

***PRUEBAS Y DIAGNOSTICO  
A SISTEMAS DE CABLES  
DE MEDIA TENSIÓN  
USANDO EQUIPO  
RESONANTE DE AC***

Julio 05, 2014



- 1. CONCEPTOS Y DEFINICIONES.**
- 2. MÉTODOS DE PRUEBA.**
  - A. DC**
  - B. VLF**
  - C. DAC**
  - D. AC**
- 3. ¿POR QUÉ ANALISIS DE DP'S?**
- 4. SOLUCIONES.**



# CONCEPTOS Y DEFINICIONES.

¿Es lo mismo la **Prueba** y el **Diagnostico** de cables?

•**Diagnostico:** **Método predictivo** mediante el cual se evalúa el aislamiento del cable sin causar disruptiva en los puntos débiles existentes en dicho aislamiento

•**Prueba:** **Método preventivo** mediante el cual se busca causar la disruptiva en todos los puntos débiles críticos existentes en dicho aislamiento sometiendo al cable a una tensión determinada durante un tiempo específico (***Prueba de resitencia***)

## Métodos disponibles para la evaluación.

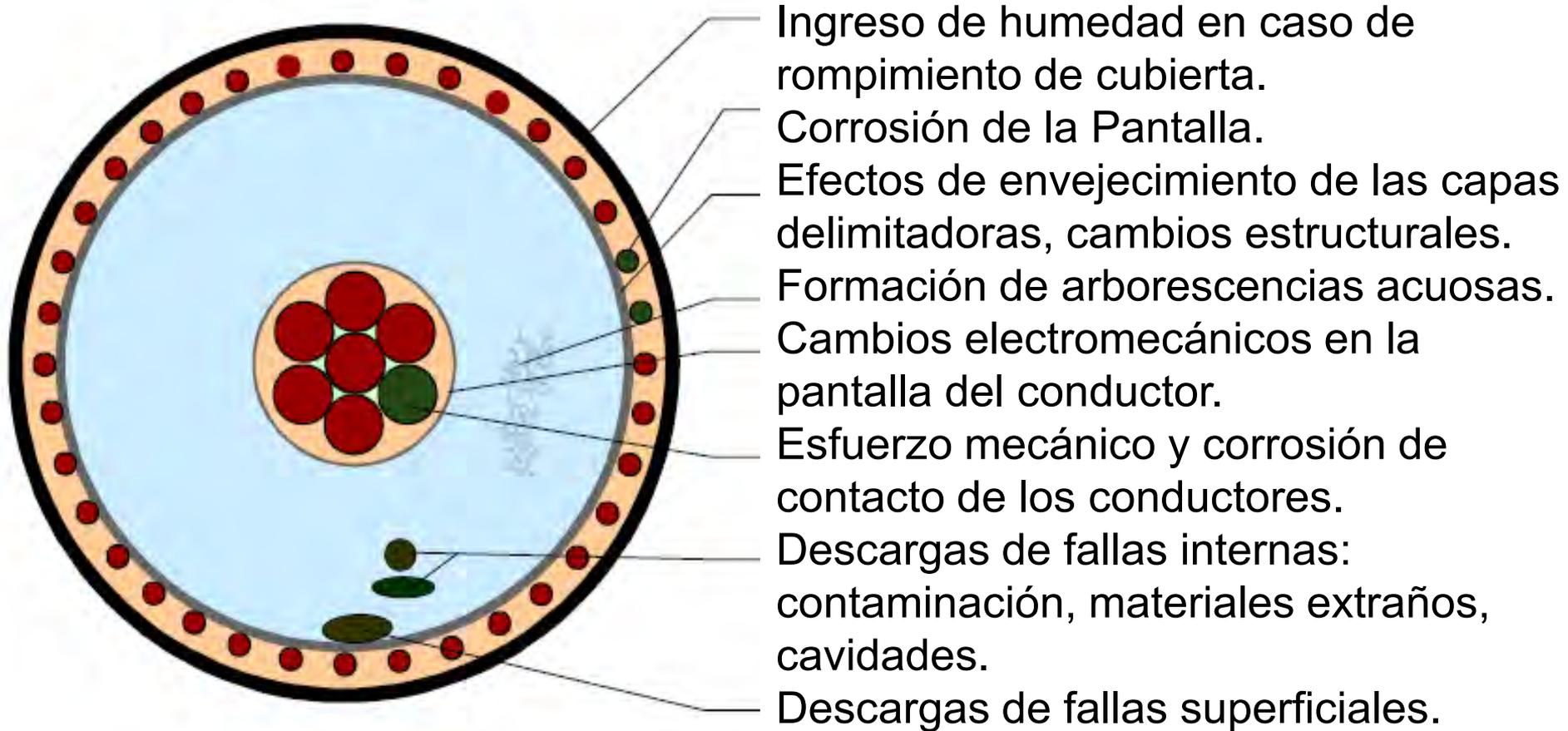
### ***Métodos Preventivos*, Métodos de prueba de resistencia (Pasa / No Pasa)**

Prueba de CD	Causa falla
Prueba de CA	Causa falla
Prueba VLF	Causa falla

### ***Métodos Predictivos*, Métodos de diagnóstico**

Prueba Tangente $\delta$	<b><i>Generalmente no causa falla.</i></b>
Prueba de descargas parciales	<b><i>Generalmente no causa falla</i></b>
Prueba de retorno de voltaje	<b><i>NO causa falla</i></b>
Corriente de relajación isotérmica	<b><i>NO causa falla</i></b>

## Deterioro Típico en Cables con Aislamiento Extruido.



## Definición de arborescencia acuosa y arborescencia eléctrica

### Arborescencia:

Canales huecos que crecen en forma de arbusto en el aislamiento de los cables los cuales pueden provocar fallas.

### Arborescencia acuosa:

Un tipo de deterioro en el aislamiento de un cable, que ocurre después de una larga inmersión en el agua con estrés eléctrico aplicado.

### Arborescencia eléctrica:

Desarrollo de canales en forma de arbusto las cuales ocurren cuando una arborescencia acuosa incrementa su estrés.

## Mecanismos de falla para dieléctricos sólidos (XLPE y EPR)

- Desarrollo de arborescencias acuosas (Lentamente, años)
- Transición en arborescencias eléctricas (semanas)
- Conversión en Falla (rápidamente, impredecible)

↪ *Métodos diferentes de prueba* detectan *diferentes tipos de daños*

*Los resultados de diferentes métodos proveen diferente información, los cuales se complementan !*

**Así progresa una ramificación de agua RA (Arborescencia) resultando en la falla del cable:**



***Nota:*** Solo una de las que podrían ser miles de RA necesita convertirse en una arborescencia eléctrica para causar la falla del cable.



## Normatividad

NORMA / GUÍA	DESCRIPCIÓN
IEC 60840	Cables de potencia con aislamiento extruido y sus accesorios para rangos de tensión desde 30 kV y hasta 150 kV; Métodos de prueba y requerimientos.
IEC 62067	Cables de potencia con aislamiento extruido y sus accesorios para rangos de tensión desde 150 kV y hasta 550 kV; Métodos de prueba y requerimientos.
IEC 60060-3	Técnicas de Prueba de Alto Voltaje – Parte 3. Definiciones y requerimientos para pruebas en sitio.
IEEE 400	Guía para pruebas en campo y evaluación del aislamiento de Sistemas de Cable de Potencia Blindados con rangos de tensión desde 5 kV.
IEC 60502	Cables de Potencia con aislamiento extruido y sus accesorios para rangos de tensión desde 1 kV y hasta 30 kV.

## Perspectiva General de Pruebas a Cables

### *Métodos de Prueba disponibles:*

- Prueba de CD
- Prueba VLF
- Prueba DAC (DAC = Onda de CA amortiguada)
- Prueba de CA (60Hz o 20...300Hz)

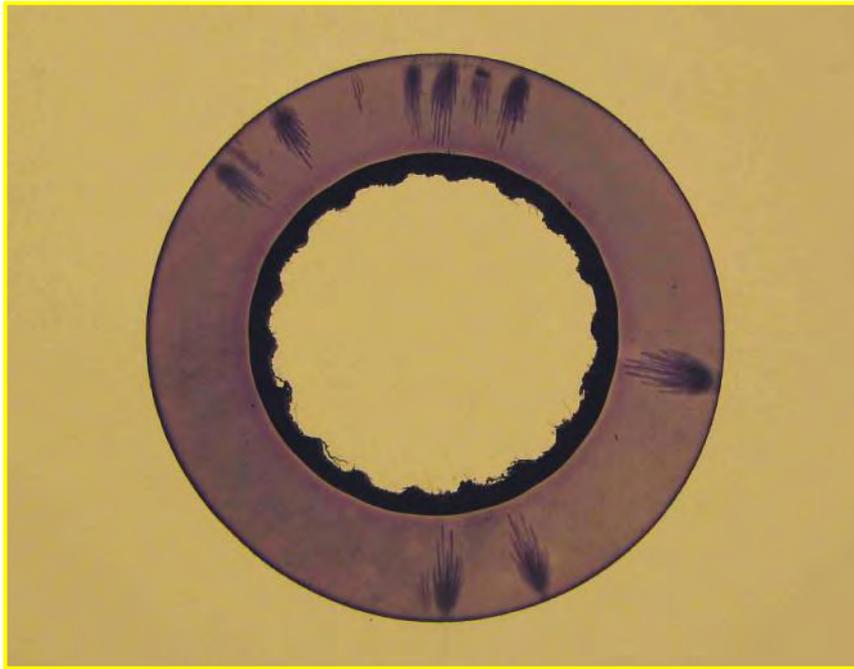
### *Más comúnmente usados:*

- Redes en MT -> Prueba VLF
- Redes de AT -> CA y Prueba DAC
- Prueba de CD únicamente en cables PILC

## Rechazo total a la Prueba de AT en C.D.

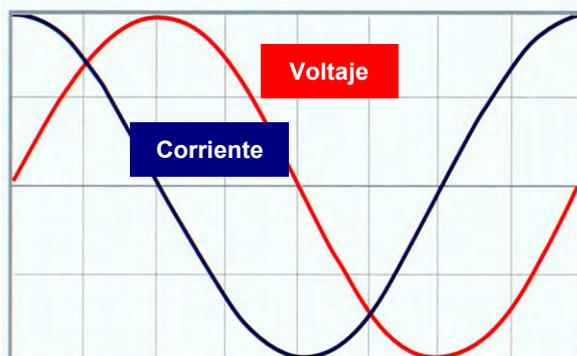
- **El cable no esta libre de fallas severas después de una prueba de Hipot de C.D.**
- **“La CD fatiga el cable sin detectar la falla.”**
- **La CD ya no es recomendada por IEC e IEEE en pruebas en campo para cables con aislamiento extruido.**

## Efectos del daño potencial de CD en cable de extrusión usado:



## ¿QUE ES LA PRUEBA VLF?

El método de prueba a muy baja frecuencia *utiliza una señal de CA con una frecuencia de 0.1 Hz.* En las prueba VLF el cable bajo medición debe soportar un nivel de tensión específico aplicado a través del aislamiento durante un periodo de tiempo determinado sin que suceda ningún rompimiento en el aislamiento. Si algún rompimiento ocurre el cable debe ser reparado y el aislamiento probado de nuevo hasta que pase la prueba de resistencia.



0.1Hz: 1 Ciclo tiene 10 segundos de largoooo.....

## PARAMETROS IMPORTANTES PARA LA PRUEBA VLF.

### A. Voltaje de prueba

Para la prueba VLF el voltaje de deberá ser  $3 U_0$  rms para cables nuevos y  $2.5 U_0$  rms para cables en servicio

### B. Duración de prueba

El tiempo de prueba recomendado varia entre 15 y 60 minutos.

El tiempo de prueba depende del sistema de cable, las condiciones del aislamiento, la frecuencia de las pruebas anuales y el método de prueba seleccionado.

### C. La capacidad requerida dependerá de :

- 1.- Tensión nominal del cable
- 2.- Calibre del cable
- 3.- Longitud del cable

## Damping Alternating Current (DAC)

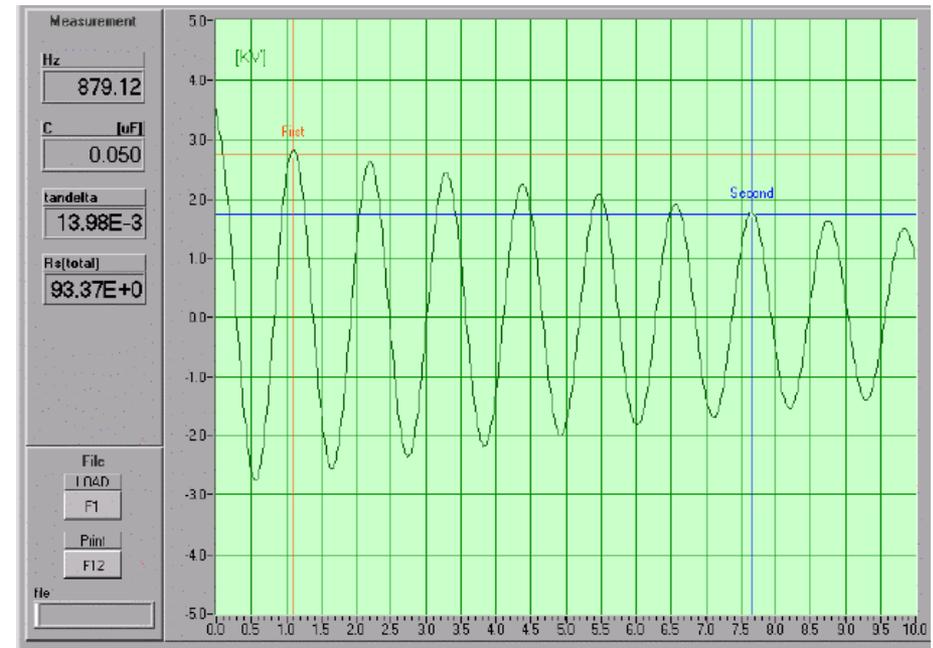
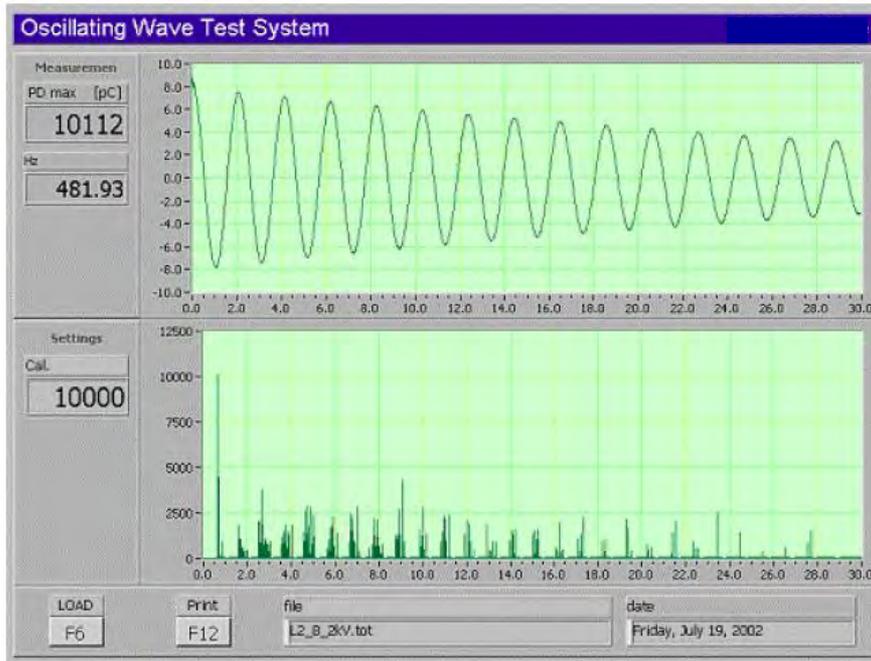
**Principio de funcionamiento de un circuito de Corriente Alterna Amortiguada.**

El objeto bajo prueba es cargado por algunos segundos a la tensión requerida y después es descargado por medio de un switch electrónico de alto voltaje y una bobina de núcleo de aire especialmente diseñada. Lo anterior crea una tensión en abatimiento oscilante, la frecuencia de oscilación que es determinada por la inductancia de la bobina con núcleo de aire y la capacitancia del objeto bajo prueba de acuerdo a lo siguiente:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Frecuencia de oscilación del voltaje de prueba

## Damping Alternating Current (DAC)



## Prueba de CA (60Hz o 20...300Hz)

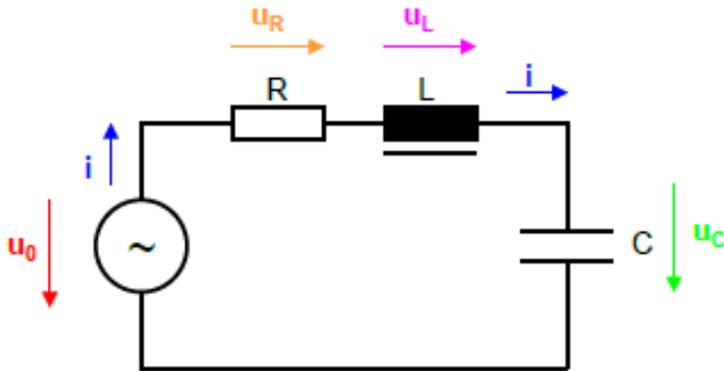
Demanda de Potencia a diferentes principios de prueba de AC.

Ejemplo: Prueba de una cable de 5 km (200 nF/km).  $U_{prueba} = 128 \text{ kV}$  (IEC 60840)

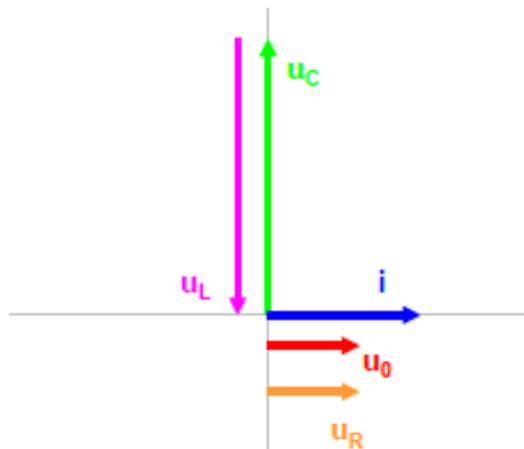
Principio de Generación de Voltaje	Frecuencia [Hz]	Corriente de Prueba [A]	Potencia [kVA]	Factor de Calidad	Potencia de Alimentación [kVA]
Transformador sin compensación	60	40.2	5146	1	5146
Transformador compensado	60	40.2	5146	5	1029
Circuito resonante serie con inductancia variable	60	40.2	5146	50	102.9
Circuito resonante serie con frecuencia variable	25	20.1	2573	120	21.4

## Prueba de CA (60Hz o 20...300Hz)

### El Circuito Resonante Serie



- Solo existe un valor de corriente  $i$  en cada punto del loop.
- En resonancia la fuente de alimentación libera una potencia real dada por  $U_0$  que esta en fase con la corriente  $i$ .
- Para una amplitud constante la potencia de alimentación debe ser igual a las perdidas  $|U_0| = |U_R|$ .
- El voltaje de prueba  $U_C$  esta desfasado  $-90^\circ$  con la corriente  $i$ .
- El reactor de voltaje  $U_L$  esta desfasado  $+90^\circ$  con la corriente  $i$  y desfasado  $180^\circ$  con respecto al voltaje  $U_C$ .



La potencia de alimentación  $P_0 = U_0 * i$  solo tiene que compensar las perdidas  $P_R = U_R * i$ .

La forma de onda de  $U_0$  no tiene influencia en la forma de onda del voltaje de prueba  $U_C$ .

El voltaje de prueba es generado por inducción en el reactor  $L$  por el paso de la corriente  $i$ .

## Ventajas y Desventajas de la Prueba de CD

### Ventajas

Ninguna.

Prueba solo aceptada para cables PILC.



### Desventajas

Prueba no aceptada para cables extruidos XLPE y XLP.

La prueba no aceptada para diagnostico no detecta fallas en los cables.

## Ventajas y Desventajas de la Prueba de VLF

### Ventajas

Equipos pequeños y de bajo costo.



### Desventajas

La prueba no reproduce los efectos de operación reales.

En combinación con prueba de DP no necesariamente provoca la evidencia de la falla.

Para pruebas de DP se requieren muchas técnicas de reducción de ruido.

La DP interna tiene muy bajo rango de repetición.

## Ventajas y Desventajas de la Prueba DAC

### Ventajas

Equipos pequeños de mediano costo.



### Desventajas

Su uso solo es recomendable para pruebas de diagnostico de DP.

No se recomienda para pruebas de tensión de aguante.

## Ventajas y Desventajas de la Prueba de AC 20...300 HZ.



### Ventajas

La prueba reproduce las condiciones reales de operación.

Equipos muy fáciles de instalar y utilizar.

Equipos ideales para realizar pruebas de tensión de aguante y diagnóstico de DP.

### Desventajas

Equipos de dimensiones medianas.

Equipos con un costo ligeramente mayor comparado con sus competidores.

## Comparación de Métodos, Normatividad.

Tipo de cable			DC	VLF 0.1 Hz	DAC 20...300 HZ	AC 20...300 Hz
MV (6...30 kV)	XLPE	Pba. de Instalación / Pba .de Aceptación	NO	SI *	SI *	SI
		Pba. de Mantto / Pba. de Diagnostico	NO	SI *	SI *	SI
	PILC	Pba. de Instalación / Pba .de Aceptación	SI	SI	SI	SI
		Pba. de Mantto / Pba. de Diagnostico	SI	SI	SI	SI
(E) HV (30...400 kV)	XLPE	Pba. de Instalación / Pba .de Aceptación	NO ***	NO **	SI	SI
		Pba. de Mantto / Pba. de Diagnostico	NO ***	NO **	SI	SI
	Llenos de Aceite	Pba. de Instalación / Pba .de Aceptación	SI	NO **	SI	SI
		Pba. de Mantto / Pba. de Diagnostico	NO	NO **	SI	SI

Internacionalmente NO Recomendado

Internacionalmente Recomendado

\* La tensión de Inserción de la Descarga Parcial (PD) puede ser diferente comparada con AC (20...300 Hz)

\*\* De acuerdo con

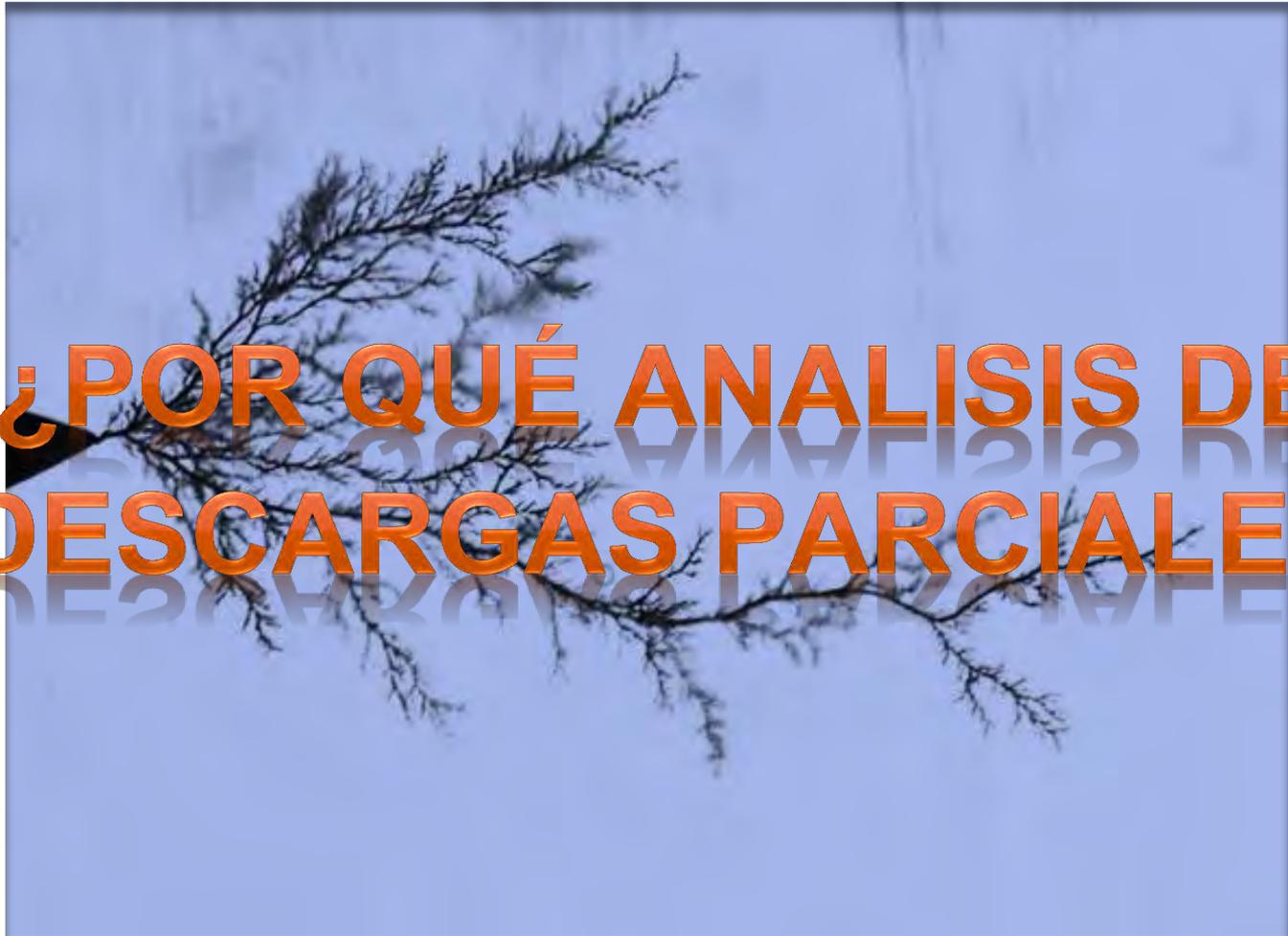
- (1) IEC 60840 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (Um = 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV) Test methods and requirements
- (2) IEC 62067 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV (Um = 170 kV) up to 500 kV (Um = 550 kV) Test methods and requirements

\*\*\* De acuerdo con

- (3) Recommendations for a new after laying test method for HV extruded cable systems CIGRE 1990, Paris, paper 21-105
- (4) CIGRE WG 21-09; After-laying test of HV extruded cable systems; Elektra 173, August 1997

## Comparación de Métodos, Efectividad de la Prueba de Tensión de Aguante.

Tensión de Prueba	DC	VLF (0.1 Hz)	DAC (20...300 Hz)	AC (20...300 Hz)
Distribución de Tensión Rompimiento Dieléctrico Uso Tensión de Aguante / Prueba DP	Resistivo Como Tensión DC NO / NO	Resistivo al defecto Similar a la DC Ambas condicionadas	Capacitivo Como tensión Oscilante NO / SI	Capacitivo Como Tensión AC SI / SI
Principal Aplicación	Solo aplica para prueba de cables PILC	Diagnóstico, especialmente para arborescencias acuosas en cables de MT	Diagnóstico de DP's en cables de MT	Multi-proposito, Diagnostico y prueba de cables de MT incluye maquinas rotativas
Disponibilidad  Peso / Precio	Amplio Número de Unidades  Ambos muy bajos	Amplio Número de Unidades  Ambos relativamente bajos	Singular Número de Unidades  Ambos relativamente bajos	Solo algunas Unidades  Ambos ligeramente altas
Conclusión	Solo aplica para prueba de cables PILC	Amplia experiencia, pero físicamente cuestionable	Solo aplicable para prueba de DP's	Recomendada para ambas, prueba de tensión de aguante y Prueba de DP's.



# ¿POR QUÉ ANALISIS DE DESCARGAS PARCIALES?

# ¿POR QUÉ ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES?

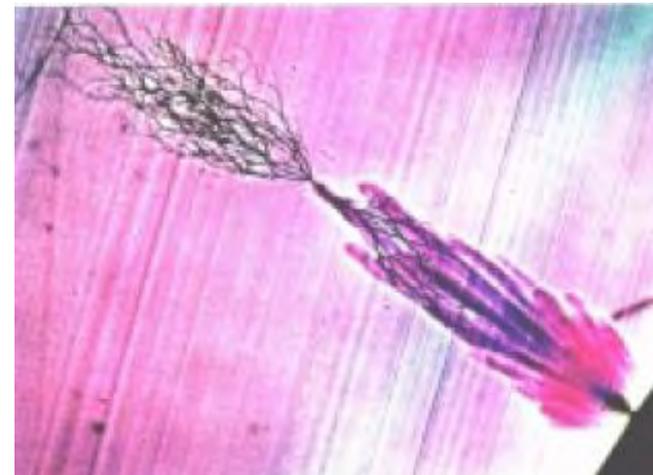


## Parámetros importantes.

**Nivel de DP:** Normalmente la carga del pulso máxima a  $U_0$  es usado como criterio de valoración.

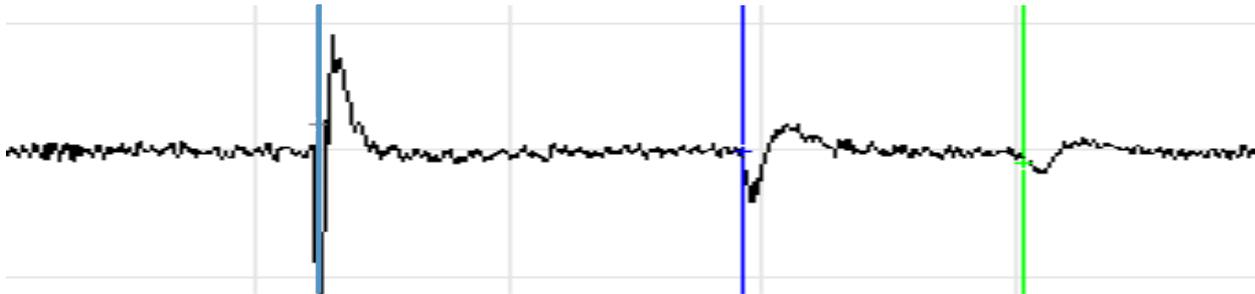
**$U_i$  Tensión de Comienzo de la DP:** Es determinada por el incremento continuo de la tensión aplicada al objeto bajo prueba,  $U_i$  es la tensión a la cual la DP comienza a medirse.

**$U_e$  Tensión de Extinción de la DP:** desde que la DP brota a menudo muestra una respuesta de histéresis referente a la tensión de comienzo y de extinción, por ejem. La PD en el lugar de ignición es a menudo solo extinguida debajo del voltaje de inicio de PD.

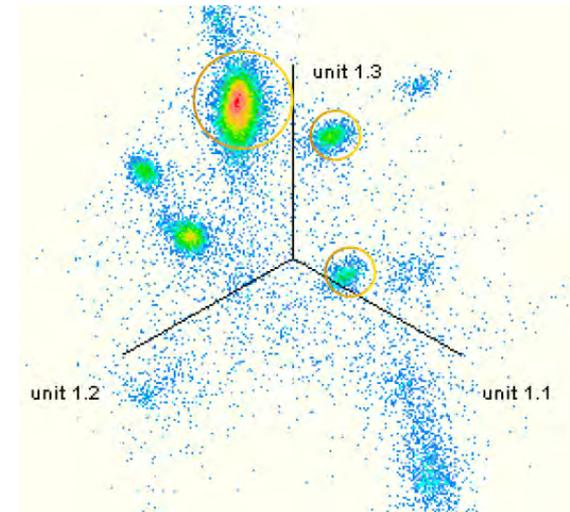


## Parámetros importantes.

Localización precisa de falla de DP en cable.



Caracterización de la DP.





# SOLUCIONES PROPUESTAS.

## Sistema de Prueba Resonante de AC para Pruebas en sitio y Diagnostico Off-Line de Cables de Media Tensión



**La aplicación del sistema cubre un amplio rango de cables de MT desde 5 kV hasta 36 kV. La corriente de prueba del sistema tiene la capacidad de probar cables con capacitancias de mas de 4  $\mu$ F. Esto corresponde alrededor de 15 km de cable. El sistema es complementado con un sistema de detección y localización de descargas parciales. Esto ofrece una comparación directa entre las pruebas de fabrica y las pruebas en sitio y transfiere el valor de los datos de las pruebas en fabrica a sitio.**



El sistema de prueba descrito proporciona una frecuencia de prueba de  $f_{\min} = 20 \text{ Hz}$  y  $f_{\max} = 300 \text{ Hz}$ . La capacitancia del divisor esta diseñada como carga básica para la operación del sistema sin objeto de prueba. El sistema completo esta compuesto de:

**Reactor de AT.**

**Divisor de Tensión.**

**Transformador Excitador.**

**Unidad de Alimentación y Control que incluye:**

**Convertidor de Frecuencia**

**Micro-controlador**

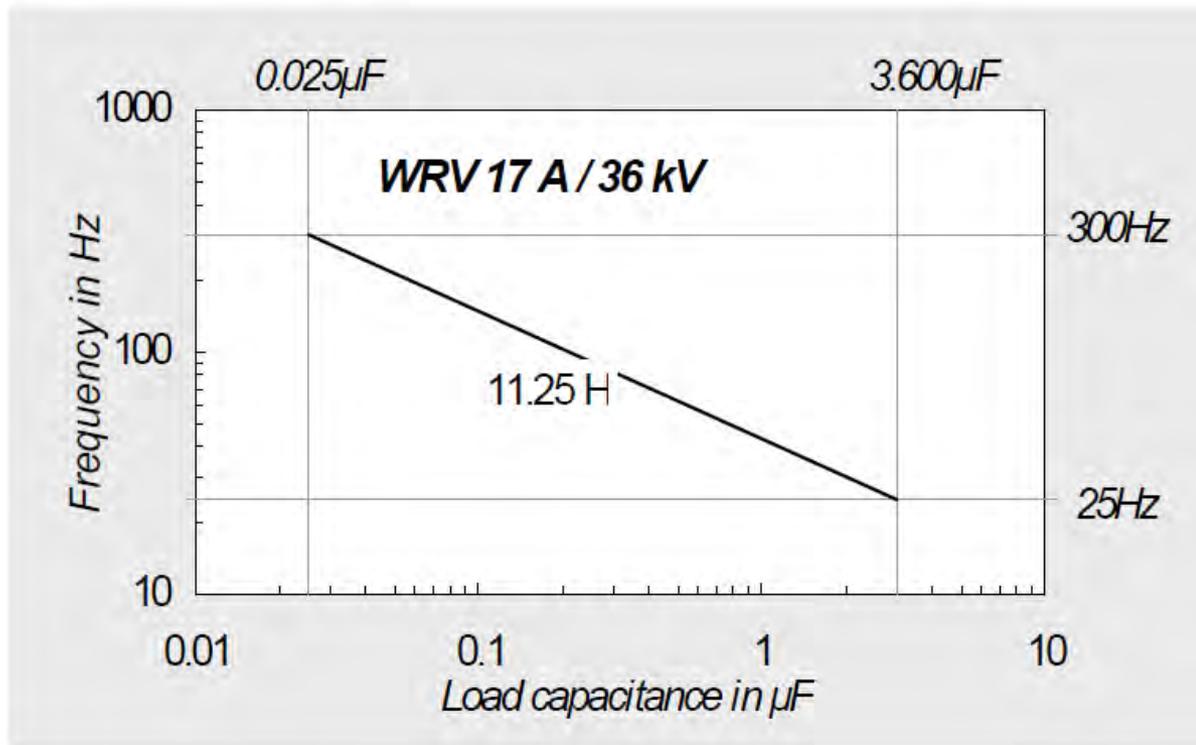
**Panel del operador**

**Voltmetro de Pico**

**Medidor de DP's**



## Grafica de la carga que puede proporcionar el equipo modelo WRV 17 / 36.



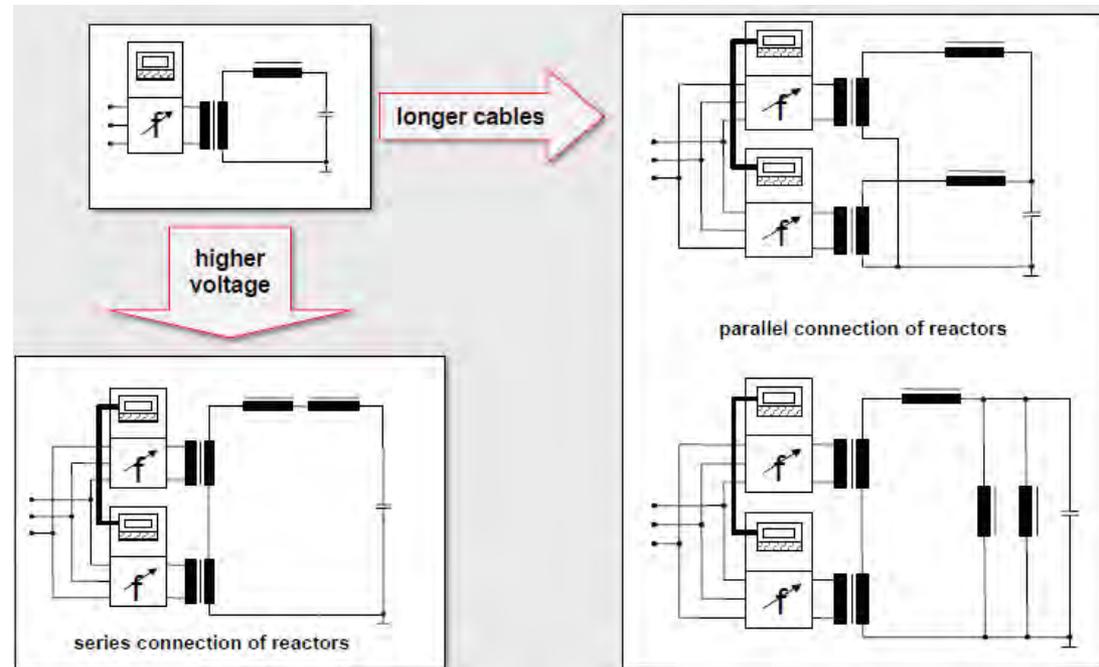
## Ventajas del Sistema de Prueba de Frecuencia Variable de AC

- La prueba simula las condiciones reales de operación.
- Adicional a la prueba de tensión de aguante se puede realizar la prueba de DP para aplicaciones de diagnostico.
- Los defectos de Descargas Parciales de cierta magnitud pueden ser localizados.
- El peso, el tamaño y la demanda de potencia del sistema WRV son las mínimas requeridas.
- Para sistemas que demanden una potencia o tensión mas altas dos sistemas se pueden conectar en paralelo o serie.



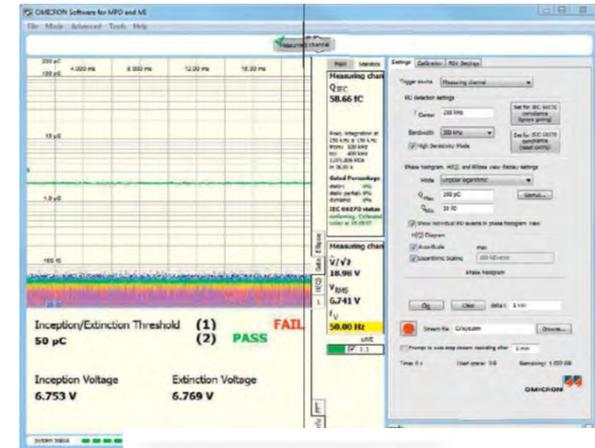
## Extensión de la Potencia y Tensión de Prueba del Sistema Resonante de AC

La combinación de dos sistemas WRV 12.5 A/50 kv permite pruebas en los siguientes rangos 72 kV / 17 A, 36 kV / 34 A y 18 kV 34 A. Esto es suficiente para probar capacitancias de mas de 8  $\mu$ F a 25 kV (correspondientes a aprox. 25 km de cable). Este tipo de sistemas están en operación en Pirelli Cables y Systems Delft. (Alemania).



## Características Sistema de Medición y Análisis de Descargas Parciales MPD 600

- > El sistema de Medición, análisis y reporte automático cumple completamente con la norma internacional IEC 60270.
- > Medición y registro de DP de modo síncrono multi-canal.
- > Excelente inmunidad a la interferencia para mediciones en condiciones adversas.
- > Operación segura por medio de la comunicación a través de fibra óptica.
- > Exactitud de medición muy alta por medio del procesamiento de datos totalmente digital.



## Recomendaciones para prueba de mantenimiento & diagnostico de cable extruido.

**Prueba AC (20...300 Hz) de acuerdo a las normas internacionales.**

**Prueba de PD y/o TD en todos los cables con años de uso.**

**Prueba a cubierta.**

**Programa de mantenimiento activo para mantener trincheras y ductos de cable secos.**

**Programa de mantenimiento que incluya pruebas periódicas a los sistemas de cables mas críticos.**















**!!MUCHAS GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN!!**