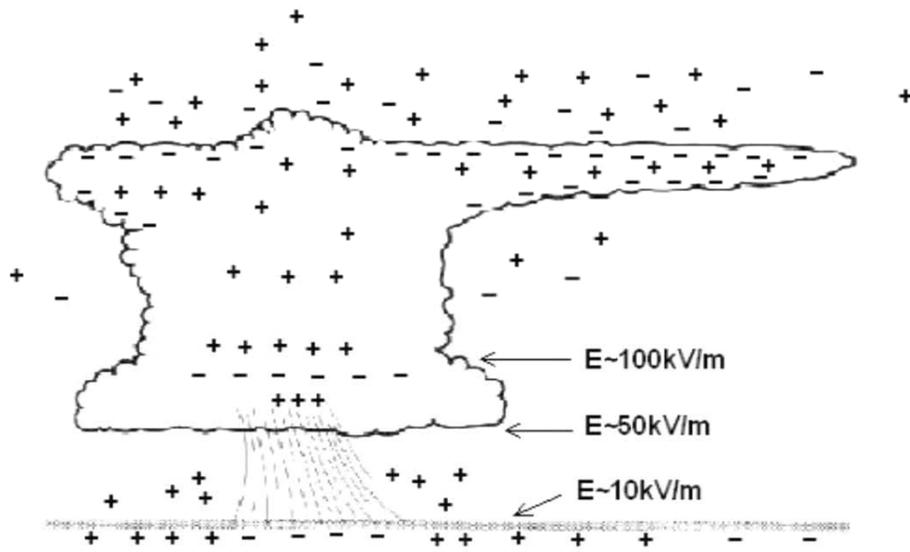
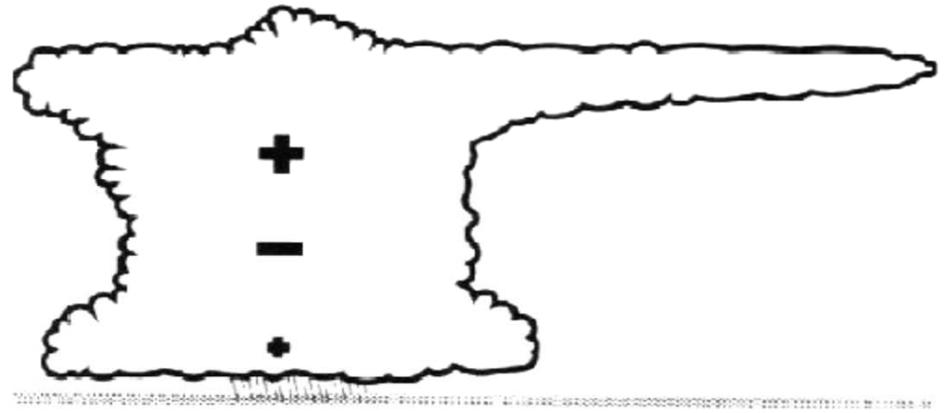




Carga en una nube

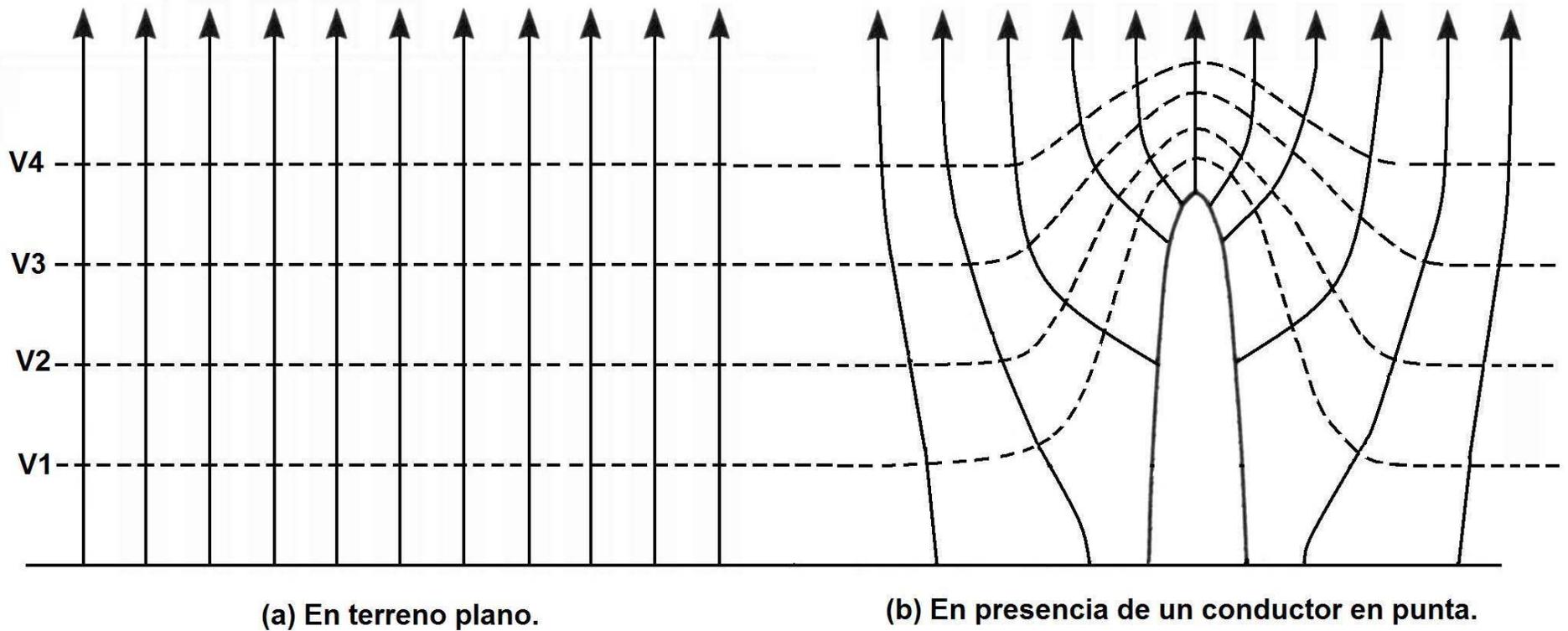


a) Carga eléctrica en una nube.

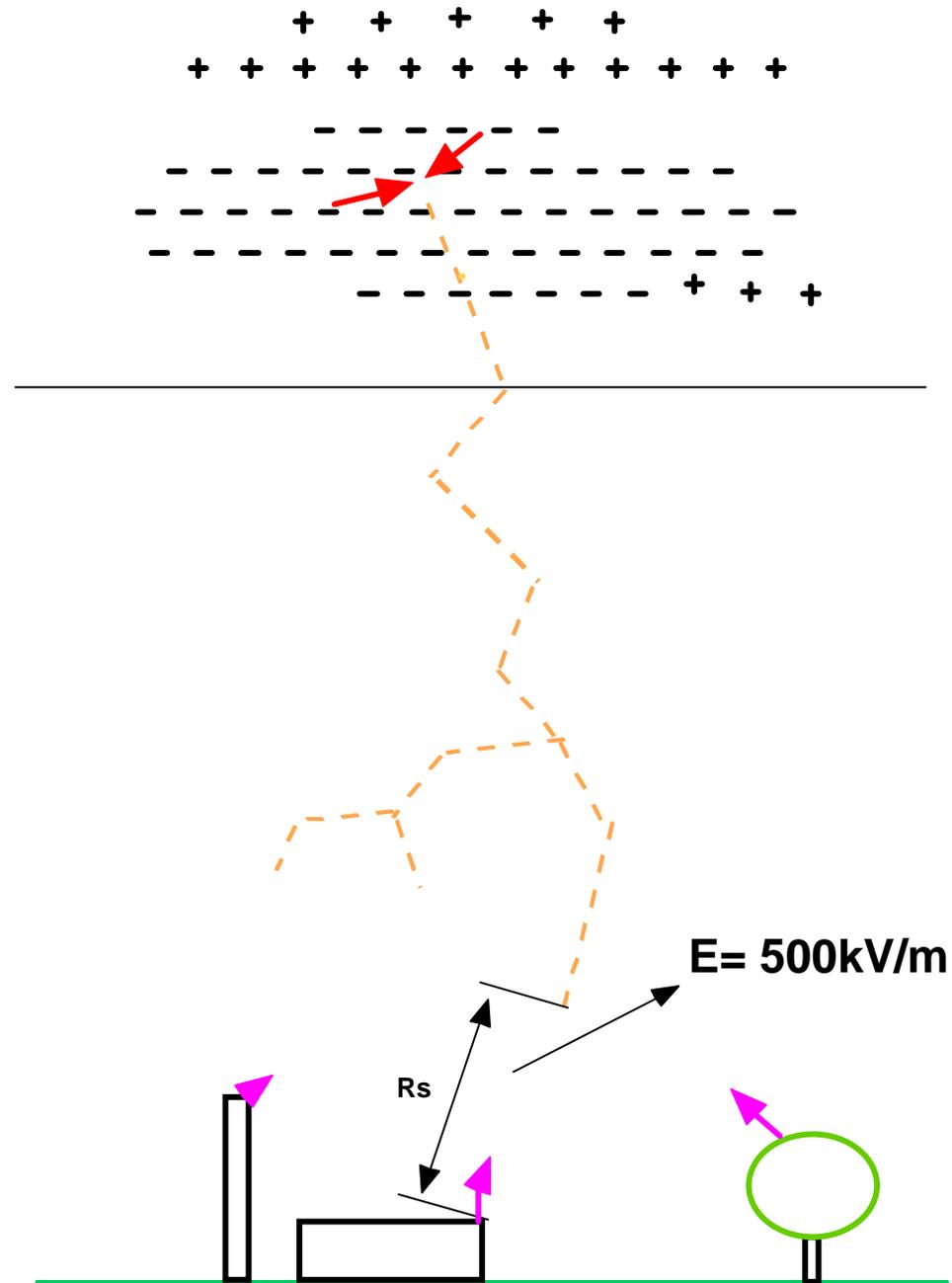


b) Modelo de estructura de carga de una nube.

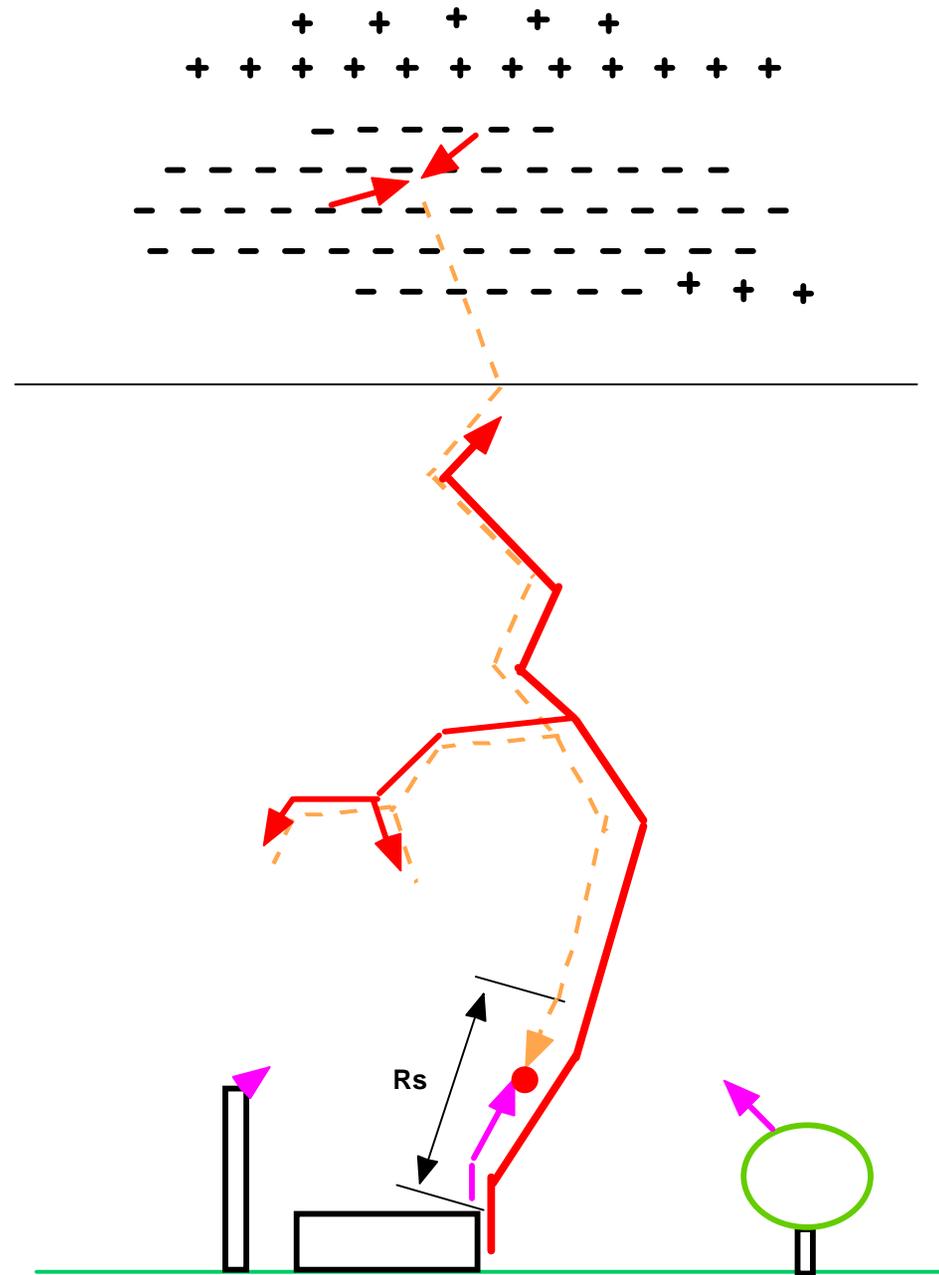
Efecto de la nube en tierra



La descarga atmosférica: Estructura y Evolución (1)



