

Promedialmente en todo instante se están produciendo alrededor de 2.000 tormentas eléctricas en el mundo, ocupando las nubes de tormenta entre el 10 y 15% de la superficie terrestre.

Alrededor de 2.000 personas fallecen por una descarga directa

La probabilidad de que nos mate un rayo es una en dos millones.

Descargas atmosféricas



Descargas atmosféricas

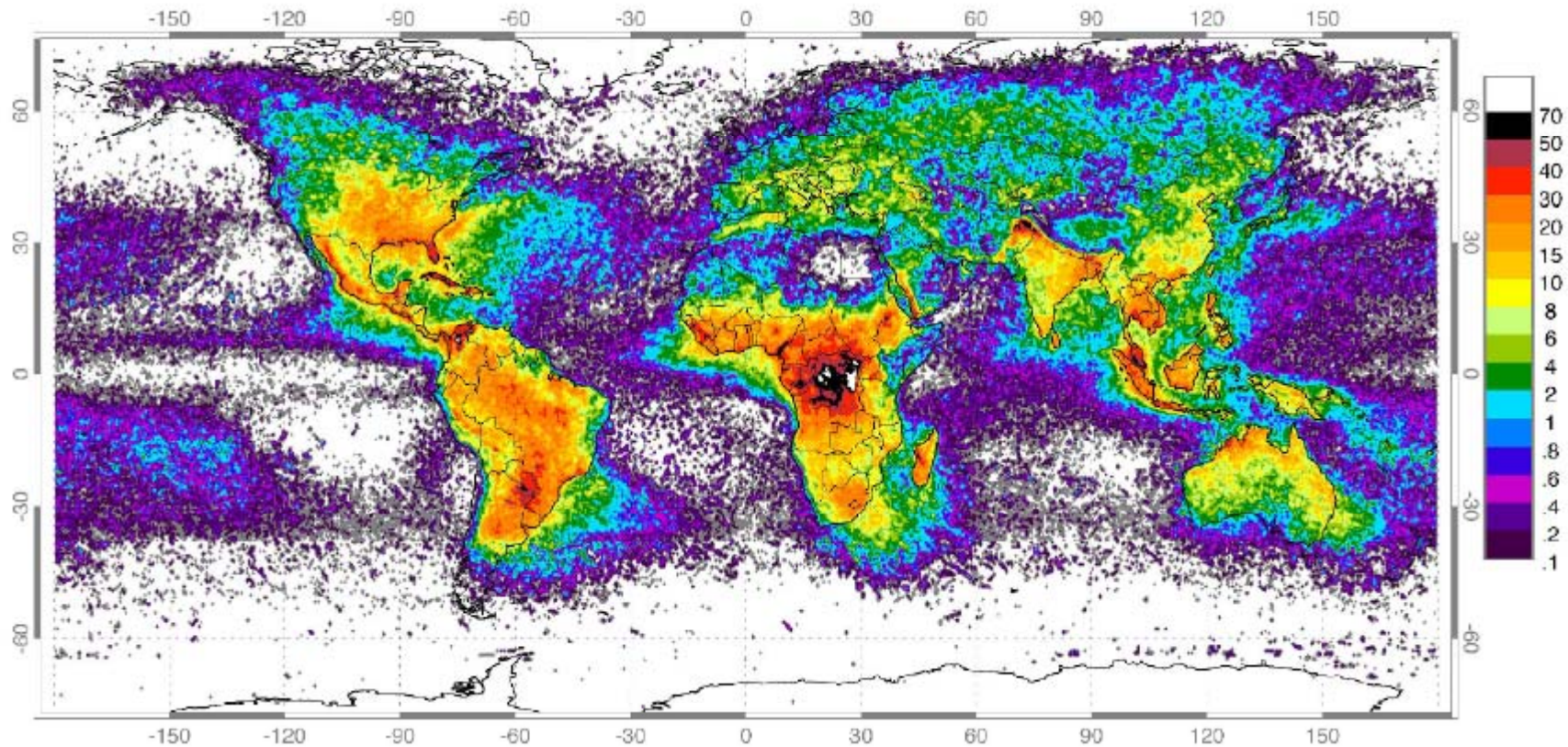
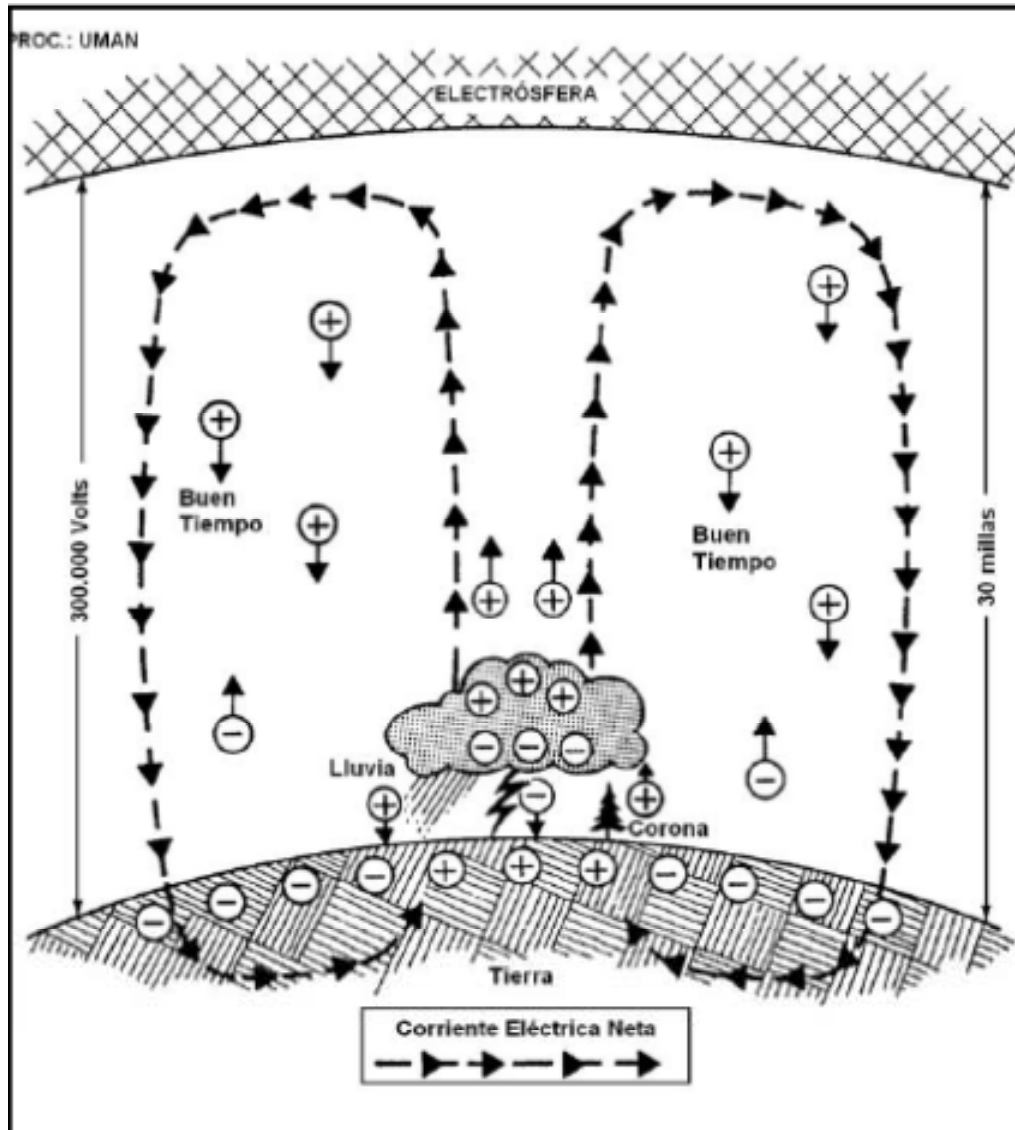


Imagen de alta resolución de la tasa anual de descargas atmosféricas

Índice **ceráunico** en Uruguay: $T_D = 40$ $N_G = 4$ rayos/(año.km²)

En nuestro país se puede estimar entre 4 y 4,5 descargas al año por km².

La tormenta eléctrica como una batería



Las tormentas actúan como baterías que mantienen la tierra cargada negativamente y la atmósfera cargada positivamente. Las corrientes eléctricas atmosféricas circulan hacia abajo en buen tiempo y hacia arriba durante tormentas. Las tormentas entregan carga a la tierra mediante el rayo, la lluvia y las descargas corona.

Valores del campo eléctrico en la superficie

Con buen tiempo:

$$E = -80 \text{ a } -130 \text{ V/m}$$

Bajo nube de tormenta:

$$E = +10.000 \text{ V/m}$$

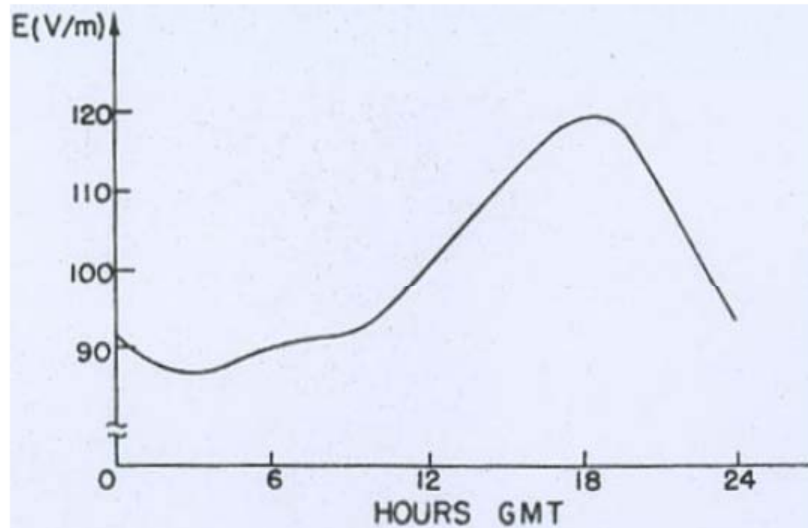
Bajo la nube de tormenta E se invierte y aumenta 100 veces!

