# Cátedra Endesa Red

# Memoria anual 2019

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

endesa

# ÍNDICE


Organización de la Catedra…… 5

Cursos…… 9

Jornadas …… 27

Seminarios Docentes…… 53

Congresos Internacionales…… 83

Conferencias…… 93

Premio Trabajo Fin de Grado…… 107

Premio Trabajo Fin de Master…… 111

Proyectos y Transferencia Tecnologica…… 115

Publicaciones…… 141

En los medios…… 145

# Organización

# ORGANIZACIÓN

**D. José Guadix Martín**
Vicerrector de Transferencia
del Conocimiento
Universidad de Sevilla

**D. Francisco Rodríguez Rubio**
Director de la Escuela Técnica
Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

**Dª. Esther Romero Ramos**
Directora del Departamento
de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Sevilla

**D. Francisco Arteaga Alarcón**
Director General Territorial para
Andalucía y Extremadura
Endesa

**Dª. Pilar Nieto Hernández**
Network Technology Iberia

**D. José Luis Pérez Mañas**
Director de Endesa Distribución
Andalucía Occidental

**D. Antonio Gómez Expósito**
Catedrático de Ingeniería Eléctrica.
Universidad de Sevilla

**DIRECTOR**

**D. Jacob Rodríguez Rivero**
Responsable de Proyectos de Innovación
en Network Technology Iberia

**DIRECTOR ADJUNTO**

# Cursos

- IV Edición Escuela de Energía

  UIMP CÁTEDRA-ENDESA. Sevilla

Cursos

# IV Edición Escuela de Energía UIMP-CÁTEDRA ENDESA

## "Los Servicios de Red en Sistemas Eléctricos Descabonizados"

**24 y 25/04/2019**

Al acto asistieron la Directora de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Dª. Encarnación Aguilar Criado, la Presidenta de la Fundación Valentín de Madariaga, Dª. Ángela Madariaga; el Director de Network Technology de Enel, D. Robert Denda; el jefe de demarcación Sur de Red Eléctrica de España, D. Pablo Relimpio Astolfi; el Director de la Cátedra Endesa, D. Antonio Gómez Expósito, y los directores del Curso, D. José Luis Martínez Ramos y D. Jacob Rodríguez Rivero.

La generación descentralizada, relacionada con el aumento de las fuentes renovables; la electrificación, con el aumento del vehículo eléctrico y sus necesidades, y el nuevo rol de los clientes, que pasan de ser consumidores a prosumidores, son algunos de los retos que van a analizarse en la jornada, tal y como ha expuesto en su intervención el director de tecnologías de red del Grupo ENEL, D. Robert Denda.

El Sr. Denda ha señalado que se prevé que, hacia 2040, el 50% del consumo de energía a nivel mundial será eléctrica, lo que exige cambios en la gestión que pasan o bien por reforzar las redes o bien por la introducción de la inteligencia artificial y de mecanismos de flexibilidad.

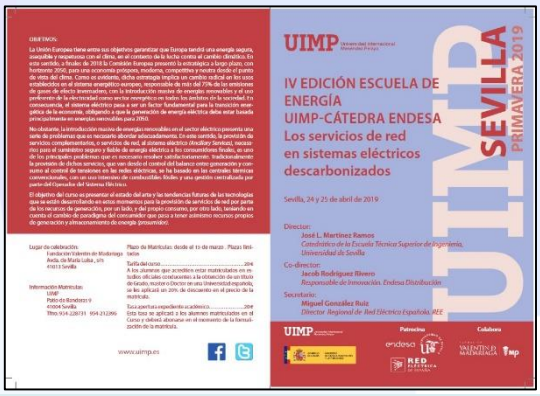
En este contexto, además, “el cliente es más exigente” y pasa a gestionar “de manera activa el consumo, la generación o el almacenamiento de energía a nivel local”, según ha explicado D. Robert Denda.

Por su parte, el catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla y director del curso, D. Luis Martínez Ramos, ha destacado que en los dos días de esta Escuela se analizarán los “nuevos proyectos y tecnologías que se están desarrollando” para “garantizar el suministro eléctrico, con seguridad y fiabilidad”, en un contexto en el que la generación tradicional se está viendo sustituida por “recursos distribuidos, más complejos de gestionar”.

La Escuela, que se celebra bajo el lema ‘Los servicios de red en sistemas eléctricos descarbonizados’, acogió una ponencia sobre ‘Servicios complementarios en redes de distribución’, en la que D. Luis Alberto Ramos, de los Centros de Control Sur de Endesa, y D. Daniel Davi, de Operación y Mantenimiento de Endesa distribución, analizaron los servicios complementarios que requiere la red de distribución para conectar, en toda España, otros 53.000 megavatios procedentes de renovables hasta 2030 y cumplir así con los objetivos de descarbonización.

Estos expertos, que ponen a España como ejemplo de éxito en la integración de renovables, explicarán cómo la nueva capacidad renovable transformará el mix de generación, sustituyendo las grandes plantas convencionales por plantas renovables de menor potencia nominal, conectadas en emplazamientos y puntos de la red ligeramente diferentes.

Por su parte, los responsables de proyectos de Innovación de Endesa D. Miguel Pardo y D. Javier Leiva presentaron Coordinet, el proyecto de demostración a gran escala de la flexibilidad de la red de distribución que la compañía lidera a nivel europeo.



OBJETIVOS

La Unión Europea tiene entre sus objetivos garantizar que Europa tendrá una energía segura, asequible y respetuosa con el clima, en el contexto de la lucha contra el cambio climático. En este sentido, a finales de 2018 la Comisión Europea presentó la estrategia a largo plazo, con horizonte 2050, para una economía próspera, moderna, competitiva y neutra desde el punto de vista del clima. Como es evidente, dicha estrategia implica un cambio radical en los usos establecidos en el sistema energético europeo, responsable de más del 77% de las emisiones de gases de efecto invernadero, con la introducción masiva de energías renovables y el uso preferente de la electricidad como vector energético en todos los ámbitos de la sociedad. En cierto sentido, el sistema eléctrico pasa a ser un factor fundamental para la transición energética de la economía, obligando a que la generación de energía eléctrica debe estar basada principalmente en energías renovables para 2050.

No obstante, la introducción masiva de energías renovables en el sector eléctrico presenta una serie de problemas que es necesario abordar adecuadamente. En este sentido, la provisión de servicios complementarios, o servicios de red, al sistema eléctrico (Ancillary Services), necesarios para el suministro seguro y fiable de energía eléctrica a los consumidores finales, es uno de los principales problemas que es necesario resolver satisfactoriamente. Tradicionalmente la provisión de dichos servicios, que van desde el control del balance entre generación y consumo al control de tensiones en las redes eléctricas, se ha basado en las centrales térmicas convencionales, con un uso intensivo de combustibles fósiles y una gestión centralizada por parte del Operador del Sistema Eléctrico.

El objetivo del curso es presentar el estado del arte y las tendencias futuras de las tecnologías que se están desarrollando en estos momentos para la provisión de servicios de red por parte de los recursos de generación, por un lado, y del propio consumo, por otro lado, teniendo en cuenta el cambio de paradigma del consumidor que pasa a tener pleno recursos propios de generación y almacenamiento de energía (prosumidor).

Lugar de celebración:
Fundación Valentín de Madariaga
Avda. de María Luisa, s/n
41013 Sevilla

Información Matrículas:
UIMP
Paseo de Benedetto 9
41004 Sevilla
Tfno 954-228731 954-212266

Plazo de Matrículas: desde el 11 de marzo . Plazas limitadas

Tarifa del curso ..... 204
A los alumnos que acrediten estar matriculados en estudios oficiales conducentes a la obtención de un título de Grado, Master o Doctor en una Universidad española, se les aplicará un 20% de descuento en el precio de la matrícula.

