



# Cómo mejorar la fiabilidad de su maquinaria rotativa con pruebas en línea y fuera de línea

Erick Castillo (BDM OLMS LATAM)



# 100 YEARS OF SERVICE TO THE ELECTRIC UTILITY INDUSTRY

**1920** Doble Safety Portable Telephone

**1922-1923** Type A & B testers

**1928** Power factor test set

**1934** First Doble Client Conference

**1936** Frank Doble forms special ut committee

**1949** Type HI power factor test set

**1951** First Doble survey of electric insulating material vita

**1965** Morgan Schaffer established in Montreal, Canada

**1972** TR-1 circuit breaker motion analyzer

**1978** Doble acquires Justice Controls Corporation

**1982** Type F30735 series

**1987** TR3000 circuit breaker analyzers

**1989** AM100 circuit breaker monitor

**1990** Doble Test Assistant (DTA) software

**1993** MA000 high voltage apparatus tester

**1994** AMS-500 on-line dissolved hydrogen monitor

**2000** F4 series

**2001** Caloria "dissolved hydrogen & water monitor"

**2003** Doble Power Test opens in the UK

**2005** Mykiss "portable dissolved gas analyzer"

**2007** ESCO Technologies, Inc. acquires Doble Engineering Company

**2000** Intelligent Diagnostic Devices (IDD)

**2012** Xtensible

**2011** dobleAPMS™ asset risk management system

**2014** Condition monitoring system

**2013** M7100 high voltage asset analyzer

**2016** Transient Cyber Asset (TCA) program

**2017** ENOSERV

**2015** ENOSERV joins the Doble team

**2018** MANTA TEST SYSTEMS

**2017** NRG Systems joins Doble Utility Solutions Group

**2018** Manta Test Systems joins the Doble team

**2021** NRG Systems

**2021** ALTANOVA

**2021** Altanova joins the Doble team

**2021** PHENIX TECHNOLOGIES

**2021** Phenix Technologies joins the Doble team

# Soluciones para Prueba y Monitoreo



- Transformadores de potencia
- Disyuntores
- Interruptores aislada en gas AT
- Cables MT/AT/EAT
- Interruptores MT/BT
- Baterías
- Transformadores de corriente y de voltaje
- Relés de protección
- Medidores y transductores
- Máquinas rotativas
- Variadores de velocidad
- Líneas aéreas



## Equipo de Prueba Eléctrica

Esencial para las pruebas de mantenimiento diarias de los activos eléctricos. Útil en fases específicas del ciclo de vida de los activos:

- Procurar
- Operar
- Mantener
- Desmantelar.

## Servicios Profesionales

Oferta diversificada según el ciclo de vida del activo eléctrico:

- Instalación y puesta en marcha
- Prueba diagnóstica
- Análisis de datos
- Consultoría
- Entrenamiento.



## Sistemas de Monitoreo

Pasar de un mantenimiento basado en el tiempo a un mantenimiento basado en la condición.

Concéntrate en el mantenimiento predictivo y cambie el enfoque del costo del valor de los activos eléctricos a los costos de interrupción de la red.

Fuerte evolución de la tendencia de digitalización en la industria energética.

# Diagnósticos MR



## Pruebas eléctricas de máquinas rotativas tradicionales:



# Diagnósticos MR

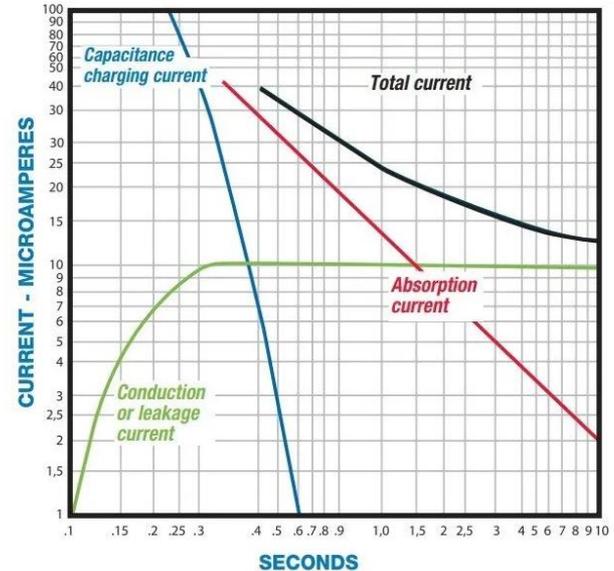
## Resistencia de Aislamiento (IR) & Índice de Polarización (PI)

|                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| <i>Objetivo</i>  | <i>Bobinados del estator</i> |
| <i>Sensores</i>  | <i>CA 6547</i>               |
| <i>Normativa</i> | <i>IEEE 43</i>               |

Pruebas rutinarias útiles para diagnosticar posibles contaminaciones y cortocircuitos, se realizan antes de la prueba de CA y la puesta en marcha.

IR depende de la temperatura en comparación con PI.

Eficiente en la detección de problemas relacionados con la superficie de los sistemas de aislamiento, menos sensibles a defectos internos o delaminaciones.



# Diagnósticos MR

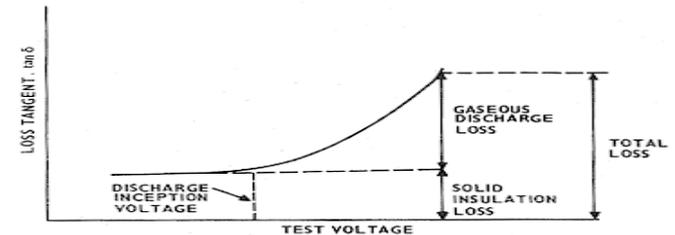
## TanDelta (TD) y Capacitancia

|                  |                                |
|------------------|--------------------------------|
| <i>Objetivo</i>  | <i>Bobinados del estator</i>   |
| <i>Sensores</i>  | <i>Doble M4100</i>             |
| <i>Normativa</i> | <i>IEEE 286/IEC 60034-27-3</i> |

La medición de las corrientes parásitas (o TanDelta) de los devanados del estator es un índice macroscópico del comportamiento del aislamiento sometido a esfuerzos con diferentes niveles de tensión.

Los valores inaceptables de TanDelta pueden deberse a:

- Humedad
- Deterioro de las capas semiconductoras, presencia de DP
- Cuñas sin apretar
- Contaminación del sistema aislante.



A vertical strip on the left side of the slide shows a close-up of electrical components, including a row of copper-colored terminals and a grey plastic housing with a circular opening.

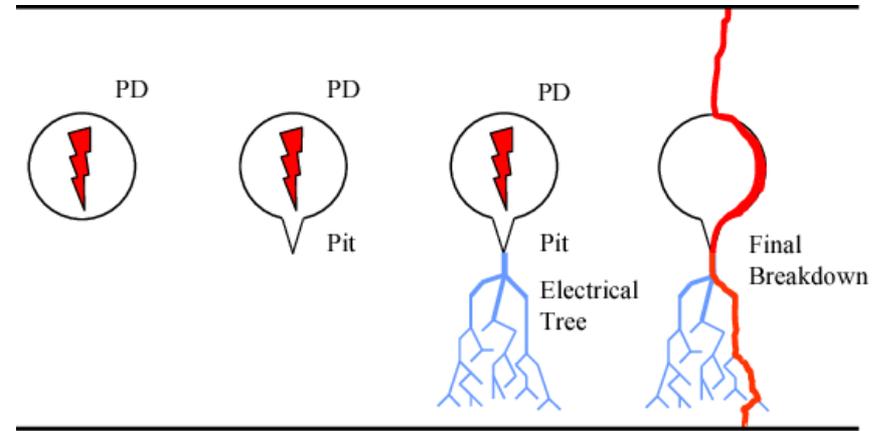
# PRUEBAS DE DESCARGAS PARCIALES (DP)

# Descargas Parciales y Máquinas Rotativas

## Definición de Descarga Parcial:

IEC: “Descarga eléctrica localizada que solo puentea parcialmente el aislamiento entre los conductores y que puede o no ocurrir adyacente a un conductor”

IEEE: “Descarga eléctrica localizada que solo puentea parcialmente el aislamiento entre los conductores”



# Descargas Parciales y Máquinas Rotativas

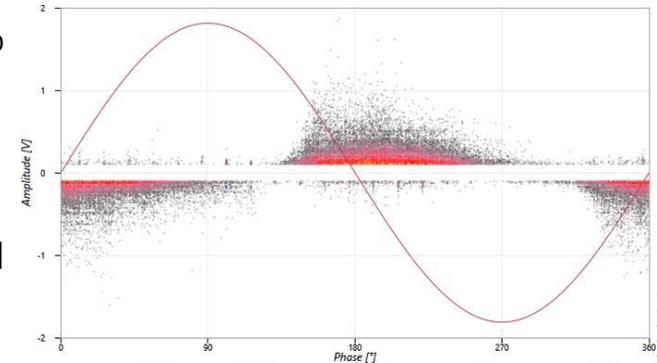
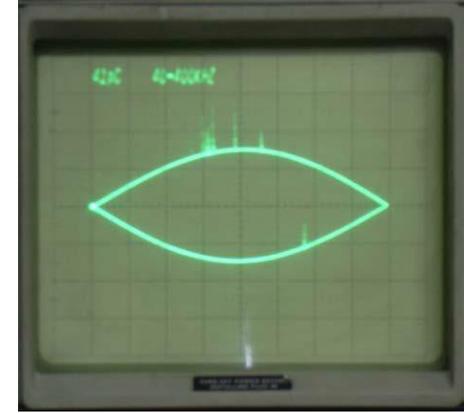


## Patrón de Descarga Parcial Resuelto en Fase (PRPD)

Cada fenómeno de DP genera miles de pulsos de DP por segundo. La forma común de visualizarlos es trazar la amplitud de los pulsos en correlación con el voltaje aplicado.

La correlación se basa en la física de la DP, el estrés eléctrico debido al voltaje aplicado activa la DP.

El reconocimiento de patrones de PRPD es la clave para el diagnóstico de la DP fuera de los laboratorios.



# Descargas Parciales y Máquinas Rotativas

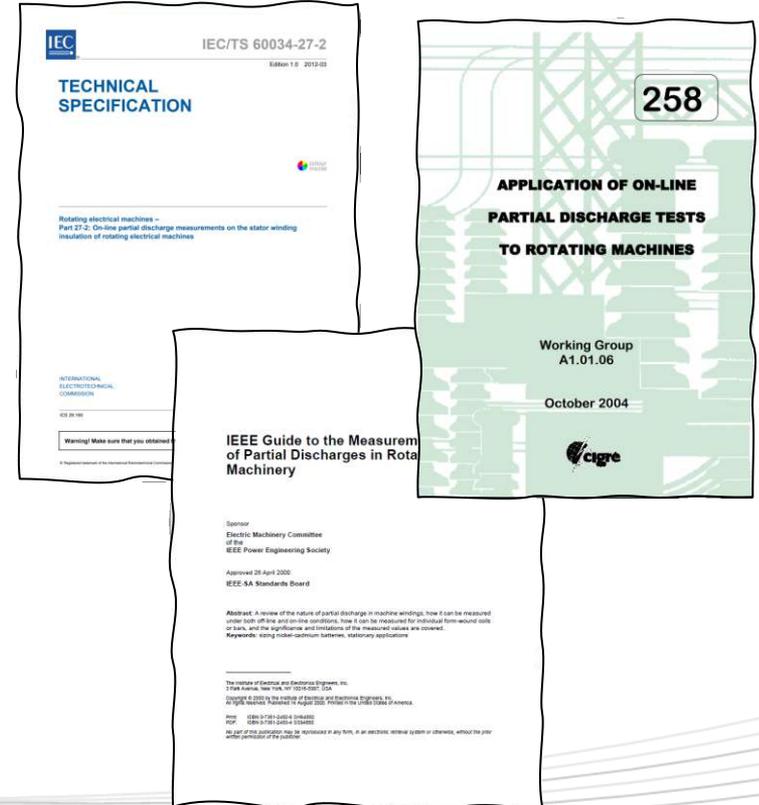


## Estándares de Prueba de DP en MR

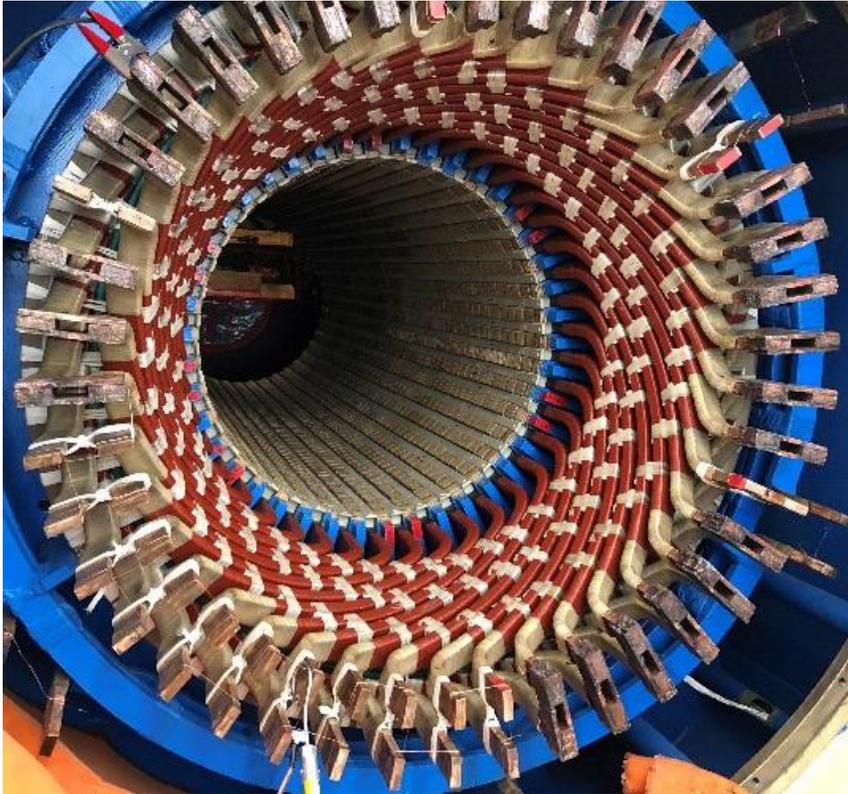
IEC 60034-27-2: *Mediciones en línea de descargas parciales en el aislamiento del devanado del estator de máquinas eléctricas rotativas*

IEEE 1434: *Guía para la medición de descargas parciales en maquinaria eléctrica de corriente alterna*

CIGRE 258: *Aplicación de ensayos on-line de descargas parciales a máquinas rotativas*



# Fenómenos de DP

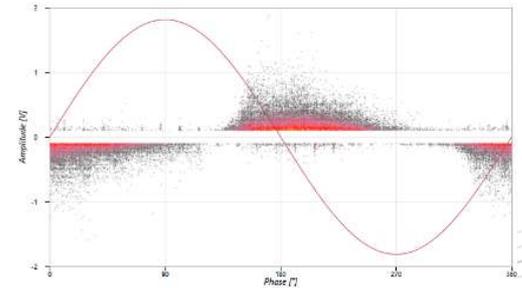
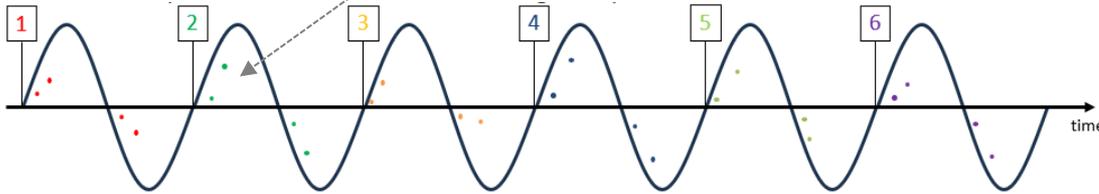
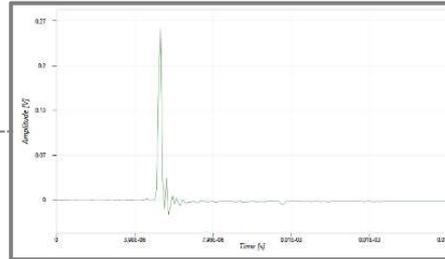


- Patrón y polaridad de PRPD
- Microvacíos
- Delaminación embebida
- Delaminación del lado del conductor
- Descargas en ranuras
- Descargas por graduación de estrés
- Barra a Barra / Barra a Tierra

## Patrón y polaridad de PRPD

El estudio del patrón PRPD es la clave del diagnóstico avanzado de las pruebas de DP, se requiere conocimiento para hacer una interpretación adecuada, así como adquirir buenos datos de DP.