La descarga atmosférica: Estructura y Evolución (2)



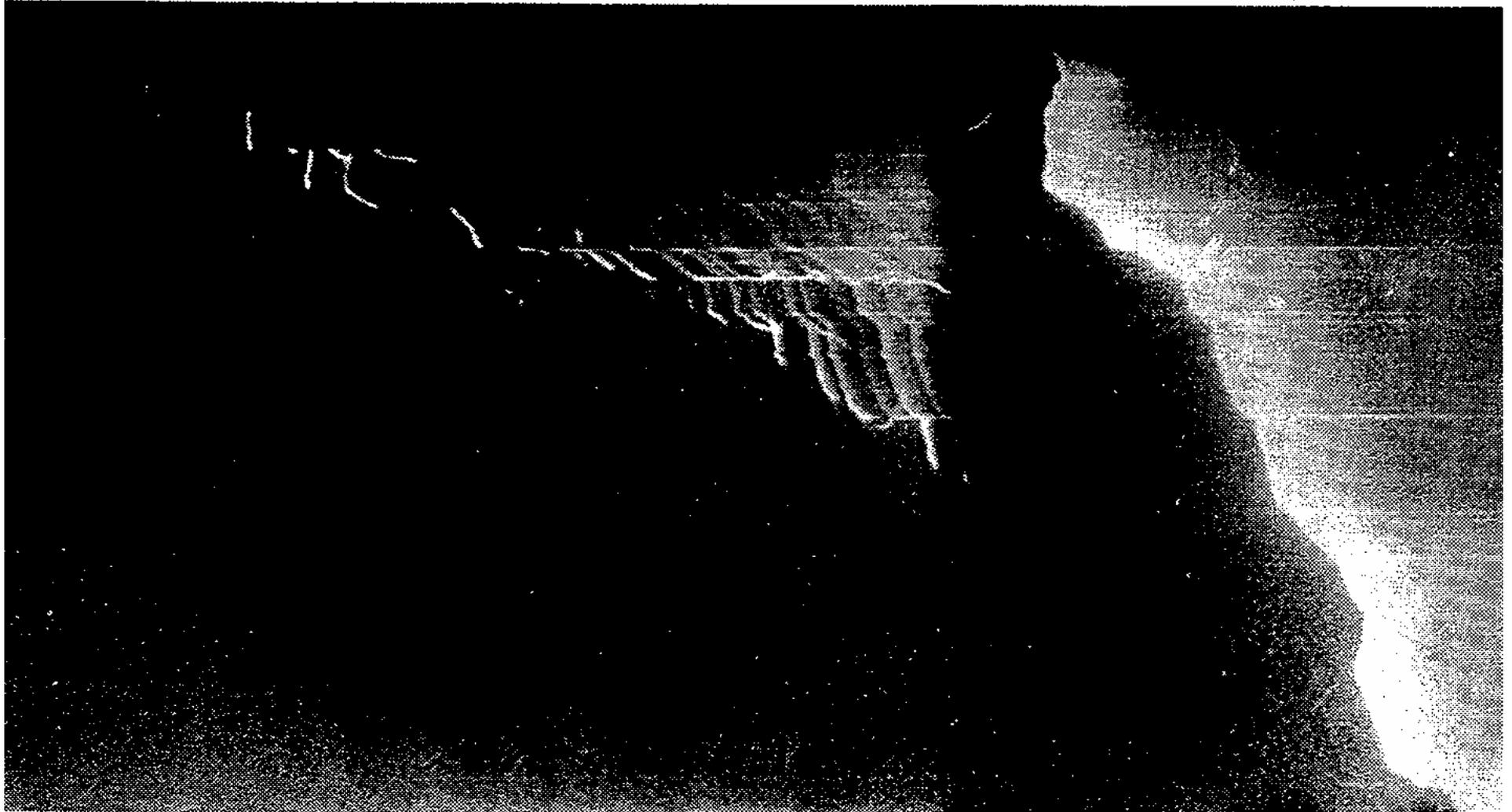
**Plaza de Santa Rosa, Canelones,
25 de agosto de 2017**



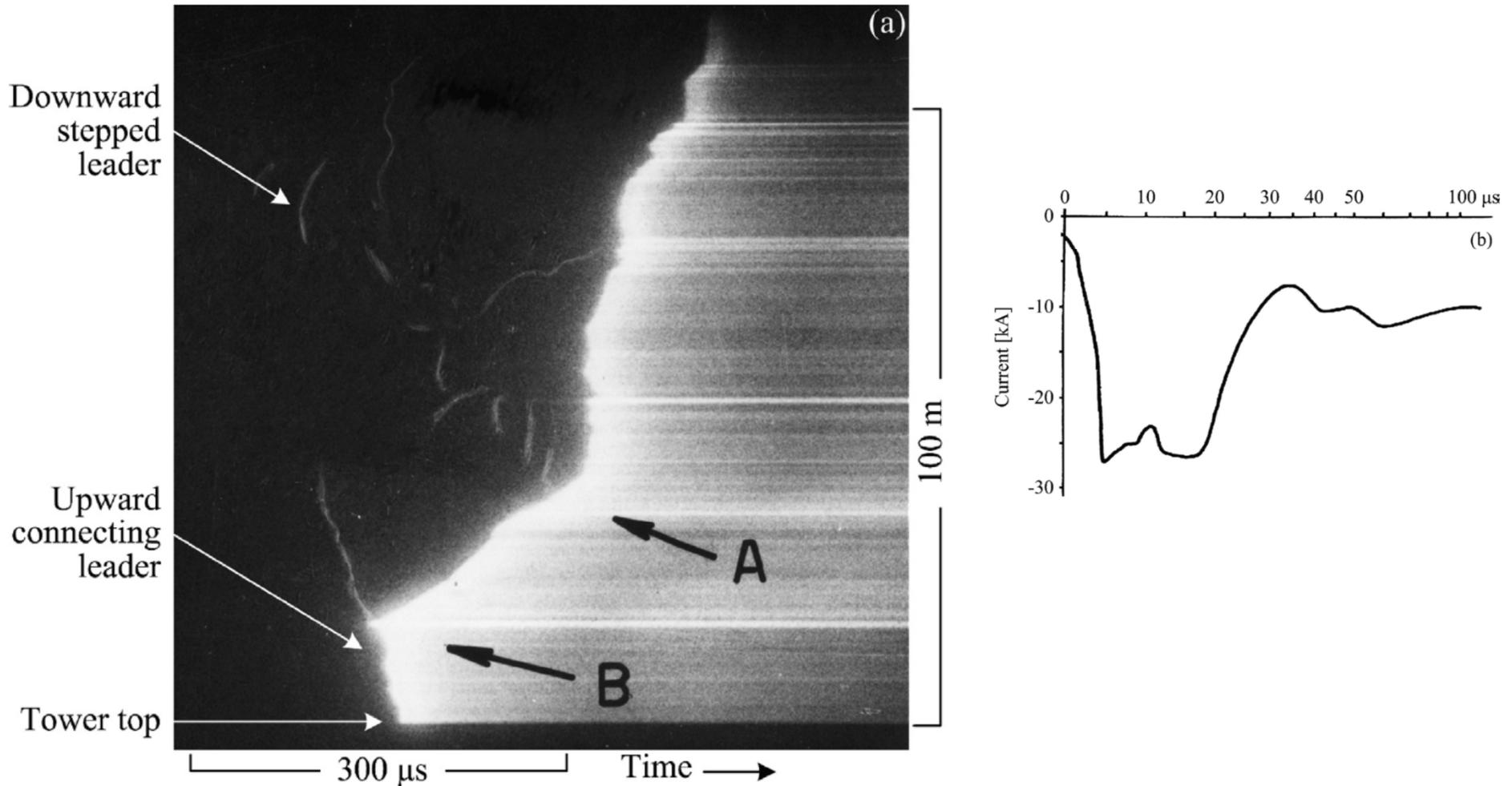
Distancia de Impacto r_s : definiciones

- La distancia de impacto se define como la distancia entre la punta de la guía escalonada descendente y el punto de impacto, en el momento en que el campo eléctrico medio entre esos dos puntos adquiere el valor crítico (500 kV/m).
- Alternativamente, la distancia de impacto se define como la distancia que hay entre la punta de la guía descendente y el objeto que recibirá el impacto, en el momento en que comienza a desarrollarse el trazador ascendente exitoso desde ese objeto.

El líder escalonado y su descarga de retorno:



El líder escalonado, trazador ascendente y descarga de retorno



Streak camera photograph of the attachment process of a downward lightning flash carrying negative charge to a 55 m tower on top of Mount San Salvatore in Lugano, Switzerland. The images of downward-stepped leader steps visible to point A are enhanced for clarity. Shown below the streak image is the return stroke current waveform (on a logarithmic scale) measured on the top of the tower, peak current being 27 kA. Adapted from Berger and Vogelsanger (1966).

