

# ANUNCIOS

Primer evaluación corta: desde hoy jueves 5 de setiembre a la medianoche del sábado 14.

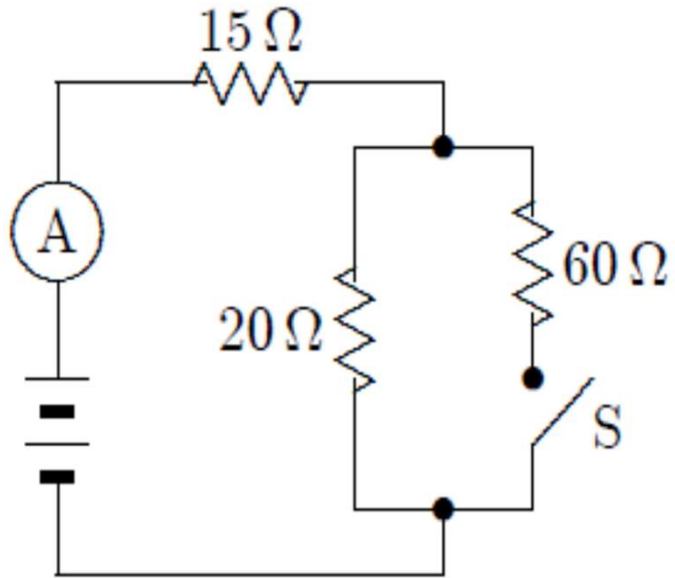
Temas: Los correspondientes a toda la Unidad 1.

Recuerden que sólo se puede hacer en este periodo y el 2do. intento sólo será válido para quienes lo hicieron en este periodo.

Quedaron fijadas las fechas definitivas de los parciales Primer parcial: sábado 5 de octubre hora 14:00.



## EJEMPLO: Ejercicio 2.1.10



Cuando el interruptor S está abierto, el amperímetro del circuito mostrado en la figura indica 2,00 A, y la potencia que entrega la batería vale  $P_0$ . Si se cierra el interruptor S, la potencia que entrega la batería vale  $P_F$ . ¿Cuánto vale el cociente entre la potencia final y la potencia inicial:  $P_F / P_0$  ?

Considerando los datos de la situación inicial, podemos averiguar el potencial entregado por la fuente:  $\Delta V = R \cdot I = (15 + 20)\Omega \cdot 2.00 \text{ A} = 70 \text{ V}$ . Con este dato, podemos hallar la potencia disipada inicialmente,

$$P_0 = \Delta V \cdot I = 140 \text{ W}.$$

Cuando se cierra el interruptor, debemos hallar la resistencia equivalente en paralelo, que nos queda:

$$R_{eq} = \frac{20 \Omega \cdot 60 \Omega}{20 \Omega + 60 \Omega} = 15 \Omega$$

Con este valor, y suponiendo que la tensión entre los bornes de la fuente no varía, tenemos así:

$$P_f = \frac{(\Delta V)^2}{R} = \frac{(70 \text{ V})^2}{30 \Omega}.$$

Podemos entonces concluir que:

$$\frac{P_f}{P_0} = \frac{163,333...}{140} = \frac{7}{6} = 1,2$$



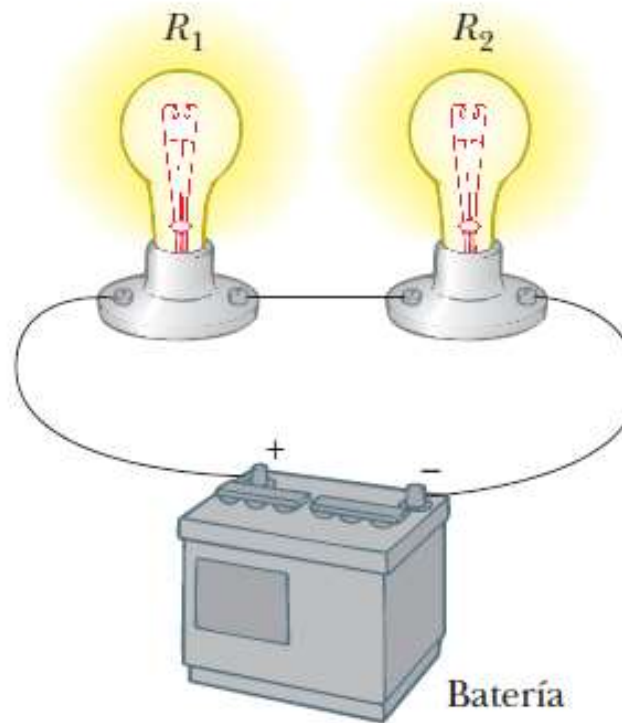
# PREGUNTA RÁPIDA (QUICK QUIZ)

Si se agrega un tercer resistor en **serie** con los primeros dos que se muestran en la figura:

- i) ¿Qué ocurre con la corriente que entrega la batería?
- ii) ¿Qué ocurre con el voltaje entre las terminales de la batería?

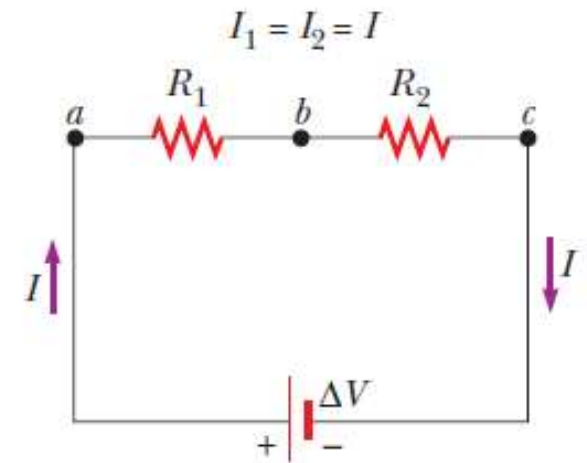
Considere las siguientes opciones:

- a) aumenta,
- b) disminuye,
- c) permanece igual.



a)

Batería de fem  $\mathcal{E}$  y resistencia interna  $r$



b)

**Respuesta: i) –b) disminuye; y ii) a) aumenta**

i), b) Agregar otro resistor en serie aumenta la resistencia total del circuito y por tanto reduce la corriente en el circuito.

ii), a). La diferencia de potencial a través de las terminales de la batería aumenta porque la corriente reducida resulta en una menor disminución de voltaje a través de la resistencia interna.

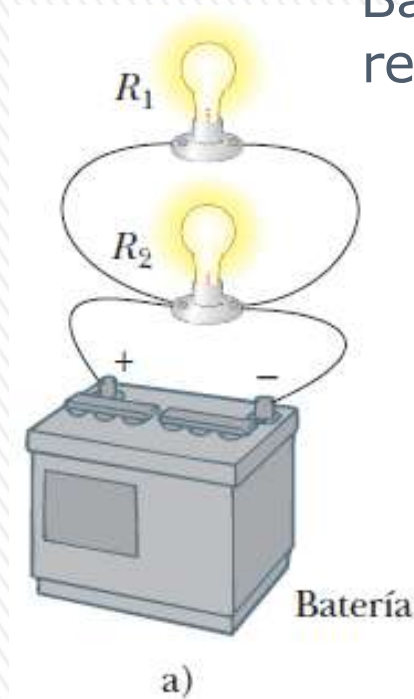
# PREGUNTA RÁPIDA (QUICK QUIZ)

Si se agrega un tercer resistor en **paralelo** con los primeros dos que se muestran en la figura:

- i) ¿Qué ocurre con la corriente que entrega la batería?
- ii) ¿Qué ocurre con el voltaje entre las terminales de la batería?

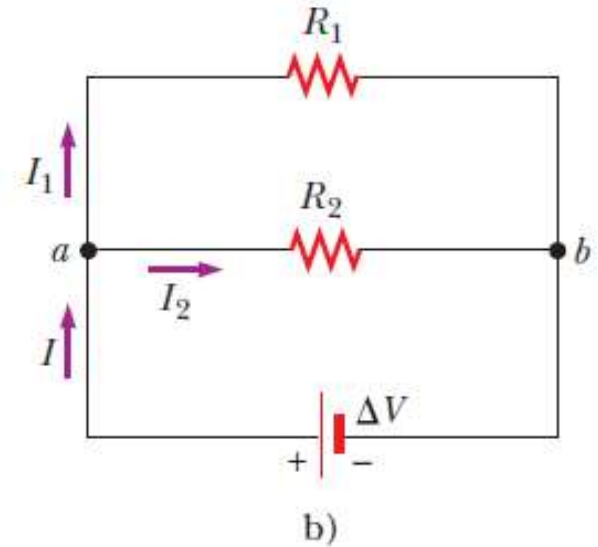
Considere las siguientes opciones:

- a) aumenta,
- b) disminuye,
- c) permanece igual.



Batería de fem  $\mathcal{E}$  y resistencia interna  $r$

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$$



**Respuesta: i), a – aumenta; ii) b) disminuye.**

a). Si se conectara en paralelo un tercer resistor, la resistencia total del circuito disminuiría y la corriente en la batería aumentaría.

ii), b). La diferencia de las terminales disminuiría porque la corriente aumentada resulta en una mayor caída de voltaje a través de la resistencia interna de potencial a través.



# REGLAS O LEYES DE KIRCHHOFF

**Nodo** (o **unión**) en un circuito es el punto en que se unen tres o más conductores.

(Puntos a y b de fig. a) y a, b, c y d de fig. b)

**Espira** (o **mall**) es cualquier trayectoria cerrada de conducción.

Las líneas en color azul de las figuras a y b ilustran algunas espiras posibles en estos circuitos.

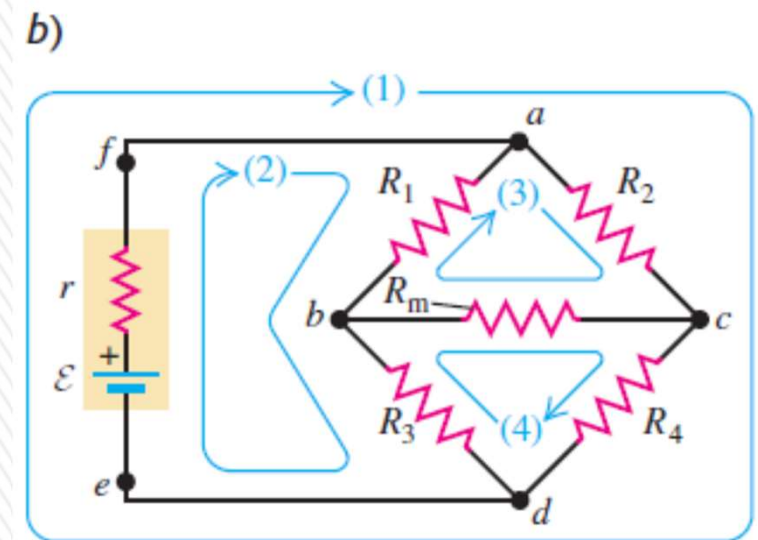
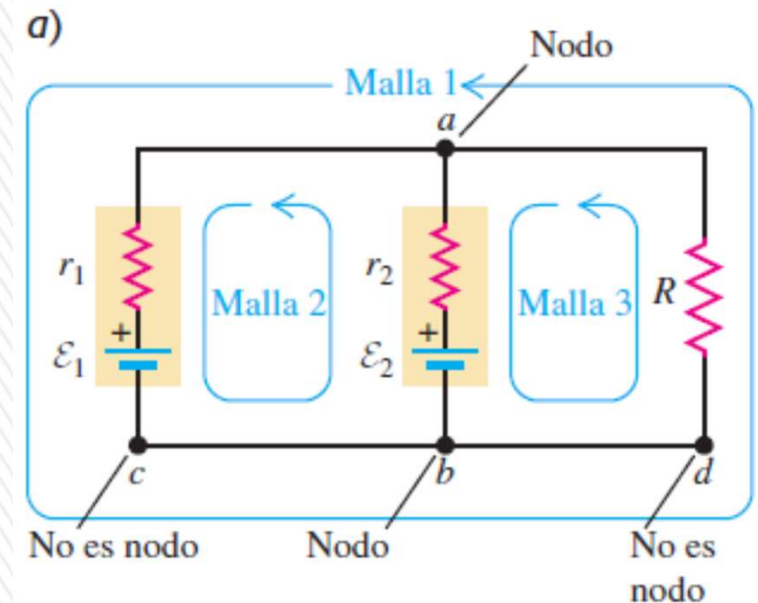
**Regla de Kirchhoff de los nodos:** La suma algebraica de las corrientes en cualquier nodo es igual a cero:  $\sum I = 0$

Se basa en la **conservación de la carga eléctrica**.