- Amplitud de Pulso;
- Polaridad de Pulso;
- Ángulo de Fase.



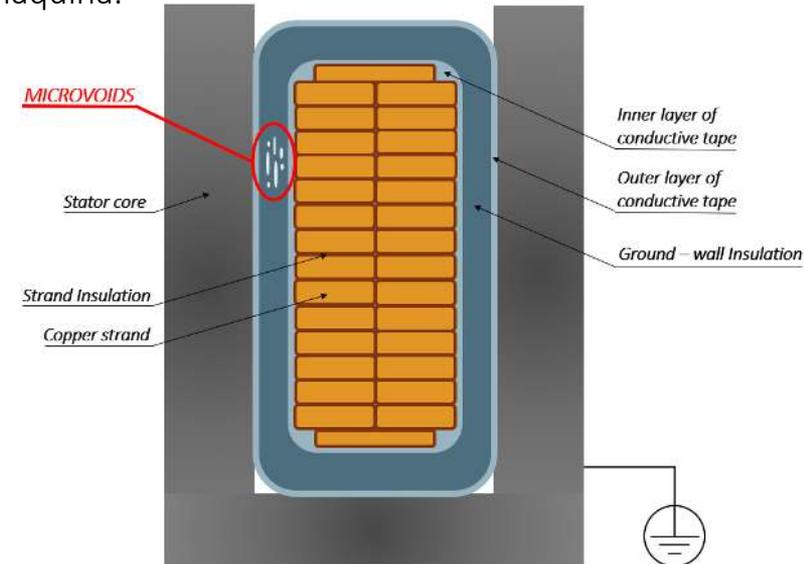
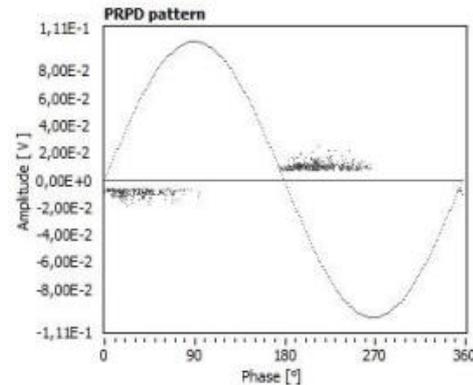
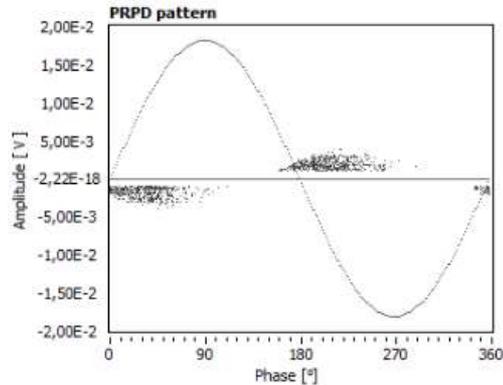
# Microvacíos

Defectos internos del aislamiento de la pared del suelo (láminas de mica), que consisten en pequeños vacíos. Se espera que este tipo de defecto esté presente en cualquier máquina debido a imperfecciones inevitables en el proceso de impregnación, desde el primer día de funcionamiento hasta el final de la vida útil sin reducir la vida útil esperada de la máquina.

## Características Típicas:

- ❑ Simetría DP + y DP-;
- ❑ Intervalos de ángulo de fase regulares;
- ❑ Magnitud baja;
- ❑ Forma triangular.

\*+/- se refiere a la amplitud del pulso, no al voltaje aplicado



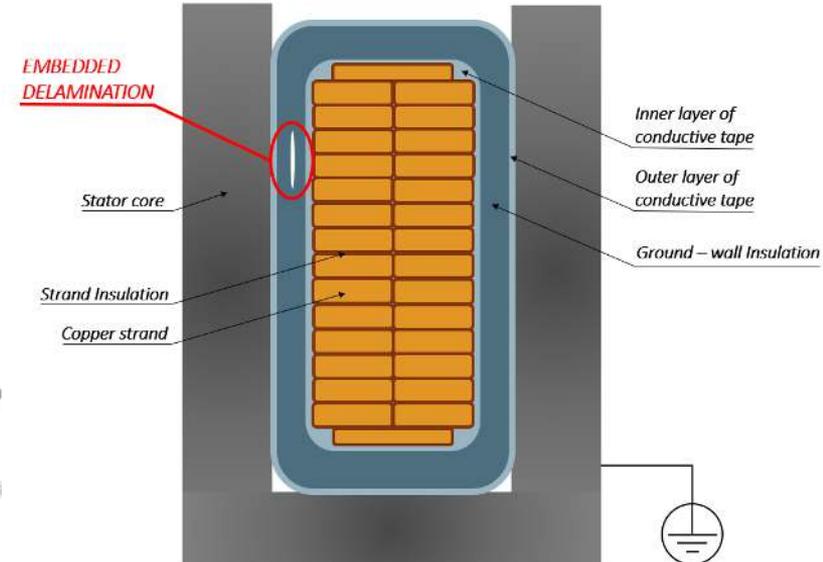
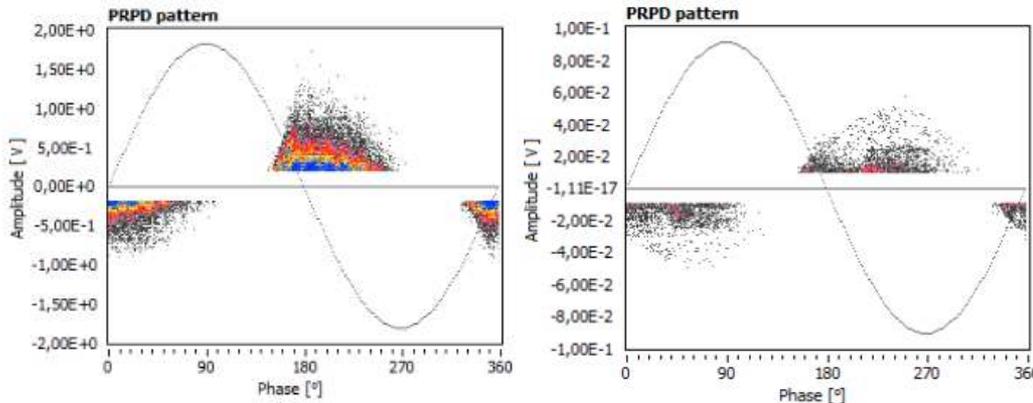
# Delaminaciones Embebidas

Desprendimientos entre láminas de mica dentro del aislamiento. Son vacíos planos causados por un curado imperfecto del sistema de aislamiento durante la fabricación o por un sobreesfuerzo mecánico o térmico durante el funcionamiento. Estas delaminaciones reducirán la conductividad térmica del aislamiento, lo que podría provocar un envejecimiento acelerado o una fuga térmica.

## Características Típicas:

- ❑ Simetría DP+ & DP-
- ❑ Grandes intervalos en ángulo de fase.
- ❑ Forma triangular.
- ❑ Comienza antes del cruce por cero

*\*+/- es referido a la amplitud del pulso no al voltaje aplicado.*



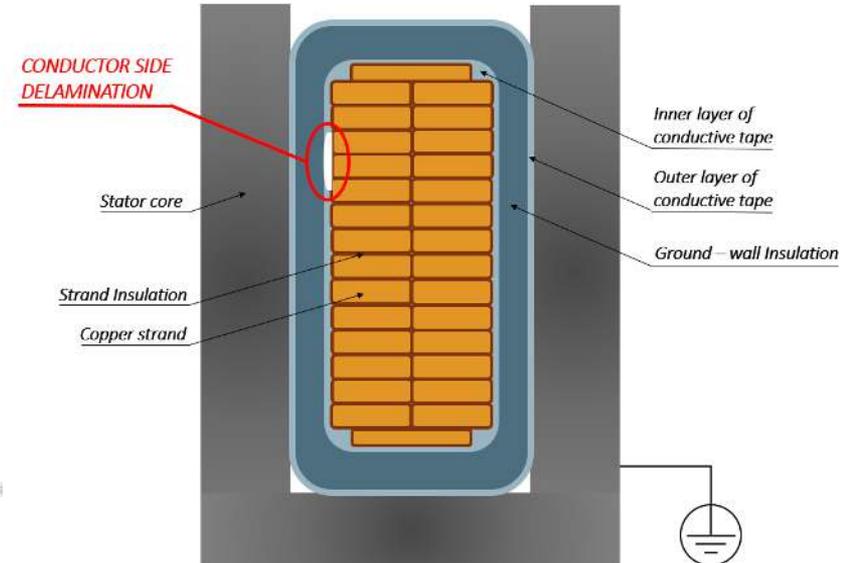
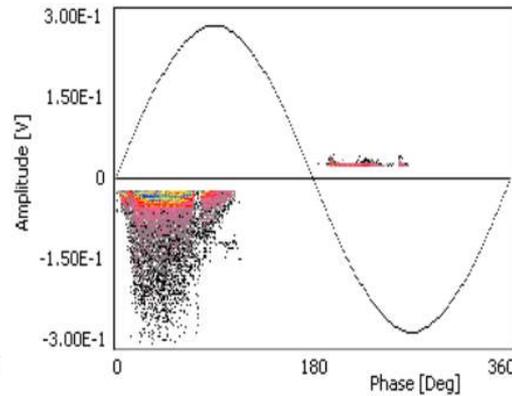
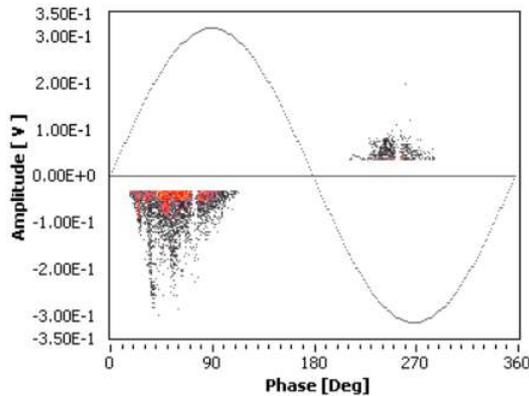
# Delaminación Lateral del Conductor

Desprendimientos del aislamiento del electrodo de alta tensión (parte de cobre de la barra). Estos defectos consisten en vacíos planos colocados entre el electrodo de alta tensión y el aislamiento. En cuanto a los empotrados, pueden provocar un sobrecalentamiento (punto caliente).

## Características Típicas:

- $DP- \gg DP+^*$
- Intervalos regulares en ángulo de fase.
- Magnitud desbalanceada.
- Inicio antes del cruce por cero

*\*+/- es referido a la amplitud del pulso no al voltaje aplicado.*

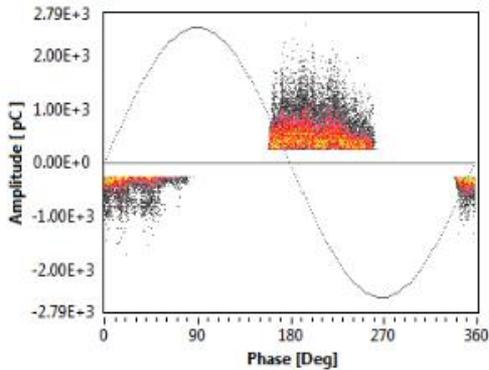


# Descargas a Ranuras

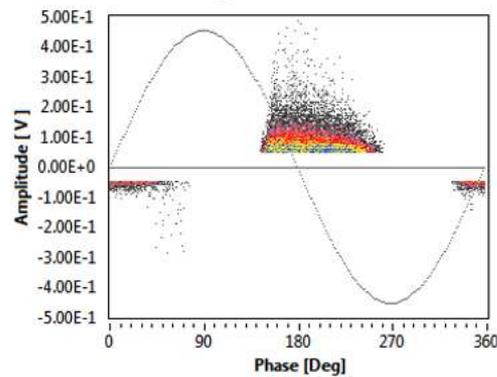
Descargas entre el recubrimiento de ranura semiconductor y el núcleo de hierro del estator. Se producen cuando el recubrimiento se daña debido al movimiento de la barra/bobina en la ranura, por ejemplo, por erosión, discontinuidades o contaminación química del recubrimiento.

Primero erosionan el recubrimiento semiconductor, luego el aislamiento.

Partial Discharge Pattern



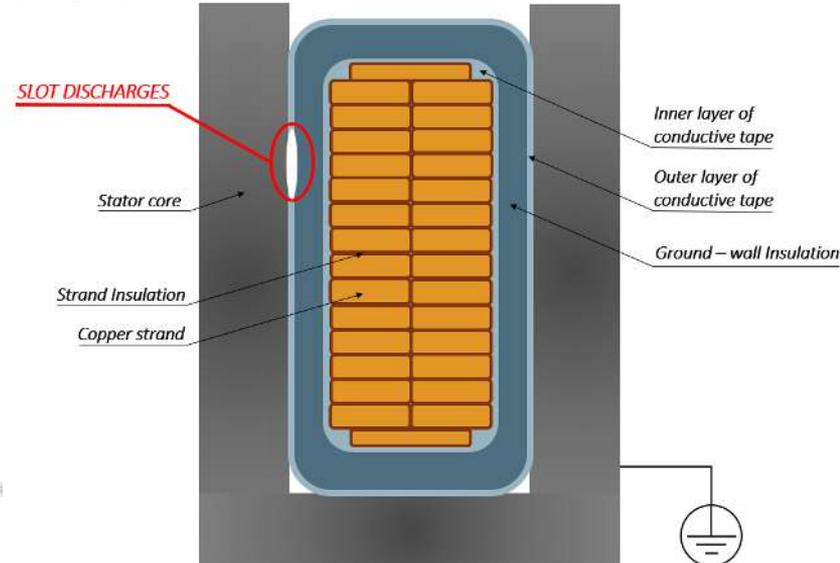
Partial Discharge Pattern



## Características Típicas:

- $DP+ \gg DP-^*$
- Intervalos regulares en ángulo de fase.
- Magnitud desbalanceada.
- Inicio antes del cruce por cero.
- Valores máximos en  $DP+ \approx$  cruce por cero

\*+/- es referido a la amplitud del pulso no al voltaje aplicado.



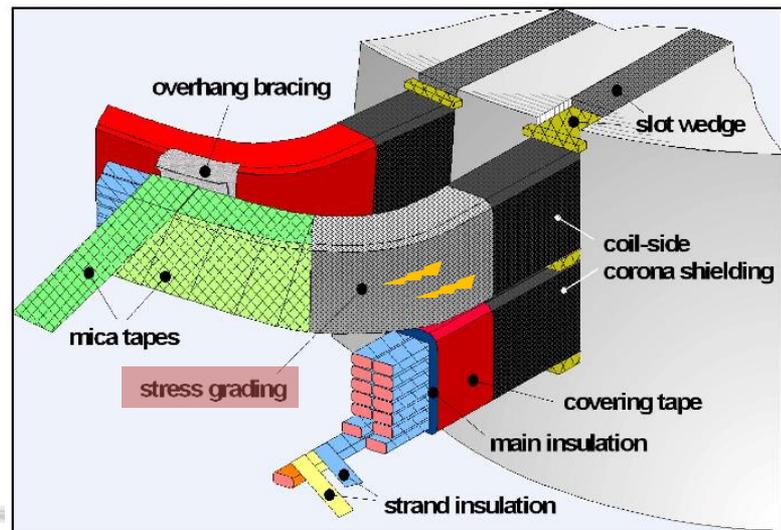
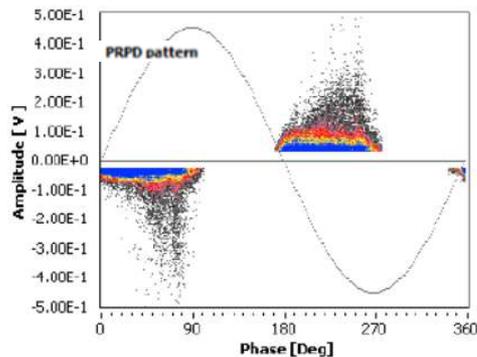
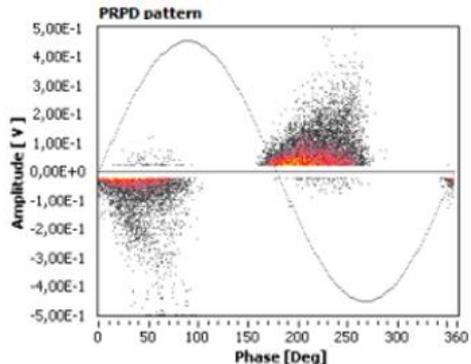
# Descargas en el Recubrimiento en el Graduador de Esfuerzos

Descargas que ocurren en la interfaz entre el revestimiento de la ranura semiconductora y el revestimiento de control de esfuerzos en la salida de la ranura en presencia de polución, contaminación o degradación. Normalmente, este es un mecanismo de falla lento, aunque el comportamiento de las DP puede cambiar rápidamente debido a los efectos superficiales.

