



# WORKSHOP MONITORIZACIÓN DE LÍNEAS

27 de abril 2017 - Comités de Estudio B1 y B2



F. Garnacho  
A. Khamlichi



A. González

**DIAEL**



J. Ortego  
F. Garnacho H.



**POLITÉCNICA**

M.A. Sánchez-Urán

**SISTEMA DINÁMICO DE DETECCIÓN DE DESCARGAS PARCIALES EN  
LÍNEAS AISLADAS DE AT UTILIZANDO  
EL MÍNIMO NÚMERO DE SENSORES**

*Fernando Garnacho Vecino*



# Monitorización de DP en sistemas de cables de AT

¿Cuál es el rango de frecuencias más adecuado para la medida de DP, de manera que se minimice el número de sensores?

¿Deben ser monitorizados todos los accesorios?

¿Cuál debe ser la máxima distancia entre dos sensores consecutivos?

¿Qué tipo de monitorización se debe elegir (detección o localización)?

¿Cuál debe ser el nivel de sensibilidad en condiciones con ruido?

¿Cuál es la relación entre la sensibilidad de los instrumentos de medida de DP y el número de sensores requeridos?

$$A_f(x) = A_f(0) \cdot e^{-\alpha(f) \cdot \Delta x}$$

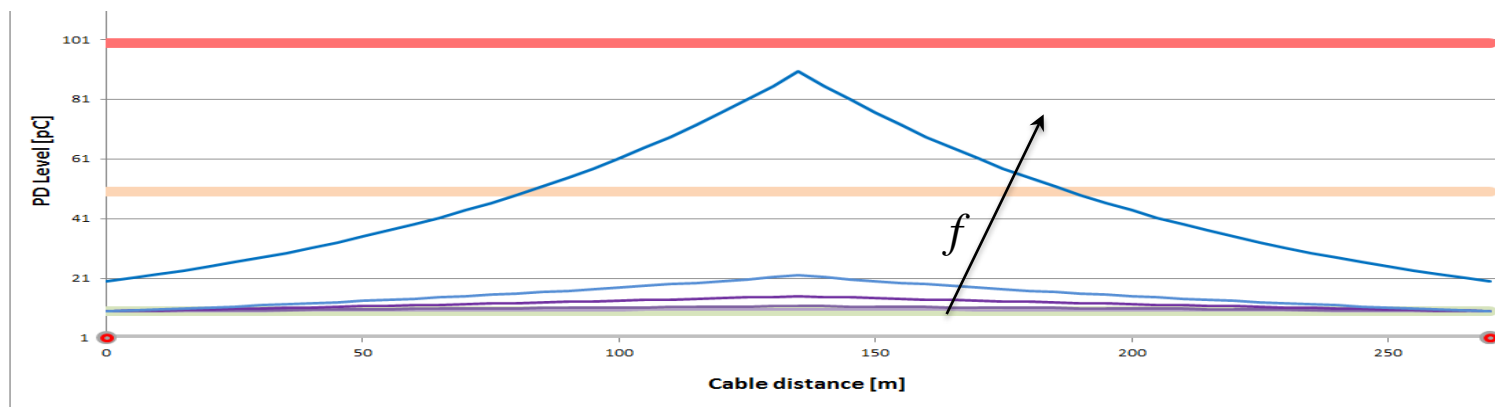


# 1. Introducción

Cálculo de la atenuación de la señal en el sistema del cable vs la frecuencia,  $\alpha(f)$ .

$$A_f(x) = A_f(0) \cdot e^{-\alpha(f) \cdot \Delta x}$$

Nivel mínimo admisible de DP a detectar en el sistema del cable (p.ej. 50 pC / 100 pC).



## 2. Atenuación de la señal a lo largo del cable vs. $f$ , $\alpha(f)$

[2] Stone y Boggs

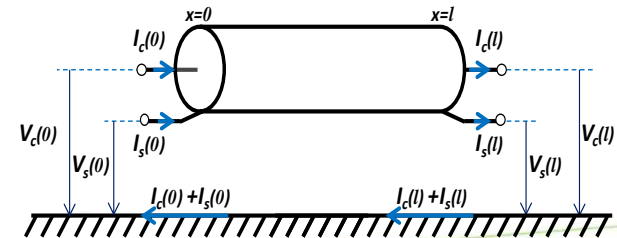
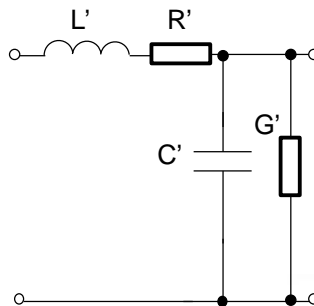
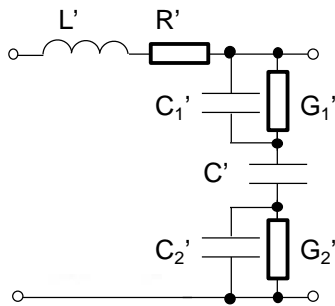
$$\alpha = (2.125 \text{ dB/km}) \cdot f_m$$

