



# UC3M

GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

## Principios Físicos de la Informática

# *Tema 2: Corriente continua.*

## *Componentes básicos de un circuito de cc*

---

**Ángel de Andrea González**

Departamento de Física, Universidad Carlos III

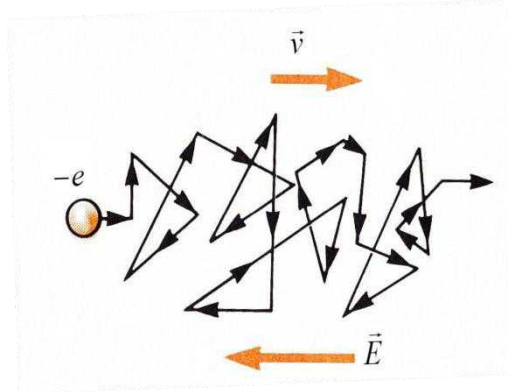
**[aandrea@fis.uc3m.es](mailto:aandrea@fis.uc3m.es)**



# Concepto de corriente eléctrica

---

- ❖ Bajo la influencia de un campo eléctrico, los electrones libres del metal experimentan una fuerza de sentido opuesto al del campo, y son acelerados en el sentido de esta fuerza.



- ❖ Los choques con los cationes frenan pronto a los electrones libres o los detienen, después de lo cual vuelven a ser acelerados, y así sucesivamente. El movimiento electrónico tiene una velocidad media en sentido opuesto al campo.

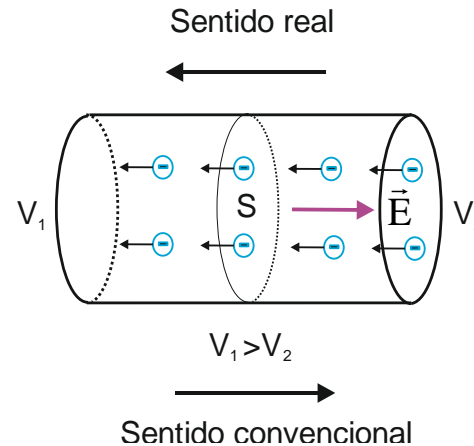


Se puede considerar que los electrones se mueven uniformemente con esta velocidad media.

---

# Intensidad de corriente eléctrica

---



Se define la intensidad de corriente eléctrica como la carga que atraviesa perpendicularmente la sección de un conductor, por unidad de tiempo

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Se puede demostrar que  $I = nevS$

siendo  $n$  el número de electrones por unidad de volumen,  $e$  la carga en valor absoluto de cada uno y  $v$  su velocidad. La velocidad de los electrones en el metal  $10^{-4} m s^{-1}$

---

# Densidad de corriente eléctrica

---

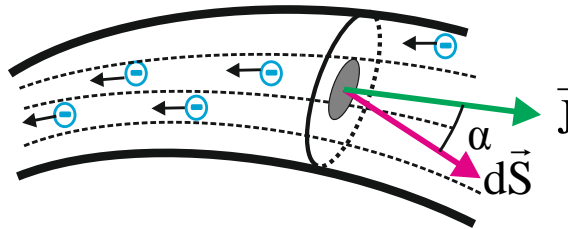
Recuerda que la unidad de la intensidad de corriente en el SI es el *amperio*  $1\text{ A} = 1\text{ C/s}$ .

Las intensidades pequeñas se expresan generalmente en miliamperios (mA), o en microamperio ( $\mu\text{A}$ )

Suponiendo que por un conductor circula una corriente homogénea, se define la *densidad de corriente*,  $\vec{J}$

$$J = \frac{I}{S} = nev$$

Esta magnitud vectorial se mide en amperio por metro cuadrado ( $\text{A m}^{-2}$ )



¿A qué velocidad viaja la corriente eléctrica en un conductor?

¡ 300 000 km/s (velocidad de la luz en el vacío) !

---

# Intensidad producida por diferentes tipos de cargas

---

Cuando circula una corriente por un conductor en el cual existen cargas libres de ambos signos, como en el caso de un electrólito, gas...las cargas negativas cruzan la sección en un sentido, y las cargas positivas en el otro.

la intensidad de corriente  $I = S \sum_{i=1}^N n_i q_i v_i$ .

Todos los productos  $nqv$  tendrán el mismo signo, puesto que las cargas de signo contrario se moverán en sentidos opuestos.

