

8- Teoría microscópica de la resistencia

Seguridad eléctrica

Aplicaciones:

**Física de las descargas
atmosféricas**



Repaso de clases anteriores

Intensidad de corriente:

$$I_{prom} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

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

Convencionalmente se asigna a la corriente la misma dirección que la del flujo de la carga positiva.

Velocidad de deriva o arrastre de portadores de carga:

$$v_d = \frac{I_{prom}}{nqA}$$

Vector densidad de corriente:

$$\bar{J} = nq\bar{v}_d$$

$$J = \frac{I}{A} = nqv_d$$

LEY DE OHM: En muchos materiales (la mayor parte de los metales) la relación de la densidad de corriente \mathbf{J} al campo eléctrico \mathbf{E} es una constante independiente del campo eléctrico que produce la corriente.

σ conductividad; ρ resistividad

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$

$$\bar{J} = \sigma \bar{E} = \frac{1}{\rho} \bar{E}$$

Resistencia del conductor R :

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Resistencia de un conductor óhmico:

Voltaje entre terminales de batería de fem \mathcal{E} con resistencia interna r

$$\Delta V = \mathcal{E} - Ir$$

Repaso de clases anteriores

POTENCIA ELÉCTRICA

$$\mathcal{P} = I \cdot \Delta V = I^2 R = \frac{\Delta V^2}{R}$$

Pérdida de potencia en forma de calor en conductor de resistencia R
(**calentamiento Joule**): $I^2 R$.

Resistencia equivalente de **resistores en serie**:

$$R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 \dots = \sum_{i=1}^n R_i$$

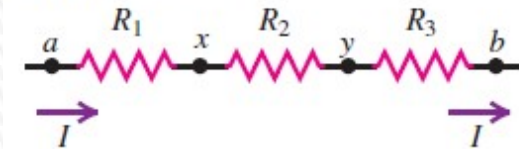
Resistencia equivalente de **resistores en paralelo**:

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

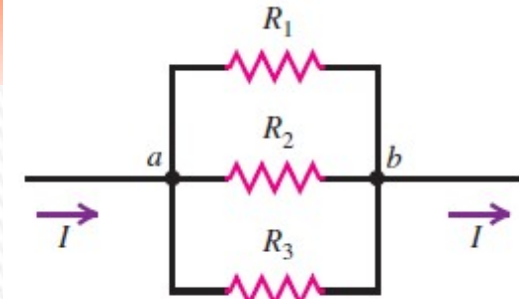
Si son solo 2 resistores en paralelo:

$$R_{EQ} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

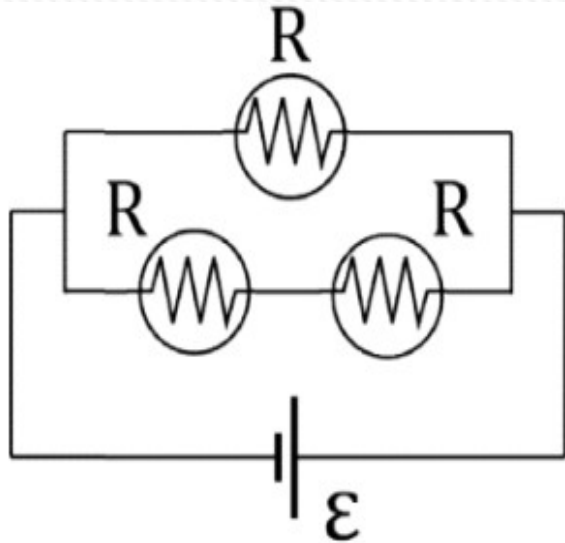
a) R_1, R_2 y R_3 en serie



b) R_1, R_2 y R_3 en paralelo



EJEMPLO: Ejercicio 2.1.16



2.1.16- Primer parcial 2021- Se conectan tres lámparas incandescentes idénticas a una fuente de potencial ideal que proporciona una diferencia de potencial de 120 V.

Los filamentos de las lámparas están fabricados con tungsteno, $\rho = 5,60 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ y tienen una sección transversal circular de radio $2,50 \times 10^{-5} m$. Si la potencia entregada por la fuente vale $1,30 \times 10^3 W$, ¿cuál es el largo del filamento que compone a las lámparas?

Nos dan la potencia P que entrega la fuente, como para un circuito con una resistencia $P = V^2/R_{eq}$ debo calcular la resistencia equivalente del circuito, constituido por un acoplamiento en paralelo de una resistencia R con otras dos resistencia R colocadas en serie (de valor total $2R$).

