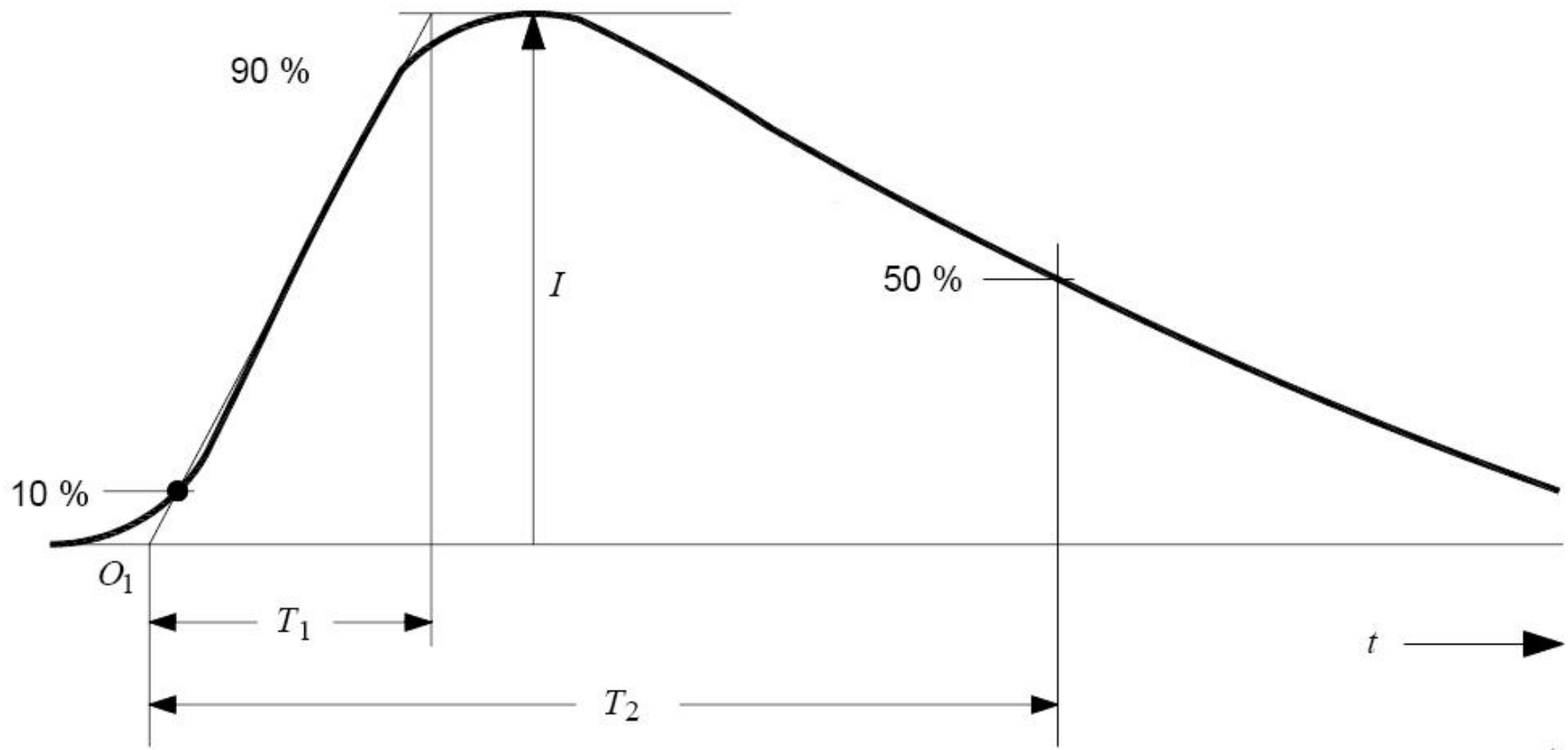


Mecanismos de daños: Forma de onda representativa de un impulso de corta duración:

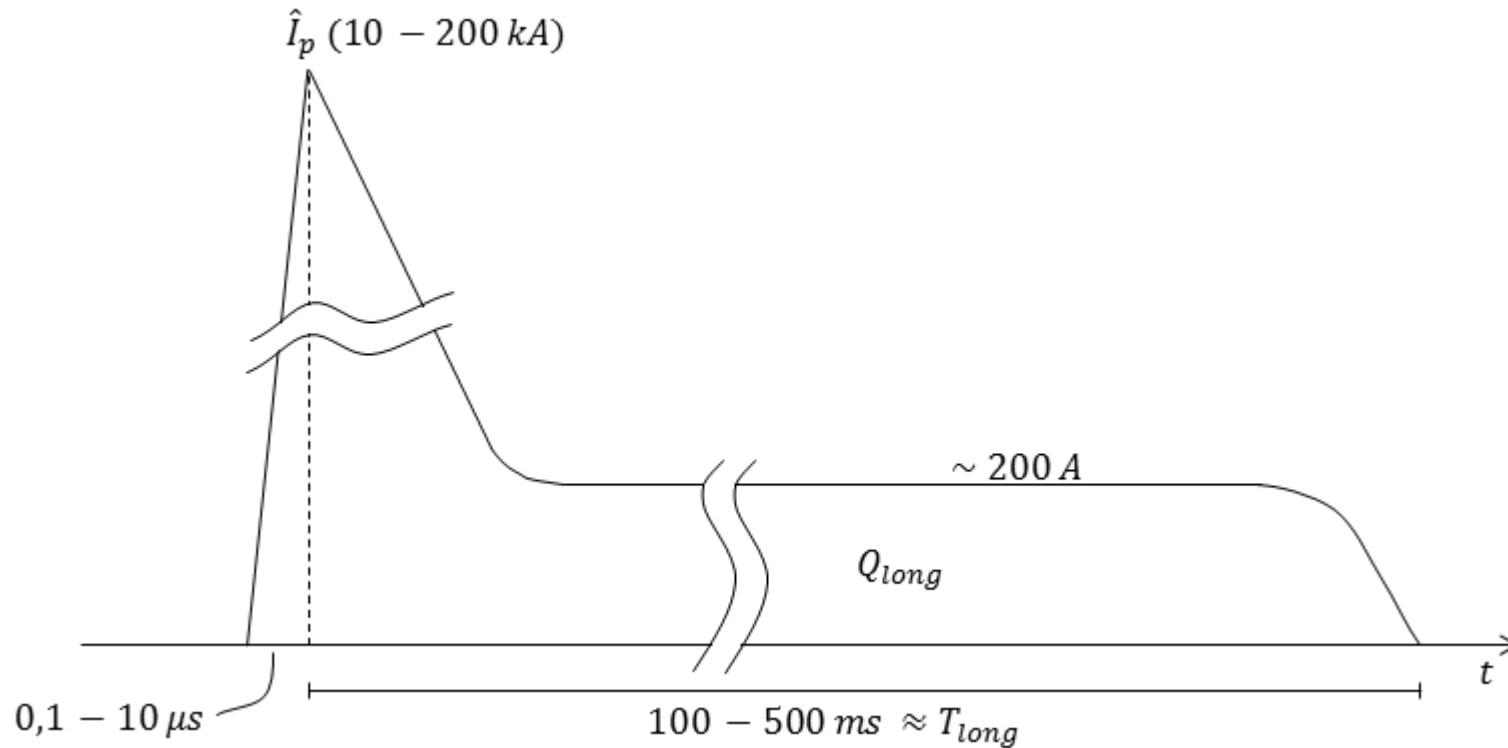


Siendo: I : valor de pico

T_1 : tiempo de subida

T_2 : tiempo de bajada al 50%

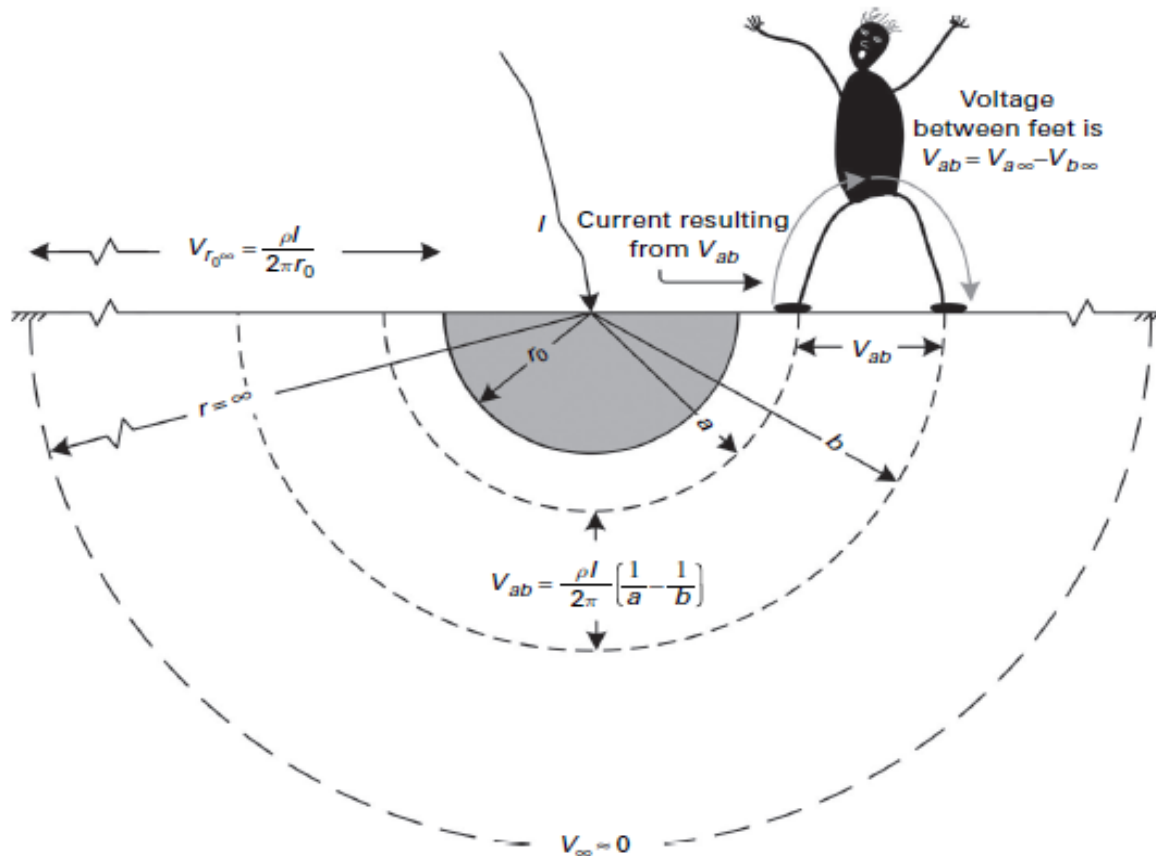
Forma de onda representativa de un impulso de larga duración:



Siendo: T_{long} : tiempo de duración, del orden de 200ms
 Q_{long} : carga de larga duración

Mecanismos de daño

I - Valor de pico



- Efecto:
 - Sobretensión en elementos resistivos
- Ejemplo:
 - Aumento de potencial del suelo en la zona de descarga de la corriente de rayo. Tensiones de paso y de toque.