Tasa apertura expediente académico ..... 20€
Esta tasa se aplicará a los alumnos matriculados en el Curso y deberá abonarse en el momento de la formalización de la matrícula.

www.uimp.es

UIMP Universidad Internacional Menéndez Pelayo

IV EDICIÓN ESCUELA DE ENERGÍA
UIMP-CÁTEDRA ENDESA
Los servicios de red en sistemas eléctricos descarbonizados

Sevilla, 24 y 25 de abril de 2019

Director:
José L. Martínez Ramos
*Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla*

Co-director:
Jacob Rodríguez Rivero
*Responsable de Innovación. Endesa Distribución*

Secretario:
Miguel González Ruiz
*Director Regional de Red Eléctrica Española/REE*

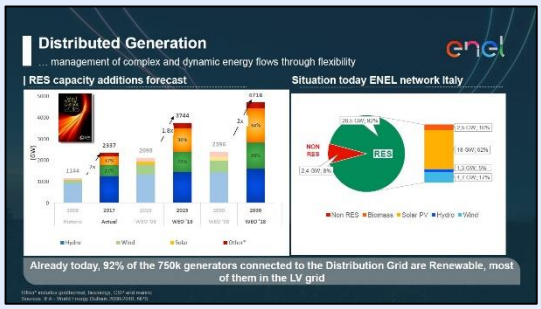
UIMP SEVILLA PRIMAVERA 2019

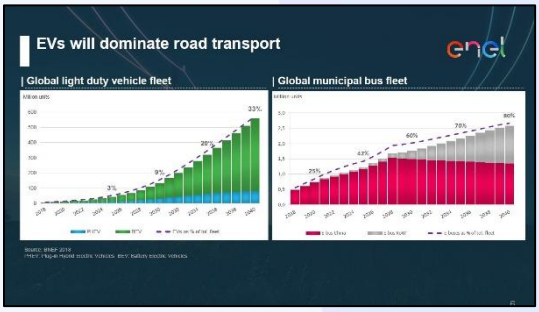
UIMP Universidad Internacional Menéndez Pelayo
Patrocina: endesa, Red Eléctrica de España
Colabora: Fundación Valentín de Madariaga, UMP

## Apertura y Presentación

## Ponencia: "Grid Resilience and Fexibility"

*A cargo de* ***D. Robert Denda***
*Director de Network Technology de Enel*

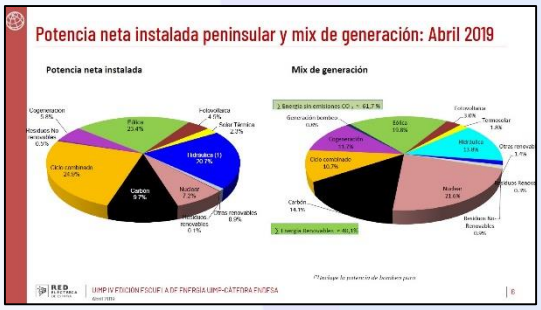


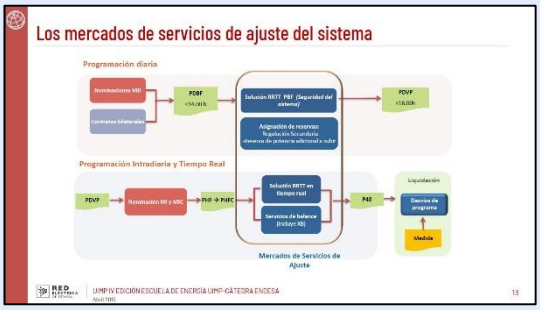



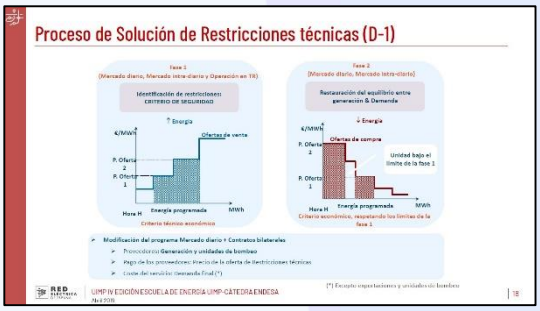
## Bloque I: Los Servicios Complementarios de Red: Conceptos Básicos y Perspectiva Internacional

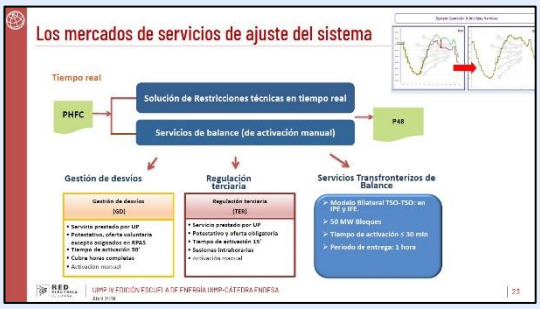
## Ponencias "Servicios Complementarios para la regulación de frecuencia y Balance de Energía" y "Servicios Complementarios para la Resolución de Congestiones"

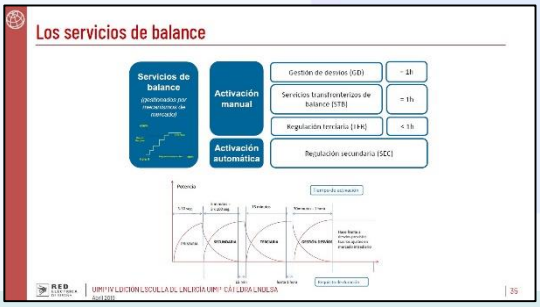
*A cargo de* ***D. Alberto Gil Martínez***
*Técnico del Área de Apoyo de CECOEL. Red Eléctrica Española*



## Bloque I: Los Servicios Complementarios de Red: Conceptos Básicos y Perspectiva Internacional

## Ponencia: "Vertiente Económica de los Servicios Complementarios"

*A cargo de* ***D. Jesús Manuel Riquelme Santos***
*Catedrático de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla*

UIMP Universidad Internacional Menéndez Pelayo

ESCUELA DE ENERGÍA
UIMP-ENDESA

Los servicios de red en sistemas eléctricos descarbonizados

Vertiente económica de los servicios complementarios

Jesús Riquelme Santos
Catedrático de la Universidad de Sevilla

### Superposición de costes.

Se superponen costes de varios mercados, costes regulados y varios impuestos

| BLOQUES DE COSTES | COSTES | CARÁCTER |
|---|---|---|
| COSTES DEL MERCADO DE PRODUCCIÓN | Pool | *Mercado (horario)* |
| | Restricciones Técnicas y Servicios de Operación | *Mercado (horario)* |
| | Margen de comercialización | *Libre* |
| COSTES REGULADOS | Peaje de Energía | *Regulado (por periodo)* |
| | Peaje de Potencia | *Regulado* |
| | Pagos por Capacidad | *Regulado (por periodo)* |
| | Pérdidas de Transporte y Distribución | *Regulado (horario)* |
| | Retribuciones de los Operadores | *Regulado* |
| | Alquiler del Equipo de Medida | *Regulado* |
| IMPUESTOS | Impuesto Municipal | *Regulado* |
| | Impuesto Eléctrico | *Regulado* |
| | IVA | *Regulado* |

### Superposición de costes.

¿Qué precio se paga en los distintos mercados?

***Gráfico 8. Componentes del precio final medio de generación de electricidad que soporta la Demanda peninsular***

Fuente: CNMC

### Mercado Restricciones PDBF 2016

| Código unidad | nºHoras que participan en RRTT |
|---|---|
| $BES_4$ | 8256 |
| $SROQ_1$ | 7224 |
| $CTN_4$ | 6768 |
| $MALA_1$ | 6648 |
| $SAGU_2$ | 6073 |
| $BES_1$ | 5417 |
| $ALG_2$ | 5140 |
| $BES_2$ | 4991 |
| $PBCN_2$ | 4487 |
| $SAGU_1$ | 4431 |
| $ACE_1$ | 4251 |
| $SROQ_2$ | 4151 |
| $ABC_1$ | 4016 |
| $ACE_2$ | 3613 |
| $ARCO_2$ | 3461 |
| $SAGU_3$ | 3374 |
| $PBCN_1$ | 3361 |
| BAHIAB | 3341 |
| $ABC_2$ | 3187 |
| $LEI_1$ | 3171 |
| $BES_3$ | 2809 |
| TAPOVER | 2391 |

Hay **algo más de 20 unidades** que participan más de 2500 horas en las RRTT. De estás BES4 participó en 8256 horas del año.