GUIA DARDO Y CORRESPONDIENTE DESCARGA DE RETORNO

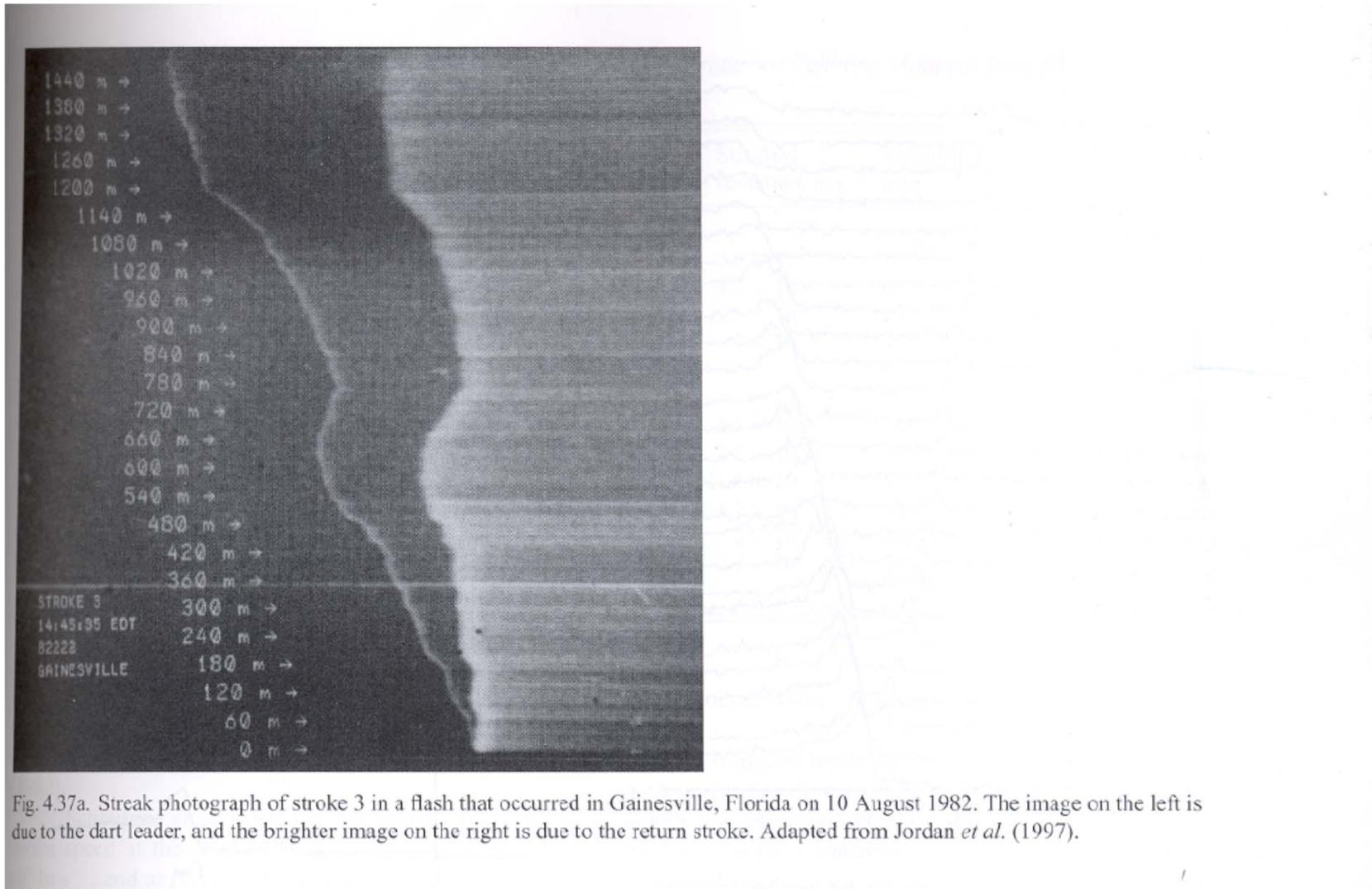
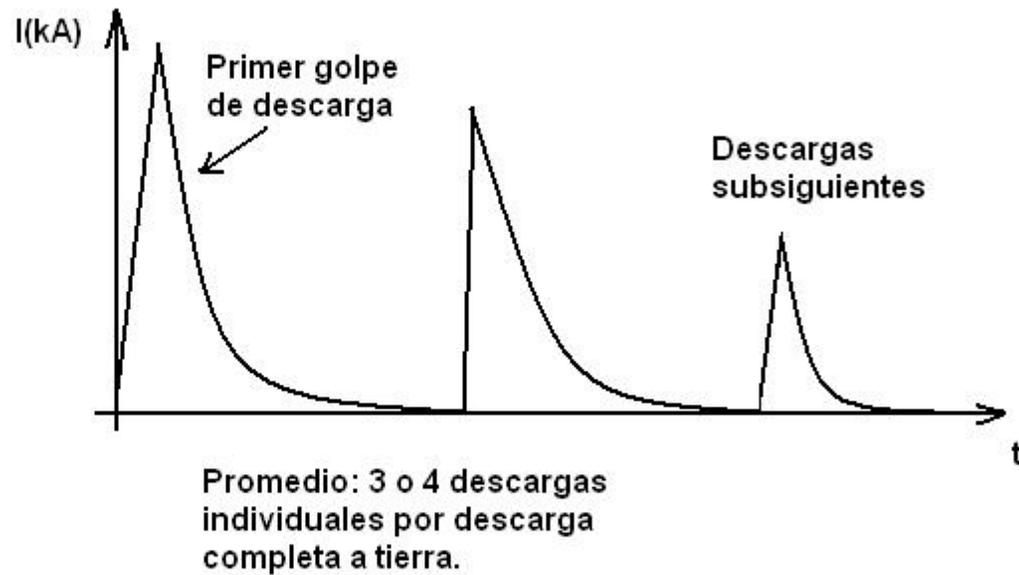


Fig. 4.37a. Streak photograph of stroke 3 in a flash that occurred in Gainesville, Florida on 10 August 1982. The image on the left is due to the dart leader, and the brighter image on the right is due to the return stroke. Adapted from Jordan *et al.* (1997).

La corriente principal y la luminosidad del canal de rayo es causada por la descarga de retorno donde se produce neutralización de carga

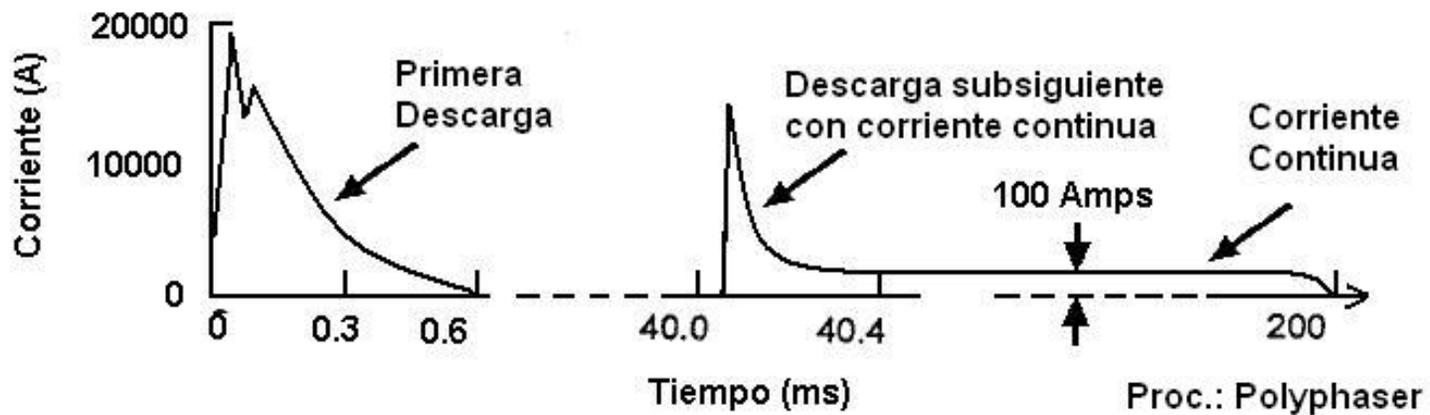
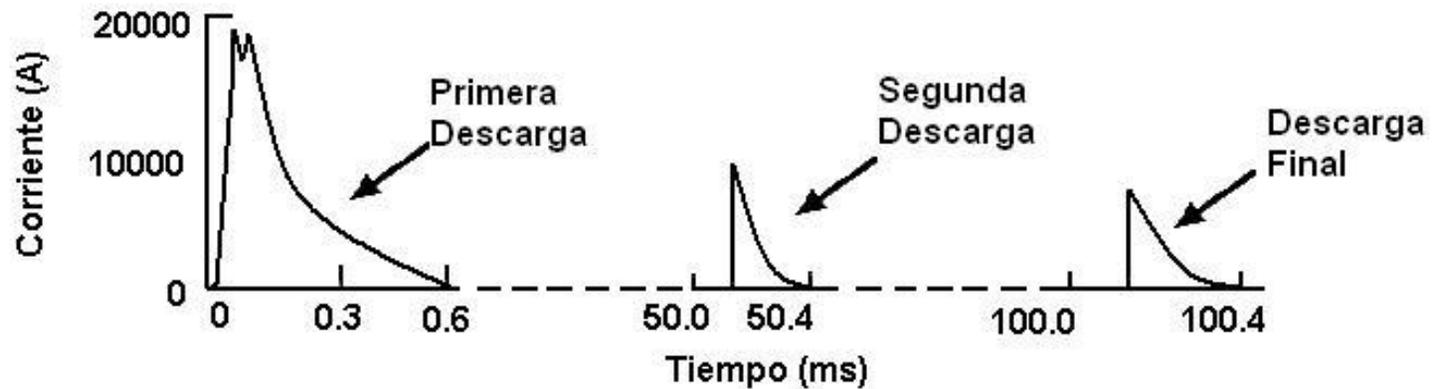


Proc.: Liew

**Descarga con
guía
Ascendente no
exitosa:**



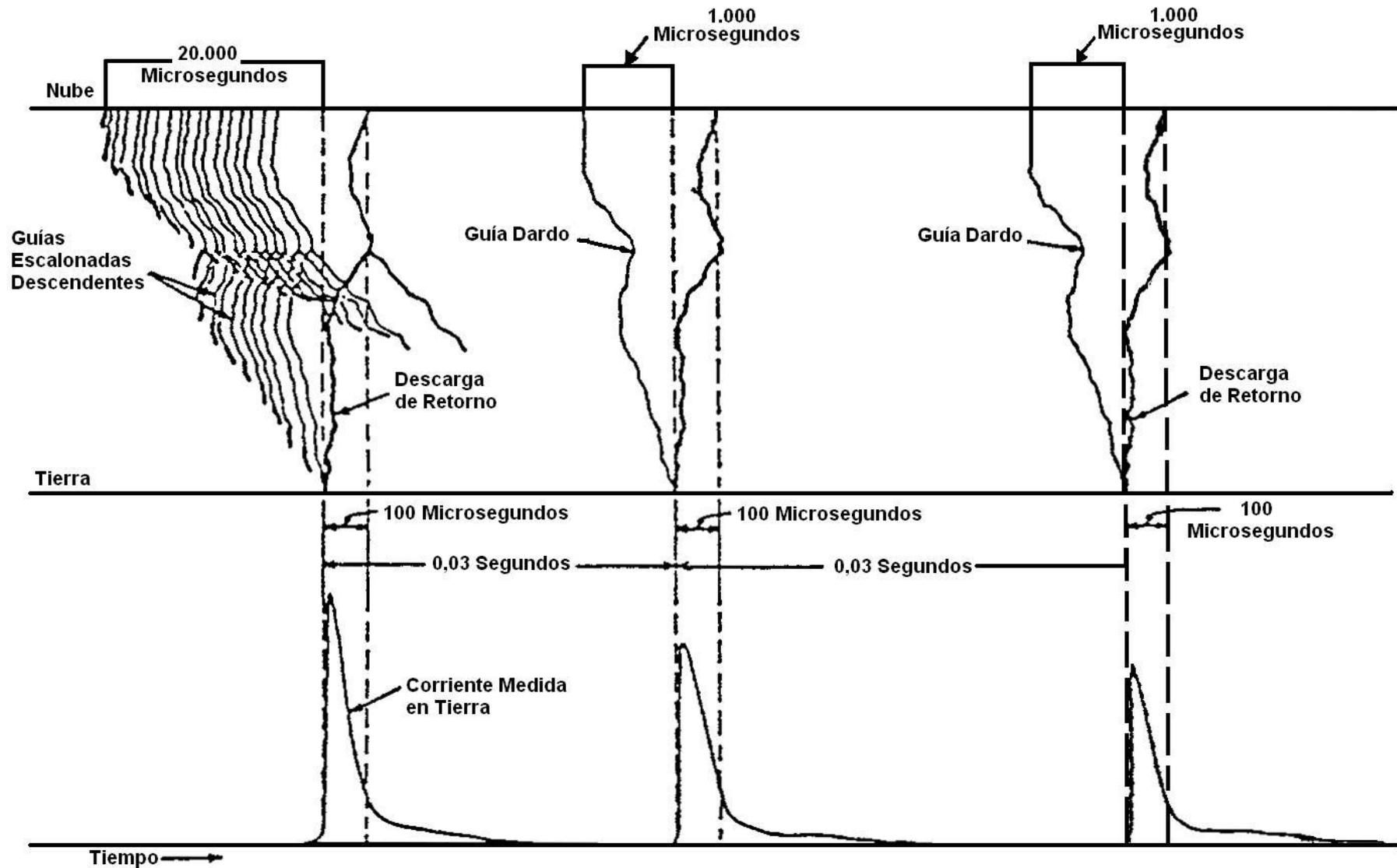
DIAGRAMA TEMPORAL DE UNA DESCARGA COMPLETA:





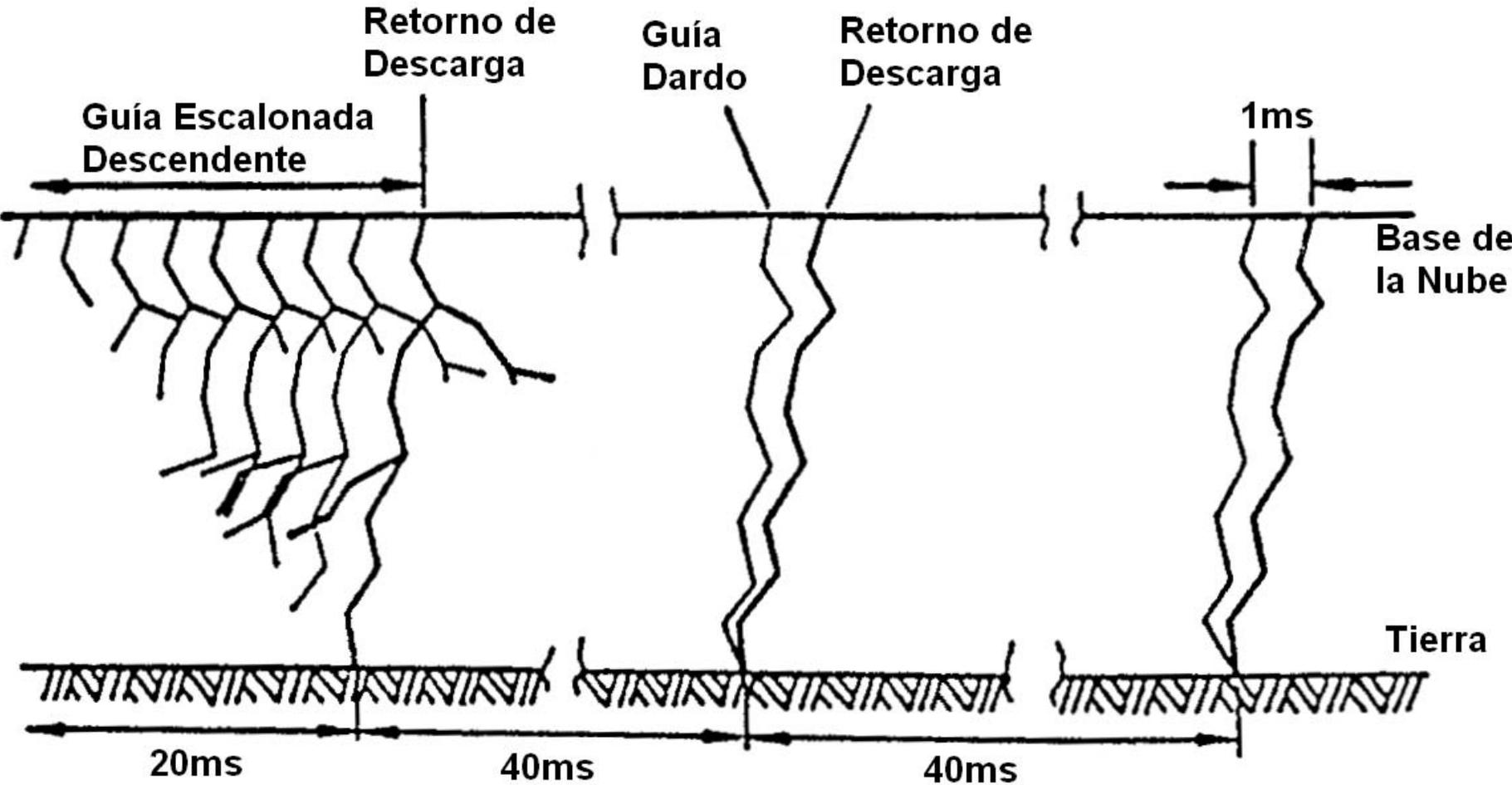
Fotografía tomada con una cámara streak de un rayo con 12 descargas. La ordenada del tiempo va hacia la derecha. Notar la corriente continua en el stroke número 11.

Diagrama mostrando el mecanismo de rayo y la corriente de tierra:



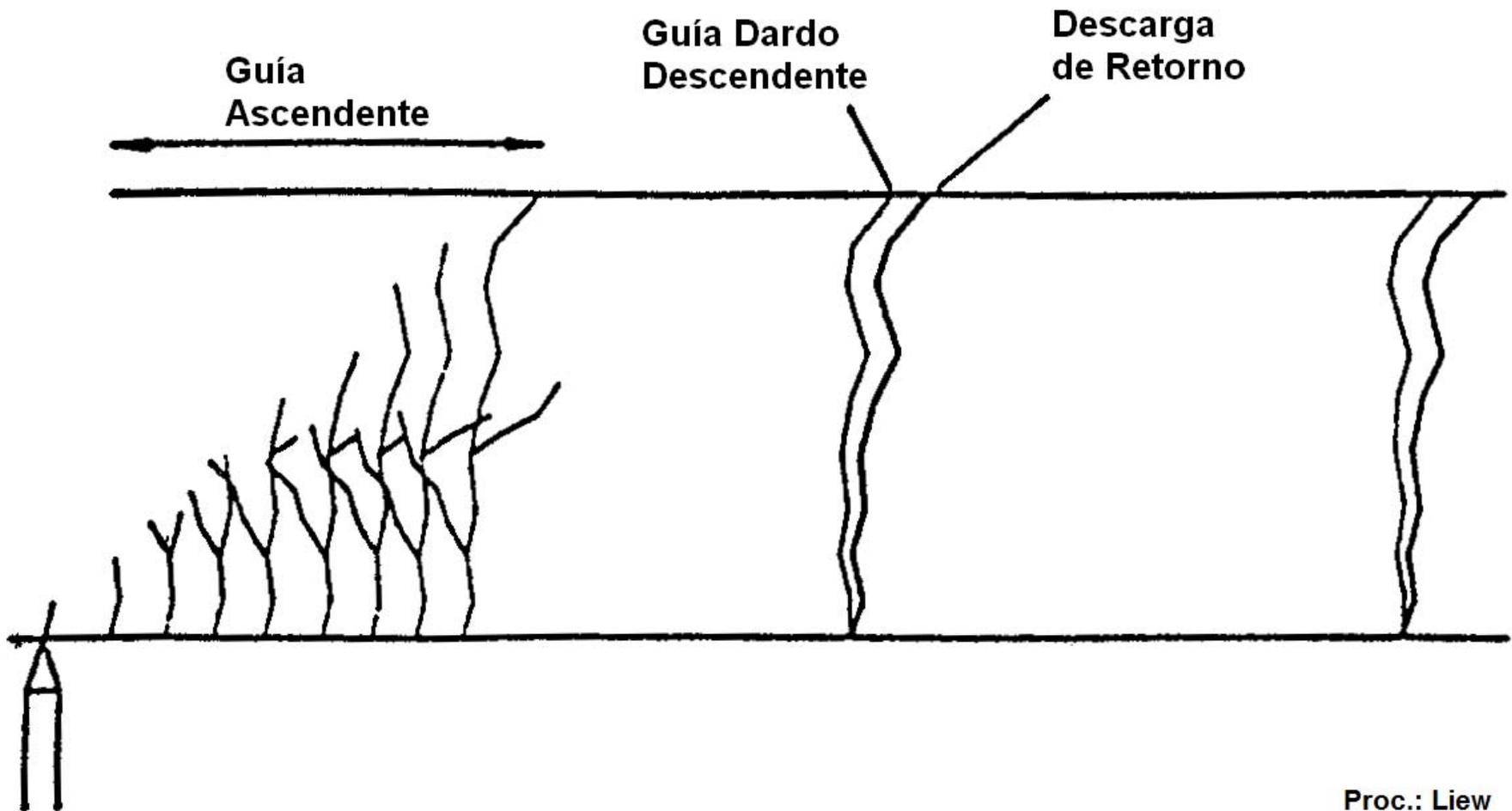
Proc.: Liew

A) DESCARGA NEGATIVA INICIADA EN LA NUBE:



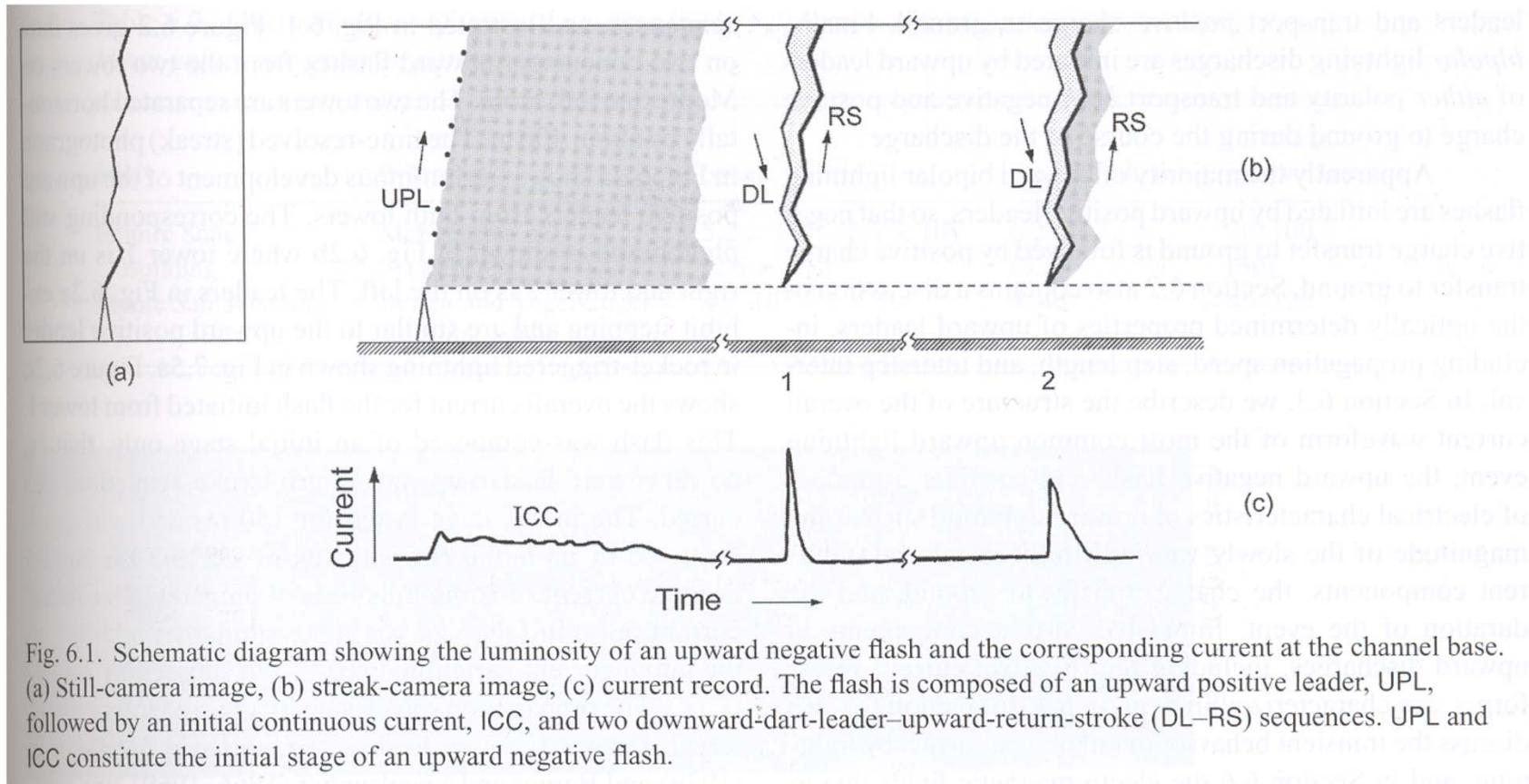
Proc.: Liew

B) DESCARGA INICIADA DESDE TIERRA:

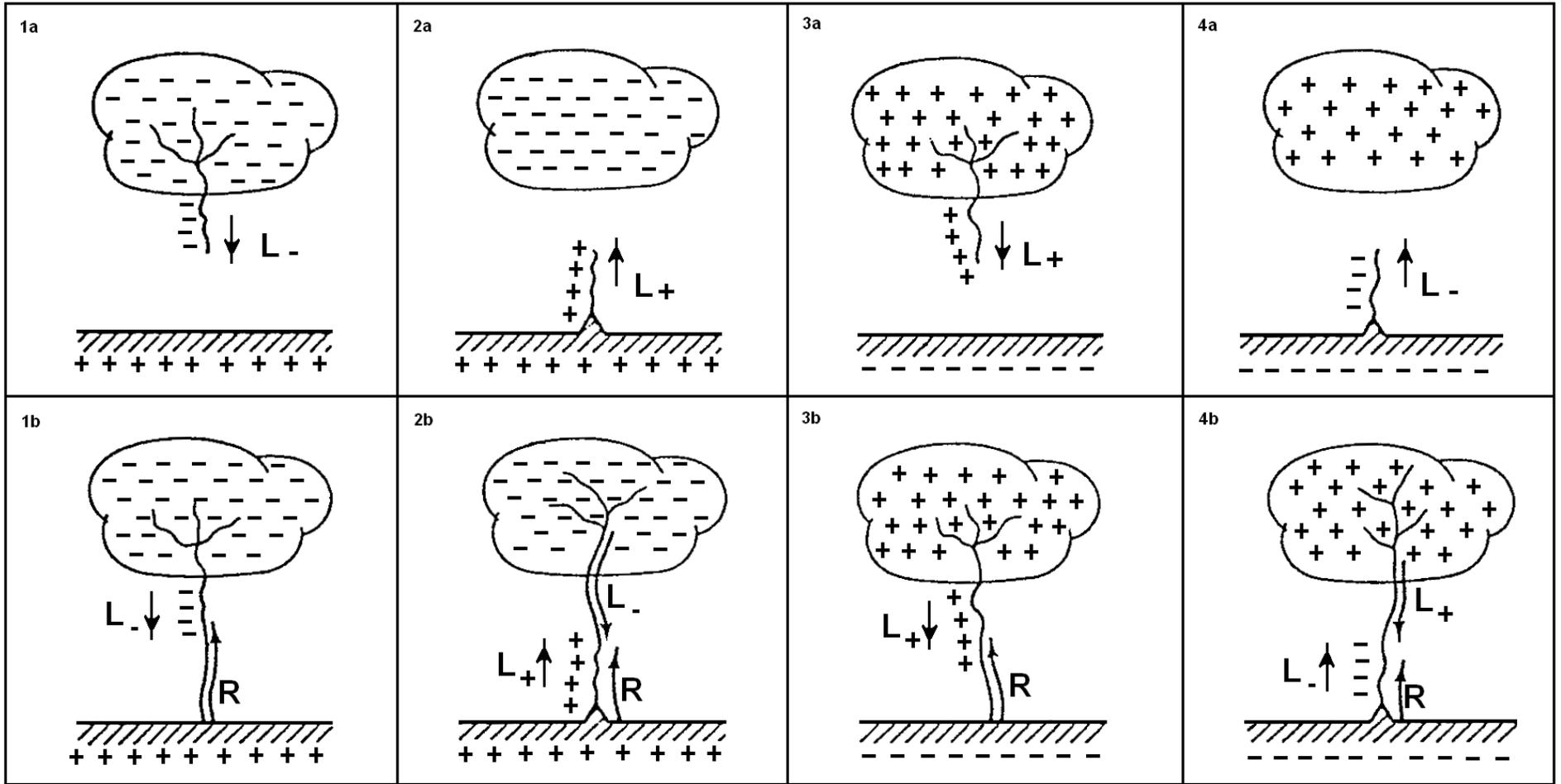


Proc.: Liew

Rayo negativo iniciado en una estructura alta:

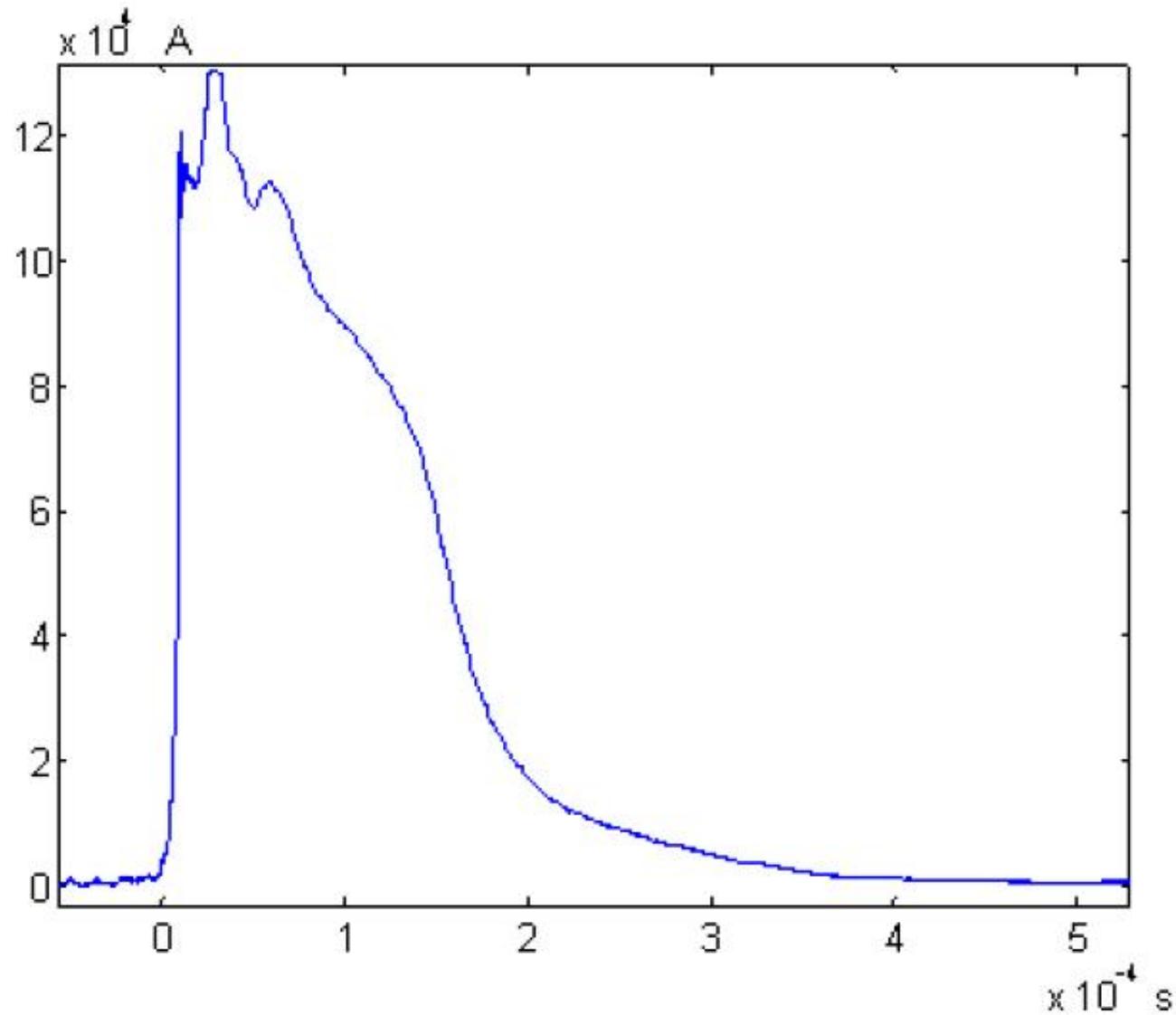


TIPOS DE RAYOS



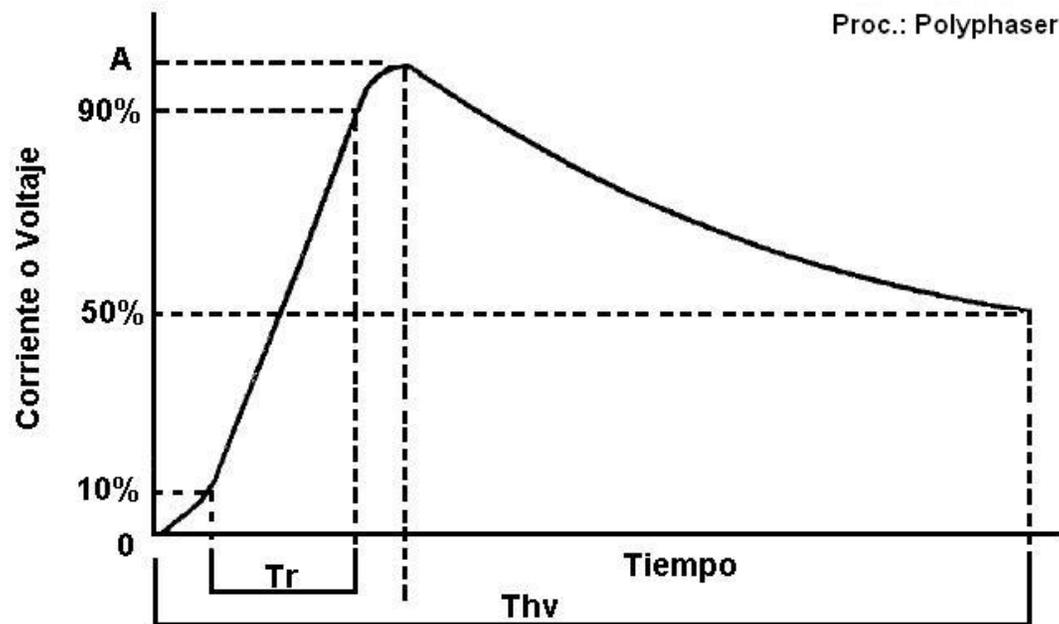
a) Guías, b) Descargas de retorno

Medida de un rayo real:



Proc.: "Puntas Franklin y Dispositivos no Convencionales de Protección Contra Rayos"
Horacio Torres-Sánchez

NOMENCLATURA DE FORMA DE ONDA DE IMPULSO:



A: Voltaje o corriente máximo/a o de cresta.

T_r : Tiempo de subida (rise time).

T_{hv} : Tiempo a la mitad del valor de cresta, tiempo de bajada (decay time).

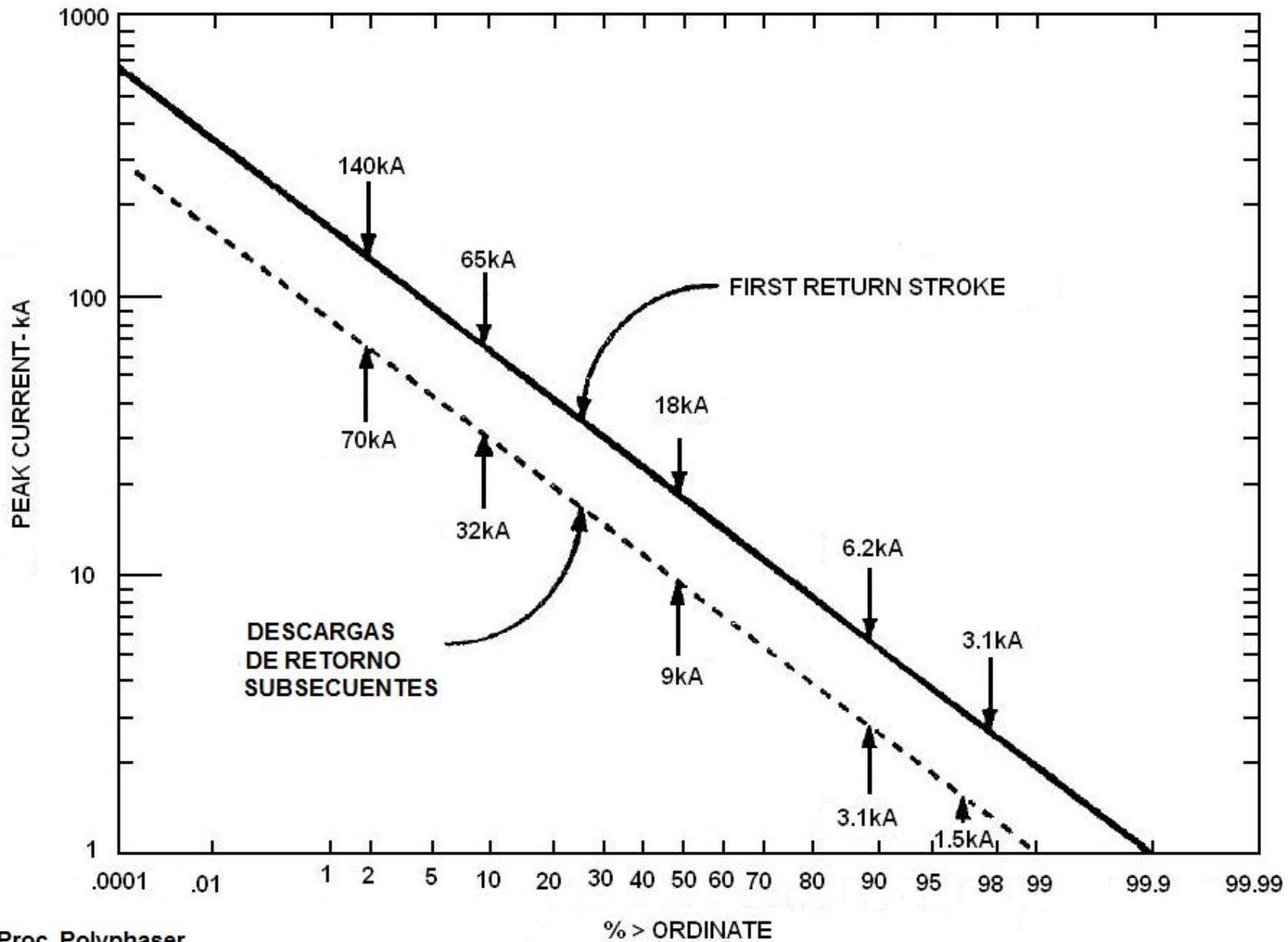
dV/dt , dI/dt : Pendiente de la curva del 10% al 90% del valor de cresta.

La curva se especifica con la amplitud máxima, el tiempo de subida y el tiempo de bajada al 50%.

Ejemplos: 30kV, 1.2/50 μ s

10kA, 8/20 μ s

DISTRIBUCION DE LA CORRIENTE DE LA DESCARGA:



DISTRIBUCION DE LA GUÍA ESCALONADA:

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 media (m/s)	$1,0 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$2,6 \times 10^5$
Carga distribuida (Coul)	3	5	20

La velocidad de propagación media tiene en cuenta los tiempos de parada.

