amperímetro por transformador de intensidad

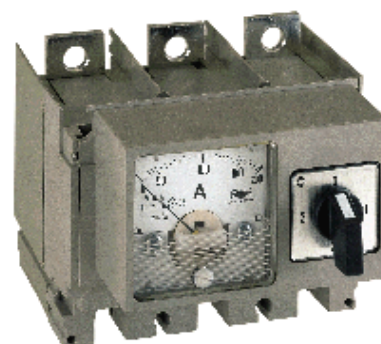


Figura 15 Amperímetro de lectura directa con conmutador de fases incorporado

En la figura 16 se aprecia la diferencia de colocación entre un voltímetro y un amperímetro, si se colocasen, por error, de forma diferente los aparatos se quemarían en pocos segundos.

El amperímetro se dice que está conectado **en serie**, y el **voltímetro**, **en paralelo**.

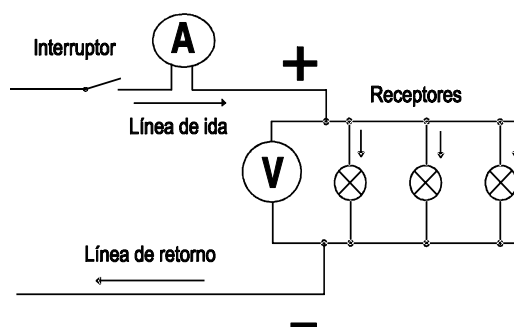


Figura 16 Conexión de amperímetro y voltímetro

7. RESISTENCIA ELÉCTRICA

Experimentalmente se comprueba que si entre los extremos de un conductor (figura 17) se aplican distintas diferencias de potencial, V_1 , V_2 , V_3 , el conductor consume distintas cantidades de electricidad I_1 , I_2 , I_3 , de tal forma que la relación entre voltaje e intensidad siempre es una cantidad constante, que se llama **resistencia** eléctrica del conductor.

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{V_3}{I_3}$$

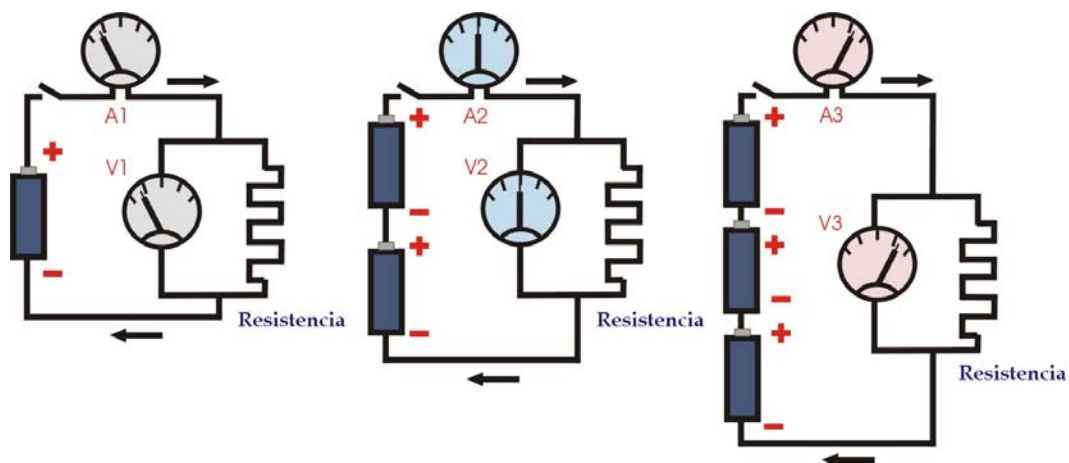


Figura 17 a mayor voltaje mayor consumo

8. LEY DE OHM

La expresión:

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

(1)

Recibe el nombre de **Ley de Ohm**.

La **V**, representa la tensión en Voltios, **I**, es la intensidad en Amperios, y **R**, la resistencia, que se expresa con la letra griega omega mayúscula: Ω .

La **Ley de Ohm** dice: *La relación que existe entre el **voltaje** que se aplica a un conductor y la **intensidad** de corriente que este consume, es una cantidad constante; que se llama la **resistencia** que se opone al paso de esa corriente.*

Que la resistencia se exprese en Ohmios es para hacer un honor al físico alemán Jorge Simón Ohm, descubridor de esta ley, básica de la electricidad.

Se emplea un múltiplo y un submúltiplo de esta unidad:

El **megohmio**, **MΩ**, que vale un millón de ohmios, y **se utiliza para medir la resistencia del aislamiento de los conductores**.

$$1 \text{ megohmio} = 10^6 \text{ ohmios}$$

El **microhmio**, **μΩ**, que vale una millonésima de ohmio, que **se utiliza para medir la longitud de los conductores de grandes secciones**.

$$1 \text{ microhmio} = \frac{1}{10^6} = \text{ohmios}$$

OTRAS EXPRESIONES DE LA LEY DE OHM

- La **fórmula 1** se puede expresar de otro modo, con tan sólo alterar sus términos así

$$V = R \cdot I$$

(2)

no es más que el resultado de cambiar los términos de la **Ley de Ohm**.

A esta expresión se le suele llamar **Caída de tensión**, ya que la corriente que pasa por un conductor multiplicado por la resistencia del conductor da un voltaje igual al que se pierde en el conductor, de tal manera (figura 18) que la diferencia de potencial entre el principio de una línea **U** y **V** al final de ella, es debido, sin duda, a la pérdida habida en el conductor.

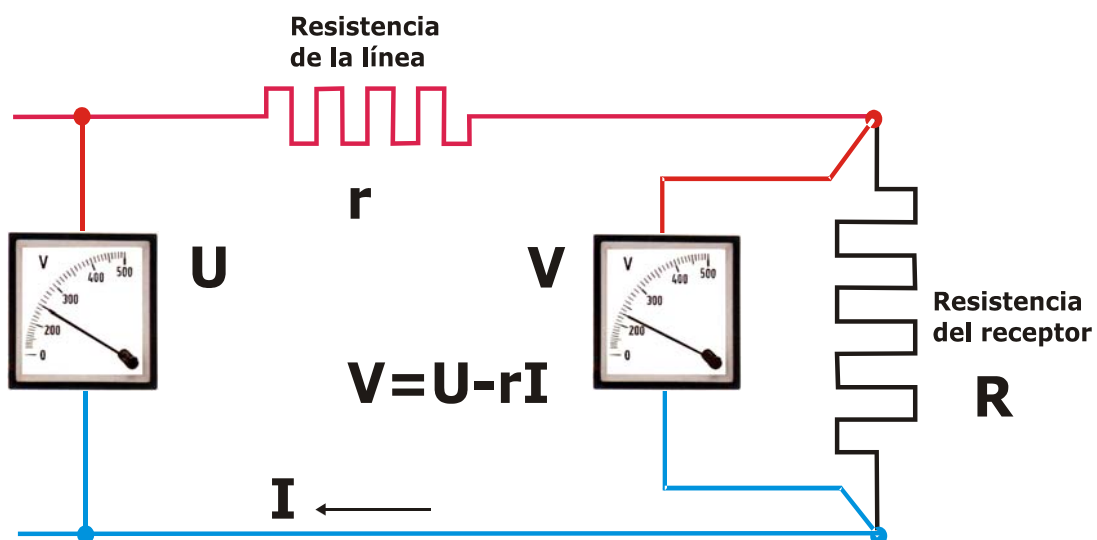


Figura 18 La diferencia de voltaje entre principio y final de la línea recibe el nombre de caída de tensión

También se puede cambiar los términos de la **Ley de Ohm** de forma que exprese la **Intensidad de corriente**

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

(3)

Fórmula que se aplica para calcular, a priori, el consumo que va a tener, -en amperios-, una resistencia de valor conocido, conectada a una tensión de trabajo determinado.