Aportación RRTT por provincias en (GWh)

Se puede observar que 4 de 16 centrales participan más de 6000 horas al año (BES4, SROQ1, MALA1, SAGU2) pertenecen a GN

### Conclusiones

- El coste no es muy alto si se considera el beneficio que supone. No obstante, podría reducirse.
- Mercado Restricciones no es puntual, la solución en manos de unas pocas empresas y estas pueden adelantarse.
- Mercado de capacidad no es competitivo.
- El coste de la interrumpibilidad es elevado considerando el reducido uso efectivo que en los últimos años ha venido haciéndose del mismo

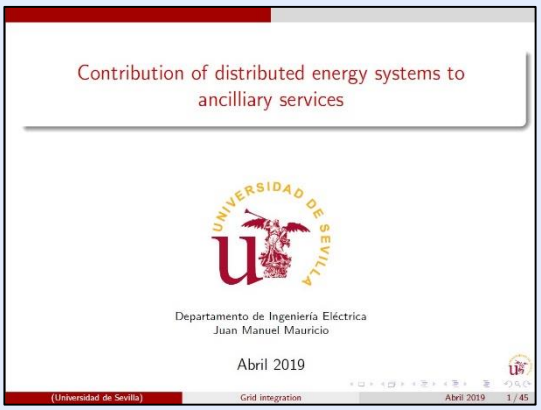
### ¿Existen alternativas?

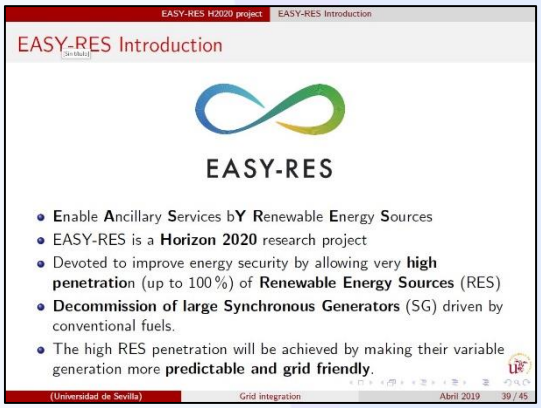
- **Mercado Restricciones**. Fijación de precios máximos y mínimos, coste marginal (auditados), mejoras de infraestructuras.
- **Mecanismo de capacidad.** Evaluación de está necesidad, en un sistema con sobrecapacidad, introducción de competencia.
- **Servicio de interrumpibilidad** (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia) el operador del sistema debería desarrollar una metodología de necesidades de cobertura, en lugar de introducir la consideración del volumen de interrumpibilidad como un dato de partida en el análisis de cobertura.
- Potenciación del mercado intradiario continuo (junio de 2018)

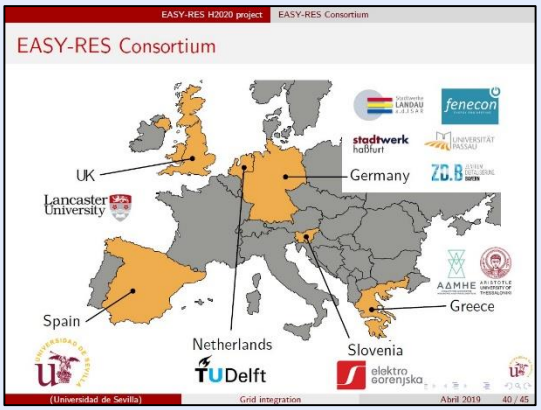
## Bloque I: Los Servicios Complementarios de Red: Conceptos Básicos y Perspectiva Internacional

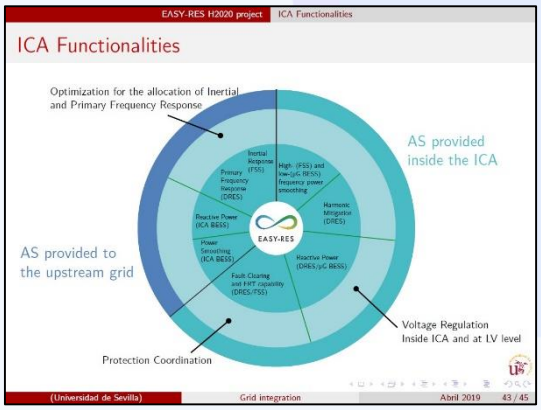
## Ponencia: "Contribution of Distributed Energy Systems to Ancilliary Services: The H2020 EASY-RES Project"

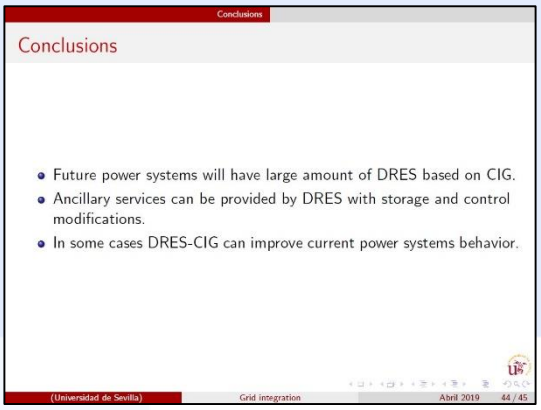
*A cargo de* ***D. Juan M. Mauricio***
*Profesor de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla*



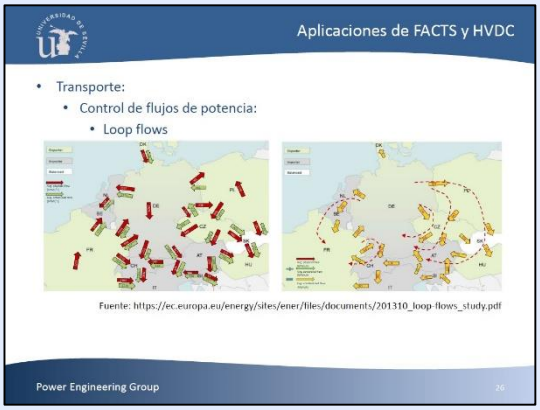



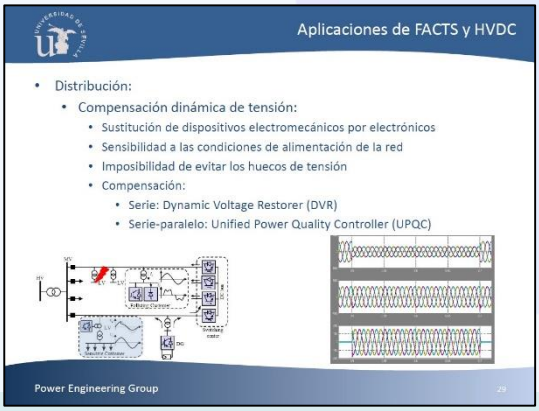



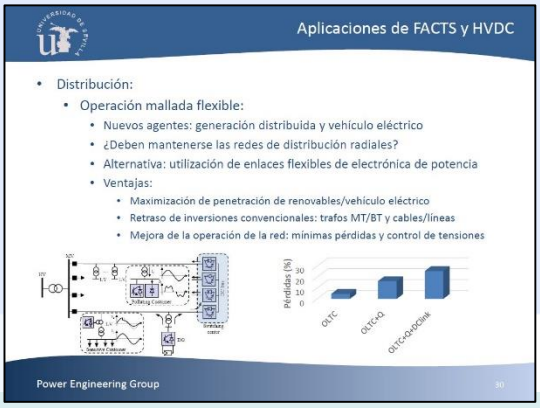
## Bloque I: Los Servicios Complementarios de Red: Conceptos Básicos y Perspectiva Internacional

## Ponencia: "Contribución de Sistemas FACTS y HVDC a los Servicios Complementarios"

*A cargo de **D. José María Maza Ortega***
*Profesor de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Sevilla*



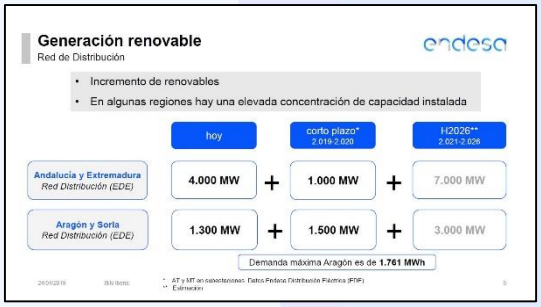



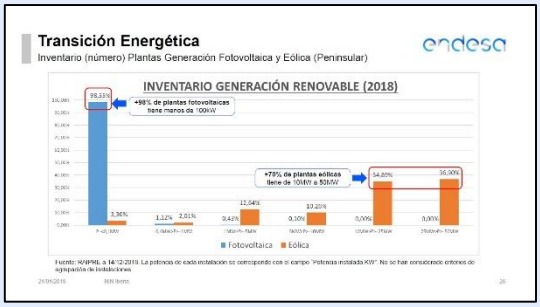



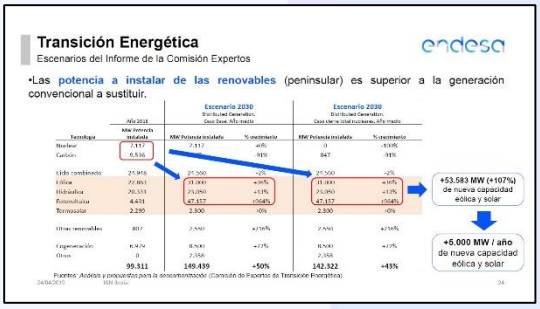
## Bloque II: Hacia el Cambio de Paradigma Regulatorio: Nuevos Actores para Nuevas Necesidades

