



Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Investigación en Energía

CURSO-TALLER SISTEMAS FOTOVOLTAICOS



**CONCEPTOS BÁSICOS DE
ELECTRICIDAD
y
DIMENSIONAMIENTO DE
CONDUCTORES**

AARÓN SÁNCHEZ JUÁREZ

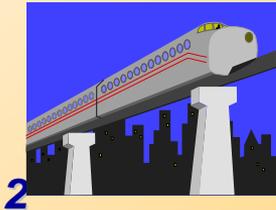
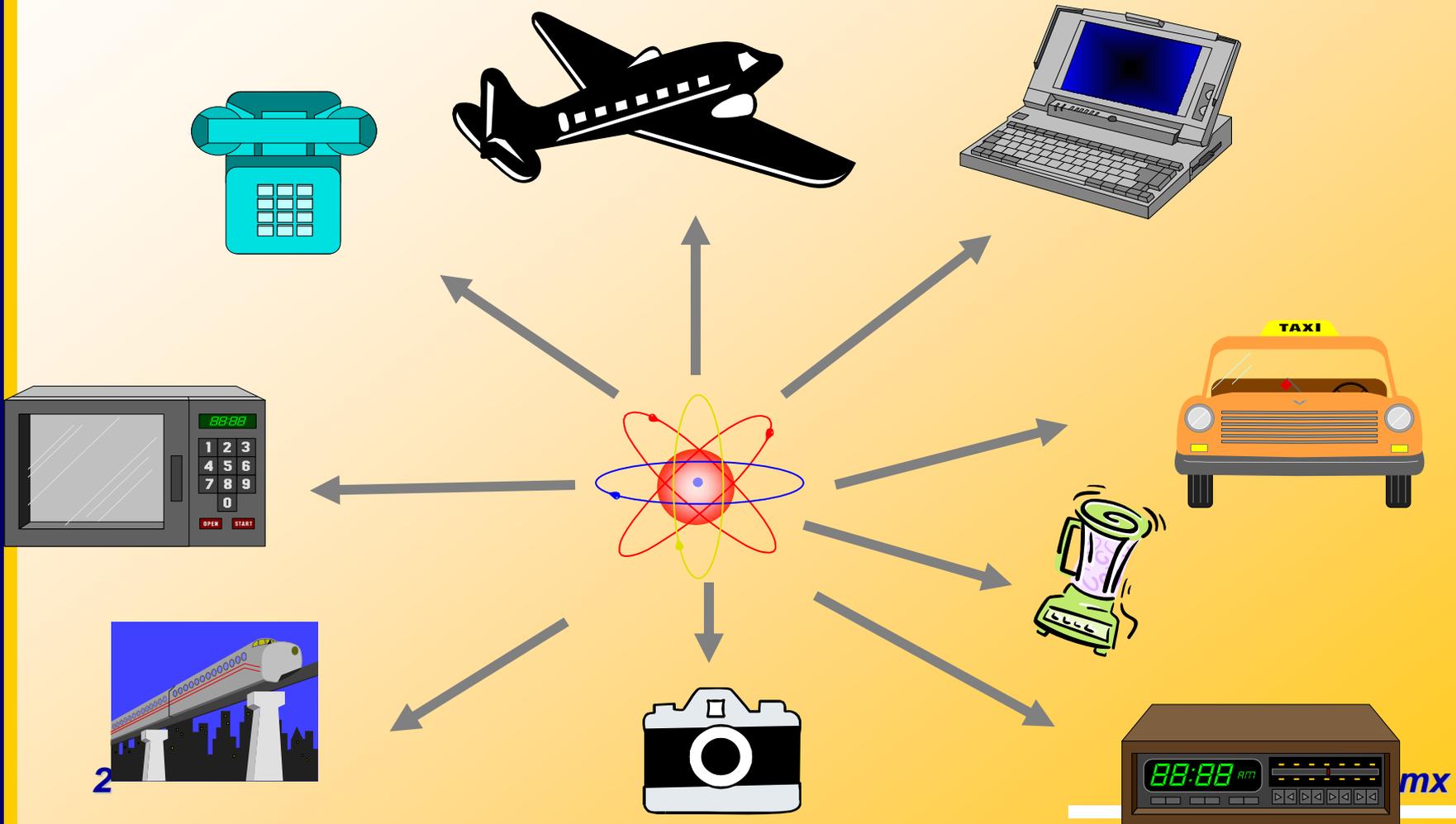
www.cie.unam.mx



Uso de la Energía Eléctrica



Centro de Investigación en Energía, UNAM





¿QUIÉN ES EL RESPONSABLE DE LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS?