$$Q_{\text{Tierra}} =$$

$$-5,5 \text{ a } -5,9 \times 10^{+5} \text{ C}$$

CAMPO ELÉCTRICO CON BUEN TIEMPO VARIACIÓN DIARIA

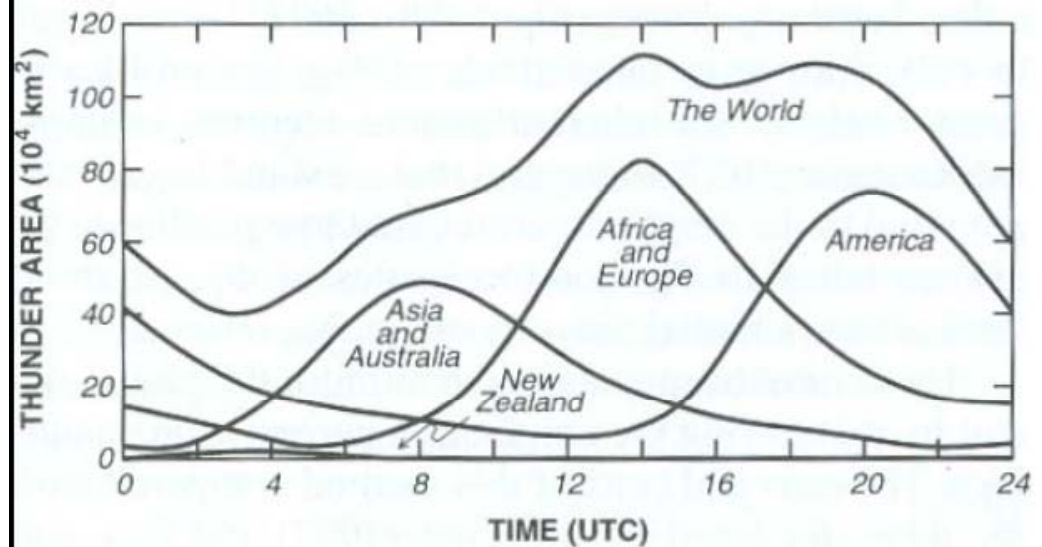
Facultad de Ciencias BQ-202 –Descargas atmosféricas



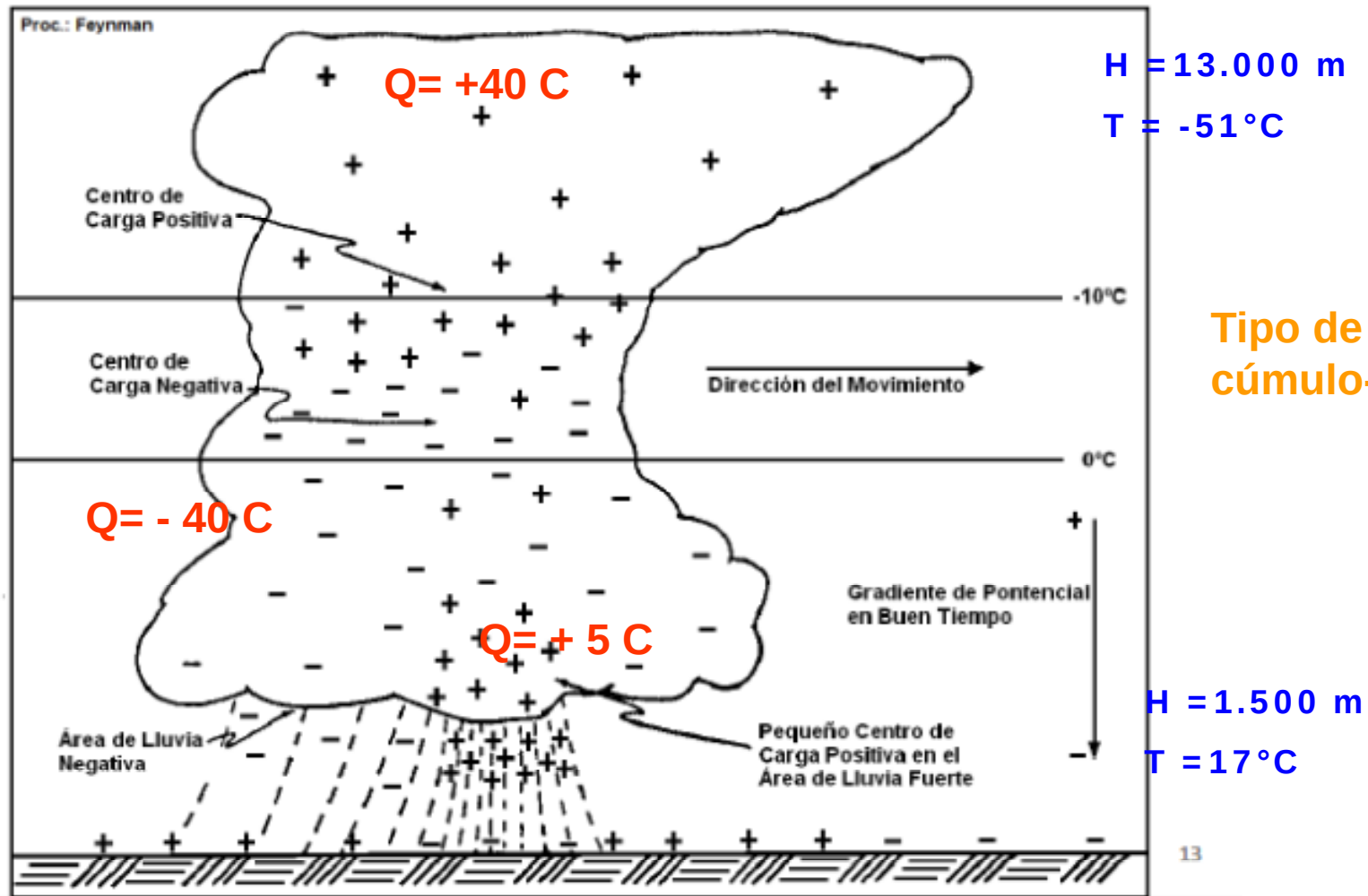
**El E es máximo a las 19 GMT
aprox. (16:00 en Uruguay)**

**Hay coincidencia con el máximo
de tormentas eléctricas**

DENSIDAD DIARIA DE TORMENTAS EN EL MUNDO

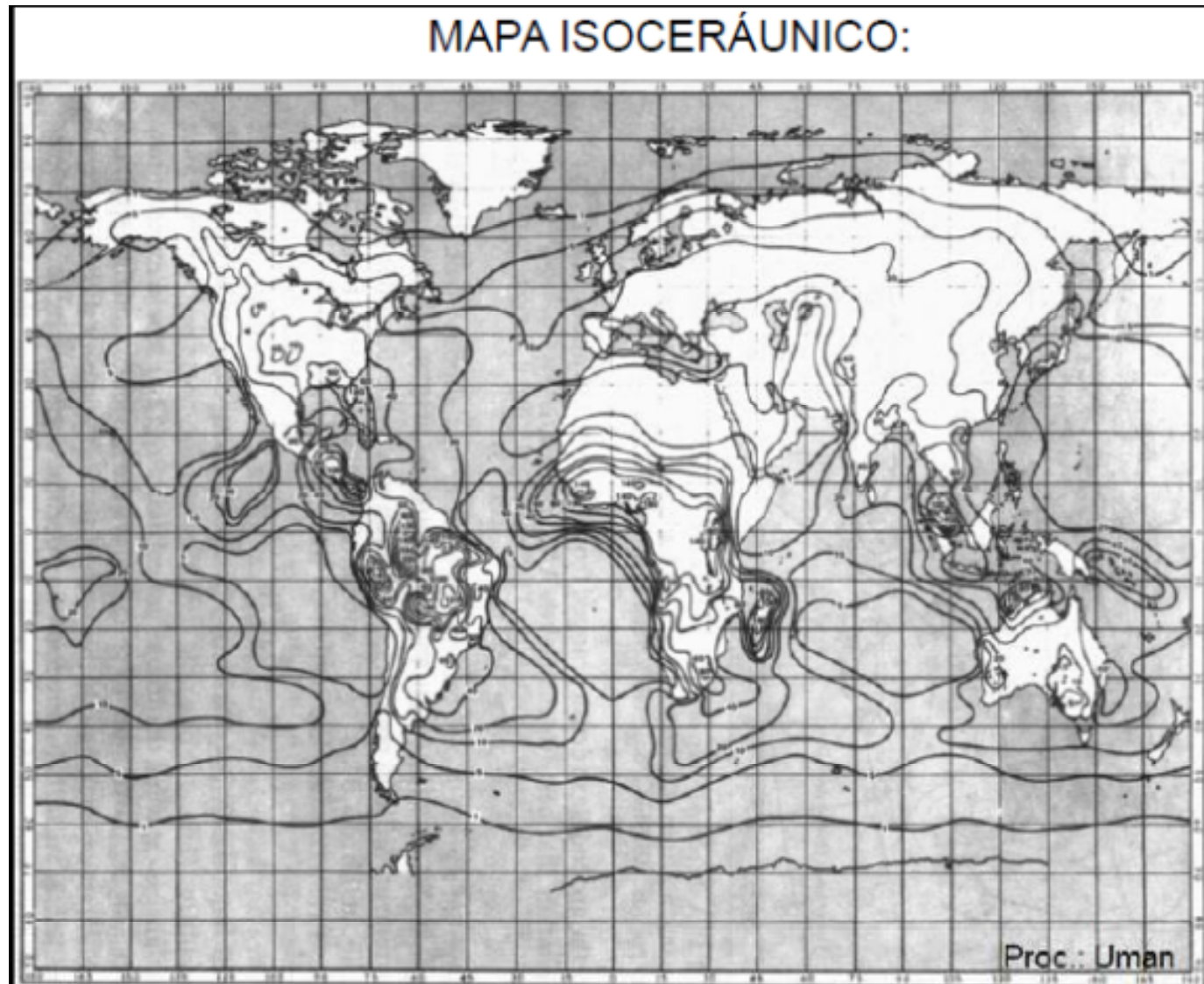


Distribución de cargas eléctricas en una célula madura de tormenta eléctrica.