### Ponencia: "Servicios Complementarios en Redes de Distribución: La Necesidad del DSO"

*A cargo de* ***D. Luis Alberto Ramos Díaz,*** *Centros de Control Sur de ENDESA y* ***D. Daniel Davi Arderius****, O&M Endesa Distribución-Miembro AELEC en Grupos Código de RED*



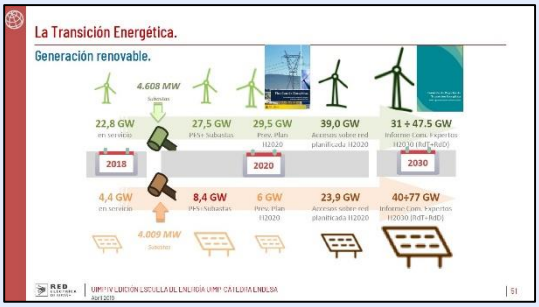



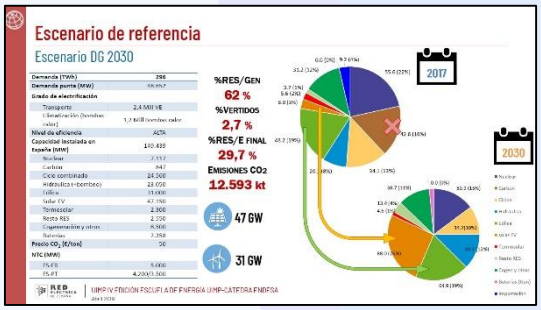



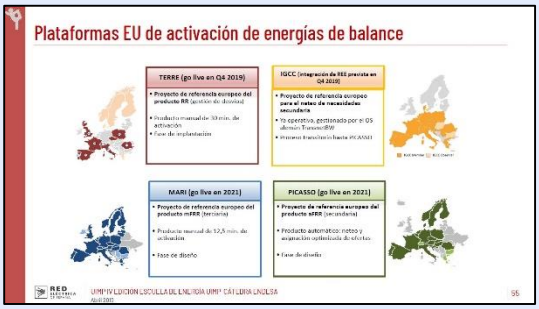
## Bloque II: Hacia el Cambio de Paradigma Regulatorio: Nuevos Actores para Nuevas Necesidades

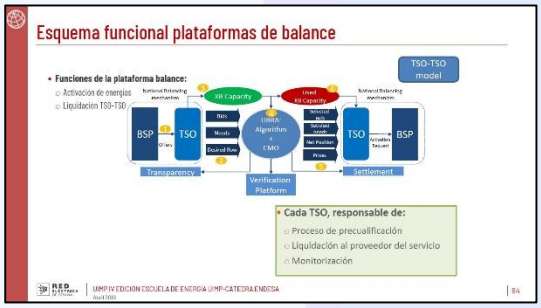
## Ponencia: "Servicios Complementarios del Sistema para el Nuevo Paradigma de la Transición Energética y el Mercado Interior de la Electricidad. Modelo de Gestión"

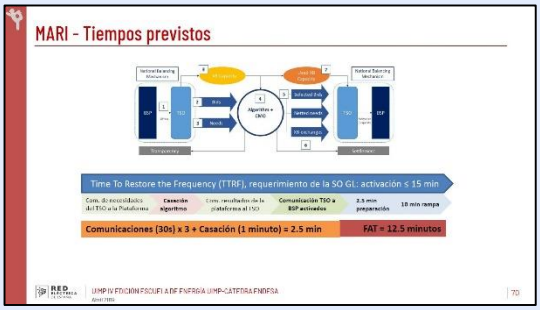
*A cargo de* ***D. Alberto Gil Martínez,***
*Técnico del área de apoyo de CECOEL. Red Eléctrica Española*

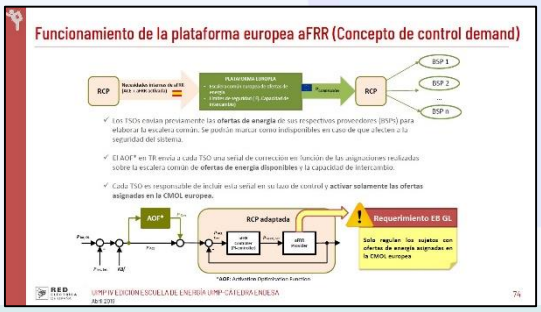


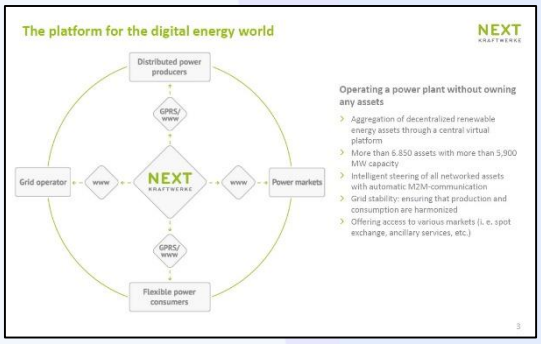



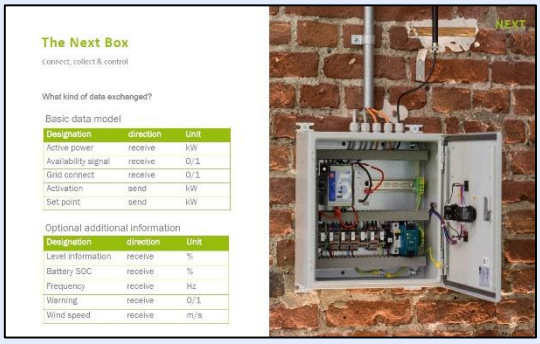



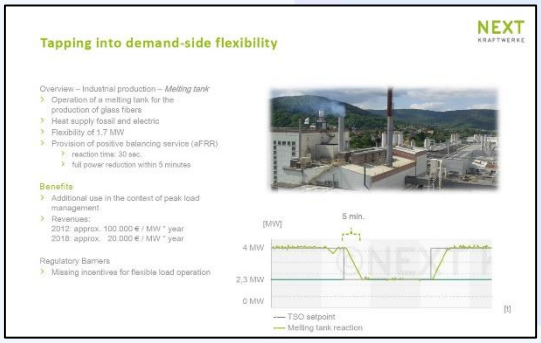
## Bloque III: The Need for Coodination Among the Different Agents

## Ponencia: "Virtual Power Plants and the Provision of Ancillary Services"

*A cargo de **D. Jan Aengenvoort,** Next Kraftwerke. Germany*



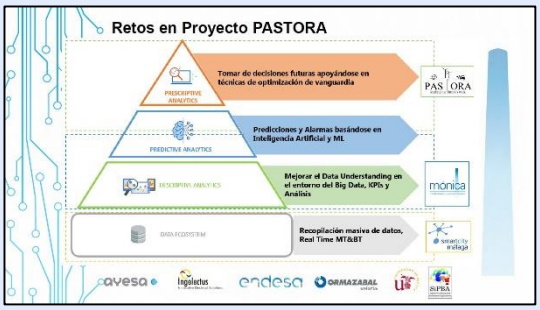



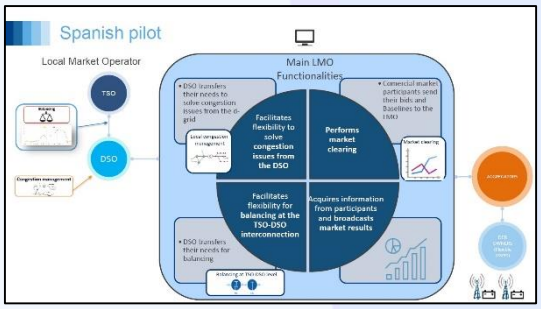



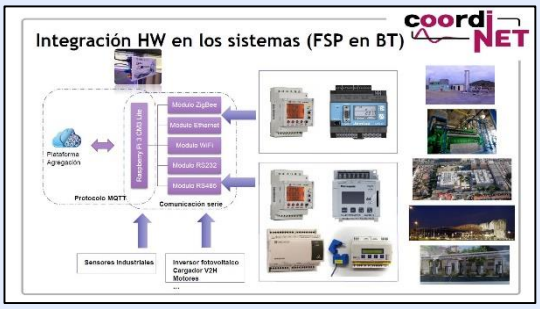
## Bloque III: The Need for Coodination Among the Different Agents