¿QUE ES LA CORRIENTE ELECTRICA?

¿CUÁNTOS TIPOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA EXISTEN?

¿QUÉ ES LA CORRIENTE ALTERNA?

¿QUÉ ES LA CORRIENTE DIRECTA?

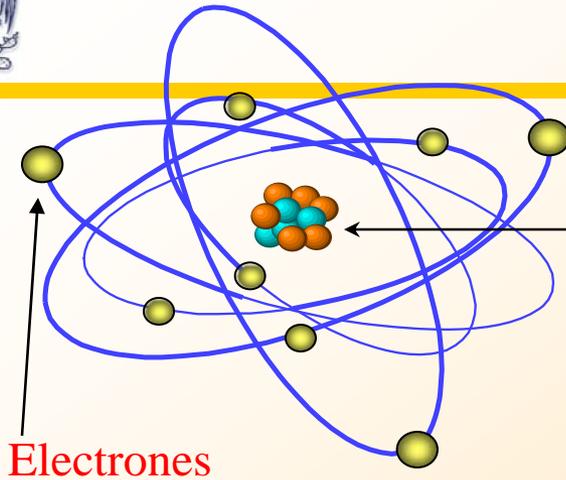
¿QUÉ ES EL VOLTAJE ELÉCTRICO?

¿QUÉ ES LA POTENCIA ELÉCTRICA?

¿QUÉ ES LA ENERGÍA ELÉCTRICA?



EL ÁTOMO



Los electrones son las partículas responsables de la electricidad y se les conoce como los portadores de la carga eléctrica.

Por convención se le ha asignado **carga negativa**.

Ellos pueden ser removidos de sus átomos y acumularse en regiones específicas o desplazarse a través de un medio sólido, líquido o gaseoso, siempre que exista una fuerza que los impulse



FORMAS COMÚNES DE ELECTRICIDAD

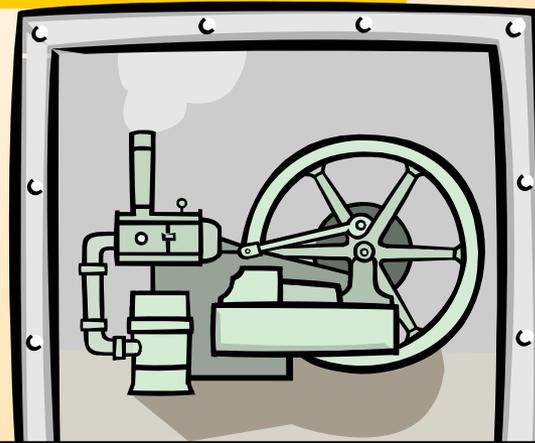


neraía. UNAM

Centro de Investigación



ELECTRICIDAD ESTÁTICA



ELECTRICIDAD MECÁNICA
(ALTERNADORES Ó DÍNAMOS)



ELECTRICIDAD QUÍMICA



ELECTRICIDAD
FOTOVOLTAICA



ENERGÍAS CONVENCIONALES Y TECNOLOGÍAS PARA GENERAR ELECTRICIDAD

Centro de Investigación en Energía, UNAM



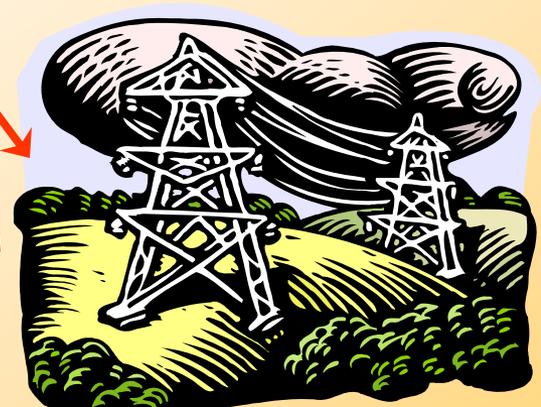
HIDRÁULICA



TÉRMICA



NUCLEAR



LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

USUARIO FINAL





Por su capacidad de conducir la electricidad los materiales de la naturaleza se clasifican en: **conductores**, **aislantes** y **semiconductores**.

Los metales son los conductores que presentan el medio de menor resistencia al flujo de las cargas eléctricas.

La **corriente eléctrica** es el flujo de electrones movidos por una fuerza externa. Se define como el número de electrones que en un segundo fluyen por la sección transversal de un conductor.

Símbolo: **I**

Unidad de medición: **Amper**,
simbolizado por: **A**

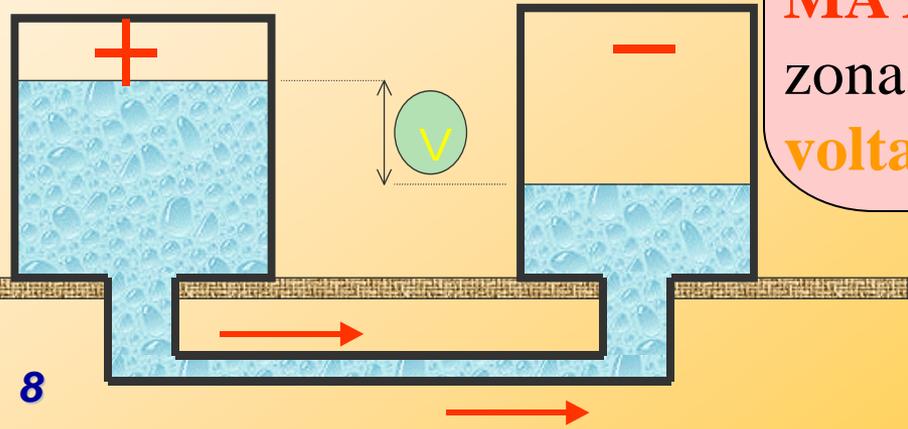


El **voltaje eléctrico** es el trabajo que debe realizar una fuente externa sobre los electrones para que estos puedan fluir por el conductor y producir una corriente eléctrica.

Símbolo: **V**

Unidad de medición: **El volt**
 Simbolizado por: **V**

Forma Análoga:
La diferencia de nivel (V), hace que se produzca la corriente liquida

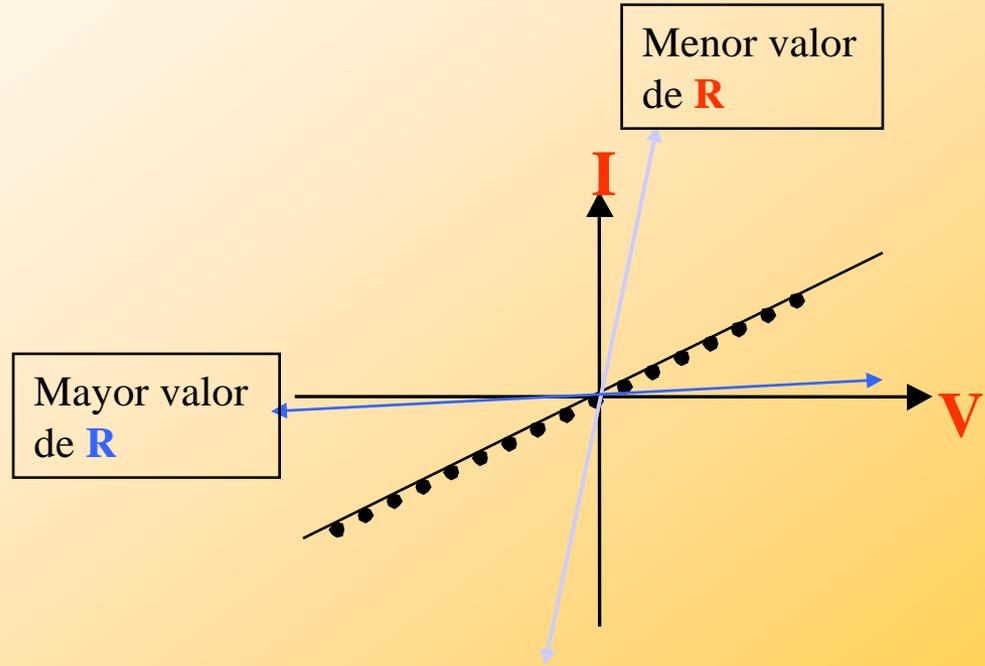
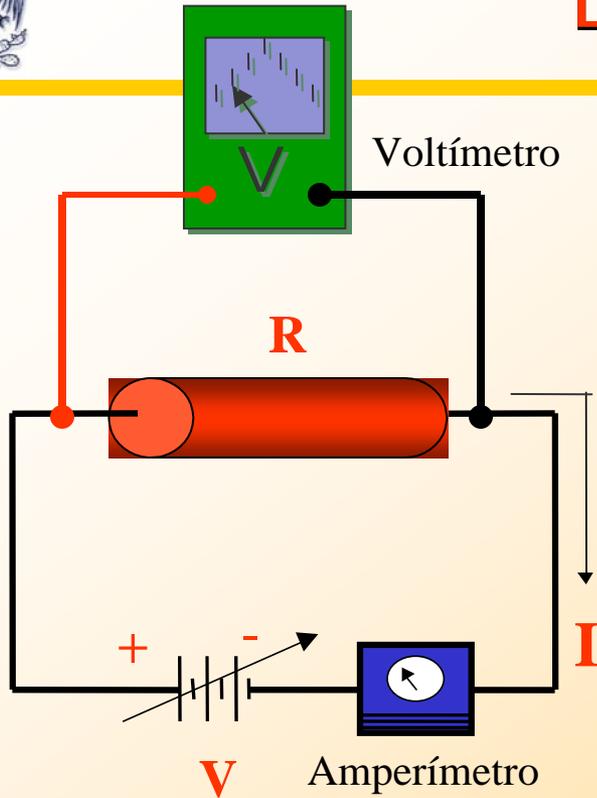