$$R_{eq} = \frac{R \cdot 2R}{R + 2R} = \frac{2R^2}{3R} = \frac{2}{3}R \quad R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{\pi r^2} \quad P = \frac{V^2}{R_{eq}}$$

$$P = \frac{V^2}{\frac{2}{3}R} = \frac{3V^2}{2R} = \frac{3}{2} \frac{V^2}{\left(\rho \frac{L}{\pi r^2}\right)} = \frac{3}{2} V^2 \frac{\pi r^2}{\rho L} \quad L = \frac{3}{2} V^2 \frac{\pi r^2}{\rho P}$$

$$L = \frac{3}{2} (120)^2 \frac{\pi (2,50 \times 10^{-5})^2}{(5,60 \times 10^{-8})(1,30 \times 10^3)} = 0,58258 m$$

$$L = 0,583 m = 58,3 cm$$

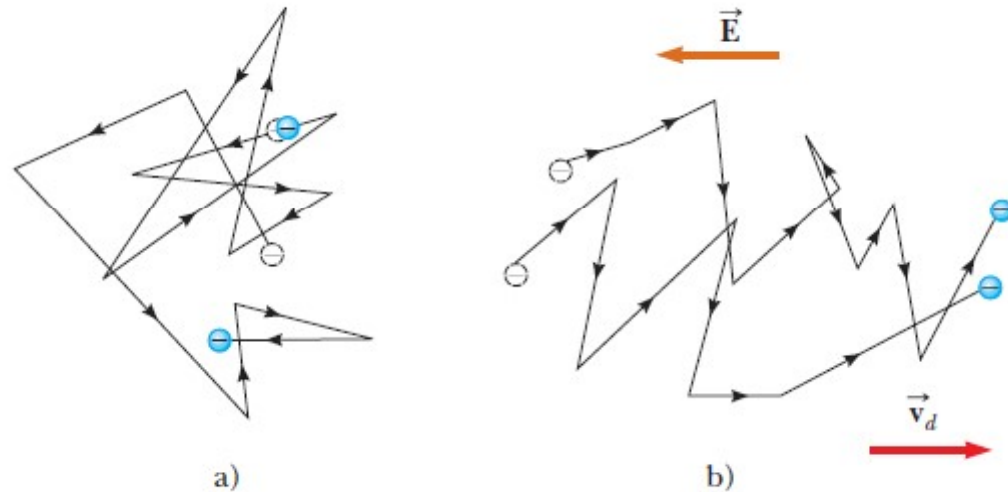
Teoría microscópica de la resistencia

Modelo clásico de conducción eléctrica en metales (1900, Paul Drude) conduce a ley de Ohm y que la resistividad en metales está relacionada con el movimiento de electrones.

Conductor: arreglo de átomos normales más conjunto de electrones libres (**electrones de conducción**).

Sin campo eléctrico externo los electrones de conducción se mueven al azar a través del conductor con una **velocidad térmica media (u)** (promedio del orden de 10^6 m/s, similar a un gas de electrones).

La rapidez de arrastre v_d es del orden de 10^{-4} m/s.



Recorrido libre medio (λ): distancia media que recorre un electrón entre las colisiones que experimenta con los iones del conductor.

Al aplicarse un E , los electrones libres se desplazan lentamente en sentido opuesto al E , con **rapidez de arrastre v_d** (típicamente 10^{-4} m/s).

Teoría microscópica de la resistencia

Suposiciones:

- 1) Movimiento del electrón después de una colisión es independiente de su movimiento antes de la colisión.
- 2) Energía adquirida en exceso por los electrones en el E se pierde en los átomos del conductor cuando chocan. La energía proporcionada a los átomos aumenta su energía vibratoria y la temperatura aumenta.

Electrón libre masa m_e y carga $q = (-e)$ bajo acción de un \mathbf{E} constante experimenta una fuerza $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$. Al aplicar la segunda ley de Newton,

$$\bar{a} = \frac{qE}{m_e}$$

\mathbf{v}_i velocidad inicial del electrón en el instante posterior a una colisión

$$\bar{\mathbf{v}}_f = \bar{\mathbf{v}}_i + \bar{a}t = \bar{\mathbf{v}}_i + \frac{qE}{m_e} t$$

Valor medio de \mathbf{v}_f (para todos los posibles tiempos entre colisiones t y todos los posibles valores de \mathbf{v}_i de los electrones): es cero (ya que las velocidades iniciales están distribuidas aleatoriamente sobre todos los posibles valores);

Valor medio de 2do. término es $(q\mathbf{E}/m_e)\tau$, con τ *intervalo de tiempo medio entre colisiones sucesivas*.

Pero el valor promedio de \mathbf{v}_f es igual a la velocidad de arrastre:

$$\bar{\mathbf{v}}_{f \text{ prom}} = \bar{\mathbf{v}}_d = \frac{qE}{m_e} \tau$$

Teoría microscópica de la resistencia

$$\bar{v}_{f\text{ prom}} = \bar{v}_d = \frac{qE}{m_e} \tau$$

$$J = nqv_d = \frac{nq^2E}{m_e} \tau$$

Relacionando v_d con la densidad de corriente J

De acuerdo a la ley de Ohm, $J = \sigma E$, se obtienen las siguientes correspondencias para conductividad y resistividad de un conductor:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{nq^2}{m_e} \tau$$

Según este modelo ni conductividad ni resistividad dependen de la intensidad del E .

Característica de un conductor óhmico.

Se pueden obtener expresiones similares usando el **recorrido libre medio λ** y la **velocidad térmica u** , en lugar del τ (tiempo medio entre choques).

Cada vez que un electrón choca con un ion, se desvía al azar y pierde la tendencia a moverse según la fuerza eléctrica que experimenta.

Su próximo choque se produce al cabo de un tiempo que satisface: $\tau = \lambda/u$.

$$\rho = \frac{m_e}{nq^2\tau} = \frac{m_e u}{nq^2\lambda}$$

n y λ dependen del material, la velocidad térmica u depende de la temperatura.

λ , es del orden de 100 veces la distancia interatómica

Los electrones viajan a través de la red cristalina del conductor de forma totalmente libre y no chocan hasta que se encuentran con una desviación de la estructura regular de la red: que puede ser una impureza o un ion de la red algo desplazado de su posición de equilibrio debido a su movimiento vibratorio térmico.

Ejemplo

¿Cuál es el tiempo libre medio entre colisiones τ en los electrones de conducción en el cobre y cuál es la trayectoria libre media λ para estas colisiones? Suponga una rapidez térmica u de $1,6 \times 10^6$ m/s, y $n = 1,1 \times 10^{29}$ e/m³ y la resistividad del cobre $\rho = 1,7 \times 10^{-8}$ $\Omega \cdot m$

$$\rho = \frac{m_e}{ne^2\tau} \quad \tau = \frac{m_e}{ne^2\rho}$$

$$\tau = \frac{m_e}{ne^2\rho} = \frac{9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}}{\left(1,1 \times 10^{29} \frac{1}{m^3}\right) (1,60 \times 10^{-19} \text{ C})^2 (1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m)} = 1,9 \times 10^{-14} \text{ s}$$

$$\lambda = u \cdot \tau = (1,6 \times 10^6 \text{ m/s}) (1,9 \times 10^{-14} \text{ s}) = 3,0 \times 10^{-8} \text{ m}$$



Seguridad Eléctrica

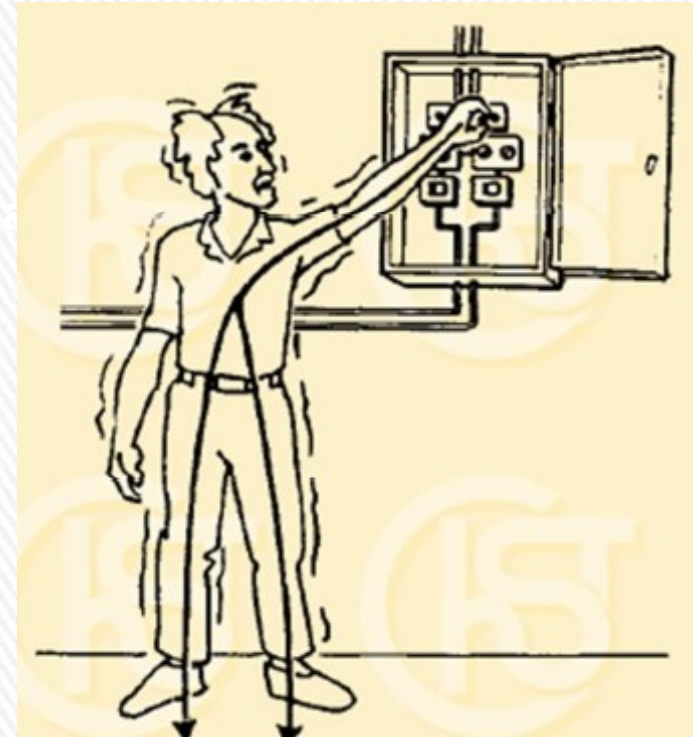
Peligros de la Electricidad

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.



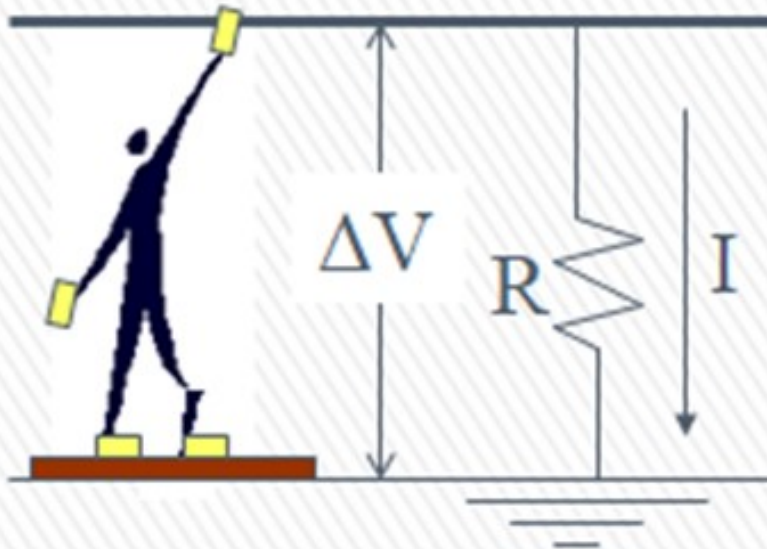
Seguridad Eléctrica

Aumento de la resistencia

- Tensión: 220 V
- Resistencia del cuerpo humano: 2.500 Ω (2,5 k Ω)
- Otras resistencias:
 - Alfombra: 6 k Ω
 - Calzado: 5,5 k Ω
 - Guantes: 6 k Ω
- Resistencia total 20 k Ω

Piel seca: 100 K Ω /cm²

Piel húmeda: 1000 Ω /cm²



$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{220}{20.000} = 0,011 \text{ A} = 11 \text{ mA}$$

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)
> 4 A	Parálisis cardiaca (fatal)
>5 A	Quemadura del tejido (fatal, destruye órganos vitales)

Seguridad Eléctrica

Umbral de no soltar:

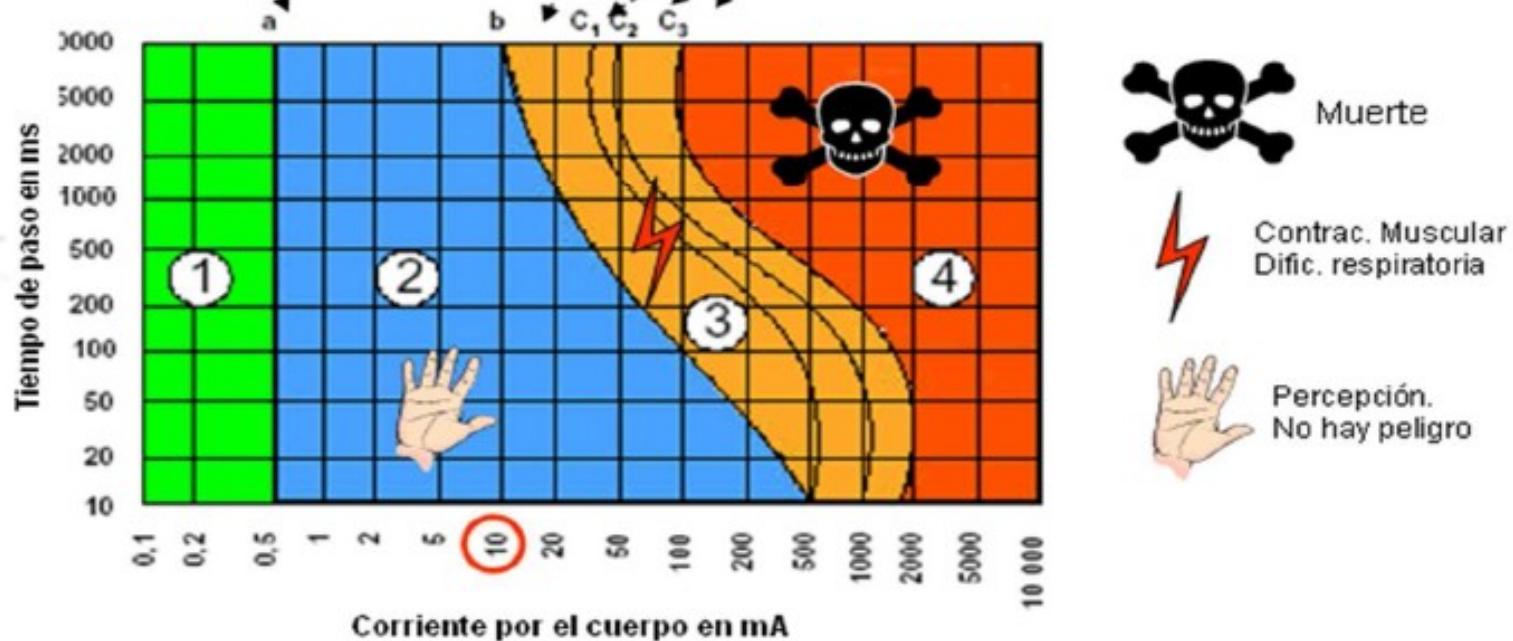
Cuando una persona tiene sujetos unos electrodos, es el valor máximo de la corriente que permite a esa persona soltarlos. En corriente alterna se considera un valor máximo de 10 mA, cualquiera que sea el tiempo de exposición

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.



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 sistema¹³ 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**”.



Seguridad Eléctrica

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- **Puesta o descarga a tierra**
- 4- **Interruptor termo-magnético (Térmica)**



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.

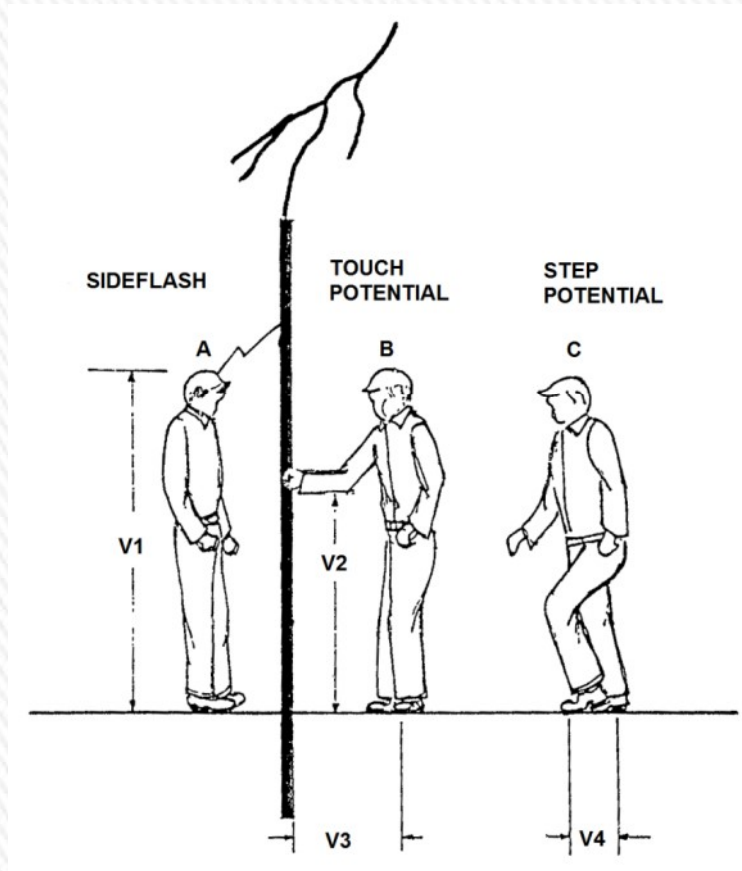
Pulsador (botón) de “reset”, que debe accionarse una vez al mes para asegurarse que el dispositivo funciona normalmente.



Seguridad Eléctrica

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 200V/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.

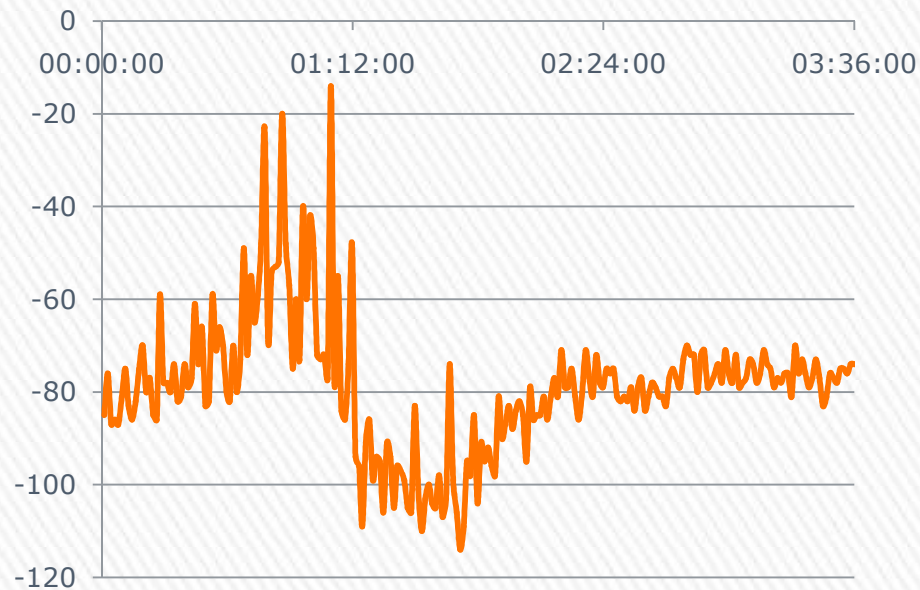
El campo eléctrico en condiciones perturbadas, y más aún de tormenta, tiene un valor y dirección variables, siendo muy afectado por las cargas de las nubes y por la concentración de partículas tales como aerosoles u otras provenientes de la contaminación.

Las variaciones del campo eléctrico en buen tiempo dependen de:

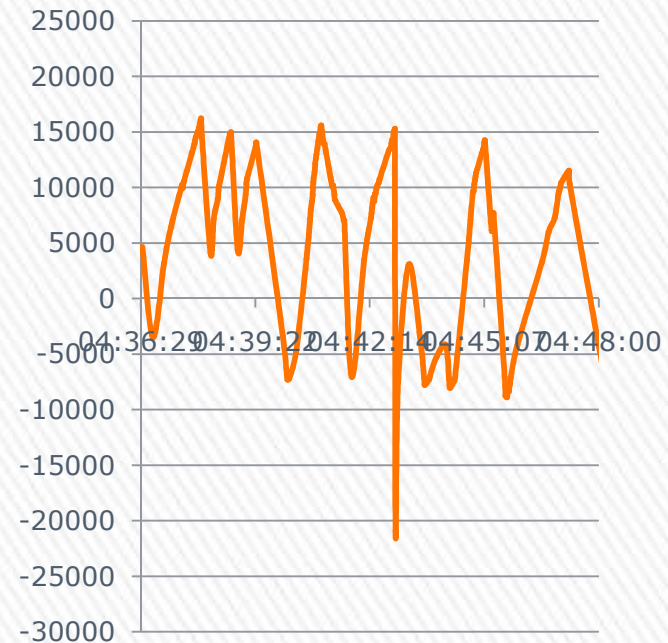
- ubicación geográfico (latitud y longitud),
- altitud,
- nubosidad y condiciones del tiempo (meteorológicas),
- concentración de aerosoles y actividades tecnológicas
- cambios diurnos y anuales debido a la actividad solar y de los rayos cósmicos.