La suma de las corrientes que entran a un nodo es igual a la suma de las que salen.

**Regla de Kirchhoff de las mallas:** La suma algebraica de las diferencias de potencial en cualquier malla, incluso las asociadas con las fem y las de elementos con resistencia, debe ser igual a cero:  $\sum V = 0$ .

Si recorro una malla y mido las diferencias de potencial entre los extremos de los elementos sucesivos del circuito, al regresar al punto de partida, debe encontrar que la **suma algebraica** de esas diferencias es igual a cero





# Convenciones de signo para la regla de la mallas

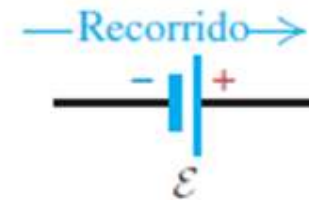
Para aplicar la regla de las mallas debo usar alguna convención de signos.

Primero suponemos un sentido de la corriente en cada rama del circuito y a partir de cualquier punto del circuito, se realiza un recorrido imaginario alrededor de la malla sumando las fem y los  $IR$  conforme los encuentre.

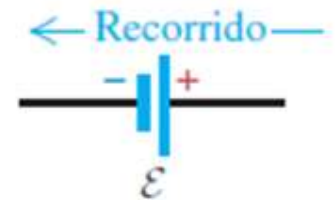
Cuando paso a través de una fem de terminal - a +, la fem se considera *positiva*; cuando se va de + a -, la fem se considera *negativa* (fig. a).

## a) Convenciones de signo para las fem

$+\mathcal{E}$ : sentido del recorrido de - a +:



$-\mathcal{E}$ : sentido del recorrido de + a -:

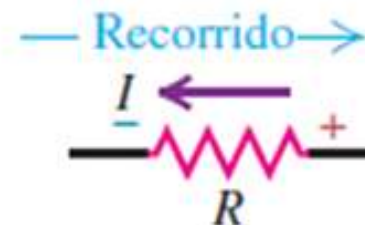


Cuando paso a través de un resistor en el *mismo* sentido que el que se supuso la corriente, el término  $IR$  es *negativo*.

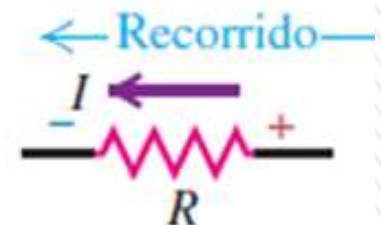
Cuando se pasa a través de un resistor en el sentido que se supuso *opuesto* a la corriente, el término  $IR$  es *positivo* figura b).

## b) Convenciones de signo para los resistores

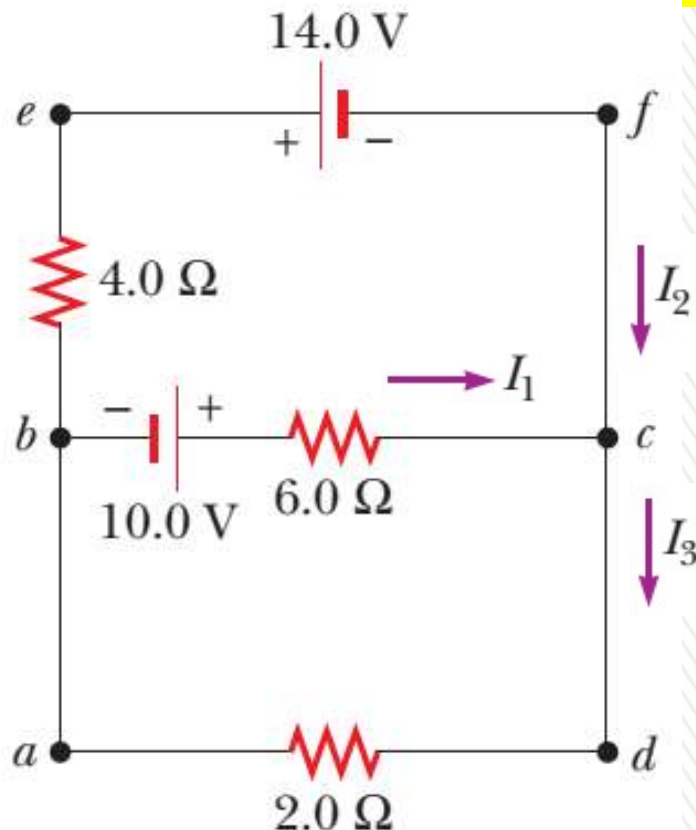
$+IR$ : sentido del recorrido *opuesto* al de la corriente:



$-IR$ : recorrido en el *sentido* de la corriente:



# LEYES DE KIRCHHOFF - Ejemplo



Encuentre las corrientes que circulan por c/u de las resistencias.

1era. Ley:

$$1) \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$abcda: 2) \quad 10.0 \text{ V} - (6.0 \, \Omega)I_1 - (2.0 \, \Omega)I_3 = 0$$

$$befcb: - (4.0 \, \Omega)I_2 - 14.0 \text{ V} + (6.0 \, \Omega)I_1 - 10.0 \text{ V} = 0$$

$$3) \quad -24.0 \text{ V} + (6.0 \, \Omega)I_1 - (4.0 \, \Omega)I_2 = 0$$

De la 1era. Ley:  $I_3 = I_1 + I_2$  y sustituyendo en 2)

$$-24.0 \text{ V} + (6.0 \, \Omega)I_1 - (4.0 \, \Omega)(-3.0 \text{ A}) = 0$$

$$-24.0 \text{ V} + (6.0 \, \Omega)I_1 + 12.0 \text{ V} = 0$$

$$I_1 = 2.0 \text{ A}$$

$$10.0 \text{ V} - (6.0 \, \Omega)I_1 - (2.0 \, \Omega)(I_1 + I_2) = 0$$

$$4) \quad 10.0 \text{ V} - (8.0 \, \Omega)I_1 - (2.0 \, \Omega)I_2 = 0$$

$$\text{ec. 3)} \times 3: 5) \quad -96.0 \text{ V} + (24.0 \, \Omega)I_1 - (16.0 \, \Omega)I_2 = 0$$

$$\text{ec. 4)} \times 3: 6) \quad 30.0 \text{ V} - (24.0 \, \Omega)I_1 - (6.0 \, \Omega)I_2 = 0$$

$$\text{ec. 5)} + 6): -66.0 \text{ V} - (22.0 \, \Omega)I_2 = 0$$

$$I_2 = -3.0 \text{ A}$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = 2.0 \text{ A} - 3.0 \text{ A} = -1.0 \text{ A}$$

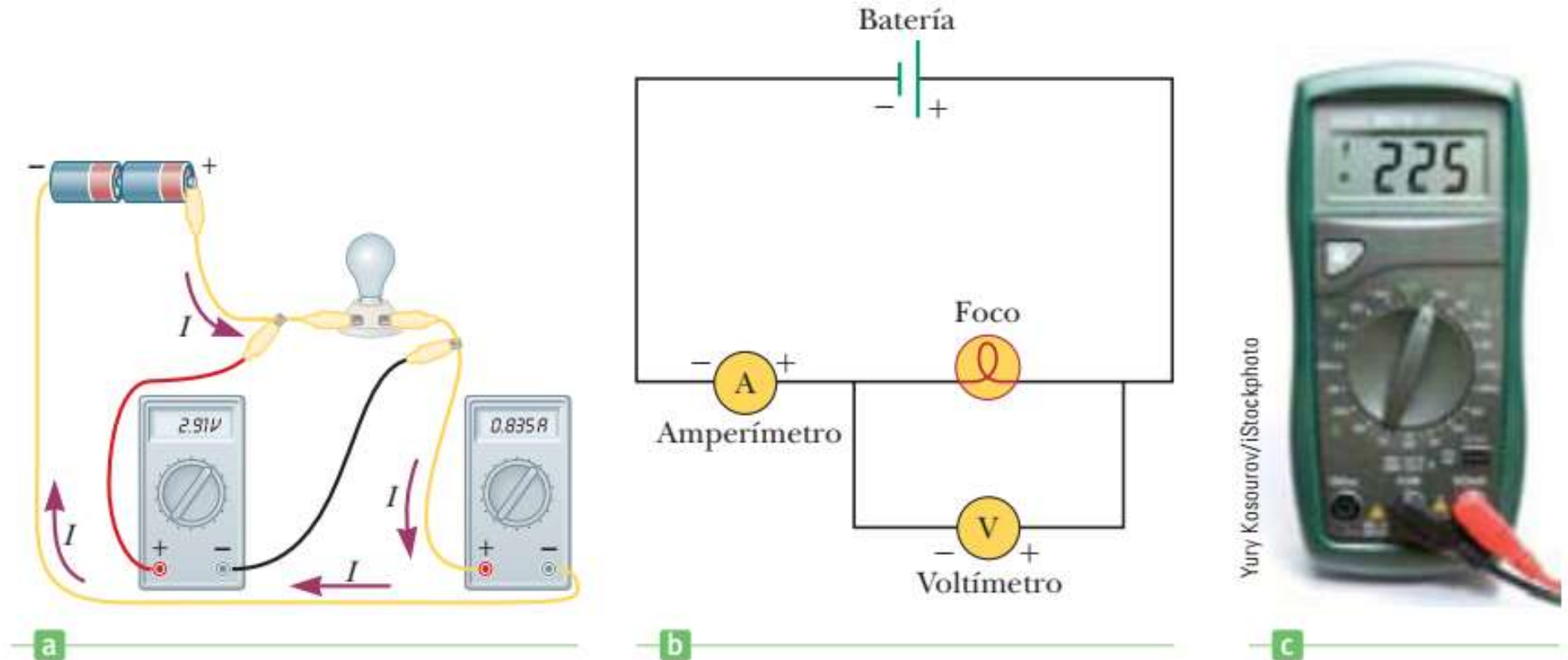


# MEDICIÓN DE CORRIENTE Y VOLTAJE EN CIRCUITOS

La fig. a) muestra el circuito real necesario para medir la corriente en el foco de una linterna y la diferencia de potencial a través de él.

La fig. b) muestra el diagrama del circuito que representa el circuito real anterior. Este circuito sólo consiste en una batería y un foco (resistencia).

Las cantidades más importantes que caracterizan cómo funciona el foco en diferentes situaciones son la **corriente  $I$**  en el foco y la **diferencia de potencial  $\Delta V$**  a través del foco.



**Figura 17.5** a) Bosquejo de un circuito real que se utiliza para medir la corriente en el foco de una linterna y la diferencia de potencial a través de él. b) Diagrama esquemático del circuito que se muestra en a). c) Se puede usar un multímetro digital para medir tanto corriente como diferencia de potencial.



# MEDICIÓN DE CORRIENTE Y VOLTAJE EN CIRCUITOS

Para medir la **corriente** debo colocar un **amperímetro** en la línea con el foco ( se dice que se **conecta en serie**), de modo que toda la corriente que pasa a través del foco también debe pasar a través del amperímetro.

El **voltímetro** mide la **diferencia de potencial, o voltaje**, entre las dos terminales del foco (se dice que se **conecta en paralelo**).

La fig. c) muestra un **multímetro digital**, un dispositivo conveniente, con una lectura digital, que se puede usar para medir voltaje, corriente o resistencia.

Para que las medidas no afecten significativamente los resultados de las mediciones, un amperímetro debe tener la resistencia interna lo menor posible (idealmente  $R_{\text{amp}} = 0$ ), mientras que el voltímetro debería tener una resistencia lo mayor posible (idealmente  $R_{\text{volt}} = \infty$ ),

Para comenzar las mediciones se deben usar las escalas más altas del multímetro (por decir, 10 A y 1000 V) y aumentar la sensibilidad una escala a la vez para obtener la máxima precisión sin sobrecargar los medidores.

Aumentar la sensibilidad significa bajar la corriente o voltaje máximos que lee la escala.

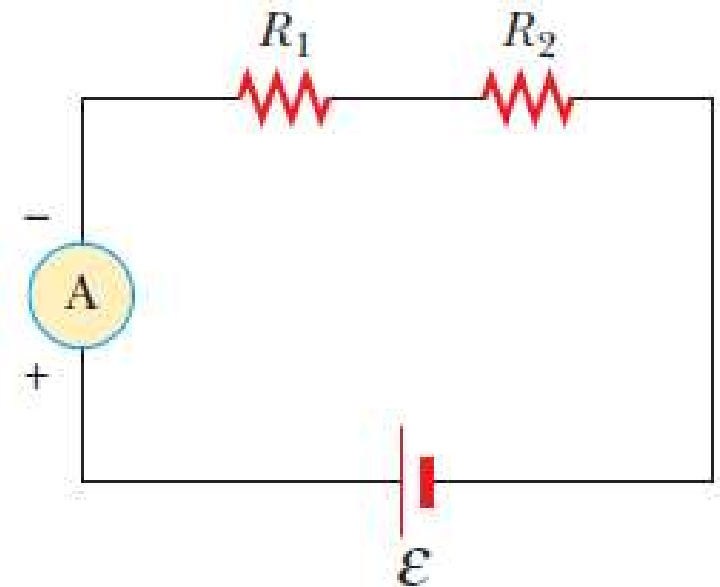




# AMPERÍMETRO

Es un instrumento que mide la corriente. Las cargas que constituyen la corriente a medir deben pasar directamente a través del **amperímetro, por lo que éste debe estar conectado en serie con los otros elementos del circuito.**

De manera ideal, un amperímetro debe tener una **resistencia cero** para que la corriente a medir no sea alterada.



En el circuito que se muestra en la figura, esta condición requiere que la resistencia del amperímetro sea mucho menor que  $R_1 + R_2$ .

*Porque cualquier* amperímetro siempre tiene algo de resistencia interna, **su presencia en un circuito hace que la corriente sea ligeramente menor a la que tendría en ausencia del medidor.**

Los amperímetros reales siempre tienen una resistencia finita, pero es deseable que sea tan pequeña como sea posible.





# VOLTÍMETRO

Al aparato que mide la diferencia de potencial se le llama **voltímetro**.

La diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera en un circuito se mide al unir las terminales del voltímetro entre estos puntos sin abrir el circuito, como se muestra en la figura.

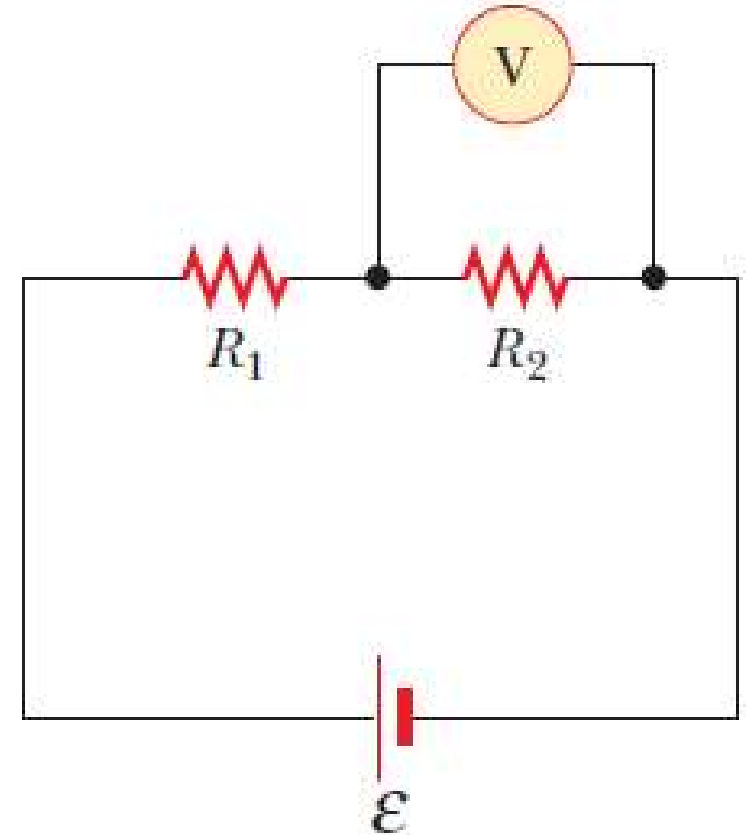
La diferencia de potencial aplicada al resistor  $R_2$  **se mide al conectar el voltímetro en paralelo** con  $R_2$ .

Un **voltímetro ideal** tiene una **resistencia infinita**.

**Un voltímetro ideal tiene una resistencia infinita, así que no existe corriente en él.**

En la figura, este estado requiere que el voltímetro tenga una resistencia mucho mayor a  $R_2$ .

*En la práctica, si no se cumple esta condición, deberán hacerse correcciones en función de la resistencia del voltímetro.*



# Seguridad Eléctrica

## Peligros de la Electricidad

**Sufrir una descarga eléctrica (electrocución):** flujo de corriente que pasa a través del cuerpo de la persona.

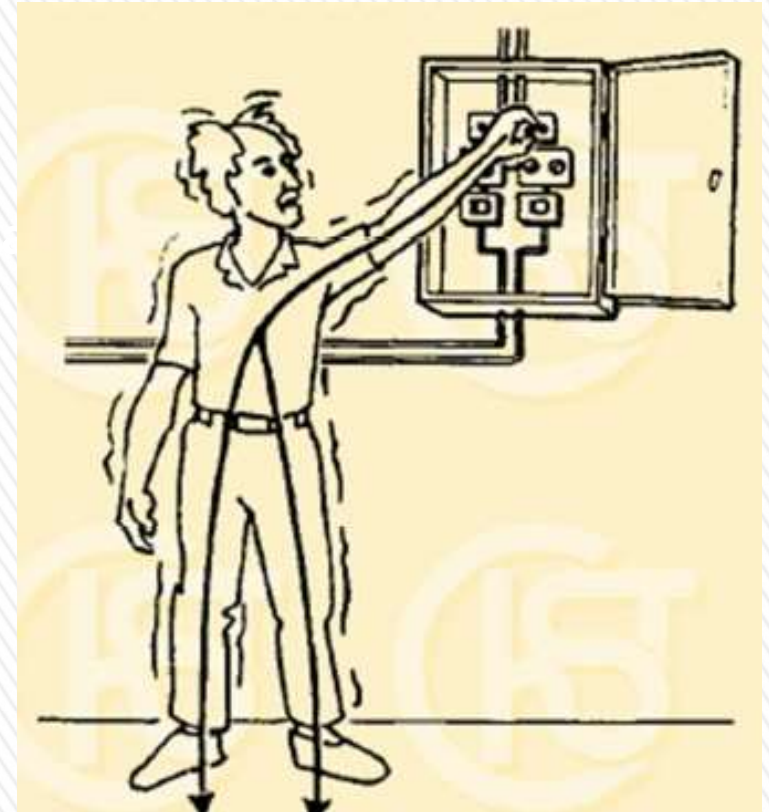
**Ocurrir un arco eléctrico:** descarga de corriente entre dos elementos a través de un espacio compuesto por partículas ionizadas (plasma).

### Factores que determinan el riesgo en un shock eléctrico:

1. Intensidad de la corriente
2. Tiempo de contacto
3. Trayectoria de la corriente por el cuerpo
4. Resistencia del cuerpo
5. Tipo de corriente y frecuencia
6. Capacidad de reacción del organismo.

Piel seca:  $100 \text{ K}\Omega/\text{cm}^2$

Piel húmeda:  $1000 \text{ }\Omega/\text{cm}^2$





# Seguridad Eléctrica

## Efectos de una descarga eléctrica a través del cuerpo humano

Corriente	Efectos
1 – 5 mA (1 mA umbral-Kane)	Sensación de hormigueo
>3 mA	Descarga (dolor)
>10 mA (18 mA –Kane)	Contracciones musculares (no se despega)
>30 mA	Parálisis respiratoria (puede ser fatal)
>60 mA (100 mA umbral-Kane)	Fibrilación ventricular (por lo general fatal)
<b>&gt; 4 A</b>	<b>Parálisis cardiaca (fatal)</b>
<b>&gt;5 A</b>	<b>Quemadura del tejido (fatal, destruye órganos vitales)</b>

# Seguridad Eléctrica

## Umbral de no soltar:

Cuando una persona tiene sujetos unos electrodos, es el valor máximo de la corriente que permite a esa persona soltarlos. En corriente alterna se considera un valor máximo de 10 mA, cualquiera que sea el tiempo de exposición

## Umbral de percepción:

Es el valor mínimo de la corriente que provoca una sensación en una persona, a través de la que pasa esta corriente. Se considera un valor de 0,5 mA en corriente alterna cualquiera que sea el tiempo de exposición

## Umbral de fibrilación ventricular:

Es el valor mínimo de la corriente que puede provocar la fibrilación ventricular. La fibrilación ventricular está considerada como la causa principal de muerte por choque eléctrico.



Muerte



Contrac. Muscular  
Dific. respiratoria



Percepción.  
No hay peligro



# Seguridad Eléctrica –Cableado doméstico

En una instalación convencional, UTE distribuye energía eléctrica a los hogares por medio de **corriente alterna mediante dos o tres cables que conectan cada casa en paralelo.**

El sistema convencional consiste en dos **cables de corriente activa.**

Diferencia de potencial entre los alambres de corriente es aprox. de 220-230 V.