## Características Típicas:

- $DP+ > DP-^*$
- Intervalos regulares en ángulo de fase
- Forma redondeada

*\*+/- es referido a la amplitud del pulso no al voltaje aplicado.*



# Descargas Barra a Barra / Barra a Tierra

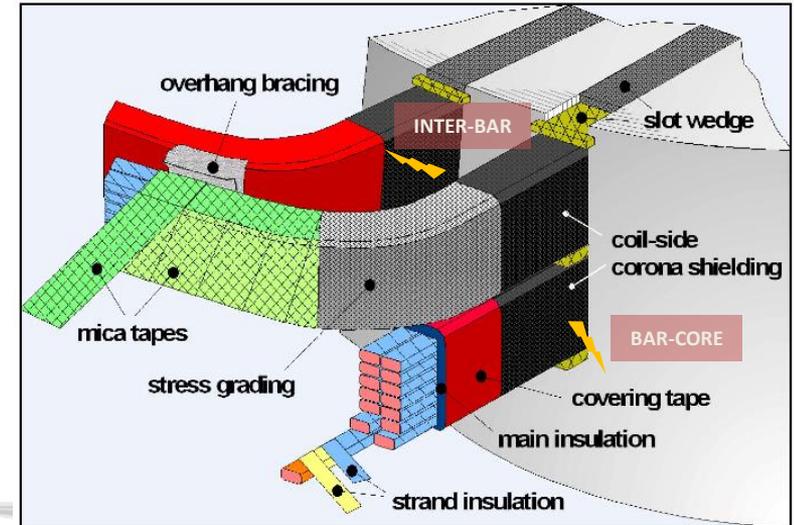
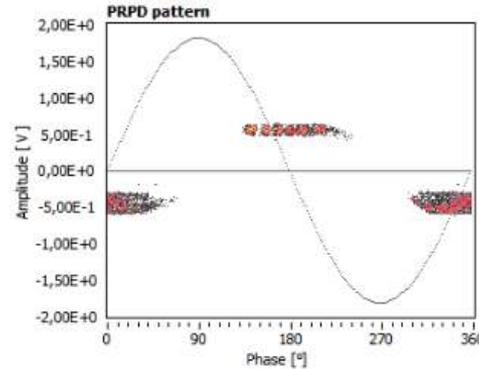
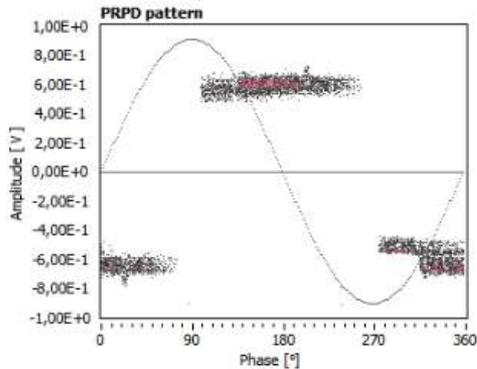
Estas descargas se producen en el entrehierro entre barras de diferentes fases, o entre la barra y tierra en voladizo por insuficiente separación.

Pueden deteriorar el sistema de aislamiento más rápido que las descargas de corona, lo que resulta en una ruptura de fase a fase/tierra.

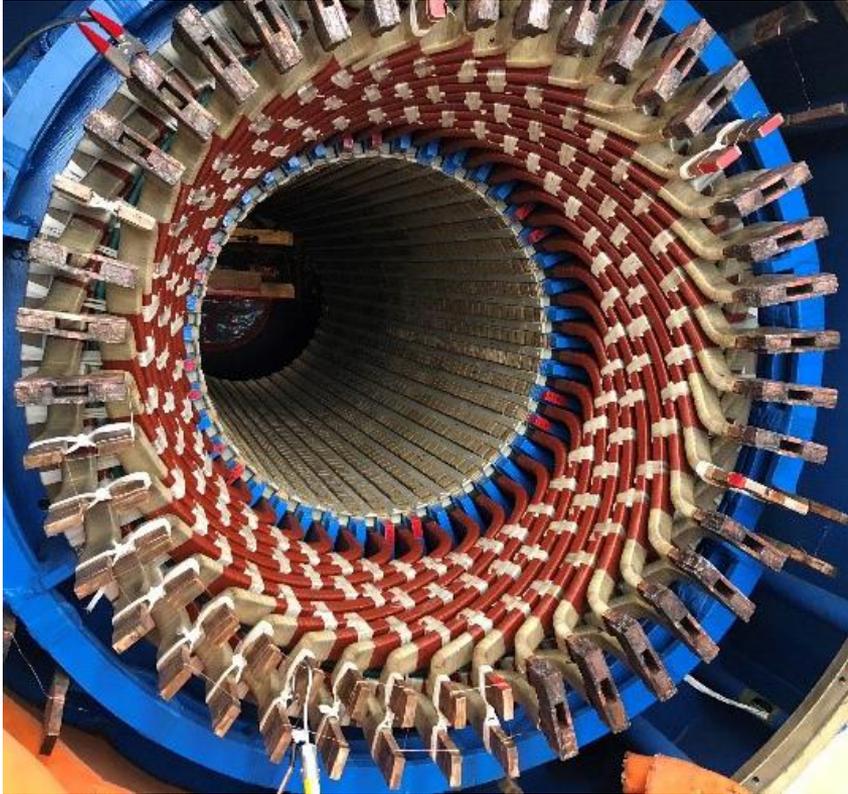
## Características Típicas:

- $DP+ \approx DP-$ ;
- Alta tasa de repetición;
- Formas «cuadradas»;
- Separado del nivel de disparo.

*\*+/- es referido a la amplitud del pulso no al voltaje aplicado.*



# Ruido y Perturbaciones



- Ruido y perturbaciones MR
- Excitatriz y Electrónica
- Diafonía (Crosstalk)
- Filtrado por Circuitería
- Filtrado por mapa Tiempo-Frecuencia

## Ruido DP y Perturbaciones en MR

Al probar un generador, es posible experimentar muchas señales de ruido diferentes que afectan el aislamiento debido al complejo sistema eléctrico involucrado, algunas de las perturbaciones de ruido pueden considerarse "clásicas" y reconocerse fácilmente: ruido del excitador, perturbaciones externas y diafonía.

- Perturbaciones no sincronizadas (excitación de grúa, operaciones de herramientas eléctricas, etc.);
- Perturbaciones sincronizadas (DP originadas en activos externos, malas conexiones eléctricas, etc.).

### El patrón PRPD permite:

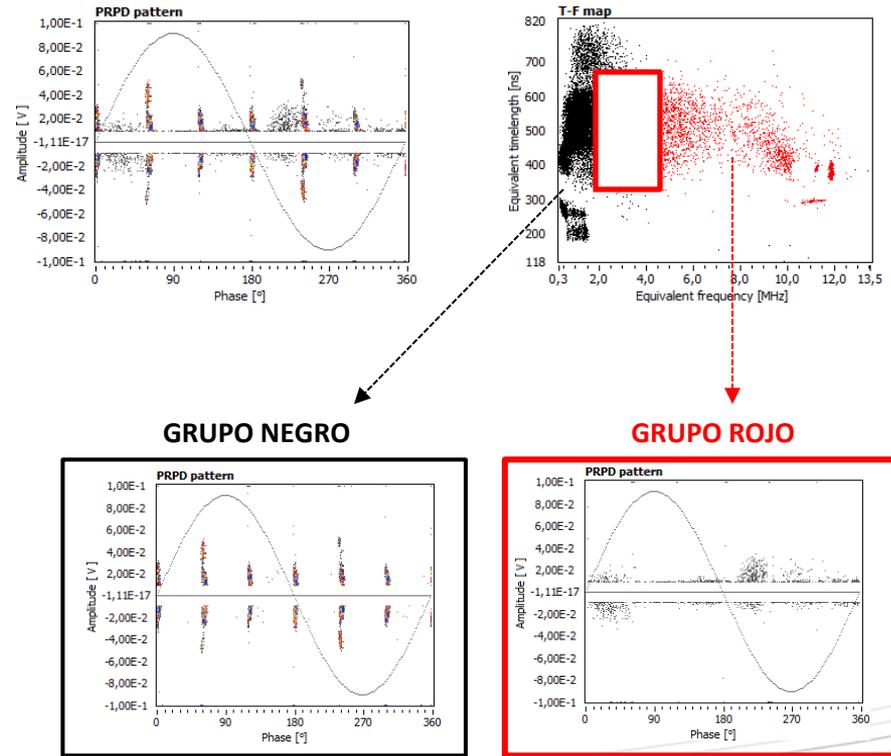
- ❑ *Reconocer señales correlacionadas con el voltaje;*
- ❑ *Identificar la correlación de la DP con las fases adecuadas;*
- ❑ *Identificar la diafonía.*

# Ruido y Perturbaciones

## Excitatriz & Electrónica

El ruido de la excitatriz puede ser muy molesto afectando las lecturas de amplitud y tasa de repetición de los pulsos.

La señal normalmente se caracteriza por un componente de baja frecuencia y puede ser filtrada por medio de filtros de hardware o por la herramienta de filtro TF.



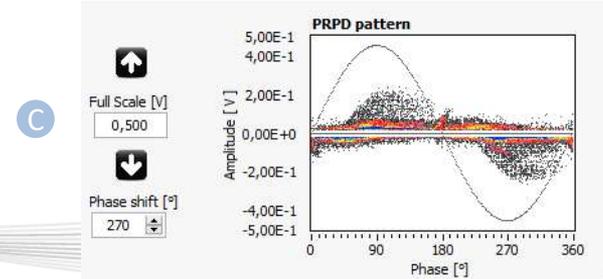
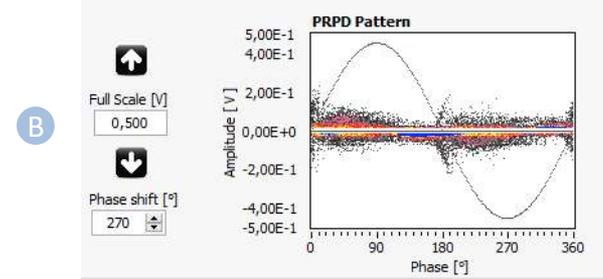
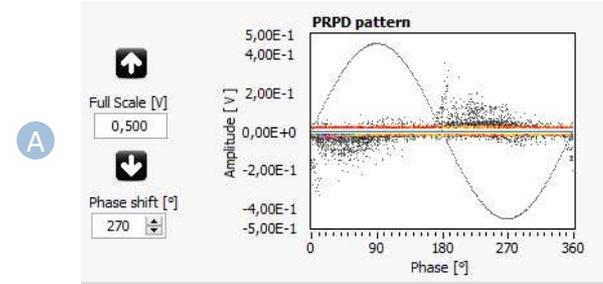
# Ruido y Perturbaciones



La diafonía es un fenómeno muy frecuente en MR ya que los devanados de las tres fases están muy cerca unos de otros.

Para determinar a qué fase pertenece el fenómeno de DP es necesario:

- Establecer el mismo cambio de fase para las tres fases;
- Revisar la amplitud;
- Comprobar la polaridad.

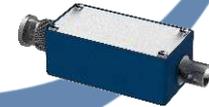
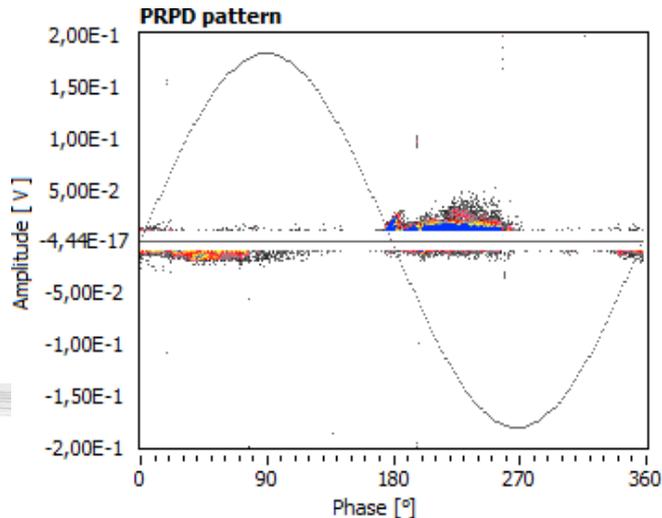
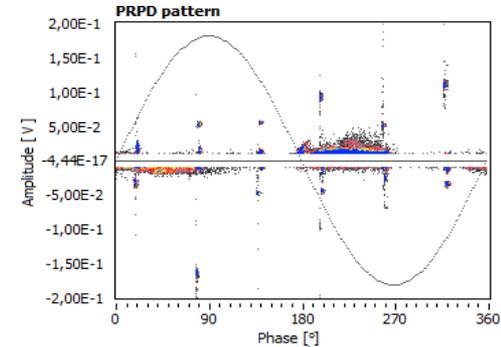


# Ruido y Perturbaciones

Filtrado por circuitería o hardware.

Es posible instalar dispositivos de acondicionamiento de señal a la salida del sensor para:

- Eliminar las perturbaciones de baja frecuencia;
- Eliminar las perturbaciones de alta frecuencia;
- Crear un filtro pasa-bandas o atenuar la señal existente



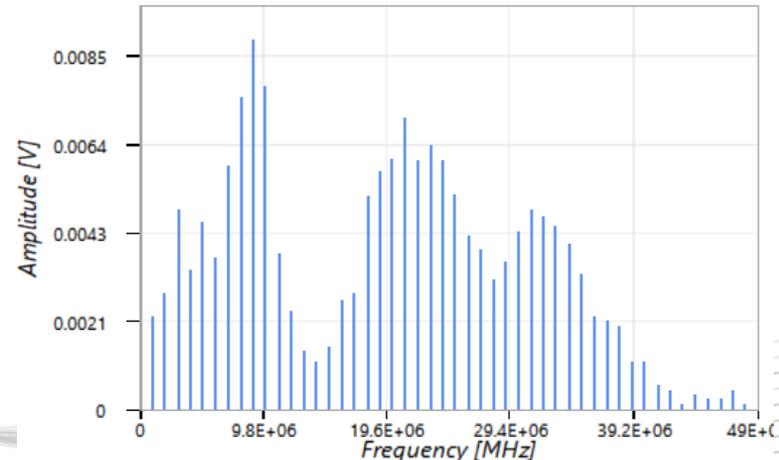
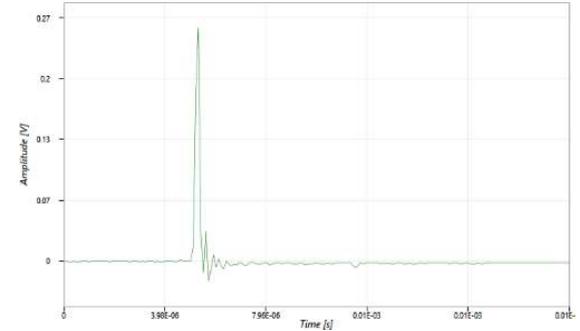
# Ruido y Perturbaciones



## Mapa de Tiempo-Frecuencia

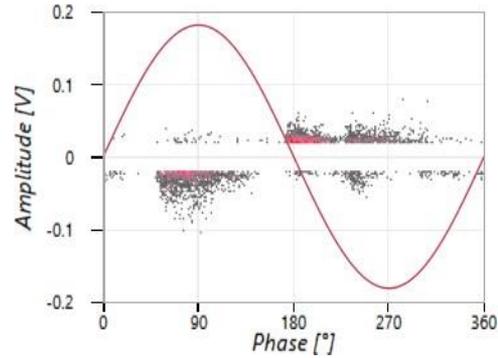
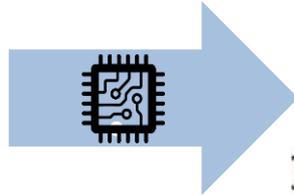
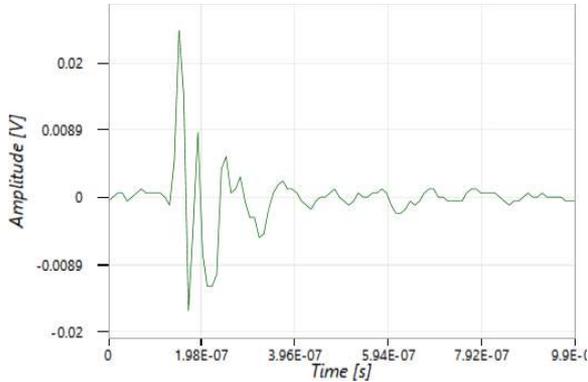
Cada segundo el instrumento PD adquiere miles de pulsos; es imposible visualizar y verificar un solo pulso de DP de alta frecuencia, las únicas dos informaciones guardadas son la amplitud y el ángulo de fase.

