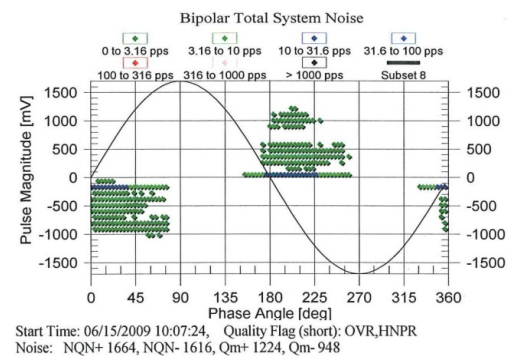
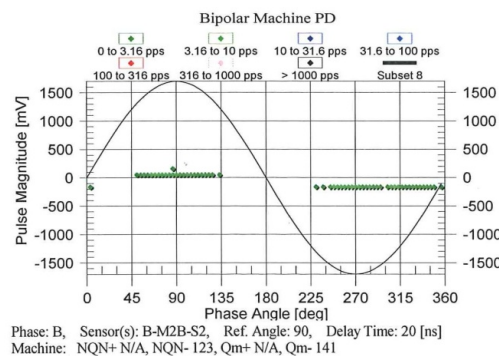
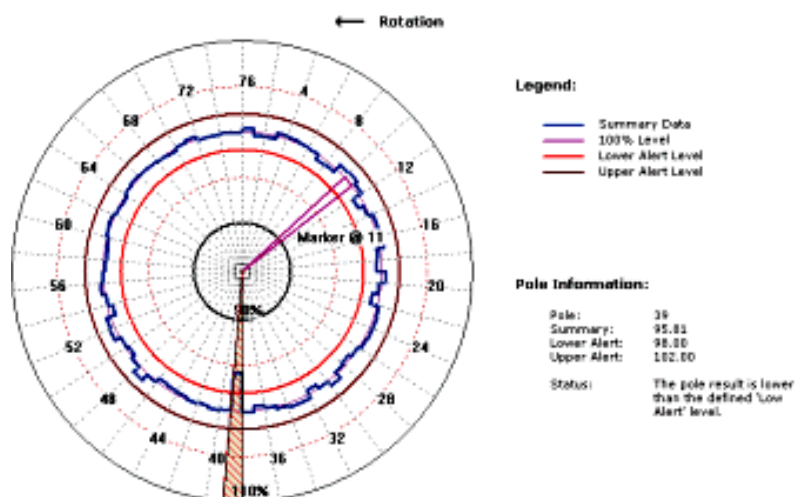


## Seminario: Técnicas de Mantenimiento Predictivo en Máquinas Rotativas. Descargas Parciales y Flujo Retórico.



"UnitB" - 07/07/2009 9:54:14 AM



Proyecto: 98094

Esta documentación es propiedad de UNITRONICS, S.A. y no puede ser copiada, fotocopiada, reproducida o transmitida a terceros bajo ningún tipo de soporte físico o informático sin la debida autorización de UNITRONICS, S.A.

La información aportada en este curso se considera lo más exacta posible. En cualquier caso, UNITRONICS no se hace responsable de daños directos o indirectos producidos por malas interpretaciones, imprecisiones u omisiones en el mismo.

---

The ISO9001 certification logo consists of the text "ISO9001" in a bold, black, sans-serif font, with a slight shadow effect, set against a solid yellow rectangular background.

---

UNITRONICS, S.A. es una compañía certificada ISO9001.

## ÍNDICE

| Capítulo                                | Página | Tema                                           |
|-----------------------------------------|--------|------------------------------------------------|
| <b>Predictivo en Máquinas Rotativas</b> |        |                                                |
| Tapa                                    | 1-4    | Cubierta e Índice                              |
| DP0                                     | 5      | Presentación unitronics electric.              |
| DP0                                     | 15     | La Máquina Rotativa en Campo. Ensayos On-Line. |
| DP1                                     | 22     | Tecnología de Descargas Parciales.             |
| DP1                                     | 30     | El ruido, ¿Es tan importante?.                 |
| DP1                                     | 34     | Diagnóstico.                                   |
| DP2                                     | 37     | Tecnología de Flujo Retórico.                  |

Este Seminario es un breve resumen del curso **RoTest** del programa de formación de unitronics electric con una duración aproximada de 2,5 días. Consultar el catálogo de formación en:

[www.unitronics-electric.com](http://www.unitronics-electric.com)

### PONENTES:

**Víctor Lozano Sánchez**

**Andrés Tabernero García**



Director Comercial de **unitronics electric**.

Enlace en España de fabricantes de prestigio a nivel mundial como Megger, Iris Power y Baker (SKF). Más de 13 años de experiencia en instrumentación de medida para el sector eléctrico.



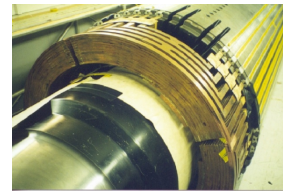
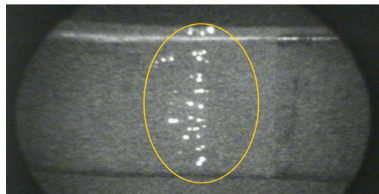
Director Técnico de **unitronics electric**.

Con 23 años de experiencia en el diseño y fabricación de equipos de medida para máquinas rotativas y transformadores de potencia. Responsable del área de formación y de la instalación de sistemas de monitorización de Descargas Parciales.

Página intencionalmente en blanco.



## **Técnicas de Mantenimiento Predictivo en Máquinas Rotativas: Descargas Parciales / Flujo Rotórico.**



Andrés Tabernero **unitronics electric**

Víctor Lozano **unitronics electric**

1



## **Ensayos On-Line de Predictivo en Máquinas Rotativas.**

- **Introducción**  
Unitronics electric. Objetivos del Seminario.
- **La Máquina Rotativa en Campo.**
- **Acercamientos On-Line.**
- **Tecnología de Descargas Parciales.**
  - Aislamiento eléctrico, Causas de las DP. Método de medida.
  - El ruido, ¿Es tan importante?. Sensores, Unidades, Gráficos. ¿Qué hay que montar?. Sistemas de medida.
- **Descanso.**
- **Diagnóstico de Descargas Parciales.**
- **Tecnología de flujo rotórico.**
  - Máquinas Síncronas. ¿Por qué monitorizar el rotor?. Mecanismos de fallo.
  - Medidas de flujo. ¿Qué hay que montar?. ¿Cómo se hace la medida?. Casos reales.
- **Bibliografía: Ruegos y preguntas.**

2



## ¿Qué es unitronics?

- Unitronics nace en **1963** acercando a España los últimos avances tecnológicos en los sectores eléctrico – electrónico – proceso de datos.

- Hoy día el grupo unitronics consta de 2 empresas:

- **unitronics comunicaciones.** Líder indiscutido nacional de comunicaciones, multimedia, seguridad y teleconferencia.



- **unitronics, s.a.u.** Líder nacional en el sector de la instrumentación electrónica, con tres áreas fundamentales:

✓ **unitronics electric**

✓ unitronics visión artificial

✓ unitronics telecom.



3



## ¿Qué es unitronics, s.a.u.?

- UNITRONICS, S.A.U. integra los siguientes elementos en su infraestructura de apoyo al cliente:

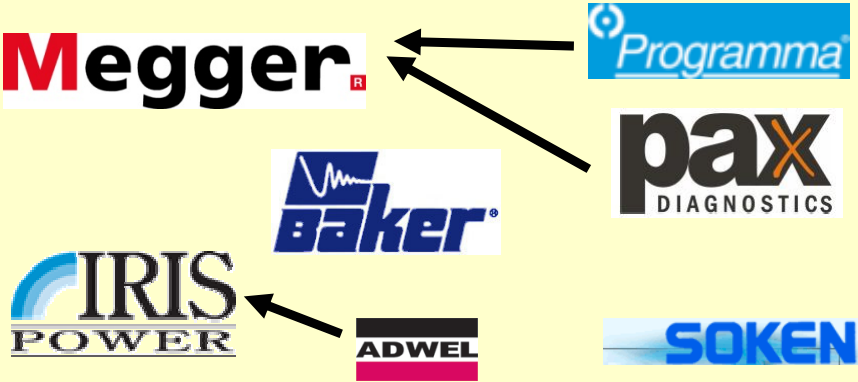
- Soporte a la venta.
- Gestión de Producción.
- Departamento de Mantenimiento.
- Departamento de Investigación y Desarrollo.
- Laboratorio Calibración (con acreditación ENAC en áreas óptica y eléctrica).
- Personal entrenado para Instalaciones
- Formación abierta y a empresas.



4

 **¿Qué es unitronics electric?**

- UNITRONICS, S.A.U. lanzó en 2007 la marca **unitronics electric** para promoción internacional .
- **unitronics electric** representa en España las más reconocidas marcas en el sector eléctrico mundial.



5

 **¿Qué es unitronics electric?**

**SISTEMA EDA. Electronic Dielectric Analyzer**



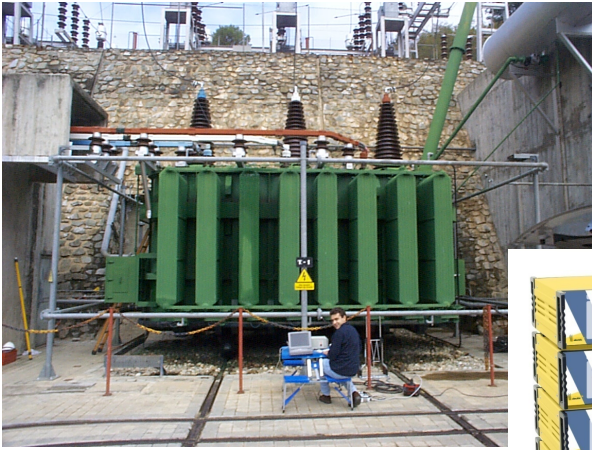


- Fácil de ejecutar.
- Analizador off-line del aislamiento estático en Generadores / Motores.

6



## ¿Qué es unitronics electric?



- Fácil de ejecutar.
- Analizador off-line del estado de Transformadores de Potencia.




**SISTEMA ETP. Evaluador de Transformadores de Potencia.**

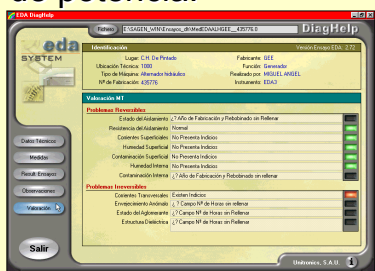
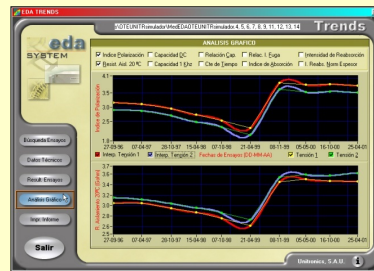
7



## ¿Qué experiencia tiene unitronics electric?

### EXPERIENCIA DE unitronics electric

- 14 años **desarrollando equipos de medida** para el sector eléctrico.
- 13 años de **ensayos de campo**.
- Desarrollo de **programas expertos** de diagnóstico y tendencias para máquinas rotativas y transformadores de potencia.

8



## ¿Qué experiencia tiene unitronics electric?

### EXPERIENCIA DE unitronics electric

- Gran experiencia en medidas, problemas de medida, implementación de protocolos, interpretaciones y diagnósticos.



9



## ¿Qué experiencia tiene unitronics electric?

### EXPERIENCIA DE unitronics electric

- 9 años formando profesionales del sector eléctrico. Más de 400 asistentes nos avalan como líderes en formación teórico-práctica.



10



## ¿Qué experiencia tiene unitronics electric?

### EXPERIENCIA DE unitronics electric

- Asociados a los foros internacionales de normalización: IEEE, CIGRE,...
- Colaboración activa en foros internacionales con presentación de papers, experiencias prácticas...
  - INSUCON 2006 (*Birmingham*).
  - HYDRO 2007 (*Granada*).
  - CIGRE 2008 (*Paris*).
  - CIGRE 2010 (*Paris*).
  - ARWtr (IEEE/CIGRE) 2010 (*Santiago de Compostela*).

11

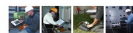


## ¿Quién es Megger?

- Núcleo de negocio: productos y servicios para medida en el sector eléctrico.
- En 1889 comercializó el primer medidor de aislamiento portátil y durante más de 120 años ha sido el primer proveedor de equipos de pruebas eléctricas.
- En 2009 adquiere dos empresas que complementan el catálogo: Programma y Pax Diagnostix.
- Representante en España: unitronics electric.
- Clientes en España: Eléctricas, industria...



Megger.



Canada - English  
Canada - Français  
Caribbean  
Latin America - Español  
United States of America  
Megger Training Institute  
Megger Hispania  
STATES Products



Africa - English  
Africa - Français  
Asia  
Australia  
HBB  
Deutschland / Österreich / Schweiz  
España  
Europe / Europe / Europe  
France  
India  
Middle East  
Pakistan  
Russia  
United Kingdom

Copyright © Megger Limited 2010

12



## ¿Quién es Baker?



- Núcleo de negocio: Fabricante de instrumentos de prueba, control de calidad y diagnóstico para la evaluación de motores eléctricos.
- En 2007 fusión con SKF: en la actualidad, Baker forma parte del grupo SKF.
- Pionero en el ensayo "Surge Test" o comparador de ondas (30 años).
- Representante en España: unitronics electric.
- Clientes en España: Eléctricas, fabricantes, industria...