[3] & [4] Lemke y Gluski

$$\alpha = k_{cs} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot d_s}{\kappa_s} \cdot \sqrt{\frac{\mu_0}{2 \cdot \kappa_c}} \cdot \left( \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{d_1 \cdot \ln \frac{d_2 - 2 \cdot d_s}{d_1 - 2 \cdot d_s}} \right)^2} \cdot \omega^{5/4}$$

[5] Khamlichi y Garnacho

$$\begin{bmatrix} V_c(l) \\ V_s(l) \\ I_c(l) \\ I_s(l) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_{11}(l) & \Phi_{12}(l) \\ \Phi_{21}(l) & \Phi_{22}(l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_c(0) \\ V_s(0) \\ I_c(0) \\ I_s(0) \end{bmatrix}$$

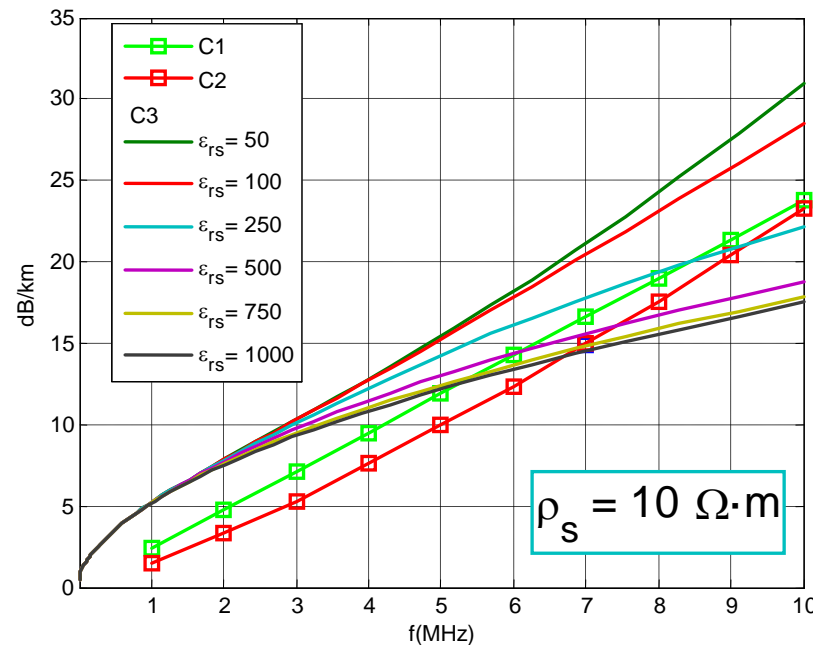


## 2. Atenuación de la señal a lo largo del cable vs $f$ , $\alpha(f)$

C1 Stone y Boggs

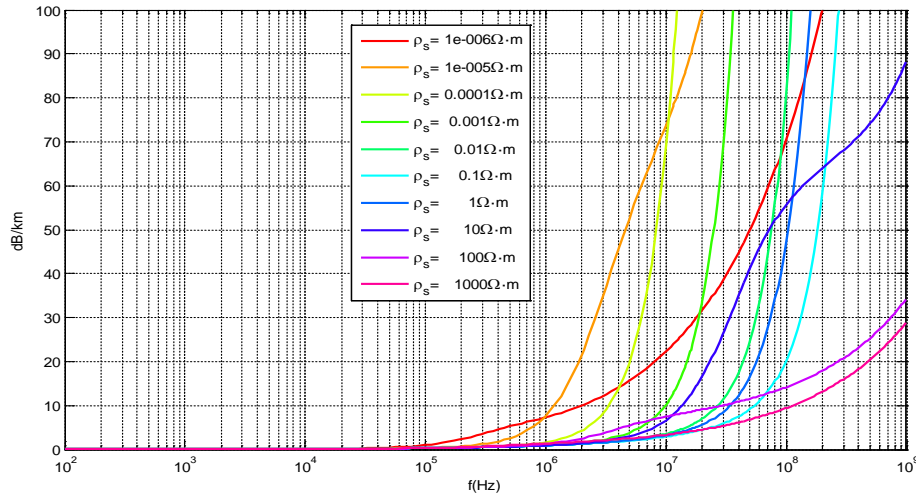
C2 Lemke y Gluski

C3 Khamlichi y Garnacho

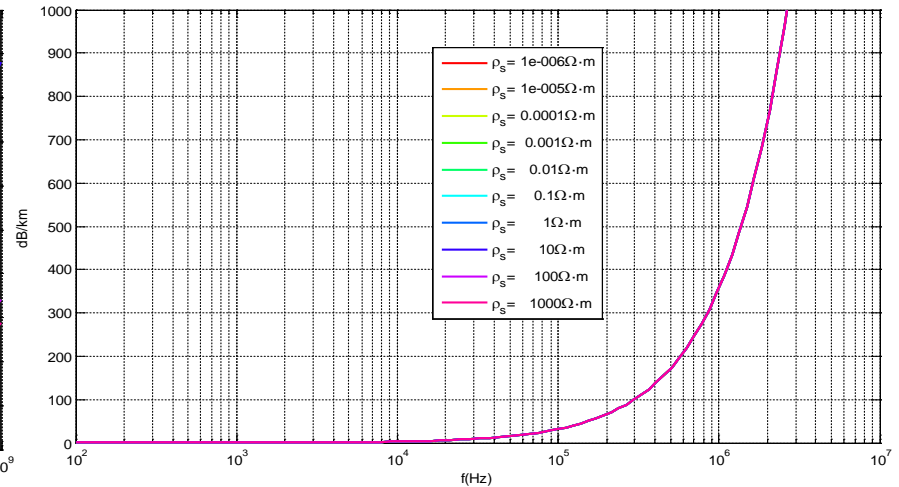


## 2. Atenuación de la señal a lo largo del cable vs $f$ , $\alpha(f)$

[5] Khamlichi y Garnacho

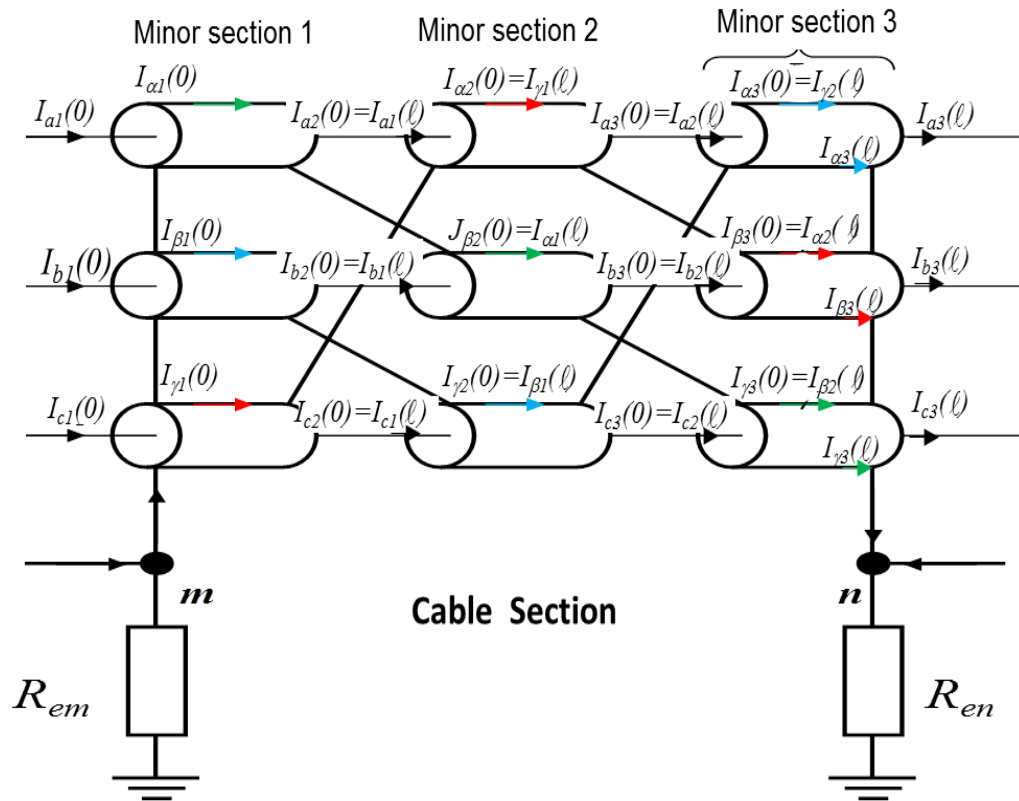


Curvas de atenuación de la señal **conductor-pantalla** en cable de 220kV instalado a 1m bajo tierra

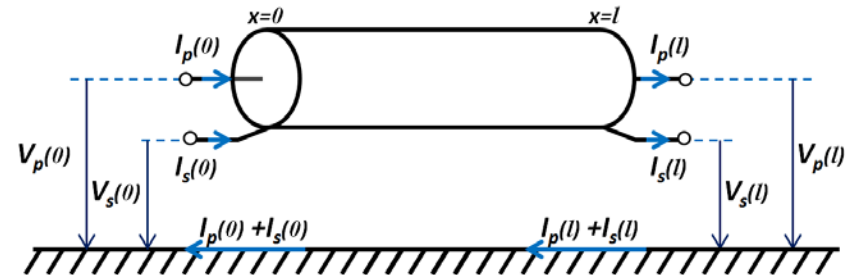


Curvas de atenuación de la señal **pantalla-tierra** en cable de 220kV instalado a 1m bajo tierra