Este voltaje es de corriente alterna, es decir que varía sinusoidalmente con el tiempo. Gran parte de lo visto hasta ahora sobre el estado fem constante (corriente continua) puede aplicarse también a la corriente alterna que se suministra a industrias y hogares.

A fin de registrar el consumo de energía de la casa, un medidor (“contador”) se conecta en serie con los cables de corriente que entran en ella.

Después del contador, los cables se dividen para que existan varios circuitos separados en paralelo distribuidos por toda la casa.

Cada circuito debe contener **una llave térmica cortacircuitos** (o, en instalaciones más antiguas, un **fusible**). El cable y la llave cortacircuitos correspondiente a cada circuito deben ser cuidadosamente seleccionados para que cubran las necesidades de corriente de dicho circuito.

Si éste debe soportar una corriente tan grande como 30 A, deberán seleccionarse un alambre grueso y un cortacircuitos apropiado para manejar esta corriente.

Un circuito que se utiliza para alimentar sólo lámparas y pequeños artefactos domésticos a menudo sólo requiere 20 A.

Cada circuito tiene su propio cortacircuitos para proteger esta parte del sistema eléctrico de la casa.





# Seguridad Eléctrica –Cableado doméstico

UTE suministra **energía eléctrica alterna de 50Hz**, con baja tensión (< 1000V).

- Sistema trifásico de 220V con neutro aislado, 3 conductores (3 fases).
- Sistema trifásico de 400V con neutro aterrado, 4 conductores (3 fases y neutro).

UTE suministra energía eléctrica alterna 50Hz en tensiones:

- Monofásica 220V entre fases.
- Monofásica 230V entre fase y neutro.
- Trifásica 220V neutro aislado (3 conductores).
- Trifásica 400V con neutro aterrado (4 conductores).

**Suministro de UTE monofásico residencial: CA - 220 V 50 Hz**

**Rango de potencias de suministro residencial (KW): 3,7; 4,6; 7,4; 9,2.**

Potencia (KW)	Voltaje (V)	Corriente (A)
3,7	220	17
4,6	220	21
7,4	220	34
9,2	220	42





# Seguridad Eléctrica

## RIESGOS:

- 1) **Cortocircuito** - unión directa del polo positivo con el polo negativo de una fuente de alimentación. **Brusco aumento de la corriente** provocando un rápido calentamiento de los cables, pudiendo ocasionar un **incendio**.
- 2) **Sobrecarga** - cuando a una instalación **se le exige que entregue más corriente de la que puede dar**. Ocasiona **lento calentamiento de cables** y puede provocar un cortocircuito o un incendio.
- 3) **Descarga eléctrica** - Si bien todos los electrodomésticos deben estar aislados, de manera que la corriente no pueda “escaparse”, **no debemos descartar este riesgo, porque siempre existe**. Si una corriente se “fuga” del circuito, ésta queda “atrapada” en la carcasa metálica del electrodoméstico (heladera, lavarropas, gabinete de PC, etc.) La descarga eléctrica se conoce popularmente con el nombre de “**patada**”.





## DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN:

Para evitar **cortocircuitos**, **sobrecargas** o posibles **descargas eléctricas**, se utilizan los **dispositivos de protección**.

Los **dispositivos de protección** pueden ser:

- 1- **Fusibles**
- 2- **Disyuntor diferencial**
- 3- **Disyuntor termo-magnético (Térmica)**
- 4- **Puesta o descarga a tierra**

Disyuntor: interruptor que actúa en forma automática





# Seguridad Eléctrica

## FUSIBLES

Dispositivos de protección utilizados contra **cortocircuitos** y **sobrecargas** en todo tipo de electrodomésticos y en automóviles, por su bajo costo y fácil reemplazo.

Sin embargo, **en las instalaciones eléctricas domiciliarias casi han dejado de utilizarse.**

Compuesto por filamento de cobre muy fino y corto, colocado dentro de un tubo de vidrio, plástico o porcelana (aislante).

Se colocan al inicio del circuito, en serie con el mismo.

En caso de producirse un cortocircuito o una sobrecarga, **el filamento se calienta y se funde**, interrumpiendo el paso de corriente en todo el circuito.





# Seguridad Eléctrica

## DISYUNTOR DIFERENCIAL

Normalmente la corriente de entrada y de salida de un circuito tienen que ser iguales.

Un **disyuntor diferencial** es un mecanismo que se coloca en una instalación eléctrica para **comparar la corriente que entra con la que sale**.

Si la corriente de salida es **menor**, significa que ha habido una “fuga”, entonces **el disyuntor interrumpe inmediatamente la electricidad** para evitar una descarga eléctrica peligrosa.

El **disyuntor diferencial** sirve para proteger a **las personas** de posibles electrocuciones.

Pulsador (botón) de “reset”, que debe accionarse una vez al mes para asegurarse que el dispositivo funciona normalmente.





# Seguridad Eléctrica

## INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

**Llave térmica:** disyuntor compuesto por dos metales de distinto coeficiente de dilatación lineal. Cuando la corriente eléctrica sube, la temperatura del elemento se eleva produciendo una curvatura que interrumpe el circuito.

**Llave magnética** funciona con la fuerza de atracción ejercida por una bobina con núcleo de hierro. Cuando la intensidad de la energía se eleva da lugar a una fuerza que acciona un contacto móvil que abre el circuito cortando la energía.

**Llave termomagnética:** combinación de ambas. Por un lado, se encuentra un electroimán que funciona como llave magnética y por otro la lámina bimetálica que actúa como la llave térmica. Las dos partes están dispuestas en serie, por lo tanto, si uno de ellos detecta la suba de intensidad se corta el flujo de energía.

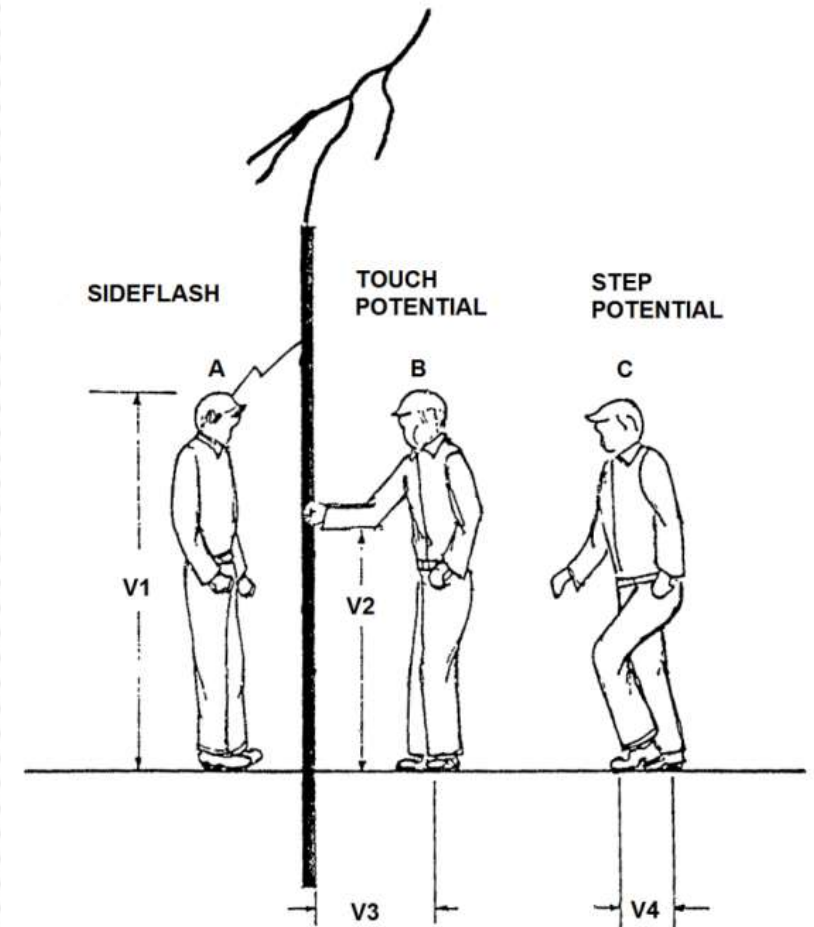


**El disyuntor termomagnético protege al circuito eléctrico de sobrecargas, mientras que el disyuntor diferencial protege a las personas de sufrir un choque eléctrico.**

# Seguridad Eléctrica

## Sistema de puesta a tierra

- Limitar tensiones de toque y de paso durante fallas eléctricas (cortocircuitos) a niveles que no representen riesgo de choque eléctrico para las personas.
- Disminuir a valores mínimos las tensiones de objetos metálicos que se encuentran influenciados por inducciones de objetos energizados.
- Proporcionar un camino seguro para la corriente de las descargas atmosféricas (puestas a tierra de rayos).





# CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO

## Características del campo eléctrico atmosférico

La atmósfera con buen tiempo tiene un campo eléctrico uniforme  $E$  vertical y entrante hacia la Tierra) de 60 a 200 V/m (típicamente de 100 a 120 V/m). Sin embargo este valor puede variar bastante, incluso puede llegar a cambiar en su sentido.

Presenta variaciones ligadas a cambios de la conductividad de las capas más bajas de la atmósfera y la actividad solar.

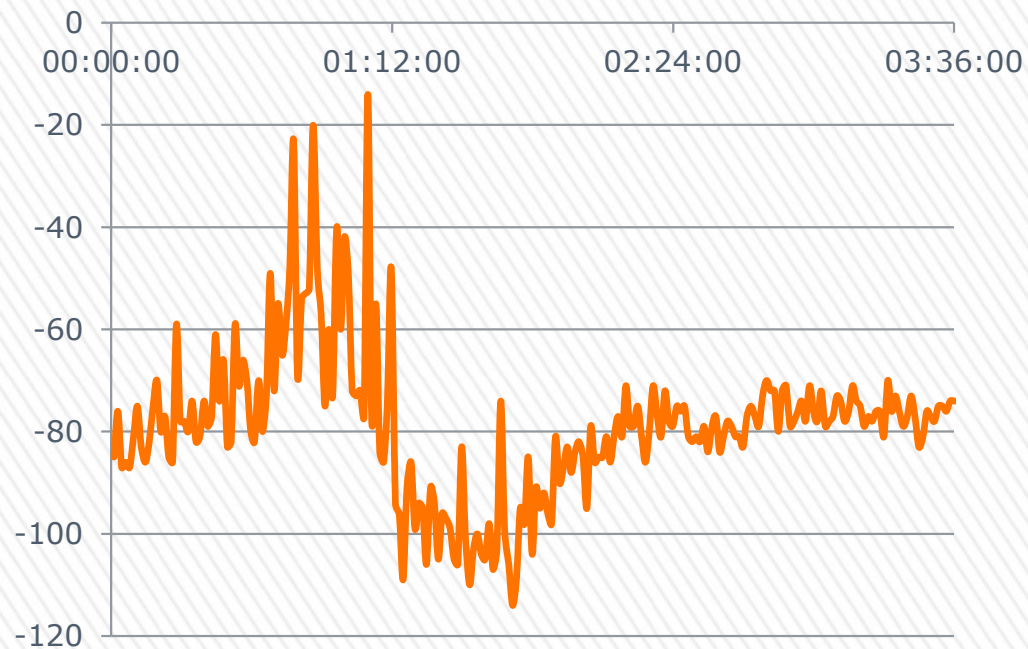
El campo eléctrico en condiciones perturbadas, y más aún de tormenta, tiene un valor y dirección variables, siendo muy afectado por las cargas de las nubes y por la concentración de partículas tales como aerosoles u otras provenientes de la contaminación.