Memorizar las tres fórmulas es de mucha importancia, puesto que hacer uso de ella es lo habitual en la persona que se dedique como profesional a las aplicaciones de la electricidad; pero, memorizar las tres fórmulas a la vez es muy difícil. Lo mejor es recordar sólo una; Y cuando sea necesario, deducir las otras dos.

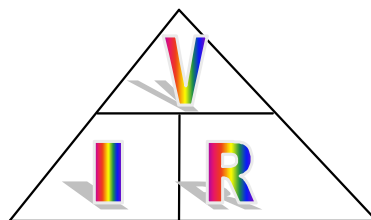
Parece ser que la más fácil de retener en la memoria es...

$$V = R.I$$

Con estas tres letras se puede formar una frase como por ejemplo:

Viva la **R**eina **I**sabel

También habrá quien prefiera recordarlo de forma gráfica, por ejemplo: Un triángulo equilátero con las letras **VRI**, la parte superior es donde está el **V**értice, es decir **V** de voltio siempre irá arriba cuando se trate de dividir (fórmula 1 y 3)



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

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

En el caso que se busque **V = I . R**

9. POTENCIA Y ENERGÍA ELÉCTRICA

TRABAJO al efecto que produce una **fuerza** aplicada a un objeto **cuando este se mueve**. Por el contrario si no existe desplazamiento de la **fuerza**, no se realiza ningún **trabajo**. Es fácil ver que si una columna sostiene el peso de un edificio, dicha columna está ejerciendo una gran **fuerza**, pero; por el contrario, no realiza ningún **trabajo**, puesto que el edificio no se mueve. Un camión que baja por una pendiente, con el motor parado, **ayudado solo con la fuerza de la gravedad**, realiza un **trabajo**, aunque no consuma combustible, se está desplazando la carga de un lugar a otro, luego se efectúa un **trabajo**. Realmente, quién realiza el **trabajo** es el **Campo Gravitatorio Terrestre**, transformándose la **Energía Potencial** en **Cinética**. Lo importante para que se realice un trabajo es que exista un **desplazamiento de la fuerza** de un lugar a otro. (Figura 19)

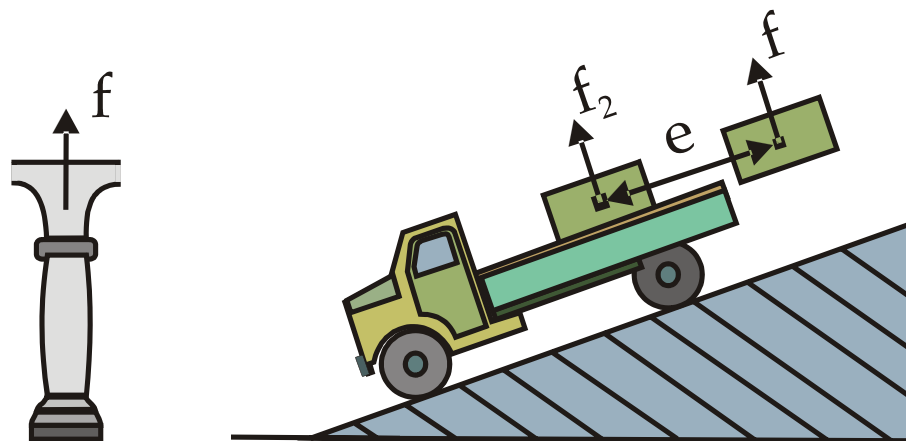


Figura 19 Diferencia entre fuerza y trabajo

El **trabajo** es directamente proporcional a la **fuerza** por el **espacio** recorrido

$$T = f \cdot e$$

(4)

El **Trabajo** que desarrolla una máquina en **kilogrametros** es igual a la **fuerza** aplicada **en kilos** por el **espacio** recorrido **en metros**.

En electricidad el concepto de **trabajo** presenta algo de dificultad para entender, ya que, no se ve tan fácilmente el movimiento de los electrones a través de los componentes de un circuito.

Para que sea más comprensible es necesario observar **los efectos que produce**:

Si se aplica una tensión a un motor eléctrico la polea del motor girará sobre su eje. Este movimiento se transmite a la máquina y entonces si que se aprecia el **trabajo** que realiza.

El paso de la corriente a través de los aparatos de medida produce unos efectos magnéticos que hacen mover la aguja y con ello se detecta que se produce un **trabajo**, puesto que la **energía** se mueve desplazando la **fuerza**.

El movimiento de la electricidad, da origen a fenómenos eléctricos, de diversas propiedades, este movimiento de la electricidad se puede valorar directamente en unidades eléctricas con los aparatos de medida.

10. POTENCIA

Medir el **trabajo** que realiza una máquina es poco significativo, mucho más interesante es averiguar la **potencia** que desarrolla. La **potencia** de una máquina es el trabajo que efectúa esta máquina en la unidad de tiempo.

Se denomina **potencia** a la capacidad de producir trabajo, y se mide por el trabajo que se realiza por segundo. Cuanto menos tiempo precise una máquina para realizar un trabajo, más **potencia** desarrolla.

En el concepto de **trabajo**, no se menciona para nada **el tiempo en que se lleva a cabo** un desplazamiento, sin embargo, en el de **Potencia** es esencial.

La **Potencia** se calcula por la fórmula

$$P = \frac{f \cdot e}{t}$$

(5)

La **potencia** desarrollada por una máquina en kilogrametros por segundos es igual a la **fuerza** aplicada **en kilos** por el **espacio** recorrido en **metros** dividido todo ello por el **tiempo** en **segundos** empleado en realizarlo.

11. UNIDAD ELÉCTRICA DE POTENCIA: VATIO

La unidad de potencia empleada en el sistema CGS (Cesagesimal), es el **julio por segundo**, que es lo mismo que decir **vatio por segundo**, de símbolo **W**.

Potencia en vatios

Es igual al producto del **voltaje**, en voltios, por la **intensidad** en amperios.

$$P = V \cdot I = W \text{ (vatios)}$$

(6)

NOTA

Esta fórmula, lo mismo se expresa: **P = V . I** que **W = V . I**,

Puesto que la potencia se expresa en vatios, y contrariamente, los vatios expresan la potencia consumida.

El amperímetro, (figura 20) para medir amperios, y el voltímetro (figura 22) para medir voltios, son los medios de que se pueden utilizar para medir el trabajo producido por la corriente eléctrica.