### 3. Atenuación de la señal en sistemas trifásicos



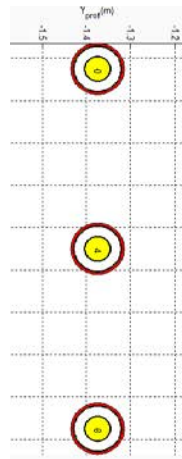
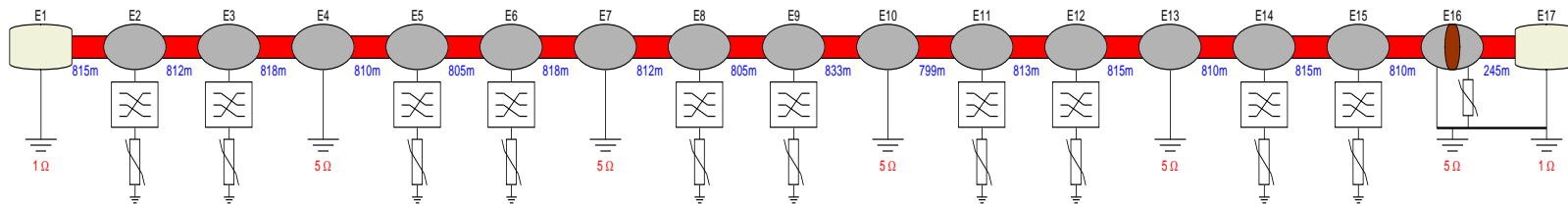
$$\begin{bmatrix} I_p(0) \\ I_s(0) \\ I_p(\ell) \\ I_s(\ell) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_p(0) \\ V_s(0) \\ V_p(\ell) \\ V_s(\ell) \end{bmatrix}$$



## 4. Respuesta a frecuencia de un sistema trifásico

LCOE: software análisis U/I a través configuraciones arbitrarias p.a.t.  
pantallas de cables (CB / SP / SB..)

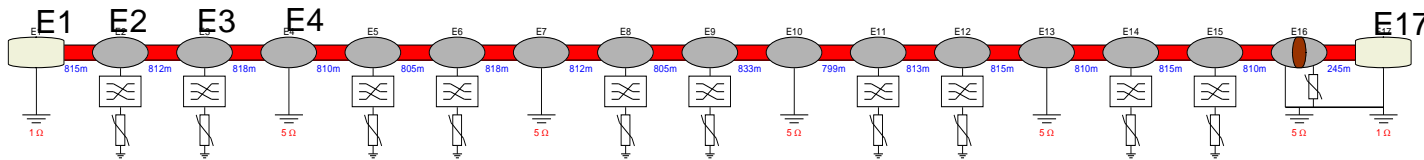
Sistema de 220 kV y 12 km de longitud compuesto por 6 secciones, 5 en configuración Cross-Bonding, cada una con subsecciones de 810m aproximadamente y 1 en configuración Single-Point al final del cable. Disposición del sistema en capa.





## 4. Respuesta a frecuencia de un sistema trifásico

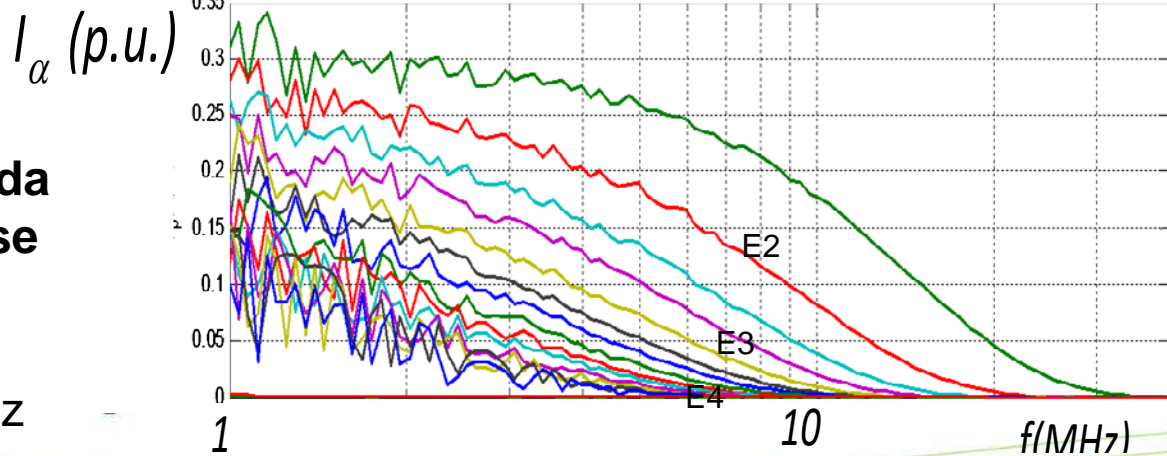
Se inyecta una corriente senoidal de amplitud 1pu entre el conductor de la fase A y la tierra del primer terminal (E1). Se varía la frecuencia, de la señal senoidal inyectada, de 1MHz a 40MHz para determinar las respuestas en frecuencia de las corrientes por pantalla en cada accesorio (E2, E3... E17), donde se pueden haber instalado sensores HFCT si se utilizan pantallas seccionadas.



Long 12 km

¿Cuál es el rango de frecuencias más adecuado para la medida de DP, de manera que se minimice el número de sensores?