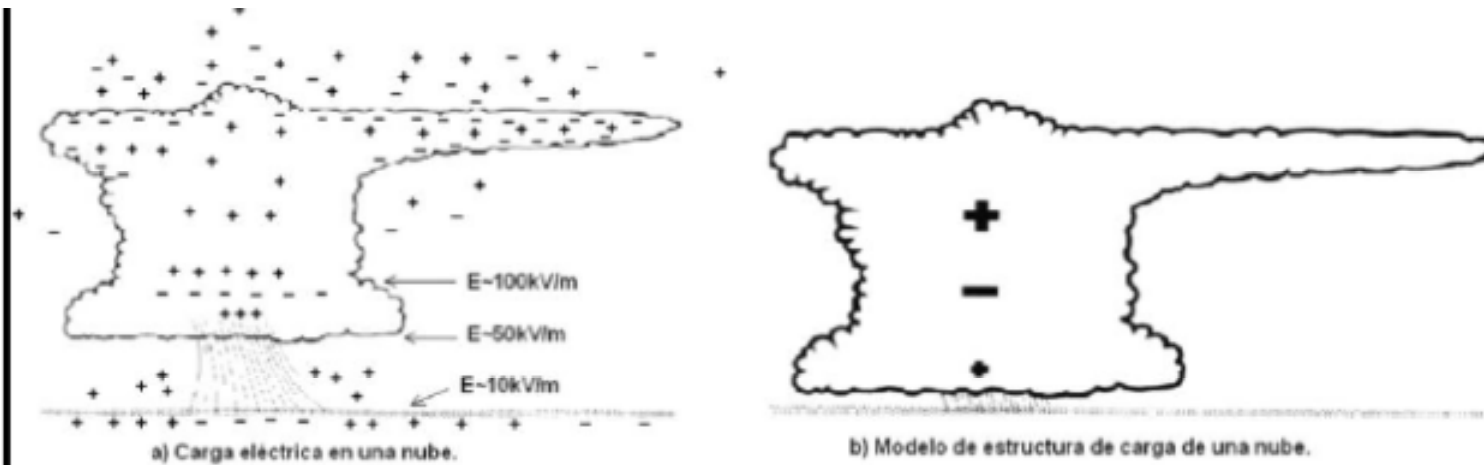
Tipo de nube:
cúmulo-nimbus

Mapa isoceráunico



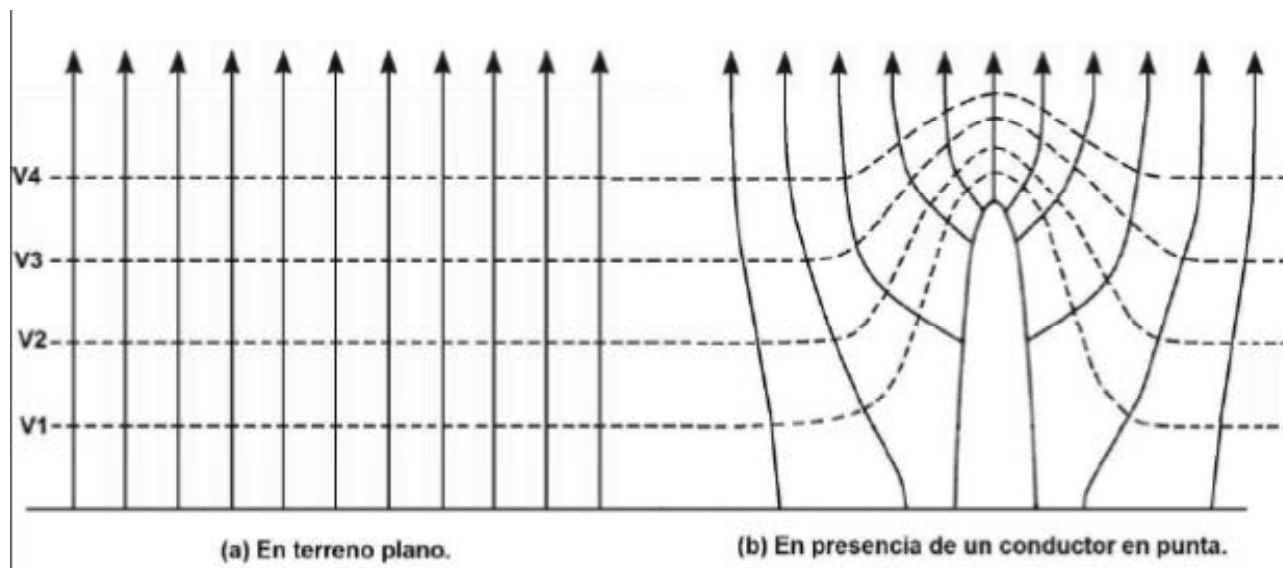
Carga en una nube

Facultad de Ciencias BQ-202 –Descargas atmosféricas



Efecto de la nube en tierra

Descarga en punta o efecto corona



Etapas de una descarga atmosférica:

1) Ruptura preliminar: Descarga producida interior zona negativa nube.

2) Formación de la guía escalonada:

Si E en ruptura preliminar es suficientemente alto se produce un fenómeno de propagación de un canal de aire ionizado cargado negativamente llamado guía escalonada.

3) Formación del trazador

ascendente: Al aproximarse la punta de la guía escalonada a tierra se intensifica el efecto corona en irregularidades que intensifican el campo. Si entre alguna de ellas y la punta de la guía el campo llega a un valor crítico se inicia un camino ionizado positivo ascendente llamado.

4) Proceso de enlace: Trazador ascendente se encuentra con la guía escalonada y se forma un canal conductor entre nube y tierra.

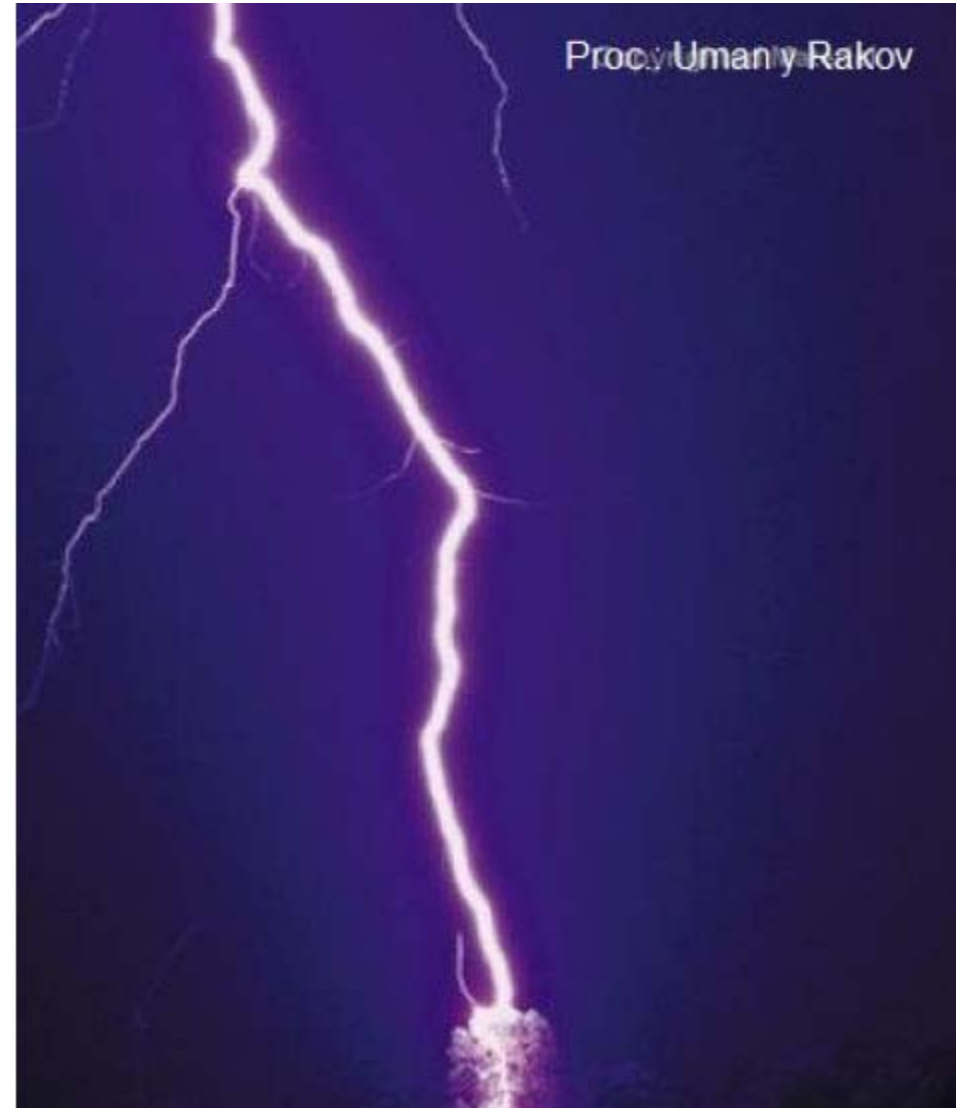
5) Descarga de retorno: Al formarse el canal, los electrones de la guía se vuelcan en tierra. Esa corriente constituye el rayo propiamente dicho.

6) Reconstitución de la nube.

7)- Guía Dardo: Camino recorrido por rayo queda ionizado y se puede volver a cargar desde la nube mediante una guía dardo que reconstruye camino cargado.

8) Segunda descarga de retorno:

Recorre el camino cargado por la guía dardo. Se caracteriza por un di/dt alto.



9) Corriente continua: A veces circula una C.C. de unos 100A durante unos 300ms por camino formado.