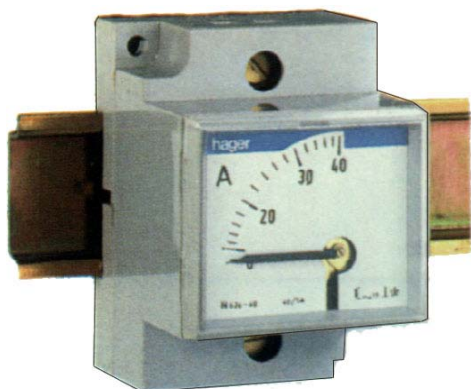


Figura 20 Amperímetro

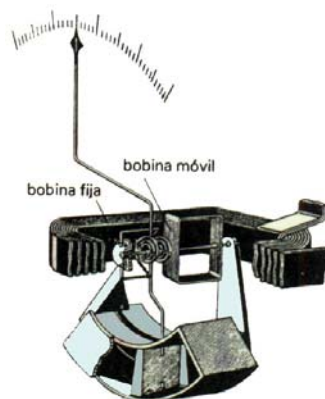


Figura 21 Interior de aparato analógico

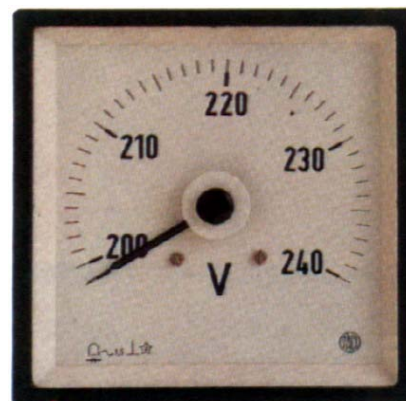


Figura 22 Voltímetro

Multiplicando la lectura de ambos aparatos se halla la **potencia** consumida por un receptor.

$$W = V \cdot I$$

También es posible hallar el valor de la **potencia**, directamente, sin tener que hacer ninguna operación matemática. Conectando un **vatímetro**.

En la figura 23 se muestran las conexiones de estos tres aparatos para medir la potencia consumida por un receptor, en este caso, un motor monofásico.

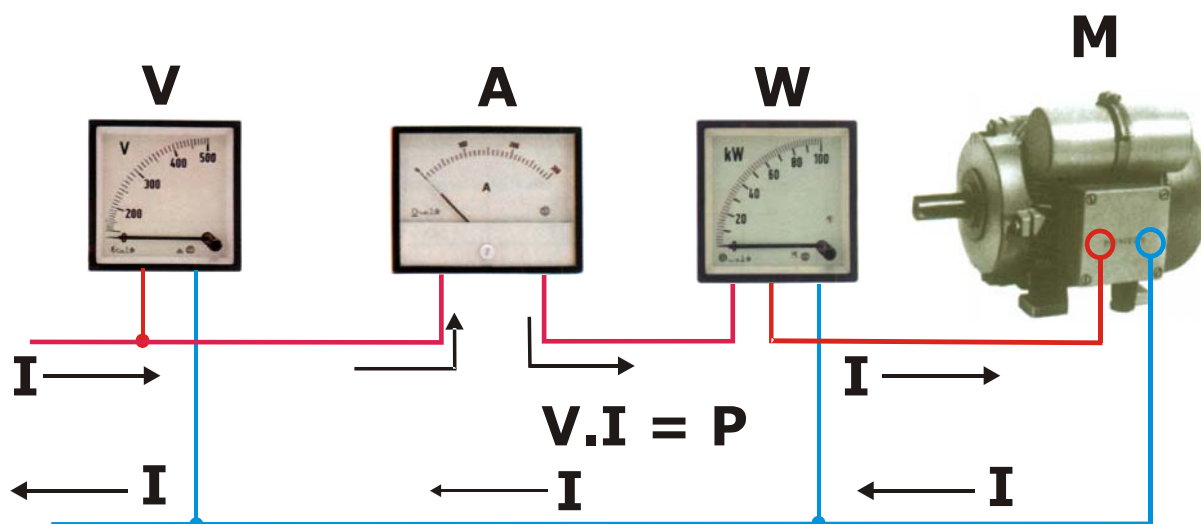


Figura 23 Conexión de voltímetro, amperímetro y vatímetro

El **vatímetro** (figura 24) consta de dos bobinas, una amperimétrica y la otra voltimétrica, de características similares a la del Amperímetro y voltímetro respectivamente, y se representan perpendiculares la una a la otra (figura 25). Al conectarla se ha de tener un cuidado muy especial para no confundir la bobina que ha de ir en **serie**, con la que tiene que conectarse en **paralelo**; puesto que, no sólo puede deteriorarse el aparato, sino que además, se puede ocasionar un cortocircuito en la red.

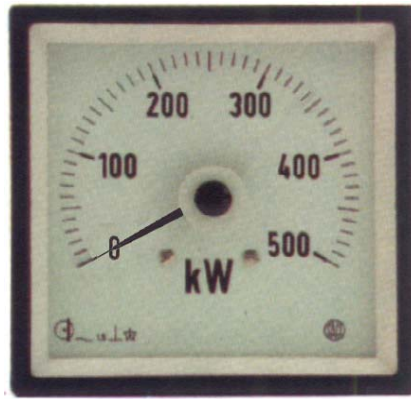


Figura 24 Vatímetro de 0 a 500 KW

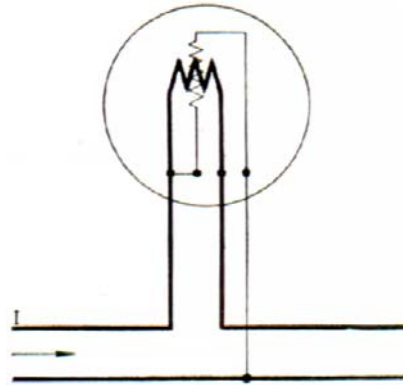


Figura 25 Esquema de vatímetro

El **Vatio** tiene un múltiplo llamado **Kilovatio**, que vale mil vatios, y se escribe **KW o Kw**.

$$1 \text{ KW} = 1.000 \text{ W}$$

Cuando se trata de corriente alterna, también se lee la potencia, en **kilo-voltio-amperios**, se escribe **K V A** que se lee **ca-ve-as**.

Voltaje (en función de la potencia)

De la **fórmula 6** se deduce que:

$$V = \frac{W}{I}$$

(7)

El **voltaje** es igual a la **potencia** consumida en vatios, **dividido** por **la intensidad** de corriente en amperios.

Intensidad de corriente (en función de la potencia)

De la misma fórmula 6 también se puede deducir la intensidad de corriente en función de la potencia y el voltaje.

$$I = \frac{W}{V}$$

(8)

Fórmula que dice: La **intensidad de corriente**, en amperios, **es igual, al cociente** que resulta de dividir los **vatios**, entre los **voltios**.

12. COMBINACIÓN DE LA LEY DE OHM CON LA FORMULA DE LA POTENCIA

Sustituyendo en la **Ley de Ohm** el valor del **voltaje** por el valor que tiene en la **Ley de la Potencia** se obtiene una serie de nuevas fórmulas muy empleadas en el cálculo, de todas ellas, conviene memorizar, sobre todo dos; que se recuerdan mejor por estar puestas en forma de producto.

$$V = R I \text{ y } W = V I$$

De la combinación de estas dos fórmulas se obtiene todas las del cuadro adjunto:

Ohmios	Voltios	Amperios	Vatios
(1) $R = \frac{V}{I}$	(2) $V = R.I$	(3) $I = \frac{V}{R}$	(6) $W = V.I$
(9) $R = \frac{V^2}{W}$	(7) $V = \frac{W}{I}$	(8) $I = \frac{W}{V}$	(10) $W = R.I^2$
(11) $R = \frac{W}{I^2}$	(12) $V = \sqrt{W.R}$	(13) $I = \sqrt{\frac{W}{R}}$	(14) $W = \frac{V^2}{R}$

Durante este curso, y después de acabado el curso, tendrá que consultar esta tabla en la que se encuentran la mayoría de las fórmulas que tendrá que utilizar para hacer cálculos básicos de electricidad.