DISTRIBUCION DE LA DESCARGA DE RETORNO:

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/ μ s)	< 1	10	> 80
Tiempo de subida (μ s)	< 1	2	30
Corriente de pico (kA)	–	10 – 20	110
Tiempo de bajada a la mitad de la corriente de pico (μ s)	10	40	250
Transferencia de carga sin considerar la corriente continua (Coul)	0,2	2,5	20
Longitud del canal (km)	2	5	14

DISTRIBUCION DE LA GUÍA DARDO:

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

DISTRIBUCION DE LA DESCARGAS SUBSIGUIENTES:

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
Corriente de pico (kA)	–	5 – 10	50

DISTRIBUCION DE LA DESCARGA COMPLETA:

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

DISTANCIA DE IMPACTO SEGÚN NORMA CEI:

- $K=10$; $a=0.65$
- Para una I de 12kA la distancia es aprox. 50m.
- De esto se deduce la teoría de la esfera.

$$r_s = f(\text{carga})$$

$$r_s = KI^a$$

Distancia de impacto y método de la esfera rodante:

Figura 1

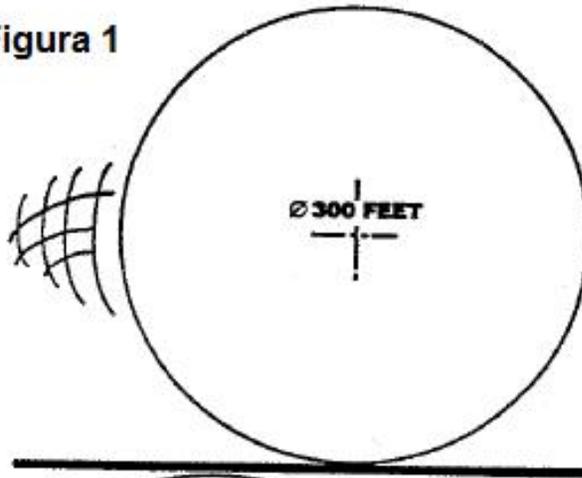


Figura 2

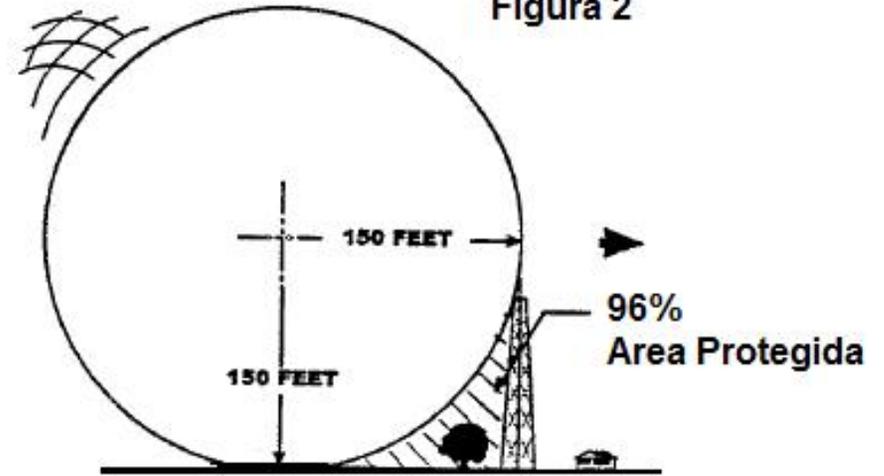


Figura 3

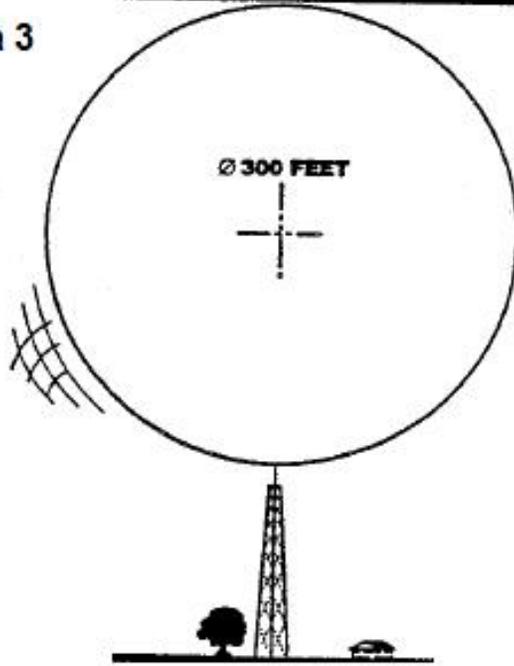
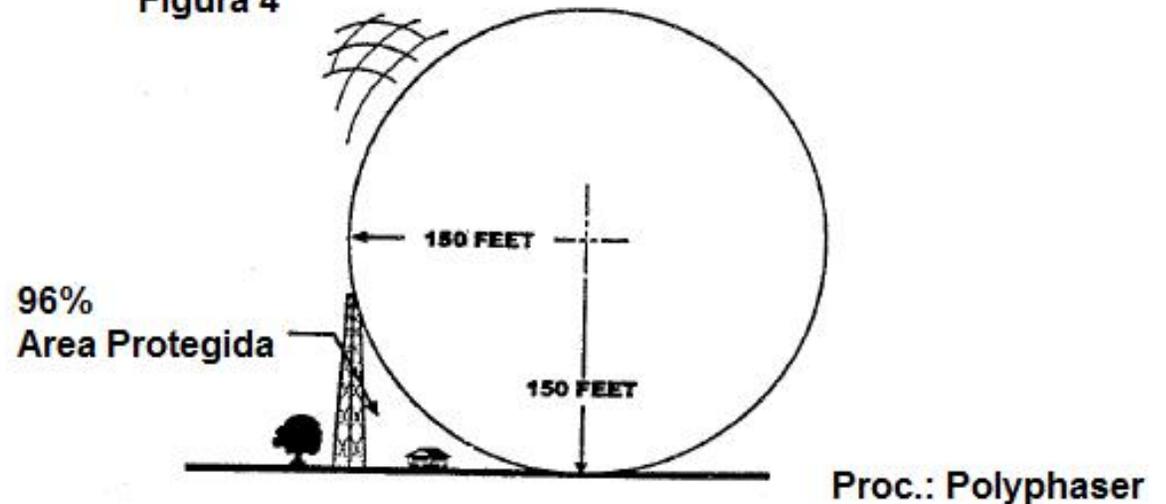
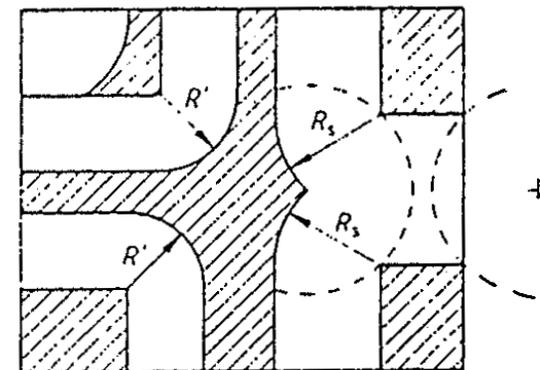
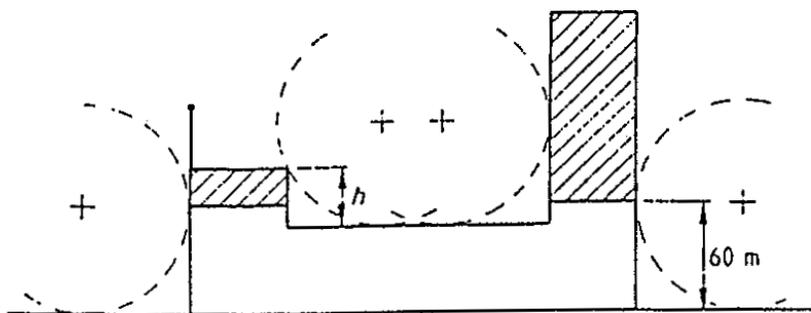
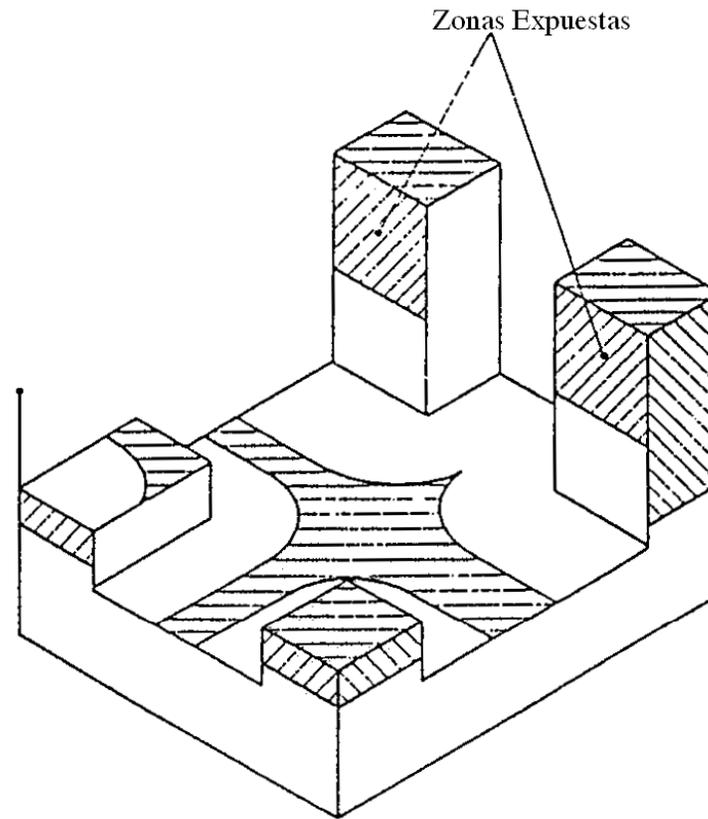


Figura 4



Proc.: Polyphaser

Norma BS6651: Método de la esfera rodante, zonas expuestas y zonas



Frecuencias que intervienen en el fenómeno

El fenómeno eléctrico y magnético tiene un espectro, es decir que su energía se localiza en ciertas frecuencias. ¿Por qué y para qué tiene interés conocerlo?

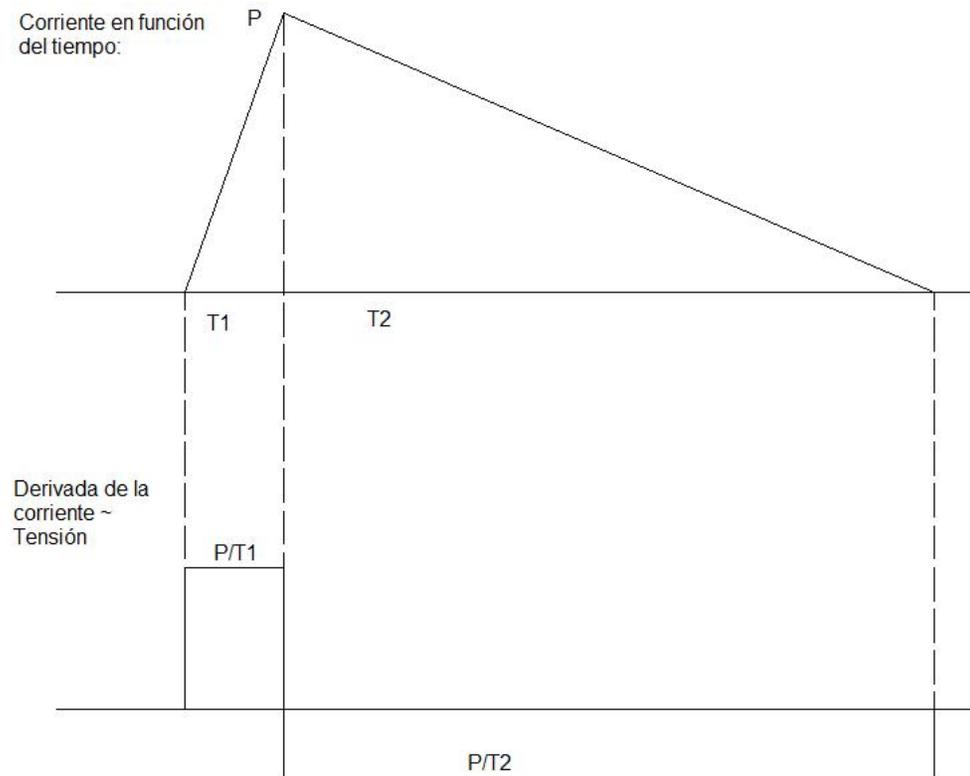
Contribuye a saber:

- si se puede conducir a tierra mediante conductores
- si y cómo se puede separarlo de otras señales
- estimar posible daño por radiación, a objetos distantes
- prever resonancias
- localizar las descargas
- Estudiar ondas viajeras por líneas o cañerías
- Prever interferencias con telecomunicaciones o medidas