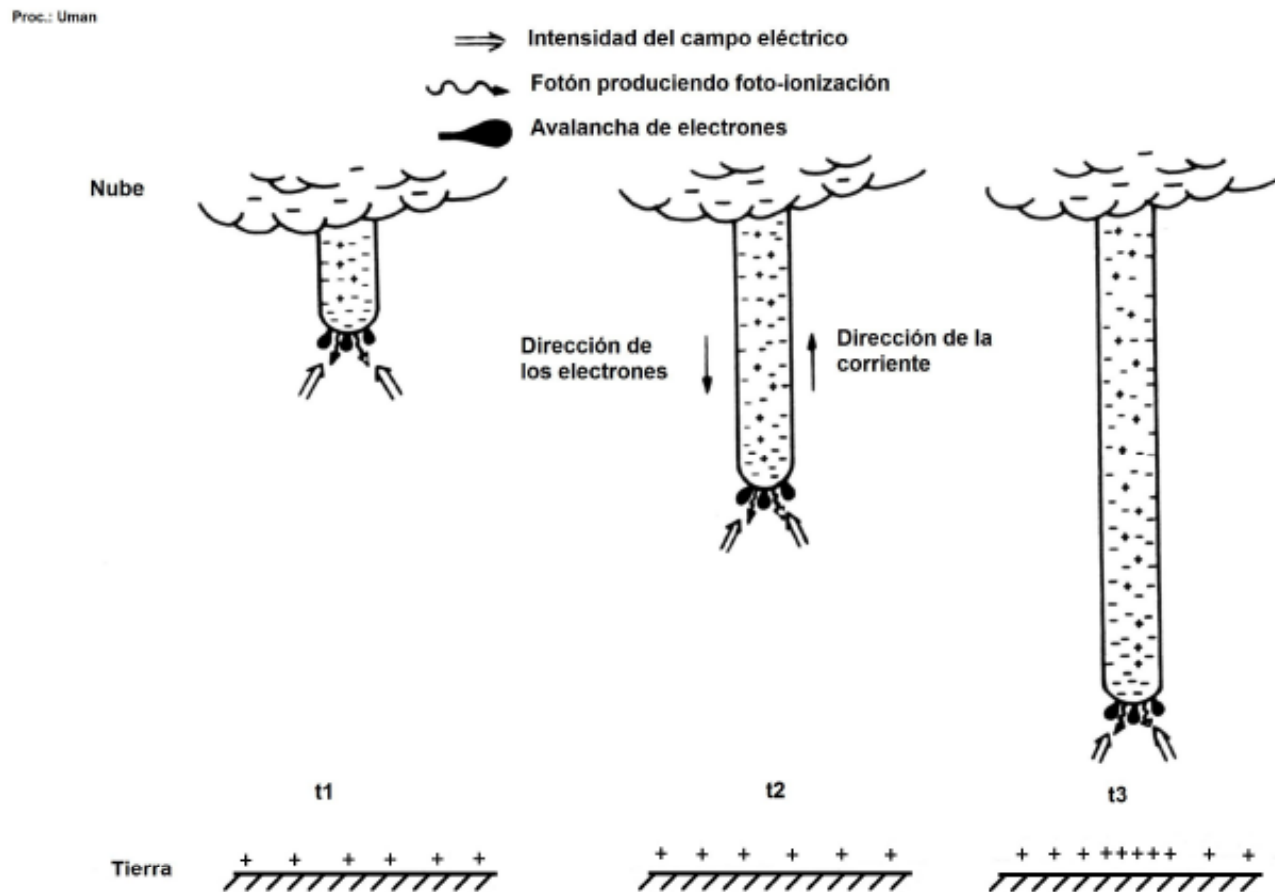
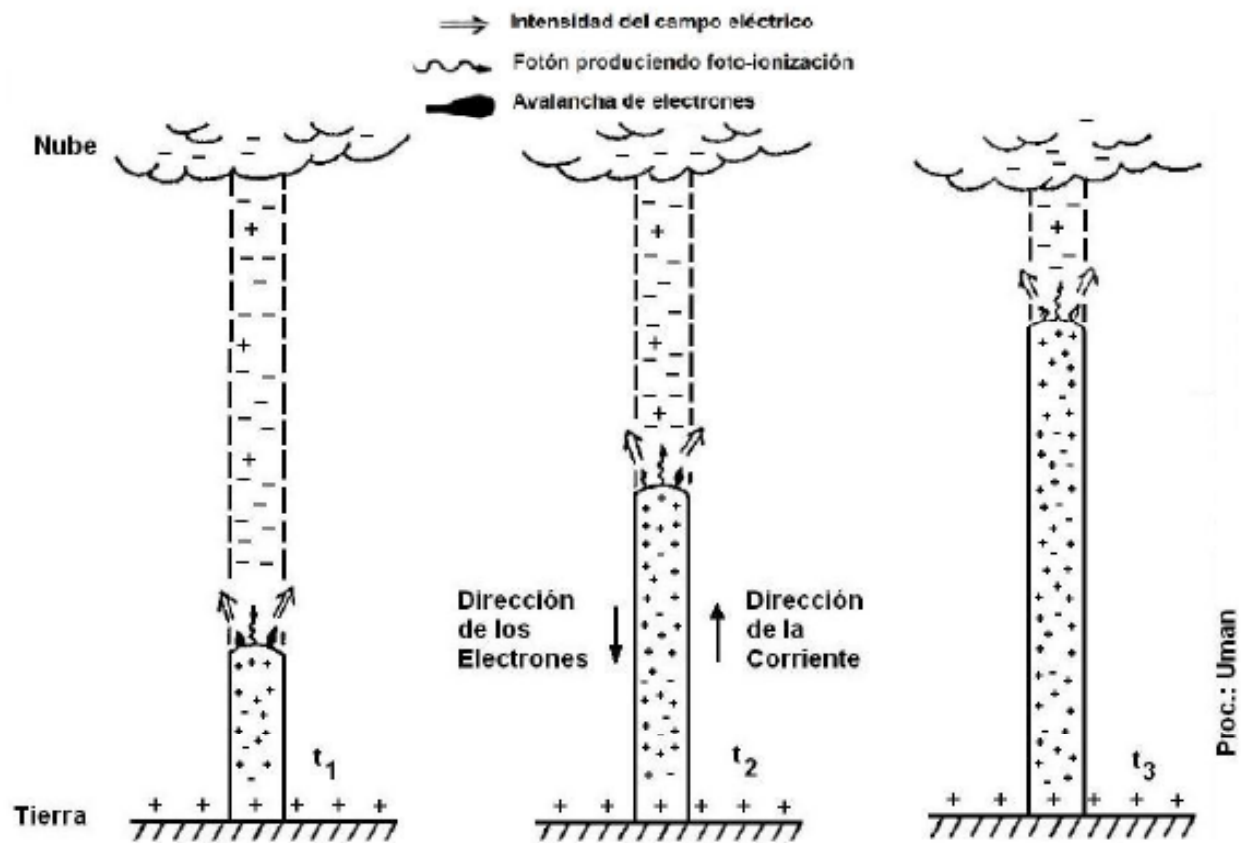


Figura 3.3: Progreso de una guía descendente en aire virgen (sin descargas previas).

Diagrama mostrando el mecanismo de la descarga de retorno.