13. CABALLO DE VAPOR

La potencia que desarrolla una máquina en un segundo se mide en **caballos de vapor (CV)**. La relación que existe entre un caballo de vapor y el vatio es la misma que en mecánica:

$$1 \text{ CV.} = 75 \text{ Kg cm} = 75 \times 9'81 \text{ w} = 736 \text{ W.}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ CV.} &= 736 \text{ W} \\ 1 \text{ caballo de vapor} &= 736 \text{ vatios} \end{aligned}$$

(15)

Inversamente se puede asegurar que:

$$\begin{aligned} 1 \text{ W} &= \frac{1}{736} \text{ CV} \\ 1 \text{ vatio} &= \frac{1}{736} \text{ caballos de vapor} \end{aligned}$$

(16)

La potencia que desarrolla un motor se puede expresar indiferentemente en **CV.**, O en **KW**.

Nota de interés

Conociendo los vatios se puede saber la potencia en caballos de vapor **sin tener que averiguar el voltaje** de la red.

La traducción de vatios a caballos de vapor **no depende del número de fases que tenga el motor, ni de que la corriente sea continua o alterna**

Decir que un motor eléctrico tiene **5 C.V.** de potencia es lo mismo que decir que consume **3'68 KW** puesto que:

$$5 \times 736 = 3.680 \text{ W} = 3'68 \text{ KW}$$

En motores fabricados fuera de España se encuentra escrito en inglés las iniciales **HP** que corresponden a nuestras **CV**.

Hoy día la potencia de un motor, ya no se expresa en CV. **Todo viene expresado en Kw**, incluso los motores no eléctricos, pero existe una gran cantidad de motores antiguos, y que están aún en servicio, en que la potencia solo viene expresada en Caballos de Vapor

Ejemplo de calculo

El problema más común es el de averiguar que cantidad de **corriente** consume un motor de determinados caballos.

Por ejemplo: Se desea conocer la intensidad de corriente que consume un motor de corriente continua que tiene una fuerza de **3'5 CV.**; en este caso es necesario saber a qué voltaje está conectado: suponiendo que sea **220 voltios**.

Primeramente se averigua cuantos vatios son 3'5 caballos de vapor

$$W = 736 \times CV. = 736 \times 3'5 = 2.576'0 W$$

y después la intensidad de corriente al voltaje de funcionamiento del motor.

$$I = \frac{2.576}{220} = 11,708 A$$

Este dato es imprescindible para saber:

- El fusible que ha de llevar.
- El tamaño del interruptor
- La sección del conductor

14. EL VATIO HORA.

Cuando se pretende medir la cantidad de energía consumida durante un largo período de tiempo, el segundo resulta una unidad demasiado pequeña, por ello se ha creado el **vatio hora**, que es el consumo en **vatios** tomando por unidad de tiempo **la hora**.

Pero aún es pequeña para medir lo consumido en un mes, por lo que con estas dos unidades también existe el **Kilovatio-hora**

Las cuatro expresiones de la potencia expresada en vatios tienen las abreviaturas siguientes:

W = Vatio
Kw = Kilovatio
W-h = vatio hora
Kw-h = Kilovatio-hora

El consumo en kilovatios-hora se mide con el auxilio de los *Contadores de energía*, la figura 27 muestra el esquema de montaje interior de un contador monofásico como el de la figura 26.



Figura 26 Contador monofásico

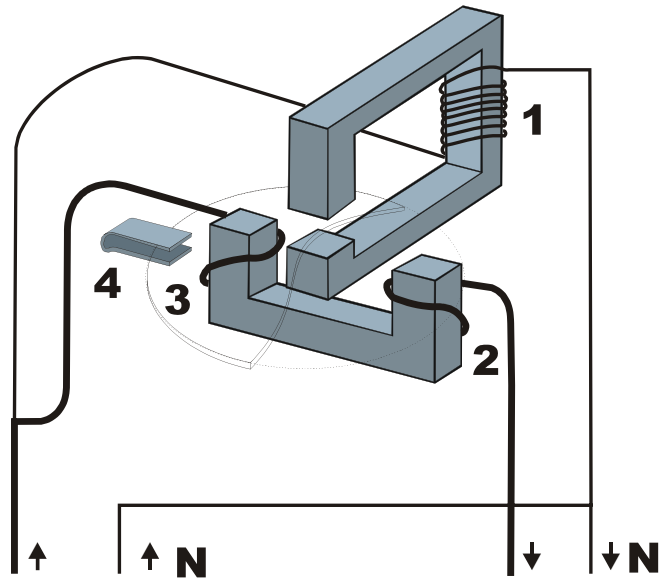


Figura 27 Interior del contador

1. - Bobina y núcleo de tensión
2. - Bobina y núcleo de intensidad
3. - Inducido (disco de aluminio)
4. - Imán de freno

15. CONSUMO ELÉCTRICO

La energía consumida en una vivienda no siempre es la misma. A lo largo del día, los receptores se conectan y desconectan según las necesidades de los abonados. Esto mismo ocurre en todas las viviendas de una ciudad. Si a los consumos de las viviendas, se añaden los consumos del alumbrado público, y se incrementa con el de todas las industrias y establecimientos de uso público y privado, se obtiene el consumo de toda la ciudad.

Analizando detalladamente el consumo de un núcleo de población se observa que cuando el mayor conjunto de habitantes está en sus lugares de trabajo, el consumo en las viviendas es mínimo, y el de las fábricas el máximo; mientras que, cuando los consumos son máximos en las viviendas, en las factorías es mínimo.

Existe un pequeño espacio de tiempo que emplean los habitantes para trasladarse de sus viviendas al trabajo o viceversa, en ese momento el consumo de la ciudad será el mínimo posible. Cuando la mayoría de los ciudadanos duermen, también existe otro consumo mínimo. Durante este período sólo funcionan los aparatos de conservación y el alumbrado público.

Si en la figura 28 se representa en la línea horizontal las horas del día y en la vertical los consumos, la curva de consumos presentarán un perfil parecido al representado.

En el perfil de la figura, el **tramo comprendido entre 40 y 80 %**, corresponde al **consumo medio**; llamado **consumo llano**. Se observa que **por encima de esta recta sobresale una punta**; que se denomina precisamente **consumo punta**. Por **debajo de la recta 40 %**, hay una **hondonada**; que recibe el nombre de **consumo valle**. El consumo llano, corresponde a lo que marca un contador, de una sola lectura, a lo largo del día.