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:

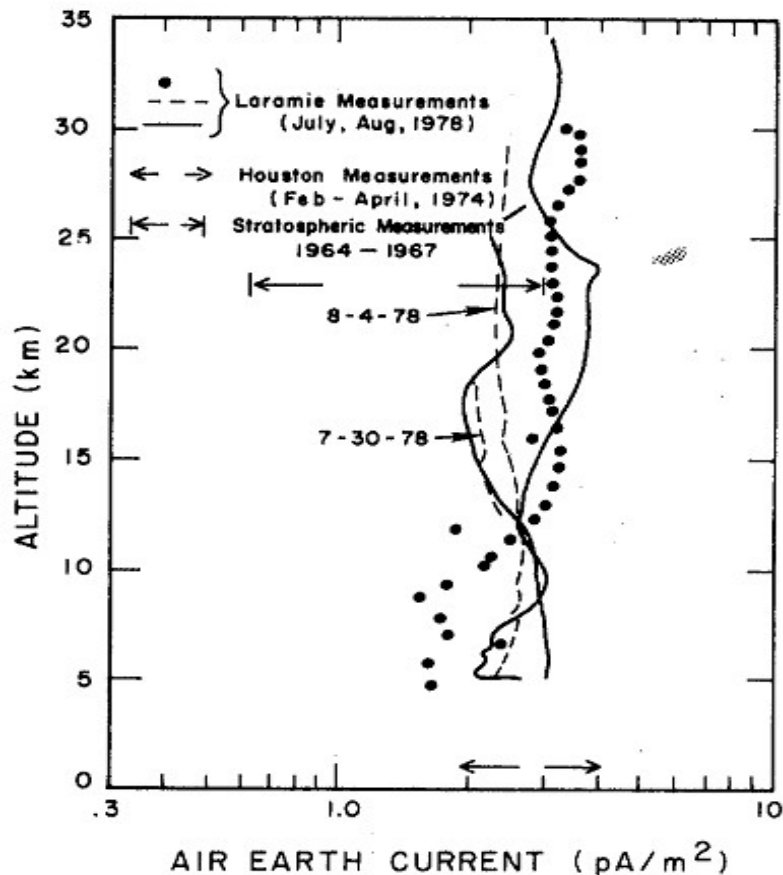
Región:	Ecuador	60° latitud	Polo sur	Áreas industriales
Campo (V/m)	120	155	71	200-500

TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

NUBE-AIRE (C-A)



CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ATMOSFÉRICA



Variación de la densidad de corriente J en pA/m^2 con la altura

Conductividad eléctrica (σ) $J = \sigma E$
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.**

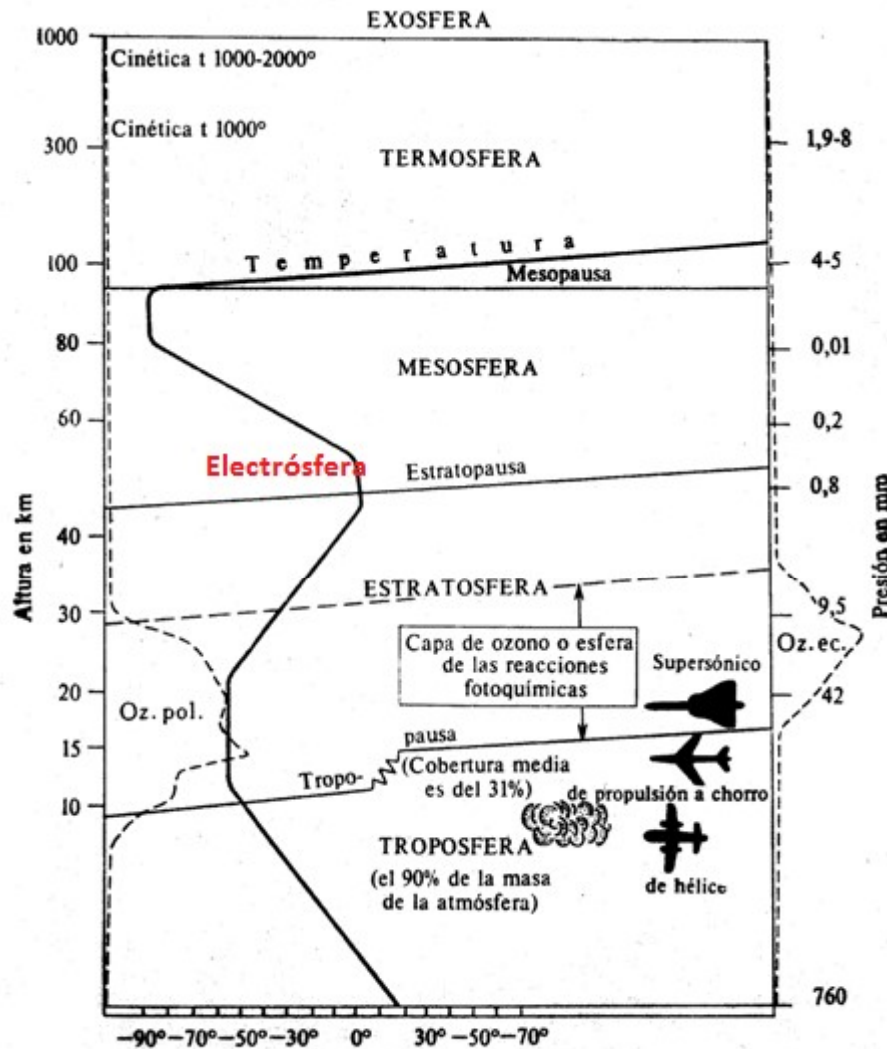
Varía a lo largo del día y del lugar.