### Ponencia: "Proyectos I+D: hacia la flexibilidad de la DSO."

*A cargo de **D. Javier Leiva y D. Miguel Pardo,***
*Network Technologies Iberia. New Technologies & Innovation. Endesa Distribución.*



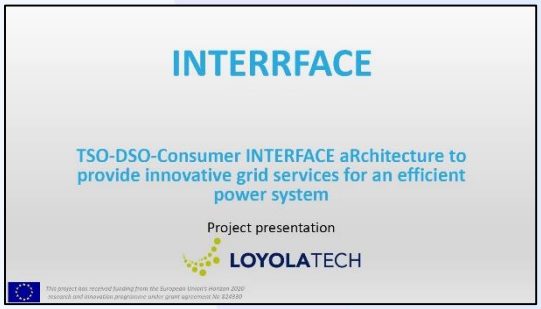



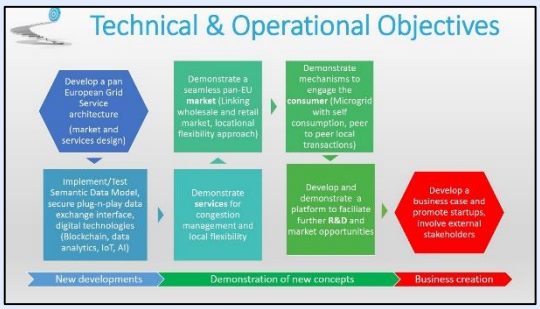



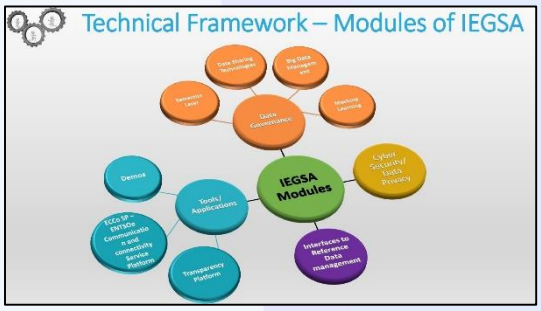
## Bloque III: The Need for Coodination Among the Different Agents

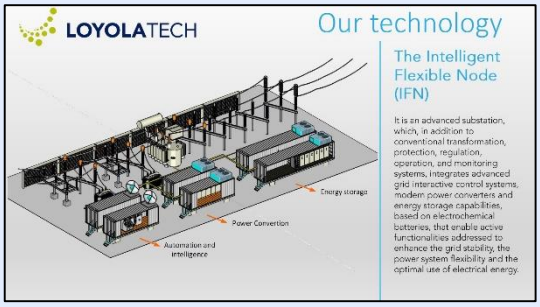
## Ponencia: "INTERRFACE"

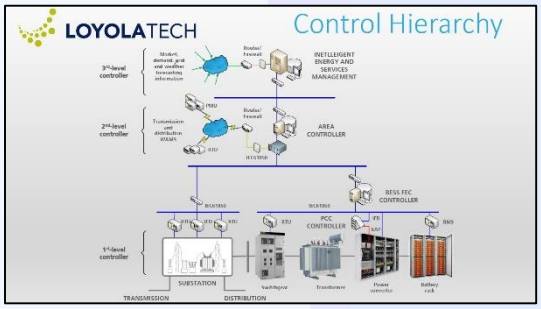
*A cargo de* ***D. Pedro Rodríguez Cortés,***
*Director del Instituto de Ciencia y Tecnología. Universidad Loyola Andalucía*

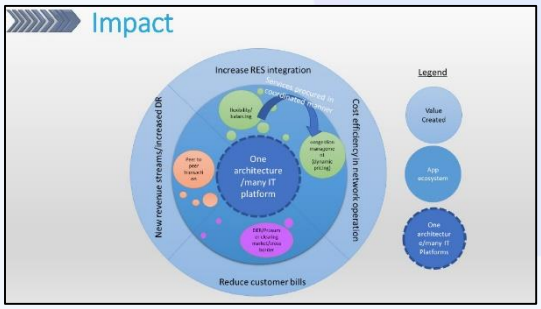


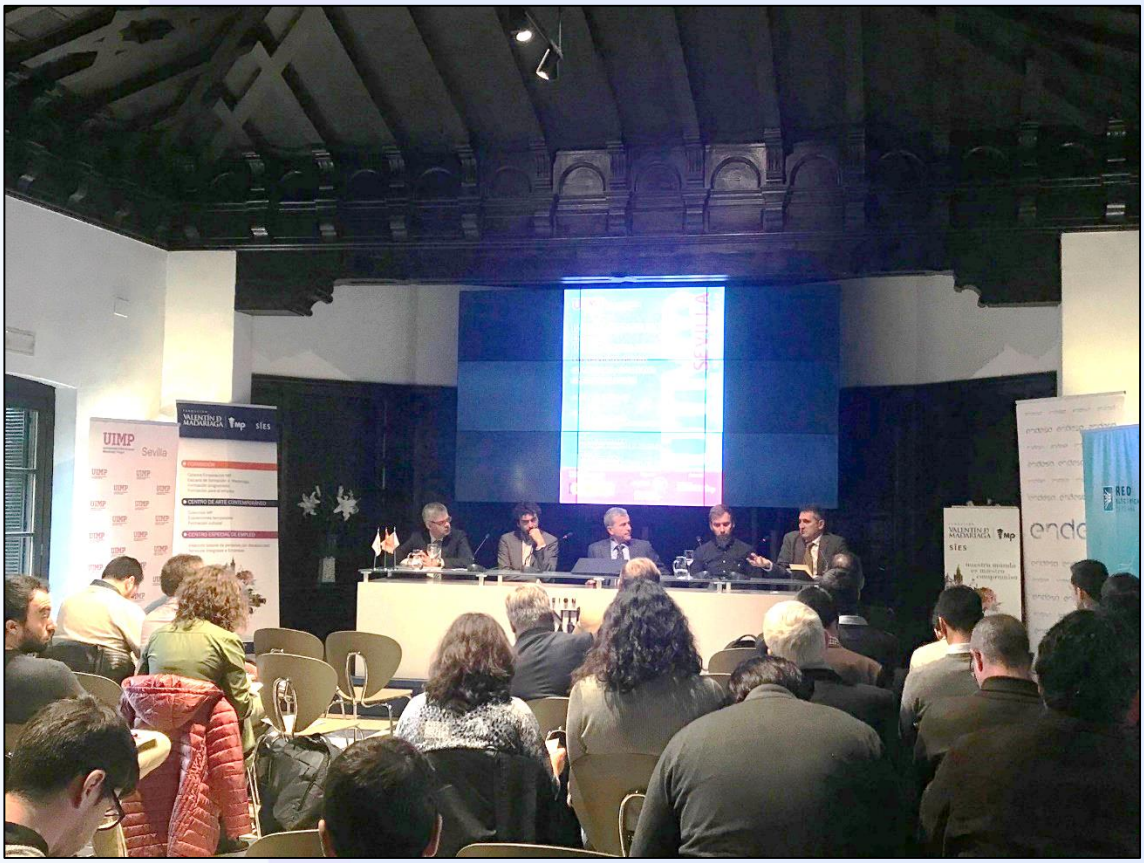





## Round Table: The Point of View of the Involved Stakeholders




De izquierda a derecha: D. Jan Aengenvoort, D. Juan Bola Merino,
D. Antonio Gómez-Expósito, D. Jorge Sánchez Cifuentes y D. Pedro Rodríguez Cortés

## Conclusiones y Clausura

# Jornadas

- II Jornadas de Economía Eléctrica.
- 25 Aniversario Capítulo Español PES del IEEE.
- Workshop Renewable. Sevilla.
- Los retos del coche eléctrico.
- Jornadas sobre Almacenamiento de Energía Eléctrica.
- Presentación Cátedras de ENDESA.