$I = 30 \text{ kA}$

Resistividad = 100 ohm.m

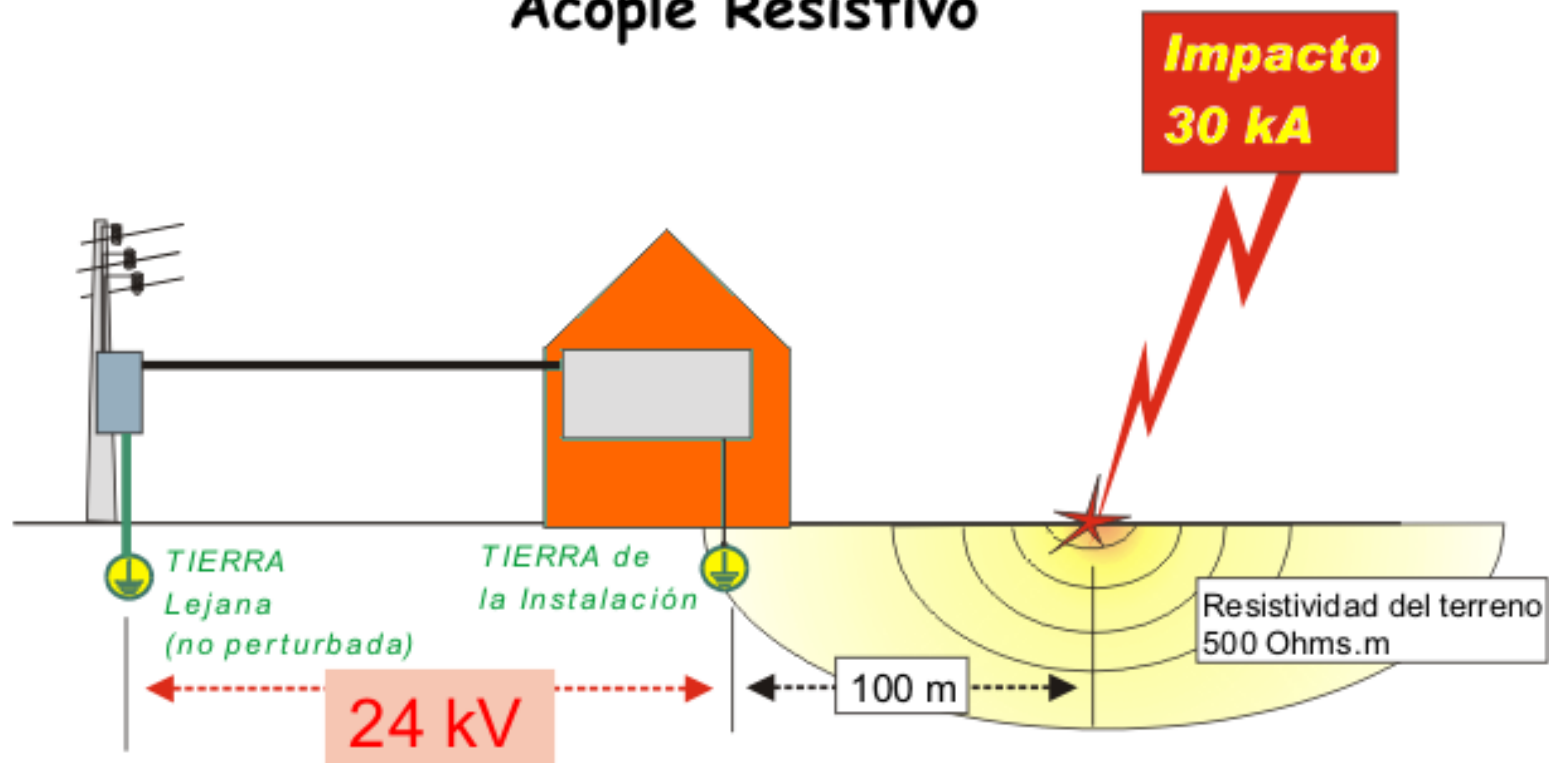
Distancia persona – descarga = 10m

Tensión entre pies = 2250 V

Resistencia de la persona = 1000 ohm

Corriente entre pies = 2,3 A

Elevación del Potencial de Tierra Acople Resistivo

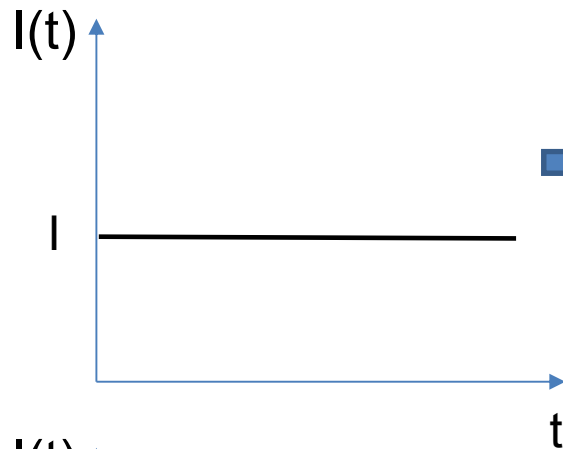


Mecanismos de daño

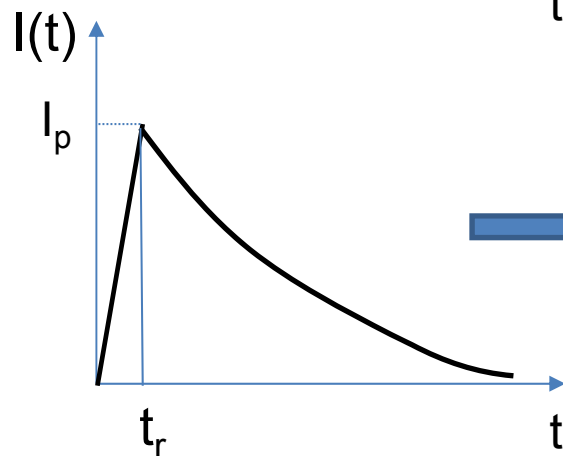
***di/dt* - derivada de la corriente de descarga**

- Efecto: Sobretensiones inducidas en los conductores de la corriente de rayo y en conductores cercanos.
- Ejemplo:
 - Sobretensiones entre el conductor de descarga de rayo y otras estructuras metálicas o conductores.
 - Sobretensiones en bucles formados por conductores de datos y potencia.

di/dt - derivada de la corriente de descarga – Tensión a lo largo de un conductor