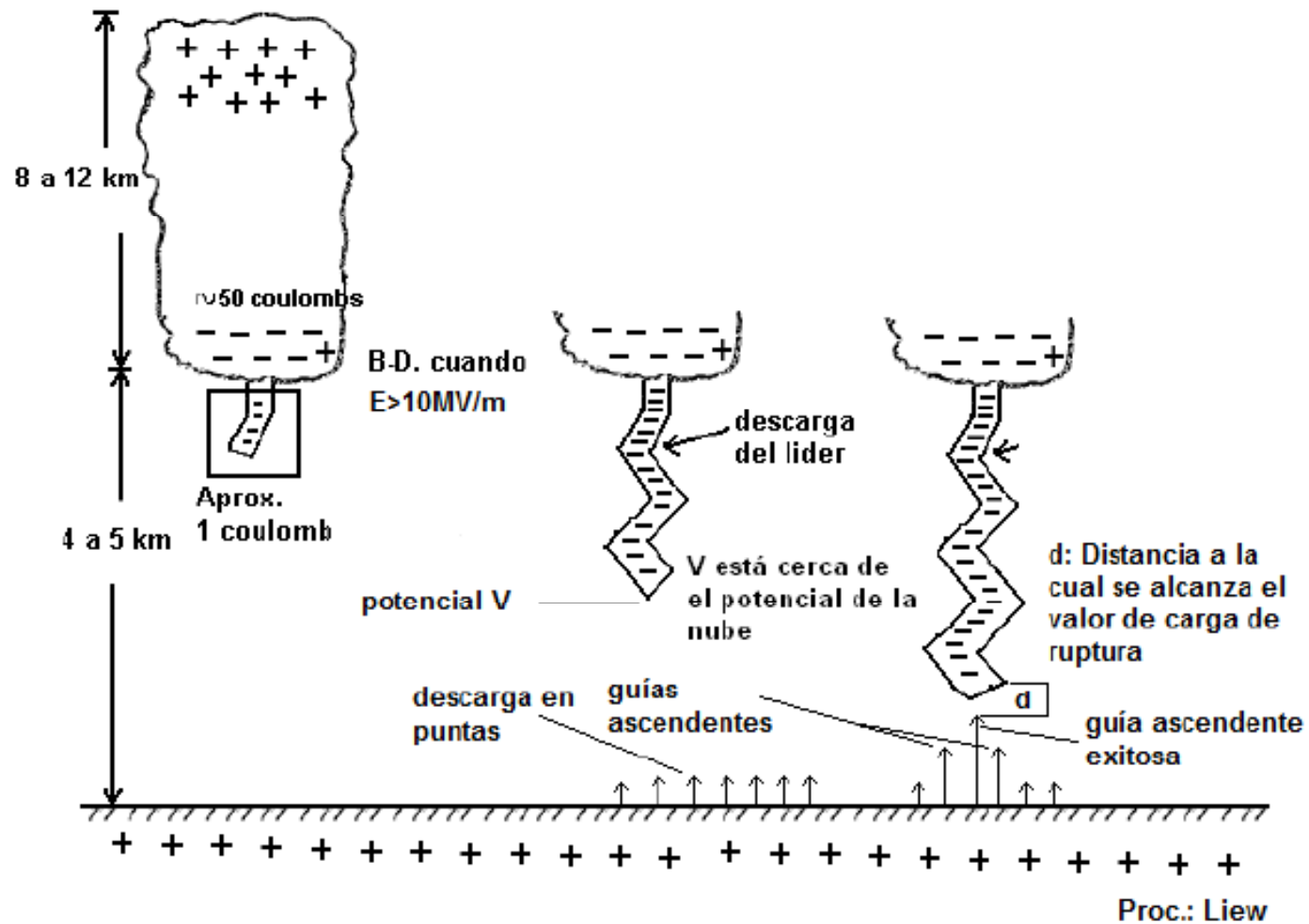
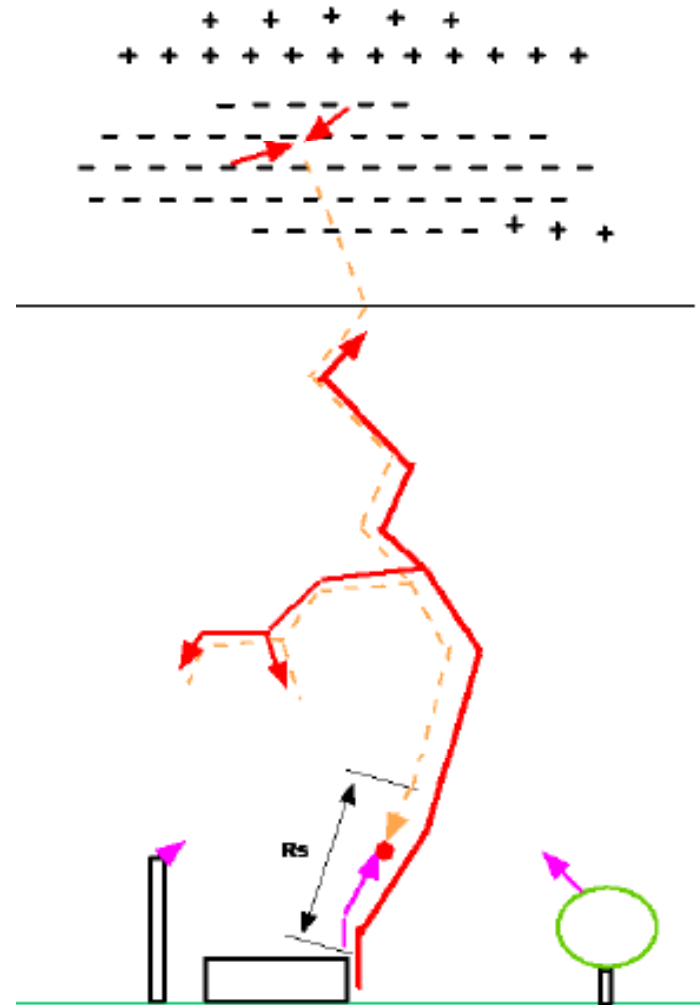
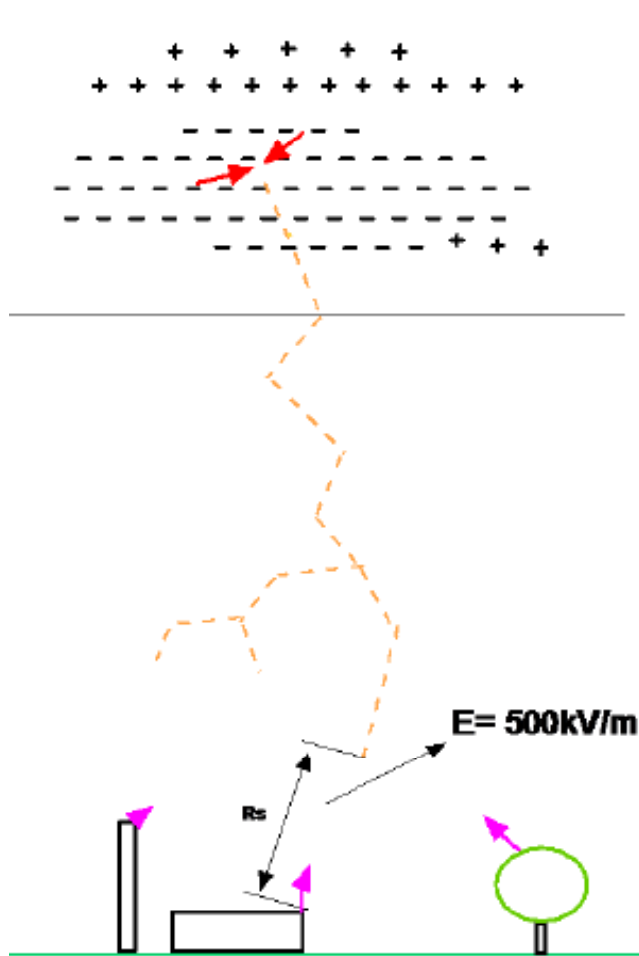


Figura 3.4: Formación de la descarga a tierra y de la corriente de rayo.

Evolución de la descarga atmosférica



Tipos de descargas atmosféricas

Intranube (en la misma nube: relámpagos) la más frecuente

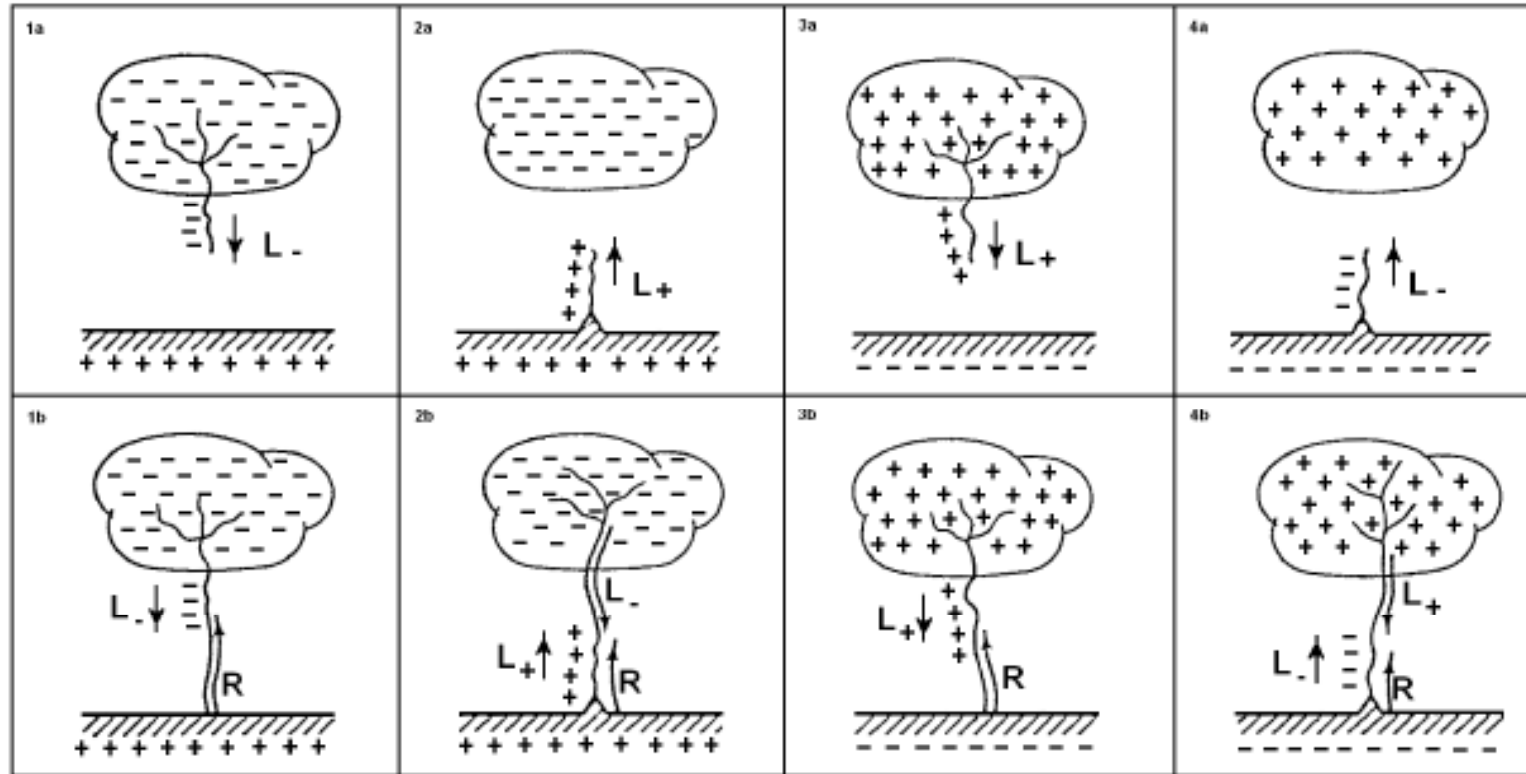
Entre nube y tierra (rayos) (25% de frecuencia)

Entre dos nubes (menos frecuente)

Tipos de rayos:

1. Descendente negativo (90%)
2. Ascendente negativo (siguiente frecuencia)
3. Descendente positivo
4. Ascendente positivo





Proc.: Mazur y Ruhnke, adaptado de MacGorman

Figura 3.2: Tipos de rayos según Mazur y Ruhnke.

a) Guías, b) Descargas de retorno

Valores representativos de rayos

Magnitud	Mínimo	Representativo	Máximo
Longitud de cada escalón o paso (m)	3	50	200
Tiempo de espera entre pasos (μs)	30	50	125
Velocidad de propagación (m/s)	$1,0 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$2,6 \times 10^5$
Carga distribuida (Coul)	3	5	20

Cuadro 3.1: Guía escalonada.

Magnitud	Mínimo	Representativo	Máximo
Velocidad de propagación (m/s)	$2,0 \times 10^7$	$8,0 \times 10^7$	$1,6 \times 10^8$
Derivada de la corriente (kA/ μs)	<1	10	>80
Tiempo de subida (μs)	<1	2	30
Corriente de pico (kA)	—	10 - 20	110
Tiempo de bajada a la mitad de la corriente de pico (μs)	10	40	250
Transferencia de carga sin considerar la corriente continua (Coul)	0,2	2,5	20
Longitud del canal (km)	2	5	14

Cuadro 3.2: Descarga de retorno.

Valores representativos de rayos

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

Cuadro 3.3: Descarga completa.

Magnitud	Mínimo	Representativo	Máximo
Velocidad de propagación (m/s)	$1,0 \times 10^6$	$2,0 \times 10^6$	$2,1 \times 10^7$
Carga distribuida en el canal de la guía dardo (Coul)	0,2	1	6

Cuadro 3.4: Guía dardo.