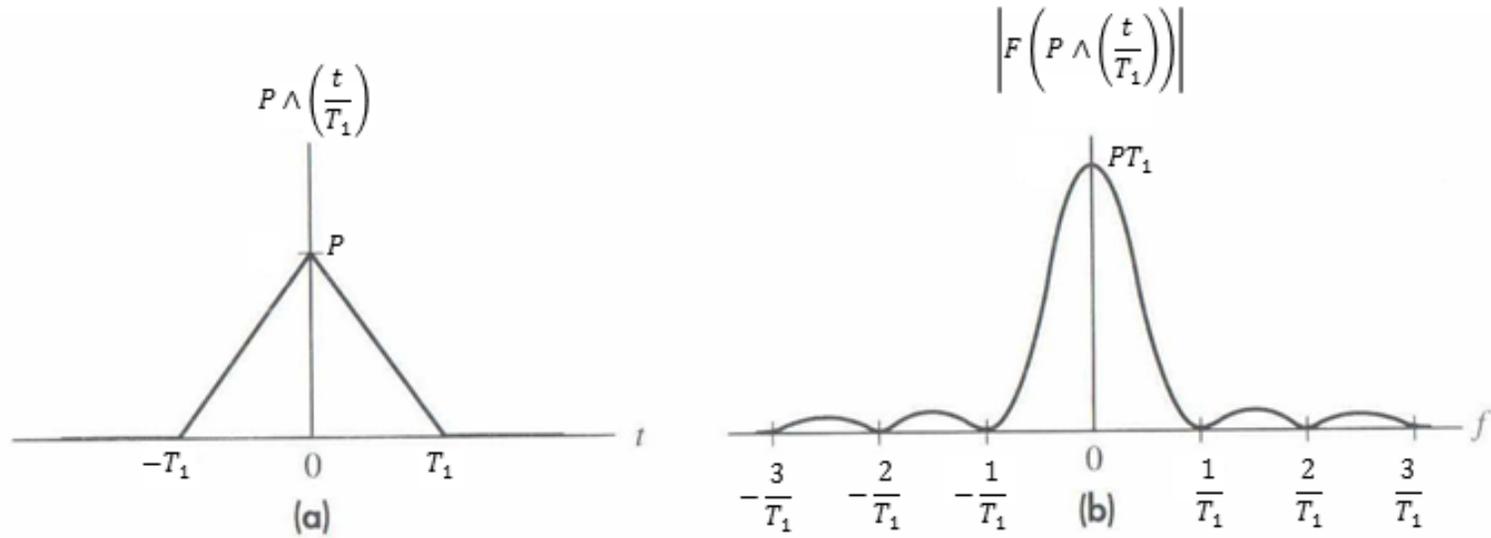
Análisis frecuencial aproximado

- Como estimación gruesa una subida de $1\mu\text{s}$ corresponde a un ancho de banda de una senoide de $4\mu\text{s}$ de período, entonces de 0.25MHz . La derivada de la corriente es de aproximadamente $20\text{ kA}/\mu\text{s}$.
- Una onda triangular simétrica tendría un ancho de banda de 1MHz .

Estimación del ancho de banda:



Si fuera triangular simétrica:
 $F(f) = PT_1 \text{sinc}^2(fT_1) \rightarrow \text{Ancho de Banda} \sim 1/1\mu\text{s} \sim 1\text{MHz}$

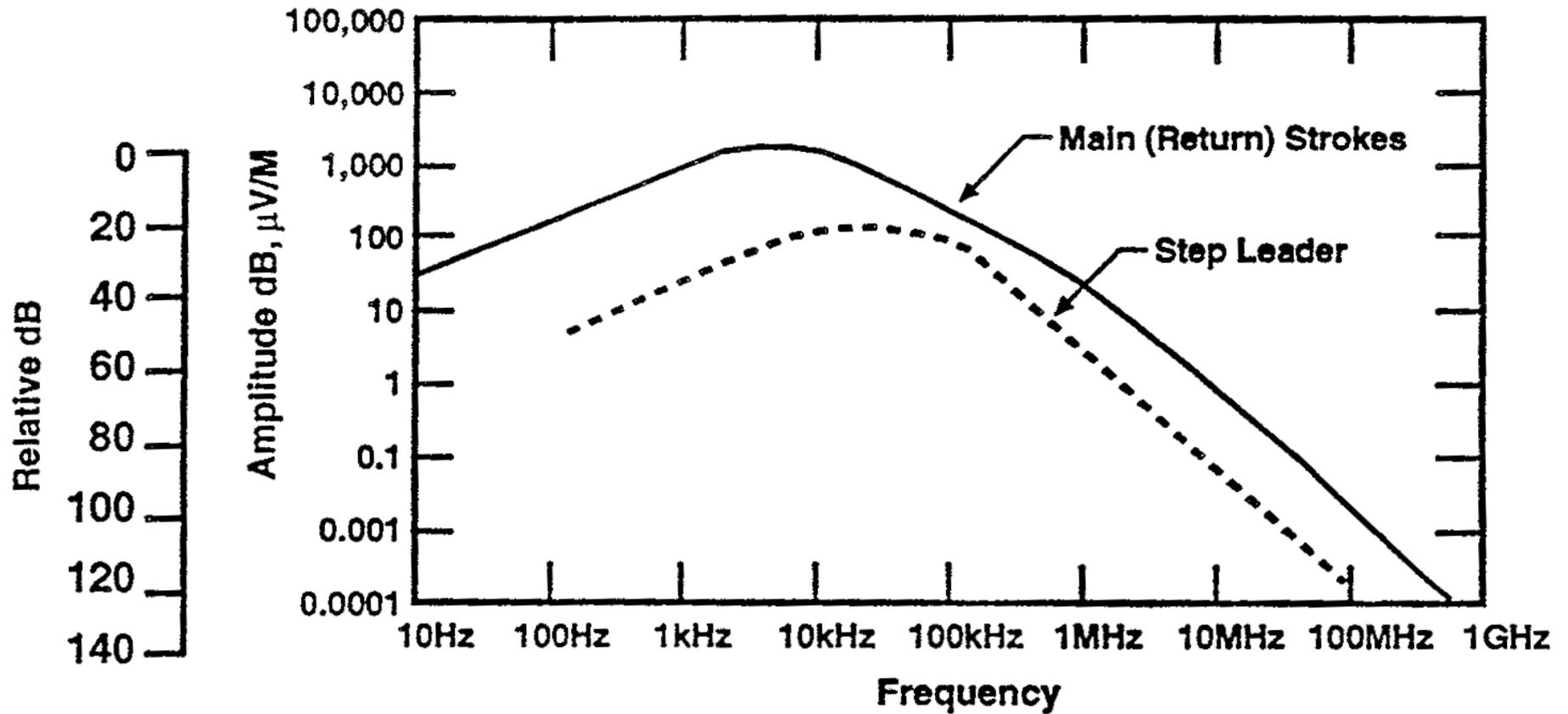


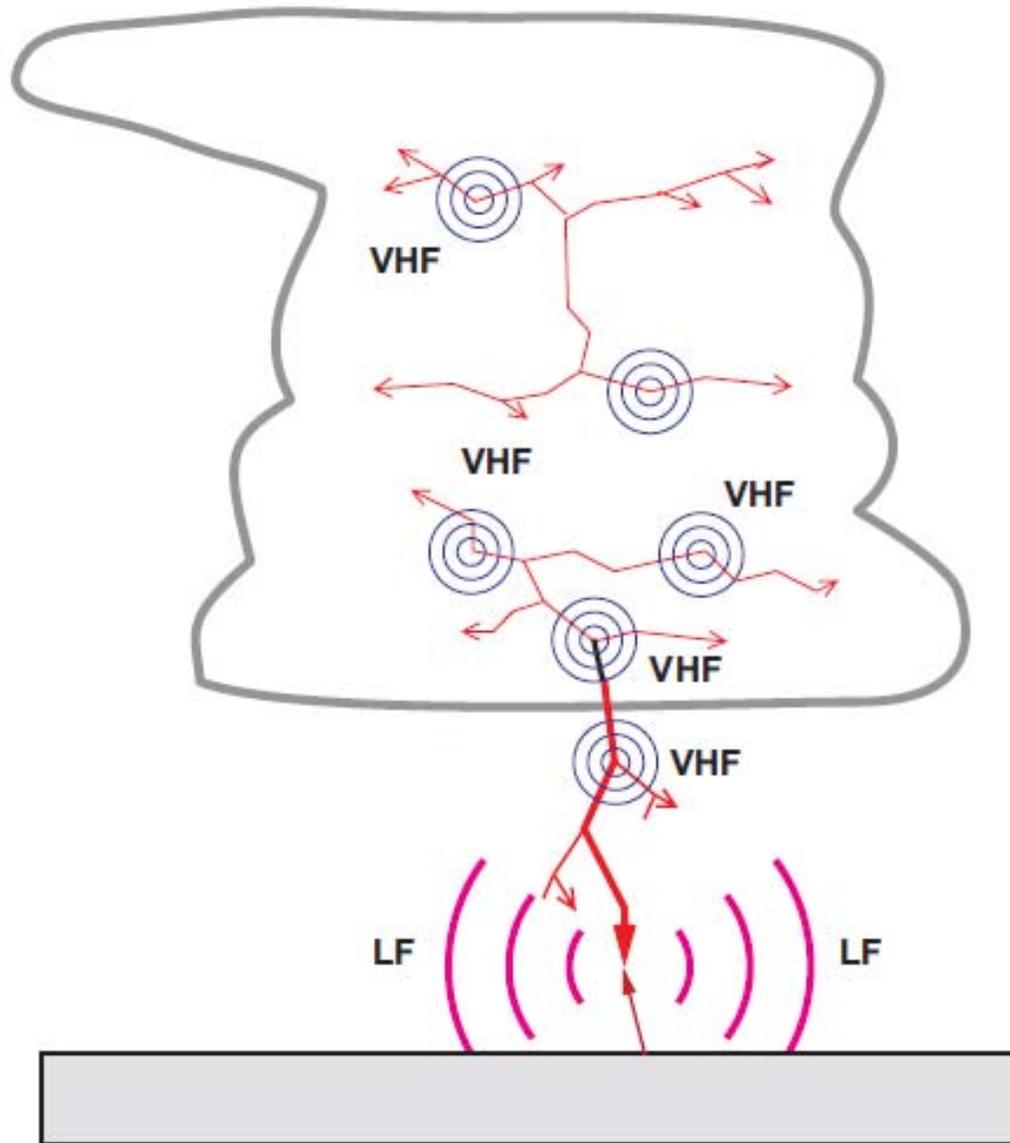
Forma de onda asimétrica:

- $F(\omega) = P[\text{sinc}(fT_1) \cdot \exp(j\omega T_1/2) - \text{sinc}(fT_2) \cdot \exp(j\omega T_2/2)] / (j\omega)$
- $\text{Sinc}(fT_2)$ es más angosto.
- Casi toda la energía está en un ancho de banda de 1MHz, pero la energía que está fuera puede excitar circuitos resonantes.

Ancho de banda de la radiación de un rayo:

Proc.: Polyphaser





Radiación desde una descarga atmosférica

Figure 1: Radiation from lightning (schematically). The return stroke of Cloud-to-Ground lightning emits strong LF radiation. Leader processes and recoil streamer in intracloud lightning generate predominantly VHF radiation. All discharges emit optical radiation.