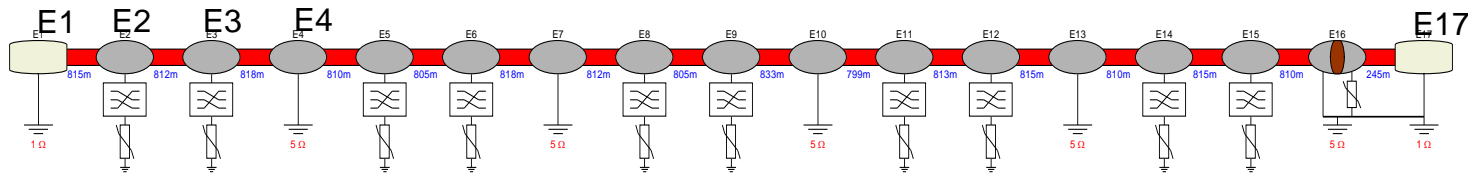
$f < 10 \text{ MHz} - 20 \text{ MHz}$



## 4. Respuesta a frecuencia de un sistema trifásico

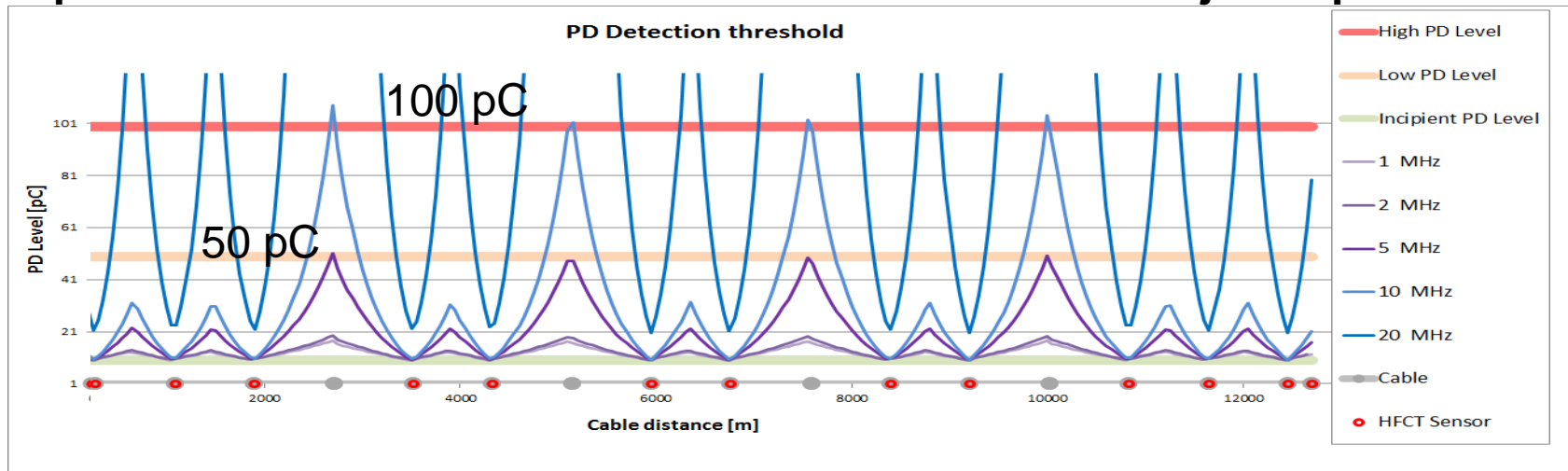
¿Deben ser monitorizados todos los accesorios?

No es preciso



¿Cuál debe ser la máxima distancia entre dos sensores consecutivos?

Depende de la atenuación de la señal → Sensibilidad mejor 50 pC



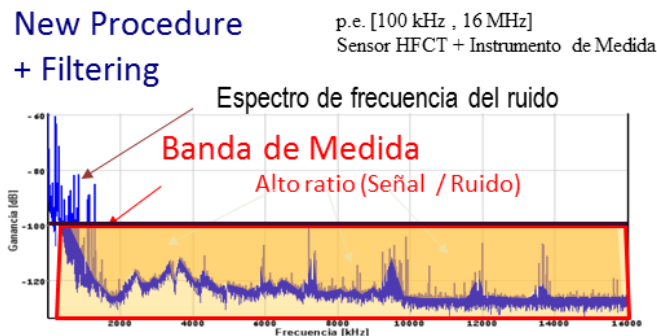
## 5. Distancia entre sensores DP y requisitos de sensibilidad

¿Cuál debe ser el nivel de sensibilidad en condiciones con ruido?

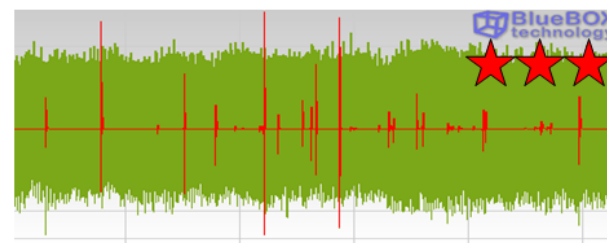
El nivel mínimo aceptable de sensibilidad fundamentado en la experiencia del trabajo de campo, es 10 pC para la calibración de DP bajo un ruido de fondo (p.ej. 4000pC  $f < 1$  MHz) y en un entorno de DP no críticas (p.e. corona 100 pC).

¿Qué tipo de monitorización se debe elegir (detección o localización)?