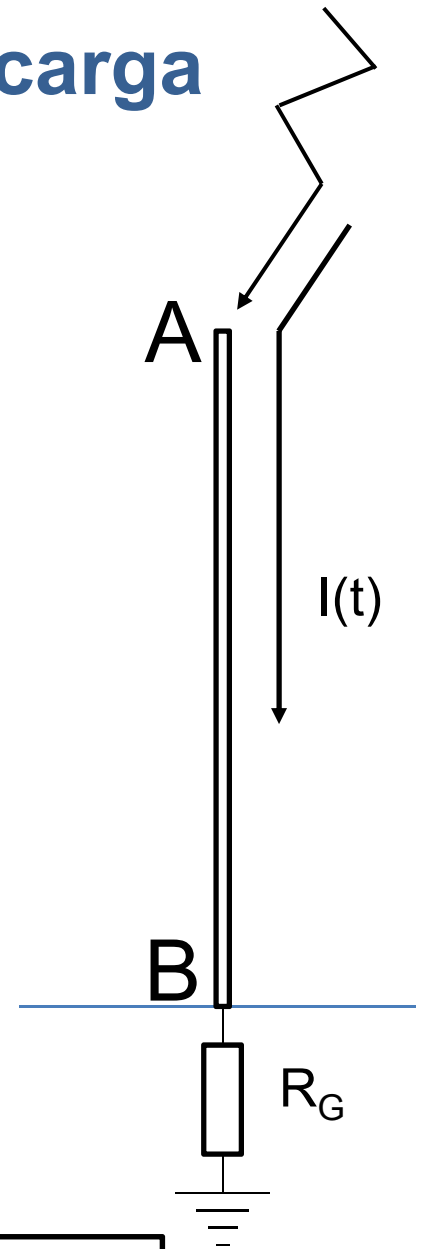
$$U_A - U_B = R * I$$



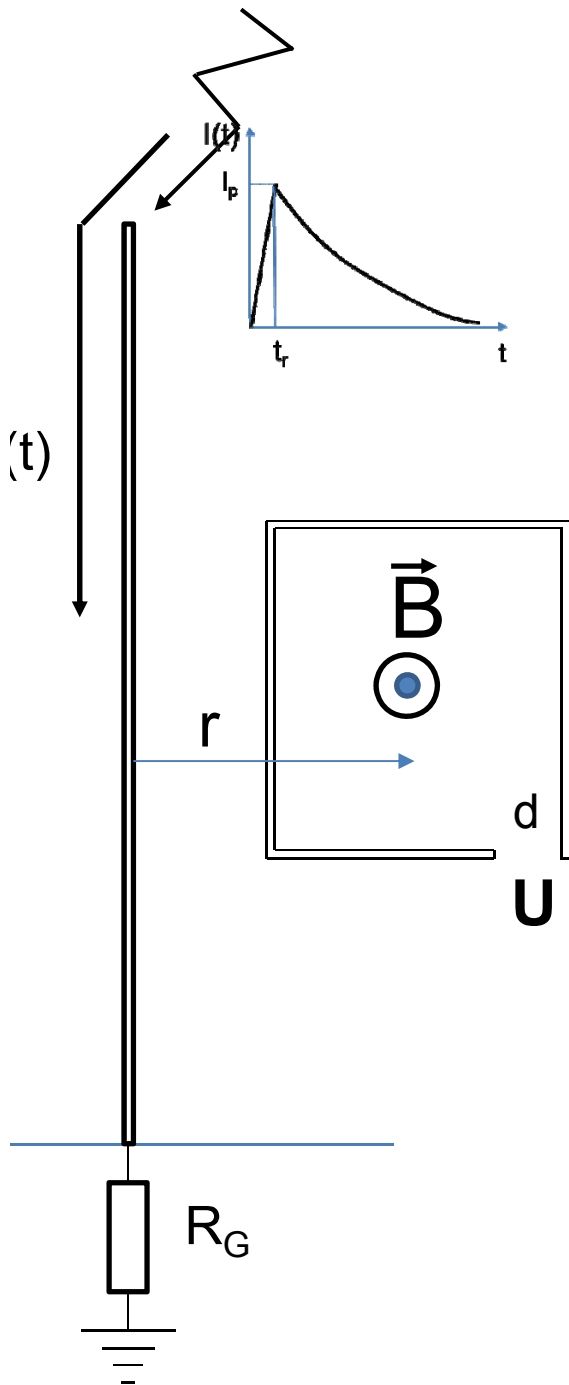
$$U_A - U_B = R * I + L \frac{dI}{dt}$$

En la subida, entre 0 y t_r :

$$U_A - U_B \approx R * I + L \frac{I_p}{t_r}$$



**di/dt - derivada de la corriente de
descarga – Tensión en conductores
próximos (1)**



$$B \approx \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$U \approx \frac{\mu_0 I_p}{2\pi r t_r} * Area$$

Rayo
Con $t_r = 1 \mu s$:

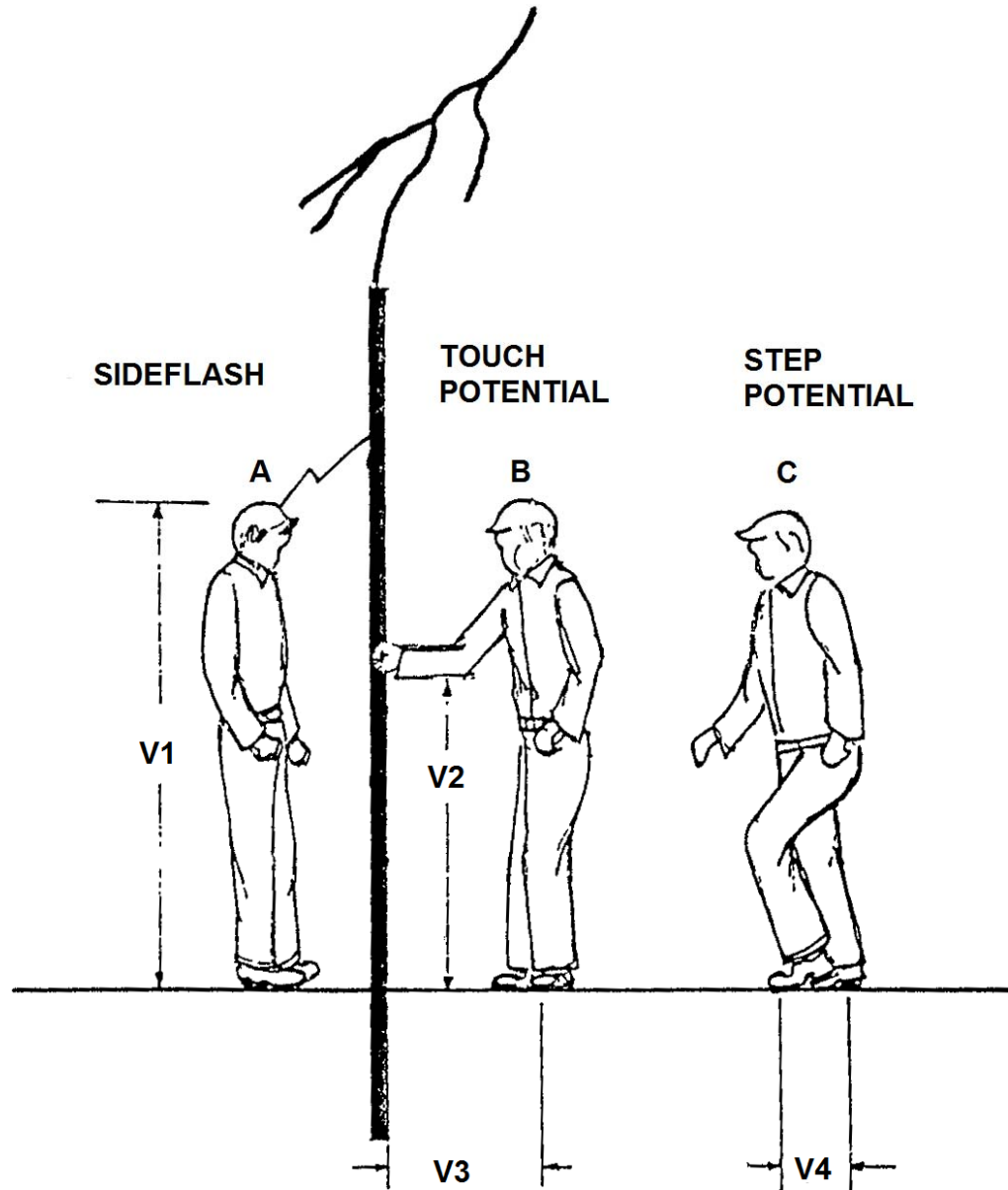
$I_p = 50 \text{ kA}$
 $r = 1 \text{ m}$
 $Area = 1 \text{ m}^2$
 $d = 1 \text{ mm}$

$$U \approx \frac{\mu_0 I_p}{2\pi r t_r} * Area = 10 \text{ kV}$$

$$E \approx \frac{U}{d} = \frac{10 \text{ kV}}{0,001 \text{ m}} = 10 \text{ MV/m !}$$