Es bien sabido que las señales de alta frecuencia se pueden estudiar a partir de su grafica de contenido de frecuencias, cada señal se puede visualizar con su espectro de pulso y dicha información se puede considerar como una huella digital de la señal.



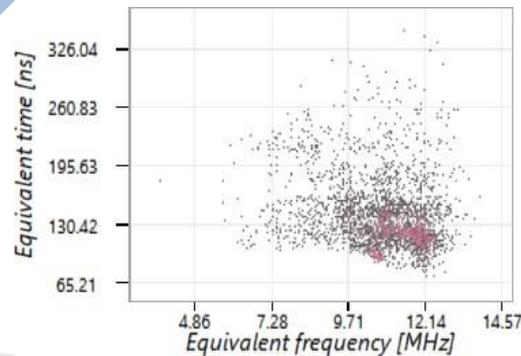
# Ruido y Perturbaciones

## Mapa de Tiempo - Frecuencia



*Amplitud de Pulso & Angulo de Fase*

→ Patrón DP Resuelto en Fase



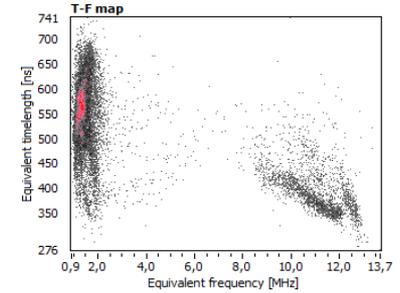
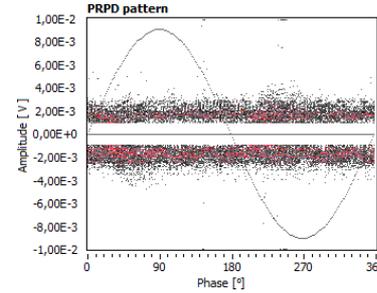
*Tiempo Equiv. & Frecuencia Equiv.*

→ Mapa Tiempo - Frecuencia

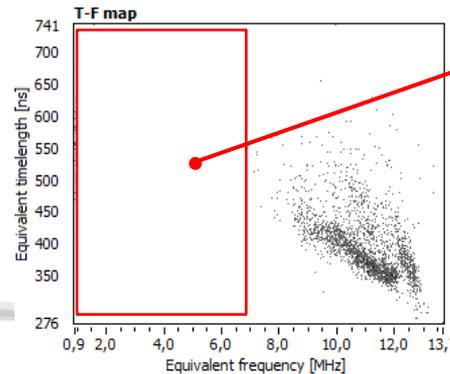
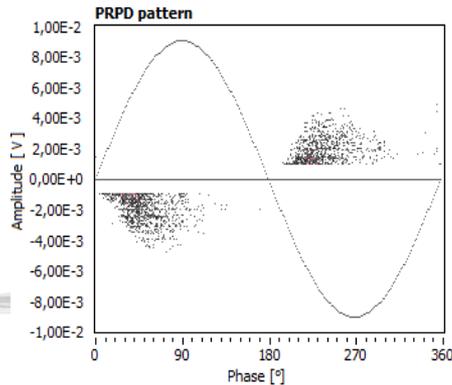
## Mapa de Tiempo - Frecuencia

Por medio de la huella de la señal de frecuencia de tiempo, podemos establecer áreas del mapa TF para que sean filtradas.

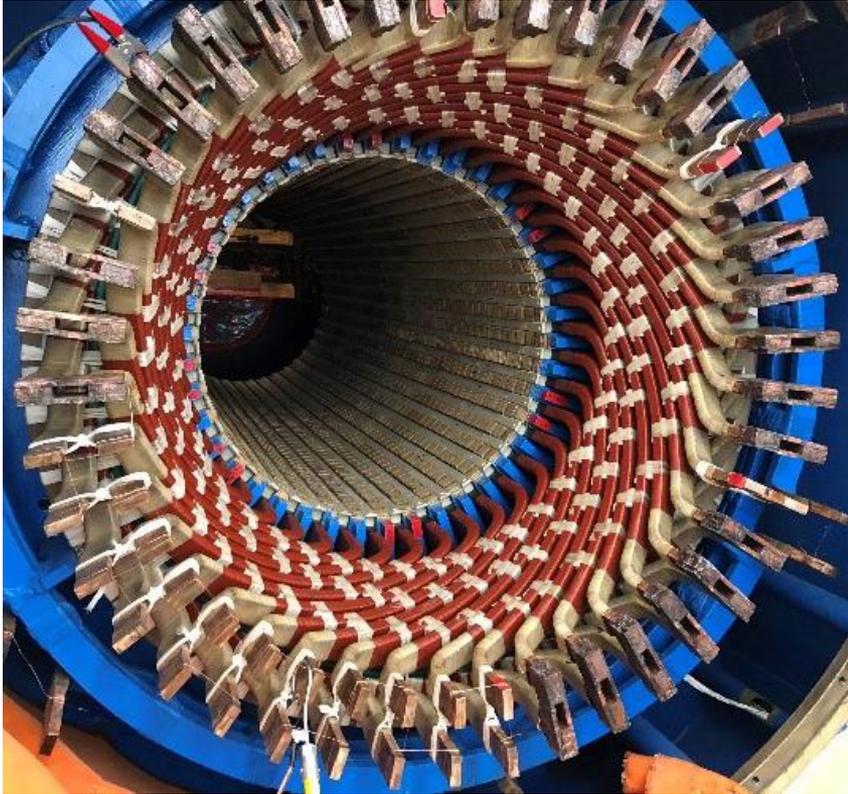
### ANTES



### DESPUÉS



*Filtros de software*



- Proceso de adquisición
- Conjuntos de datos
- Separación con mapa de Tiempo y Frecuencia
- Identificación de fenómenos individuales
- Tendencias

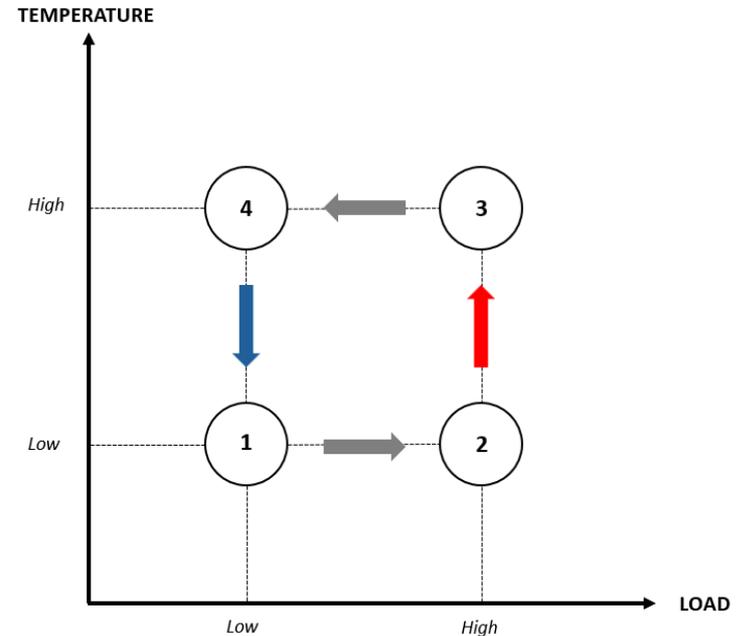
## Proceso de Adquisición

Durante el proceso de adquisición, una sesión de adquisición adecuada proporcionará los siguientes datos e información que se utilizarán durante el análisis:

- Datos de señales de DP de alta amplitud;
- Datos de señales de DP de baja amplitud;
- Parámetros de trabajo de la máquina (Carga y T).

Durante una sesión de DP también se sugiere utilizar:

- Diferentes lapsos de tiempo;
- Diferentes niveles de pre-disparo;
- Filtrado por circuitería (HW)

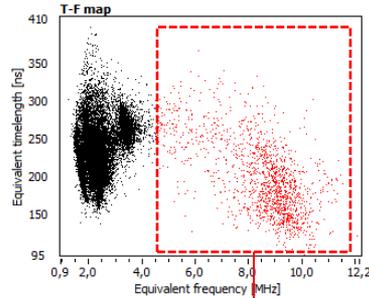
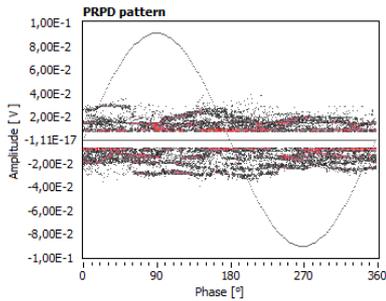


# Análisis DP

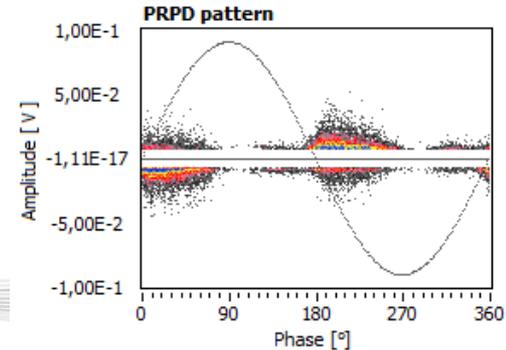
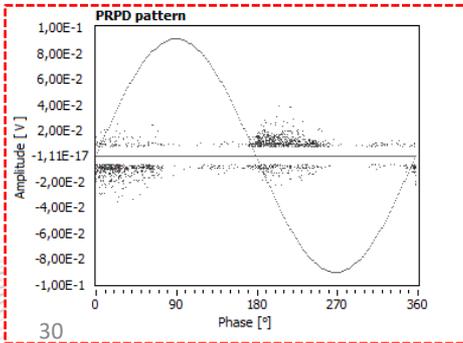
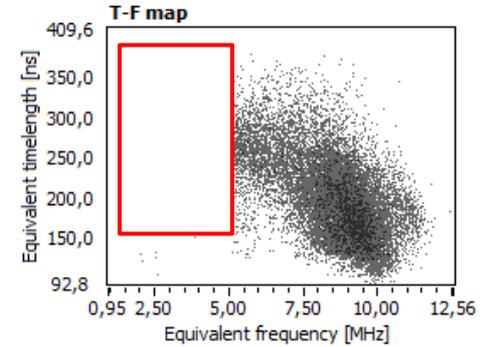


## Proceso de Adquisición

Las señales de DP se muestran clásicamente en función de la amplitud, si no se utilizan más herramientas de filtrado, la salida de medición de DP se enfocará solo en las señales de mayor amplitud.



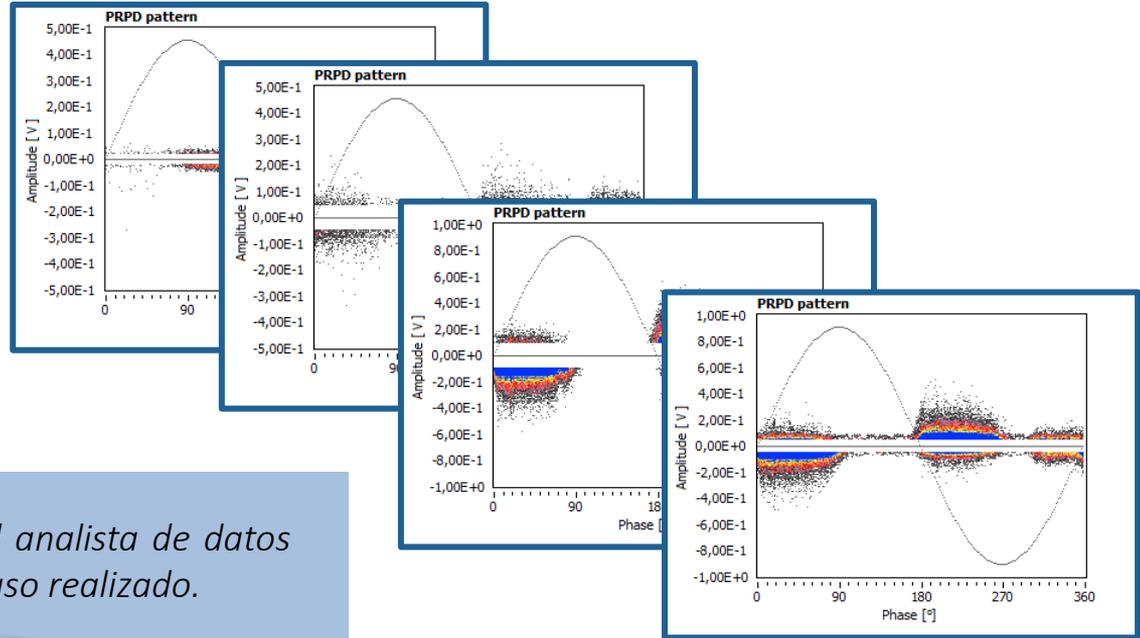
DESPUÉS DE FILTRAR



## Conjuntos de Datos (Data Sets)

Se sugiere no adquirir solamente un patrón PRPD sino un conjunto de datos (data set) completo incluyendo:

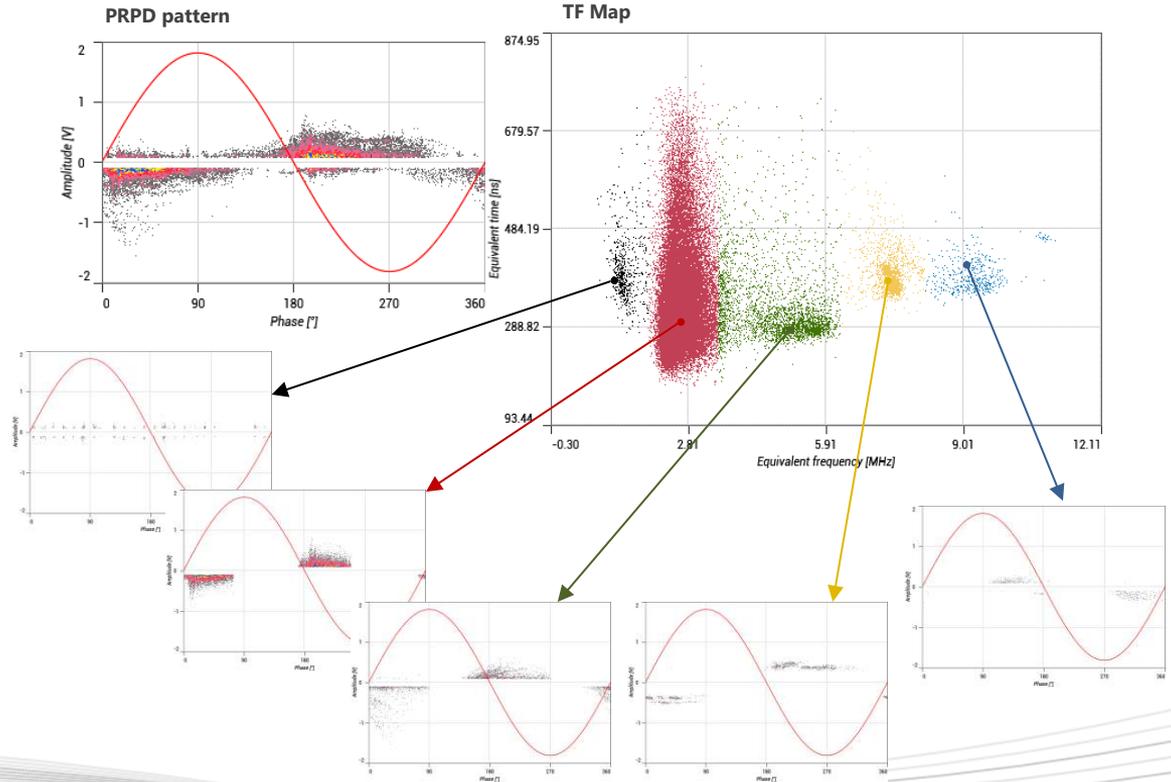
- ❑ Diversas escalas plenas
- ❑ Diversos niveles de pre - disparo
- ❑ Adquisiciones de forma de onda
- ❑ Con y sin filtros de Hardware
- ❑ Con y sin filtros de Software



*Idealmente, al estudiar los datos, el analista de datos debe ser capaz de reconocer cada paso realizado.*