Jornadas

# “II Jornada de Economía Eléctrica” Sevilla

**27/03/2019**

# II JORNADA DE ECONOMÍA ELÉCTRICA

Sevilla, 27 de marzo de 2019

**Asistencia gratuita previa inscripción en el correo:**
**Jornadadeeconomiaelectrica@gmail.com**

**Salón de Grados. Escuela Superior de Ingenieros.– De 15:30 A 20:30 -**

**PROGRAMA:**

**15,30 APERTURA E INTRODUCCIÓN A LA JORNADA**
Francisco Rodríguez Rubio. Director de la Escuela de Ingenieros de la US - Angel ARCOS VARGAS. Universidad de Sevilla.

**15,45 IMPACTO MACROECONÓMICO DEL SECTOR ELÉCTRICO.** Carlos Usabiaga. Universidad Pablo de Olavide.

**16,30 EFECTOS ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA ELECTRO-MOVILIDAD EN ESPAÑA. UN ANÁLISIS INPUT OUTPUT MEDIOAMBIENTALMENTE EXTENDIDO.** Manuel Ordóñez. Universidad de Sevilla.

**17:15 PROPIEDAD INDUSTRIAL Y EL SECTOR ELÉCTRICO.** Gerardo PENA. Oficina Española de Patentes y Marcas. MINISTERIO DE INDUSTRIA.

**18:15 VEHICULO ELÉCTRICO. TECNOLOGÍAS Y EXPERIENCIAS INTERNACIONALES.** José María MAZA. Universidad de Sevilla.

**18:30 ANÁLISIS COMPARATIVO A NIVEL INTERNACIONAL DE LA EXPANSIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.** Fernando Núñez. Universidad de Sevilla

**18:45 EL NEGOCIO DE LA RECARGA DE VEHICULOS ELÉCTRICOS: NECESIDAD DE AYUDAS PÚBLICAS.** Angel ARCOS VARGAS- Universidad de Sevilla.

**19:00 IMPLANTACIÓN DE LOS SERVICIOS ENERGÉTICOS EN LA ADMINISTRACIÓN LOCAL.** Juan Carlos Durante. ESCO Consulting.

**20,00 MESA REDONDA. –**

**20:20 CLAUSURA DE LAS JORNADAS**

**20:30 FIN DE LAS JORNADAS**

Jornadas

# “25 Aniversario Capítulo Español PES del IEEE” Madrid

**29/04/2019**

**Mesa redonda con los fundadores:**

Dr. Ing. Carlos Álvarez Bel.

Dr. Ing. Antonio Gómez Expósito.

Dr. Ing. Luis Rouco Rodríguez.

Dr. Ing. José Luis Sancha Gonzalo (pr. 1969).

Moderó: Dr. Ing. Jesús Fraile Ardanuy; Presidente del IEEE Spain.

The Power and Energy Society (PES) is one of the 37 Societies belonging to IEEE. The scope of the PES is all related areas wih systems and equipment for the generation, transport, distribution and usage of electric energy.

The Spanish IEEE Power and Energy Society Chapter (former Power Engineering Society Chapter) was established in 1994. The principal functions of a Society Chapter are to promote activities within the scope of the Society and assist the Society Officers and Committees in the conduct and coordination of Society activities.

Jornadas

# "Workshop Renewable, 8TH Edition" Sevilla

**07/05/2019**

WORKSHOP RenEWABLE
SEVILLE MAY 7TH 2019
8TH EDITION

## WORKSHOP ESPAÑA

**09:30**
Recepción Café

**09:45**
Bienvenida. Beltrán Calvo (CEO de Isotrol)

**10:00 MESA REDONDA I**
La revolución digital al servicio de la mejora en la operación.
El machine learning como herramienta para la identificación de causas raíz.

Moderador: Pablo Villalba (Terraform Global)
Ponente: Miguel Colomo (EGP) 10 min.
Ponente: Helena Manzanares (FRV) 10 min.
Ponente: Estefanía de Osma (ISOTROL) 10 min.
Debate: 15 min.

**11:00**
**MESA REDONDA II**
El paradigma de la estabilidad de red y la gestionabilidad de las energías renovables. El almacenamiento y las nuevas tecnologías como respuesta.

Moderador: Rafael González (EGP)
Ponente: Antonio Gómez (Universidad Sevilla) 10 min.
Ponente: Luis Alberto Fernández (Saeta) 10 min.
Ponente: Alberto Ceña (AEE) 10 min.
Debate: 15 min.

**12:00**
**MESA REDONDA III**
Presente y futuro de las energías renovables.
Nuevos mercados y evolución de los mercados existentes

Moderador: Carlos Solé (KPMG)
Ponente: Ricardo Monzón (Genneia) 10 min.
Ponente: Álvaro García (Prodiel)10 min.
Ponente: Juan Fernández (Sonnedix) 10 min.
Debate: 15 min.

**13:00**
Conclusiones y cierre.

**13:15**
Visita a la Feria de Sevilla

Fundacion Valentin de Madariaga
Avda. de María Luisa, s/n
41013 Sevilla

isotrol

https://www.youtube.com/watch?v=KNCXpDQP3cE&feature=youtu.be

Jornadas

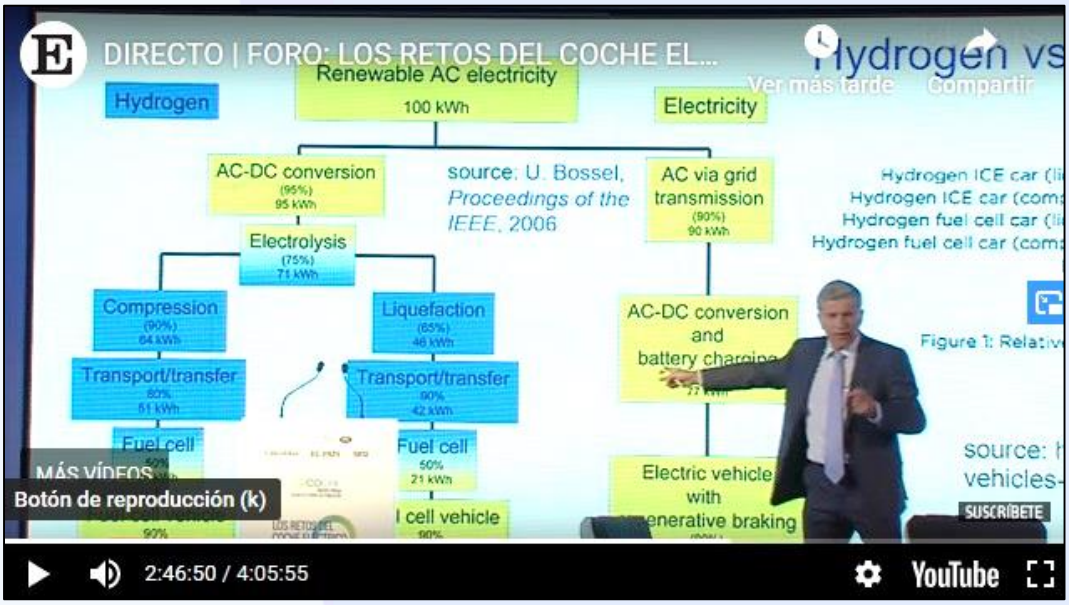
# “Los retos del coche eléctrico”
# Madrid

**11/07/2019**

endesa
SER
EL PAÍS
CincoDías
LOS RETOS
DEL COCHE
ELÉCTRICO

Over 1.1 billion ICE vehicles running
Technology
Well-to-Wheel Efficiency (%)