## Observa que...

Para crear una pequeña sensación de dolor en el cuerpo humano se necesita una intensidad de corriente entre 5 mA y 10 mA . Una intensidad de corriente de 70 mA puede matar a una persona.

...entonces, ¿por qué es posible sobrevivir en ciertos casos a la caída de un rayo?

---

# Ley de Ohm (1827)

---

En los conductores lineales e isótropos la densidad de corriente es proporcional a la intensidad de campo eléctrico

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

Siendo  $\sigma$  una constante característica de cada sustancia que se denomina *conductividad*; su valor, para un mismo conductor, varía con las condiciones físicas, especialmente con la temperatura. La unidad de la conductividad en el SI es  $S\ m^{-1}$ , donde  $S$  es el símbolo del siemens.

Para un conductor lineal, isótropo y homogéneo (como por ejemplo, un conductor filiforme), la ley de Ohm es más común expresarla mediante una caída de potencial a lo largo de la longitud  $l$  de sección  $S$ .



Georg Simon Ohm  
(1789-1854)



$$I = (V_1 - V_2) / R$$

---

# Fórmula de Pouillet

## ¿Constante de proporcionalidad $R$ ?

$R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S}$  . La inversa de  $\sigma$ , se denomina *resistividad*  $\rho$  o resistencia específica, de

modo que la resistencia también puede escribirse de esta forma  $R = \rho \frac{l}{S}$ , conocida

como fórmula de Pouillet.

## ¿Unidad de resistencia eléctrica $R$ en el SI?

A partir de las ecuaciones anteriores se puede definir la unidad de resistencia eléctrica denominada ohmio ( $\Omega$ ),  $1 \Omega = 1 \text{ V} / 1 \text{ A}$  . El ohmio es la resistencia de un conductor que teniendo aplicada entre sus extremos una ddp de 1 voltio está recorrido por una corriente de 1 amperio.

## ¿Unidad de resistividad eléctrica el SI?

La unidad de conductancia  $1/R$  se denomina *mho* el ( $\Omega^{-1}$ ) o *siemens* ( $S$ ):  $1 S = 1 \Omega^{-1}$  .

La unidad de la resistividad será el  $\Omega \text{ m}$  . La resistividad de los mejores conductores como el cobre y el aluminio es del orden  $10^{-8} \Omega \text{ m}$  a temperatura ambiente.

Material	Resistividad
(a 20 °C-25 °C)	( $\Omega \cdot \text{m} \times 10^{-8}$ )
Plata	1,55
Cobre	1,71
Oro	2,22
Aluminio	2,82
Wolframio	5,65
Níquel	6,40
Hierro	9,71
Platino	10,60
Estaño	11,50
Acero inoxidable	72,00
Grafito	60,00



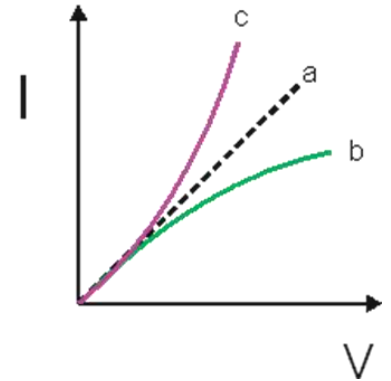
# Variaciones de la resistencia de un conductor

---

La resistividad es función lineal de la temperatura, y para temperaturas no muy elevadas

$$\rho = \rho_o(1 + \alpha t)$$

Que indica que la resistividad es función lineal de la temperatura;  $\alpha$  es un coeficiente que nos da la variación de  $\rho$  con la temperatura, y sus dimensiones son  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ . En los metales,  $\alpha > 0$ , lo cual quiere decir que su resistividad aumenta con la temperatura; en cambio, en algunos cuerpos no metálicos, tales como el carbón, el coeficiente  $\alpha$  es negativo.



...entonces, ¿es la ley de Ohm una verdadera ley?



!!!NO!!!

# Superconductividad

---

¿Existen materiales con resistividad nula?



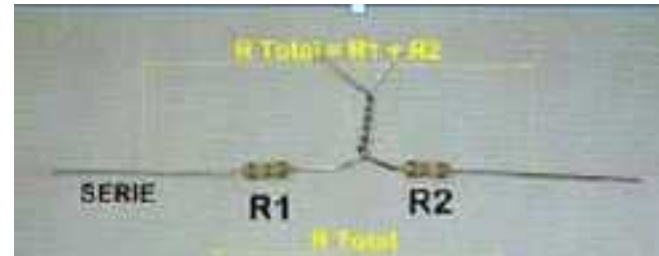
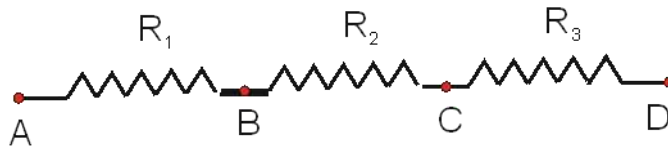
¡¡¡Sí!!!