En un conductor, **la corriente eléctrica circula** de las zonas de **MAYOR voltaje** a las zonas de **MENOR voltaje**.





Ley de Ohm



El comportamiento lineal indica que:

$$I \propto V \rightarrow I = m V \rightarrow m = 1 / R$$



$$V = RI$$

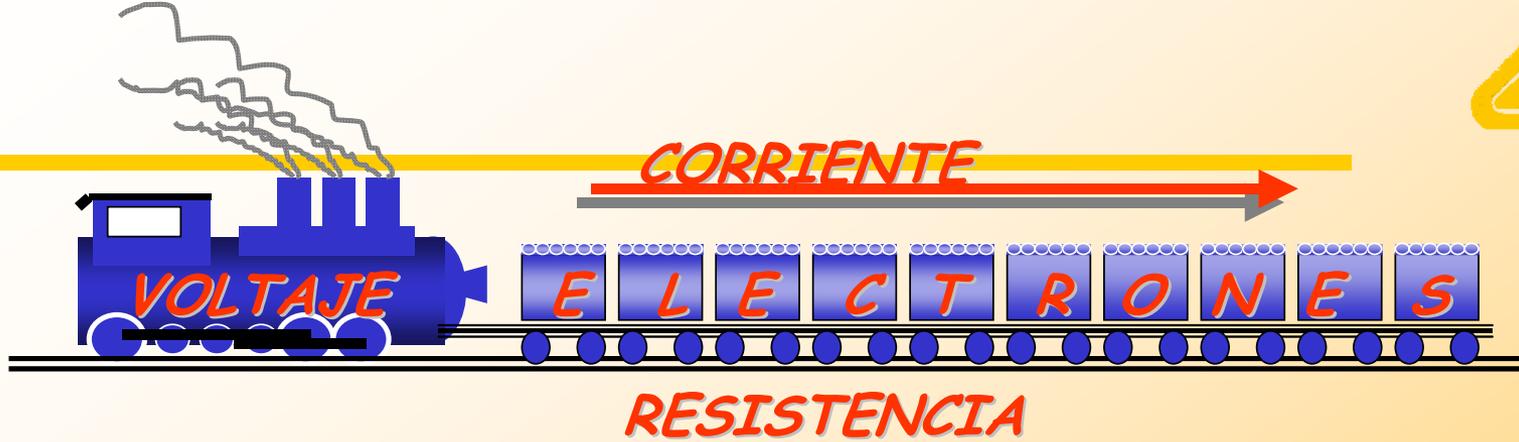
Ley de Ohm

De donde:

V= Voltaje (Volts)

I = Corriente (Amper)

R = Resistencia (ohm)