13



## ¿Quién es IRIS POWER?



- Núcleo de negocio: productos y servicios para medida de descargas parciales en máquinas de 4kV a 28kV.
- Oficinas: Canadá (~90 empleados), Estados Unidos, India, China. En 2006, fusión con ADWEL (El Cid, apriete cuñas...). En 2010 el grupo Qualitrol adquiere Iris Power.
- Clientes en España: Eléctricas, industria, cogeneración...



14



## ¿Quién es IRIS POWER?



- Representante exclusivo para España de IRIS POWER.
  - Distribuimos sus productos IRIS & ADWEL.
  - Realizamos instalaciones de Descargas Parciales.
  - Impartimos formación sobre sus productos.
- Precedentes de este seminario en España:
  - Curso impartido por el **Dr. Greg Stone** (IRIS POWER) en Mayo de 2005 (Descargas Parciales).
  - Curso impartido por **Peter Kantardziski** (ADWEL) en Marzo de 2006 (Descargas Parciales).
  - Seminario impartido por **Mladen Sasic** (IRIS POWER) en Abril de 2010 (Flujo rotórico).

15



## ¿Por qué este seminario?

### OBJETIVOS DEL SEMINARIO

- Ayudar a ampliar conocimientos básicos en el fascinante mundo de **ensayos On-Line en Máquinas Rotativas: Descargas Parciales y Flujo Rotórico**.
- Vislumbrar el estado del arte de la **tecnología actual** en cuanto a ensayos de Descargas Parciales / Flujo Rotórico revisando las soluciones ofrecidas por IRIS POWER.
- Presentar la **teoría y la implementación práctica** tratando sobre casos reales.
- Acercarnos a las **posibilidades de diagnóstico** e interpretación de ambas tecnologías.

16



## ¿En qué os podemos ayudar?

- Comercialización de equipamiento de medida del sector eléctrico:

- ✓ Transformadores de Potencia
- ✓ Máquinas Rotativas
- ✓ Baterías
- ✓ Cables
- ✓ Interruptores / Aparamenta
- ✓ Relés
- ✓ Etc...



17



## ¿En qué os podemos ayudar?

- Instalaciones de Descargas Parciales en Máquinas Rotativas:

- ✓ Más de 10GW instalados en España: Compañías eléctricas, cogeneraciones, etc..
- ✓ Diagnóstico experto. Actualmente la referencia en España
- ✓ Servicios Técnicos a nivel nacional e internacional.
- ✓ Proyectos "Llave en mano"



18



## ¿En qué os podemos ayudar?

- Programa anual de Formación y seminarios:

- ✓ Cursos de Mantenimiento Predictivo y Diagnóstico con alta componente práctica en:

- Máquinas Rotativas
    - Transformadores de Potencia
    - Baterías
    - Descargas Parciales



- ✓ Distintos formatos:

- Dos convocatorias anuales en Unitronics
    - En las instalaciones del cliente. Realizando las prácticas en sus propias máquinas.

19



## ¿En qué os podemos ayudar?

- Diagnóstico de máquinas eléctricas (Transformadores, Máquinas rotativas, baterías, etc..).

- Implementación y asesoría de programas de mantenimiento.

- Reparación de equipamiento (servicio oficial de marcas representadas y otros fabricantes).

- Calibración eléctrica ENAC, gestión del parque de instrumentación.

20



## La Máquina Rotativa en Campo.

- **Distinción Fábrica / Campo:**
  - En **Fábrica**. Se ejecutan ensayos para comprobar que el generador / motor cumple con los más exigentes standard de calidad.
  - En **Campo**. Aparecen condicionantes específicos del medio de aplicación. Se aprovechan las paradas para realizar ensayos off-line a realizar con unos requisitos:
    - ✓ El equipamiento de ensayos debe de caber en el maletero de un vehículo = transportable.
    - ✓ Es complejo realizar los mismos ensayos que en fábrica.
    - ✓ Ensayos normalizados / reconocidos.
    - ✓ Equipo de medida comercial con marcado CE.

21



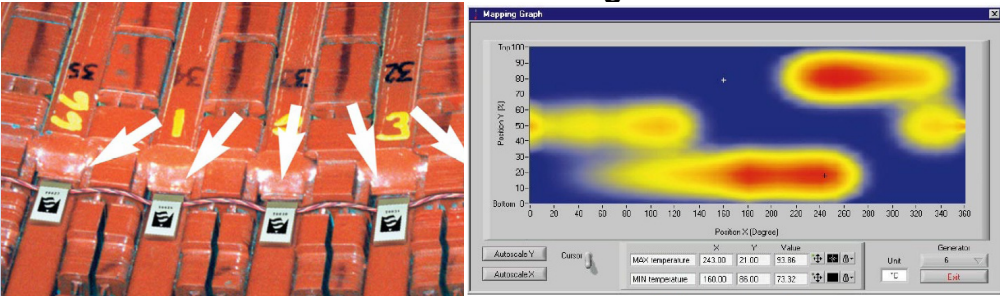
## Acercamientos On-Line.

- Tecnologías **On-Line** de predictivo en Máquinas Rotativas:
  - Monitorización Térmica (interna).
  - Termografía (externa).
  - Gases liberados / ozono.
  - Vibraciones.
    - ✓ Genérico.
    - ✓ En cabezas bobina.
    - ✓ En rodamientos.
  - Análisis dinámico de motores. Par motor, espectro de corriente, barras rotas, transitorios, armónicos...
  - Medida del ancho del entrehierro (polos salientes).
  - **Descargas Parciales.**
  - **Flujo rotórico.**

22

**unitronics electric** **Acercamientos On-Line.**

- Monitorización Térmica / Termografía:**



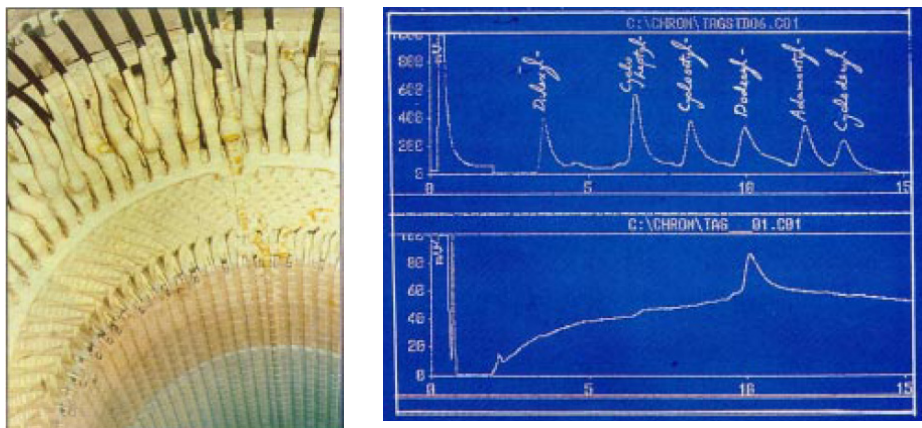
Sistema de monitorización térmica (interno) on-line por array de sensores.

Imagen de cámara termográfica: Daños en el aislamiento de una barra.

23

**unitronics electric** **Acercamientos On-Line.**

- Gases liberados / Ozono:**



Aplicación de distintas capas químicas.

GMC (Generator Condition Monitors) ejecutan Cromatografía de gases para detectar puntos calientes por zonas: Arriba las seis capas y abajo muestra tomada en Ontario Hydro Planta Nanticoke.

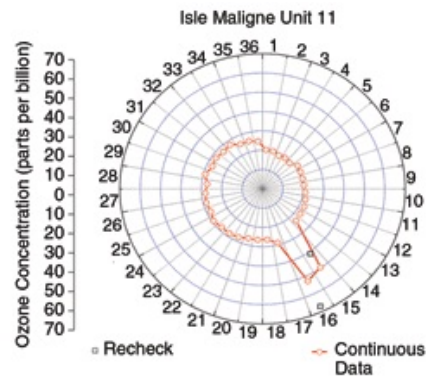
24

## Acercamientos On-Line.

- Gases liberados / Ozono:



Ejemplo de un monitor de ozono comercial.

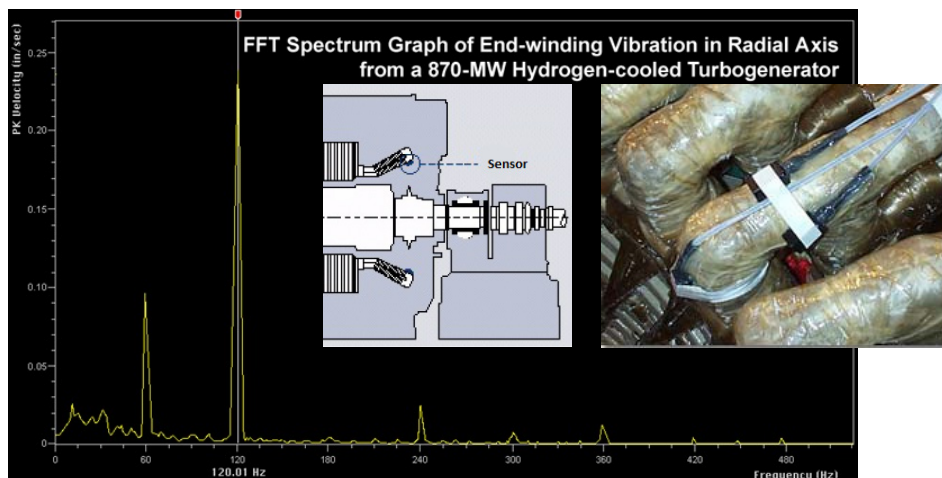


Registro de niveles de ozono alrededor de un generador hidráulico de 30MW en las ranuras posteriores de ventilación. Se detectó en las secciones 15,16 DP en las primeras barras HV de uno de los paralelos.

25

## Acercamientos On-Line.

- Vibraciones:



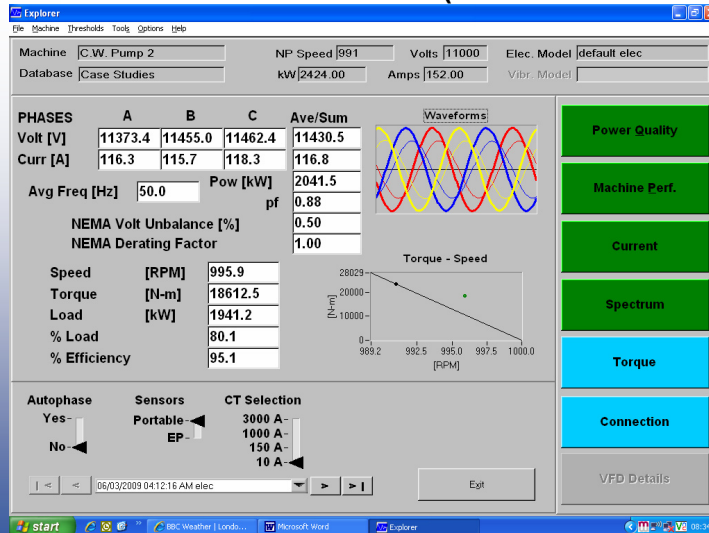
Acelerómetros en cabezas de bobina.

26



## Acercamientos On-Line.

### • Análisis dinámico (análisis del sistema):



Pantalla de evaluación de operación de motor:

- Calidad de Red.
- Operación.
- Corriente.
- Espectro.
- Par motor.
- Conexiones.



Explorer (Baker/SKF)

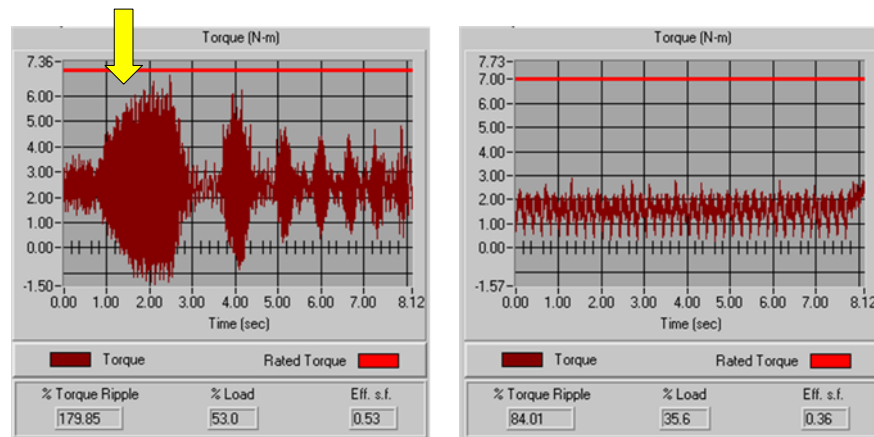
Por qué falla un motor: Motor, alimentación, carga. (TEAM).

27



## Acercamientos On-Line.

### • Análisis dinámico (análisis del par motor):



Motor con cavitación 23/11/2000.

Motor reparado 28/11/2000.

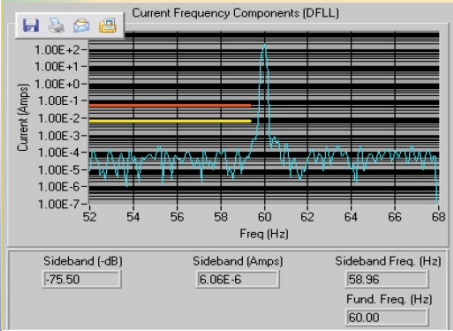
Desde el lado eléctrico y USANDO EL PAR MOTOR calculado, se puede ver el lado mecánico.