Las variaciones del campo eléctrico en buen tiempo dependen de:

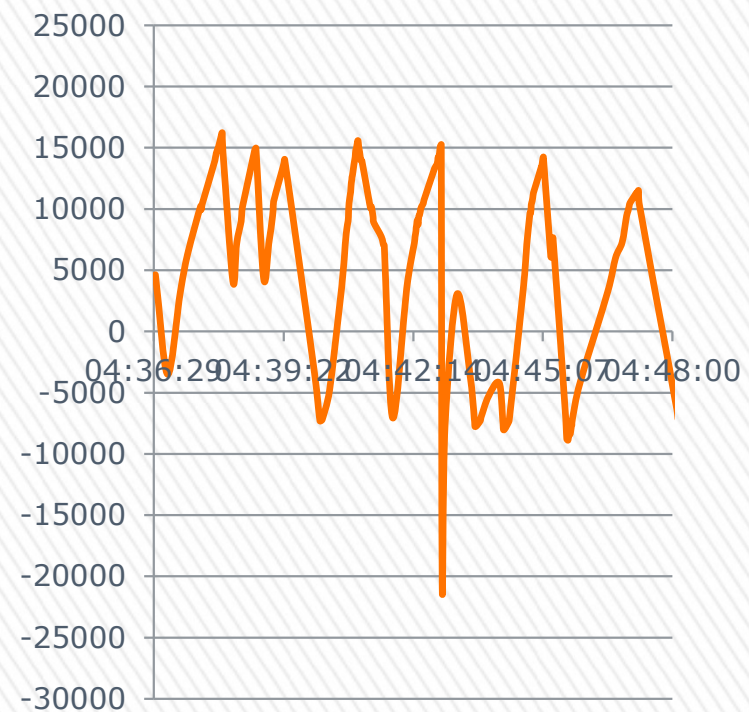
- ubicación geográfico (latitud y longitud),
- altitud,
- nubosidad y condiciones del tiempo (meteorológicas),
- concentración de aerosoles y actividades tecnológicas
- cambios diurnos y anuales debido a la actividad solar y de los rayos cósmicos.

# CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO

## Características del campo eléctrico atmosférico



Campo eléctrico con buen tiempo



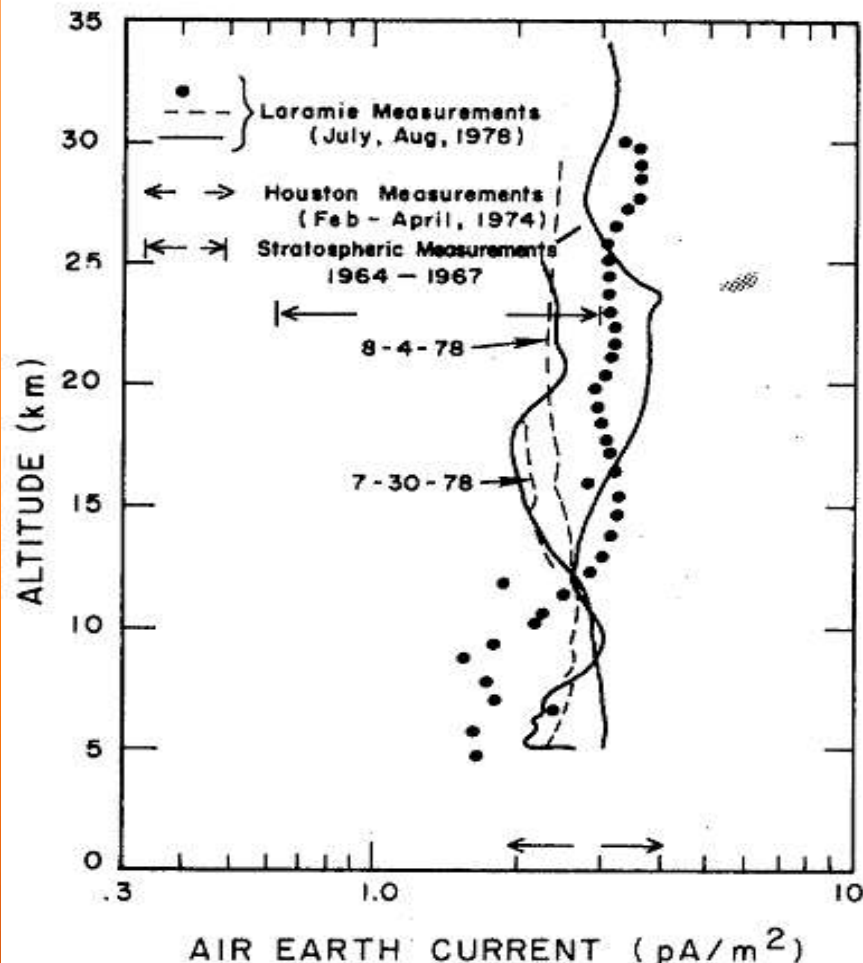
Campo eléctrico con proximidad de tormenta

## Variación de E con la latitud:

Región:	Ecuador	60° latitud	Polo sur	Áreas industriales
Campo (V/m)	120	155	71	200-500



# CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ATMOSFÉRICA



Variación de la densidad de corriente  $J$  en  $\text{pA/m}^2$  con la altura

**Conductividad eléctrica ( $\sigma$ )**  $J = \sigma E$   
se viene expresa en  $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ .

Como hay una conductividad atmosférica y existe un campo eléctrico existe una densidad corriente y por tanto de una corriente eléctrica.

Por tanto se puede decir que hay una corriente constante que fluye hacia la superficie de la tierra: **corriente neta aire-tierra.**

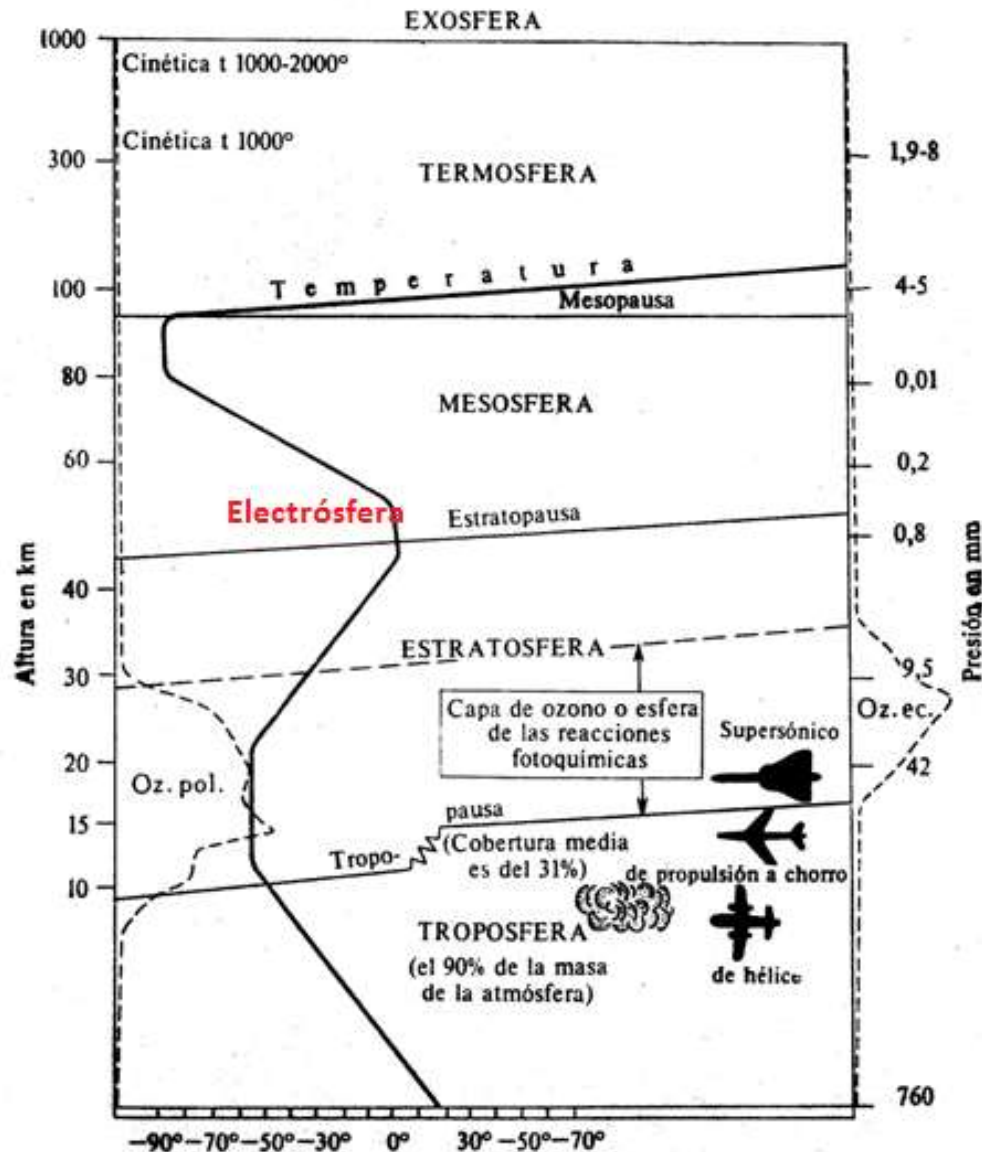
Varía a lo largo del día y del lugar.

## DENSIDAD DE CORRIENTE ATMOSFÉRICA

Se puede considerar que la misma varía entre 1 y 4  $\text{pA/m}^2$  (es decir de 1 a  $4 \times 10^{-12} \text{ Am}^2$ ).

Se puede asumir como valores medios: para los continentes 2,3  $\text{pA/m}^2$  para los mares 3,3  $\text{pA/m}^2$ .

# ATMÓSFERA TERRESTRE



Capa de mezcla de gases que rodea a nuestro planeta con una composición casi constante hasta 25 km.

75 % de su masa se encuentra en los primeros 11 km de altura (tropósfera).

Componentes: oxígeno (20,95 % en volumen) y nitrógeno (78,09 %); 0,93% de argón, 0,03% de anhídrido carbónico y otros gases como el neón, xenón y helio en mucho menor proporción.

- **Capas de la atmósfera terrestre:**
- *tropósfera,*
- *estratósfera,*
- *mesósfera y*
- *termósfera (ionósfera)*
- *exósfera.*

**Electrósfera:** es la región a partir de la cual se puede considerar equipotencial por su conductividad



# Física de las Descargas Atmosféricas

Promedialmente en todo instante se están produciendo alrededor de 2.000 tormentas eléctricas en el mundo, ocupando las nubes de tormenta entre el 1 al 10% de la superficie terrestre.