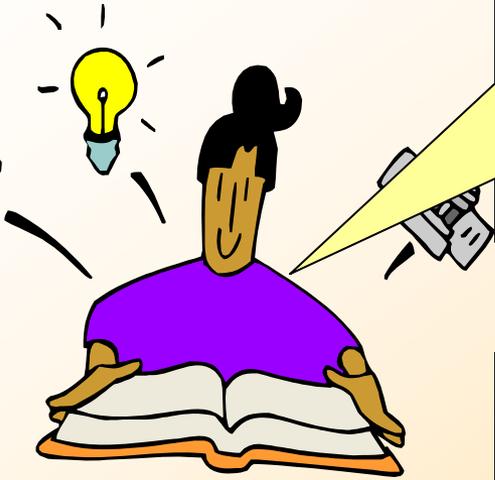


Magnitudes Eléctricas

Magnitud	Unidad	Aparato de medición
<p>V</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voltaje - Diferencia de potencial - Fuerza Electromotriz 	<p>Volt</p> <p>Milivolt Microvolt</p>	Voltímetro
<p>I</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corriente - Intensidad 	<p>Amper</p> <p>Miliamper Microamper</p>	Amperímetro
<p>R</p> <ul style="list-style-type: none"> - Resistencia 	<p>Ohm</p> <p>Microhm Megaohm</p>	Ohmetro



La **potencia eléctrica** que se genera o se consume en un instante dado se especifica por el voltaje **V** que obliga a los electrones a producir una corriente **I**.



La potencia eléctrica es el producto del voltaje con la corriente

Símbolo: **P**

Unidad de medición: **El Watt**
Se simboliza por: **W**

$$P = V \times I$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A}$$



La **Energía Eléctrica** es la potencia generada o consumida en la unidad de tiempo; y se define como el producto de la potencia eléctrica consumida (generada) por el tiempo de consumo (generación)

Símbolo: **E**

Unidad de medición: **El watt-hora**

ENERGÍA GENERADA O CONSUMIDA

$$E = P \times t$$

Donde:

P es la potencia **Watts**,

t es el tiempo que esta funcionando el aparato o equipo **Horas**

E es la energía que se consume en **Watts - Hrs.**

El equipo para medir el consumo eléctrico se le llama Watorímetro y es conectado en paralelo con los aparatos eléctricos.



TIPOS DE ELECTRICIDAD

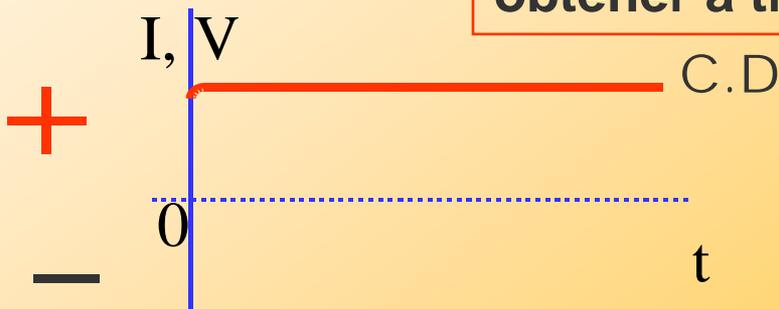


Con respecto a la forma con que se genera la electricidad se pueden encontrar dos tipos de ella: la **corriente directa o continua, C.D.**, y la **corriente alterna, C. A.**

Corriente directa o continua CD:

Este tipo de electricidad se produce cuando la intensidad de la **corriente eléctrica es constante.**

Se puede generar por medio de **reacciones electroquímicas (pilas o baterías)**, por fricción, por medio de **celdas solares**. Se puede obtener a través de la corriente alterna.

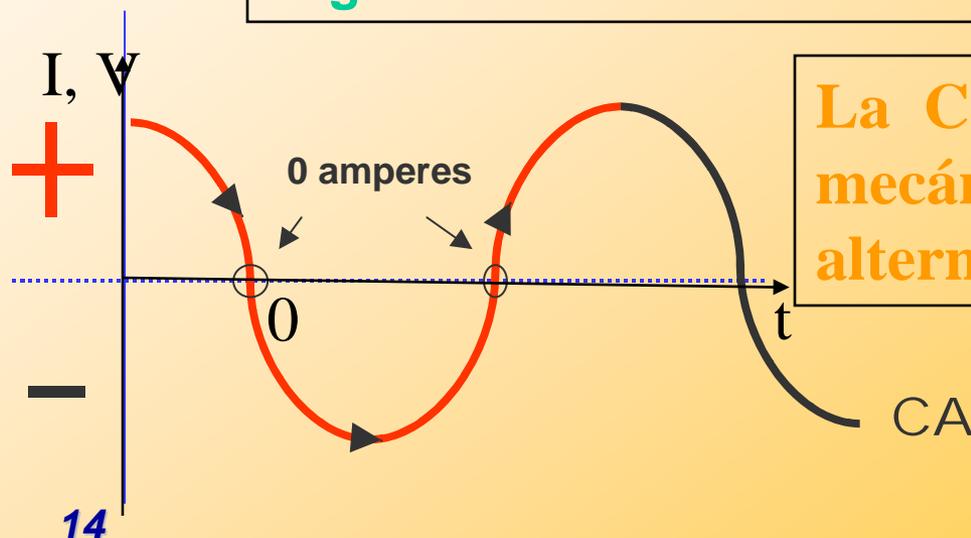


La electricidad en CD puede almacenarse en **acumuladores tipo automotriz.**



Corriente alterna CA : Este tipo de electricidad se produce cuando la corriente cambia de polaridad, de positivo a negativo, y viceversa, con determinada frecuencia. En México, la frecuencia de oscilación es de 60 ciclos por segundos (60 Hertz)

La intensidad de la corriente no es constante ya que en cada ciclo, hay dos instantes en que su valor es cero, por lo que teóricamente un foco u otro aparato eléctrico que es conectado a la C.A. se apaga 120 veces por cada segundo.



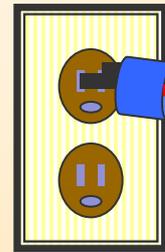
La C.A. se genera por medios mecánicos en aparatos llamados alternadores ó dinamos