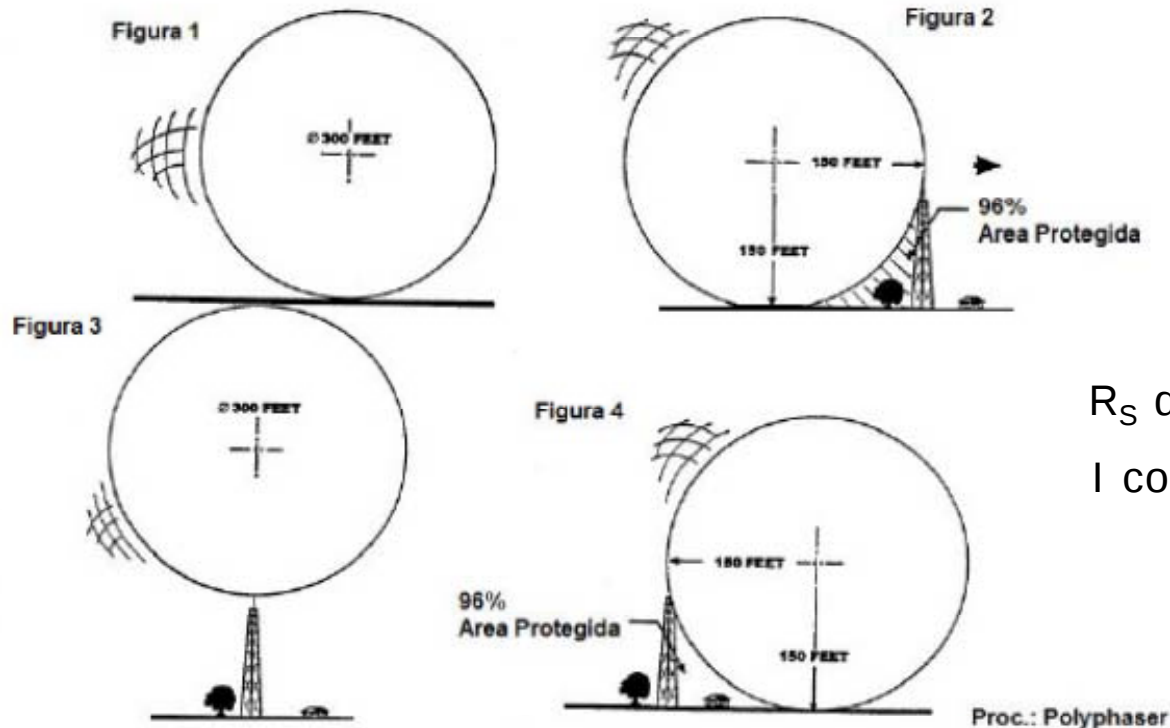
Magnitud	Mínimo	Representativo	Máximo
Velocidad de propagación (m/s)	$2,0 \times 10^7$	$8,0 \times 10^7$	$1,6 \times 10^8$
Velocidad de subida (kA/ μ s)	—	40	>100
Tiempo de subida (μ s)	>0,2	1	>4,5

Cuadro 3.5: Descargas subsiguientes.

Corriente de los rayos

- 1 % de los rayos tienen una intensidad mayor que $200kA$
- 10 % de los rayos tienen una intensidad mayor que $80kA$
- 50 % de los rayos tienen una intensidad mayor que $28kA$
- 90 % de los rayos tienen una intensidad mayor que $8kA$
- 99 % de los rayos tienen una intensidad mayor que $3kA$

DISTANCIA DE IMPACTO Y MÉTODO DE ESFERA RODANTE

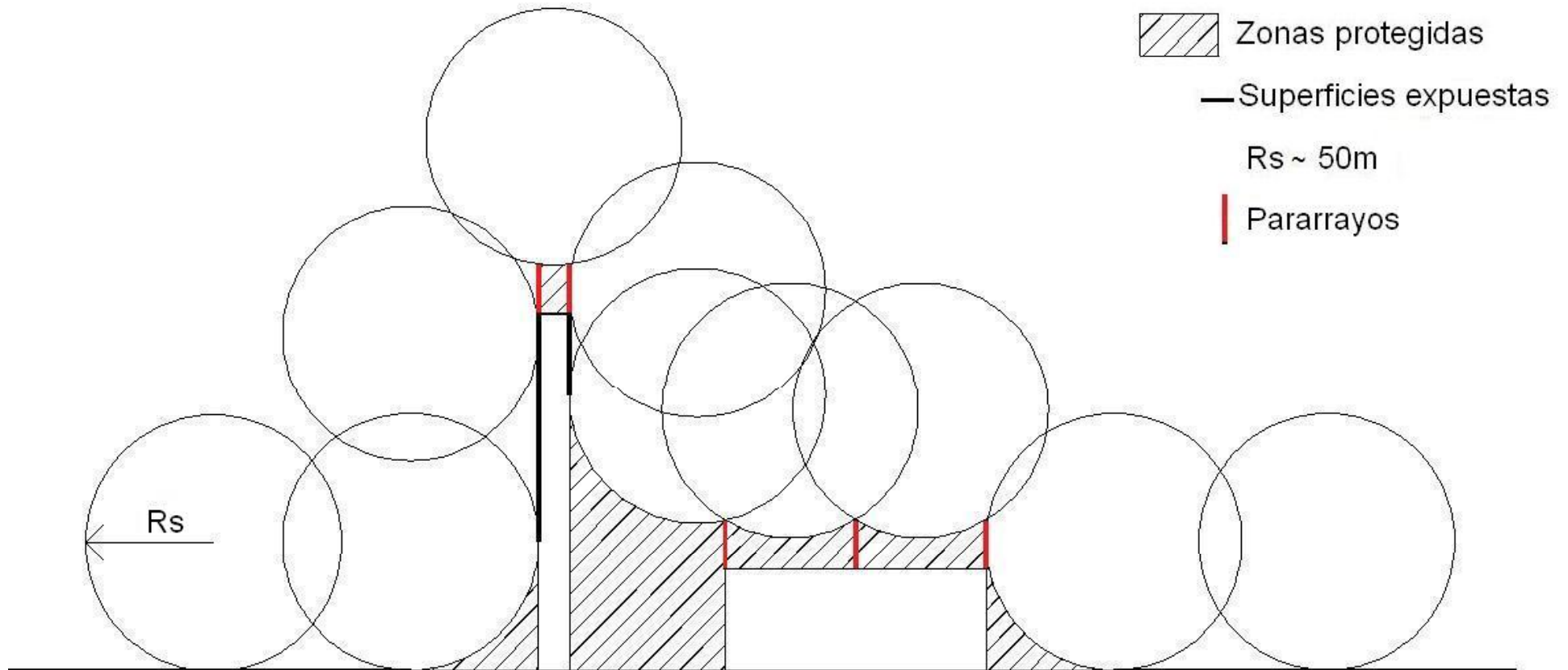


$$R_s = aI^b = 10I^{0,65}$$

R_s distancia de impacto en m
 I corriente pico del rayo en kA

Figura 3.26: Distancia de impacto y método de la esfera rodante.

Protección mediante pararrayos convencionales



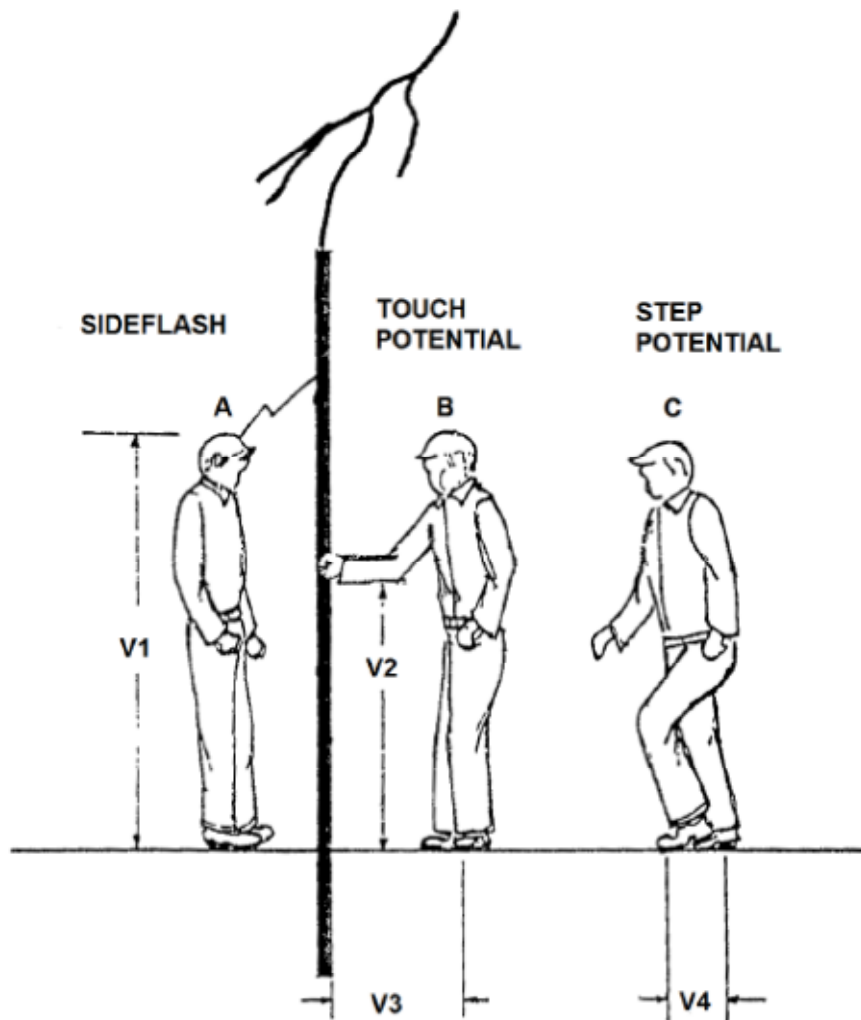
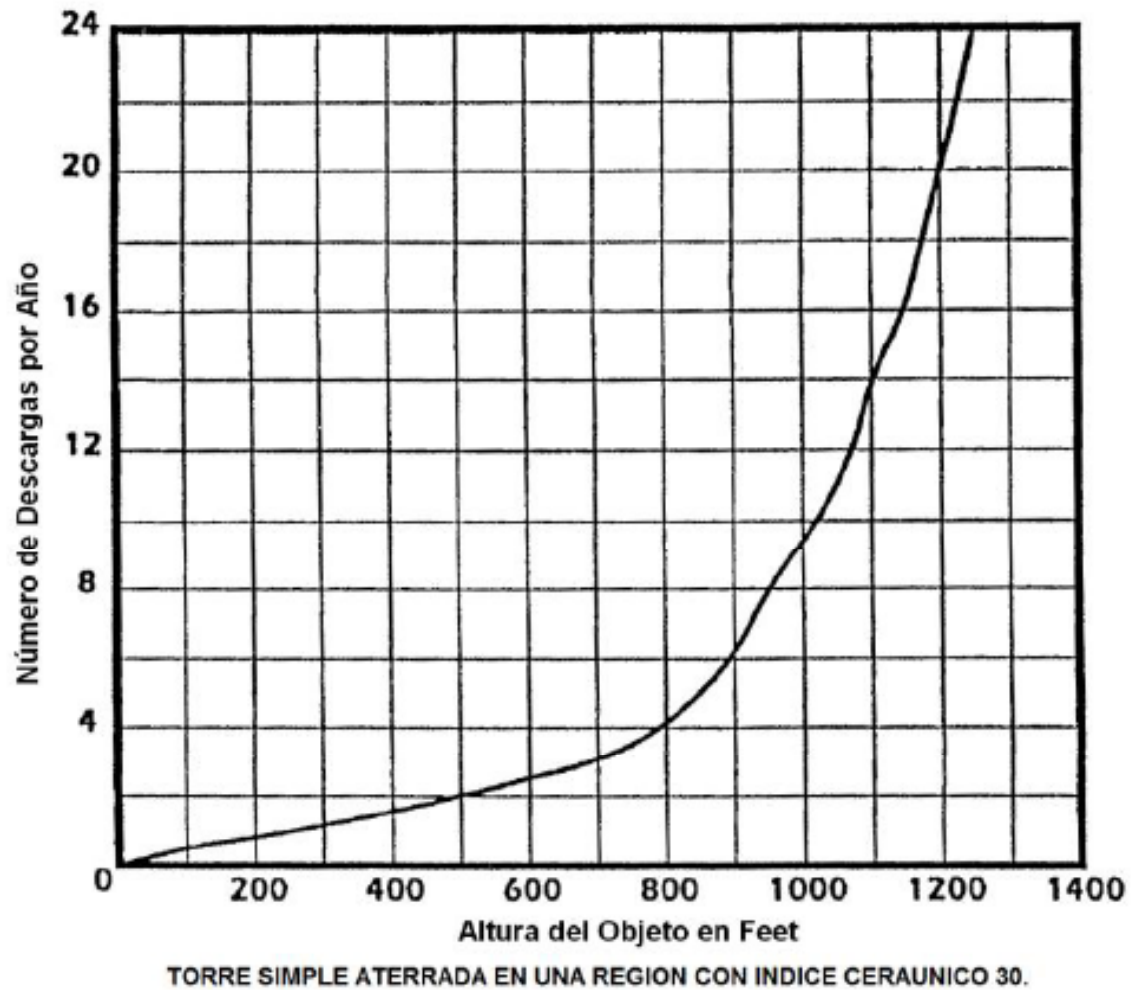