En algunos metales se verifica que a una determinada temperatura muy baja, por debajo de una temperatura crítica  $T_c$  y por debajo de un campo magnético aplicado (campo crítico  $B_c$ ), la resistencia salta súbitamente un valor finito (muy pequeño) a cero. Se dice entonces que los metales han adquirido el estado superconductor. Kamerlingh-Onnes observó en 1911 esta superconductividad en cinco metales (plomo, mercurio, estaño, indio y talio). La temperatura a la cual tiene lugar el salto se encuentra entre 2,5 K (talio) y 7,2 K (plomo). Posteriormente se ha visto que algunos otros metales (entre ellos, aluminio, tantalio, torio) son también superconductores; últimamente se han encontrado que igualmente lo son algunas aleaciones. En otros metales, por el contrario, *no se ha llegado a encontrar, ni aún a las temperaturas muy bajas, ese salto de la conductividad.*

---

# Asociación de resistencias en serie

Cuando varias resistencias se conectan tal como se indica en la figura se dice que están *montadas en serie* en este caso circula la misma intensidad de corriente por todas ellas



varias resistencias como las representadas en la figura *equivalen a una resistencia única, cuya resistencia es igual a la suma de ellas*

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^N R_i$$

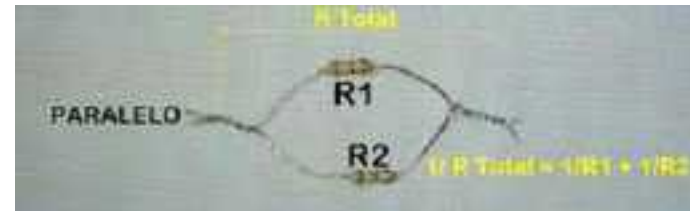
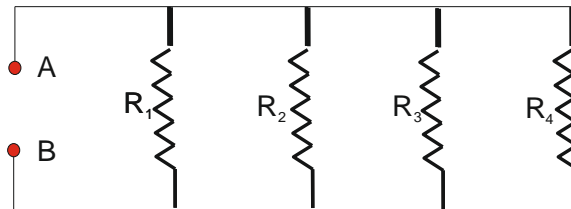
¿Cuándo conviene hacer este tipo de asociación?



*Cuando se quiere obtener una resistencia equivalente superior a la mayor de ellas*

# Asociación de resistencias en paralelo

Cuando varias resistencias se conectan tal como se indica en la figura se dice que están *montadas en paralelo* en este caso circula diferente intensidad de corriente por todas ellas, siendo la diferencia de potencial idéntica



varias resistencias como las representadas en la figura *equivalen a una resistencia única*:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

*¿Cuándo conviene hacer este tipo de asociación?*

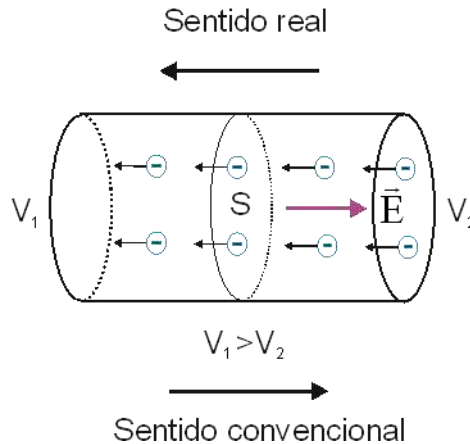


*Cuando se quiere obtener una resistencia equivalente menor que la más pequeña de ellas*

*¿Por qué las bombillas de un lámpara se conectan en paralelo?*

# Potencia de una corriente eléctrica

Consideremos dos secciones 1 y 2 de un conductor recorrido por una corriente.



El trabajo realizado por el campo eléctrico que produce la corriente en la unidad de tiempo, se denomina potencia eléctrica

$$P = \frac{\delta W}{dt} = (V_1 - V_2)I$$

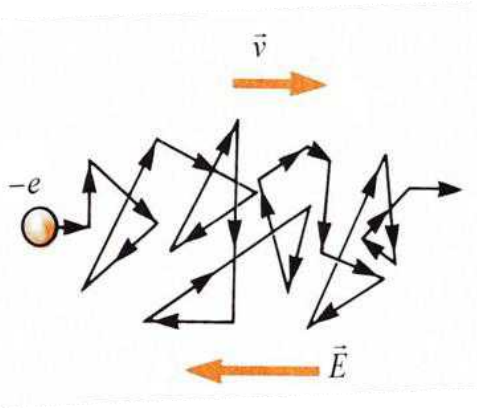
cuya unidad en el SI es el vatio (W)

## Observa que...

No debe confundirse el kilovatio (kW), unidad de potencia, con el kilovatio hora (kWh), que es unidad de energía, equivalente a la suministrada por una corriente cuya potencia es de un kilovatio durante una hora

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

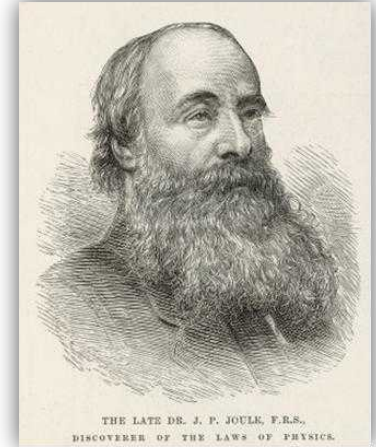
# El efecto Joule (1843)



Debido al trabajo hecho por el campo, en los metales, los electrones adquieren una adicional energía cinética que invierten en excitar las vibraciones de la red a través de colisiones con los cationes.



Esto hace que aumente la energía interna (energía térmica) del conductor, y en consecuencia que se produzca una elevación de temperatura en éste.



Se produce una transferencia de energía en forma de calor desde el conductor al medio ambiente.

- La potencia calorífica disipada al medio ambiente será es  $P = (V_1 - V_2)I$
- De acuerdo con la Ley de Ohm  $(V_1 - V_2) = IR$
- Se obtiene  $P = I^2R$  **Ley de Joule**

# Aplicaciones del efecto Joule

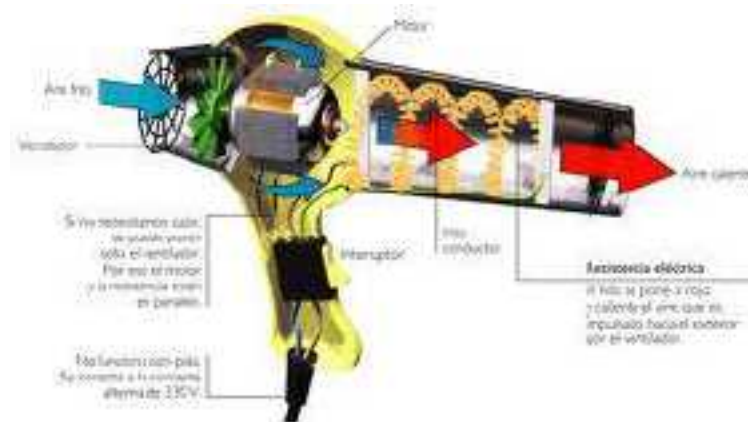
✓ Alumbrado, calefactores, secadores...



✓ Fusibles (corta-circuitos), o resistencias de seguridad, que se funden automáticamente. Cuando la corriente rebasa un valor umbral, el hilo se funde quedando interrumpida la corriente.



## Preguntas de desafío



- ¿Por qué el filamento de una bombilla de incandescencia tiene una longitud de medio metro?
- ¿Qué tiene mayor resistencia una bombilla o una estufa?
- Un hornillo eléctrico se funde, y al arreglarlo se pierde un trozo del hilo de la resistencia. Al conectarlo de nuevo, ¿darás más o menos calor que antes?
- ¿Por qué las bombillas de incandescencia estandar pierden luminosidad al cabo del tiempo?



# Inconvenientes del efecto Joule

---

Observa que...



Los ordenadores disponen de ventiladores con objeto de disipar energía en forma de calor producida por efecto Joule. No obstante, es de común uso en los ordenadores portátiles las bases refrigeradoras que suelen incluir dos ventiladores interiores alimentados por USB.



En las grandes instalaciones es preciso poner los alambres conductores lo suficientemente gruesos para que el calor desarrollado por efecto Joule no rebase cierto límite. Esto tiene por objeto el evitar una excesiva pérdida de energía y el prevenir los riesgos de incendio.

---

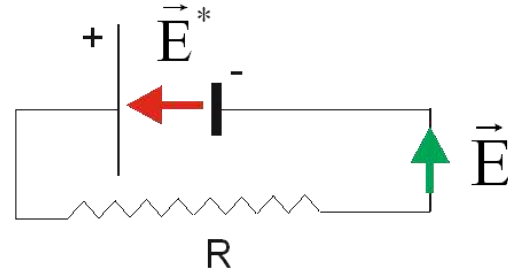


# Fuerza electromotriz de un generador

---

- Para obtener una corriente en un conductor es preciso mantener en su interior un campo eléctrico, o lo que es lo mismo, una ddp constante entre sus extremos, y esto exige un consumo de energía que viene suministrada por el generador (pila, acumulador, dinamo, etc.)
- Se define la fuerza electromotriz (fem) como el trabajo realizado por el generador sobre la unidad de carga positiva.

$$\varepsilon = \delta W / dq = \int_C \vec{E}^* \cdot d\vec{l}$$



- La dimensiones de la fem son idénticas a las de una ddp, y por lo tanto, aquella se mide en voltios. Sin embargo, fem y ddp son dos conceptos diferentes.



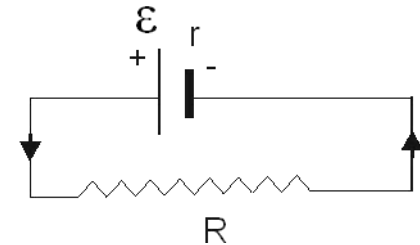
***La fem es la causa de que exista la ddp entre los extremos del conductor***

---

# Ley de Ohm para un circuito cerrado

---

- ❖ Considérese un circuito eléctrico cerrado con una resistencia de carga  $R$ , y un generador con resistencia interna  $r$



- ❖ Aplicando el principio de conservación de la energía:  $\varepsilon I = R I^2 + r I^2$
- ❖ Despejando la intensidad de corriente:

$$I = \frac{\varepsilon}{(R + r)}$$



**Ley de Ohm para un circuito completo**

---

# Diferencia de potencial en los bornes de un generador

Considérese un circuito eléctrico cerrado constituido por un generador con resistencia interna  $r$  y una resistencia de carga  $R$

¿Diferencia de potencial en bornes?

- Aplicando el principio de conservación de la energía



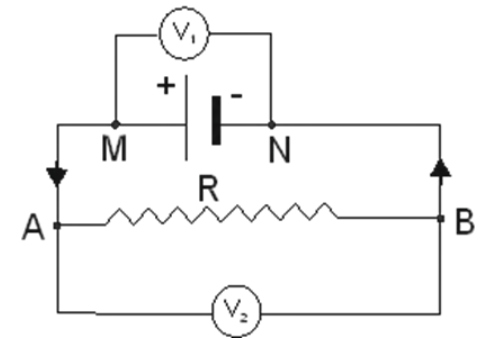
- Teniendo en cuenta que la caída de tensión en la resistencia interna es  $I r$



- la diferencia de potencial es parte de la fuerza electromotriz necesaria para impulsar los electrones a través de la resistencia externa  $R$



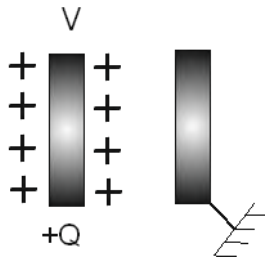
$$V_M - V_N = \mathcal{E} - I r$$



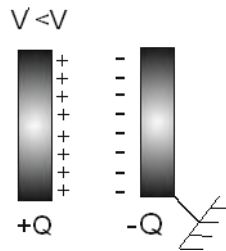
# El condensador

Es posible crear un sistema de conductores que tenga una capacidad considerablemente mayor que la de un conductor aislado. Además, la capacidad del sistema no dependerá de los cuerpos de los alrededores. Tal sistema recibe el nombre de condensador o capacitor. El condensador más simple está formado por dos placas conductoras separadas a una distancia muy pequeña (condensador de placas planoparalelas).

SITUACIÓN INICIAL



SITUACIÓN FINAL



Si  $Q$  es la carga de la armadura positiva, siendo la diferencia de potencial entre sus placas es  $V_A - V_B$ , su capacidad vendrá dada por:

$$C = \frac{Q}{V_A - V_B}$$

La capacidad para un condensador plano, donde la superficie de cada placa es  $S$ , siendo su densidad superficial de carga  $\sigma = Q/S$ , vendrá dada por:

$$C = \frac{Q}{V_A - V_B} = \frac{Q}{\sigma d / (S \epsilon_o)} = \epsilon_o \frac{S}{d}$$

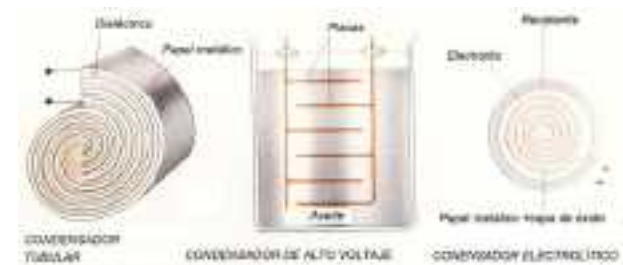
Los condensadores se simbolizan como

# El condensador

Como un dieléctrico soporta campos eléctricos más intensos que el aire sin ionizarse o perforarse, conviene introducirlo en el condensador, con objeto de poder utilizar éste en un rango de mayores diferencias de potencial, y evitar también que las armaduras del condensador se junten por la atracción entre ellas (lo que descargaría el condensador). Si el dieléctrico es lineal, isótropo, homogéneo, reemplazando en la fórmula anterior,  $\epsilon_0$  por  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$  siendo  $\epsilon_r > 1$ , entonces la capacidad del condensador aumenta, y vendrá dada por

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

En la actualidad existen condensadores de 1F de capacidad(aunque hasta hace poco una de las novatadas que se gastaban en las escuelas de ingeniería era “ir a buscar un condensador de 1F”).



# El condensador

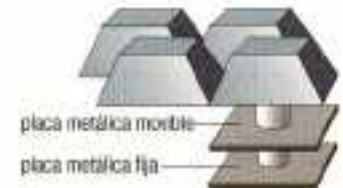
## Para qué sirve esto...

Como la capacidad de un condensador plano depende de la sección  $S$  entre las placas, se pueden construir condensadores de capacidad variable como los utilizados en los mandos de sintonización de un equipo antiguo de radio (tal y como se observa en Figura 23 en la parte izquierda de la figura), ya que girando el mando, variando la superficie efectiva entre placas, se ajusta de esta forma una capacidad, y en consecuencia la frecuencia la emisora.

## ¿Qué es lo que esconde la tecla de un teclado?



Condensador variable. Se simboliza mediante:

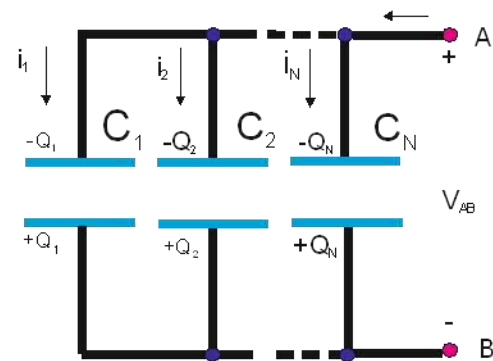


Interruptor de capacidades del teclado de un ordenador. Si presionamos la tecla disminuye la separación entre la placa superior e inferior y crece la capacidad, poniéndose en marcha el circuito electrónico del ordenador.

## Asociación de condensadores en paralelo

Cuando se quiere obtener una capacidad mayor que la mayor de las capacidades disponibles los condensadores se asocian en paralelo, estando sometidos todos los condensadores de la asociación a la misma diferencia de potencial, siendo, eso sí, diferentes las cargas almacenadas en cada uno. Teniendo esto en cuenta, se procede al cálculo de la capacidad equivalente  $C_{eq}$ .

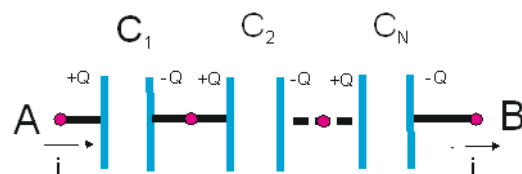
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_N = \sum_{i=1}^N C_i$$



## Asociación de condensadores en serie

---

Por el contrario, cuando se quiere obtener una capacidad inferior a la menor de las disponibles, los condensadores se asocian en serie, almacenando cada uno de ellos la misma carga. Es evidente que sobre cada condensador la caída de tensión será diferente.



Luego la capacidad equivalente será  $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$ .