DENSIDAD DE CORRIENTE ATMOSFÉRICA

Se puede considerar que la misma varía entre 1 y 4 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 pA/m^2 para los mares 3,3 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.*

Electrosfera: 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 ± 5 rayos

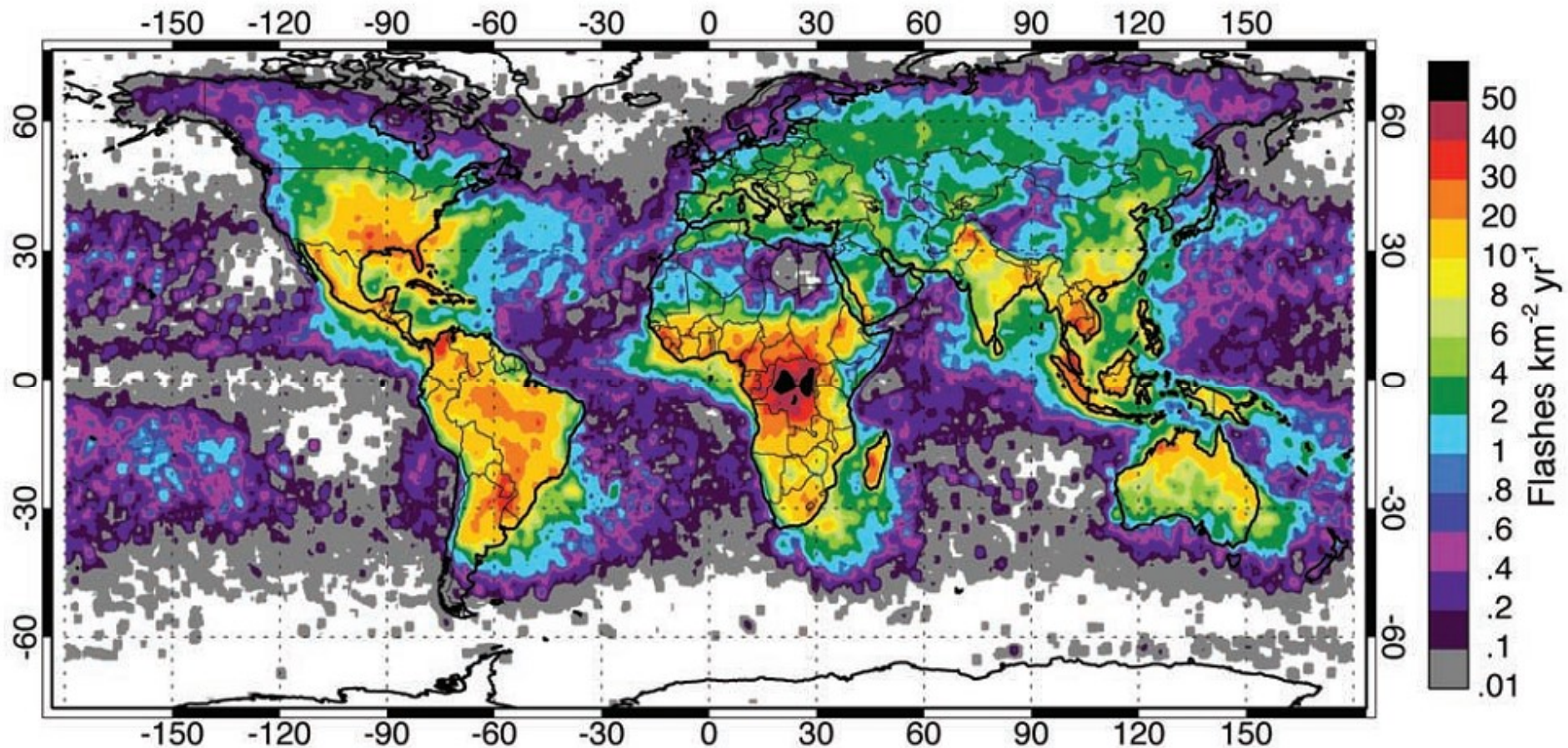
Alrededor de 2.000 personas al año fallecen por una descarga directa

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 ² .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.