Figura 4.3: Daño a las personas.

- Impacto directo
- Potencial de paso (Step Potential)
- Contacto (Touch Potential)
- Descarga lateral (Side Flash)

INFLUENCIA DE LA ALTURA:



PROBABILIDAD DE RIESGO ACEPTABLE

Escala de riesgos para distintas actividades

Probabilidades de muerte de un individuo por año de exposición	
Fumar 10 cigarrillos por día	1 en 400
accidentes varios	1 en 2000
accidentes de tráfico	1 en 8000
.....	
rayos directos	1 en 2000000 (5×10^{-7})

En general (BS 6651)

$R > 1 \text{ en } 10^3$ ----- inaceptable

$R > 1 \text{ en } 10^4$ ----- se destina dinero público al control del riesgo

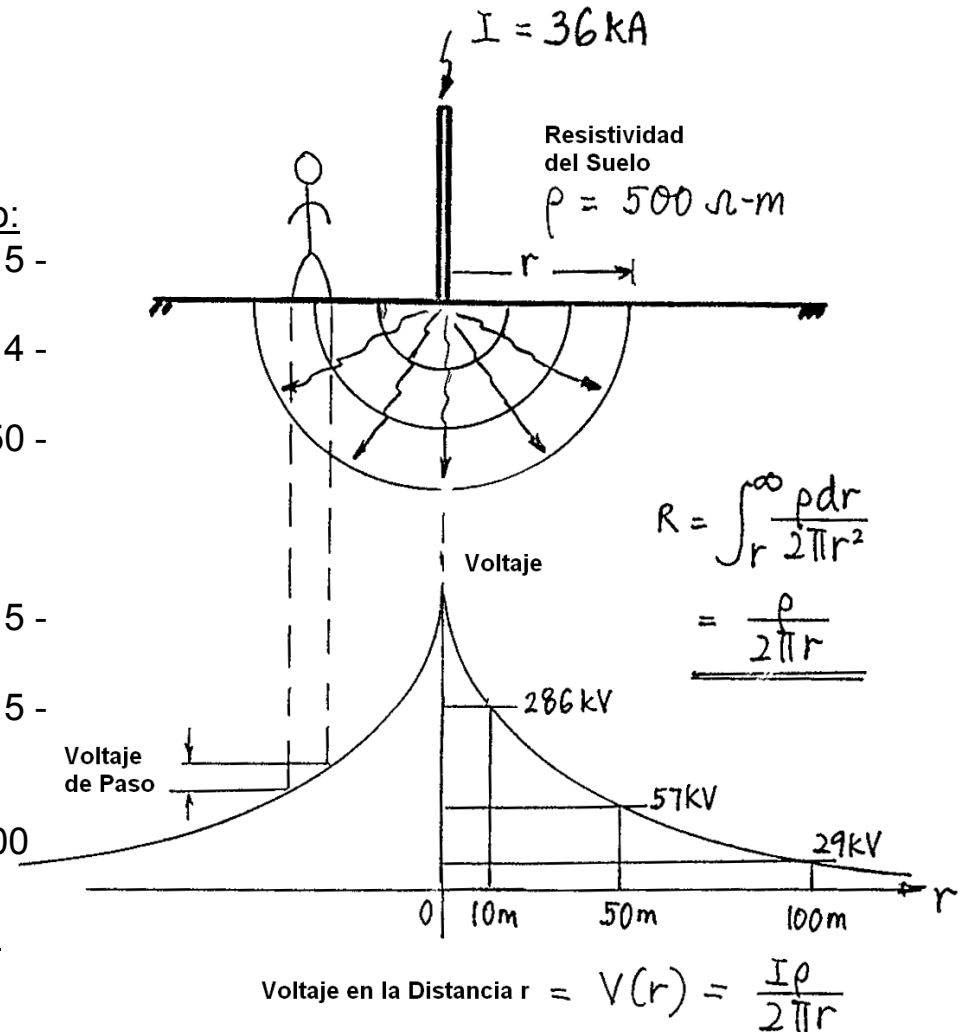
$R < 1 \text{ en } 10^5$ ----- aceptable, aunque se destina dinero publico a campañas para reducir riesgos evitables.

$R < 10^{-5}$ ----- PUEDE NO PROTEGERSE

Tensión de paso en tierra

Composición del Suelo

Suelo	Rango de Resistividad ($\Omega \cdot m$)
<u>Resistividad de Varios Tipos de Suelo:</u>	
Tierra	5 -
50	
Arcilla	4 -
100	
Arena y Grava	50 -
1,000	
Piedra Caliza (Superficial)	100 -
10,000	
Piedra Caliza	5 -
4,000	
Roca Sedimentaria	5 -
100	
Arenisca	20 - 2,000
Granito	900
- 1,100	
Pizarra	600 -
5,000	



$$V(5m) = 573 \text{ kV}$$

$$V(10m) = 286 \text{ kV}$$

$$V(50m) = 57.3 \text{ kV}$$

$$V(100m) = 28.6 \text{ kV}$$

$$V(200m) = 14.3 \text{ kV}$$

$$V(1m) = 2.86 \text{ MV}$$

Campo eléctrico (E)

ELÉCTRICAS, EQUIPOTENCIALES

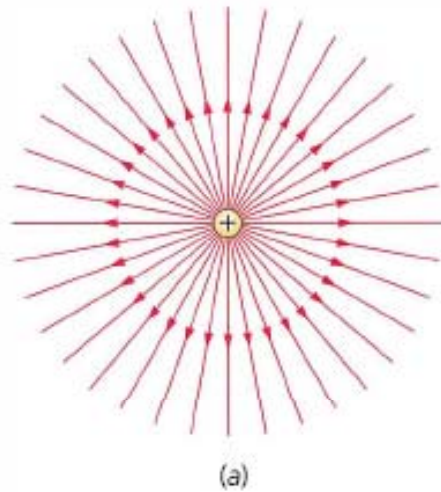


FIGURE 21-19 (a) Electric field lines of a single positive point charge. If the charge were negative, the arrows would be reversed. (b) The same electric field lines shown by bits of thread suspended in oil. The electric field of the charged object in the center induces opposite charges on the ends of each bit of thread, causing the threads to align themselves parallel to the field.

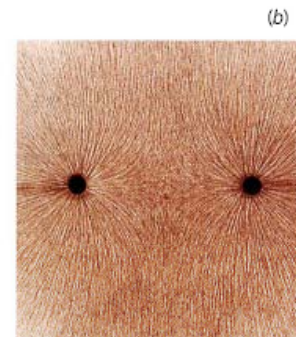
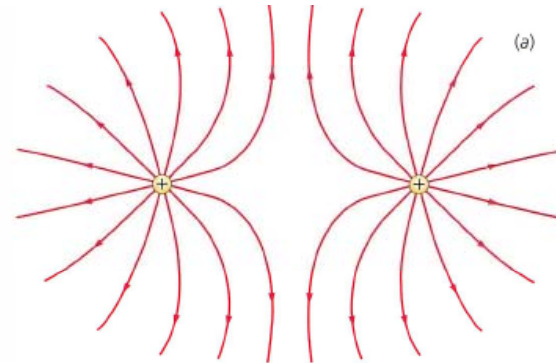


FIGURE 21-20 (a) Electric field lines due to two positive point charges. The arrows would be reversed if both charges were negative. (b) The same electric field lines shown by bits of thread in oil.