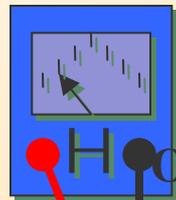
Mediciones Eléctricas



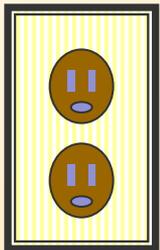
Medición del Voltaje



Voltímetro en Paralelo



Ohmetro en paralelo



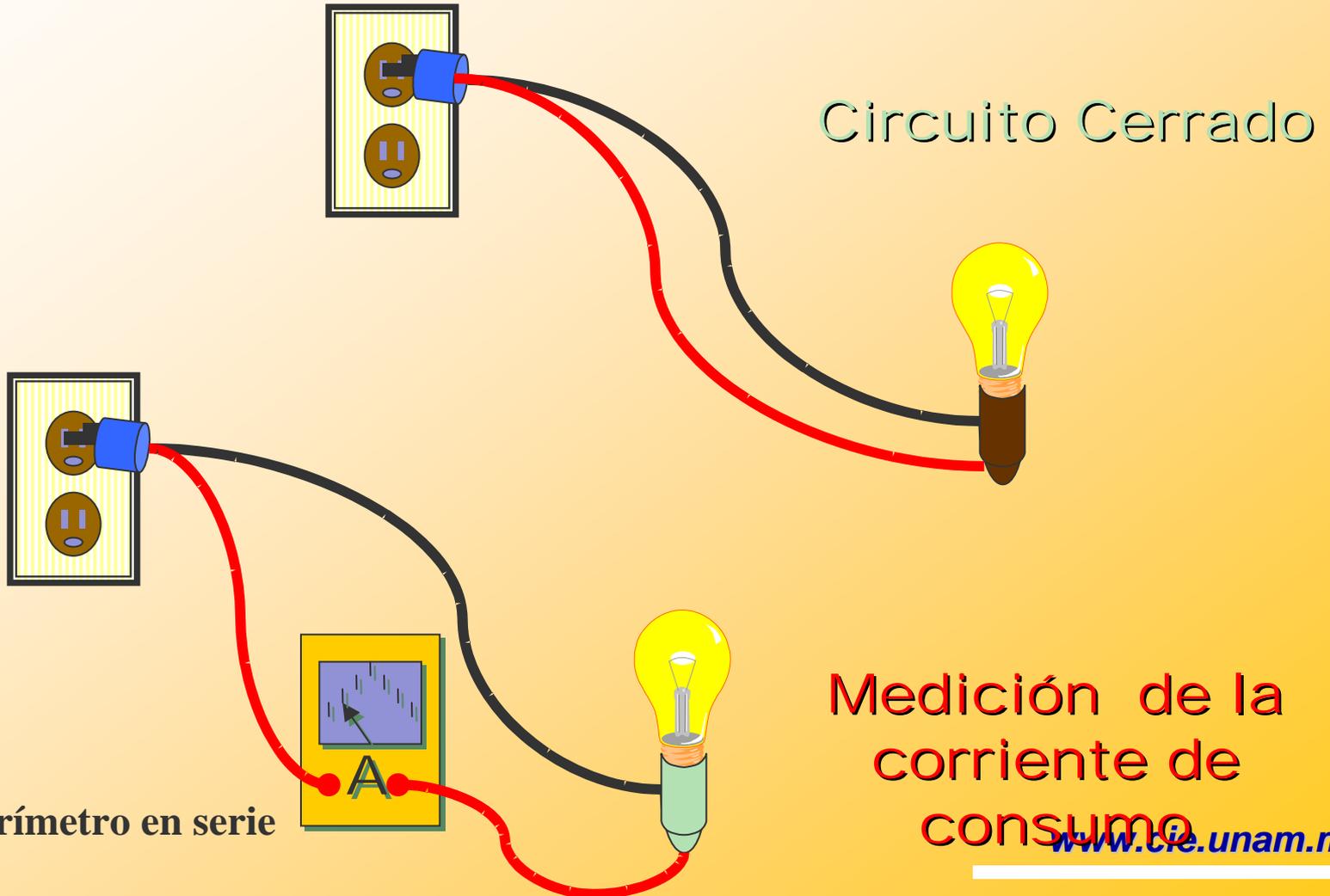
Circuito Abierto



Medición de la Resistencia



Mediciones Eléctricas



Circuito Cerrado

Medición de la corriente de consumo

Amperímetro en serie



Dimensionamiento y Capacidad de conducción de Corriente de los conductores



Cálculo de Conductores

EL cálculo de conductores se realiza por la capacidad de conducción de Corriente, a ésta se le denomina **AMPACIDAD**, la cual se encuentra limitada por los Factores:

- Conductividad del Metal.
- Capacidad Térmica del aislamiento.

Para cualquier cálculo de ampacidad, de acuerdo con las normas “UL y NEC” se requiere que la Corriente de diseño sea:

$$I = I_{SC} \times 1.25 \times 1.25$$

donde: I_{SC} es la Corriente a corto circuito del arreglo FV.



- No se debe exceder la ampacidad del cable a la temperatura de operación

Tipo	Calibre (AWG)	Temp. Aislante	Ampacidad máxima (amperios)	
			a 30°C	a 60-70°C
Cables monoconductores	14	90°C	30	17.4
		75°C	25	8.3
	12	90°C	40	23.2
		75°C	35	11.5
	10	90°C	55	31.9
		75°C	50	16.5
8	90°C	80	46.8	
	75°C	70	23.1	
Cables de 2 o más conductores	14	90°C	25	14.5
		75°C	20	6.6
	12	90°C	30	17.4
		75°C	25	8.3
	10	90°C	40	23.2
		75°C	35	11.5
8	90°C	55	31.9	
	75°C	50	16.5	



Tipo	Descripción
T	Aislante de termoplástico
H	Aislante de 75°C. *
HH	Aislante de 90°C
N	Cubierta de Nylon
W	Resistente a la humedad
R	Aislante de caucho
U	Uso subterráneo
USE	Cable de acometida subterránea **
UF	Cable de alimentación subterránea **
SE	Cable de acometida **
-2	Aislante de 90°C en lugares mojados

* Ausencia de "H" significa aislante de 60°C

** Puede ser cable monoconductor o de varios conductores



LIMITAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA EN EL CABLEADO

Recomendaciones

- Limitar Caídas de Voltaje al 3% para sistemas con voltaje nominal menor de 48 V; y hasta el 5% para voltajes mayores o iguales de 48V.
- Se recomienda usar las Tablas de la RESISTENCIA POR KILÓMETRO, R_L , del fabricante del cable
- Si se dispone de una tabla para R_L , seleccionar el calibre inmediato mayor a la R_L calculada.
- Si se tiene varias cargas alimentadas por un mismo circuito, considerar la carga típica y calcular el calibre por secciones.