7 Millions EVs, 30% Spanish stock
(60% plug-in, 40% pure)
Sin gestión
Discriminación horaria
Inteligente

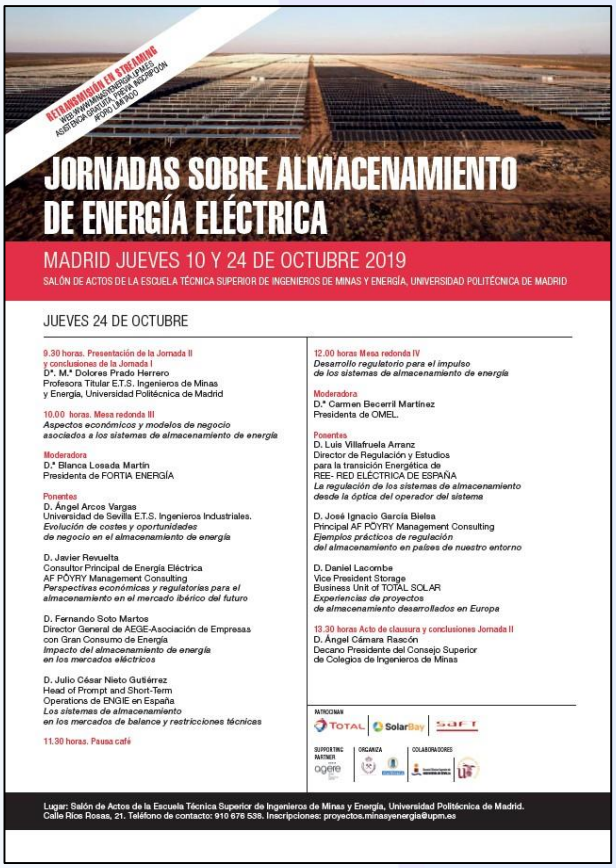

DIRECTO | FORO: LOS RETOS DEL COCHE EL...
Hydrogen vs
Ver más tarde
Compartir
Hydrogen
Renewable AC electricity
100 kWh
Electricity
AC-DC conversion
(95%)
95 kWh
source: U. Bossel, Proceedings of the IEEE, 2006
AC via grid transmission
(90%)
90 kWh
Electrolysis
(75%)
71 kWh
Compression
(90%)
64 kWh
Liquefaction
(65%)
46 kWh
Transport/transfer
51 kWh
Transport/transfer
42 kWh
Fuel cell
Fuel cell
50%
21 kWh
AC-DC conversion and battery charging
Electric vehicle with regenerative braking
Hydrogen ICE car
Hydrogen fuel cell car
Figure 1: Relativ
MÁS VÍDEOS
Botón de reproducción (k)
SUSCRÍBETE
2:46:50 / 4:05:55
YouTube

Jornadas

# “Jornadas sobre Almacenamiento de Energía Eléctrica” Madrid

**10 y 24/10/2019**

https://sslwebcast.com/almacenamiento/video.htm?video=02



RETRANSMITIDAS EN STREAMING
WEBINAR/WEBINAR, ENTRADA LIBRE
ASISTENCIA GRATUITA, PREVIA INSCRIPCIÓN
#FORO MEDIO

# JORNADAS SOBRE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

MADRID JUEVES 10 Y 24 DE OCTUBRE 2019

SALÓN DE ACTOS DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

JUEVES 24 DE OCTUBRE

9.30 horas. Presentación de la Jornada II y conclusiones de la Jornada I
D.ª. M.ª Dolores Prado Herrero
Profesora Titular E.T.S. Ingenieros de Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid

10.00 horas. Mesa redonda III
*Aspectos económicos y modelos de negocio asociados a los sistemas de almacenamiento de energía*

Moderadora
D.ª Blanca Losada Martín
Presidenta de FORTIA ENERGÍA

Ponentes
D. Ángel Arcos Vargas
Universidad de Sevilla E.T.S. Ingenieros Industriales.
*Evolución de costes y oportunidades de negocio en el almacenamiento de energía*

D. Javier Revuelta
Consultor Principal de Energía Eléctrica
AF POYRY Management Consulting
*Perspectivas económicas y regulatorias para el almacenamiento en el mercado ibérico del futuro*

D. Fernando Soto Martos
Director General de AEGE-Asociación de Empresas con Gran Consumo de Energía
*Impacto del almacenamiento de energía en los mercados eléctricos*

D. Julio César Nieto Gutiérrez
Head of Prompt and Short-Term Operations de ENGIE en España
*Los sistemas de almacenamiento en los mercados de balance y restricciones técnicas*

11.30 horas. Pausa café

12.00 horas Mesa redonda IV
*Desarrollo regulatorio para el impulso de los sistemas de almacenamiento de energía*

Moderadora
D.ª Carmen Becerril Martínez
Presidenta de OMEL.

Ponentes
D. Luis Villafruela Arranz
Director de Regulación y Estudios para la transición Energética de REE- RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA
*La regulación de los sistemas de almacenamiento desde la óptica del operador del sistema*

D. José Ignacio García Bielsa
Principal AF POYRY Management Consulting
*Ejemplos prácticos de regulación del almacenamiento en países de nuestro entorno*

D. Daniel Lacombe
Vice President Storage
Business Unit of TOTAL SOLAR
*Experiencias de proyectos de almacenamiento desarrollados en Europa*

13.30 horas Acto de clausura y conclusiones Jornada II
D. Ángel Cámara Rascón
Decano Presidente del Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas

PATROCINAN: TOTAL | SolarBay | SAFT
SUPORTING PARTNER: agere | ORGANIZA: UPM | COLABORADORES: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía | UPM

Lugar: Salón de Actos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid.
Calle Ríos Rosas, 21. Teléfono de contacto: 910 676 538. Inscripciones: proyectos.minasyenergia@upm.es

JORNADAS SOBRE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

TOTAL SolarBay SAFT

Jornadas

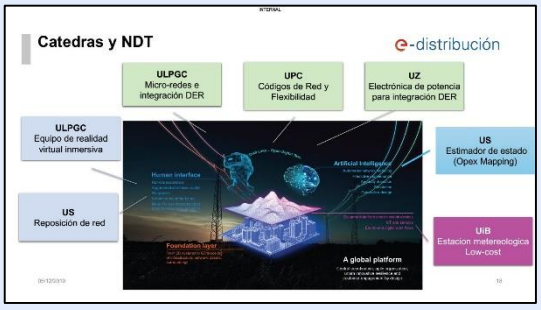
# “Presentación de Cátedras ENDESA” Madrid

**27/11/2019**

## Plan Cátedras Endesa Red 2020-2022

*A cargo de **D. Jacob Rodríguez Rivero***

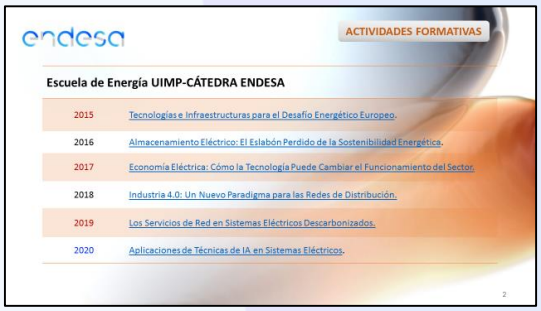
*Responsable de Proyectos de Innovación en Network Technology Iberia*



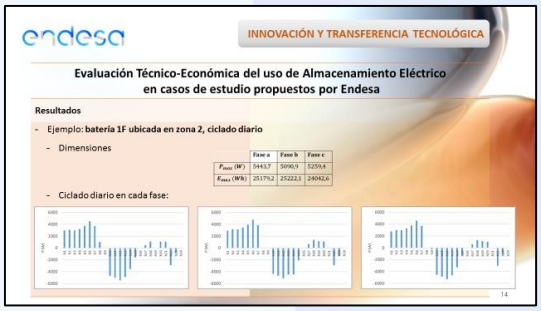
# Presentación Cátedra Endesa Red de la Universidad de Sevilla

*A cargo de **D. Antonio Gómez Expósito***

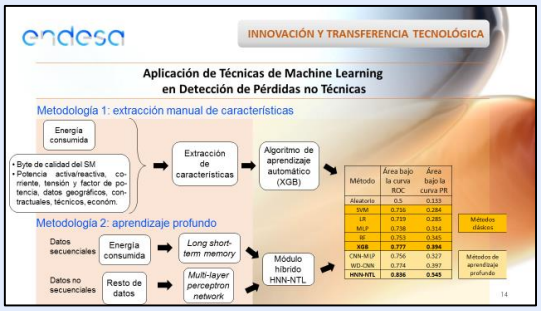
*Catedrático de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Sevilla y Director de la Cátedra Endesa Red de la Universidad de Sevilla*



| Año | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PFC/TFM | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| TFG | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| Importe | 3.000€ | 3.000€ | 3.000€ | 3.000€ | 3.000€ | 3.000€ | 3.000€ | 2.000€ | 2.000€ | 2.000€ | 2.000€ | 29.000€ |




| | Fase a | Fase b | Fase c |
|---|---|---|---|
| $P_{max}$ (W) | 5443,7 | 5496,9 | 5259,4 |
| $E_{max}$ (Wh) | 25179,2 | 25222,1 | 24042,6 |




| Método | Área bajo la curva ROC | Área bajo la curva PR |
|---|---|---|
| Aleatorio | 0,5 | 0,133 |
| DtM | 0,736 | 0,284 |
| LR | 0,739 | 0,285 |
| MLP | 0,738 | 0,314 |
| RF | 0,753 | 0,345 |
| XGB | 0,777 | 0,394 |
| CNN-MLP | 0,756 | 0,327 |
| WD-CNN | 0,774 | 0,397 |
| HNN-NTL | 0,836 | 0,545 |