## Separación con Mapa TF

Se utilizan las señales del mapa TF durante la adquisición para remover señales no deseadas y se puede usar durante el análisis para separar múltiples fuentes de DP presentes durante la adquisición



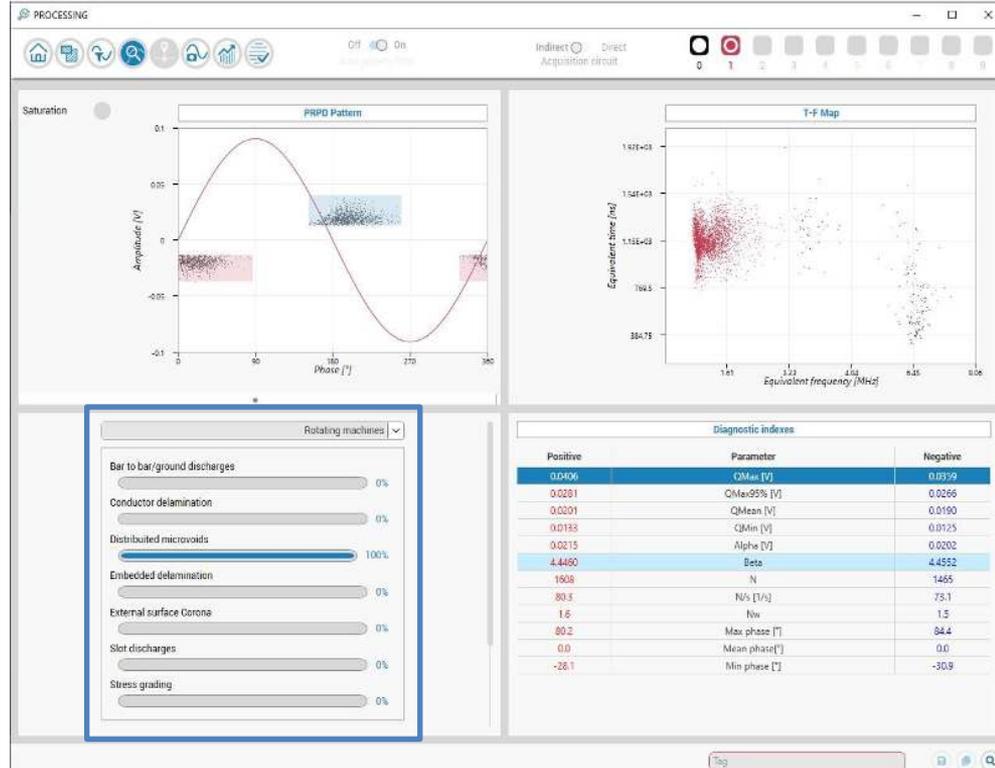
# Análisis DP



## Identificación de Fenómenos.

- Datos adquiridos correctamente
- Ruido eliminado
- Fenómenos DP son separados

La identificación de la DP puede tener lugar: análisis manual del patrón PRPD y herramienta de identificación PD Pro.

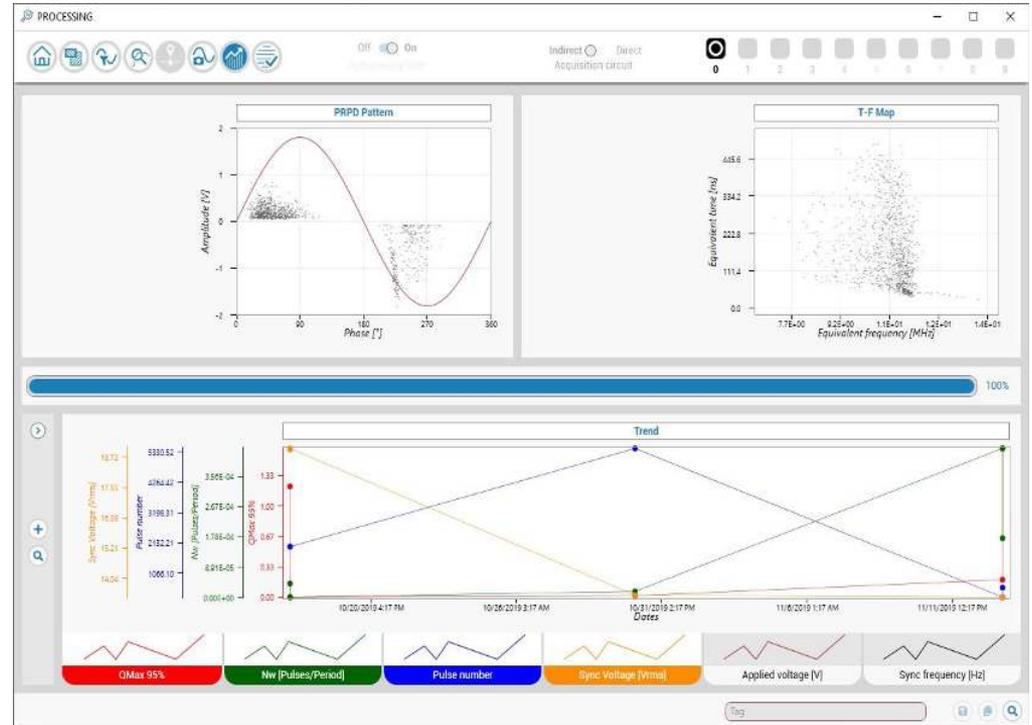


# Análisis DP



## Tendencias

La amplitud y la tasa de repetición son marcadores de la evolución de la DP: podemos tener una DP que dure años a los mismos niveles o que evolucione rápidamente en amplitud y tasa de repetición



# Sensores DP para Máquinas Rotativas



- ❑ Cómo detectar la señal
- ❑ Tipologías de sensores
- ❑ Requisitos de los sensores
- ❑ Posicionamiento de sensores
- ❑ Señales y seguridad

# Sensores DP para Máquinas Rotativas



## Cómo detectar la señal

Los defectos de aislamiento localizados generan señales de DP cuando se someten a estrés eléctrico: el fenómeno es una fuente de señales electromagnéticas de alta frecuencia y señales irradiadas.

La trayectoria de la señal conducida puede ser forzada a un sensor y medida, mientras que la señal irradiada se somete a un diseño de generador que puede atenuar y afectar la sensibilidad.

### *Diferentes sensores:*

- *Diferentes salidas DP*
- *Sensibilidad*
- *Señal de sincronismo*

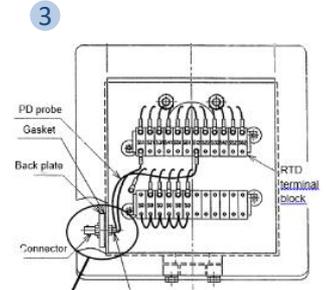
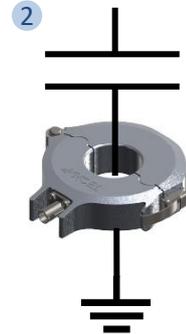
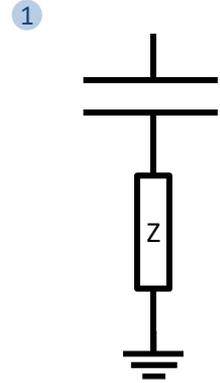
# Sensores DP para Máquinas Rotativas



## Tipología de Sensores

El sensor más popular son los acopladores capacitivos, conectados a los devanados de la máquina, luego se mide la señal de DP:

1. A medida que la caída de voltaje cruza y la impedancia;
2. Por transformadores de corriente;
3. También se utilizan sensores de ranura: instalados cerca de los devanados para capturar la señal de DP irradiada.



# Sensores DP para Máquinas Rotativas



## Tipología de Sensores

|   | Capacitivo      | Capacitivo + HFCT | Antenas             |
|---|-----------------|-------------------|---------------------|
| <b><i>Sensibilidad</i></b>              | Alta            | Pobre             | Muy alta localmente |
| <b><i>Instalación</i></b>               | Esfuerzo medio  | Esfuerzo medio    | Esfuerzo alto       |
| <b><i>Seguridad</i></b>                 | Mediana         | Muy alta          | Alta                |
| <b><i>Señal de sincronismo</i></b>      | Sí              | NO                | NO                  |
| <b><i>Principio de acoplamiento</i></b> | Señal Conducida | Señal Inducida    | Señal Irradiada     |

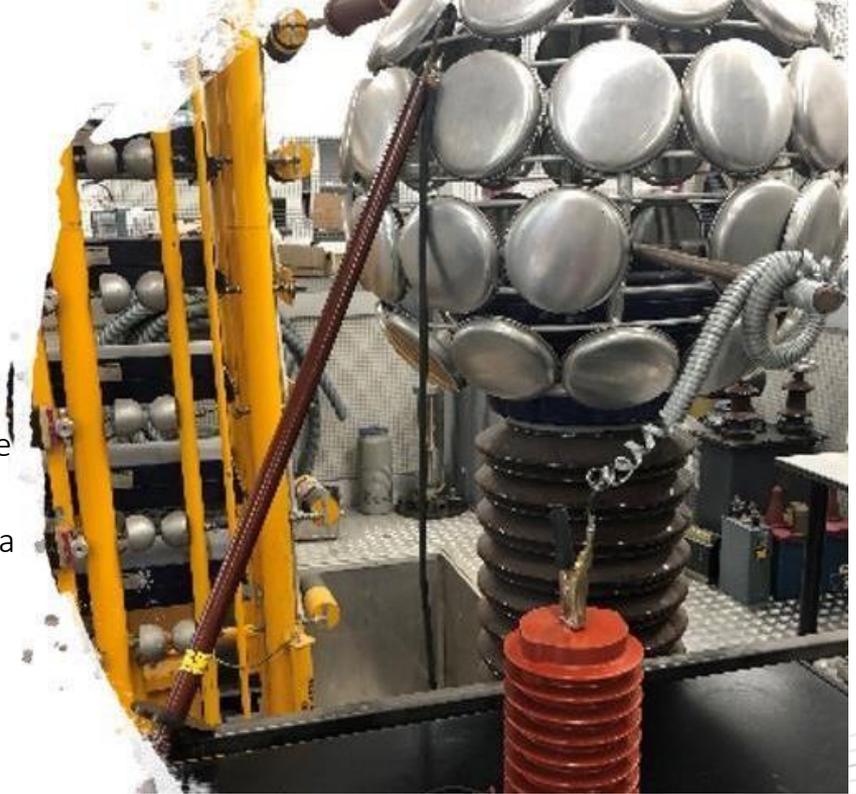
# Sensores DP para Máquinas Rotativas



## Requisitos de los sensores

Se instalará un sensor de DP permanente en la máquina rotativa de AT, el primer requisito es evitar cualquier riesgo de falla para el equipo bajo monitoreo:

- ❑ Pruebas de esfuerzo (prueba de impulso, térmica, HVAC de larga duración)
- ❑ Cada sensor se sometió a una prueba de resistencia a 3x la tensión nominal
- ❑ Cada sensor libre de DP @ voltaje nominal después de la sesión de esfuerzo
- ❑ Relación de capacitancia y voltaje probada con valores de tolerancia pequeños



# Sensores DP para Máquinas Rotativas



## KIT TRIFÁSICO ACOPLADORES DP 7KV 1000pF

Solución ideal para motores de 6.6kV, compacto para espacios confinados, sensor liviano, el conjunto de instalación permanente viene con la caja de derivación (seleccionable IP68), cables de señal y conjunto de conexión AT.



## KIT TRIFÁSICO ACOPLADORES PD 12/17/24KV 1000pF

3 diferentes clases de voltaje 12kV, 17,5 y 24kV. Las clases de voltaje se influyen por las distancias por el nivel de aislamiento requeridas por cada clase, igual que las dimensiones del sensor.

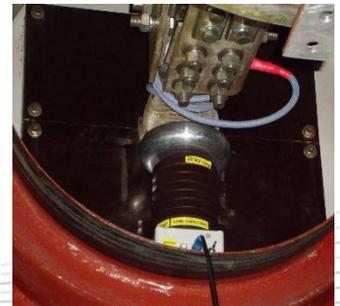
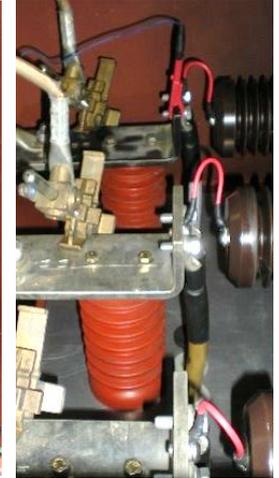
# Sensores DP para Máquinas Rotativas



## Posicionamiento de Sensores

Los sensores DP se instalan en zonas de peligro y el riesgo de fallos debe ser mínimo.

- Las partes metálicas no deben ser magnéticas;
- El sistema de sensores DP no reducirá las capacidades de aislamiento del estator;
- Se debe considerar el estrés por temperatura y vibración;
- Evite corona y DP de superficie.



# Sensores DP para Máquinas Rotativas



## Señal y Seguridad

Se usan cables coaxiales para llevar la señal a las cajas de derivación.

La caja de derivación es necesaria no solo para obtener la señal de DP y sincronización de los sensores, sino que mejora la seguridad de todo el sistema al agregar una seguridad pasiva en el lado de la caja de derivación.



# En-línea vs. Fuera-de-línea



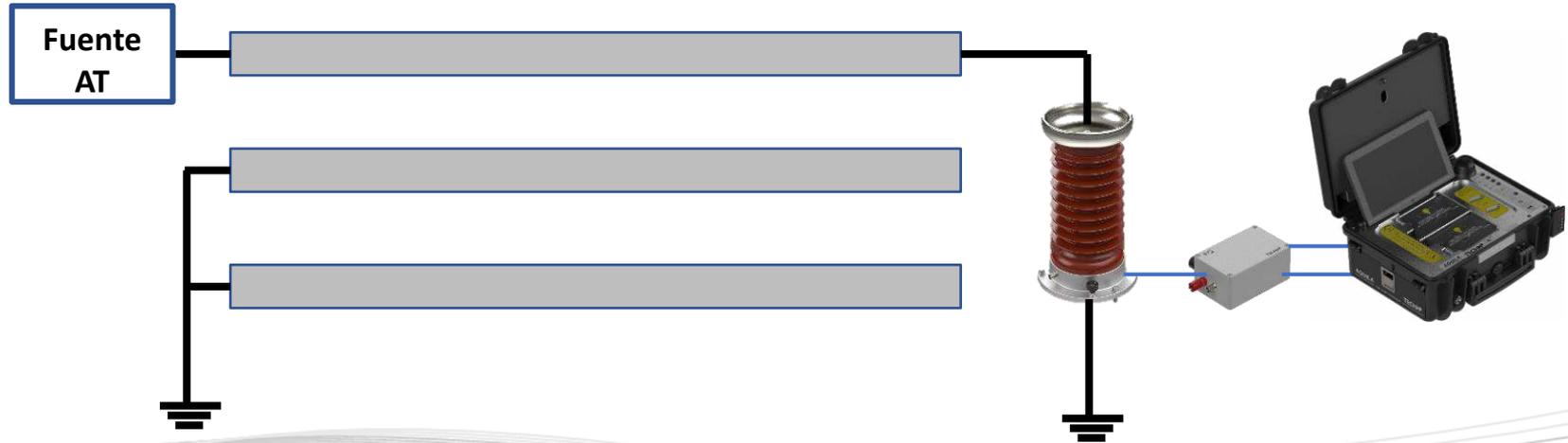
- Prueba de DP fuera de línea
- Prueba de DP en línea
- Comparación Técnica
- Comparación Práctica

# En-línea vs. Fuera-de-línea



## Prueba DP fuera-de-línea

La prueba de DP fuera de línea se refiere a una medición de DP realizada durante las interrupciones de la máquina con una fuente de voltaje externa, el sensor de DP se puede instalar y quitar temporalmente después de la prueba.



# En-línea vs. Fuera-de-línea



## Prueba DP fuera-de-línea

En la prueba de DP fuera de línea, debemos tener en cuenta algunos aspectos técnicos:

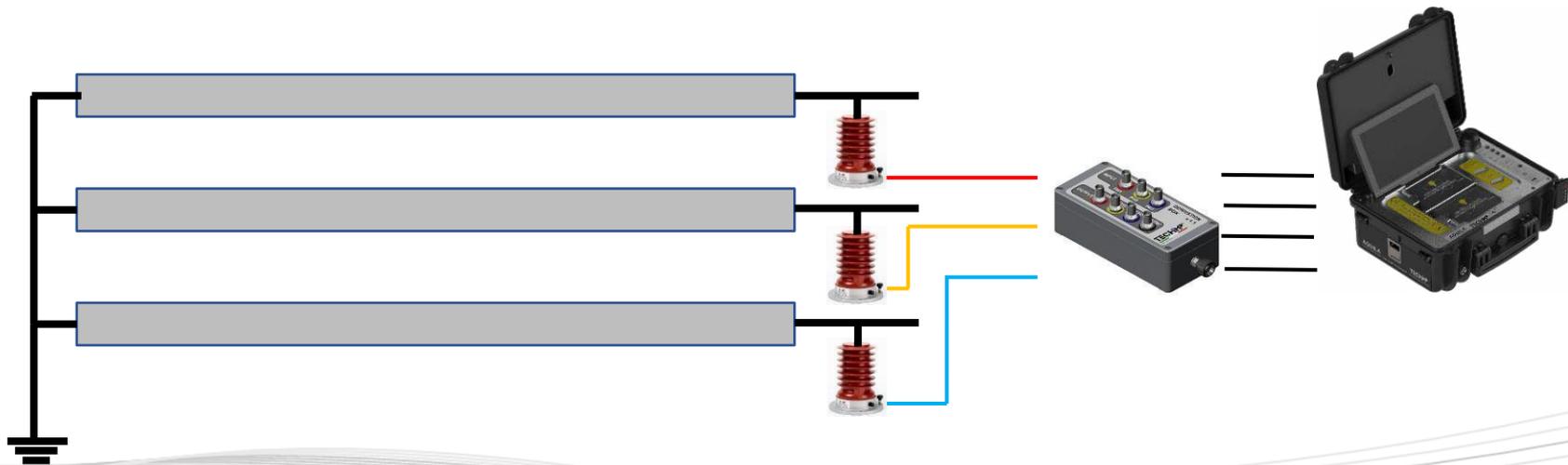
- El estrés de tensión es fase a tierra solamente y es constante a lo largo de todo el devanado.
- El generador/motor está inmóvil, no se produce ningún cambio de temperatura durante la prueba.
- El generador/motor está estable, la prueba no tiene en cuenta el comportamiento mecánico.
- El punto estrella se puede abrir para probar la máquina fase por fase.
- La fuente de voltaje debe estar libre de señales de DP y perturbaciones de alta frecuencia.
- Es posible aumentar el voltaje para evaluar PDIV y disminuirlo para evaluar PDEV.
- Es posible sobre estresar el aislamiento respecto a las condiciones normales de trabajo.

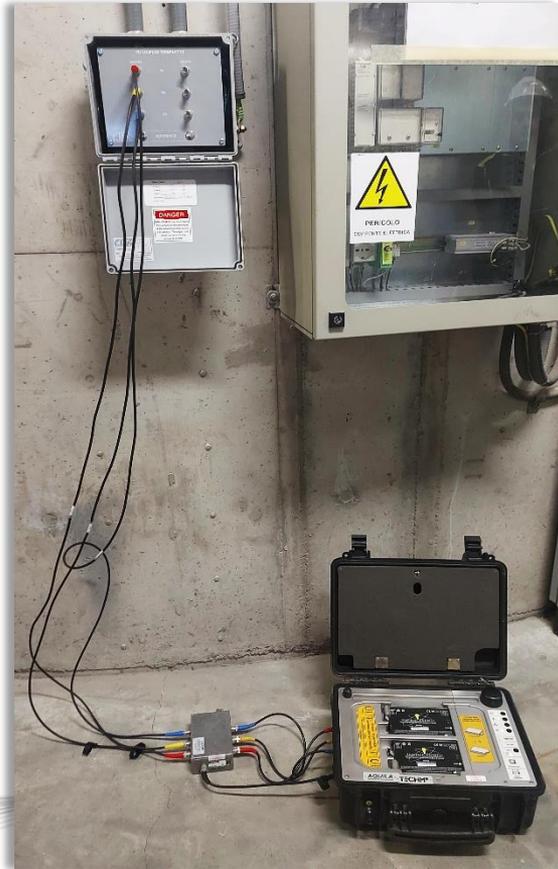
# En-línea vs. Fuera-de-línea



## Prueba DP en-línea

La prueba de DP en línea se realiza con la máquina en funcionamiento en condiciones de carga, se requieren sensores permanentes, también es posible instalar temporalmente los sensores de DP tomando precauciones estrictas y planificando una interrupción.





## Prueba de DP en-línea

En la prueba de DP en-línea, debemos tener en cuenta algunos aspectos técnicos:

- Estrés rutinario;
- Diferente carga y diferente temperatura;
- Efectos de diafonía (crosstalk);
- Perturbaciones externas;
- Medición DP simultánea en 3 fases;
- Homogeneidad por sensores permanentes;
- Prueba segura.

# En-línea vs. Fuera-de-línea



## Comparación Técnica

|   | Fuera-de-línea                                       | En-línea  |
|---|--|---|
| <b><i>Requiere sensor permanente</i></b>                                      | NO   | SÍ  |
| <b><i>Efecto «crosstalk»</i></b>  | NO   | SÍ  |
| <b><i>Estrés eléctrico real</i></b>   | NO   | SÍ  |
| <b><i>Correlación con datos históricos</i></b>                                | Dependiendo del sensor y de la unidad de adquisición | Mismos sensores<br>Según la unidad de adquisición |
| <b><i>Estrés TEAM</i></b><br><i>(Térmico, Eléctrico, Ambiental, Mecánico)</i> | NO   | SÍ  |

# En-línea vs. Fuera-de-línea



## Comparación Práctica

|   | Fuera-de-línea                                    | En-línea                                    |
|---|---|---|
| <b>Precio</b>                               | Alto  | Bajo  |
| <b>Esfuerzo del Cliente</b>                 | Alto  | Bajo  |
| <b>Requiere salida de servicio</b>          | SÍ  | NO  |
| <b>Sensor de DP</b>                         | Provvisto por empresa de servicios                | Compatibilidad de sensores                  |
| <b>Seguridad</b>                            | Riesgos potenciales                               | Prueba Segura                               |
| <b>Estrés</b>                               | Diferentes niveles de voltajes aplicados          | Cambios en la temperatura y carga eléctrica |
| <b>Requiere intervención de Operaciones</b> | SÍ  | NO  |
| <b>Material Requerido</b>                   | Fuente de AT, sensores DP, equipos de adquisición | Equipo adquisición DP                       |

A vertical strip on the left side of the slide shows a close-up, slightly blurred view of a motor's internal components, including copper windings and a fan-like structure.

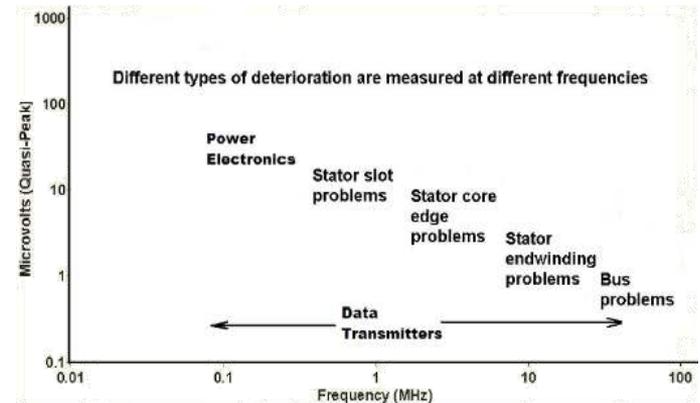
# PRUEBAS DE INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA (EMI)

# Pruebas EMI



EMI es un análisis en el dominio de la frecuencia desde 50 kHz hasta 100 MHz capaz de recoger señales electromagnéticas producidas por el equipo bajo prueba (EUT) y su entorno externo.

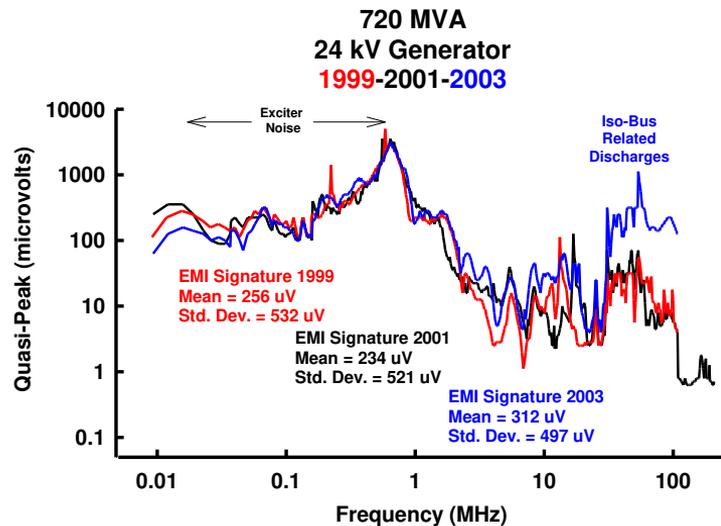
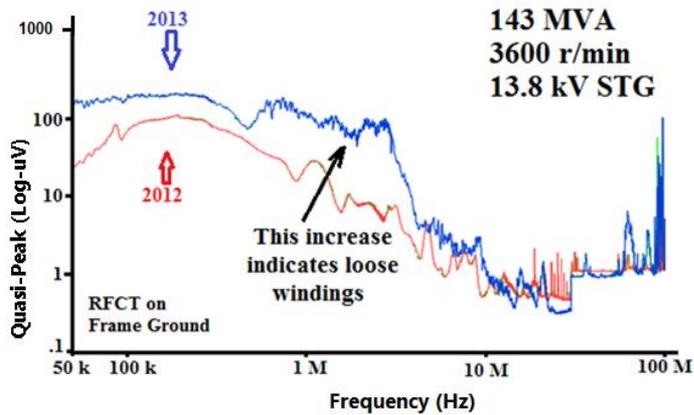
|                  |   |
|------------------|---|
| <i>Objetivo</i>  | <i>Bobinados del estator<br/>Sistema excitatriz<br/>Cuñas</i> |
| <i>Sensores</i>  | <i>Doble Spark; Doble PDS200</i>                              |
| <i>Normativa</i> | <i>CISPR-16</i>   |



# Pruebas EMI



Cada tipo de defecto, incluidos los impulsos DP o arco eléctrico, producen una firma y un patrón EMI único y que depende también de su ubicación en el EUT.



# Pruebas EMI



Se han identificado y verificado más de 65 condiciones eléctricas y mecánicas diferentes.

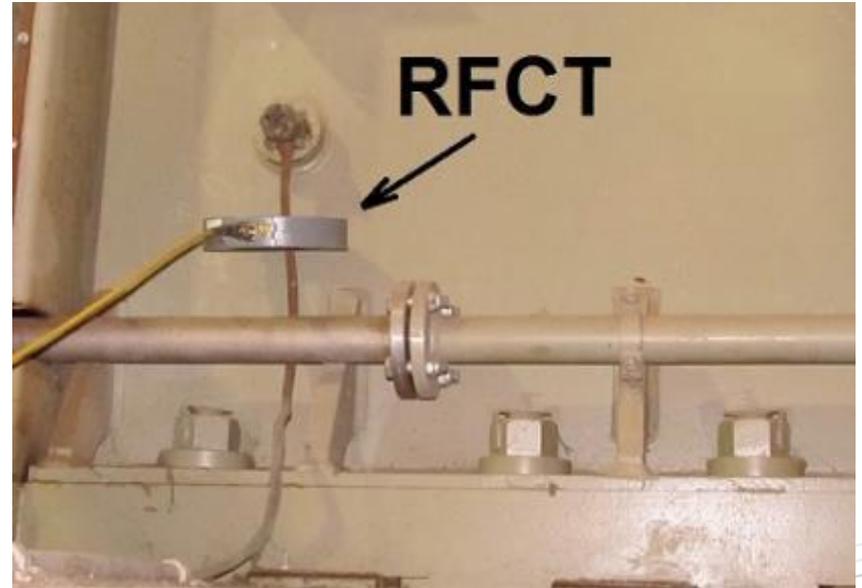
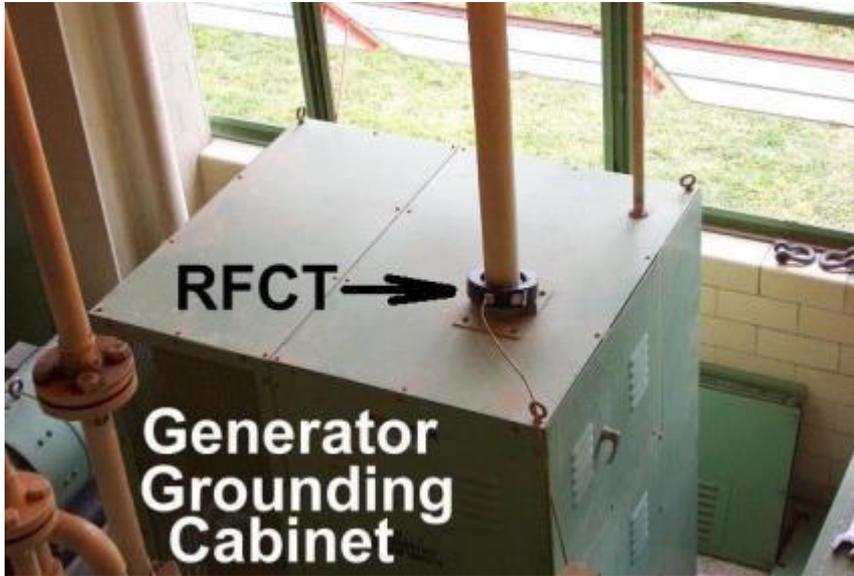
| Generadores   | Motores  | Bus de Fases Aisladas                              |
|---|--|--|
| Descargas de ranura de la barra del estator                   | Descargas parciales de la bobina del estator                 | Aisladores de soporte sueltos o rotos              |
| Erosión del empaquetamiento lateral de la ranura del estator  | Deterioro en ranuras y extremos                              | Herrajes sueltos o corroídos                       |
| Deterioro en la graduación de tensión de la barra del estator | Conexiones defectuosas atornilladas o engarzadas del estator | Conexiones defectuosas de PT de bus                |
| Cuña suelta del estator                                       | Roce en sello de aceite del eje                              | Corrientes circulantes parásitas                   |
| Amarras del extremo del bobinado sueltas                      | Barras de rotor del motor de inducción rotas                 | Material u objetos extraños en el interior del bus |
| Anillos de bloqueo y circuitos                                | Problemas con los rodamientos                                | Conexión PT de bus defectuosa                      |
| Subconductores del estator sueltos o rotos                    | Desalineamiento  | Fusibles de alto voltaje PT abiertos               |
| Contaminación del devanado                                    | Contaminación del devanado                                   | Aisladores contaminados                            |
| Problemas de la excitatriz                                    |  |  |

- El lugar donde se coloca el HFCT depende del aparato eléctrico que se esté investigando.
- Se selecciona una ubicación segura de bajo voltaje o conectada a tierra para la recopilación de datos.
- Nunca hay una conexión a un circuito "CALIENTE".
- Nunca es un problema de arco eléctrico.
- No interfiere con las operaciones normales para recopilar datos.
- No se inyecta ninguna señal de ningún tipo en el sistema.

# Pruebas EMI

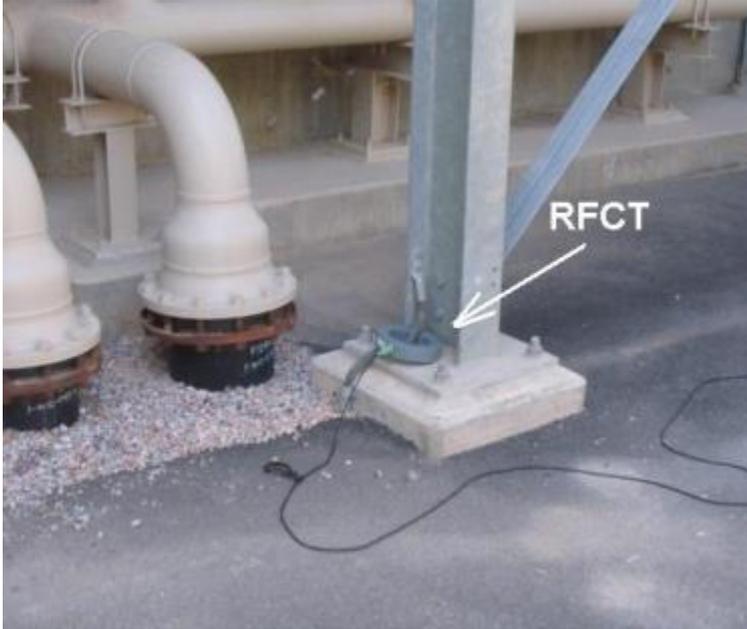


El neutro de un generador es la ubicación preferida para que el HFCT colecte datos de EMI. También se puede utilizar una conexión de tierra.



# Pruebas EMI

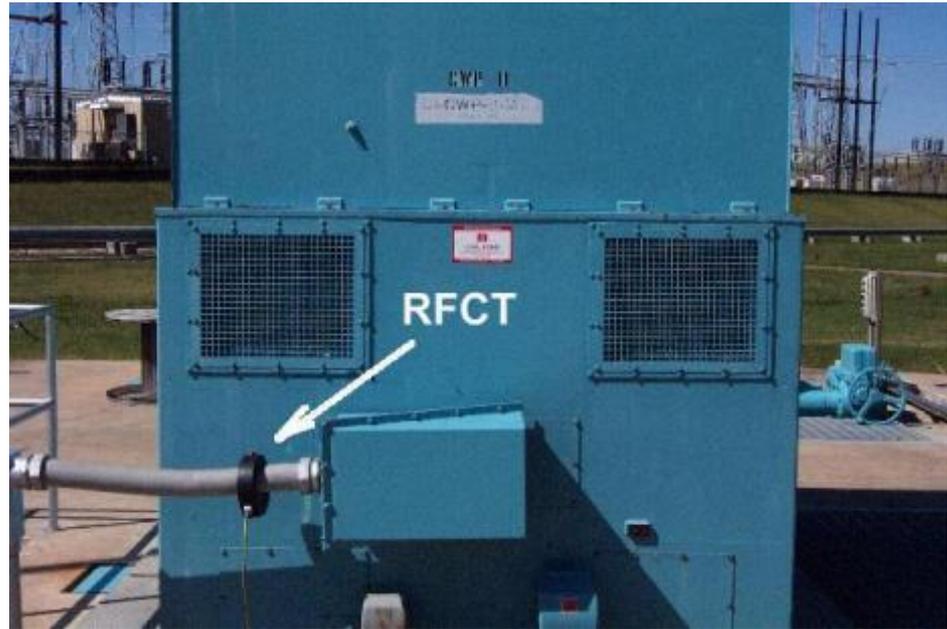
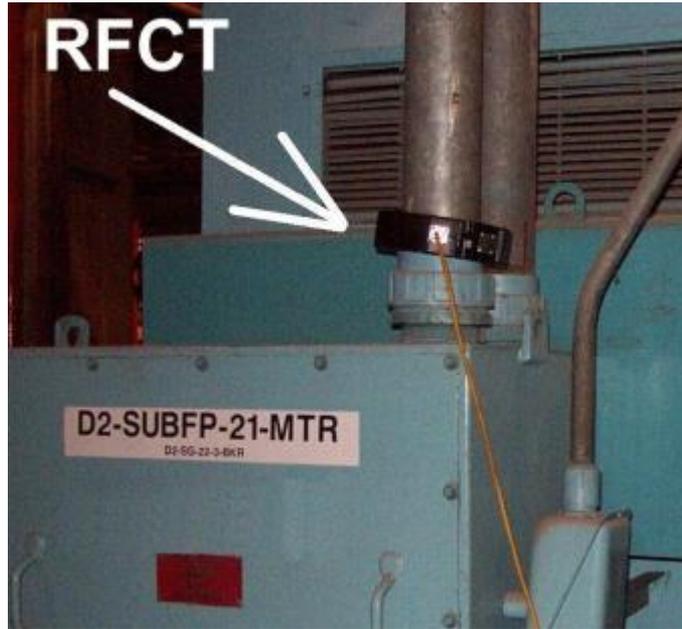
HFCT en la tierra de un bus cerca del generador



# Pruebas EMI



La recopilación de datos preferida para los motores se encuentra en el conducto de alimentación.



# Casos de Estudio



# PRUEBAS DE DP

## Caso de Estudio #1



# PD - Caso de Estudio #1



## Generador Síncrono de 30 MVA (14,7 kV)

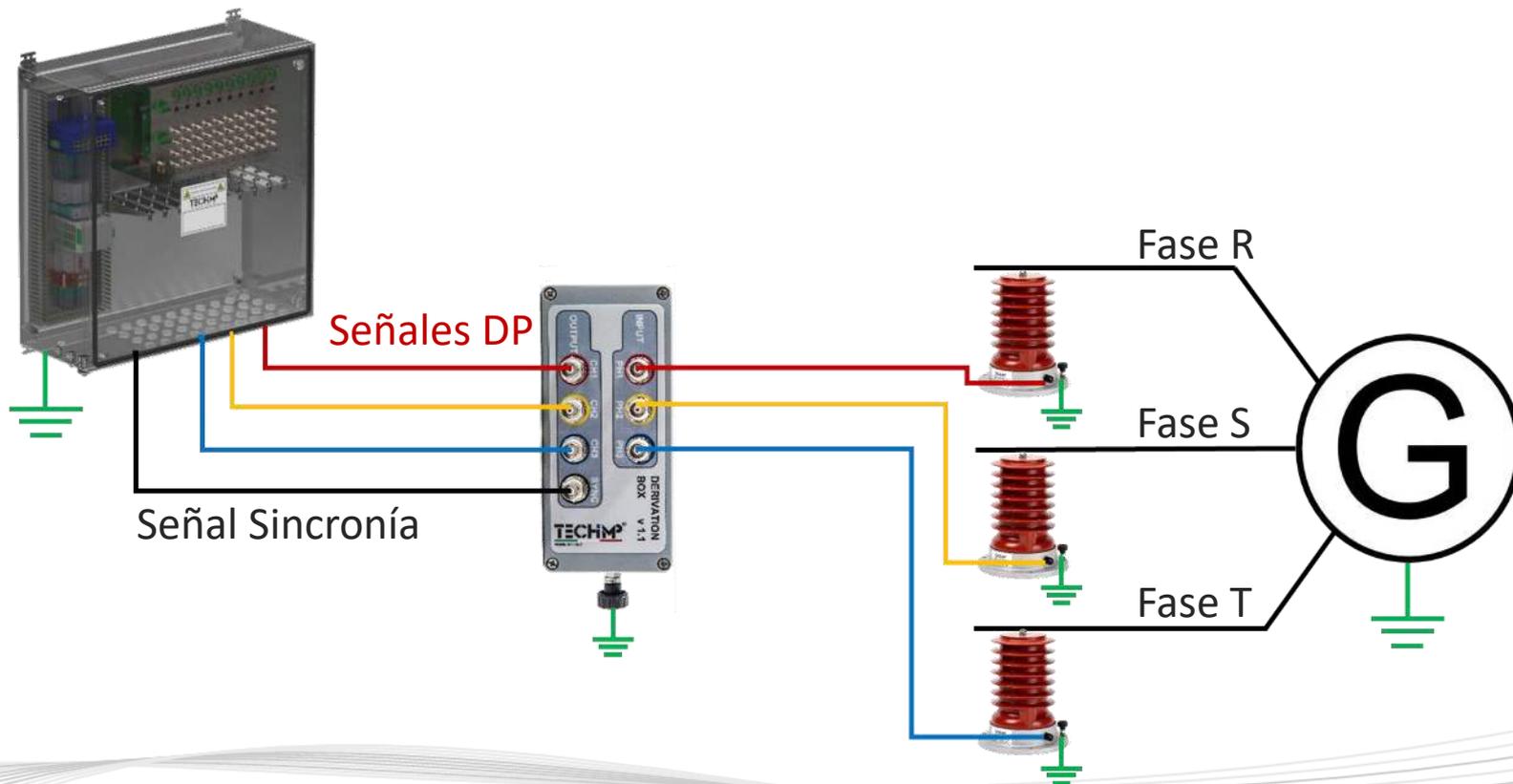
Instalado en una planta de cogeneración alimentada por una turbina.

El generador se fabricó en 2009 y ha estado funcionando con ciclos diarios desde entonces.

Una medición puntual de DP en 2017 puso de manifiesto algunas actividades de DP de barra-a-tierra y algunas de graduación-de-tensión en las tres fases.

Se llevó a cabo una acción de mantenimiento para eliminar la actividad de barra a tierra y, en paralelo, se instaló un sistema de monitoreo en línea de DP para realizar un seguimiento de la clasificación de tensiones.

# DP – Caso de Estudio #1



# DP – Caso de Estudio #1



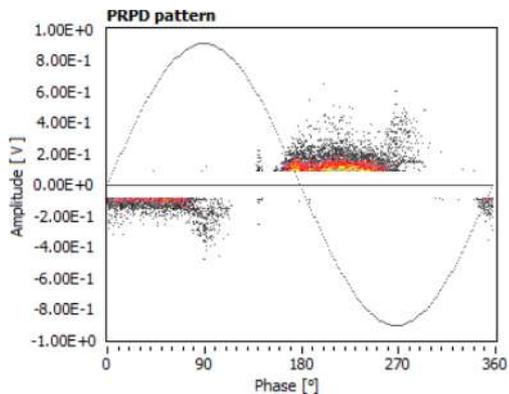
A partir de la medición inicial de DP, se ha realizado una sesión de mantenimiento, intercambiando las terminaciones (neutros a AT) para redistribuir las tensiones a lo largo de los devanados.

Esta acción redujo la amplitud de la DP de la Graduación-de-Estrés en un nivel significativo (de 600 mV a 250 mV), lo que resultó ser el movimiento correcto, ya que el siguiente año de monitoreo mostró un aumento en la amplitud de aproximadamente 80-100%.

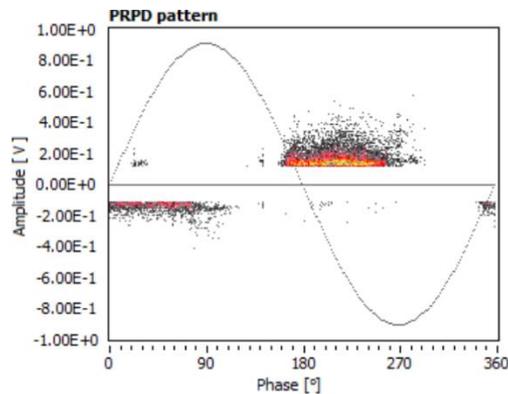
# DP – Caso de Estudio #1



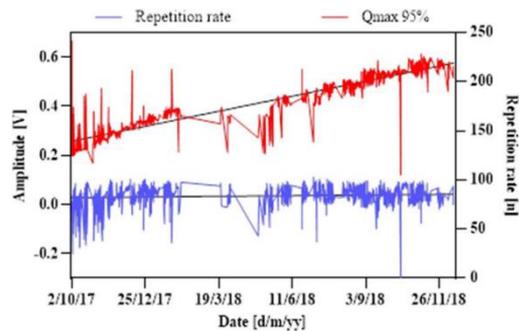
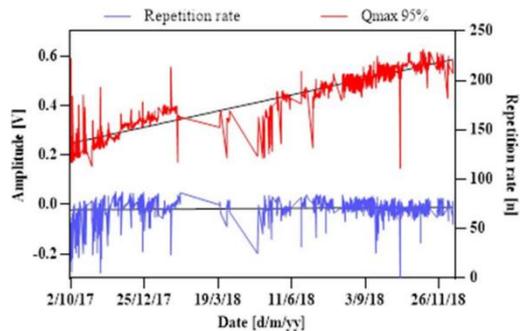
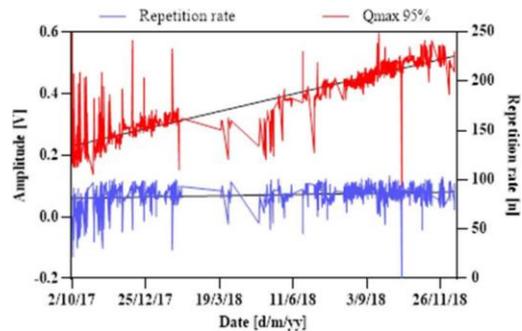
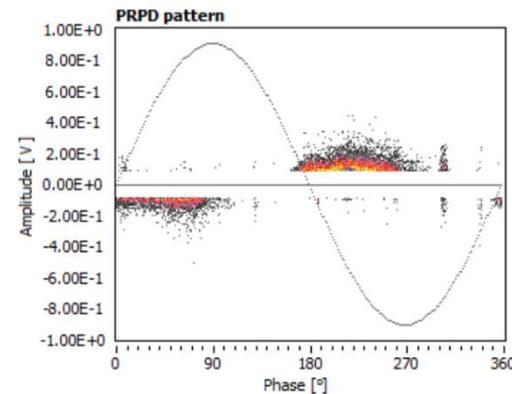
## Fase R



## Fase S



## Fase T



Sin la medición realizada por el PDMS y el análisis posterior, la graduación-de-estrés previa al mantenimiento habría duplicado su amplitud, lo que probablemente habría resultado en la falla de la máquina.

La presencia del PDMS prolongó efectivamente la vida útil del activo de aproximadamente un año, posponiendo para entonces cualquier reemplazo de componentes invasivos en el activo.

# PRUEBAS DE DP

## Caso de Estudio #2

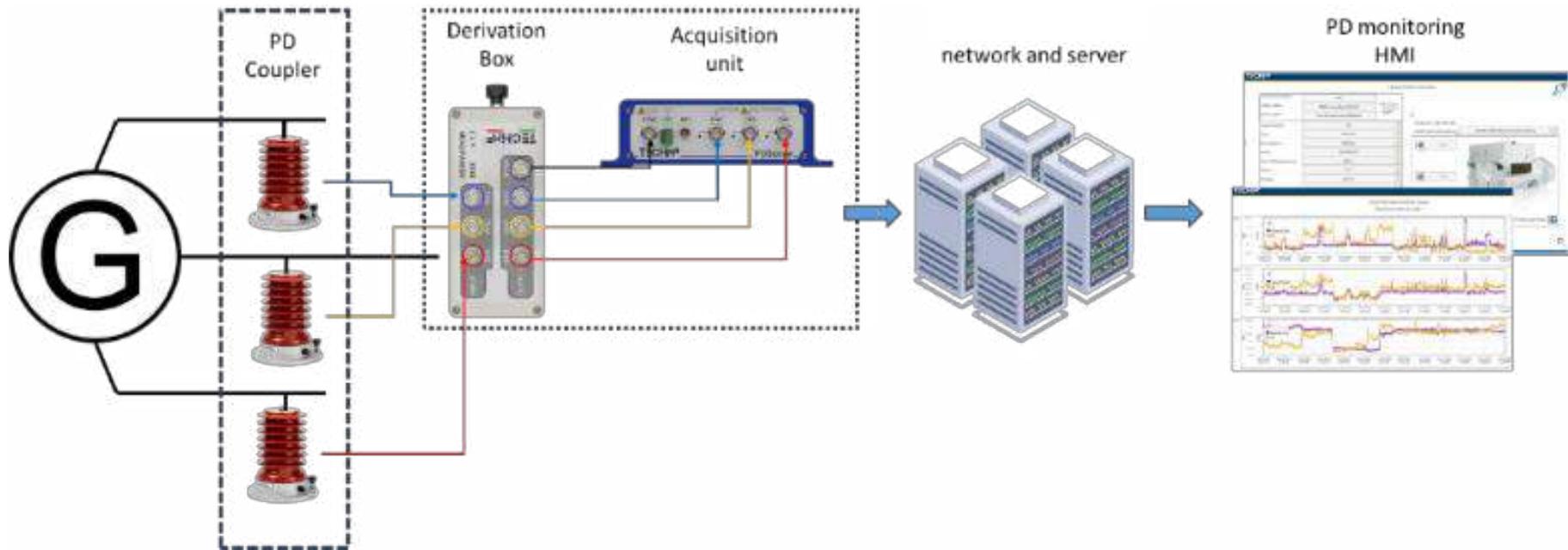
## Flota de motores MT Síncronos y Asíncronos

Instalado en una instalación de separación de aire.

El PDMS ya presente con acopladores capacitivos de 80 pF no pudo detectar fenómenos peligrosos de DP debido a la presencia de numerosas perturbaciones y diafonía.

En su lugar se ha instalado el PDMS Techimp UWB (16 kHz – 30 MHz), que emplea acopladores capacitivos de 1,2 nF con una frecuencia de corte más baja ( $\approx 3$  MHz).

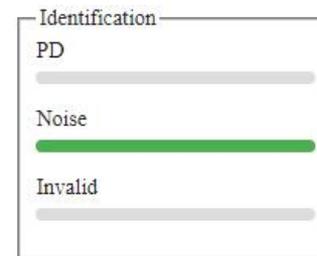
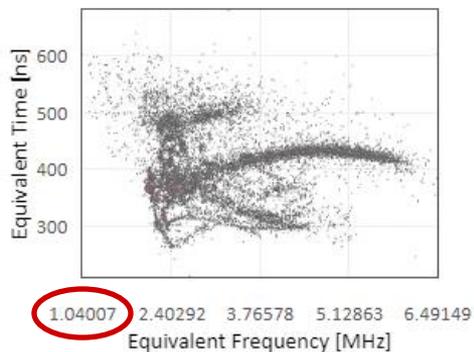
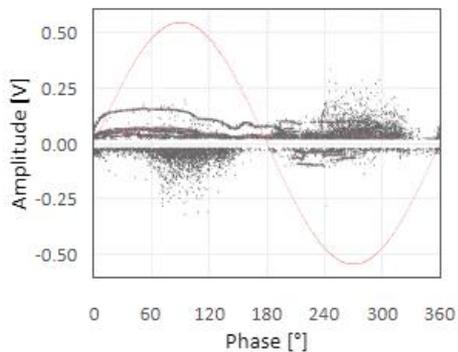
# DP – Caso de Estudio #2



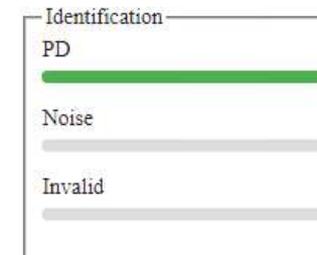
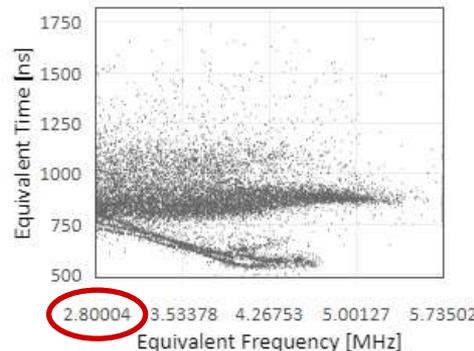
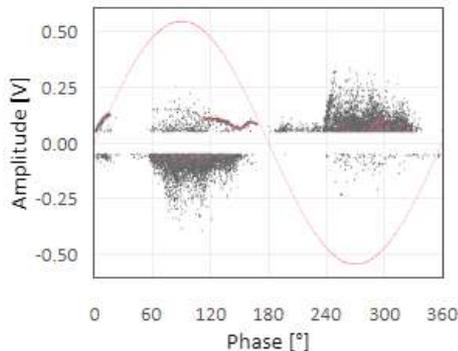
# DP – Caso de Estudio #2



A través del uso del Mapa T-F Techimp, fue posible implementar **Rechazo de Ruido...**



The above automatic identification response must be confirmed by a PD specialist.

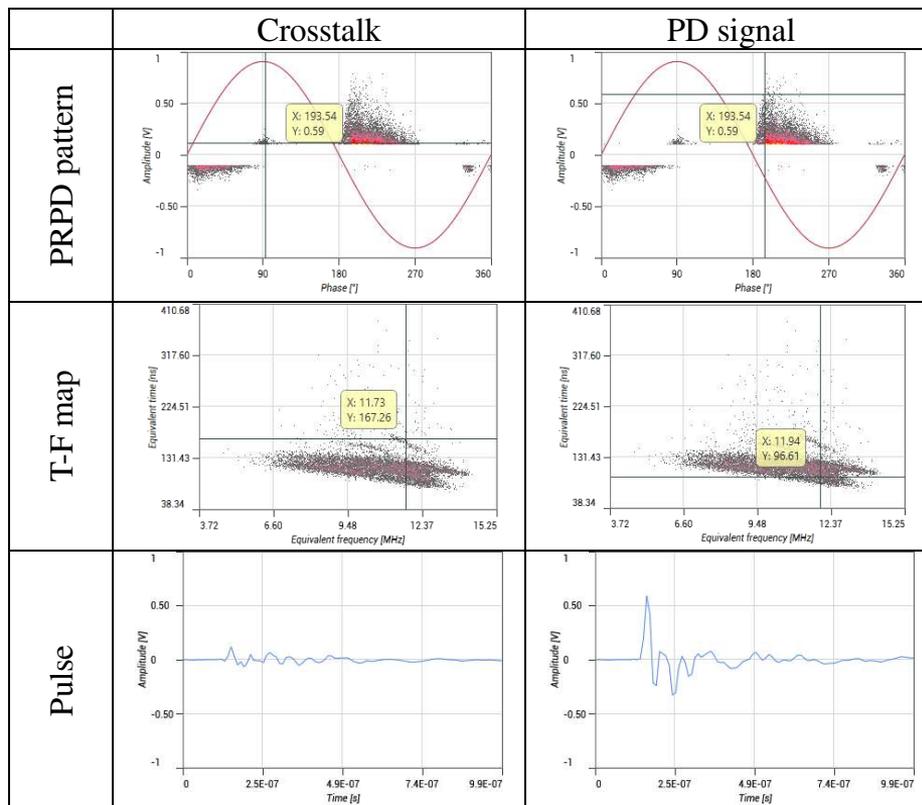


The above automatic identification response must be confirmed by a PD specialist.

# DP – Caso de Estudio #2



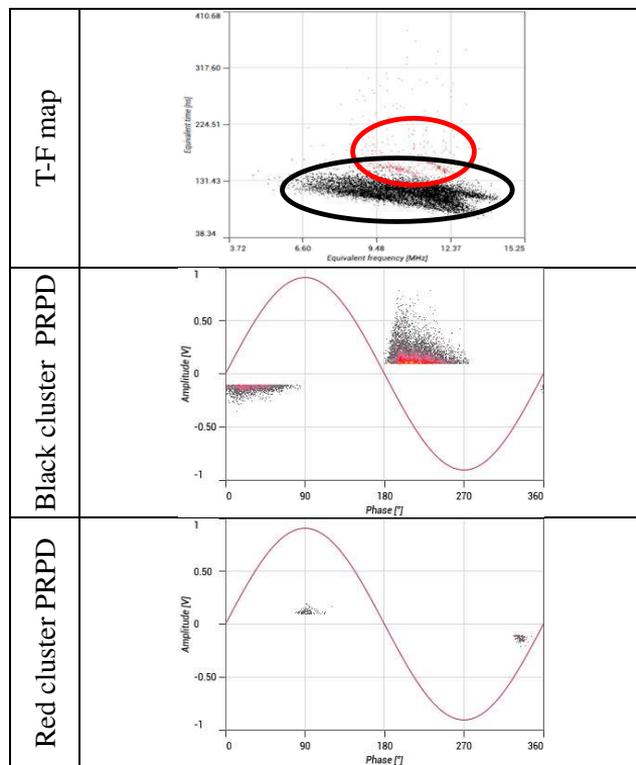
y Separación de Fenómenos.



# DP – Caso de Estudio #2



y Separación de Fenómenos.



# DP – Caso de Estudio #2



Durante una inspección visual de los devanados del estator en el taller, se pudieron observar los fenómenos de actividad de DP en el motor por la presencia del típico polvo blanco como resultado de la erosión debida a la actividad de DP.



## DP – Caso de Estudio #2



Cuando se aplicó el voltaje de prueba para las pruebas eléctricas, se pudieron observar chispas en el área de los devanados finales.



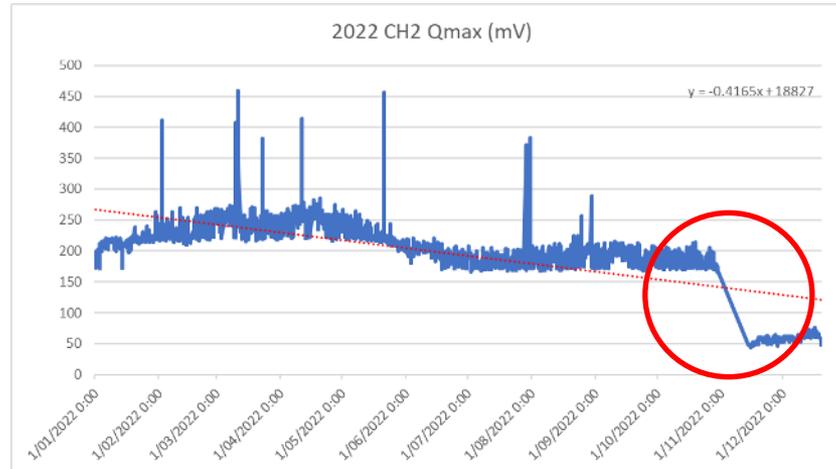
# DP – Caso de Estudio #2



Se limpió el motor y se repararon los daños de la DP.

Como medida adicional, la conexión neutra del motor se invirtió, por lo que la parte del devanado estresado ahora está sujeta a gradientes de voltaje más bajos.

El efecto de esta acción, que tuvo un efecto significativo en la vida útil del motor, se puede notar en la amplitud de los fenómenos tendenciados por el PDMS:



# PRUEBAS EMI

## Caso de Estudio #1

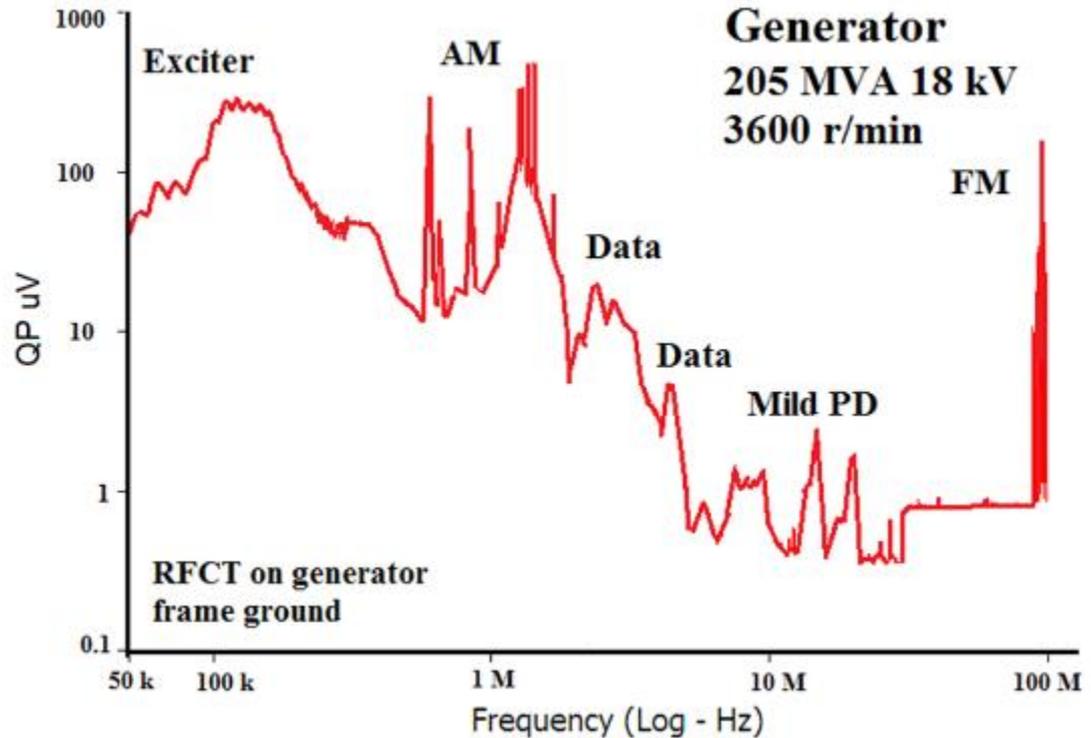
# EMI – Caso de Estudio #1



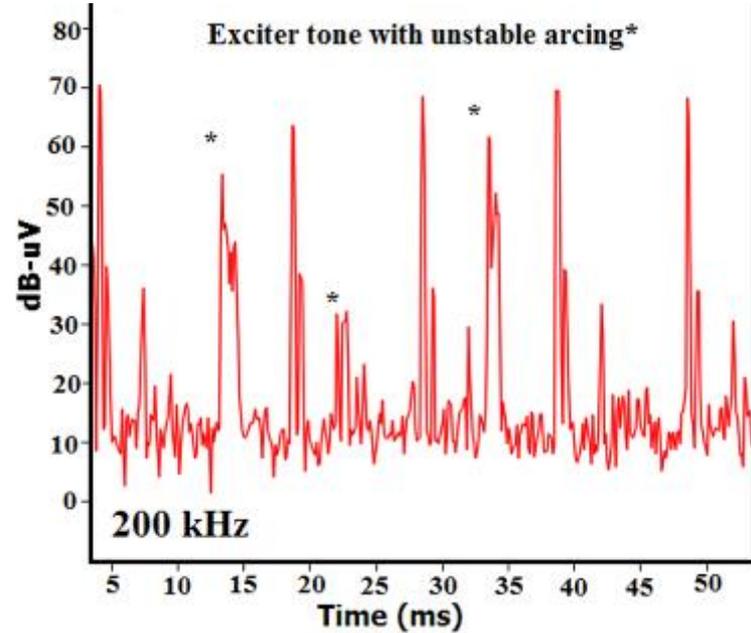
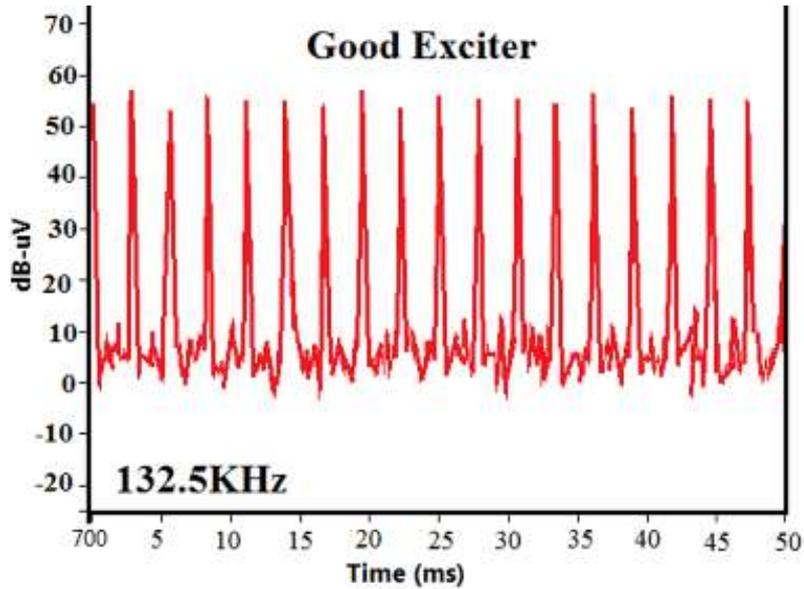
EMI también identifica problemas en los excitadores

Los niveles de tono del excitador eran muy altos con este generador

También presenta arco



# EMI – Caso de Estudio #1

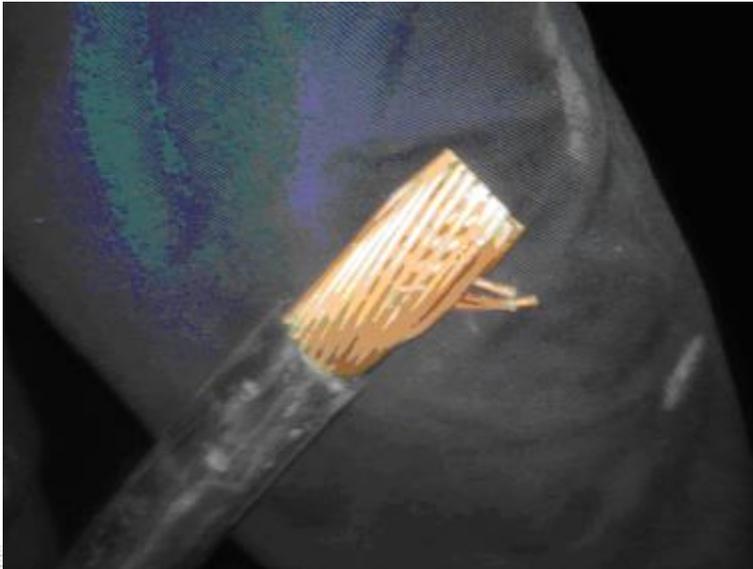


# EMI – Caso de Estudio #1



Uno de los cuatro cables del excitador estático tenía una conexión suelta

Extremo bueno



Extremo suelto



¡Muchas gracias!

Erick Castillo  
Business Development Manager  
ecastillo@doble.com



©2024 Doble Engineering. All Rights Reserved.

# XXII

## CONFERENCIA DOBLE LATINOAMERICANA

DEL 12 AL 14 DE MAYO DE 2025  
LIMA, PERÚ

**Únase a nosotros**  
<https://cvent.me/X7ZdZa>

The logo for 'doble' is located in the bottom right corner. It features the word 'doble' in a white, lowercase, sans-serif font, set against a blue oval background. A registered trademark symbol (®) is positioned to the upper right of the 'e'.