28

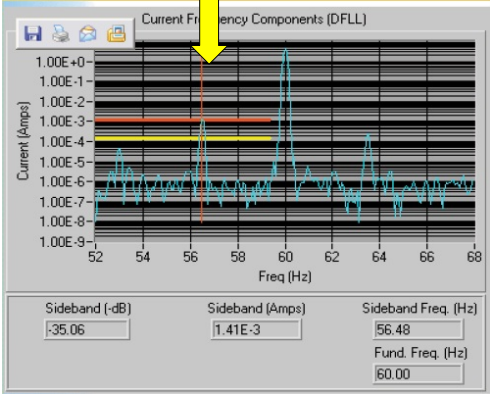


## Acercamientos On-Line.

- Análisis dinámico (espectro de corriente):**



**Motor sano.**



**Motor con barras rotas.**

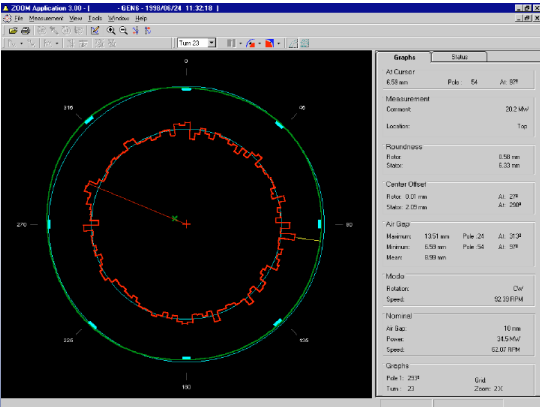
**Detección de barras rotas en máquinas con rotor en jaula de ardilla. Análisis del espectro de corriente.**

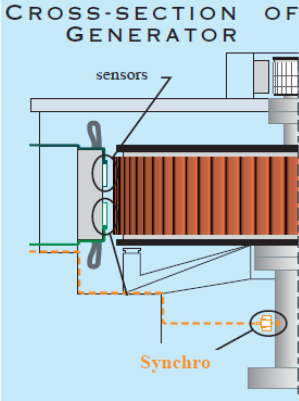
29



## Acercamientos On-Line.

- Ancho del entrehierro:**





**CROSS-SECTION OF GENERATOR**

sensors

Synchro



30

**unitronics electric**

## Acercamientos On-Line.

- Descargas Parciales:**

Puntos de Generación de Descargas Parciales.

Sensores (acopladores capacitivos).

Circuito de medida.

31

**unitronics electric**

## Acercamientos On-Line.

- Flujo Rotórico:**

Señal del flujo del entrehierro y bobina sensora fijada en el estator.

Corto entre espiras en el bobinado del rotor.

32



**Gracias por su atención**

**Megger**

**IRIS**  
POWER

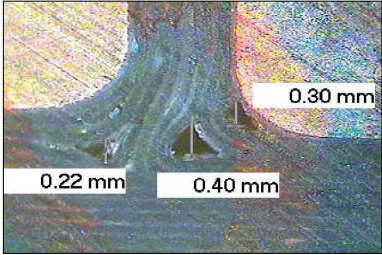
**Baker**

33



## Ensayos On-Line de Predictivo en Máquinas Rotativas.

### *Tecnología de Descargas Parciales.*



1



## Seminario de Predictivo en Máquinas Rotativas.

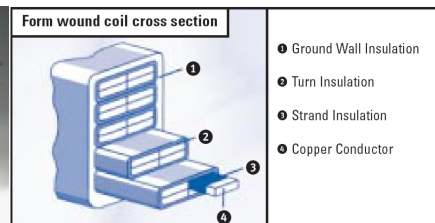


- **Introducción**  
Unitronics electric, Iris Power. Objetivos del Seminario.
- **La Máquina Rotativa en Campo.**
- **Acercamientos On-Line.**
- **Tecnología de Descargas Parciales.**
  - Aislamiento eléctrico, Causas de las DP. Método de medida.
  - El ruido, ¿Es tan importante?. Sensores, Unidades, Gráficos. ¿Qué hay que montar?. Sistemas de medida.
- **Descanso.**
- **Diagnóstico de Descargas Parciales.**
- **Tecnología de flujo rotórico.**
  - Máquinas Síncronas. ¿Por qué monitorizar el rotor?. Mecanismos de fallo.
  - Medidas de flujo. ¿Qué hay que montar?. ¿Cómo se hace la medida?. Casos reales.
- **Bibliografía: Ruegos y preguntas.**

2

- En relación con el resto de elementos que componen el estator (cobre, chapa magnética...), el aislamiento es el más **débil** a la acción de los esfuerzos a los que esta sometida la maquina, tales como vibración, calor, tensión, etc., por lo que ...

**GENERALMENTE EL ESTADO DEL SISTEMA AISLANTE DEFINE LA VIDA REMANENTE** del devanado del estator.



3

- **¿Y las descargas parciales: qué tienen que ver con todo esto?**
  - Si el aislamiento fuera perfecto; su diseño, su fabricación, si no envejeciera, si no se dañase... las máquinas reducirían sus problemas a los aspectos mecánicos.
  - El mundo real es bien distinto y los aislamientos están expuestos a diversos mecanismos de degradación...
  - Degradación por mecanismos **TEAM**.
  - **T**érmicos, **E**léctricos, **A**mbientales y **M**ecánicos.
- En los **aislamientos imperfectos** existen discontinuidades de los mismos en las que se generarían descargas parciales.

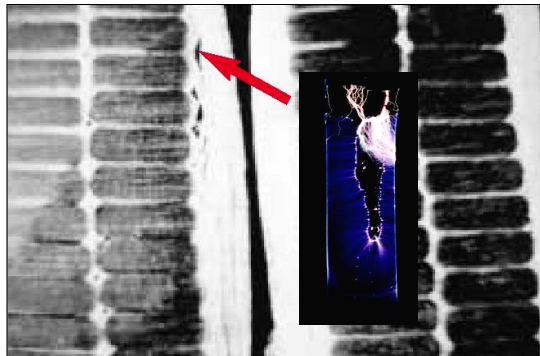
4



## DESCARGAS PARCIALES. ¿Qué son?.



**Descargas Parciales** o **DP**: Se trata de **descargas eléctricas**, chispas que puentean solo parcialmente el aislamiento entre dos conductores. Estas descargas se producirán en cavidades, espacios o huecos en el aislamiento interiores al mismo o adyacentes a los conductores o ranuras de estator (tierra). La descarga es **parcial**, no es ruptura: el resto del aislamiento puede seguir cumpliendo con su función.



Ejemplo de  
bolsas de aire  
entre  
laminaciones del  
aislamiento,  
huecos, voids...

5



## DESCARGAS PARCIALES. ¿Por qué ocurren?.



### ¿Por qué aparecen las DP?

La menor constante dieléctrica del medio gaseoso respecto del medio aislante, causa aumento del campo eléctrico en el hueco. El suficiente para ocasionar la perforación dieléctrica, en cuanto exista un electrón disponible superada la tensión de inyección o en cuanto aparezca ionización.

### ¿Cual es el efecto de las DP?

Contribuyen a dañar componentes orgánicos del aislamiento. El ozono producido también causa daños.

### ¿Por cuanto tiempo?

La acción de las DP puede prolongarse por varios años, dependiendo de la tensión nominal, gracias a la mica.

6

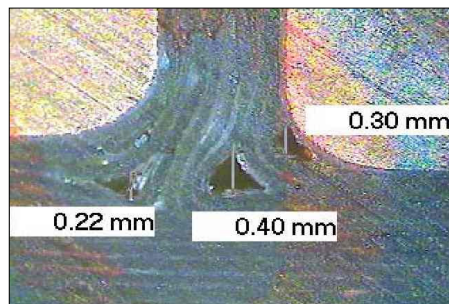


## DESCARGAS PARCIALES. Descripción.



La **causa habitual** de las descargas son Defectos en el aislamiento:

- Burbujas, huecos, grietas en interior del aislamiento.
- Impurezas y elementos extraños.
- Errores de diseño en el sistema de aislamiento.
- Degradación de la homogeneidad en el aislamiento (espacios cobre-aislamiento o aislamiento-chapa).



Cavidades en aislamiento debidas a defectos en el proceso de fabricación.

7



## DESCARGAS PARCIALES. ¿Cómo medirlas?.



### MÉTODOS DE DETECCIÓN.

#### DIRECTOS

- Transferencia de carga eléctrica (métodos eléctricos, condensador).
- Radiación electromagnética (sondas / antenas).
- Ruido debido a ondas de presión (ultrasonidos).

#### INDIRECTOS

- Aumento local de la temperatura.
- Pérdidas dieléctricas ( $\tan \delta$ , capacidad y tip-up).
- Radiación visible y ultravioleta (métodos de detección óptica, "Black-out test").
- Generación de ozono.

8

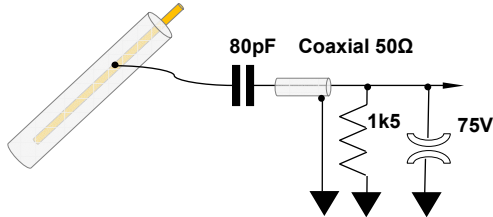


## DESCARGAS PARCIALES. ¿Cómo medirlas?.



### ¿Qué sensores o captadores utilizar?

- Capacitivos.** Condensadores de alta tensión. Unidos a una R forman un filtro paso alto. Los kV (50Hz) quedan en mV y las DP (mV) apenas se alteran.

Ejemplo de acopladores de 6.9, 16 y 25kV.

9



## DESCARGAS PARCIALES. ¿Con qué valores se miden?



### UNIDADES DE MEDIDA

Se registran diferentes parámetros del pulso: magnitud, pulsos/seg y fase/polaridad

- Magnitud.** Tiene una relación directa con el tamaño del hueco o lo que es lo mismo, con la gravedad del daño.



A



B

B mayor magnitud que A

Se usan las siguientes unidades:

- **miliVoltios (mV).** Aplicable a objetos inductivos (medida directa).
- **picoCulombios (pC).** No aplicable “éticamente” para máquinas rotativas en campo.

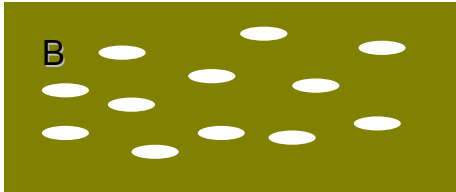
10



## DESCARGAS PARCIALES. ¿Con qué valores se miden?

### UNIDADES DE MEDIDA

- Pulsos por segundo (pps).** Conteo de pulsos en la unidad de tiempo. Tiene una relación directa con la cantidad de huecos o lo que es lo mismo, con la **extensión** del daño.