TABLA DE VALORES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA POR KILÓMETRO DE LONGITUD PARA CABLES COMERCIALES

$$R_L = (\Delta V \times 1000) / (I \times L)$$

ΔV es la caída de voltaje en el conductor cuya longitud total es L y en él circula una corriente I.

Referencia:
Manual de Ingeniería Eléctrica
13a. Edición
Donal G. Fink & H. Wayne Beaty
Editorial: Mc Graw-Hill

Resistencia para cordones flexibles SMI^{MR}

Calibre AWG	Resistencia C.D. Ohms/km		Resistencia C.A. Ohms/km	
	25°C	60°C	25°C	60°C
20	34.7	39.4	34.7	39.4
18	21.8	24.7	21.8	24.7
16	13.7	15.6	13.7	15.6
14	8.61	9.8	8.61	9.8
12	5.42	6.2	5.42	6.2

Resistencia para cables de cobre sin estañar cableado concéntrico, Comprimido y compacto

Calibre AWG kCM	Resistencia C.D Ohms/km			Resistencia C.A Ohms/km		
	25 °C	75 °C	90 °C	25 °C	75 °C	90 °C
20	34.6	41.3	43.3	34.6	41.3	43.3
18	21.8	26.0	27.3	21.8	26.0	27.3
16	13.7	16.3	17.1	13.7	16.3	17.1
14	8.60	10.3	10.76	8.60	10.3	10.76
12	5.42	6.47	6.77	5.42	6.47	6.77
10	3.40	4.06	4.26	3.40	4.06	4.26
8	2.14	2.55	2.68	2.14	2.55	2.68
6	1.34	1.60	1.68	1.34	1.60	1.68
4	0.84	1.01	1.06	0.84	1.01	1.06
2	0.533	0.636	0.666	0.534	0.637	0.667
1/0	0.335	0.400	0.419	0.335	0.401	0.420
2/0	0.265	0.316	0.332	0.265	0.317	0.333
3/0	0.211	0.252	0.264	0.212	0.253	0.265
4/0	0.167	0.199	0.209	0.170	0.202	0.212
250	0.141	0.168	0.177	0.144	0.171	0.179
300	0.118	0.141	0.147	0.122	0.144	0.150
350	0.101	0.121	0.126	0.105	0.124	0.130
400	0.0884	0.105	0.110	0.0933	0.110	0.115
500	0.0707	0.0844	0.088	0.0769	0.090	0.094
600	0.0589	0.0703	0.073	0.0660	0.076	0.080
750	0.0471	0.0562	0.058	0.0558	0.064	0.066
1000	0.0353	0.0421	0.044	0.0461	0.052	0.054

* Calculado para cables en conduit no metálico en configuración trébol



- **Para Interconexión de los Módulos**
 - **Monoconductores resistentes a la luz solar con aislante de 90°C en lugares mojados (LM)**
 - **NEC-99 acepta los tipos USE-2 y UF resistente a la luz solar**
 - **NOM-99 permite los tipos TWD-UV (cable plano para sistemas fotovoltaicos), con aislante de 60°C en LM**
 - **Cables monoconductores o poli-conductores en tubos con aislante de 90°C en LM**
 - **La Norma acepta tipos RHW-2, THW-2, THWN-2**
 - **No se permite usar cables mono-conductores sin ductos, excepto en el arreglo FV**



➤ Sistemas de corriente alterna

- Blanco para el neutro (puesto a tierra)
- Negro o Gris para el conductor no puesto a tierra

➤ Sistemas de corriente continua

- Blanco o Gris para el negativo (puesto a tierra)
 - **Se puede usar otro color con marcas blancas en los extremos si el conductor es 6 AWG o menor.**
 - **Se permite usar cable negro para las interconexiones del arreglo**
- Negro o Rojo para el positivo



- Para el conductor del arreglo, se toma como referencia la corriente de corto circuito multiplicada por 1.56 (Norma)
- Para cualquier otro conductor, se toma como referencia la corriente máxima de operación multiplicada por 1.25



Gracias

asj@cie.unam.mx

www.cie.unam.mx