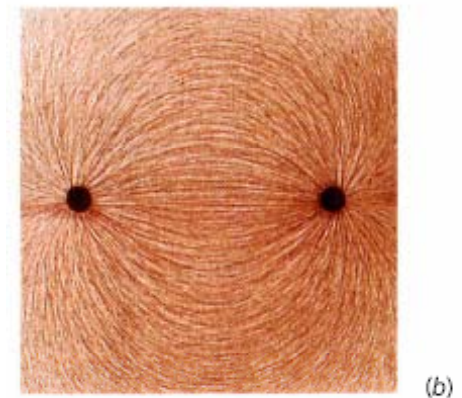
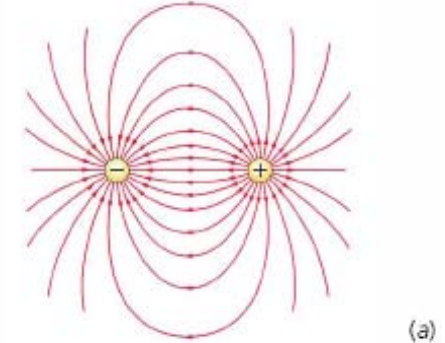
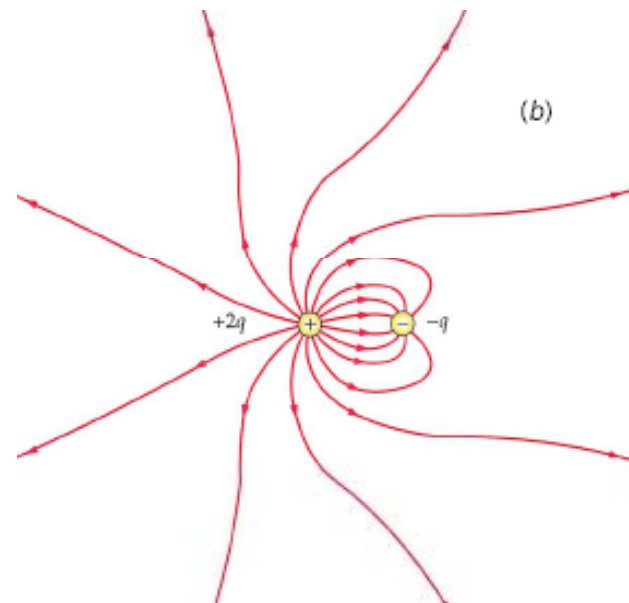
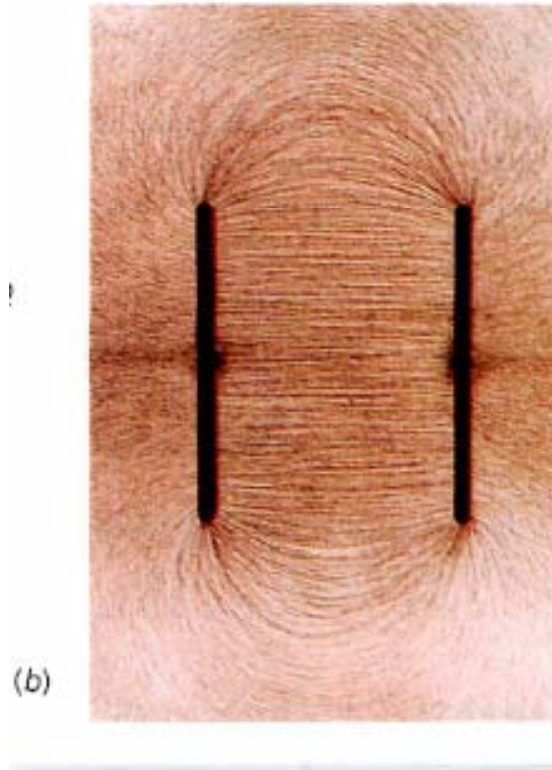


FIGURE 21-21 (a) Electric field lines for an electric dipole. (b) The same field lines shown by bits of thread in oil.

Campo eléctrico (E)



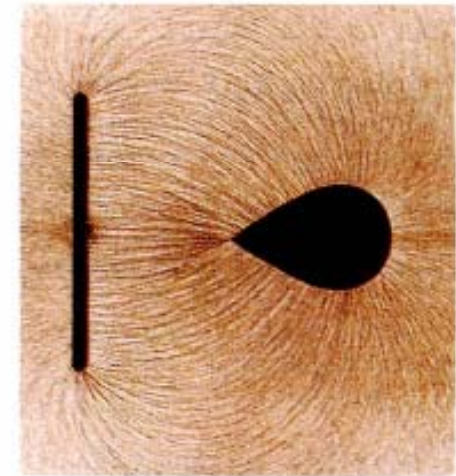
Electric field lines for an oppositely charged cylinder and plate, shown by bits of fine thread suspended in oil. Note that the field lines are perpendicular to the conductors and that there are no lines inside the cylinder.



(b)



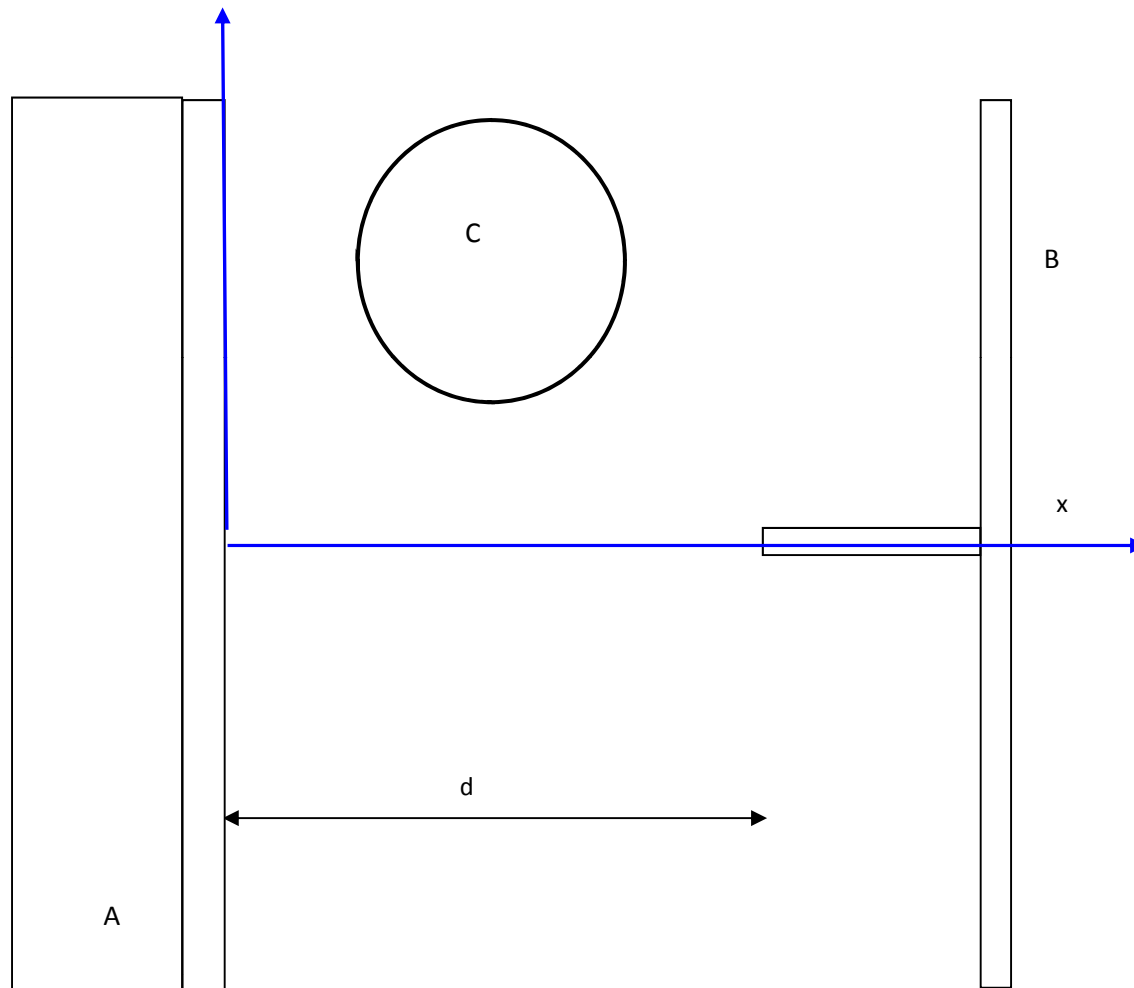
(a)



(b)

FIGURE 23-25 (a) A nonspherical conductor. If a charge is placed on such a conductor, it will produce an electric field that is stronger near point A, where the radius of curvature is small, than near point B, where the radius of curvature is large. (b) Electric field lines near a nonspherical conductor and plate carrying equal and opposite charges. The lines are shown by small bits of thread suspended in oil. Note that the electric field is strongest near points of small radius of curvature, such as at the ends of the plate and at the pointed left side of the conductor. The equipotential surfaces are more closely spaced where the field strength is greater.

Montaje experimental



Pararrayos

Rigidez dieléctrica del aire: $E = 3 \times 10^6 \text{ V/m}$

Valor del campo eléctrico para el cual el aire se vuelve conductor

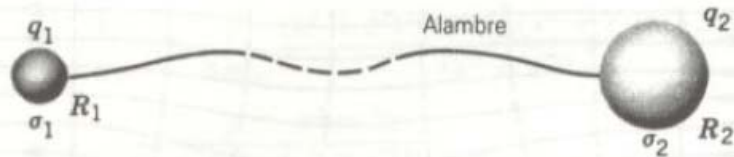


Figura 21 Dos esferas conductoras conectadas por un alambre delgado y largo.

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{R_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{R_2},$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{q_1/4\pi R_1^2}{q_2/4\pi R_2^2} = \frac{q_1 R_2^2}{q_2 R_1^2}.$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

El campo en las "puntas" (R pequeño) es más intenso.