Cada segundo caen  $44 \pm 5$  rayos

Alrededor de 2.000 personas al año fallecen por una descarga directa

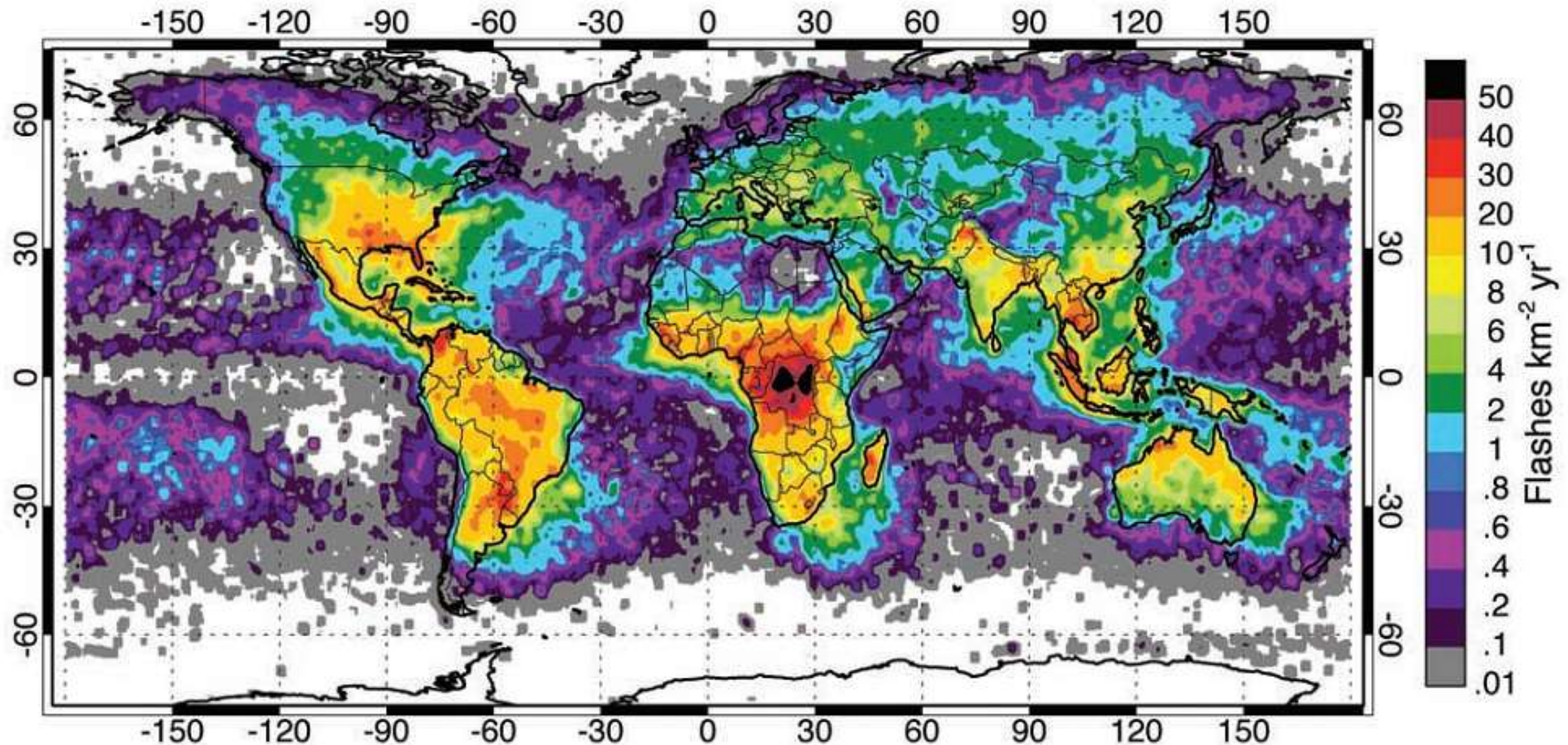
## Descargas atmosféricas





# FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE TORMENTAS

**Cantidad de rayos caídos por año y por kilómetro cuadrado**



The annualized distribution of total lightning activity (in units of  $\text{fl km}^{-2} \text{yr}^{-1}$ ).

The Optical Transient Detector (OTD) is a space-based instrument specifically designed to detect and locate lightning discharges as it orbits the Earth.



# FRECUENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE TORMENTAS

## Ranking de las 10 regiones con registros con más rayos

Pos.	Lugar	Nº flashes /(km <sup>2</sup> .año)	Días de tormenta
1	Kamembe, Ruanda	82,7	221
2	Boende, República Democrática del Congo	66,3	118
3	Lusambo, República Democrática del Congo	52,1	119
4	Kananga, República Democrática del Congo	50,3	139
5	Kuala Lumpur, Malasia	48,3	180
6	Calabar, Nigeria	47,4	216
7	Franceville, Gabón	47,1	?
8	Fortaleza, Argentina	42,7	57
9	Ocana, Colombia	39,9	?
10	Concepción, Paraguay	37	?

**Sin embargo hay otras regiones donde la actividad eléctrica incluso llega a triplicar a las registradas en esta tabla, como el denominado " Relámpago del Catatumbo" con un valor de 250.**

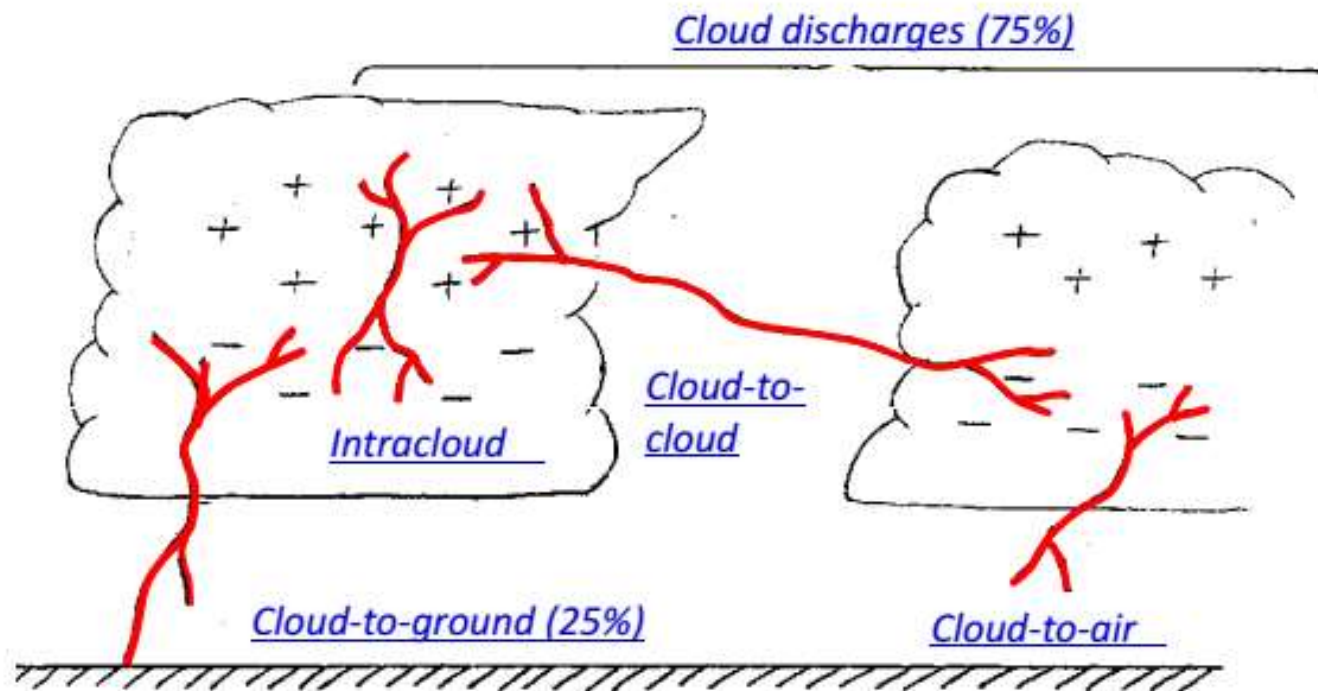
**En Uruguay se estimaba 5 rayos/(año.km<sup>2</sup>)**

# TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Hay cuatro tipos de descargas atmosféricas básicas:

- 1) Intranube (relámpago) (la más frecuente) –Intracloud lightning (IC)
- 2) Entre nube y tierra o tierra-nube (rayo) (cloud to ground CG)
- 3) Entre dos nubes (menos frecuente) (cloud to cloud: CC)
- 4) Entre la nube y al aire circundante

## 2. Types of Lightning Discharges



Types of lightning discharges from cumulonimbus



# TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

## NUBE-AIRE (C-A)



# TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

## INTRA-NUBE





# TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

## NUBE-TIERRA (C-G)



# TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

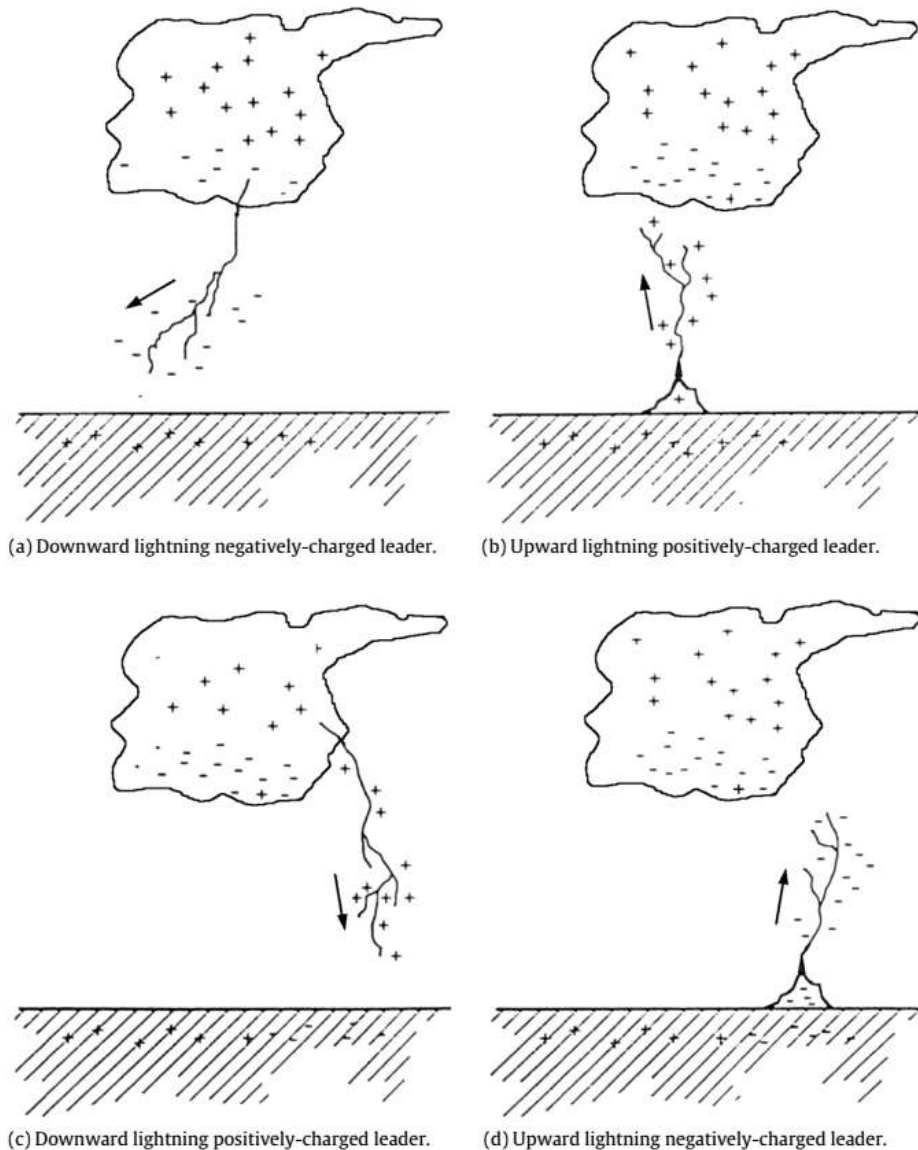
## NUBE-NUBE (C-C)





# TIPOS DE RAYOS

J.R. Dwyer, M.A. Uman / Physics Reports 534 (2014) 147–241



1  
Dentro de las descargas entre nube y tierra existen cuatro tipos de rayos dependiendo del sentido de propagación y de la polaridad de la carga efectivamente transferida de la nube a tierra.

- 1 Descendente negativo (-CG)
- 2 Ascendente positivo (+GC)
- 3 Descendente positivo (+CG)
- 4 Ascendente negativo (- GC)

**Fig. 1.2.** The four types of cloud-to-ground lightning flashes as defined from the direction of leader propagation and the charge on the initiating leader  
Source: Adapted from Berger [490].



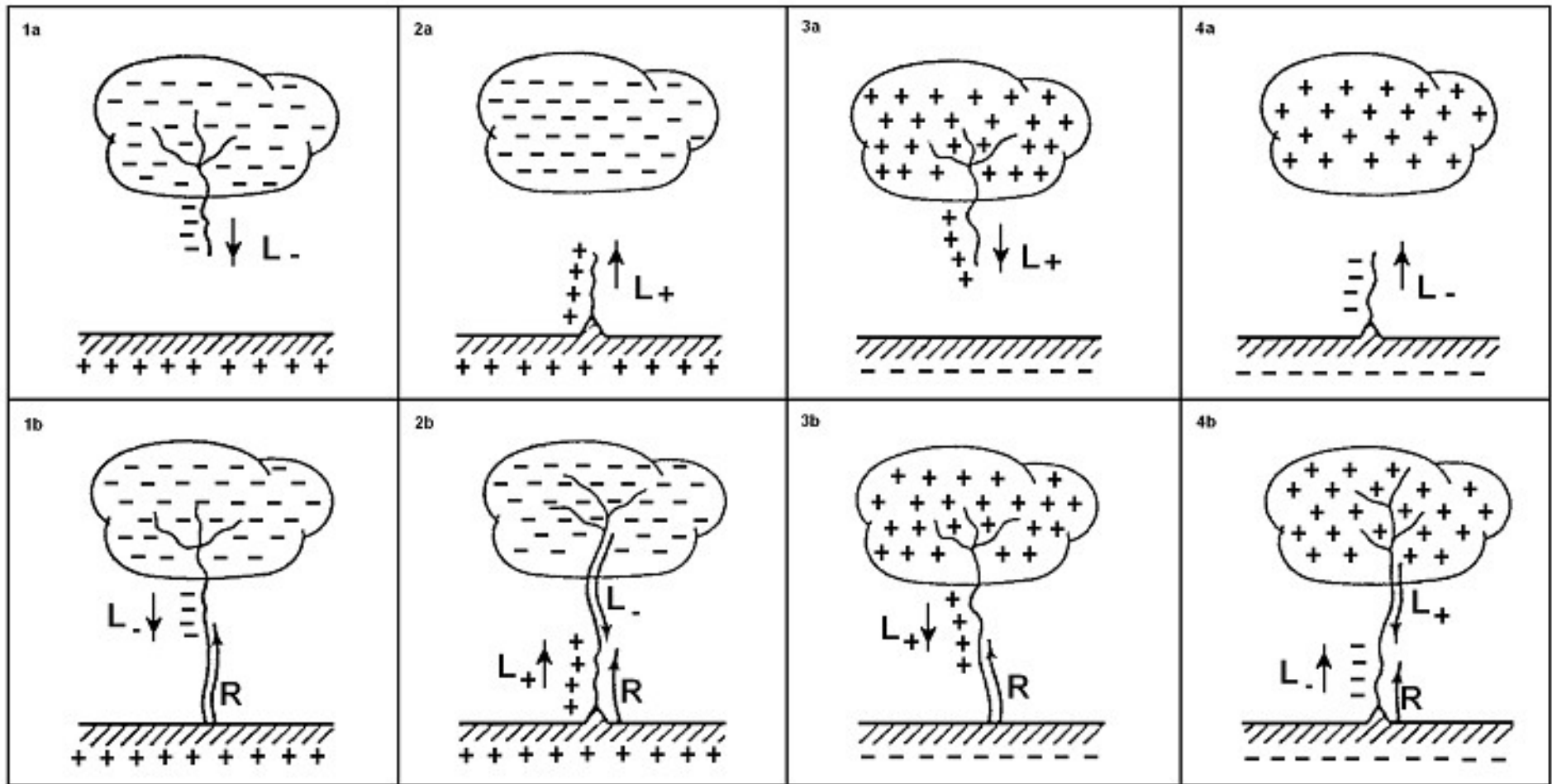
# TIPOS DE RAYOS

**-CG (90%)**

**+GC**

**+CG (10%)**

**-GC**



**a) Guías, b) Descargas de retorno**





# VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS MAGNITUDES FÍSICAS DE LAS DESCARGAS

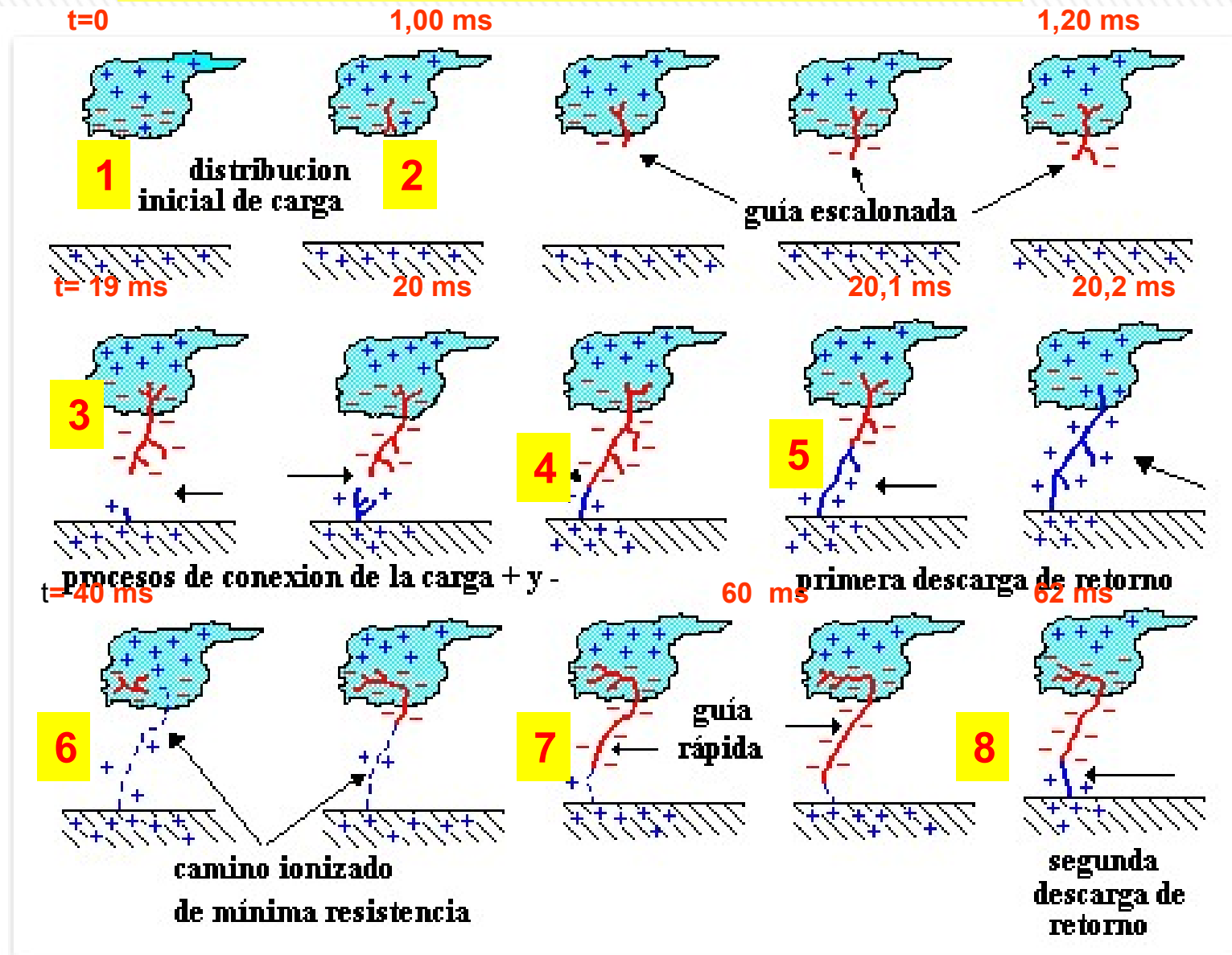
## DESCARGA COMPLETA

Magnitud	Mínimo	Representativo	Máximo
Velocidad de propagación ( $m/s$ )	$2,0 \times 10^7$	$8,0 \times 10^7$	$1,6 \times 10^8$
Velocidad de subida ( $kA/\mu s$ )	—	40	>100
Tiempo de subida ( $\mu s$ )	>0,2	1	>4,5

Magnitud	Mínimo	Representativo	Máximo
Número de descargas	1	3-4	26
Intervalo de tiempo entre descargas individuales en ausencia de corriente continua ( $ms$ )	3	40	100
Duración de una descarga completa ( $s$ )	$10^{-2}$	0,2	2
Carga transferida incluyendo la corriente continua (Coul)	3	25	90

# FORMACIÓN DE LA DESCARGA ENTRE NUBE Y TIERRA

## Rayo nube-tierra negativo (-CG)





# FORMACIÓN DE LA DESCARGA ENTRE NUBE Y TIERRA

## Rayo nube-tierra negativo (-CG)

**1) Ruptura preliminar-** 90 % de las descargas nube-tierra se inician en el interior de la nube y llevan carga negativa a tierra. Se inicia en un fenómeno llamado “Ruptura Preliminar”, descarga electrostática en el interior de la nube, en zona de carga negativa (altura de unos 5 a 8 km). Es seguida por un proceso de descarga dentro de la nube que dura algunos milisegundos a partir del cual se comienza a formar la llamada “Guía Escalonada” de la nube a tierra.

**2) Guía escalonada descendente-** Si  $E$  asociado a la ruptura preliminar es suficientemente grande se produce un fenómeno de propagación de un canal de aire ionizado cargado negativamente llamado **guía escalonada o trazador descendente**. Es un “tubo” de plasma altamente ionizado de algunos centímetros de diámetro, rodeado de una envoltura tipo “descarga en corona” con un diámetro del orden de un metro, de cierta luminosidad y que avanza de a saltos. Saltos o escalones desde un punto se produce una descarga duración:  $1 \mu s$ ;  $I = 100$  a  $1000 A$ ,  $V = 10^6$  a  $10^7$  m/s, propagación: 50 a 100 m; tiempo de espera:  $50 \mu s$ . Luego otro salto cuya dirección no está relacionada con el salto anterior, pudiendo incluso ramificarse y cada rama desarrollarse independientemente de las otras, también a saltos.

**3) Trazador ascendente-** Al acercarse la guía escalonada a tierra, cuando el campo promedio entre la punta de la guía y los puntos salientes de tierra (que son múltiples en cualquier entorno normal) llega a unos **500 kV/m** las corrientes corona de dichos puntos aumentan y se transforman en canales ionizados que se propagan hacia arriba de manera análoga a la propagación de la guía escalonada, impulsados por el propio campo eléctrico. La velocidad de trazadores:  $10^4$  a  $3 \times 10^5$  m/s. Generalmente se forman varios de ellos en diferentes puntos donde se alcanza el campo eléctrico crítico ( $E$  crítico). Alcanzan alturas de 10 a 50 m.

**4) Proceso de enlace-** Las puntas de la guía escalonada descendente y los trazadores ascendentes se acercan. Cuando el campo entre la punta de uno de esos trazadores ascendentes y la punta de la guía descendente llega a un valor suficientemente alto (aprox.  $3 \times 10^6$  ruptura dieléctrica del aire), se completa el canal conductor entre tierra y nube y se produce la primera descarga de retorno entre la nube y el objeto que emitió el trazador ascendente. El objeto se convierte entonces en el punto de impacto. El trazador ascendente exitoso, que es de los múltiples trazadores generados por una guía el que logra establecer la conexión, proviene generalmente de uno de los primeros objetos cuya distancia a la punta de la guía descendente llega a un valor tal que el campo medio a través de esa distancia adquiere el valor crítico.



# FORMACIÓN DE LA DESCARGA ENTRE NUBE Y TIERRA

## Rayo nube-tierra negativo (-CG)

**5) Primera descarga de retorno-** Su sentido de propagación es ascendente, vale decir contrario al sentido del trazador escalonado que, es descendente. Muy luminosa, de aspecto ramificado y muy intensa, con corrientes del orden de decenas de miles de amperios. El frente de onda se propaga a una velocidad del orden de  $1/10$  de la velocidad de la luz. La longitud típica del canal es de 5 km (2 a 14 km). La duración del recorrido desde tierra hasta la nube es del orden de 70 microsegundos. Es acompañada eventualmente de intensas ondas sonoras denominadas trueno, provocadas por la expansión supersónica del aire que rodea al canal de la descarga eléctrica. Presión en el canal: 10 atm, temperatura: 30.000 K.

**6) Proceso de reconstitución de la carga de la nube-** Después de la primera descarga se tiene dentro de la nube una zona sin carga pero con una conductividad mayor que el aire circundante (aprox.  $\sigma = 0,01 \text{ S/m}$ ) y se produce la sexta etapa de la descarga que consiste en **procesos de reconstitución de la carga**. Tiene una duración media aproximada de 50 ms. Surgen diferentes procesos que reconstituyen el campo eléctrico en la nube.

**7) Guía dardo (dart leader)-** Cuando la carga se reconstituido a un nivel suficientemente alto, se produce otra transferencia de carga en forma continua por el canal original, que queda ligeramente ionizado y ya formado. Tiene características diferentes a la de la guía escalonada. Se observa una zona del canal, débilmente luminosa, de algunos metros de largo. Velocidad:  $10^7 \text{ m/s}$ . Desplazándose por el camino establecido por la primera descarga. Recorre solamente el canal principal, ignorando las ramificaciones. Cuando esta guía llega a tierra queda establecido un canal conductor ionizado entre nube y tierra y su carga se transfiere a tierra formando una segunda descarga de retorno.

**8) Segunda descarga de retorno y descargas subsiguientes-** La transferencia de carga de la 2da. descarga de retorno se produce sobre el mismo punto del impacto principal. El 2do. retorno, tiene una corriente de menor valor de pico, pero  $di/dt$  es mayor. En la mayor parte de los rayos ocurren más de dos descargas de retorno. La 2da. y las subsiguientes tienen características similares. Se han registrado rayos con decenas de descargas que siguen al primer retorno, todas recorriendo solamente el canal principal. Si uno observa un rayo a simple vista constata frecuentemente que el rayo principal es de gran luminosidad y pulsante mientras que las ramificaciones son fijas y más débiles. Tanto la descarga principal como las subsiguientes tienen una duración del orden de decenas de micro segundos a algunos mili segundos.



# FORMACIÓN DE LA DESCARGA ENTRE NUBE Y TIERRA

## Rayo nube-tierra negativo (-CG)



Guía escalonada descendente - primeros pasos



Guía escalonada descendente ramificaciones próximas a tierra



# FORMACIÓN DE LA DESCARGA ENTRE NUBE Y TIERRA

## Rayo nube-tierra negativo (-CG)



Guía ascendente desde tierra que conecta con algún ramal descendente. Llama la atención la luminosidad inicial del sistema cuando el circuito tierra-nube se cierra.



La primera descarga de retorno supone el inicio desencadenante de la liberación de energía que se pone de manifiesto de muchas formas, como por ejemplo, el aumento de la luminosidad del canal ionizado principal y de otras ramificaciones.



# FORMACIÓN DE LA DESCARGA ENTRE NUBE Y TIERRA

## Rayo nube-tierra negativo (-CG)



**Descargas de retorno siguientes.**  
El proceso de anulación y redistribución de cargas puede continuar mediante sucesivas subdescargas de retorno, menos luminosas que la primera: fase luminosa de una subdescarga de retorno

**Canal ionizado resultante de las sucesivas subdescargas de retorno**



## EJEMPLO: Ejercicio 2.1.15

**Electricidad atmosférica-** Se puede realizar un modelo simple de la actividad eléctrica terrestre de la siguiente forma.

La superficie terrestre se puede considerar como un conductor, y se constata que con buen tiempo, es decir sin nubes de tormenta, existe un campo eléctrico con un valor promedio de  $120 \text{ V/m}$ , dirigido hacia el centro de la Tierra.

Este campo eléctrico no es uniforme y disminuye con la altura.

Cuando se dan las condiciones de tormenta eléctrica, este campo en la atmósfera, cercano al suelo invierte su sentido y aumenta en varios órdenes de magnitud (de  $10,0$  a  $500 \text{ kV/m}$ ).

En la atmósfera existen portadores de carga libres (iones), con una densidad no uniforme, aumentando con la altura. A partir de los  $40\text{-}60 \text{ km}$  de altura, la atmósfera tiene una conductividad suficiente como para considerarla conductora y por lo tanto equipotencial. A esta zona que comienza a esa altura y se extiende indefinidamente se le da el nombre de **electrósfera**.

La diferencia de potencial entre la superficie terrestre y la electrósfera es de  $200$  a  $500 \text{ KV}$ , con un valor medio de  $300 \text{ KV}$ ).

Como hay partículas cargadas en presencia de un campo eléctrico, las mismas se desplazan, produciendo una densidad de corriente  $J$  (corriente por unidad de área) con buen tiempo, como se muestra en la figura.

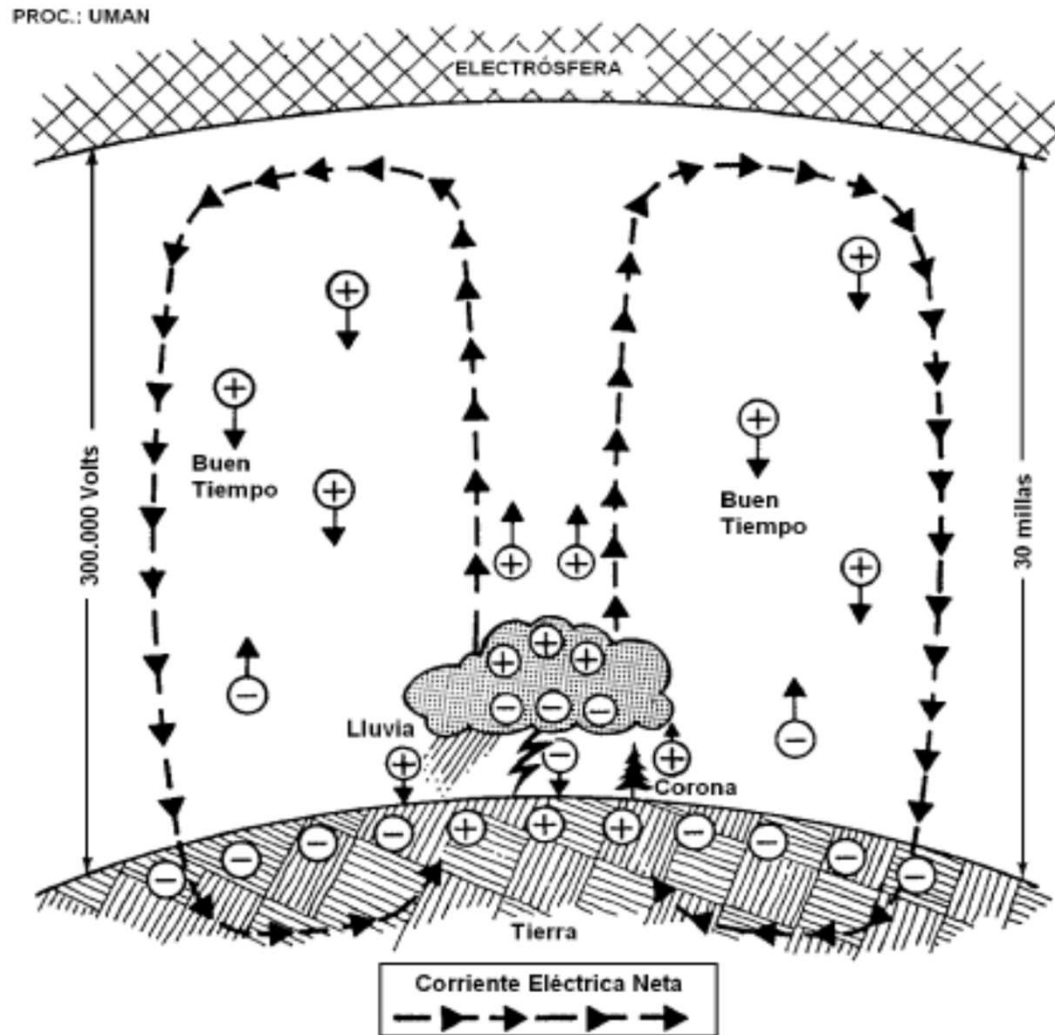
Esta densidad de corriente en buen tiempo se ha medido experimentalmente, y se obtiene un valor de  $J = 2,00$  a  $4,00 \text{ pA/m}^2$ .

También se sabe que cada segundo están "cayendo" entre  $40$  y  $100$  rayos a la tierra y cada uno de ellos transfiere una carga negativa promedio de  $20$  coulombs.





## EJEMPLO: Ejercicio 2.1.15



a) A partir del campo eléctrico sobre la superficie terrestre con buen tiempo, determina la densidad superficial de carga  $\sigma$ , y suponiendo que la misma es uniforme en todo el planeta, estima el valor de la carga sobre la superficie terrestre.

¿Corresponde a un exceso de cargas positivas o negativas?

b) Determina a partir de la densidad media de corriente, la intensidad total que entra sobre la superficie del planeta. A partir del valor hallado estima el tiempo que tardaría la Tierra en descargarse, suponiendo que en todo el planeta hay buen tiempo.

c) Explica por qué efectivamente no se produce dicha descarga, y se sigue manteniendo cargada.

d) Realiza un modelo de capacitor para las condiciones de buen tiempo y determina el valor de su capacitancia. ¿Podrías realizar otro modelo de capacitor para la situación de una nube de tormenta y el suelo?