Detección es suficiente inicialmente. Si se detecta: Localización



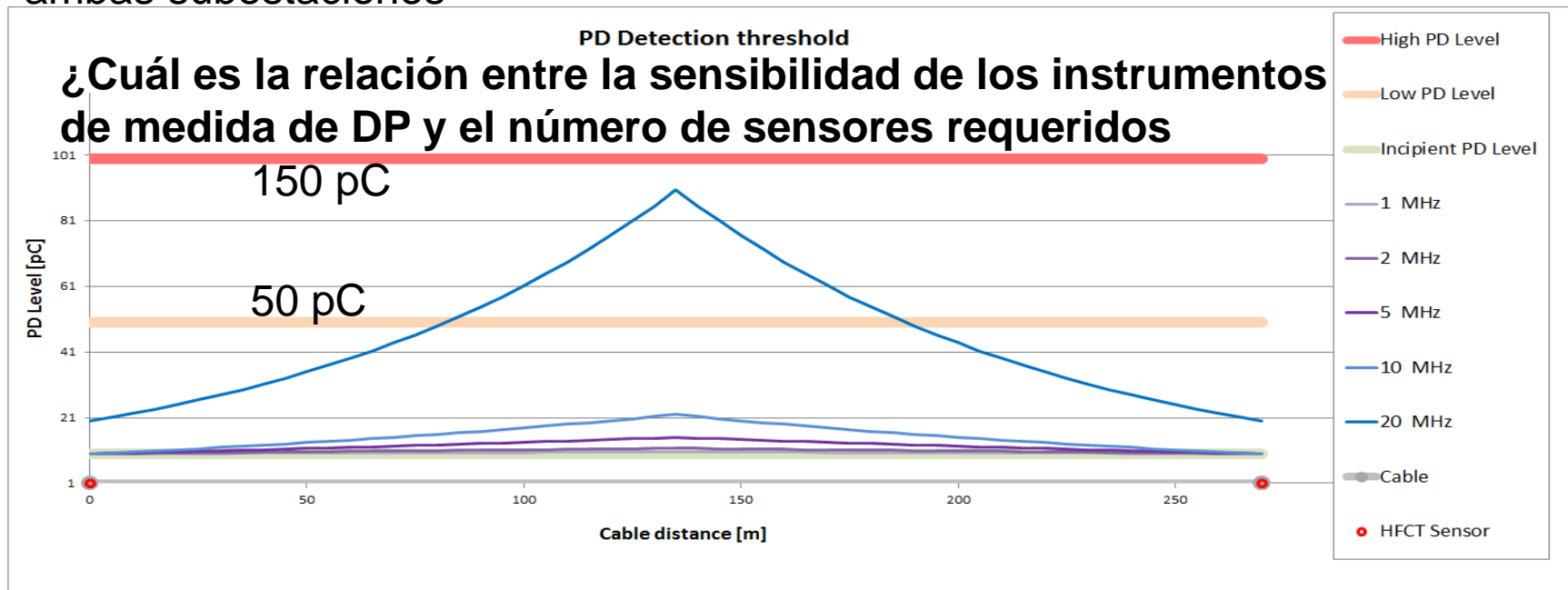
MUCHOS MÁS PULSOS PUEDEN DETECTARSE



## 5. Casos de monitorización de DP

### **Caso 1: Sistema de cable en una red MT de 12kV conectado entre dos centros de transformación MT/BT. – con Localización**

Monitorización de DP en un sistema de cable de 270 m de longitud, conectado entre dos centros de transformación MT/BT, usando sensores HFCT instalados en ambas subestaciones

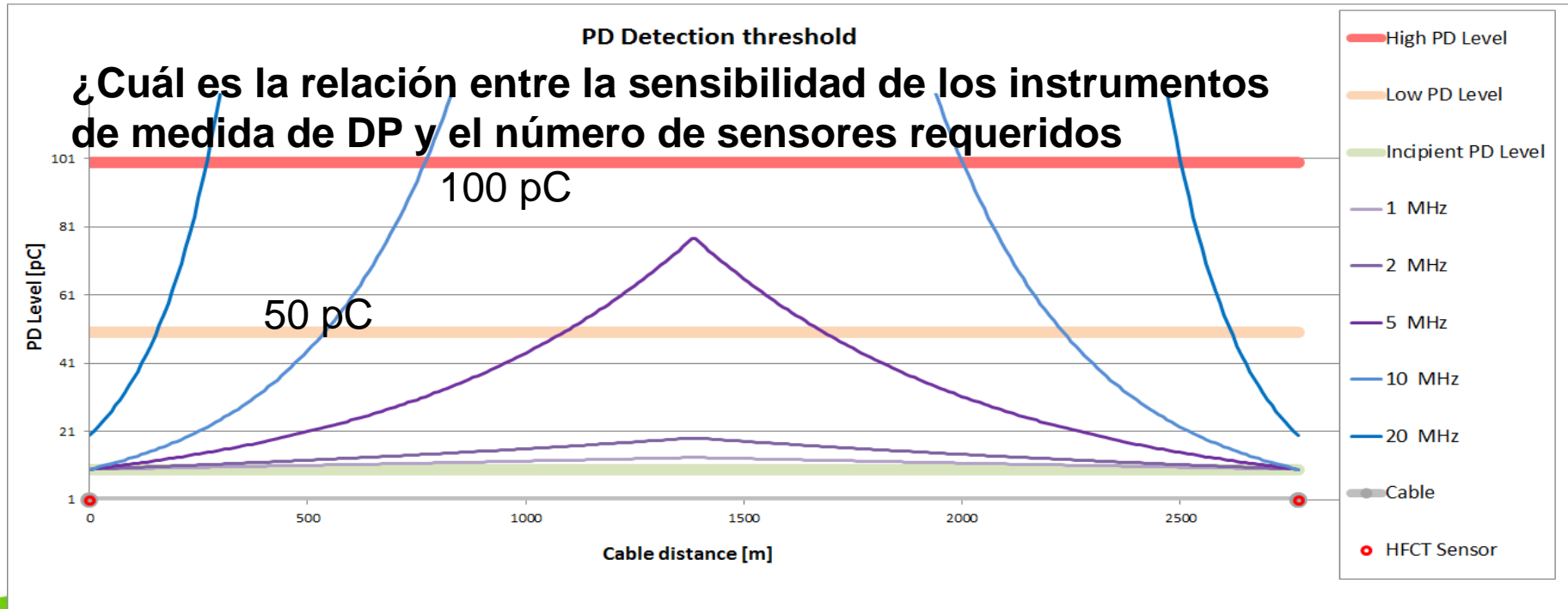


## 5. Casos de monitorización de DP

**Caso 2: Sistema de cable de 45kV conectado a dos subestaciones GIS.**

### Localización

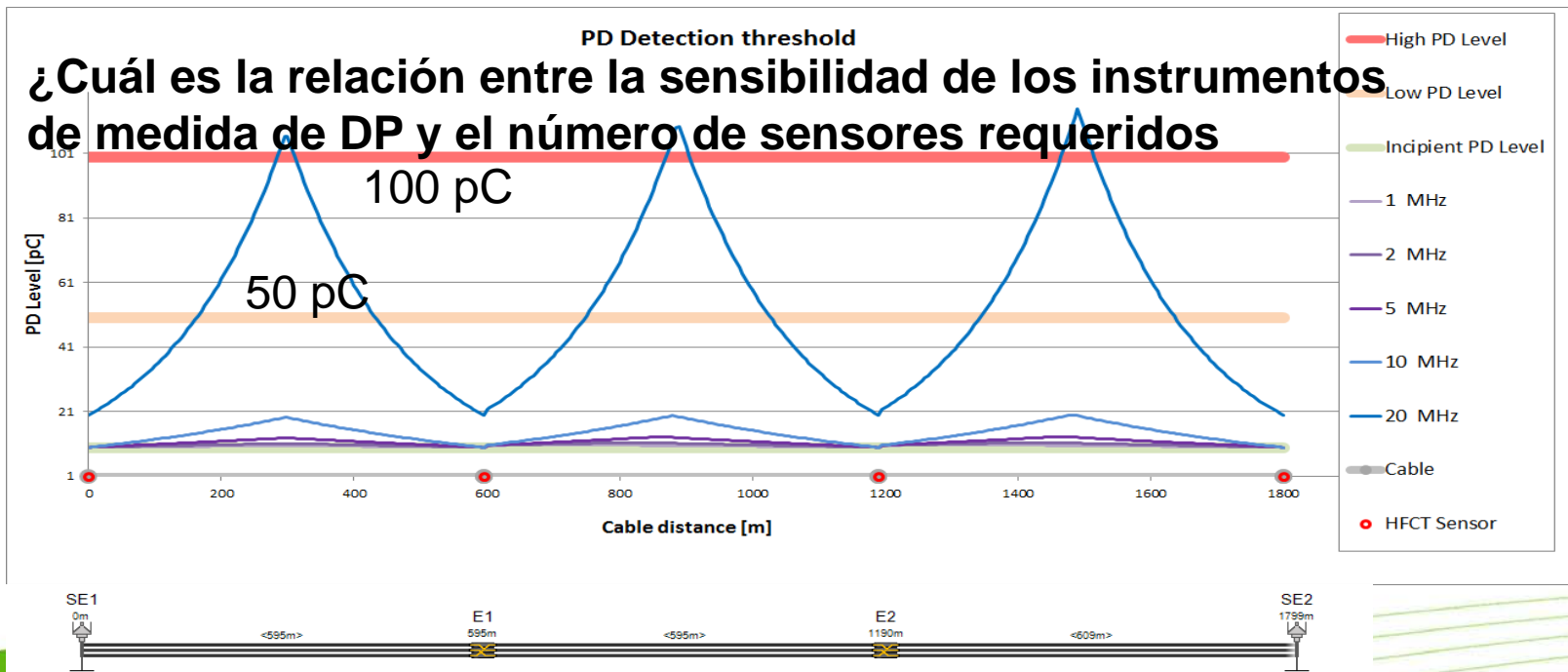
Monitorización de DP sistema de cable 2,8 km conectado a dos subestaciones GIS, con sensores HFCT instalados en ambos terminales del cable.



## 5. Casos de monitorización de DP

### Caso 3: Sistema de cable de 220kV conectado a dos subestaciones GIS.

Monitorización de DP en un sistema de cable en Cross-Bonding de 1,8 km conectado a dos subestaciones GIS en sus extremos, utilizando sensores HFCT instalados en cada accesorio del cable.

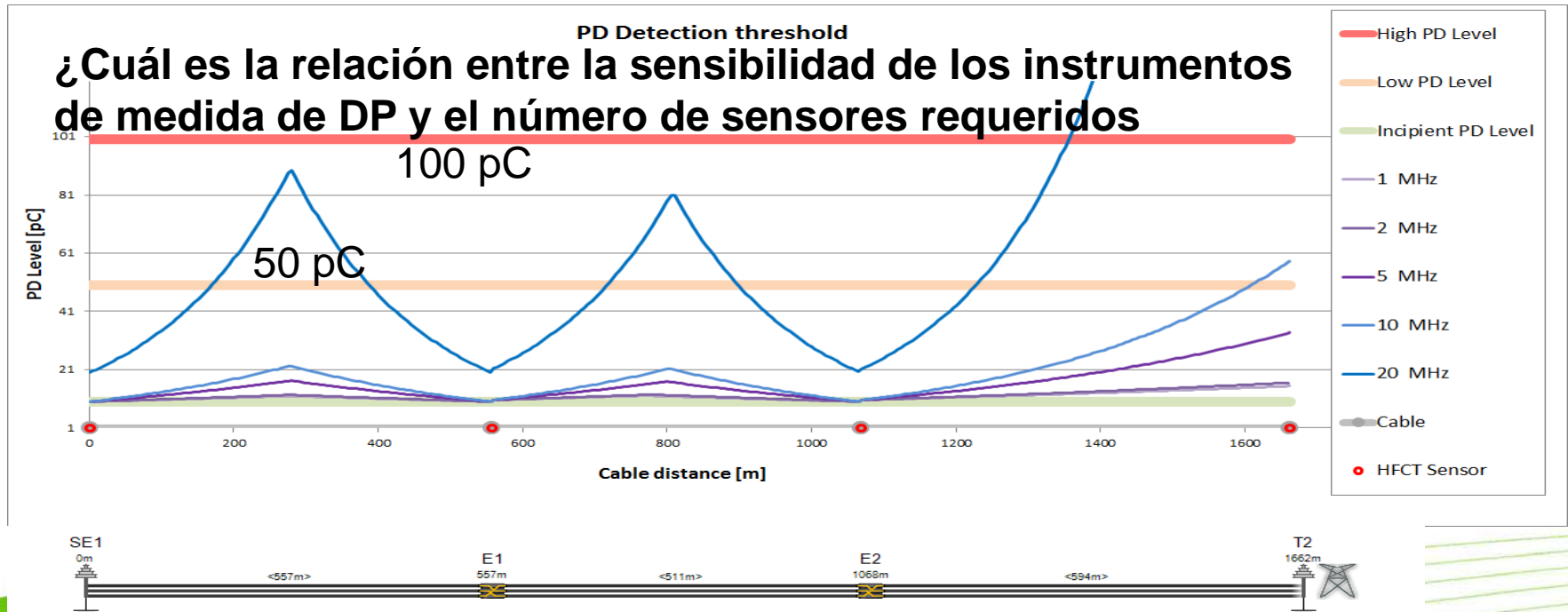


Sistema dinámico de detección de descargas parciales en líneas aisladas de AT utilizando el mínimo número de sensores – Fernando Garnacho

## 5. Casos de monitorización de DP

### Caso 4: Sistema de cable de 220kV conectado a subestación GIS y a línea aérea.

Monitorización de DP en un sistema de cable en configuración Cross-Bonding de 1,65km conectado a una subestación GIS y a una línea aérea mediante sensores HFCT instalados en cada accesorio del cable.



Sistema dinámico de detección de descargas parciales en líneas aisladas de AT utilizando el mínimo número de sensores – Fernando Garnacho

## 6. Conclusiones

- La medida de DP en el rango de HF (hasta 25MHz) es la manera más eficiente de monitorizar de forma continua sistemas de cables frente a DP (sensores HFCT).
- El nivel mínimo aceptable de sensibilidad, fruto de la experiencia medidas de campo, es 10pC para la calibración de DP con fuerte ruido de fondo (p.ej. 4000 pC  $f < 1$  MHz) e inmersas en un entorno de DP no críticas de gran amplitud (p.ej. corona de 100 pC).
- **Conocer la atenuación** de la señal en la monitorización del sistema del cable **es crucial** para decidir sobre la instalación de sensores HFCT.
- En sistemas de cable de AT  $d < 4$  km puede ser suficiente medir en las terminaciones (análisis previo).





# *GRACIAS*

*fgarnacho@lcoe.etsii.upm.es*

## **L.C.O.E.**

LABORATORIO CENTRAL OFICIAL  
DE ELECTROTECNIA