INTERACCIÓN DE LA DESCARGA CON LAS PERSONAS

Descarga Lateral - Potencial de Toque – Potencial de Paso



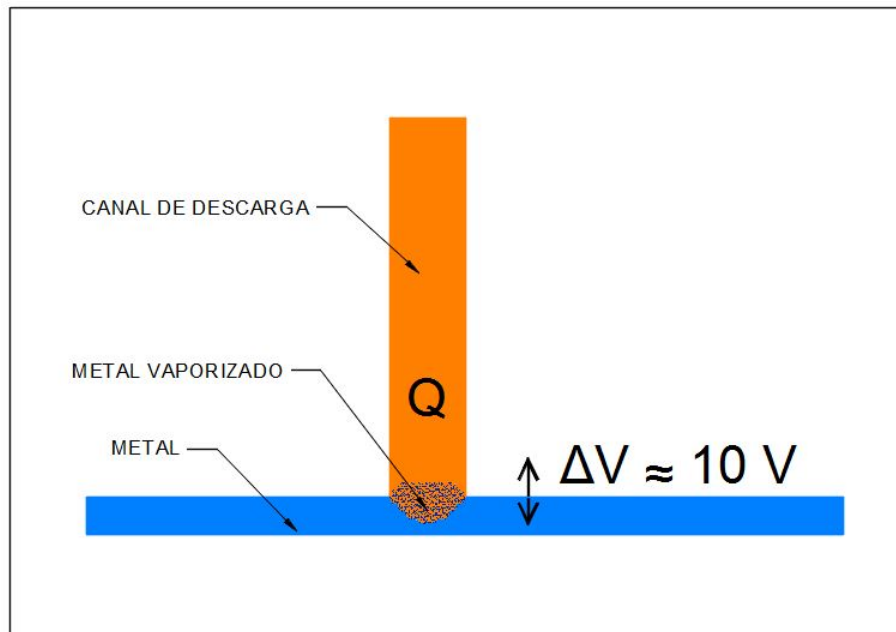
Mecanismos de daño

Q – Carga

$$Potencia = P = i \times v$$

$$Energia = W = \int_{t=0}^{t_{final}} P(t) dt = \int_{t=0}^{t_{final}} i(t) \times \Delta V$$

$$W = \Delta V \times \int_{t=0}^{t_{final}} i(t) dt = \Delta V \times Q$$



- Efecto:
Aumento de temperatura en la interfase de metales

- Ejemplo:
Perforación en el punto de impacto de la descarga (interfase canal ionizado – estructura metálica)

Mecanismos de daño

W_R - *Energía específica*

Para R constante:

$$W = \int_0^{t_{final}} i(t) \cdot v(t) \cdot dt = \int_0^{t_{final}} i \times Ri = R \int_0^{t_{final}} i^2$$

- Efecto:
Aumento de temperatura en elementos resistivos.

- Ejemplos:
Aumento de temperatura en elementos conductores de la corriente de rayo.
 $W/R = 10.000 \text{ kJ}/\Omega$

MATERIAL	SECCION CONDUCTOR	
	25 mm ²	50 mm ²
Aluminio	211 °C	52 °C
Cobre	98 °C	22 °C
Acero Inoxidable	-----	940 °C

Incendio de árboles y estructuras de alta resistividad (madera)

Vaporización y rotura de arboles.

Energía específica W_R

Elevación de temperatura en un conductor

Conductor cilíndrico o prismático: **sección A , longitud l**

Calor específico: C_w (Joules/°K.kg)

Resistividad: $\rho(T) = \rho_o \cdot (1 + \alpha(T - T_o))$ ($\Omega.m$)

Densidad: d (kg/m^3)

Energía específica total de la descarga: W_R (Joules/ Ω)

$$d(\text{Energía}) = d(W_R) \cdot R(T) = C_w \cdot d \cdot V \cdot dT$$

$$T - T_o = \frac{1}{\alpha} \cdot \left(e^{\frac{\alpha \cdot \rho_o \cdot W_R}{C_w \cdot d \cdot A^2}} - 1 \right)$$

Mecanismos de daño:

Evaluación de los efectos térmicos y mecánicos:

- Se usan los valores máximos de los parámetros de la corriente los correspondientes a los rayos positivos.
- Los valores con probabilidad de ser superados, menor al 10%, son:

$$I_p = 200 \text{ kA}$$
$$Q_{\text{flash}} = 300 \text{ C}$$
$$Q_{\text{long}} = 100 \text{ C}$$
$$W/R = 10 \text{ MJ}/\Omega$$

Evaluación de las sobretensiones, chispas peligrosas y acoplamiento inductivo:

- Se utiliza como valor máximo el correspondiente a impactos cortos subsecuentes para rayos negativos.
- Los valores con probabilidad de ser superados, menor al 1% son:

$$I_p = 50 \text{ kA}$$
$$di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$