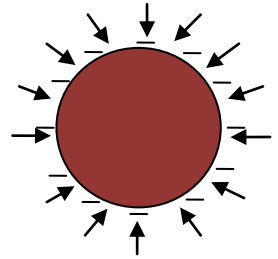


EL CONDENSADOR TERRESTRE

1. MODELO DEL CONDENSADOR

En las proximidades de la superficie terrestre existe un campo eléctrico (E), radial dirigido hacia el centro de la Tierra, cuya intensidad media es del orden de 100V/m. Se debe a que la superficie de la Tierra está formada principalmente por agua (tres cuartas partes lo son y por el resto el agua se infiltra a través de múltiples grietas y fisuras), que contiene iones disueltos y tiene una carga neta negativa. Considerando a la Tierra como una esfera conductora, podemos estimar:



La carga neta negativa de la superficie terrestre: $Q = \frac{E \cdot R^2}{K} = \frac{-100 \cdot (6.37 \cdot 10^6)^2}{9 \cdot 10^9} \approx -4.5 \cdot 10^5 C$

La densidad superficial de carga: $\sigma = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot R^2} = \frac{4.5 \cdot 10^5}{4 \cdot \pi \cdot (6.37 \cdot 10^6)^2} \approx -8.84 \cdot 10^{-10} C/m^2$

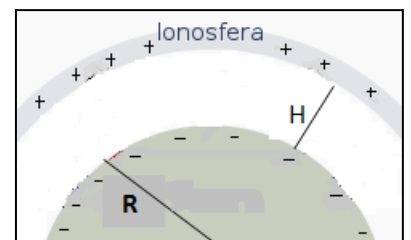
Para plantear el condensador terrestre, empezamos considerando que la carga negativa que hay en la superficie de la Tierra se equilibra con otra igual positiva en la atmósfera. La radiación cósmica y las partículas de viento solar ionizan la atmósfera y podemos suponer inicialmente a esos iones distribuidos en el espacio comprendido entre el suelo y una altura H del orden de 500km. Tal distribución de carga se puede aproximar mediante la siguiente expresión:

$$\rho(V) = - \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \ln\left(1 + \frac{H}{R}\right)} \quad (C/m^3) \quad (\text{para } R < r < R + H)$$

Donde r es la distancia radial medida desde el centro de la Tierra y Q la carga acumulada en su superficie. En la siguiente línea se comprueba que de esta expresión se deduce una carga en la atmósfera igual y de signo opuesto a la carga Q (negativa) de la superficie de la Tierra:

$$Q_{atm} = - \int_R^{R+H} \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \ln\left(1 + \frac{H}{R}\right)} 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot dr = - \frac{Q}{\ln\left(1 + \frac{H}{R}\right)} \int_R^{R+H} \frac{dr}{r} = -Q$$

En las capas más bajas de la atmósfera se producen fenómenos que propician que se acumule casi toda la carga positiva en una capa, la **ionosfera**, que va desde una altura del orden de 100Km, hasta la altura H (500km). Por tanto, cabe considerar un condensador terrestre esférico formado por una "placa" de carga negativa situada en la superficie de la Tierra y otra de carga positiva, que abarca la ionosfera.



La capacidad del condensador es: $C = \frac{\epsilon_0 \cdot 4 \cdot \pi \cdot (R+H) \cdot R}{H} = \frac{8.84 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \pi \cdot (6.378 \cdot 10^6 + 5 \cdot 10^4) \cdot 6.378 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^5} \approx 46mF$

Y la energía que acumula es: $U = \frac{Q^2}{2 \cdot C} = \frac{(4.5 \cdot 10^5)^2}{2 \cdot 4.6 \cdot 10^{-4}} \approx 2.3 \cdot 10^{14} J$

2. ESTABILIDAD DEL CONDENSADOR

El aire que puebla la zona baja de la atmósfera es un medio dieléctrico, pero no totalmente aislante, por lo que en condiciones de "buen clima" el condensador terrestre se tendría que ir descargando poco a poco a su través. Sin

embargo, la carga del condensador terrestre permanece bastante estable porque existe un mecanismo compensatorio que lo recarga: las tormentas.

La formación de tormentas se desarrolla siguiendo una serie bastante compleja de procesos, que podemos resumir en los siguientes pasos:

-El calentamiento de la Tierra propicia corrientes de aire húmedo ascendentes. A medida que asciende ese aire húmedo se va enfriando hasta condensarse formando pequeñas nubes o “cumulus”.

- Algunas nubes pueden crecer rápidamente en sentido vertical y cuando alcanzan la isoterma de los 0°C, se forman dentro de ellas gotas o partículas de granizo a las que la corriente ascendente mantiene en suspensión.

- Mediante este proceso algunos “cumulus” se transforman “cumulonimbus”, que pueden llegar a tener hasta 10 Km de altura. En su parte superior la temperatura puede ser muy baja (-20°C o -30°C), favoreciendo una intensa sobresaturación del aire que origina abundantes gotas de lluvia o de granizo. Algunas de estas gotas pueden caer en forma de precipitación, a medida que desaparece la corriente ascendente. Mientras ocurre esto la superficie de la Tierra también se enfría y se pueden provocar corrientes descendentes de viento, acompañadas de chubascos.

Durante estos procesos se favorece la formación de iones, que se ordenan en la nube en sentido contrario al que tiene el campo eléctrico atmosférico: los iones positivos en la parte alta de la nube y los negativos en la parte baja. Mientras tanto, la Tierra también se carga con iones positivos. Todo ello genera diferencias de potencial de millones de voltios, que pueden originar fuertes descargas eléctricas o **rayos** entre distintos puntos de una misma nube, entre nubes distintas y/o entre la nube y la Tierra. Los rayos producidos entre partículas del suelo con carga positiva y las cargas negativas de la cara de las nubes que miran a dicho suelo, recargan el condensador terrestre. Además hay un efecto de ida y vuelta de tales rayos, de tal modo que, después de subir las partículas del suelo a la nube, instantáneamente regresan, causando la visión del relámpago.



Vamos ahora a realizar algunos cálculos relativos a las descargas eléctricas en la atmósfera. En primer lugar, hay que tener en cuenta que para que se produzca un rayo a través del aire, la diferencia de potencial entre la nube y el suelo debe de superar el límite de rigidez dieléctrica del aire ($E_0 = 3\text{MV/m}$). Teniendo en cuenta este dato, consideramos una descarga que transporte una corriente de unos 10^7A por el aire ionizado, cuya resistencia son unos 100Ω .

De acuerdo con la ley de Ohm, la tensión de tal corriente es: $\Delta V = I \cdot R \approx 10^7 \cdot 100 \approx 10^9\text{V}$

La altura máxima requerida para que se produzca el rayo resulta: $h = \frac{10^9\text{V}}{3 \cdot 10^3\text{V/m}} \approx 330\text{m}$

Suponiendo que tenga una duración de 10^{-6}s , pone en juego una energía de: $U = I \cdot \Delta V \cdot \Delta t = 10^7 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \approx 10^{10}\text{J}$

Lo que implica que para recargar (o descargar) totalmente al condensador terrestre serían necesarios unos 23000 rayos $[(2.3 \cdot 10^{14}\text{J}) / (10^{10}\text{J}/\text{rayo})]$