B más pulsos que A

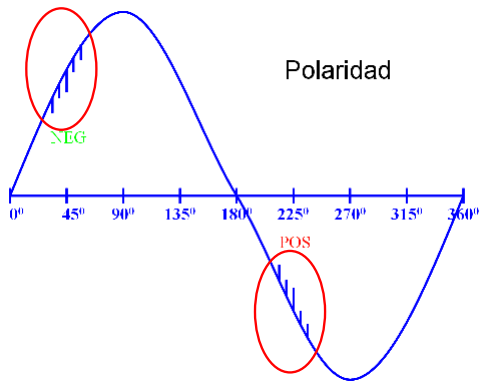
11



## DESCARGAS PARCIALES. ¿Con qué valores se miden?

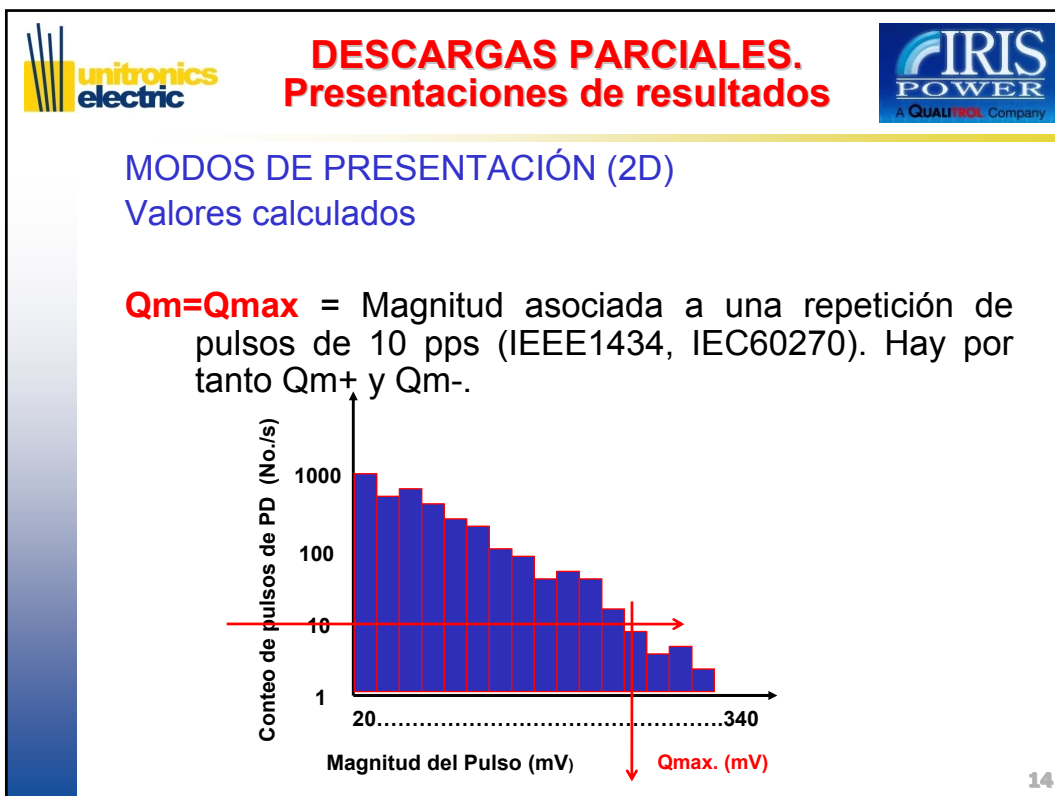
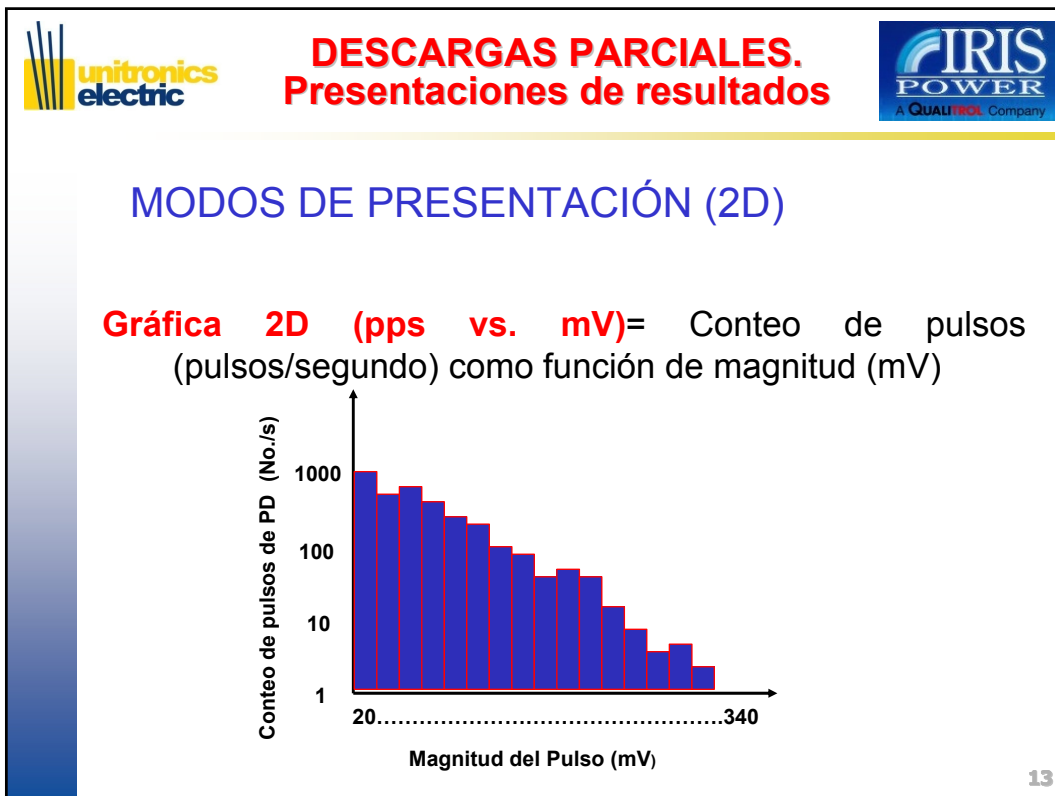
### UNIDADES DE MEDIDA

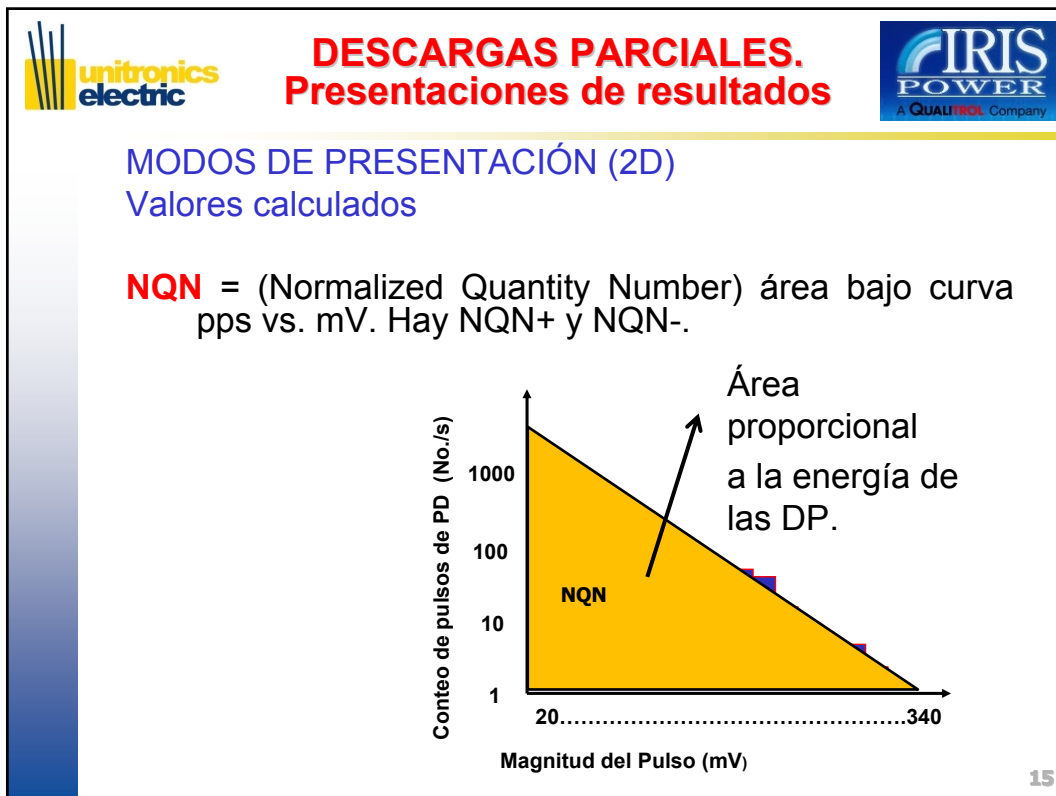
- Polaridad/Angulo de Fase.** Respecto a la frecuencia de red. Cada una de las características tiene relación con la ubicación de los huecos, es decir, con el **tipo** de daño.

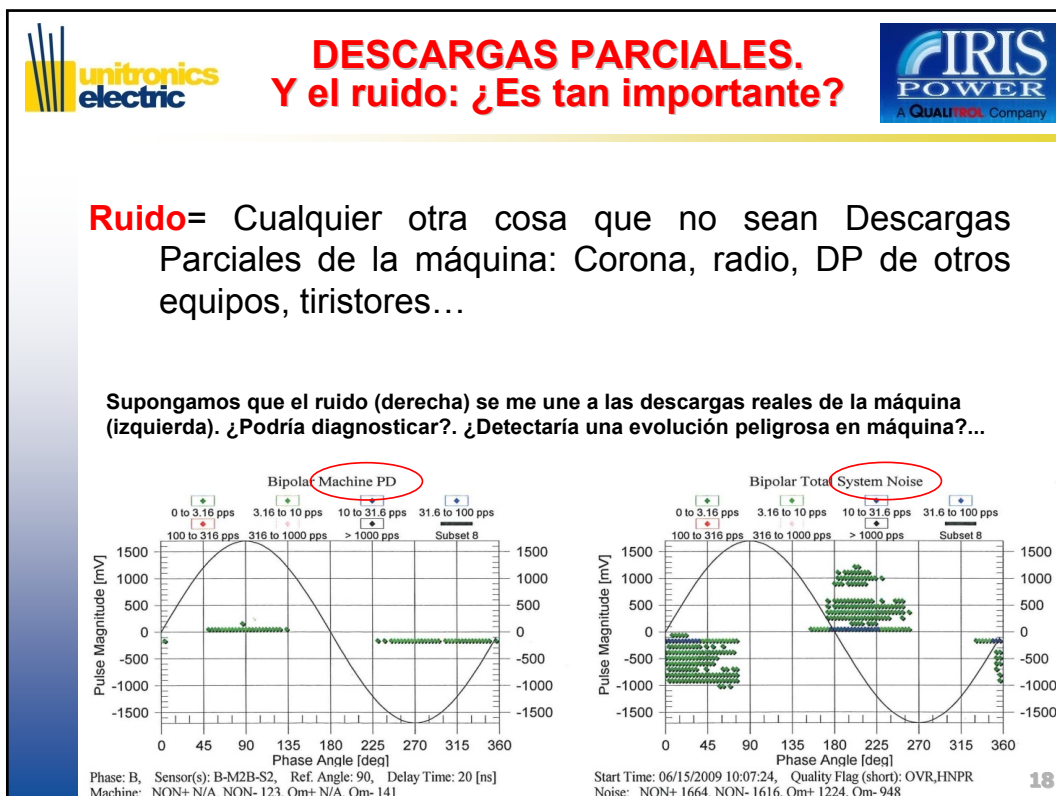
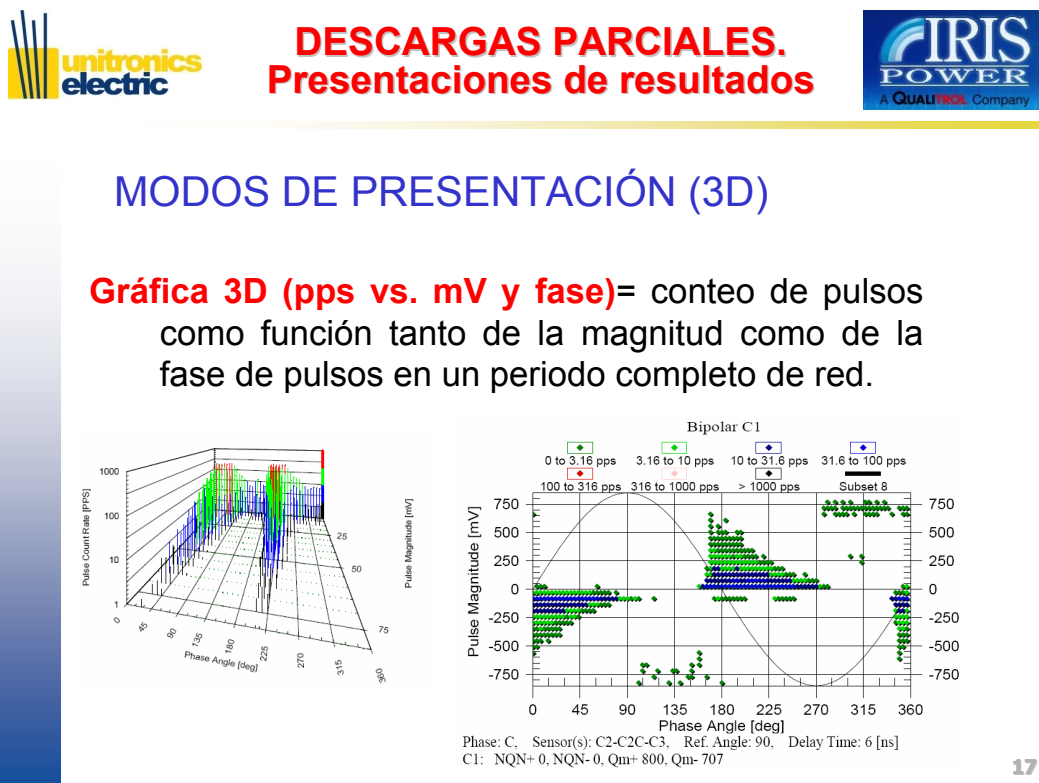


Polaridad

12









## DESCARGAS PARCIALES. Y el ruido: ¿Se puede eliminar?



### ¿Cómo lo eliminamos?

- Otros sistemas eliminan el ruido mediante distintas técnicas: Poner filtros, cambios en los anchos de banda, fijación de niveles de corte... Estas técnicas no siempre funcionan y suelen requerir un experto que las configure...
- IRIS POWER desarrolló una técnica muy eficiente que viene utilizando para cada medida (Cada fase) **dos sensores**.
  - Se llaman técnicas de **Tiempo de vuelo**.
  - Buscando para cada pulso (cada descarga=DP) el tiempo que tarda en llegar a cada sensor podríamos diferenciar si la Descarga Parcial viene de la Máquina (DP), o bien del cableado, externa o del Sistema (Ruido).

19



## DESCARGAS PARCIALES. Eliminación de ruido.

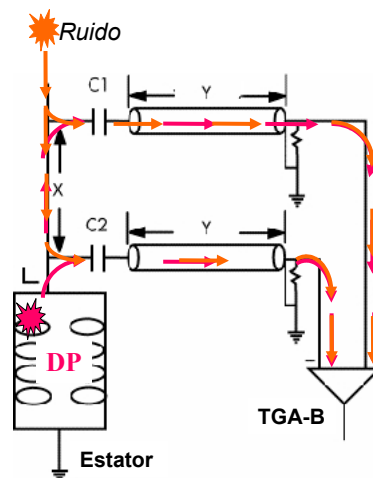


**Eliminación de ruido por “Tiempo de vuelo”**= Iris Power usa 2 condensadores para ver la dirección de cada descarga, de esa forma se sabe si sale de la máquina (PD real) o llega a ella (ruido).

$X$  = tiempo (ns) entre acopladores.

$Y$  = igualar longitud cables.

| Clasificación | Sensor en máquina | Sensor en sistema |
|---------------|-------------------|-------------------|
| PD real       | $Y$               | $Y+X$             |
| Ruido sistema | $Y+X$             | $Y$               |
| Ruido en bus  | $Y+(<X)$          | $Y+(<X)$          |

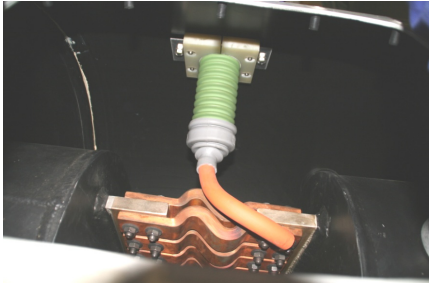


20



## DESCARGAS PARCIALES. ¿Qué hay que montar?.

### ¿Qué es lo mínimo para poder medir DP?



Un acoplador capacitivo de 25kV instalado.

“Terminal Box” independiente, también puede ir incorporada a un posible equipo de medida on-line permanente (Gama Trac o Guard).



- 1) Captador: Acopladores capacitivos.
- 2) Terminal Box.
- 3) Cableado y calibración.

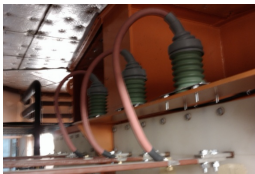
21



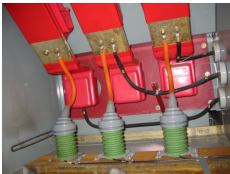
## DESCARGAS PARCIALES. ¿Qué hay que montar?.

- La **instalación mínima** consta de 1 ó 2 acopladores por fase y una Caja de terminación con BNCs. Calibración.

Acopladores en posición Sistema.



Acopladores en posición Máquina.



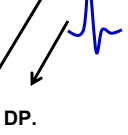
Generador.



Ruido.



DP.



Terminal Box.



22

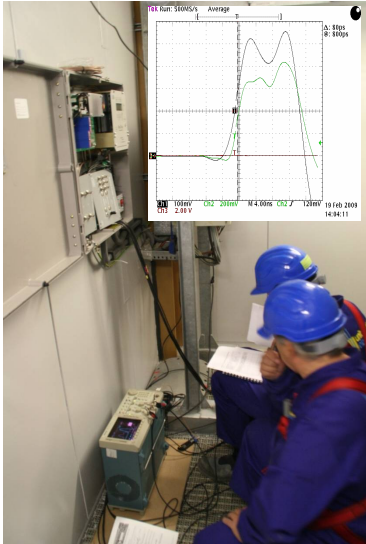
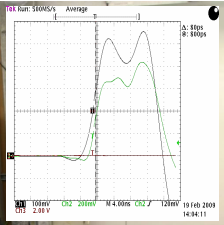


## DESCARGAS PARCIALES.

### ¿Qué hay que montar?.



- Tras la **instalación** se requiere la calibración o ajuste del cableado (reflectometría).  
**EN SISTEMAS TIPO BUS:**
  - Asegurar que en cada fase las distancias del cableado (Y = distancia física y eléctrica) son las mismas a Máquina que a Sistema.
  - Determinar las distancias eléctricas X= en nanosegundos (ns) entre posición Máquina y Sistema para cada fase (p. ej.: A=36ns, B=28ns, C=23ns).

23



## DESCARGAS PARCIALES.

### Sistemas de medida. (Ejemplos Iris Power).



### Instrumentos



**Sistema Portátil.**



**Sistemas TRAC.**



**Sistemas GUARD.**

| MONITORIZACIÓN PERIODICA                                                  | MONITORIZACIÓN CONTÍNUA.                                                                                | MONITORIZACIÓN CONTÍNUA.                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Captadores instalados, se ensaya 1/2 veces / año o según programa.</p> | <p>Primer acercamiento, básicamente como relé de alarma. Si alta actividad precisa equipo portátil.</p> | <p>Segundo acercamiento, pruebas completas para análisis (con ángulo de fase). Varias máquinas, enlaza con SCADA OPC.</p> |

24

- **DIAGNÓSTICO:**
  - **mV** = Gravedad del daño.
  - **pps** = Extensión del daño.
  - **Polaridad descargas** = Localización el daño.
  - **Ángulo de fase descargas** = Tipo de daño.
  - **Dependencias con Temperatura y carga** = Asegurar fallo.



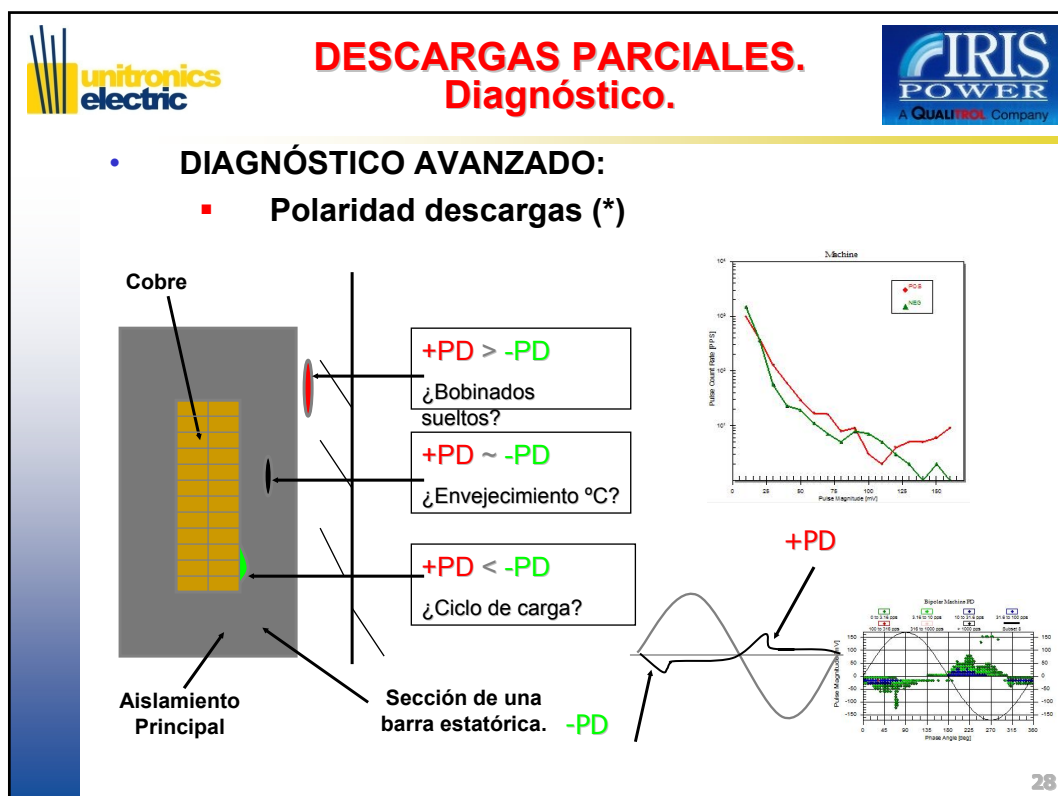
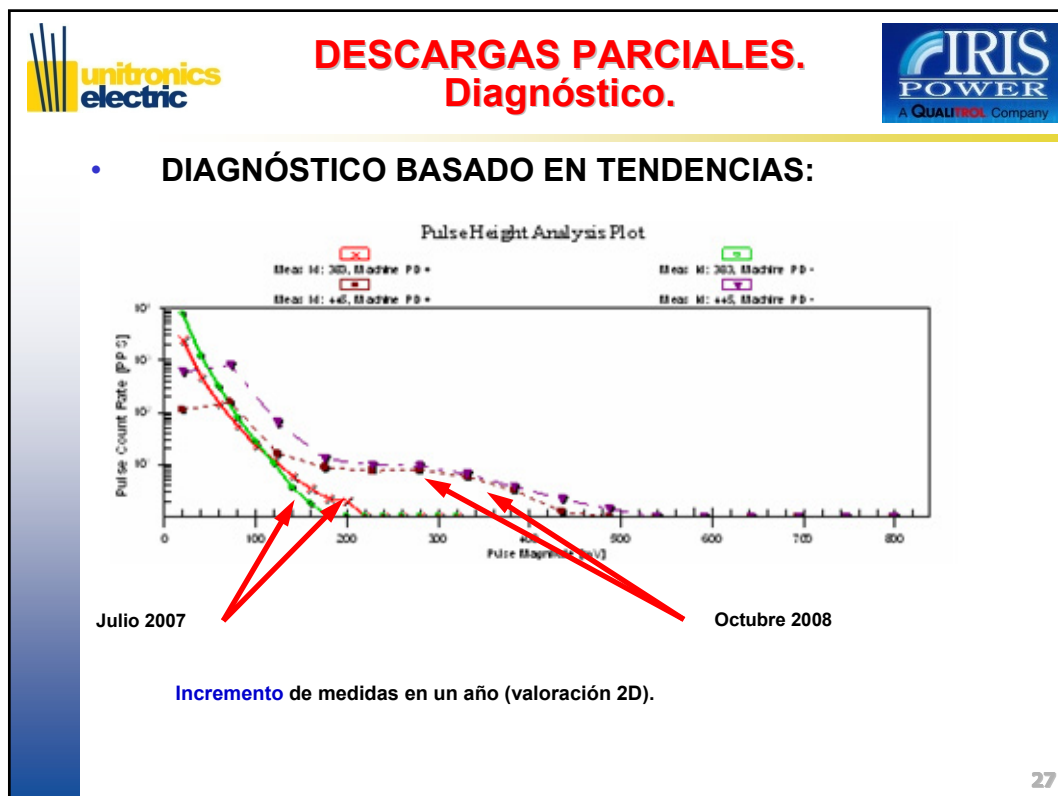
25

- **DIAGNÓSTICO PUNTUAL:**  
Es útil comparar entre las tres fases, con máquinas similares si las hay. Iris Power dispone de una base de datos pública de 85.000 ensayos realizados a “**FLH**” en distintas máquinas y organizados por características y grado de “degradación” a modo de percentil.

| Hydrogen Cooled Machines with 80pF Capacitive Sensors - Qm Values (mV) |          |         |       |         |       |       |         |       |       |     |        |       |     |
|------------------------------------------------------------------------|----------|---------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|-----|--------|-------|-----|
| Stator V                                                               |          | 10-12kV |       | 13-15kV |       |       | 16-18kV |       |       |     | > 19kV |       |     |
| Level                                                                  | H2 (psi) | 11-20   | 21-30 | 11-20   | 21-30 | 31-50 | 11-20   | 21-30 | 31-50 | >50 | 21-30  | 31-50 | >50 |
| Negligible                                                             | < 25th   | 0       | 8     | 11      | 10    | 5     | 144     | 0     | 0     | 6   | 71     | 0     | 5   |
| Low                                                                    | < 50th   | 35      | 11    | 43      | 30    | 28    | 167     | 20    | 16    | 10  | 144    | 15    | 10  |
| Typical                                                                | < 75th   | 53      | 13    | 139     | 58    | 54    | 486     | 55    | 38    | 16  | 216    | 45    | 26  |
| Moderate                                                               | < 90th   | 171     | 14    | 309     | 135   | 88    | 782     | 105   | 80    | 36  | 611    | 87    | 99  |
| High                                                                   | < 95th   | 238     | 15    | 368     | 214   | 136   | 831     | 232   | 106   | 48  | 846    | 106   | 145 |
| Very High                                                              | > 95th   | 238     | 15    | 368     | 214   | 136   | 831     | 232   | 106   | 48  | 846    | 106   | 145 |
| Avg                                                                    |          | 60      | 11    | 124     | 53    | 42    | 319     | 56    | 32    | 16  | 264    | 28    | 37  |
| Max                                                                    |          | 370     | 17    | 1564    | 459   | 400   | 933     | 820   | 160   | 69  | 1172   | 140   | 482 |

FLH= Full Load Hot = Plena carga caliente.

26





## DESCARGAS PARCIALES. Diagnóstico.



- **DIAGNÓSTICO AVANZADO:**
  - **Ángulo de fase descargas (\*).**
    - ✓ Descargas parciales tradicionales =(-) 45° y (+) 225°
    - ✓ Descargas Fase tierra, entre fases +/-30° (Entre fases)

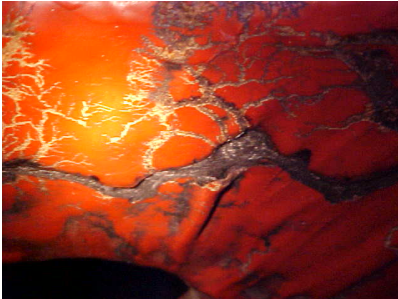
| Problema                                                         | Fase / Polaridad      | PD si Temp> | PD si Load> |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|
| Delaminación Térmica / Mala impregnación                         | 45°, 225°             | <           | =           |
| Ciclo de carga                                                   | 45° (-)               | <           | >           |
| Bobinados sueltos                                                | 225° (+)              | <           | >           |
| Descargas de ranura                                              | 225° (+)              | <           | =           |
| Contaminación en cabezas de bobina / mal espaciado entre bobinas | 15°, 75°, 195°, 225°. | =           | =           |
| Fallo en interface Semiconductora / De gradiente                 | 225° (+)              | >           | =           |

29



## DESCARGAS PARCIALES. Ejemplos de fallos.

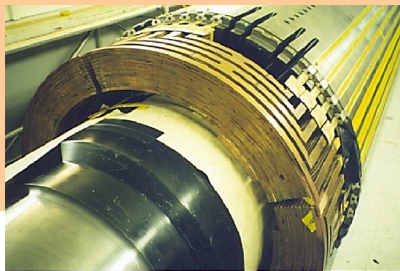



30

## Ensayos On-Line de Predictivo en Máquinas Rotativas.

### *Tecnología de Flujo Rotórico.*



1

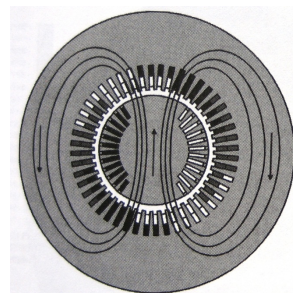
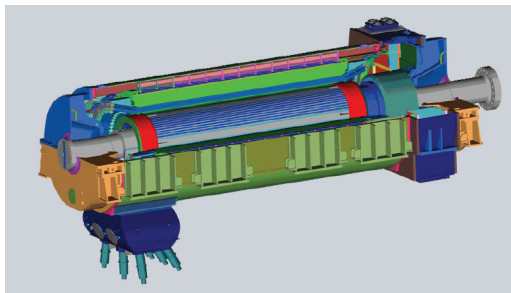
## Seminario de Predictivo en Máquinas Rotativas.

- **Introducción**  
Unitronics electric, Iris Power. Objetivos del Seminario.
- **La Máquina Rotativa en Campo.**
- **Acercamientos On-Line.**
- **Tecnología de Descargas Parciales.**
  - Aislamiento eléctrico, Causas de las DP. Método de medida.
  - El ruido, ¿Es tan importante?. Sensores, Unidades, Gráficos. ¿Qué hay que montar?. Sistemas de medida.
- **Descanso.**
- **Diagnóstico de Descargas Parciales.**
- **Tecnología de flujo rotórico.**
  - Máquinas Síncronas. ¿Por qué monitorizar el rotor?. Mecanismos de fallo.
  - Medidas de flujo. ¿Qué hay que montar?. ¿Cómo se hace la medida?. Casos reales.
- **Bibliografía: Ruegos y preguntas.**

2

### MÁQUINAS SÍNCRONAS.

- Los bobinados de campo crean el campo magnético.
- Los bobinados proveen los amperios / vuelta necesarios para llevar al generador a sus valores de operación dentro de los límites de tensión y temperatura.
- Los requerimientos para el aislamiento son mínimos.
- Los requerimientos mecánicos y térmicos son muy severos.



3

### ¿Por Qué monitorizar el Rotor?

- **NERC**: North American Electric Reliability Corporation.
- Según estadísticas **NERC** el origen del fallo se localiza en:
  - Devanado Estator: 33%
  - Devanados Rotor: 23%
  - Núcleo Estator: 3%
- ¿A qué esfuerzos está sometido el Rotor?
  - Tensión entre espiras.
  - Aspectos mecánicos.
  - Aspectos térmicos.

4

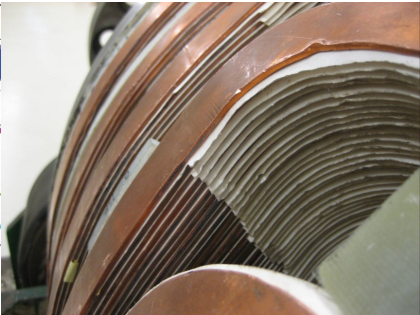
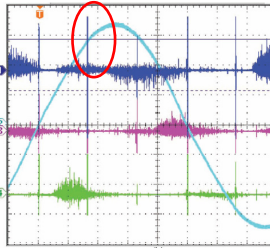


## Medida de Flujo en entrehierro.

### MÁQUINAS SÍNCRONAS.

#### TENSIÓN ENTRE ESPIRAS.

- Las tensiones entre espiras son reducidas.
- En grandes turbos: 5 a 15 voltios por vuelta.
  - 21,200KVA 3600rpm generador: 0.52V/vuelta.
  - 800HP 1200rpm motor: 0.098V/Vuelta.
- El aislamiento entre espiras está expuesto a **elevados transitorios** de tensión.

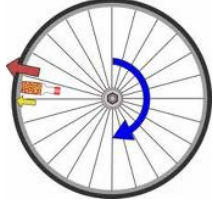




## Medida de Flujo en entrehierro.

### MÁQUINAS SÍNCRONAS.

#### CONSIDERACIONES MECÁNICAS.



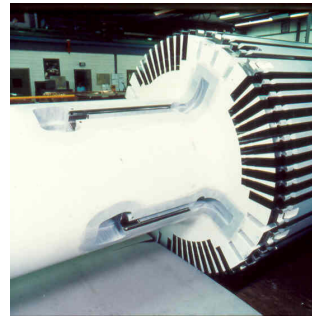
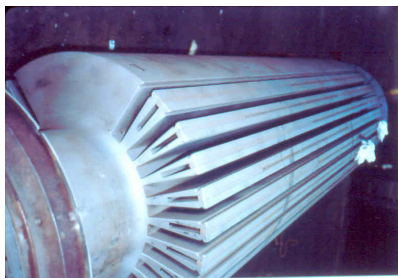
- Las fuerzas centrífugas son imponentes.
- 6000 a 10000G** en la superficie de grandes turbos de 2 polos.
  - 21,200KVA 3600rpm generador: **5160G**.
  - 800HP 1200rpm motor: **550G**.
- El aislamiento está sometido a fuerzas de compresión de 3000psi, (unos **207bar**) o más.
- Los bobinados están expuestos a fuerzas de expansión térmicas diferenciales.

6

## MÁQUINAS SÍNCRONAS.

### CONSIDERACIONES TÉRMICAS.

- La retirada de calor de los bobinados está limitada a la superficie.
- Los puntos más calientes están muy por encima del promedio.
- Los puntos más calientes están próximos a los límites de clase de los aislamientos.



7

## ¿Por Qué falla el aislamiento del Rotor?

### Máquinas de polos lisos.

- Envejecimiento térmico debido a un diseño pobre, sobreexcitación u operación inadecuada.
- Abrasión del aislamiento a tierra debido a ciclo térmico (arranque-parada rápidos repetidos).
- Polvo de cobre depositado en el modo de giro lento (turning gear).

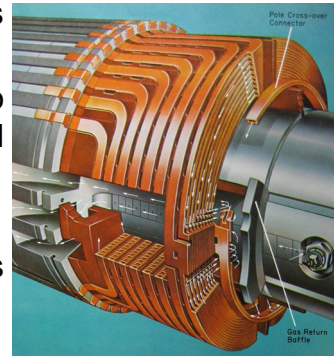


8

### Mecanismos de fallo.

#### Conductores:

- Fatiga del metal en las espiras superiores debido a estrés alterno.
- Distorsión de los extremos de bobinado debida a fuerzas de expansión diferencial no uniformes y fuerzas centrífugas.
- Ruptura de uniones –enlace entre polos.
- Ruptura de conexionado a bobinados polares.
- Soportes de bloqueo sueltos.
- Operación. Métodos y errores (sobre-excitación, mucha velocidad...).

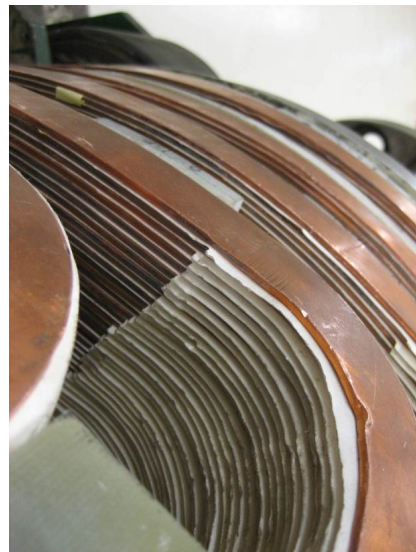


9

### Mecanismos de fallo.

#### Aislamiento entre espiras.

- Abrasión debida a la expansión / contracción.
- Aislamiento aplastado o desplazado.
- Deterioro térmico causando pérdida de propiedades físicas.
- Ruptura eléctrica debido a transitorios o tensiones inducidas.
- Punteo del aislamiento por contaminantes conductores.



10

### Mecanismos de Fallo.

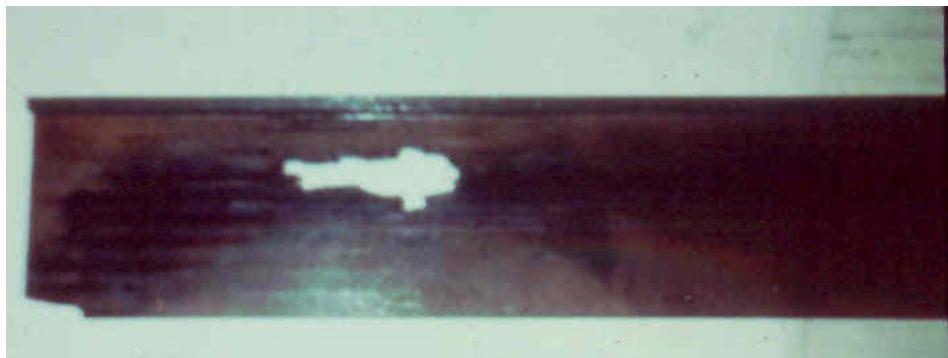
#### Aislamiento principal (a tierra).

- Abrasión del aislamiento: en ranura o anillo de retención.
- Aislamiento machacado o desplazado.
- Deterioro térmico.
- Deterioro eléctrico.
- Caminos conductores creados por contaminantes conductores.
- Una tierra / dos tierras.



11

- Abrasión / perforación del aislamiento.

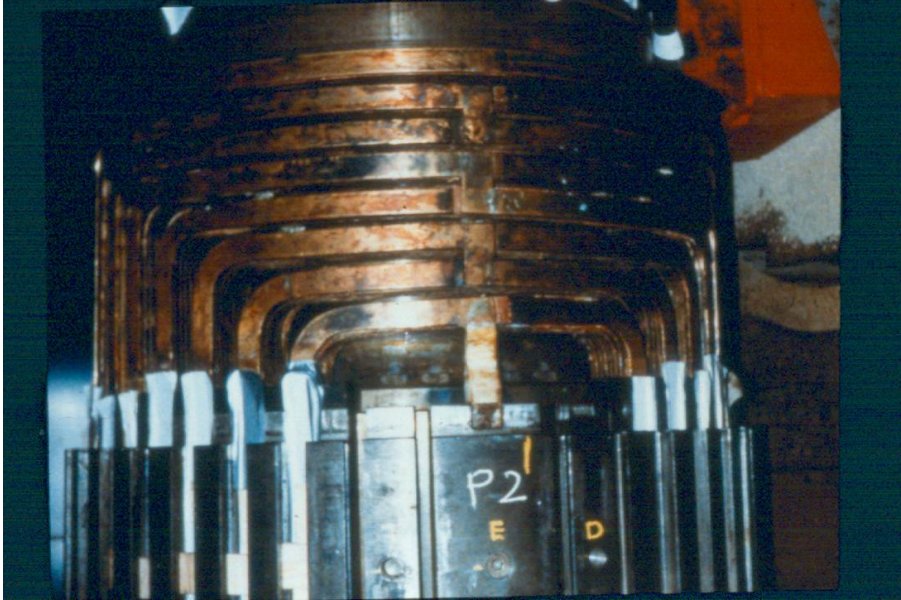


12



## Medida de Flujo en entrehierro.

- Deformación / distorsión en cabezas de rotor.



13



## Medida de Flujo en entrehierro.

- Depósito de polvo de cobre.



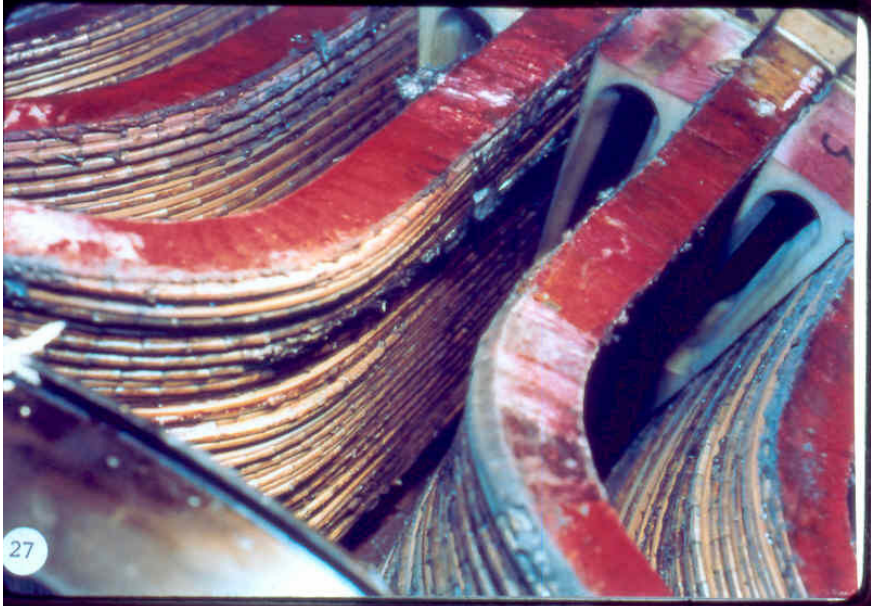
14



## Medida de Flujo en entrehierro.



- Fallo en aislamiento rotórico.



15

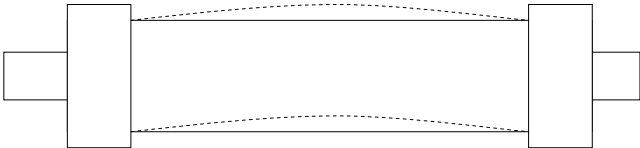


## Medida de Flujo en entrehierro.



Cortos entre espiras en el Rotor.

- Los cortos nos indicarán un fallo de aislamiento en el rotor.
- Conducirán a **mayores pérdidas eléctricas** y en consecuencia a una reducción de potencia y eficiencia del generador.
- Pueden conducir a desbalanceo térmico y magnético y a **vibraciones mecánicas** ya que las espiras en corto quedan frías.



16

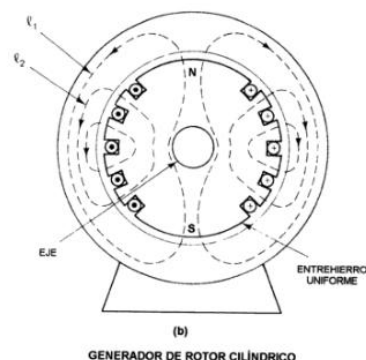


## Medida de Flujo en entrehierro.



### Medidas de Flujo.

- Una sonda de flujo fija montada en el entrehierro es sensible al flujo radial según el rotor pasa sobre ella.  $V \approx d\Phi/dt$ .
- La densidad de flujo en cada ranura es función del número de espiras activas en la ranura, distorsionada por la densidad de flujo del entrehierro en ese punto.
- Las espiras en corto, crean una reducción del flujo de fugas para la ranura afectada.



(b)  
GENERADOR DE ROTOR CILÍNDRICO

CLASIFICACIÓN DE GENERADORES POR EL TIPO DE ROTOR

17

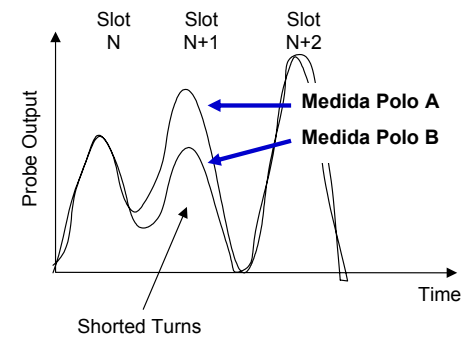


## Medida de Flujo en entrehierro.

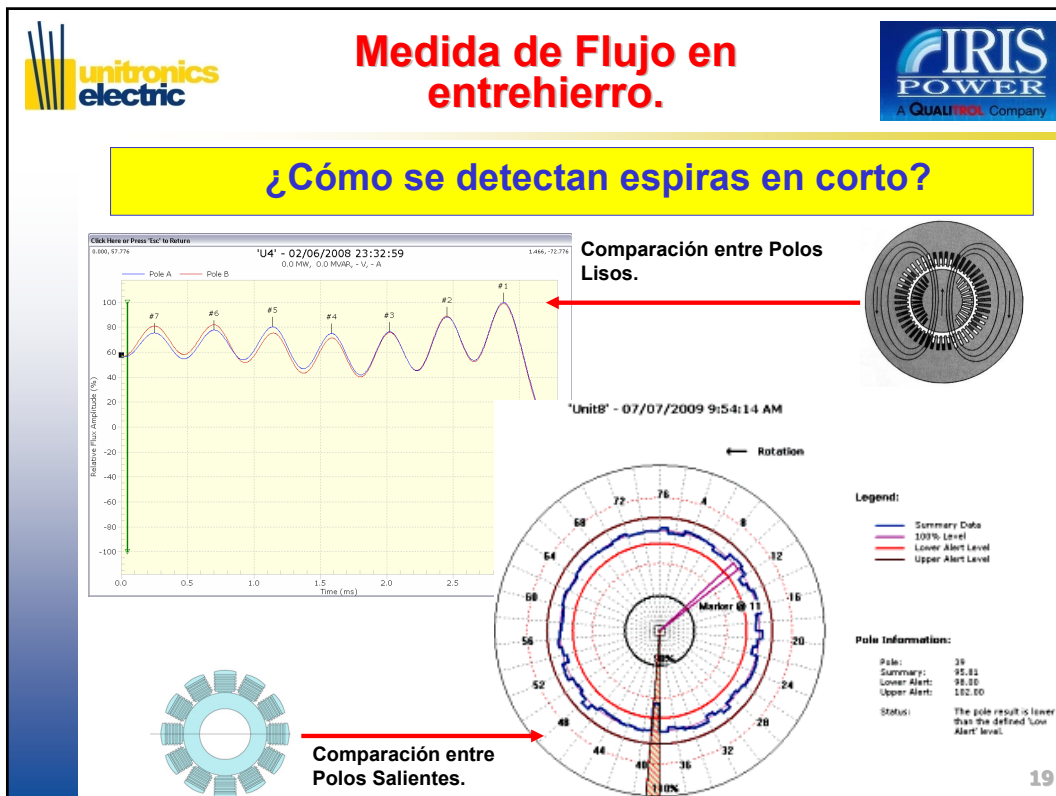


### ¿Cómo se detectan espiras en corto?

- Trabajando con la tendencia y apreciando una evolución sin cambios.
- Mediante superposición y comparación con los datos de flujo de las sondas entre ranuras correspondientes en los dos polos.
- Las áreas relativas darán una indicación del número de espiras afectadas.
- Según el tipo de máquina (polos lisos-salientes) la comparación se realiza de modo diferente...



18





## Medida de Flujo en entrehierro.



### ¿Qué hay que montar?.

- Se precisaría la instalación de una sonda de flujo o adaptar la sonda de flujo existente a la medida.
- Es preferible disponer de una señal de sincronismo.





Sonda Iris TF y su montaje sobre los dientes del estator.

21



## Medida de Flujo en entrehierro.



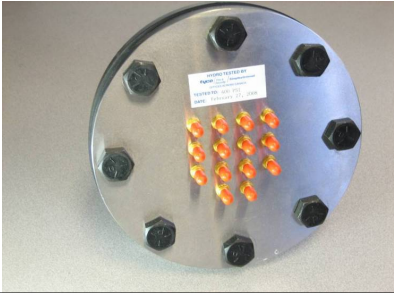
### ¿Qué hay que montar?.



Sonda TF.



Key Phasor.



Pasante de señal (para generadores refrigerados por H<sub>2</sub>).



Termination Box.

22



## Medida de Flujo en entrehierro.

### ¿Qué hay que montar?.

Ejemplo de un sensor de sincronismo «Key Phasor».

- Si se monta el sensor o se cablea uno existente, hay más apoyo en el diagnóstico.



23



## Medida de Flujo en entrehierro.

### ¿Qué ofrece el ensayo de flujo de Iris?.

- Ofrece un diagnóstico inicial incluso si la carga es constante.
- Permite la recogida de datos de cualquier sonda de flujo.
- Tres modos de ensayo (Manual, programado en el tiempo o basado en carga).
- Tres entradas de referencia externa (Sensor sync, interna 50Hz, externa).
- Comparte las estructuras de datos de otros instrumentos de Iris (IID).

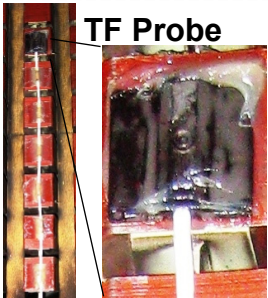
24



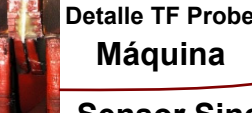
## Medida de Flujo en entrehierro.



**INSTALACIÓN (Equipo Portátil).**



**TF Probe**



**Detalle TF Probe  
Máquina**



**Sensor Sinc**

**Caja  
Terminación**



**Instrumento  
Portátil RFAII**





**SW RotorFluxPro**

25



## Medida de Flujo en entrehierro.



**EQUIPO POLOS SALIENTES: RFAII-S**

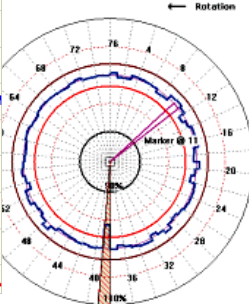


- Polos salientes: Hydros.
- SW análisis RotorFluxPro.

**Ejemplo de medidas y resumen en Polos salientes.**



"Unit8" - 07/07/2009 9:54:14 AM



**Legend:**

- Summary Data
- 100% Level
- Lower Alert Level
- Upper Alert Level

**Pole Information:**

|              |        |
|--------------|--------|
| Pole:        | 36     |
| Summary:     | 95.01  |
| Lower Alert: | 95.00  |
| Upper Alert: | 102.00 |

**Status:** The pole result is lower than the defined 'Low Alert' level.

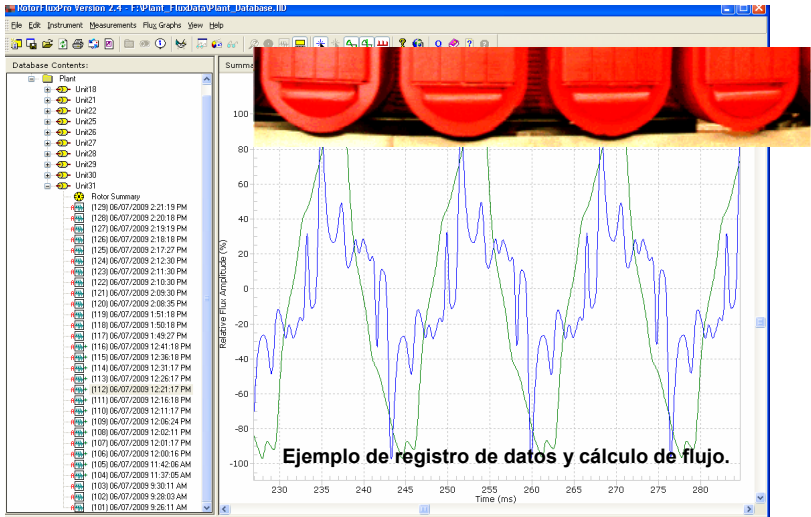
26



## Medida de Flujo en entrehierro.



### EQUIPO POLOS SALIENTES: RFAII-S



**Ejemplo de registro de datos y cálculo de flujo.**

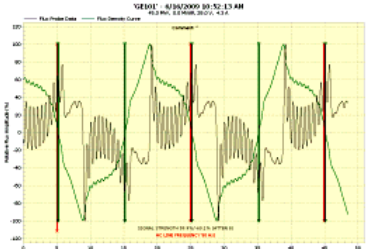
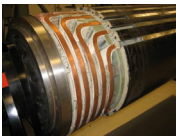
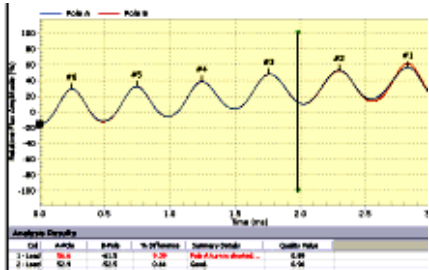

27



## Medida de Flujo en entrehierro.

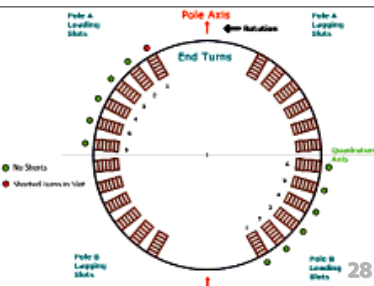


### EQUIPO POLOS LISOS: RFAII-R

| Item     | Value | Unit | Summary | Quality |
|----------|-------|------|---------|---------|
| 1. Level | 0.0   | dB   | Good    | 0.98    |
| 2. Level | 0.0   | dB   | Good    | 0.98    |
| 3. Level | 0.0   | dB   | Good    | 0.98    |

- Polos lisos (rotor cilíndrico): Turbos.
- SW análisis RotorFluxPro.



28



**unitronics electric**

**Medida de Flujo en entrehierro.**

**IRIS POWER**  
A QUALTECH Company

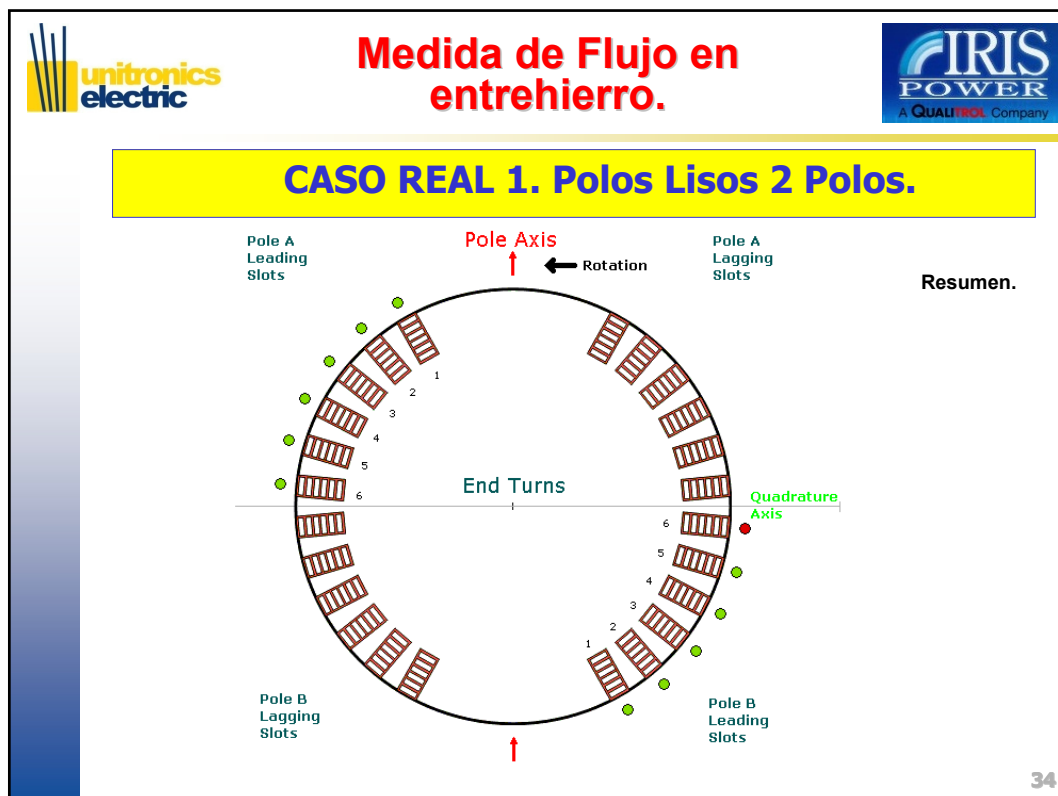
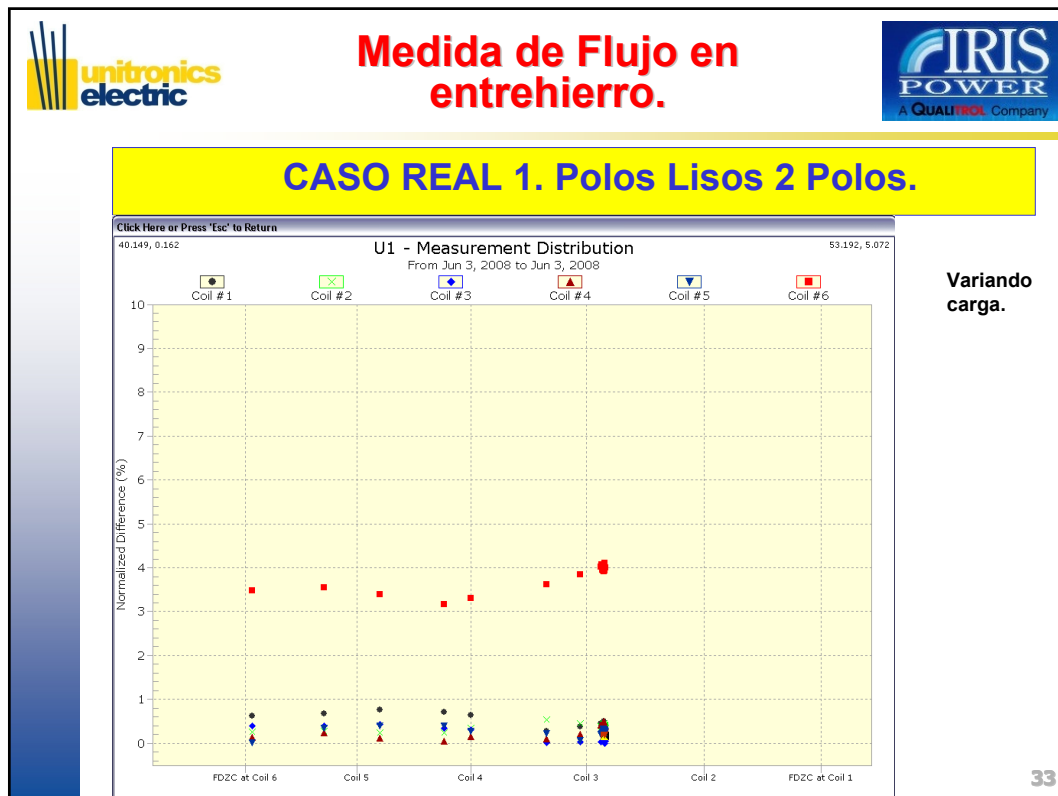
**RESUMEN EQUIPO PORTÁTIL: RFAII**

- Medición con instrumento RFA: es un sistema mejorado para la detección de cortos entre espiras.
- Diagnóstico inicial posible a cualquier carga, con cualquier sensor de flujo.
- Alta sensibilidad con medida de alta resolución y novedosos algoritmos.
- Datos formato IID (Iris Instrument Database).

Equipo de medida RFA.

30











## Medida de Flujo en entrehierro.



### ¿Por Qué Monitorización Continua?

- Automatización & Supervisión.
  - Acceso remoto desde centro de control.
  - Aprovecha SW existente de control & supervisión.
- Recursos limitados.
  - Evita ensayos manuales (con/des).
  - Acceso permanente, menos costos.
  - Enfoque máquinas con alerta (menor %).
- Alertas.
  - Valores límite pre-configurados.
  - Medidas desde vacío hasta plena carga.
- Protección / Seguridad.
  - Evita visitas costosas y algunas veces peligrosas a plantas remotas.

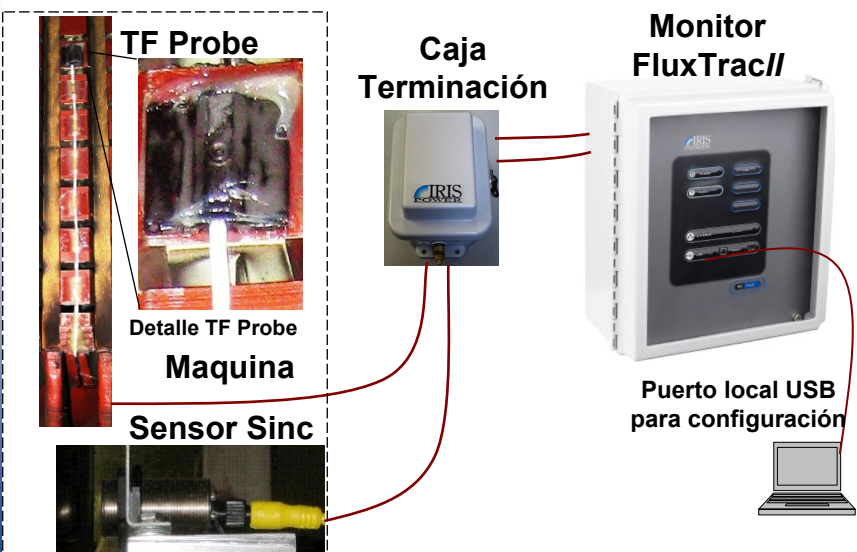
39



## Medida de Flujo en entrehierro.



### INSTALACIÓN (Equipo Fijo FluxTracII).



The diagram illustrates the installation of the FluxTracII equipment. It shows a **TF Probe** and a **Sensor Sinc** connected to a **Caja Terminación** (Termination Box). The **Caja Terminación** is then connected to the **Monitor FluxTracII**. The **Monitor FluxTracII** has a **Puerto local USB para configuración** (local USB port for configuration) which is connected to a laptop. The **Monitor FluxTracII** is also connected to the **TF Probe** and **Sensor Sinc** via a **Detalle TF Probe Maquina** (Machine Detail TF Probe).

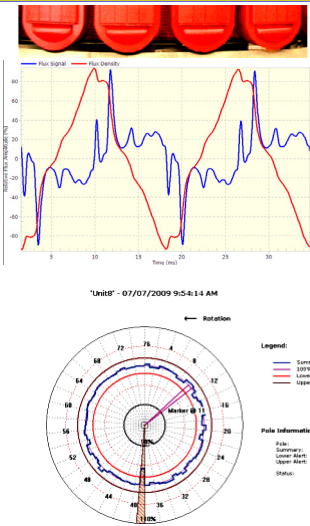
40



## Medida de Flujo en entrehierro.



### INSTALACIÓN (FluxTracII-S).



- Máquinas de polos salientes.
- Algoritmos de análisis incorporados.
- Puntos de carga.
  - Normal: hasta 10.
  - Bombeo: 1
- Últimas medidas.
  - Con alerta (fuera rango)
  - Sin alerta (en rango).
- Alerta activa relé.
- No se requiere PC.

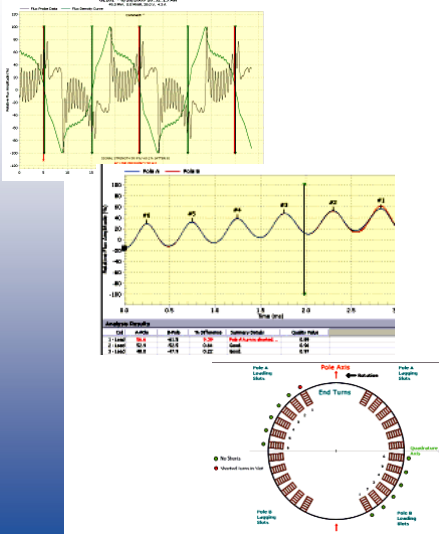
41



## Medida de Flujo en entrehierro.



### INSTALACIÓN (FluxTracII-R).



- Máquinas de polos lisos (rotor cilíndrico).
- Algoritmos de análisis incorporados.
- Puntos de carga (hasta 10).
- Últimas medidas.
  - Con alerta (fuera rango)
  - Sin alerta (en rango).
- Alerta activa relé.
- No se requiere PC.

42

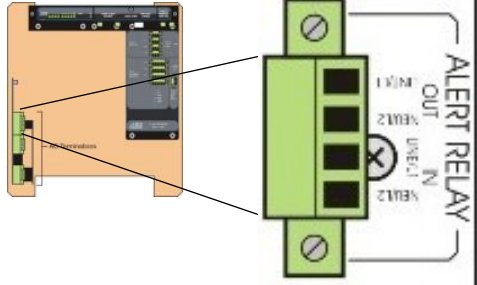


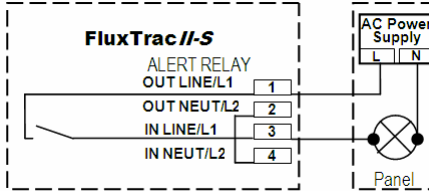
## Medida de Flujo en entrehierro.



### INSTALACIÓN (FluxTracII). Relé de Alerta.

- Espira en corto detectada.
- Contacto libre 0.5A, 250Vac /400Vdc.
- Programable
  - NA/NC.
  - Enclavado o momentáneo (4s).
- Opción remota (Red).





43

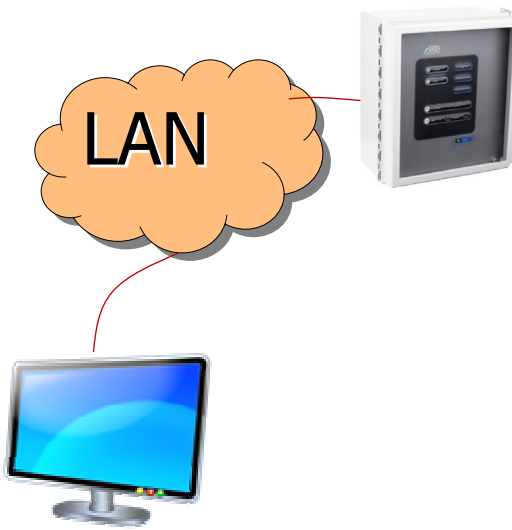


## Medida de Flujo en entrehierro.



### INSTALACIÓN (FluxTracII). Comunicación.

- Puerto RJ45.
- Ethernet (LAN).
- Permite adaptadores comerciales.
- RotorFluxPro SW incluido.
  - Descarga datos memoria.
  - Visualización datos.



44

### INSTALACIÓN (FluxTracII). SW Remoto.

- Protocolo Modbus TCP/IP.
- Incluye función como servidor y cliente.
- Instrumento y computador en misma red (LAN).
- Configuración con RotorFluxPro.
- Permite adaptadores comerciales.

#### Modbus Register Mapping

| Channel | Status Address Range | Data Address Range |
|---------|----------------------|--------------------|
| 1       | 4000 to 4249         | 7000 to 7249       |
| 2       | 4250 to 4499         | 7250 to 7499       |
| 3       | 4500 to 4749         | 7500 to 7749       |
| 4       | 4750 to 4999         | 7750 to 7999       |

#### Status Addresses Channel 1 (Other channels are s

| Address | ID             | Descr                                                                                                                                                                                                   |
|---------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4000    | UPDATE COUNTER | Decimal number, in the cyclic range 0 to 255. 0: Invalid data because either the counter was reset at startup, or ongoing update failed. n≠0: Counter incremented each time a new data point is posted. |
| 4001    | LOAD POINT     | Decimal number, in the range 0 (low load) to 255 (high load).                                                                                                                                           |
| 4002    | MODE           | Machine's operating mode, decimal number: 0: Undetermined, 1: Generating, 2: Pumping storage.                                                                                                           |
| 4003    | ALERTS         | The number of poles in alert.                                                                                                                                                                           |
| 4004    | POLE 1 STATUS  | Decimal number: 0: No alert is detected, or in excess of the limit. 1: A low flux density alert has been detected. 2: A high flux density alert has been detected.                                      |

45

### RESUMEN EQUIPO FIJO: FluxTracII.

- Adquisición automática a diferentes cargas.
- Uso racional de limitados recursos (alertas).
- Integración a sistemas de planta y monitorización de diagnóstico.
- Reducción de costos de ensayo (precios competitivos).
- Evita visitas a plantas remotas.
- Compatible con instrumento portátil RFAII.
- Apoyo de Iris Power, primera compañía ofreciendo monitorización continua de flujo.

Equipo de medida FluxTracII.



46



## Medida de Flujo en entrehierro.



- **Introducción**  
Unitronics electric, Iris Power. Objetivos del Seminario.
- **La Máquina Rotativa en Campo.**
- **Acercamientos On-Line.**
- **Tecnología de Descargas Parciales.**
  - Aislamiento eléctrico, Causas de las DP. Método de medida.
  - El ruido, ¿Es tan importante?. Sensores, Unidades, Gráficos. ¿Qué hay que montar?. Sistemas de medida.
- **Descanso.**
- **Diagnóstico de Descargas Parciales.**
- **Tecnología de flujo rotórico.**
  - Máquinas Síncronas. ¿Por qué monitorizar el rotor?. Mecanismos de fallo.
  - Medidas de flujo. ¿Qué hay que montar?. ¿Cómo se hace la medida?. Casos reales.
- **Bibliografía: Ruegos y preguntas.**

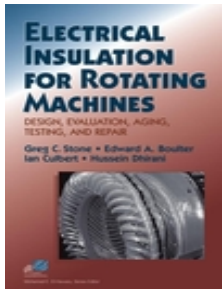
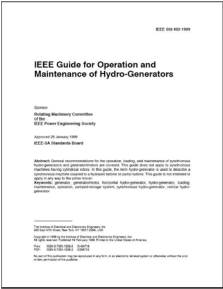
47



## Medida de Flujo en entrehierro.



- **IEEE Std 62.2-2004.** “IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus –Electrical Machinery”.
- **“Electrical Insulation for Rotating Machines. Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair”.** Greg C. Stone, Edward A. Boulter, Ian Culbert, Hussein Dhirani. Wiley Inter-Science. (2004).
- Gracias por vuestro interés.
- ¿Preguntas?  
[andres@unitronics.es](mailto:andres@unitronics.es)



48