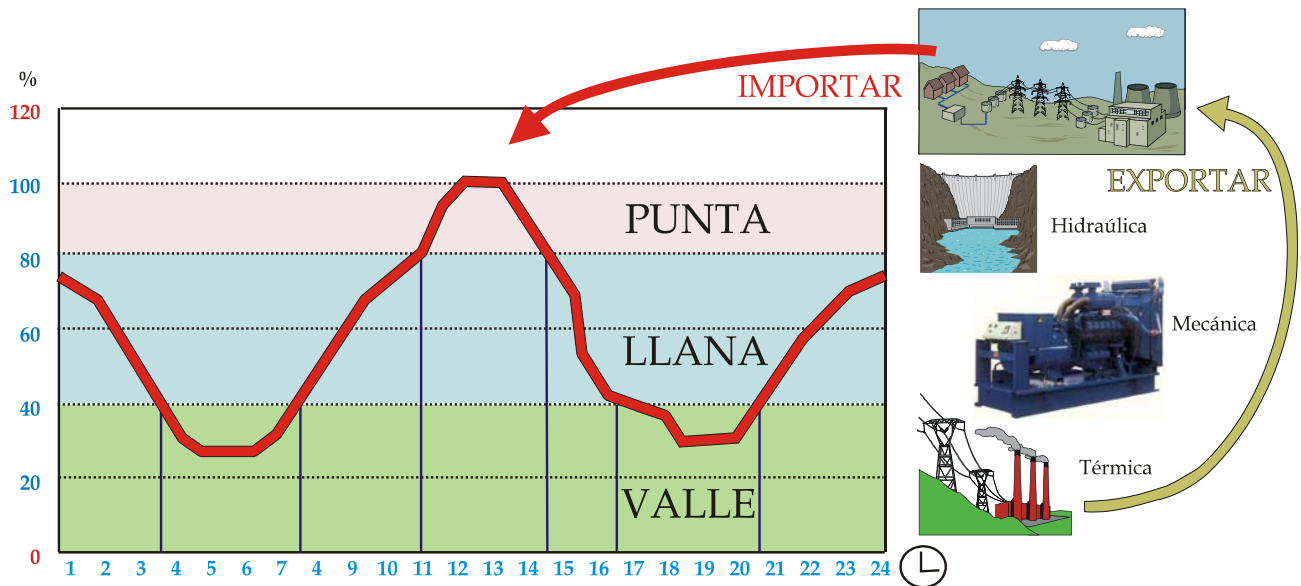


Figura 28. Perfil del consumo diario de una ciudad

En este cuadro de consumo, las horas puntas de consumo están comprendidas entre las 11 y las 14'30 horas y coinciden con las horas de trabajo, en que los ciudadanos no hacen un excesivo uso de la electricidad en sus hogares; pero en cambio, en los lugares de trabajo este consumo es máximo.

Para mantener este consumo punta; las compañías eléctricas han de poner todos sus generadores en marcha, incluso si se rebasa la capacidad de generación, es preciso recurrir a la importación desde los países vecinos, (Portugal, Francia, Marruecos). Por esta razón, **el precio en horas puntas de los kilovatios, es mayor**, en la facturación para la industria se carga un veinte por ciento sobre lo marcado en el total del contador, para compensar **la punta**. Este recargo tan solo se aplica a la industria y no a las viviendas, en que el consumo incluso está por debajo del consumo medio de la vivienda. Cuando el consumo es **valle**, el precio es mínimo, incluso es rentable la **exportación**, y evitar así el pago en euros de lo importado. También en **horas valle** se lleva a cabo la **recuperación del pantano**, que en horas puntas, se ha utilizado en la energía hidráulica.

En la zona de Andalucía y Badajoz, las horas puntas son de **19 a 23 en invierno**, y de **10 a 14 en Verano**.

Basándose en estos diferentes consumos existen contadores de electricidad de **una, dos** (figura 29) y hasta de **tres tarifas**, que discriminan la tarifa a aplicar según las horas en que se producen estos consumos.

Estos contadores necesitan un interruptor horario para hacer que entre en funcionamiento un disco

u otro, a fin de que marque la tarifa correspondiente a la hora convenida. Hoy día, el reloj es electrónico, y se programa incluso con el cambio y adelanto y atraso del horario oficial y el horario de invierno o verano de hora punta.

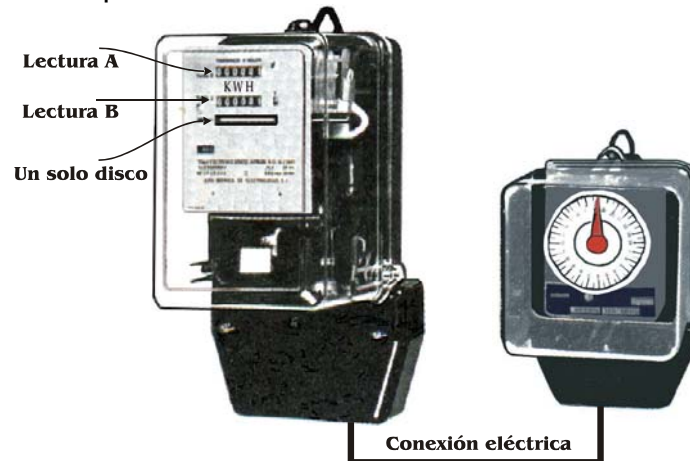


Figura 29 Contador de doble tarifa y primitivos interruptores horarios

El precio que paga el abonado por el consumo de energía eléctrica, depende de la **potencia contratada**, del **período de contratación**, y del **consumo de energía**.

No es lo mismo, como se ha visto anteriormente, el consumo doméstico que el industrial, por lo tanto **son tarifas distintas**. La frontera entre una tarifa doméstica y la tarifa industrial está en los **17 KW**.

Consumos mayores de **17.000 W** se pueden producir perturbaciones en la red de distribución y, por tanto, requieren controles que no son necesarios cuando el consumo es menor. Desde el punto de vista de facturación, la consideración de consumo doméstico, y consumo industrial, en realidad no existe. Solamente que a partir de 17 KW, existe una norma distinta; una pequeña industria puede tener un tratamiento similar a una vivienda, y una gran vivienda puede tener una facturación similar al de una industria, todo depende de este consumo reiteradamente citado.

Cuando el abonado contrata, por medio de contadores de **doble tarifa**, se paga a un precio lo consumido en las **horas valle**, y a otro precio, lo consumido en **horas puntas**. Sí por el contrario; el **contador es de una sola tarifa**, en este caso se paga **lo consumido** durante todo el día **recargado en un veinte por ciento**, por consumo punta supuesto.

También se fabrican contadores de **triple tarifa** que miden exactamente lo consumido durante los tres períodos de facturación, **llano**, **punta** y **valle**.

En resumen: En una **factura de electricidad que rebase los 17KW** contratados, se tiene en cuenta los siguientes conceptos:

- **Potencia contratada** + **Período de facturación** (uno, o dos meses)
- **Energía consumida**
- **Energía consumida en las horas puntas** (si no tiene contador de doble tarifa, el 20 % del consumo)
- **Energía en horas valle** (Solo cuando se tiene contador de triple tarifa)
- **Energía reactiva** (más adelante se verá esto, cuando se estudie la corriente alterna)
- **Alquiler del contador** (en el caso de no sea propiedad)
- **Impuestos** (16% de IVA)

Las facturas cuyos abonados contratan una potencia **inferior a 17 KW-h** tan solo se factura por:

- **Potencia contratada** + **Período de facturación** (dos meses)
- **Energía consumida**
- **Impuestos** (16% de IVA)

16. RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES

Resistencia es la “**dificultad**” que ofrece un conductor al paso de la corriente eléctrica. Por la Ley de Ohm, se puede determinar su valor dividiendo el voltaje entre la intensidad de corriente; pero a veces, interesa saber cual va a ser esta resistencia antes de intercalar esta resistencia en un circuito eléctrico.

17. RESISTIVIDAD

La **resistencia de un conductor es proporcional a su longitud** e **inversamente proporcional a su sección**, de modo que la *resistencia* de un conductor de longitud ***l*** será mayor cuantos más metros tenga y menor resistencia cuanto mayor sea la sección ***s*** del conductor el valor que viene definido por la fórmula

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

(17)

ρ (rho) es una constante que depende de la sustancia de que está echo el conductor que recibe el nombre de **resistividad**.

Si se toma un conductor de longitud igual a la unidad **$l = 1 \text{ m}$** y de sección la misma que la unidad de sección **$s = 1 \text{ mm}^2$** , el valor de su resistencia será igual al de la **resistividad** de ese conductor **$\rho = R$** ; luego

La resistividad de una sustancia conductora es la resistencia de un hilo que tiene la unidad de longitud y la unidad de sección.

Algunos autores consideran como unidad de longitud **el centímetro** y de sección el **centímetro cuadrado**, mientras que **otros** consideran para la longitud **el metro** y para la sección el **milímetro cuadrado**; esta segunda es con la que habitualmente se trabaja, ya que son las unidades de medida más comunes y no necesita transformación a otras unidades.

Ejemplo.- Una línea compuesta por **dos conductores de cobre** de **seis milímetros cuadrados** de sección, tiene una **longitud de dos kilómetros**. Se desea saber cual será la **resistencia de la línea**. (Sabiendo que **la resistividad del cobre es de 0'018**)

$$R = \rho \frac{l}{s} = \frac{0,018 \times 2 \times 2.000}{6} = 12\Omega$$

Nota: Teniendo en cuenta que una línea necesita un cable de ida y otro de vuelta, la longitud del conductor se halla multiplicando por dos el largo de la línea

18. CAÍDA DE Tensión EN LA LÍNEA

La **caída de tensión** que se produce en un conductor viene dada por la ecuación: **$v = R \cdot I$** , siendo **R** no el valor de la resistencia del receptor, sino **la del conductor que forma línea**, que se acaba de calcular.

Si **al principio de la línea existen 220 voltios** y el consumo es de, por ejemplo; **4 Amperios**, se producirá una **caída de tensión** de

$$v = r \cdot I = 12 \times 4 = 48 \text{ voltios de caída.}$$

Por lo que, al final de la línea habrá solamente **V-v**, o sea

$$V - v = 220 - 48 = 172 \text{ voltios}$$

En la práctica la **caída de tensión** de una línea se averigua en **tantos por ciento**.

Se puede averiguar el tanto por ciento que se produce aplicando **la regla de tres**, y se dice:

$$\begin{array}{lcl} \text{si } 220 \text{ V} & \text{corresponde un} & 100 \% \\ \text{a } 48 \text{ V} & \text{corresponderá} & x \% \end{array}$$

de donde

$$x = \frac{48 \times 100}{220} = \frac{48000}{220} = 21,81\%$$

Es decir; que se pierde en la línea un **21'81 %**. Cuando se llegue al capítulo del Reglamento de baja tensión, se verá cual es el valor máximo admitido para la **caída de tensión en las líneas** y se comprobará que una **caída de tensión del 5 % es lo máximo** que se admite. Luego, **no se puede usar** un conductor de 6 mm², para un consumo de 4 A en una línea de 2 Km.

19. CONDUCTANCIA DE UN CONDUCTOR

Se llama **conductancia de un conductor** a la inversa de su resistencia. Si ρ es la resistencia de un conductor, su conductancia es...

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \Omega$$

(18)

se designa con la palabra **Mho** que no es otra que **Ohm** al revés, otros emplean el Siemens; se representa con la letra griega **omega (Ω) escrita del revés**. Ω

La **conductividad** o **conductibilidad** raramente se emplea, tan sólo se utiliza cuando se quiere hacer resaltar la buena cualidad de un conductor. El término empleado es: **este conductor tiene mejor conductibilidad** que otro; en lugar de decir: **Este conductor tiene menos resistencia, que ese otro**.

Si la **resistividad** del **cobre** es **0,018**, la **conductibilidad** del **cobre** es **56**

20. LEY DE JOULE

Si una resistencia de **R** ohmios es atravesada por una corriente de **I** amperios, se calienta. El calor desprendido equivale a una energía de...

$$R \cdot I^2 \text{ joule por segundo.}$$

También se puede decir de otra forma:

Cuando una **resistencia** es atravesada por una corriente de **I** amperios, se produce una pérdida de energía que aparece **en forma de calor**, cuyo valor es de

$$R \cdot I^2 \text{ joule por segundo.}$$

O sea, una pérdida de potencia igual a

$$R \cdot I^2 \text{ vatios.}$$

Se expresa ordinariamente diciendo que se produce en el conductor una **pérdida de energía por efecto Joule** igual a: **$R \cdot I^2$ vatios.**

Calentamiento de los conductores al paso de la corriente.

Todos los conductores se calientan al paso de la corriente; en unos casos puede ser **beneficioso**, y en otros **perjudicial**. Esto es un hecho y no hay manera de evitarlo; así que, conviene tener presente esto a la hora de proyectar una instalación. Pero ¿cuanto se calientan los conductores?.

Si **R** es la **resistencia** de un conductor e **I** la **intensidad** de la corriente, la **potencia consumida por efecto Joule corresponde a una producción de calor igual a**

$$0.24 R I^2 \text{ calorías pequeñas por segundo}$$

si la corriente circula durante **t segundos**, se tendrá:

$$Q_{\text{cal}} = 0.24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

(19)

Es decir, todos los conductores **se calientan** al paso de la corriente, y cuanto más tiempo esté circulando corriente por el conductor, el calor desprendido por este será mayor. Hay que destacar que, la cantidad de calor **Q** desprendida en la unidad de tiempo permanece constante

Cuando la cantidad de calor cedida se hace igual a la producida por el paso de la corriente, la temperatura alcanza su máximo. Si esta temperatura es demasiado elevada se corre el **peligro de incendio**.

Para evitar el calentamiento de los conductores, se imponen **conductores gruesos**; con ello se evitan dos cosas: el excesivo calentamiento y las pérdidas por caída de tensión. Pero; **un conductor de gran sección es mucho más caro que otro fino**. El límite entre lo conveniente y lo necesario será el resultado del cálculo de la sección a determinar, de tal modo que **por un conductor no pase más de un número de amperios por milímetro cuadrado de los que el conductor puede resistir**. Este valor se determina por ensayo y se publica en **tablas** dentro del **Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión**

Densidad de corriente. Es la **cantidad en amperios** que pasa **por cada milímetro cuadrado de sección** del conductor.

$$d = \frac{I}{S} \text{ Amperios por mm}^2$$

(20)

La densidad de corriente que puede soportar un conductor variar entre 1'3 amperio por milímetro cuadrado y 15 amperios por milímetro cuadrado, cuanto mayor es la sección, menos amperios admite, por ser inversamente proporcional a la sección. Calcular un conductor basándose en la densidad de corriente no es válida. La sección no sólo depende de la cantidad de corriente que puede pasar por él, sino que también hay que tener en cuenta la colocación del conductor: Que puede ser: enterrado, al aire, solo, junto a otros, bajo tubo, con funda, sin funda. En el **Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión** se concretan estos casos, mediante **tablas**.

Los conductores pueden agruparse entre sí en *serie*, en *paralelo*, o en montaje *mixto* (que es la combinación de serie y paralelo a la vez).

21. RESISTENCIAS EN SERIE

Se llama **montaje en serie** cuando las resistencias se disponen **unas a continuación de otras**, de tal modo, que **todas** sean recorridos **por la misma corriente** (figura 30) donde se observan las siguientes particularidades:

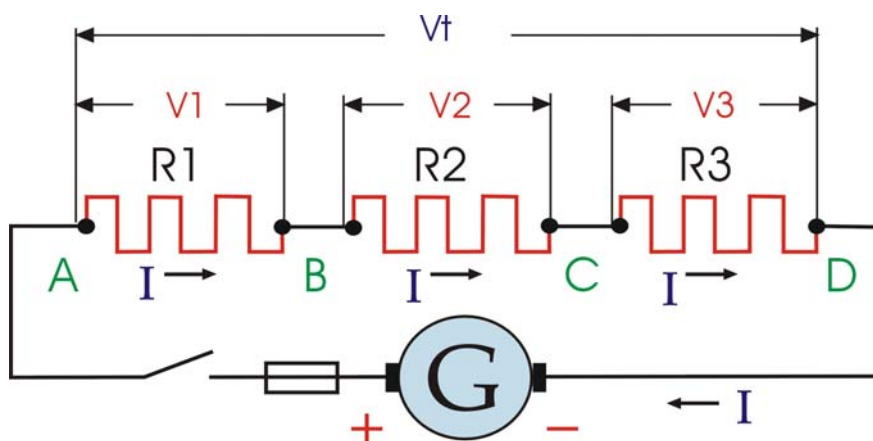


Figura 30 Resistencias en serie

La **resistencia del conjunto** es igual a la **suma** de las resistencias **de todas** las resistencias que lo compone.

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

(21)

Si en los extremos de este circuito se aplica una diferencia de potencial de **V** voltios, la corriente en este circuito y, por consiguiente, en cada conductor es:

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

(22)

La diferencia de potencial entre los extremos de cada conductor es de:

Entre **A** y **B** es de $V_1 = R_1 \cdot I$

Entre **B** y **C** es de $V_2 = R_2 \cdot I$

Entre **C** y **D** es de $V_3 = R_3 \cdot I$

de donde

$$V_1 + V_2 + V_3 = (R_1 + R_2 + R_3) I$$

Por tanto

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

(23)

Formula que se expresa diciendo:

*La diferencia de potencial entre los **extremos de un circuito serie**, es igual a **la suma** de las diferencias de potencial que existe entre **cada uno** de ellos.*

Ejercicio: Tres resistencias de **5, 10 y 15 Ω**, conectadas **en serie**, a una pila de petaca de **4'5 V**. ¿A qué **voltaje se podrá cada una** de ellas?

Resuelva este ejercicio aplicando las fórmulas 21, 22 y 2. Si el resultado es correcto obtendrá el resultado final de:

$$\begin{aligned} V_1 &= 0'75 \text{ V} \\ V_2 &= 1'50 \text{ V} \\ V_3 &= 2'25 \text{ V} \end{aligned}$$

22. RESISTENCIAS EN PARALELO

Cuando **todos los principios de las resistencias están todos unidos** en un solo punto y **todos los finales están todos unido en otro**, se dice que están agrupados en **paralelo** o **derivación** (figura 31).

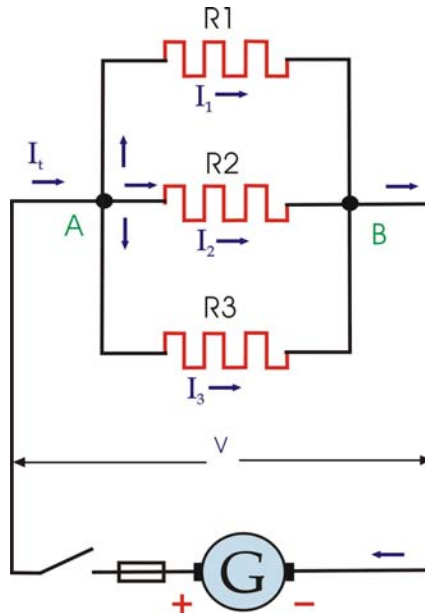


Figura 31 Resistencias en paralelo

La corriente al llegar al punto **A** se reparte entre todas las resistencias **R_1 , R_2 , R_3** de modo que cada conductor será recorrido por corriente **I_1 , I_2 , I_3** de tal modo que la suma de ellas es igual a la corriente total que llega al punto **A**

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

(24)

Resistencia del conjunto

Hallar el valor del conjunto de resistencias conectadas en paralelo, equivale a encontrar el valor de **una resistencia que sustituya a todo el conjunto por otra de similar valor** (figura 32)

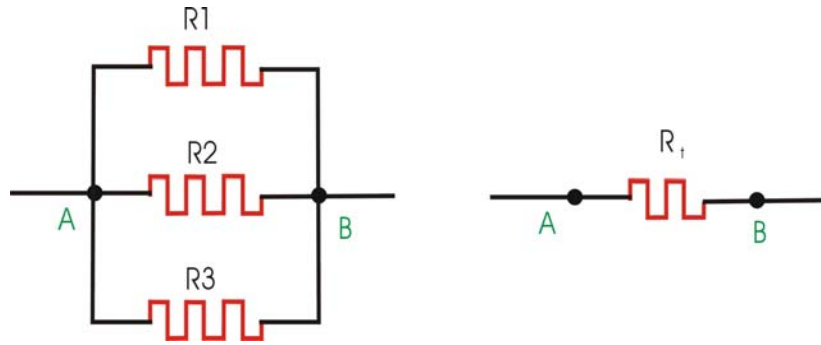


Figura 32 R_T tiene un valor equivalente al conjunto R_1 , R_2 y R_3

Si entre los puntos **A** y **B** se sabe que existe una diferencia de potencial de **V** voltios, por cada resistencia circulará

$$I_1 = \frac{V}{R_1} ; I_2 = \frac{V}{R_2} ; I_3 = \frac{V}{R_3}$$

Como se ha dicho que la suma de las intensidades es igual a la intensidad total (fórmula 24), se puede sumar y obtener

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

simplificando y sacando el factor común **V** se obtiene:

$$I_t = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

también se puede sustituir el valor de I_t por su equivalente

$$\frac{V}{R_t}$$

$$V = \frac{1}{R_t} = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

simplificando nuevamente queda:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

y despejando el valor de la resistencia total del conjunto

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

(25)

Fórmula que indica:

La **resistencia total** de un conjunto de resistencias conectadas en **paralelo** es igual **a la inversa** de **la suma de las inversas** de dichas resistencias.

Observación: Comparando los dos casos de asociación de resistencia se observa que:

En **resistencias serie** cuantas más resistencias en serie se agrupan **mayor es la resistencia del conjunto**.

En **resistencias paralelo** cuantas más resistencias en paralelo se agrupan **menor es la resistencia del conjunto**.