Métodos de detección de descargas nube -tierra

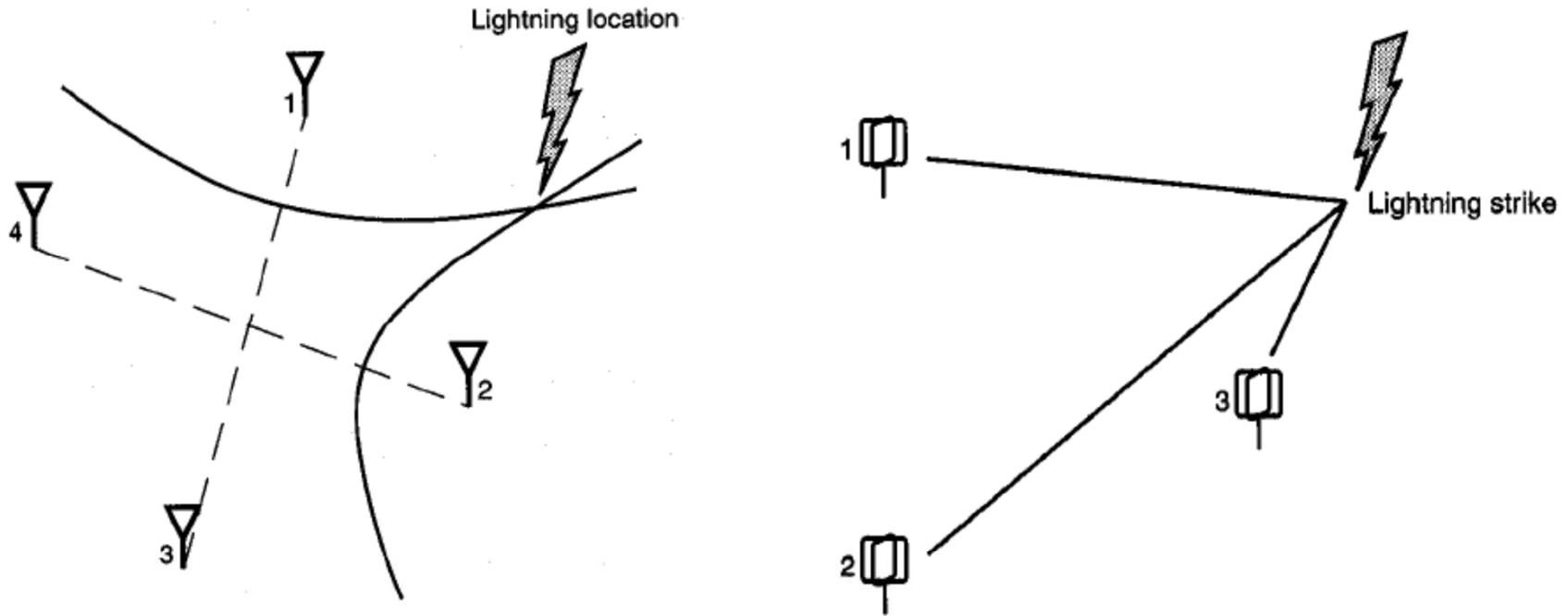
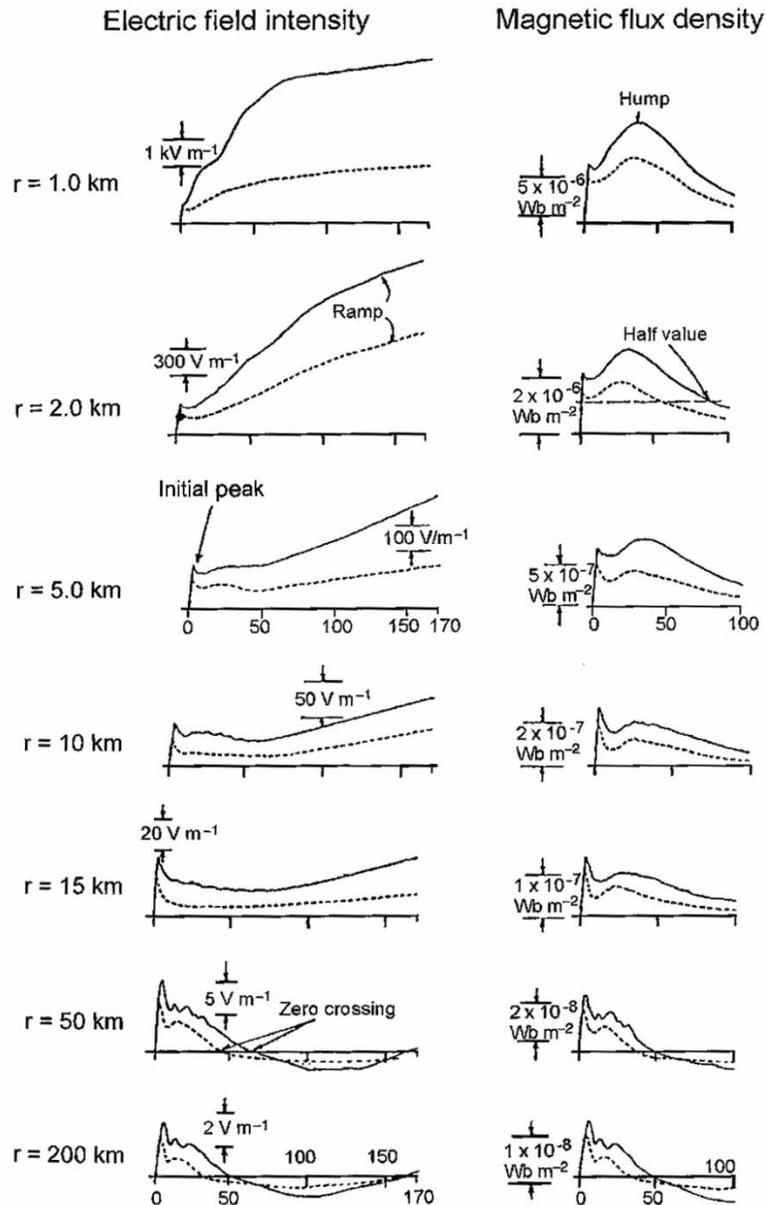


Figure 2: Location principles: TOA – Time of Arrival (left), DF – Direction Finding (right). (From MacGorman and Rust (1998))

Campo eléctrico y magnético a diferentes distancias



Evolución típica del campo eléctrico vertical y densidad de flujo magnético azimuthal para la primera descarga de retorno (línea sólida) y descarga de retorno subsiguiente (línea punteada). r es la distancia y la escala de tiempo está expresada en microsegundos.

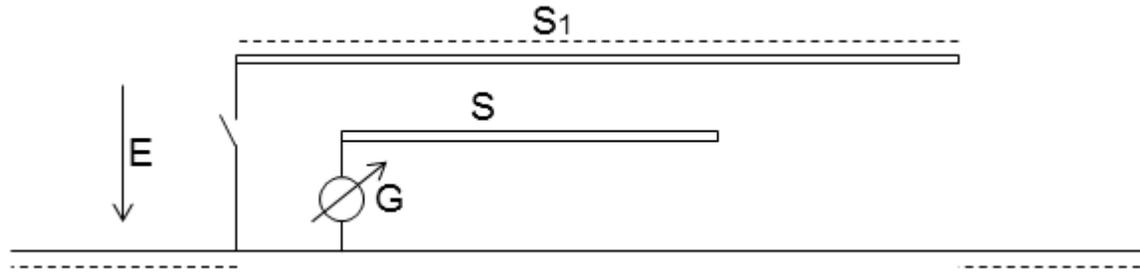
Ejemplo de un reporte de un sistema de detección de rayos:

StrikeFax Request LR20061

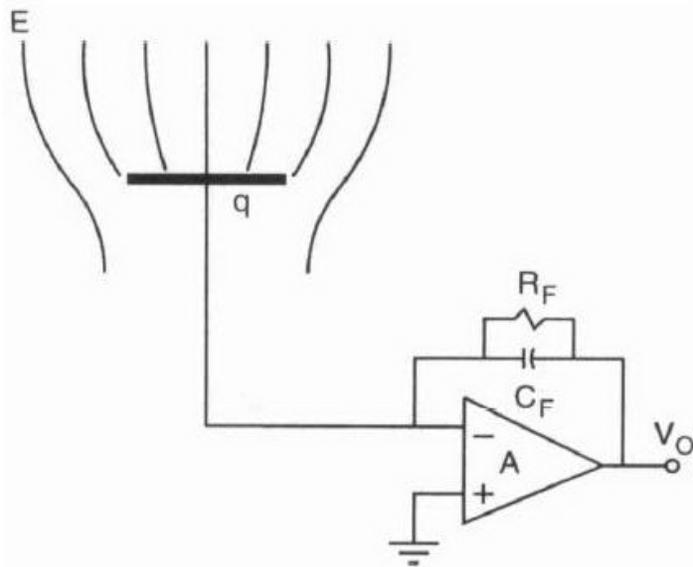
*Searched: 04/18/1996 09:15:00 to 04/18/1996 09:45:00 CDT
30.431N, -86.688W, 15mi*

<i>Date</i>	<i>Time (CDT)</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>kA/Pol</i>	<i>Mult</i>	<i>Bearing(°)</i>	<i>Range(mi)</i>
04/18/96	09:16:32	30.484	-86.913	-15.7	0	285.3	13.9
04/18/96	09:18:51	30.226	-86.756	-58.4	0	195.8	14.7
04/18/96	09:20:47	30.469	-86.869	-33.9	0	283.7	11.1
04/18/96	09:22:05	30.469	-86.879	-17.2	0	283.1	11.6
04/18/96	09:22:05	30.522	-86.869	-38.7	0	300.4	12.5
04/18/96	09:23:35	30.513	-86.878	-30.3	0	296.7	12.6
...

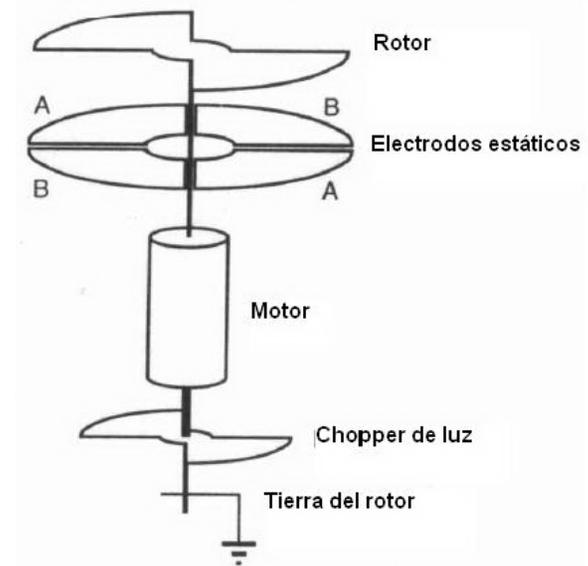
Medida del campo eléctrico atmosférico (Para un sistema de alarma)



Medida del campo eléctrico



Amplificador de Carga



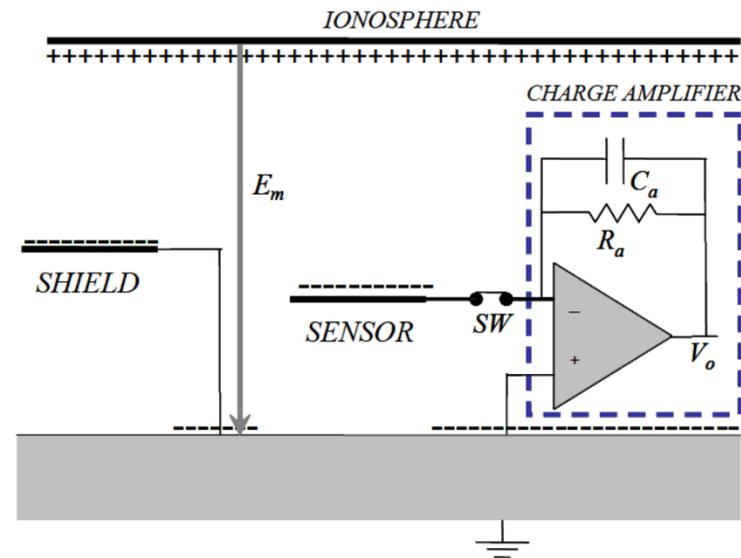
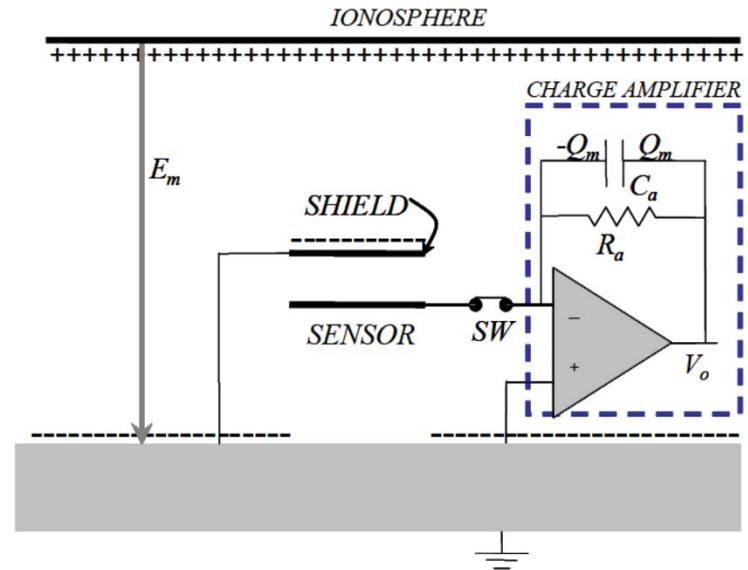
Implementación (molino de campo)

Molino de campo: Funcionamiento

$$V_0 = \frac{Q_m}{C_a}$$

$$E = \frac{Q_m}{\epsilon_0 A}$$

A. Measurement principle



Circuito del amplificador de un molino de campo:

