



I + D en el Departamento de Ingeniería Eléctrica

www.dinel.upm.es

Director: Antonio Pastor Gutiérrez
antonio.pastor@upm.es





Calidad de suministro eléctrico





ACTIVIDADES

Desarrollo de modelos y algoritmos

Integración de modelos en diferentes programas

Medidas y estudios de calidad de suministro

Cursos de temas relacionados





Actividades con empresas del sector eléctrico

Proyecto MAECC-COPE
(2008-2009)

EMPRESA: REE

Modelos avanzados de enlaces de corriente continua y calidad de onda en parques eólicos

- **Desarrollo de modelos en detalle HVDC para su integración en el programa INTAR (flujo de cargas con armónicos)**
- **Medida y análisis de la calidad de onda en parques eólicos**



Actividades con empresas del sector eléctrico

Proyecto HAMOSIPRE
(2008)

EMPRESA: EDF

Harmonic Modeling of Single Phase Rectifiers

- **Desarrollo de modelos en detalle de rectificadores monofásicos con distintas configuraciones de continua para su integración en el programa EXPERT-EC de EDF**



Actividades con empresas del sector eléctrico

Proyecto HAMOTHRE

(2009)

EMPRESA: EDF

Harmonic Modeling of Three Phase Rectifiers

- **Desarrollo de modelos de rectificadores trifásicos con distintas configuraciones de continua para su integración en el programa EXPERT-EC de EDF**





Actividades con empresas del sector eléctrico

CURSO HVDC

EMPRESA: REE

Introducción a los enlaces de HVDC

- Dos ediciones en el año 2008
- Una edición prevista en el año 2009





LABORATORIO DE CSE

Simuladores de Redes por Ordenador

Simulador PSS/E

Flujo de Cargas
Cortocircuitos
Estabilidad

Simulador PSCAD

Transitorios con
Electrónica de
Potencia

Simulador INTAR

Extensión de PSS/E a
armónicos,
desequilibrios y *Flicker*

Desarrollado por la UPM
Operativo en IBERDROLA y REE
Redes de hasta 4000 nudos

Rectificadores // Cargas AVE
Hornos CA y CC
Compensadores Electrónicos
Enlaces de CC





LABORATORIO DE CSE

Instrumentación específica para CSE

Fuentes CA con forma de onda programable

Cargas de CC programables

Vatímetro de precisión 3F con m. armónicos

Registadores de formas de onda de red

Medidores de calidad de red (Clase A)

Equipo de generación de formas de onda arbitrarias (tensión y corriente)

Medidas de laboratorio.
Estudios de emisión e inmunidad

Medidas de laboratorio y de campo



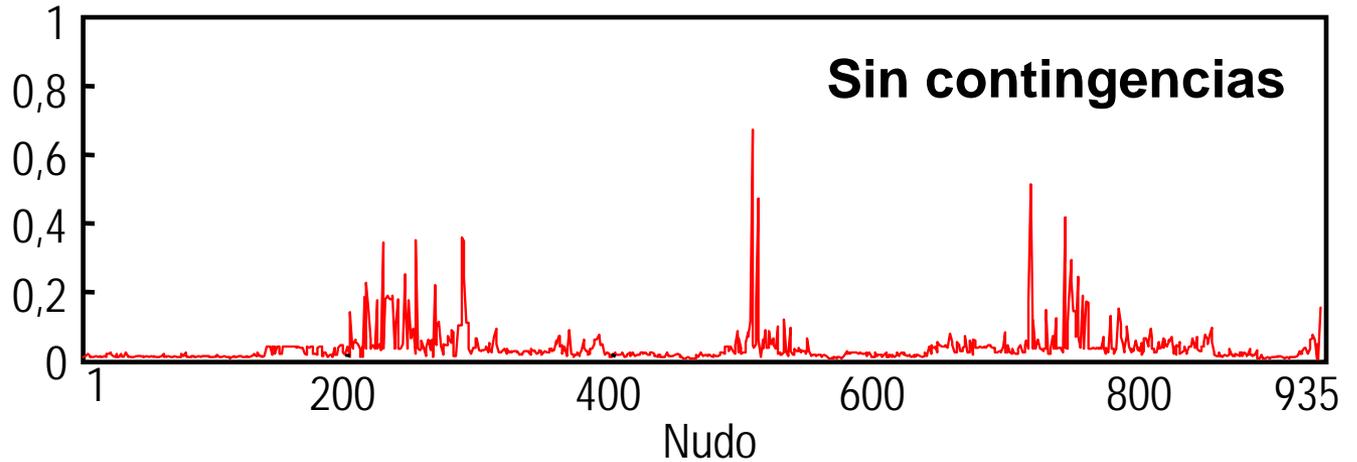
Compatibles con normas CEI
Medida múltiples parámetros
Evaluación y trat. estadístico



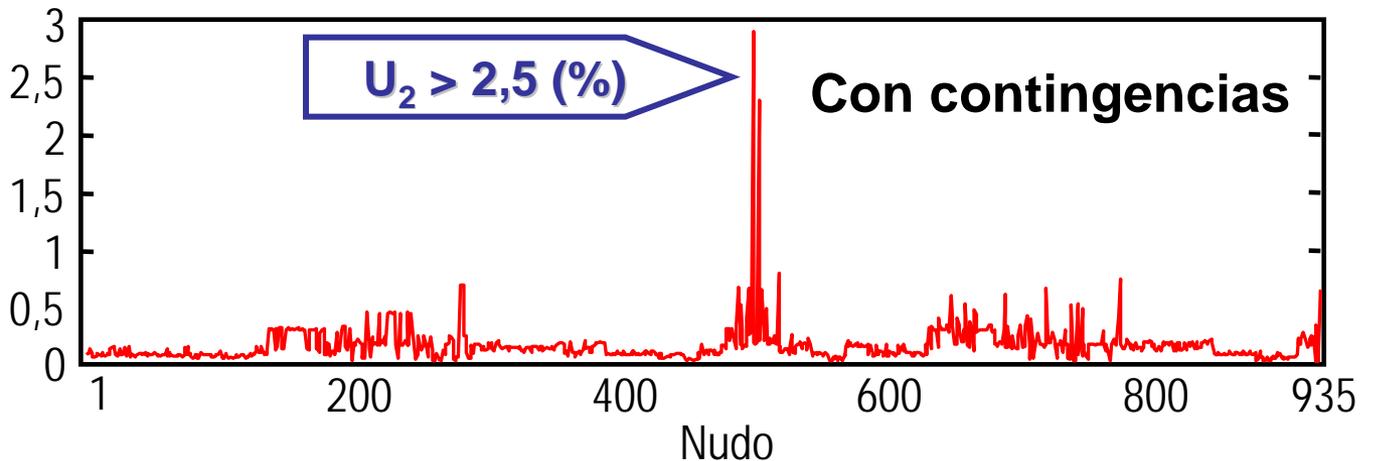


Algunos Resultados sobre CSE (para REE)

U_2 (%)



U_2 (%)



Perfil de tensión inversa en la red nacional debido a la red AVE Madrid-Barcelona

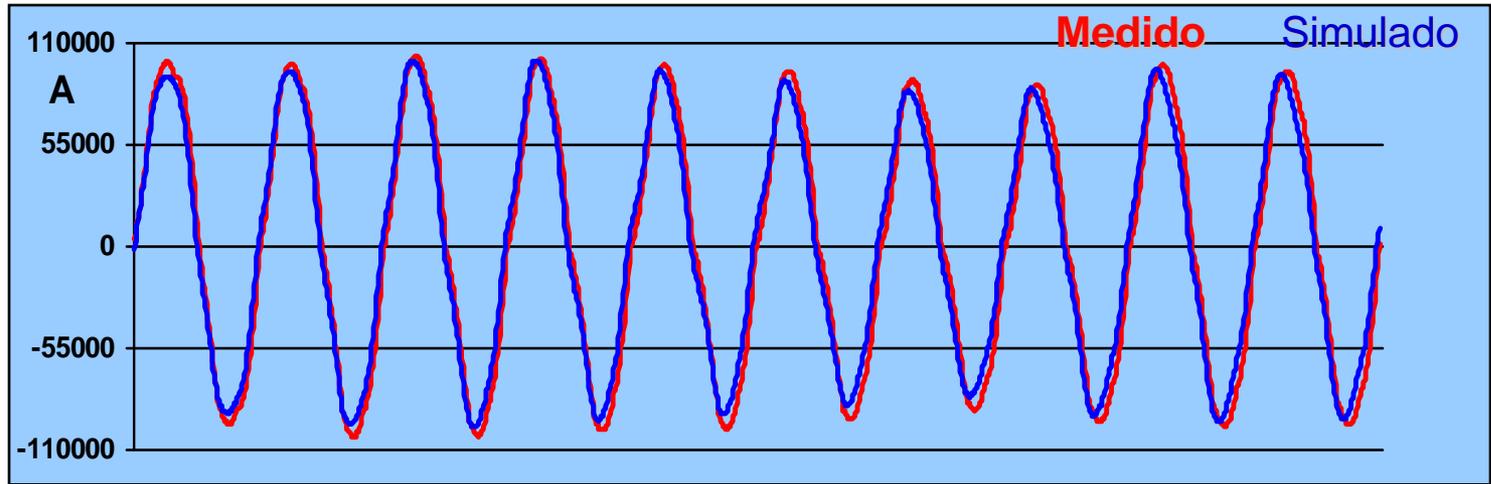




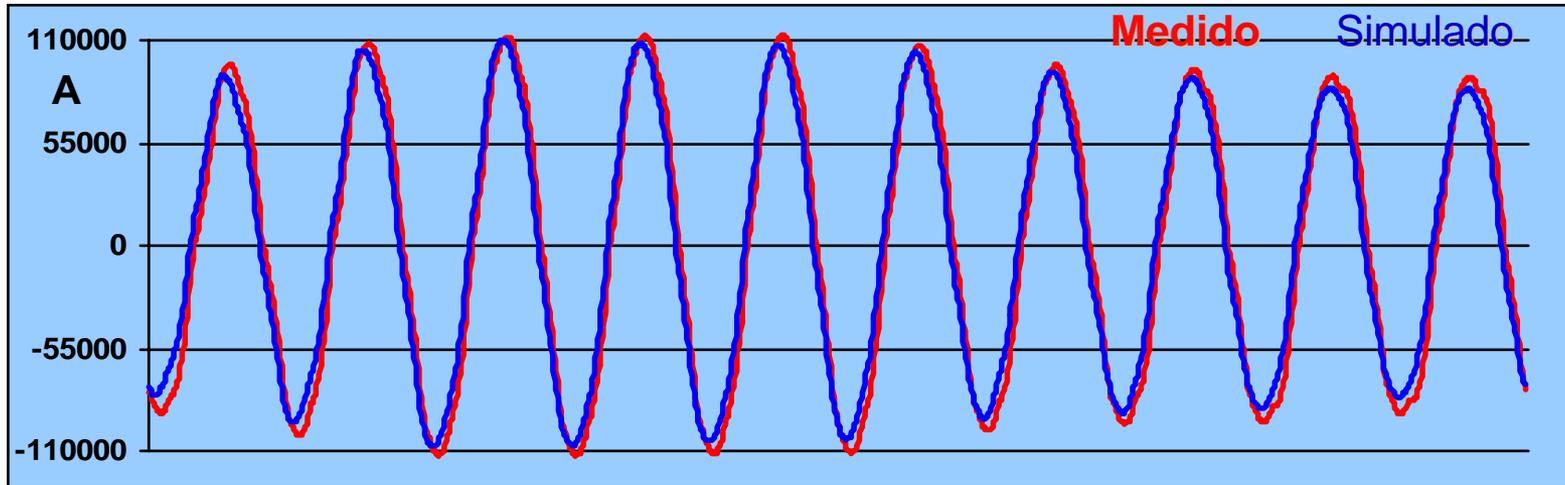
Algunos Resultados sobre CSE (para IBERDROLA)

Comparación entre Simulación y Medida en un Horno de Arco de CA

corriente
fase a



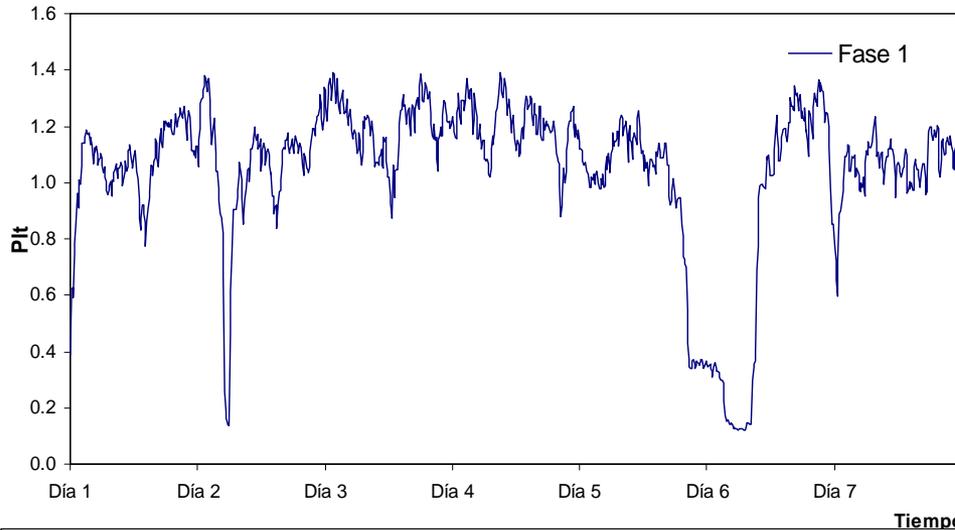
corriente
fase b



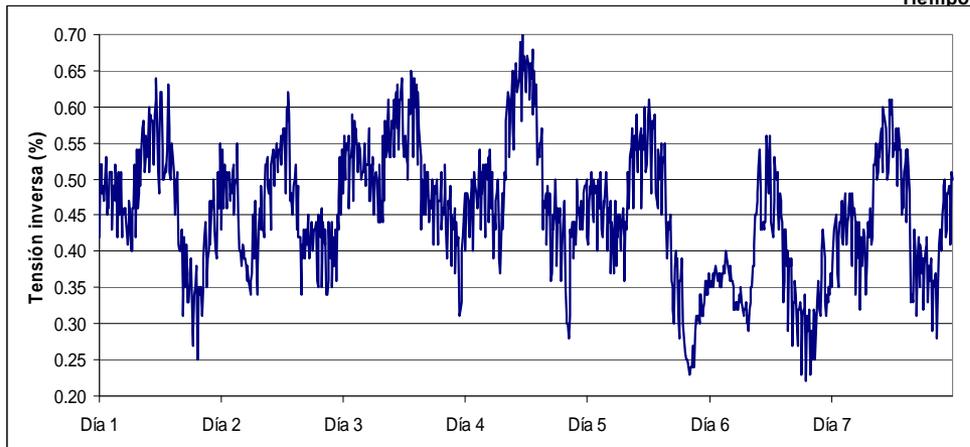


Algunos Resultados sobre CSE (para REE)

■ Medidas de campo en barra de 220 kV



Evolución del nivel de *Flicker* PIt durante una semana



Evolución del desequilibrio durante una semana





Huecos de tensión





Evaluación de huecos de tensión en sistemas de energía eléctrica

ASPECTOS TRATADOS:

MÉTODOS ESTOCÁSTICOS

Datos estadísticos de fallos + Datos del sistema eléctrico
 =
 Estimación de número de huecos previsto

EMPLAZAMIENTO DE MEDIDORES

- Selección del **emplazamiento óptimo** de los **medidores de huecos** en el sistema eléctrico
- Orientado a que los medidores proporcionen una adecuada caracterización del sistema completo

ESTIMACIÓN “DE ESTADO”

-A partir de las medidas realizadas en los nudos con medidor, se trata de estimar el número de huecos ocurridos en los nudos en los que **no existe medidor**





Resultados derivados de esta línea de investigación

TESIS DOCTORAL

TESIS DOCTORAL: “Evaluación de huecos de tensión en sistemas de energía eléctrica mediante técnicas estocásticas y de estimación de estado”.

Autora: Elisa Espinosa Juárez, Directora: Araceli Hernández Bayo. Julio 2006

PREMIO EXTRAORDINARIO DE DOCTORADO DE LA UPM

ARTÍCULOS JCR

E. Espinosa Juárez, A. Hernández,
An Analytical Approach for Stochastic Assessment of Balanced and Unbalanced ...
IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, no. 3, July 2006, pp. 1493-1500

E. Espinosa-Juárez, A. Hernández,
A method for voltage sag state estimation in power systems
IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 22, no. 4, Oct. 2007, pp. 2517-1526

E. Espinosa-Juárez, A. Hernández, G. Olguin
Optimal Location of Voltage Sags Monitors: An Approach Based on Analytical ...
IEEE Transactions on Power Systems, PENDIENTE DE REVISIÓN

•Diversas ponencias en congresos internacionales





Generación eléctrica con energía eólica





Grupo de Investigación "Generación Eléctrica con Energía Eólica" (GELEO)

Fecha de constitución: Octubre de 2005

Líneas de actividad

- **Generadores eléctricos para turbinas eólicas**
- **Integración de sistemas eólicos en la red**
- **Control de generación eléctrica en aerogeneradores**

Infraestructura de Investigación

- **8 Investigadores.**
- **2 Técnicos**
- **2 Departamentos Universitarios**

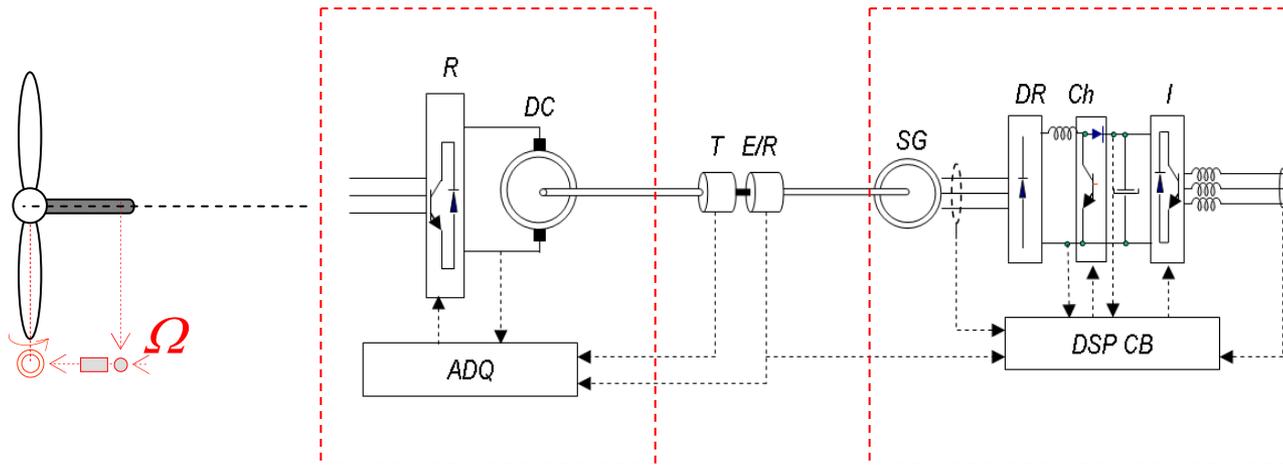




Proyecto "GEDIS"

IV PLAN Investigación Científica Tecnológica CAM 2006/07 (PRICIT)

"Prototipo de un sistema eléctrico de generación para inserción de GRUPOS EÓLICOS en redes de generación DISTRIBUIDA".

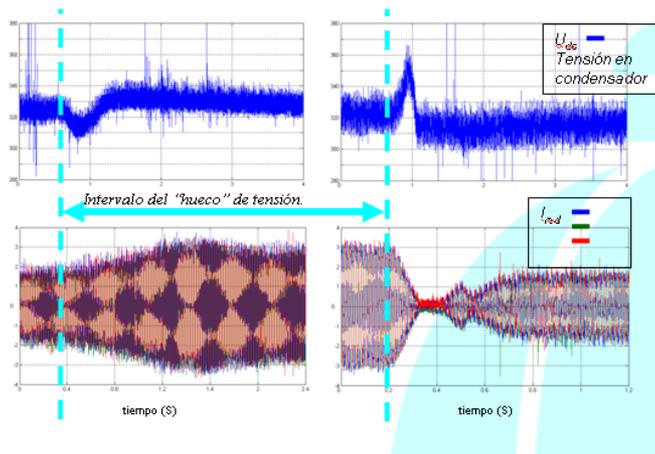
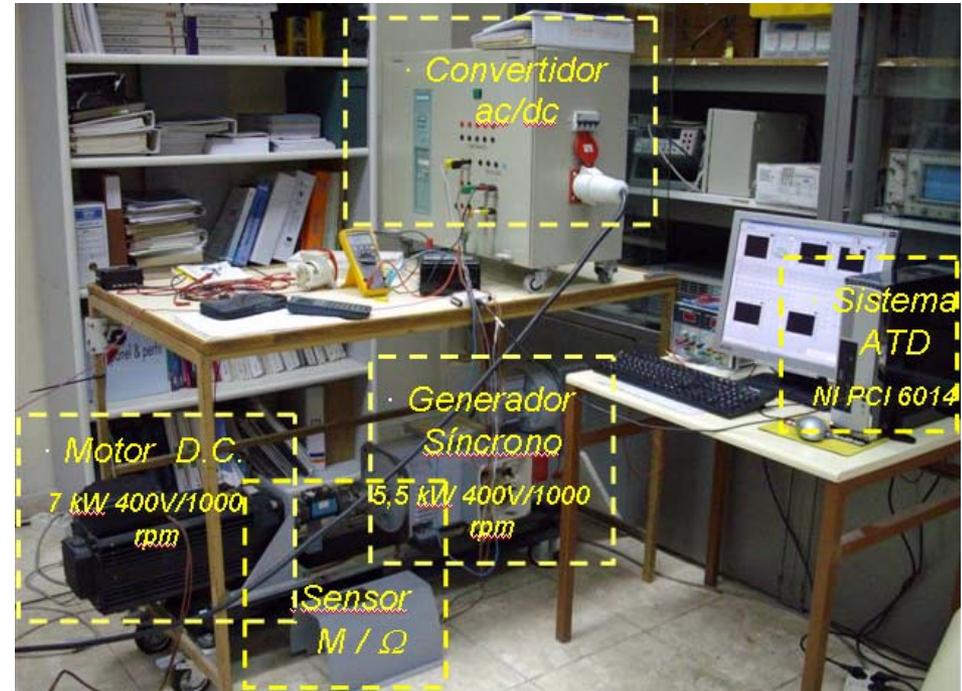
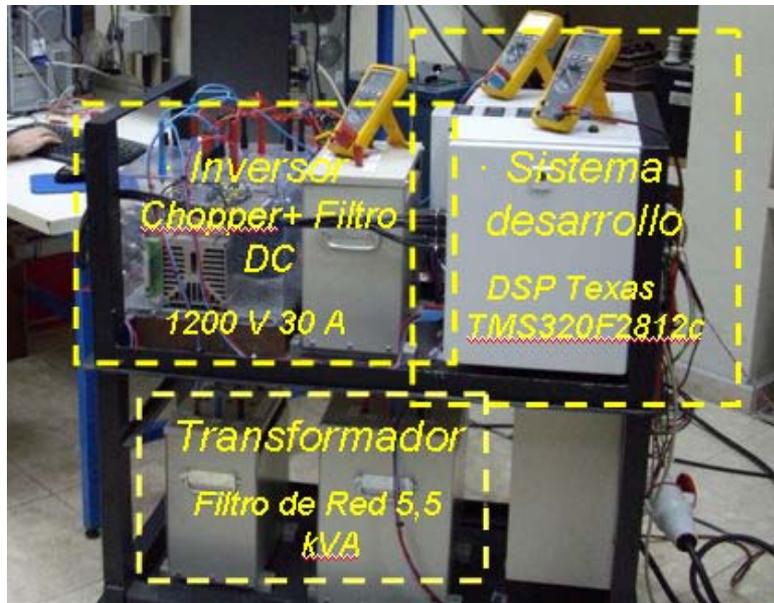


- Producto: Banco de ensayo para sistemas de control de **Aerogeneradores** con tecnología tipo **PMFC** (Generador Imanes Permanentes con Convertidor de Plena Potencia)





Proyecto "GEDIS"



· Resultados

- Respuesta frente a reducción de la tensión de red

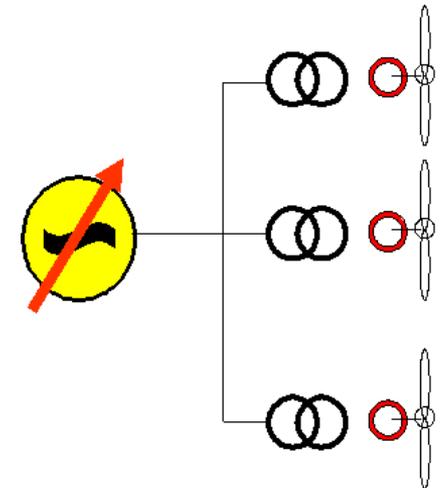
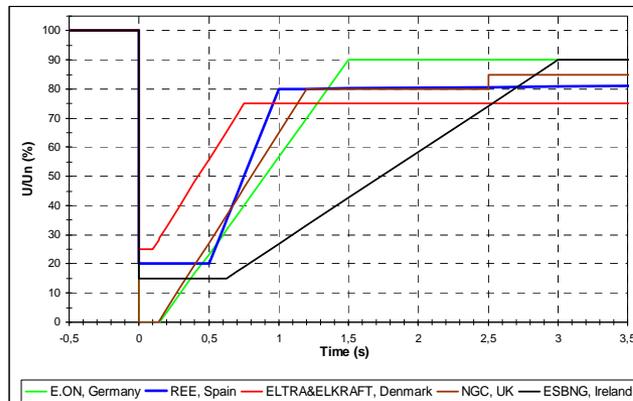




Proyecto “GENHUGE”

PLAN NACIONAL I+D+I (PN I+D Periodo 2006/ 2009)

“GENERADOR de HUECOS de TENSIÓN de perfil temporal programable para ensayo de generadores conectados en redes de Distribución y Transporte”.



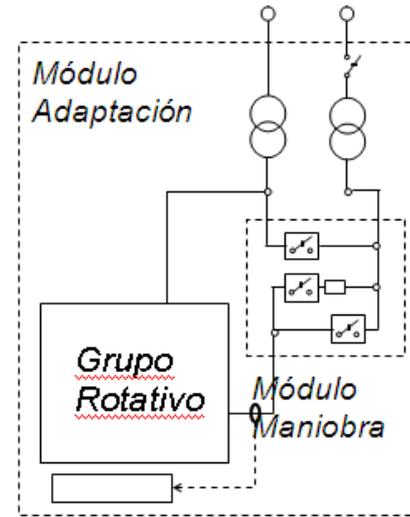
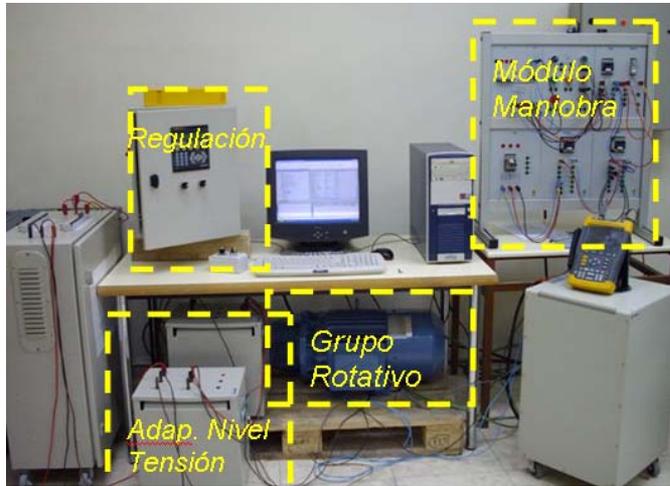
- Producto: 2 Equipos de ensayo para **certificación de Aerogeneradores** frente a “Huecos de tensión”.



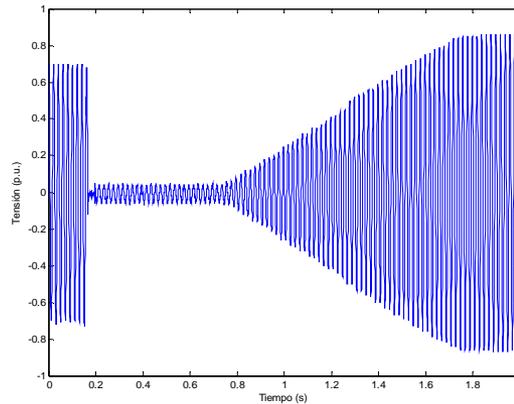


Proyecto "GENHUGE"

· Equipo A:



· Resultados



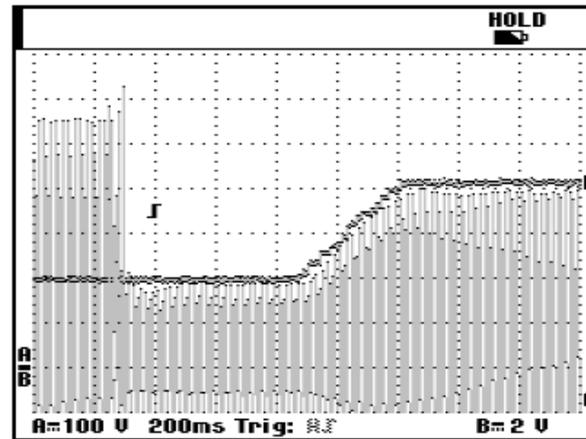


Proyecto "GENHUGE"

· Equipo B:



· *Resultados*

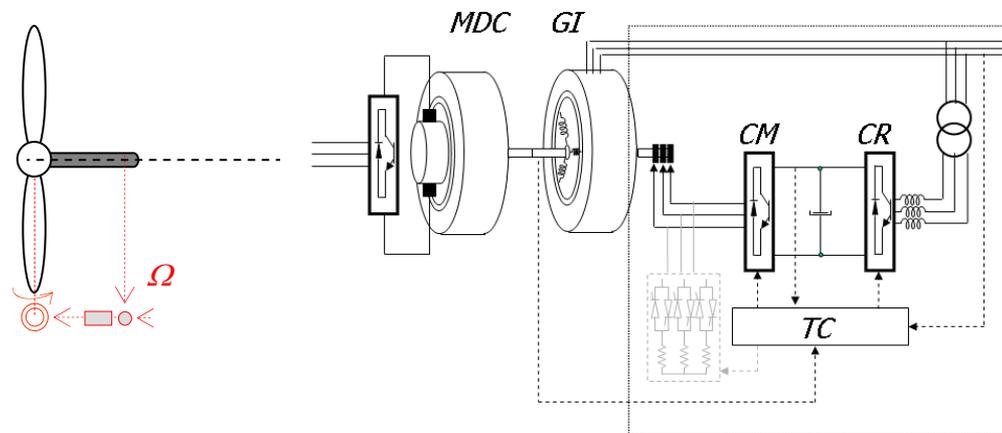




Proyecto “GADASEHU”

IV PLAN Investigación Científica Tecnológica CAM 2007/08 (PRICIT)

“Prototipo de Generador Asíncrono de Doble Alimentación para SISTEMAS EÓLICOS con capacidad de regulación p/q durante HUECOS de TENSIÓN



- Producto: Banco de ensayo para sistemas de control de **Aerogeneradores** con tecnología **tipo DFIG** (Generador de Inducción de doble alimentación)

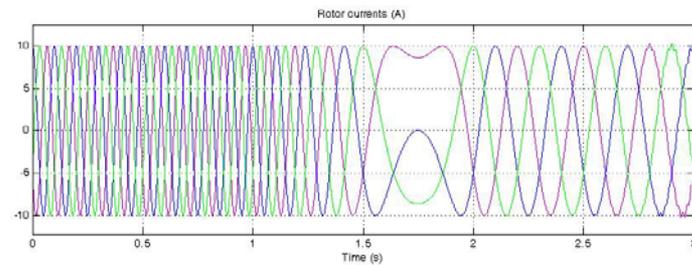
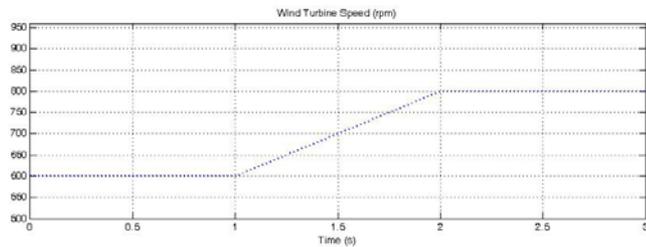




Proyecto "GADASEHU"



· Resultados

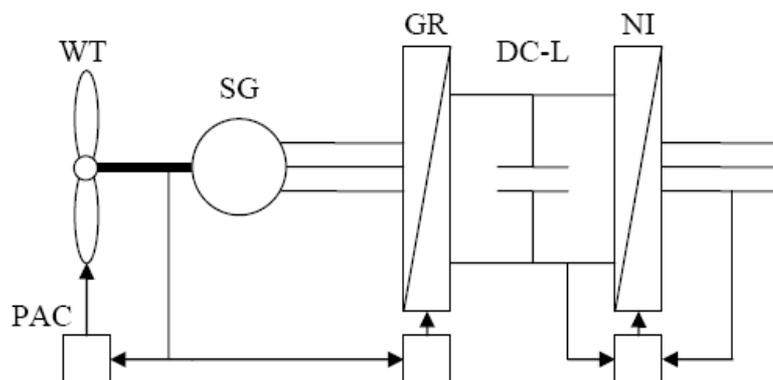




Proyecto: "GESER"

(UPM). Periodo 2006/ 2007

Modelo de usuario para PSS,E para **Generación Eólica** velocidad variable con tecnología **Síncrona FC** para estudios **Estabilidad de Red**



Producto: Modelo simplificado **Aerogenerador** tipo **SGFC** compatible con "Estudios de red"., Modelo de usuario para " pss/e ".





Proyecto: "GESER"

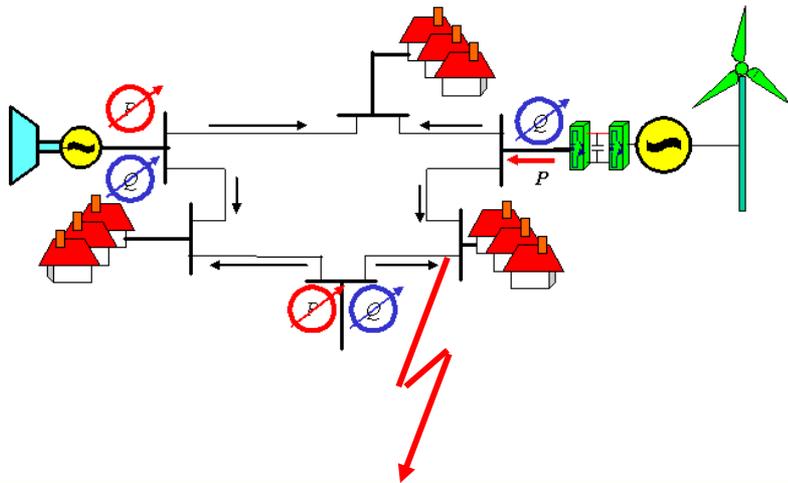
Validación (Test Red Modelo)

Red Modelo: IEEE Reliability Test System

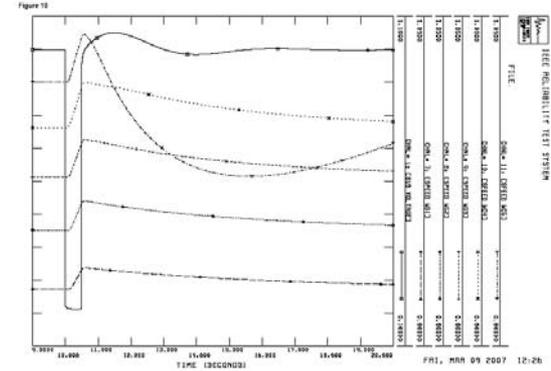
- 24 nudos; (Cables y Líneas)
- 32 Generadores Convencionales

Aportación Eólica

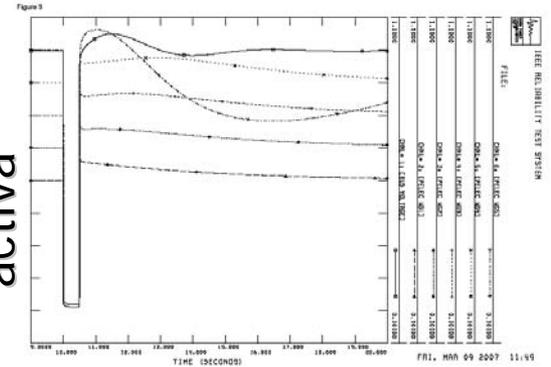
- 40 Aerogeneradores
- ¡200 Variables de estado adicionales!



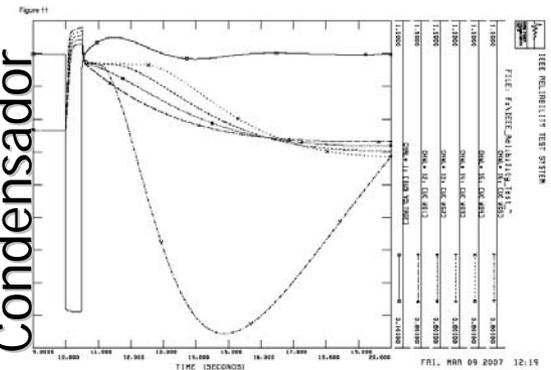
Velocidad eje



P red activa



Tensión DC Condensador





Proyectos en ejecución (2009)

Aprovechamiento Hidroeléctrico de la Isla del Hierro
(IDOM)

Estudio de capacidad de regulación tensión y frecuencia de
Parques Eólicos en Redes
(IBERDROLA Ing. y Const.)

Modelos de aerogeneradores para estudios de red (GAMESA)

Desarrollo de un prototipo para ensayo frente a perturbaciones de
tensión y frecuencia de Aerogeneradores conectados en redes
eléctricas débiles (Plan Nacional de I+D+i).





Accionamientos Eléctricos





INVESTIGACIÓN EN ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS

Líneas de investigación: “Sistemas de control de accionamientos eléctricos”, “Control vectorial”, “Control óptimo” y “Regulación de convertidores electrónicos en accionamientos eléctricos”. Vehículos eléctricos (control de tracción).





PROYECTOS de investigación más recientes

- “Sistema de minimización de pérdidas eléctricas en accionamientos de bombeo y ventilación”

Financiación Ministerio de Educación y Cultura. CICYT. (Resolución:28-12-2000)
 Dic. 2000 a Dic. 2003
 Participantes DINEL (ETSII, UPM) y SEDECAL CONTROL S.A.

- “Sistema de control para generadores eólicos con regulador de tensión de tiristores funcionando a frecuencia de red”.

Financiación SEDECAL CONTROL S.A. Julio de 2001
 Participantes DINEL (Laboratorio de Máquinas Eléctricas), ETSII, UPM.

-“TECNOLOGÍAS PARA LA MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE Y ACCESIBLE (TECMUSA).”

Líderes del Subproyecto: “TRACCIÓN ELÉCTRICA Y
 GESTIÓN DE LA ENERGÍA EN
 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS”
 Financiación: Ministerio de Ciencia e Innovación.
 PSE-370000-2009-9 Oct. 2009-2012
 Participantes DINEL, ETSII, UPM, INSIA-UPM, y otros.





TESIS DOCTORALES MAS RECIENTES

- [1] **J. Rodríguez Arribas.** “Control vectorial óptimo de accionamientos eléctricos asíncronos con par resistente dependiente de la velocidad”. Marzo 2000.
- [2] **J. Herrero.** “Optimización de la regulación de máquinas de jaula de ardilla basada en vectores espaciales”. Universidad Politécnica de Madrid. Marzo 2004.
- [3] **D. Ramírez.** “Desarrollo de un sistema de control de altas prestaciones para pequeños aerogeneradores de inducción conectados a la red. 2002.





ARTÍCULOS MAS RECIENTES

- J. R. Arribas y C. Vega. **“Optimal Vector Control of Pumping and Ventilation Induction Motor Drives”**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 49, No. 4, Aug. 2002. pp 889- 895.
- C. Vega, J. R. Arribas y D. Ramírez **“Optimal Regulation of Electric Drives with Constant Load Torque”**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, No. 6, Dec. 2006. pp 1762-1769.
- D. Ramírez, S. Martínez, J. Rodríguez, C. Carrero, M. Blanco. **“Educational Tool for the Implementation of Electric Drives Control System with Real Time Data Exchange”** IJEE. International Journal of Engineering Education. Vol. 25, No. 1, pp. 24-32, 2009

PATENTE:

TITULO: “Procedimiento y control de procesos transitorios en accionamientos eléctricos con el par de carga proporcional al cuadrado de la velocidad del motor”.

INVENTORES: Carlos Vega González y Jaime Rodríguez Arribas.

ENTIDAD TITULAR: Universidad Politécnica de Madrid.





Centrales eléctricas





“SUPERVISIÓN DE MOTORES DIESEL INSTALADOS EN CENTRALES DE PRODUCCION DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL ANALISIS DE VARIABLES ELÉCTRICAS Y EMISIONES UTILIZANDO REDES NEURONALES ”

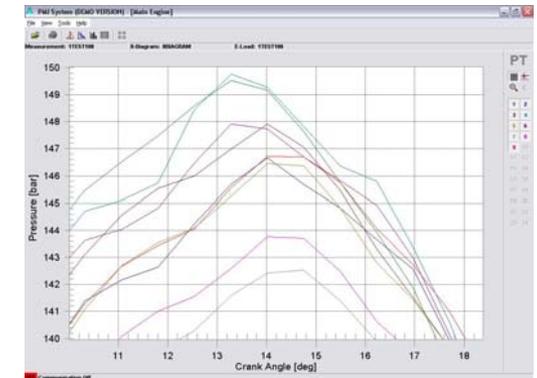
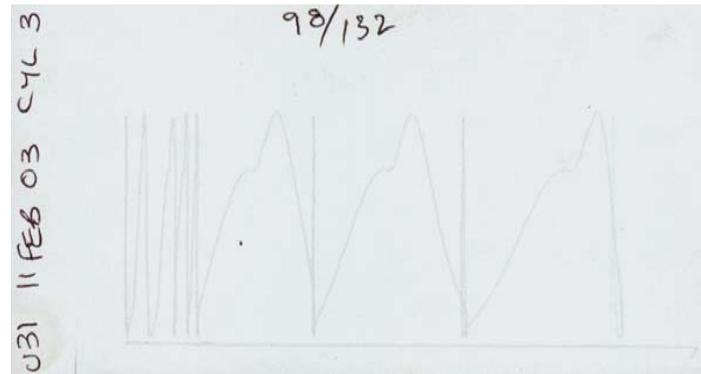
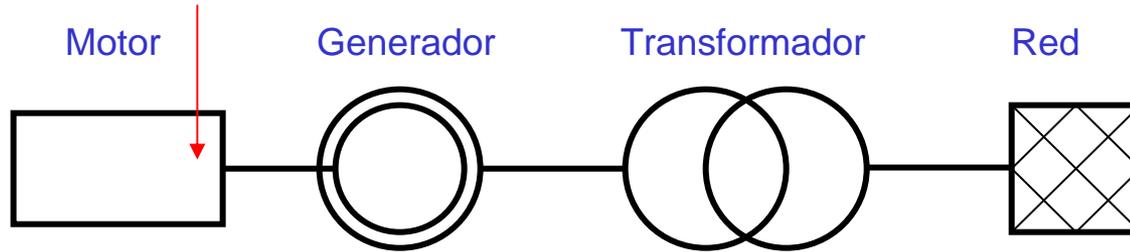
**PROYECTO NEURO DETECT
ENDESA Generación S.A.**

Convocatoria 2008 Programa Nacional de Investigación Aplicada.



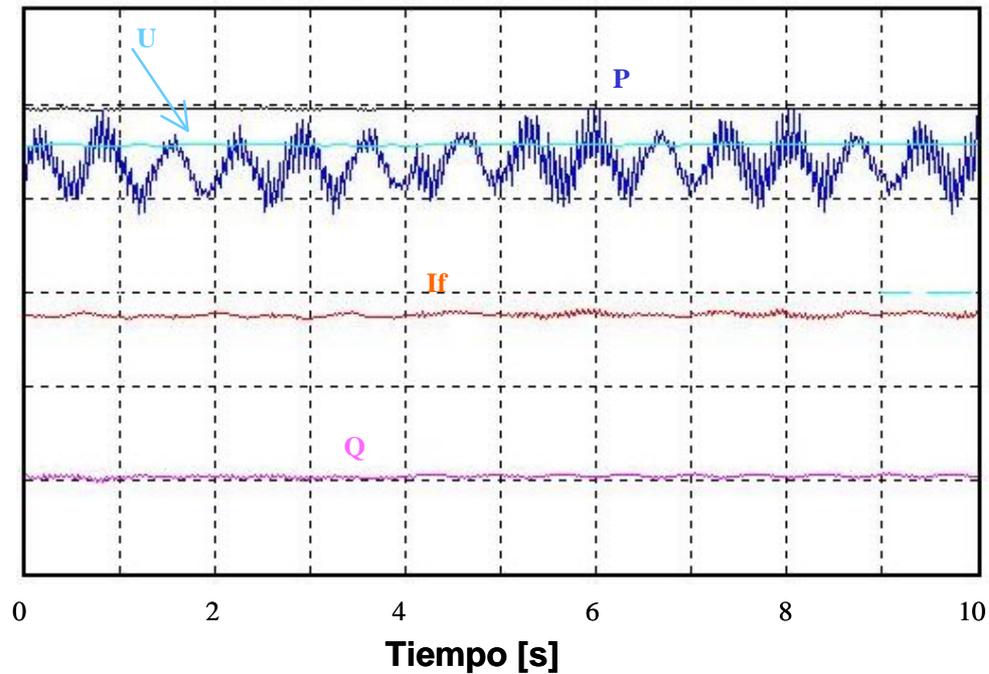
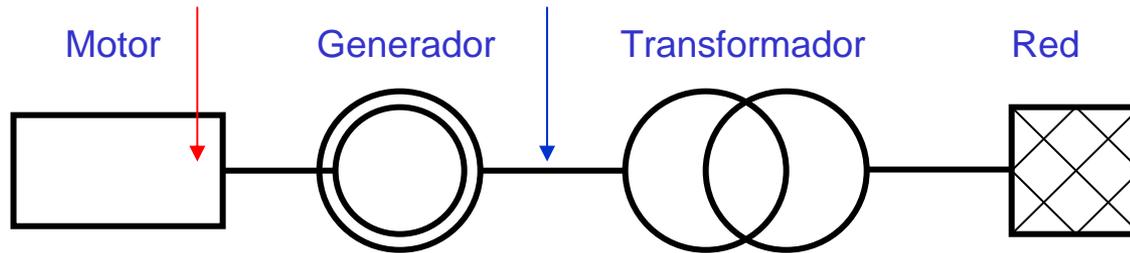


Los sistemas de supervisión de los motores diesel se realizan mediante la medida de la presión en los cilindros.





Sistema de supervisión en tiempo real de los motores diesel de una forma fácil y económica basada en supervisión de magnitudes eléctricas.





“AUMENTO DE LA EFICIENCIA DE CENTRALES ELECTRICAS MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO DE LOS SISTEMAS AUXILIARES ”

**PROYECTO OSA
ENDESA Generación S.A.
Universidad de Málaga
Universidad Politécnica de Madrid**

Convocatoria 2008 Programa Nacional de Investigación Aplicada.





Optimización Servicios Auxiliares OSA. Central Térmica de Carboneras (G2) Almería

Optimización de los servicios auxiliares mediante programación multicriterio.





Diseño, Monitorización y Diagnóstico de Máquinas eléctricas



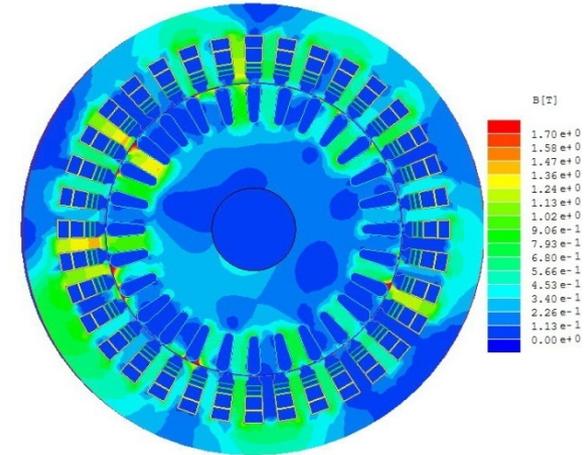


Líneas de actividad (I)

- Diseño de Máquinas Eléctricas**

Optimización de Máquinas Convencionales

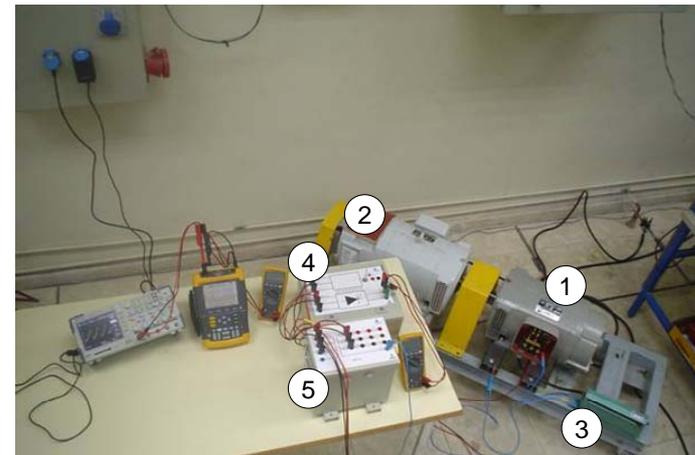
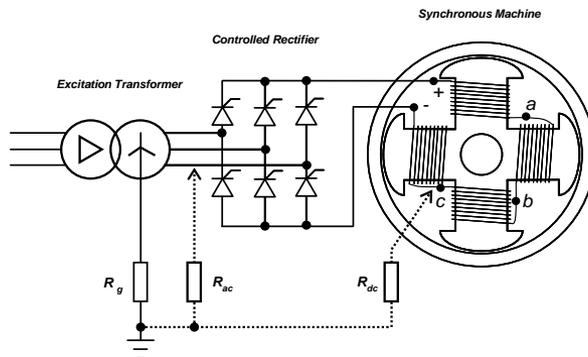
Diseño de máquinas para aplicaciones especiales



- Desarrollo de sistemas de detección de faltas**

Máquinas Rotativas

Trasformadores





Líneas de actividad (II)

- **Análisis de averías**





Publicaciones más recientes

- **“Characterization of the Rotor Magnetic Field in a Brushless Doubly-Fed Induction Machine”**.
 F. Blázquez, C. Platero, C. Veganzones, D. Ramírez.
 IEEE Transactions on Energy Conversion Vol: 24, nº3 Pg: 599, 607 Sep 2009
- **“Optimal Design of a Salient Poles Permanent Magnet Synchronous Motor Using Geometric Programming and Finite Element Method”**. F. Blázquez, C. Platero, C. Candela, M. Morín.
 THE 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL MACHINES (ICEM)
 Vilamoura, Portugal Sep. 2008
- **“Preliminary study on the Diagnosis of Rotor Faults in Brushless Doubly-Fed Induction Machines”**. S. M. A. Cruz, F. Blazquez, A. J. M. Cardoso, C. Veganzones
 The 20 th International Congress and Exhibition on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management. Faro , Portugal Jul. 2007
- **“A Novel Rotor Ground Fault Detection Technique for Synchronous Machines with Static Excitation”**. C.A. Platero, F. Blázquez, P. Frías
 IEEE Transactions on Energy Conversion (en revisión)
- **“Coordinated Power Quality Improvement in Multiunit Diesel Power Plants”**. C.A. Platero, F. Blázquez, P. Frías, A.J. Casado
 IEEE Transactions on Energy Conversion (en revisión)





Proyectos más recientes

- “Desarrollo de un regulador de iluminación de eficiencia mejorada”. (Año 2009)
- “Medium Power Gearless Mill Drives. Proyecto MPGMD”. (Año 2009)
- “Análisis para las posibles mejoras de los accionamientos eléctricos de las plantas cementeras de Buñol y Alicante pertenecientes al grupo CEMEX”. (Año 2008)

Tesis Doctorales más recientes

- **C.A. Platero:** “CONTROL ÓPTIMO DEL ACOPLAMIENTO DE LAS RUEDAS POLARES DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS DE POLOS SALIENTES PARA LA MEJORA DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE LAS CENTRALES DIESEL”. **Octubre 2007.**
- **F. Blázquez:** “DESARROLLO DE UN NUEVO GENERADOR ASÍNCRONO DE DOBLE BOBINADO EN EL ESTATOR PARA GRANDES AEROGENERADORES DE VELOCIDAD VARIABLE”. **Abril 2004.**





Generación distribuida





Sistema de generación distribuida con mejora de la calidad del servicio eléctrico basado en una Pila de Combustible.

- **Objetivo:** Evaluación de la tecnología de Pila de Combustible para el funcionamiento como Generación Distribuida (fiabilidad, disponibilidad y rendimiento) y su capacidad para integrarse en un equipo de mejora de la calidad del servicio eléctrico.

Acciones:

Especificaciones del sistema completo.

Ensayos de aceptación.

Desarrollo del equipo para la mejora de la calidad del servicio eléctrico.

Ensayos para la determinación de la fiabilidad, disponibilidad y rendimiento del equipo como sistema de generación distribuida.

Ensayos para la determinación de la viabilidad del equipo como sistema de mejora de la calidad del servicio eléctrico.

Financiación: ENDESA.

Patente internacional publicada 23-XI-2006.

Futuro: Equipo comercial de calidad y garantía de servicio.





Sistema de generación distribuida con mejora de la calidad del servicio eléctrico basado en una Pila de Combustible.

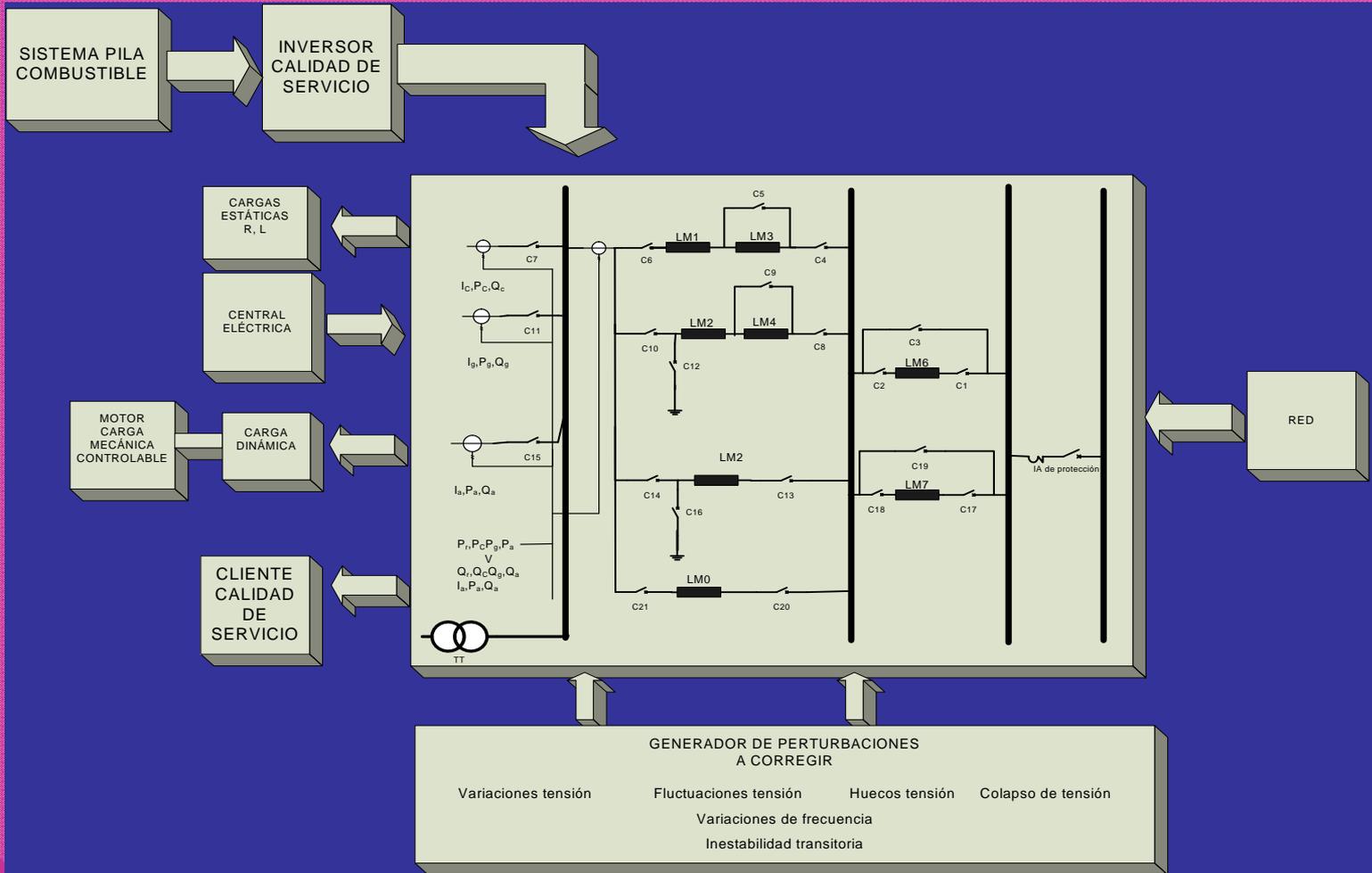
Equipo de mejora de la calidad del servicio eléctrico.

- **Compensación de:**
 - Huecos de tensión
 - Fluctuación de tensión.
 - Variación de frecuencia.
 - Inestabilidad de tensión (colapso)
 - Pérdida de grupos por inestabilidad transitoria.

- ❑ Ensayos de la mejora de la calidad del servicio eléctrico sobre Red Modelo.
- ❑ Gestión de un sistema eléctrico con generación distribuida en la Red Modelo.

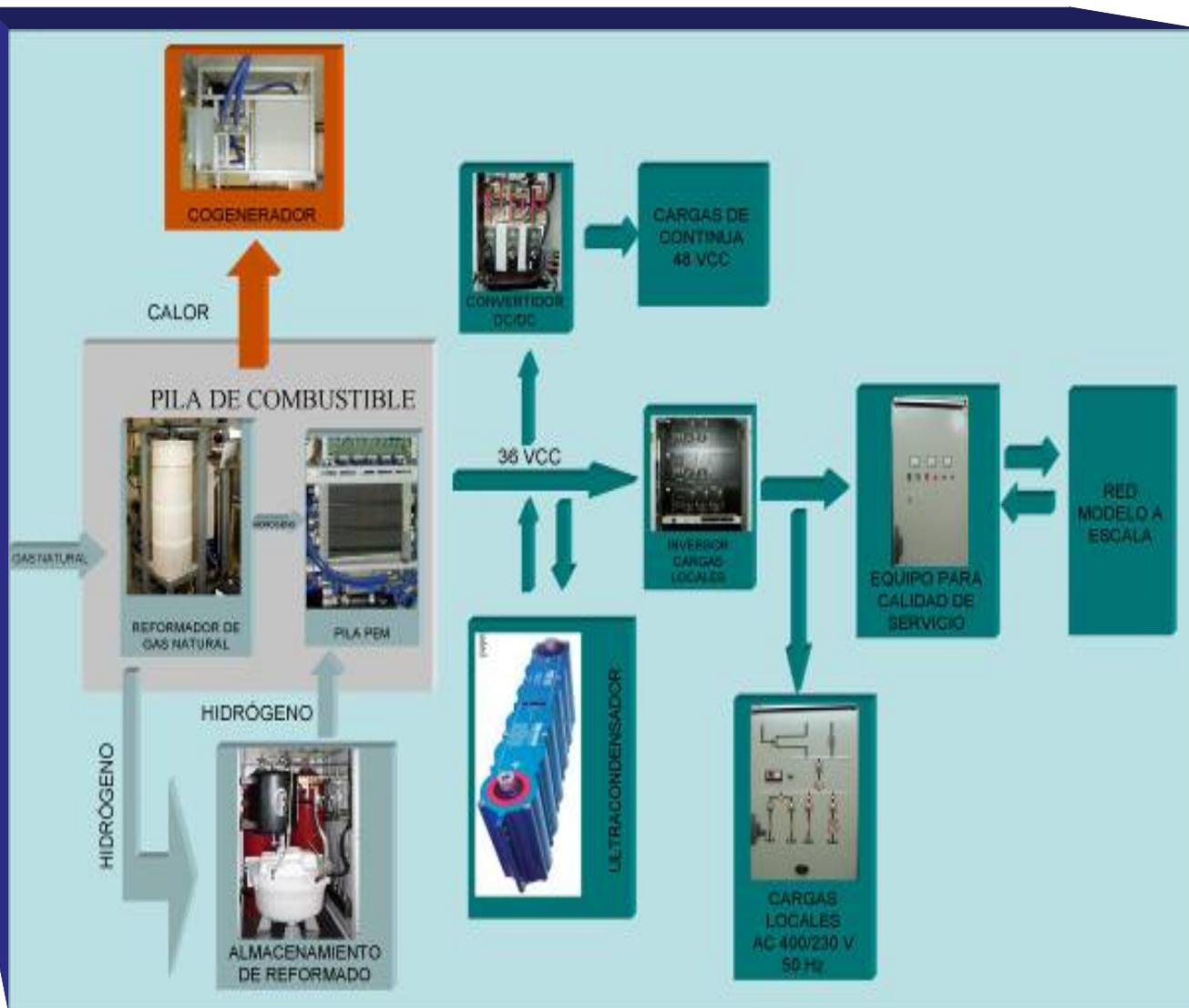


Sistema de generación distribuida con mejora de la calidad del servicio eléctrico basado en una Pila de Combustible.





Sistema de generación distribuida con mejora de la calidad del servicio eléctrico basado en una Pila de Combustible.



Equipo Base

Reformador de Gas Natural

Pila de Combustible PEM

Ultracondensadores

Convertidor estático, salida de 400 V ca

Salida estabilizada de 48 V cc.





Sistema de generación distribuida con mejora de la calidad del servicio eléctrico basado en una Pila de Combustible.





Medidas eléctricas





MEDIDAS ELÉCTRICAS

Líneas de Investigación

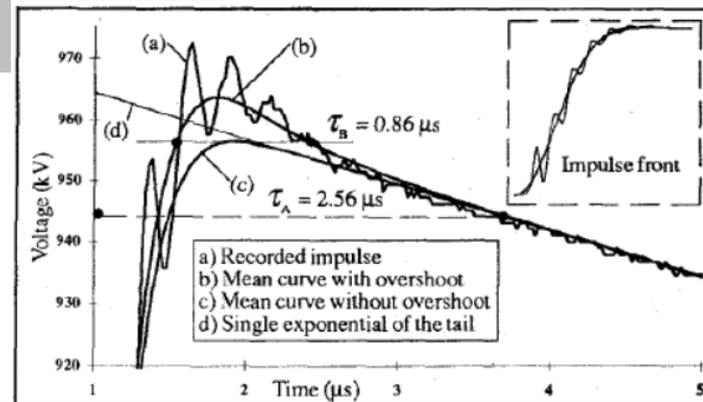
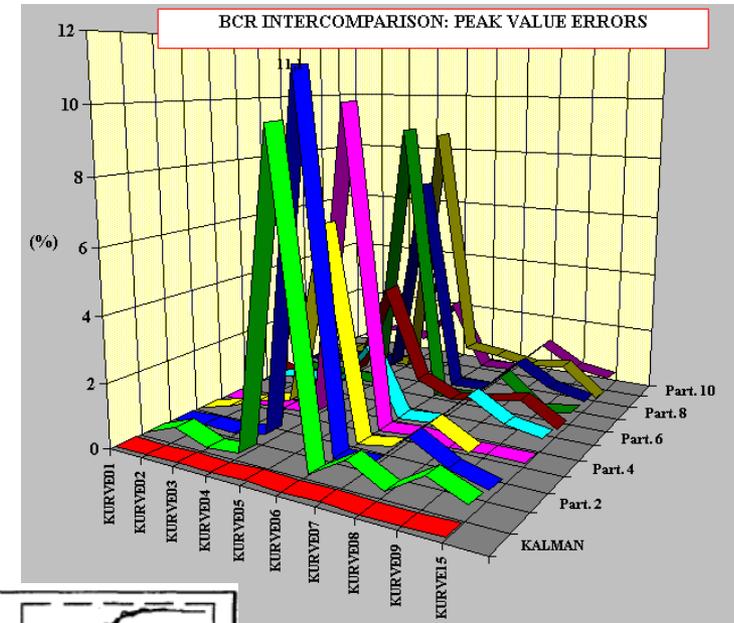
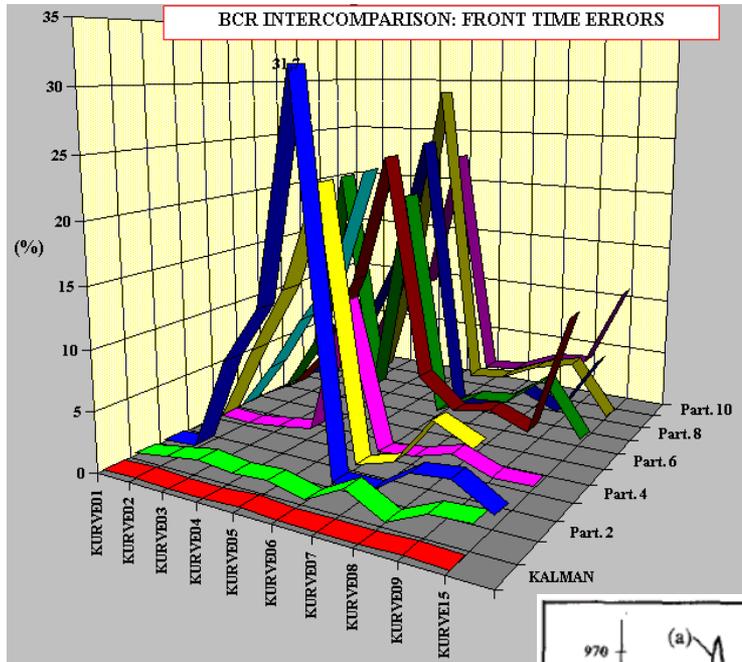
- Calibración de instrumentos de medida eléctricos.
- Verificación y ensayo de equipos eléctricos.
- Automatización de sistemas de medida y ensayo.
- Sistemas de adquisición de datos.
- Análisis y procesamiento de la señal.
- Análisis de la incertidumbre de medida.





MEDIDAS ELÉCTRICAS

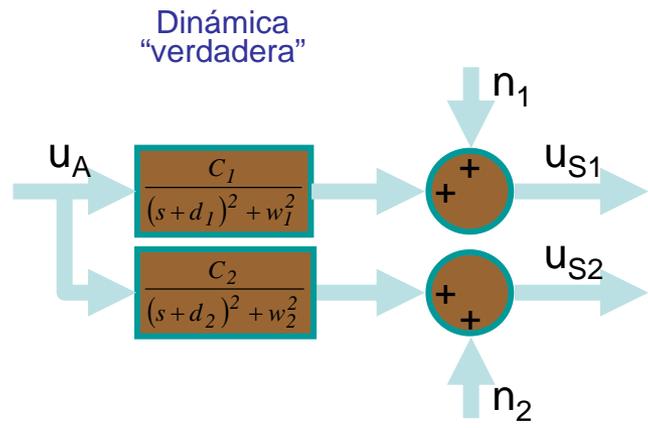
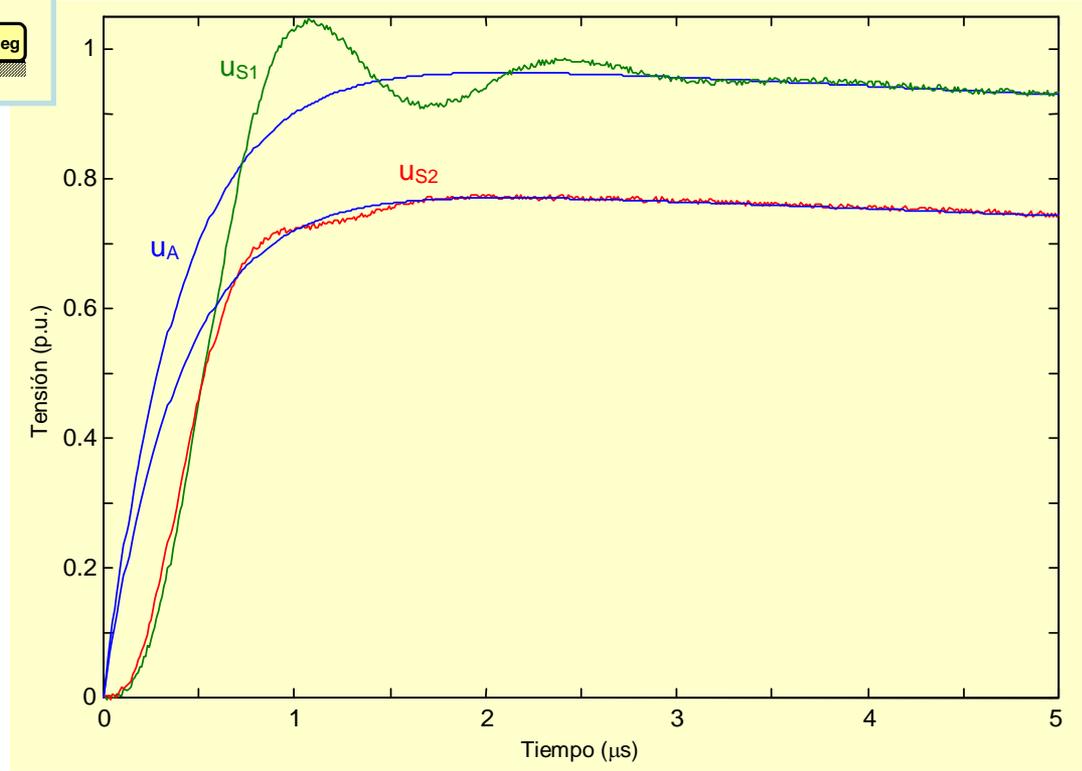
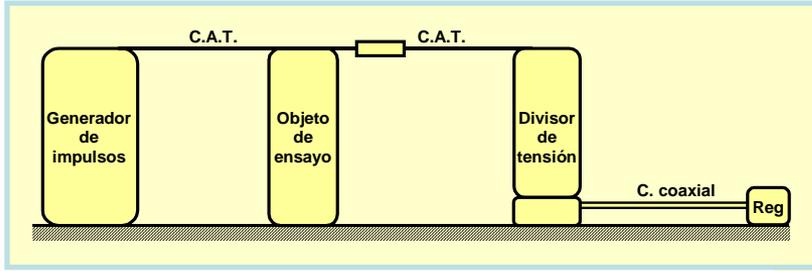
Obtención de la curva media del registro de impulsos de alta tensión





MEDIDAS ELÉCTRICAS

Identificación y calibración de sistemas de medida de impulsos tipo rayo

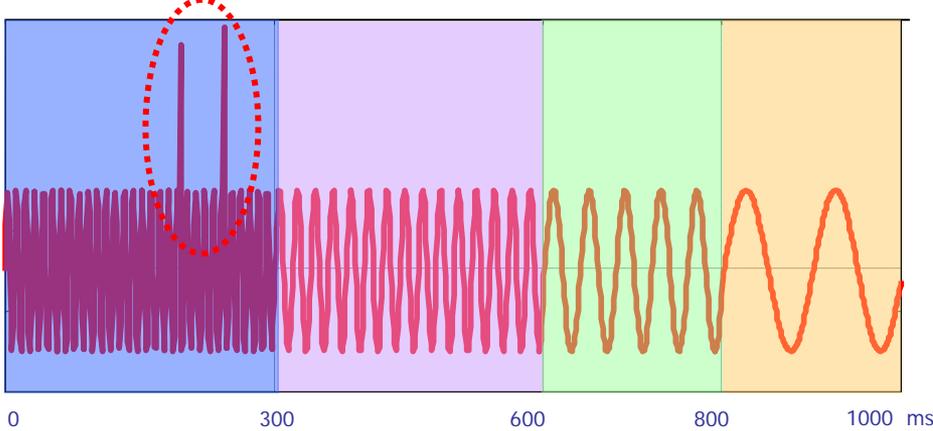




MEDIDAS ELÉCTRICAS

Análisis multiresolución de una señal no estacionaria

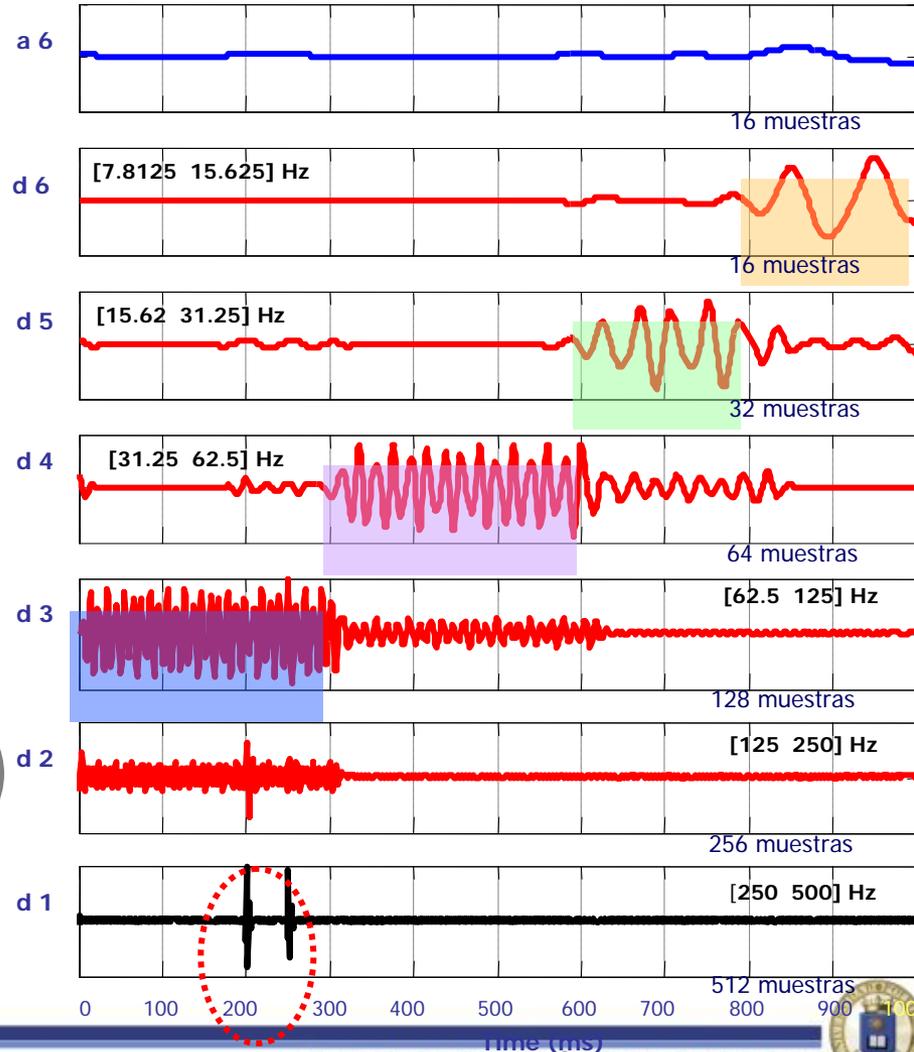
Señal no estacionaria



$f_s = 1 \text{ kHz}$

Información sobre la localización temporal de todas las componentes frecuenciales
Con información de los picos

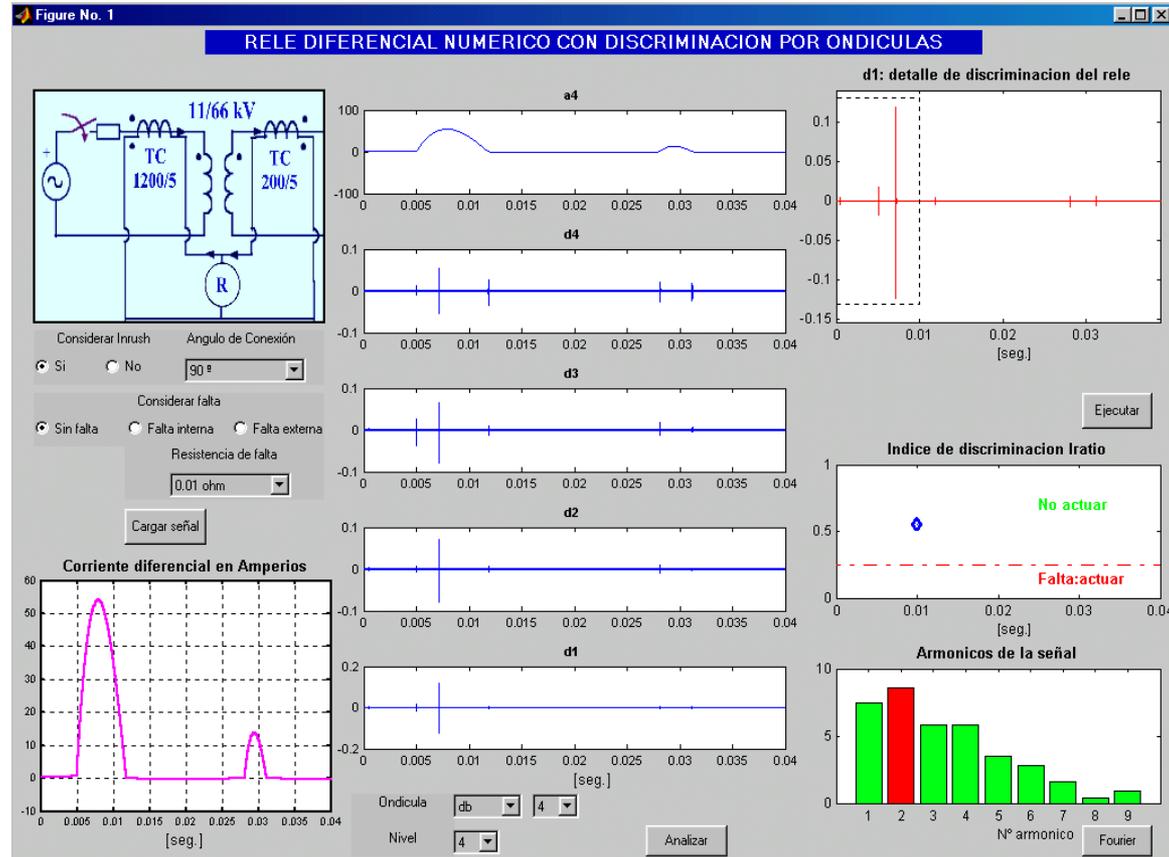
Análisis Wavelet Multiresolución





MEDIDAS ELÉCTRICAS

Análisis de señales en el dominio tiempo-frecuencia



Protección diferencial de un transformador empleando la Transformada Wavelet

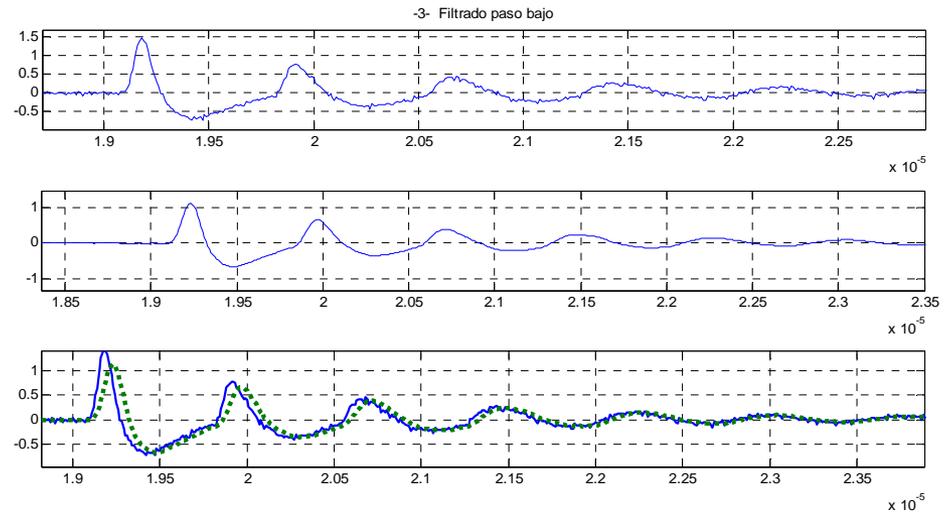
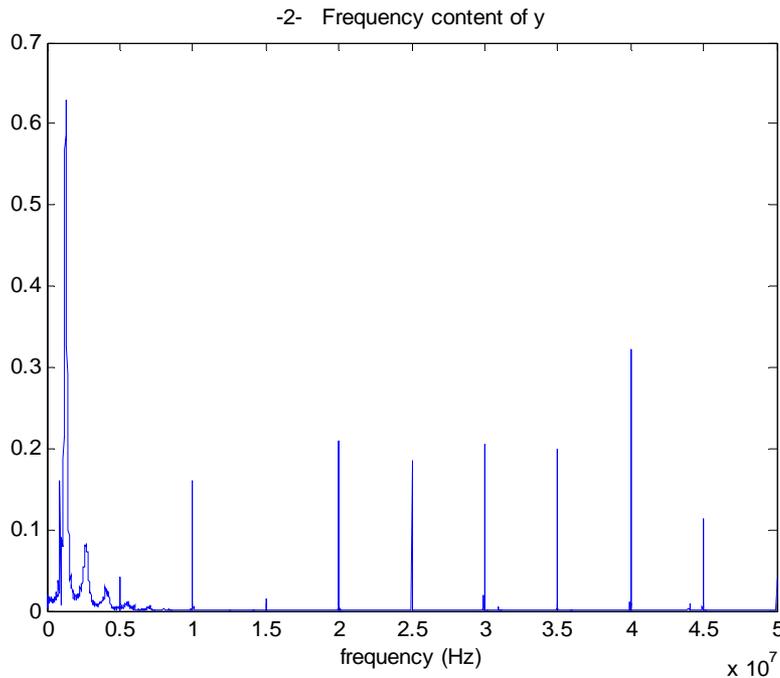




MEDIDAS ELÉCTRICAS

Filtrado de señales para la medida de descargas parciales

Señal con contenido de ruido electromagnético



El filtrado puede distorsionar la señal y dificultar el análisis y localización de las descargas parciales





Generación eléctrica a partir de la energía de las olas

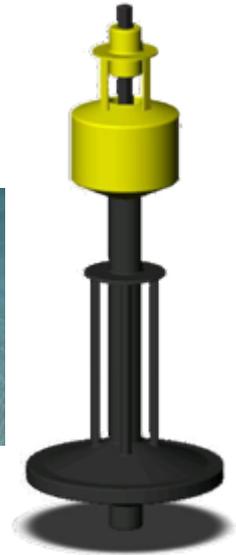




GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS

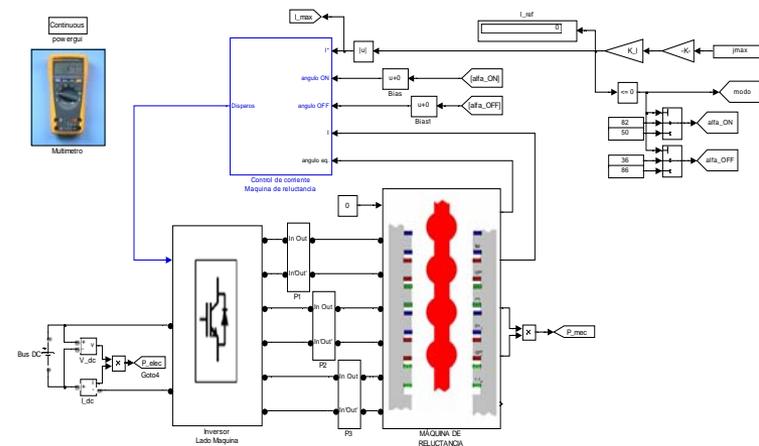
• Diseño y experimentación con nuevos dispositivos de captación de energía de las olas

- Estudio de nuevos diseños de captador
- Dimensionado óptimo de captadores
- Estudio del recurso undimotriz



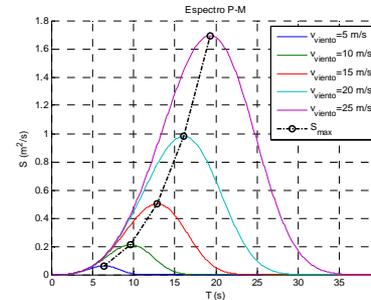
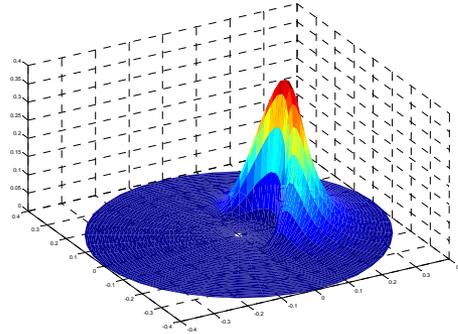
• Diseño y análisis de generadores, accionamientos y sistemas de control para dispositivos de obtención de energía de las

- Estudio de eficiencia de una máquina lineal utilizada para un absorbedor puntual.
- Estrategias de control óptimas para generadores undimotrices

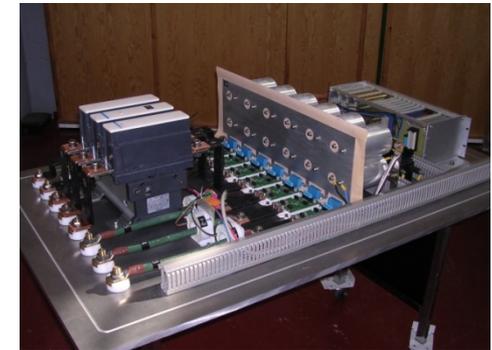


GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS

Desarrollo de tesis doctorales y proyectos fin de carrera



Proyectos en colaboración con empresas del sector



Trabajos a realizar en los campos de:

- Estudio del recurso del oleaje (espectros energéticos)
- Simulación de sistemas parciales o completos
- Procedimientos de diseño optimizado y parametrizado
- Construcción de dispositivos captadores
- Construcción de convertidores electrónicos
- Diseño y programación de sistemas de control
- Ensayos de los dispositivos