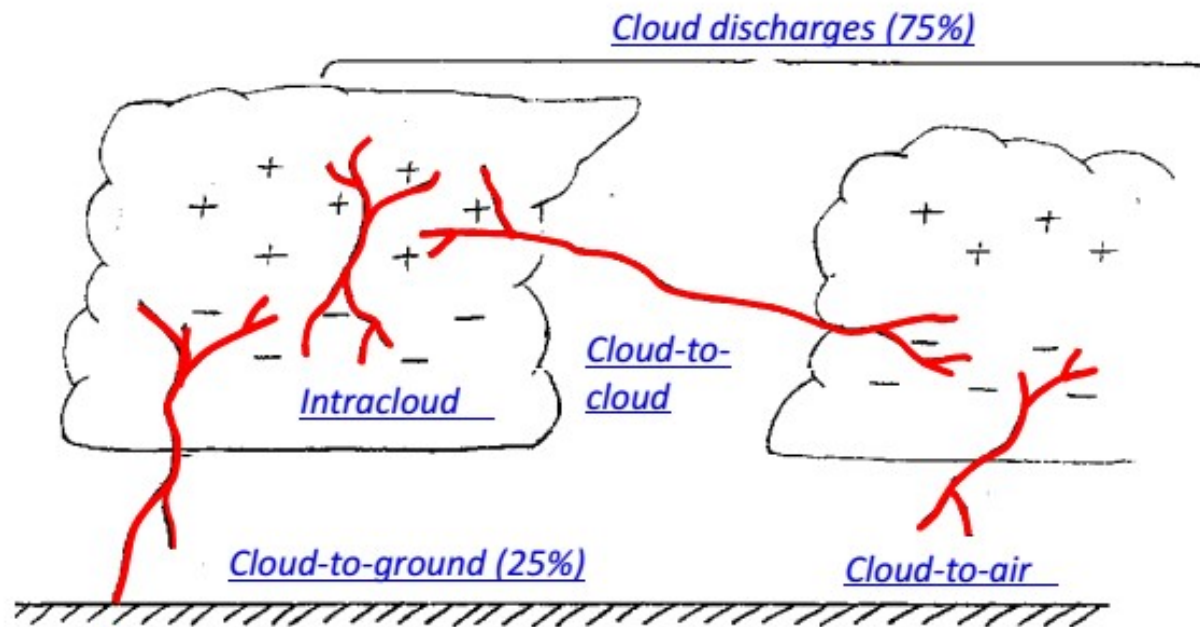
En Uruguay se estimaba 5 rayos/(año.km²)

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

INTRA-NUBE



TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

NUBE-TIERRA (C-G)



Héctor Korenko -2016 -Física de las Descargas atmosféricas



TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

NUBE-NUBE (C-C)



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 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 kV/m).

En la atmósfera existen portadores de carga libres (iones), con una densidad no uniforme, aumentando con la altura. A partir de los 40-60 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**.

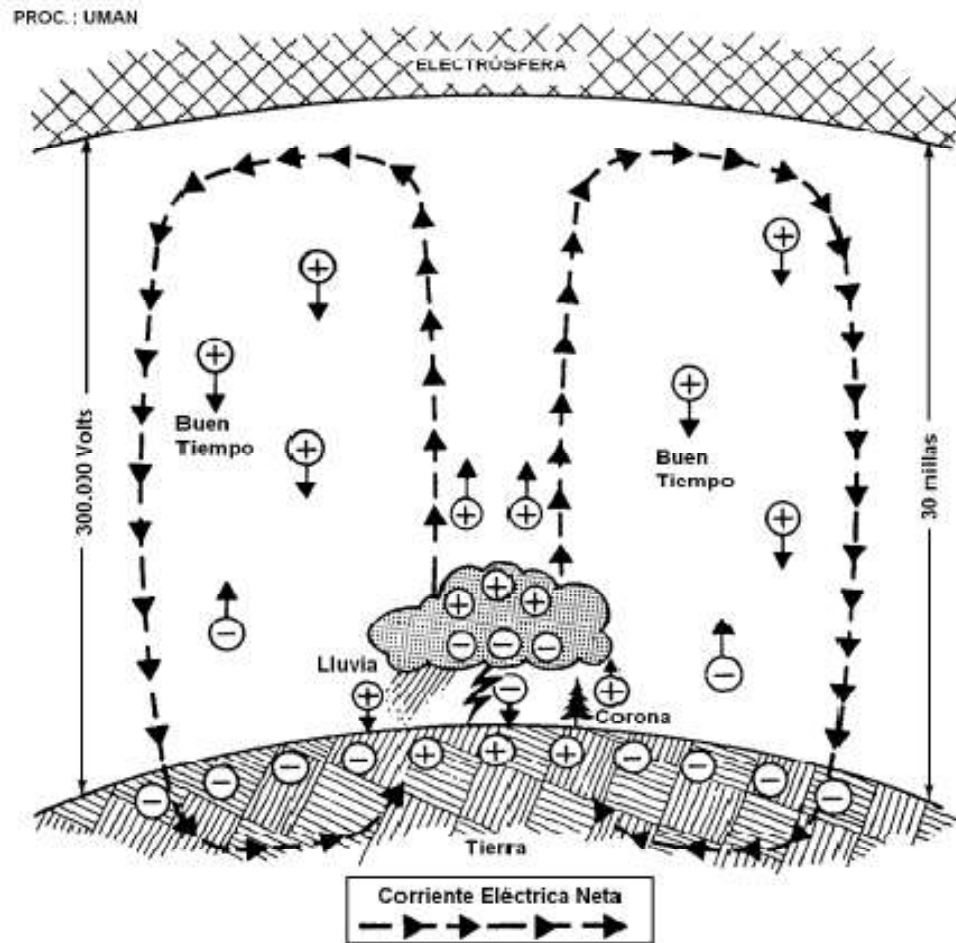
La diferencia de potencial entre la superficie terrestre y la electrósfera es de 200 a 500 KV, con un valor medio de 300 KV).

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 $4,00$ pA/m².

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 σ , 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?