En **resistencias serie** el valor del conjunto siempre es **mayor** que **el valor de la mayor de las resistencias** que lo compone

En **resistencias paralelo** el valor del conjunto siempre es **menor** que **la menor de las resistencias** que lo compone

23. CASOS PARTICULARES:

Sólo dos conductores en derivación

El caso de la figura 33

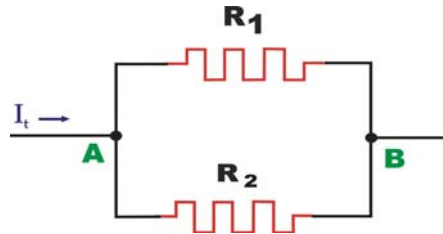


Figura 33 Dos resistencias en derivación

La resistencia del conjunto de estos dos conductores será

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

o bien:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 \cdot R_2}$$

de donde

$$R_t = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

(26)

Por consiguiente:

La resistencia de **dos resistencias en derivación** es igual **al producto** de las resistencias, **dividido por su suma**.

Shunt.

Cuando se pone **una resistencia** en **derivación con otra**, se dice que aquella está en **Shunt** con esta. En la figura 34 la resistencia **R**, está en derivación con el **amperímetro**. También se puede decir que **R**, es el **Shunt** del **Amperímetro**.

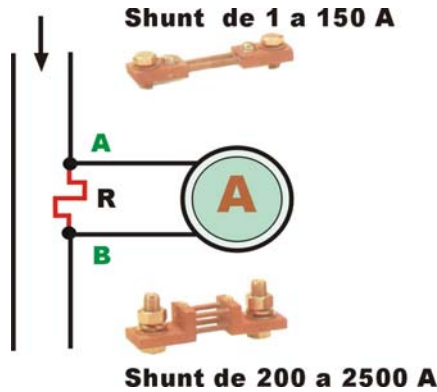


Figura 34 Amperímetro con shunt

Caso de todas las resistencias iguales: si en la fórmula general el denominador, es **común**, basta con multiplicar el valor de una de las resistencias iguales por el número de ellas.

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

en el caso de que

$$R_1 = R_2 = R_3$$

y siendo el número de resistencias **n**, el valor del conjunto es

$$R_t = \frac{1}{\frac{n}{R_1}} = \frac{R_1}{n}$$

Es decir:

$$R_t = \frac{R_1}{n}$$

(27)

El valor de la **resistencia total** de un conjunto de resistencias en paralelo, en **el caso de que sean todas ellas idénticas**, es igual **al valor de una de ella** dividido por **la cantidad de consta el conjunto**.

Nota de interés: Siempre que se pueda elegir, se escogerán **resistencias iguales** para acopla. Lo mismo será que sea en **serie** o en **paralelo**; puesto que los cálculos son mucho más rápidos y la posibilidad de equivocación será mucho menor.

25. MONTAJE MIXTO

Al montaje de la figura 35, es lo que se llama **montaje mixto**, en el que se observa que:

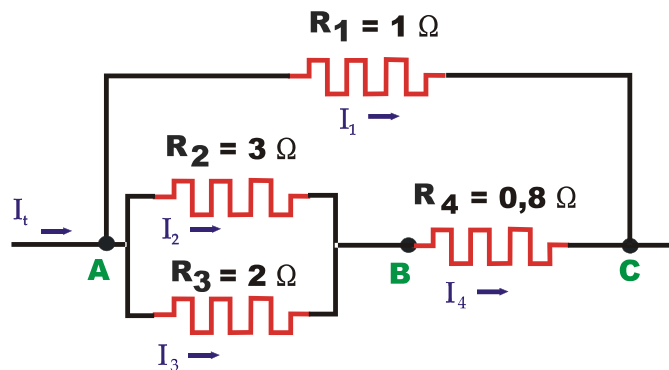


Figura 35 Agrupamiento mixto

Entre el punto **A** y **B** hay dos resistencias conectadas en paralelo la **R₂** y la **R₃**. Estas dos, están conectadas en serie con la resistencia **R₄**. A su vez, este conjunto de tres resistencias, está en paralelo con la **R₁**.

El procedimiento de cálculo de circuitos mixtos es el siguiente:

- 1°. Ver las forma de sustituir pequeños conjuntos por su valor equivalente. En este caso, **R₂** y **R₃** son dos resistencias en paralelo y quedaría como indica la figura 36

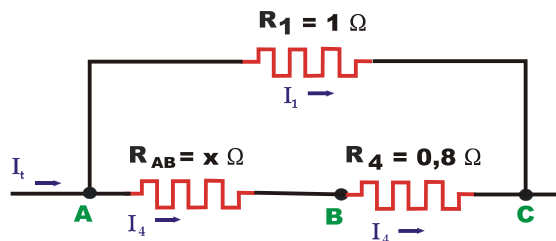


Figura 36 Primer circuito transformado

- 2°. Seguidamente se toma otro conjunto y se continúa transformando el circuito complejo en otro más simple. En el presente caso se tiene entre el punto **A** y **C** de la rama inferior con el punto intermedio **B**, se tiene dos resistencias en serie **R_{AB}** y **R₄**. Si estas dos, se sustituye por el valor de una sola equivalente; se llega al circuito de la figura 37

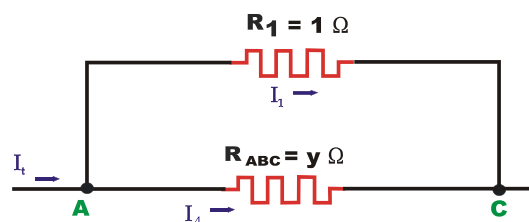


Figura 37 Segundo circuito transformado

3º Después de todas las transformaciones, se llegará a, bien un circuito serie, o un circuito en paralelo: En el ejemplo, un circuito en paralelo de dos resistencias R_1 , y R_{ABC} , fácil de resolver.

Ejemplo de cálculos:

Se llama potenciómetro el montaje que se representa en la figura 38. Una resistencia R_1 recibe por sus extremos **A** y **B** una tensión V . Entre el punto **D** y el contacto móvil **C** se intercala una resistencia R_2 , generalmente menor que la primera.

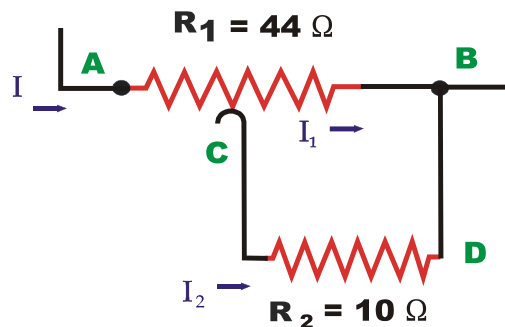


Figura 38 Potenciómetro

Según la posición del contacto **C**, la tensión que reciba la resistencia R_2 estará comprendida entre cero voltios (contacto en **B**) y V voltios (Contacto en **A**)

El conjunto se comporta como un agrupamiento mixto, una parte de la resistencia R_1 está en serie, y el resto de la misma en derivación con la resistencia R_2 .

Puesto el contacto **C** a la mitad la resistencia del conjunto será $R_1/2$ más el resultado de la combinada $R_1/2$ con R_2 . Si el potenciómetro de la figura 38 tiene los valores $V = 220$ Voltios, $R_1 = 44$ Ohmios, $R_2 = 10$ Ohmios. Calcular el valor de la intensidad de la corriente en la posición media del cursor.

$$R_t / 2 = \frac{22 \times 10}{22 + 10} + 22 = \frac{220}{32} + 22 = 28,88 \Omega$$

La intensidad de la corriente será

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220}{28,88} = 7,62 A$$