# Seminarios Docentes

- D. Antonio Gómez Expósito. "Nuevas Tecnologías para Redes Eléctricas Urbanas: la experiencia española"
- D. Gabriel A. Tévar Bartolomé. "Generación Fotovoltaica Distribuida: Impacto sobre la Red de Media y Baja Tensión"
- D. Gabriel Álvarez Cordero. "Transitorios Electromagnéticos en la Red de Transporte de Energía Eléctrica"
- Dr. Fernando Mancilla David. "Characterization of Photovoltaic Systems for Large Scale Solar Power Generation"
- Dr. José Manuel Cano Rodríguez. "Aportaciones al Modelado, Control y Diagnóstico de Rectificadores Activos Trifásicos con Control Activo de Potencia"
- D. Antonio Gómez Expósito. "The Factored Approach to Solving Nonlinear Power System Problems"
- Dra. Hortensia Amarís Duarte. "Las 3D de los Sistemas Eléctricos: Descarbonización, Digitalización y Descentralización"

# D. Antonio Gómez Expósito.

## "Nuevas Tecnologías para Redes Eléctricas Urbanas: la Experiencia Española"

**14/03/2019**

## "Nuevas Tecnologías para Redes Eléctricas Urbanas: La Experiencia Española"

*a cargo de* ***D. Antonio Gómez-Expósito,*** *Fellow IEEE*
*Dpto. de Ingeniería Eléctrica –Cátedra Endesa Red de la Universidad de Sevilla*

Máster **"Sistemas Inteligentes en Energía y Transporte" (EPS)**

*14 Marzo 2019*

**Nuevas tecnologías para redes eléctricas urbanas: la experiencia española**

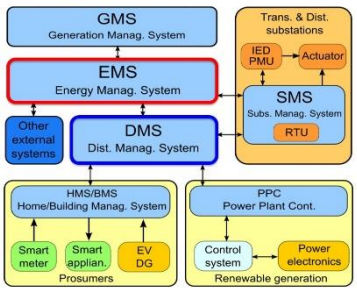
**Antonio Gómez-Expósito**, Fellow IEEE
*Dep. Ingeniería Eléctrica – Cátedra Endesa Red*

### Contents

- The (unsustainable) 20th century paradigm
- Renewables to the rescue
- Economic & technical challenges
- Enabling technologies (opportunities):
  - Smart grids
  - Energy storage: the *holy grail*
  - Distributed generation & demand management
- The Spanish experience in urban smart grids:
  - Smart underground cables
  - Smart urban substations
  - Smart links for distribution feeders
  - Smartcity district (Malaga)

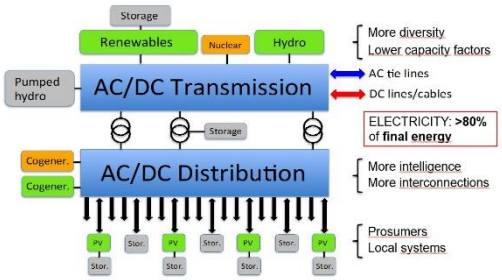
### New EMS roles, interactions and applications

**Smart grid context: boom of information**



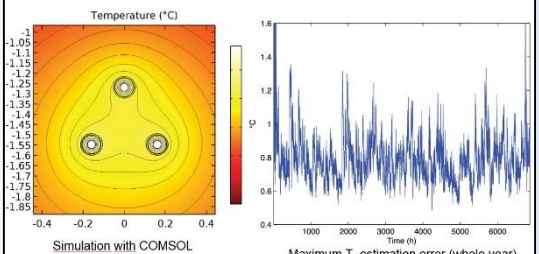

### 21st Century Paradigm

**Main drivers**: sustainability & decarbonization



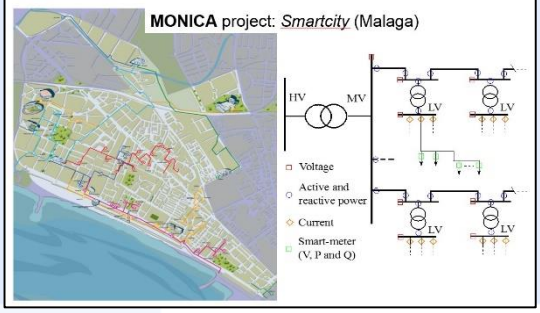

### DTR for Underground Cables

**Example**: REE Pilot Project (University of Seville & Ingelectus)




### State estimation for distribution grids

**MONICA** project: *Smartcity* (Malaga)



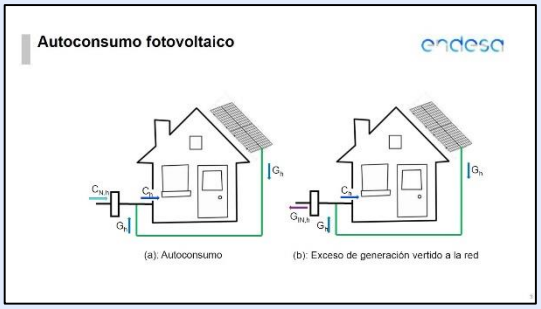
# D. Gabriel A. Tévar Bartolomé.

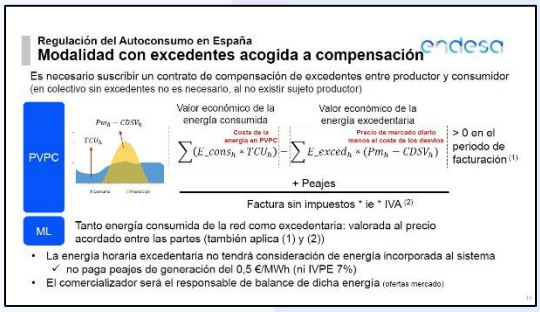
## “Generación Fotovoltaica Distribuida: Impacto sobre la Red de Media y Baja Tensión”

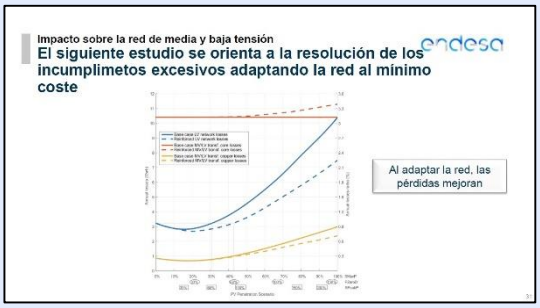
**27/05/2019**

**D. Gabriel A. Tévar Bartolomé**

*de Endesa junto a los profesores D. Ángel Arcos Vargas, D. José Luis Martínez Ramos y Dª Esther Romero Ramos*



Seminarios

# D. Gabriel Álvarez Cordero

## “Transitorios Electromagnéticos en la Red de Transporte de Energía Eléctrica”

**05/06/2019**

SEMINARIO
“TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS EN LA RED DE TRANSPORTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA"
MÁSTER EN SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA"
Y DOCTORADO INTERUNIVERSITARIO EN “SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA”
D. GABRIEL ÁLVAREZ CORDERO
RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA
AULA TL 03 ETS DE INGENIERIA
05/06/2019 A LAS 18:00H
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
Colabora la Cátedra Endesa de la Universidad de Sevilla

Seminarios

# Dr. Fernando Mancilla David

## "Characterization of Photovoltaic systems for Large Scale Solar Power Generation"

**14/10/2019**

**Departamento de Ingeniería Eléctrica**
**E.T.S. Ingeniería - Universidad de Sevilla**

**Máster en “Sistemas de Energía Eléctrica”**
**y Máster en “Ingeniería Industrial”**

**Doctorado Interuniversitario en “Sistemas de Energía Eléctrica”**

# Conferencia

## Dr. Fernando Mancilla David

**University of Colorado Denver, EE.UU.**

“Characterization of photovoltaic systems for large scale solar power generation.”

Lunes, 14/10/2019 de 17:30 a 18:30h

Salón de Grados de la ETS de Ingeniería, Universidad de Sevilla

http://departamento.us.es/ielectrica/eventos/

**Dr. Fernando Mancilla David**
*University of Colorado Denver, EE.UU.*

Seminarios

# Dr. José Manuel Cano Rodríguez

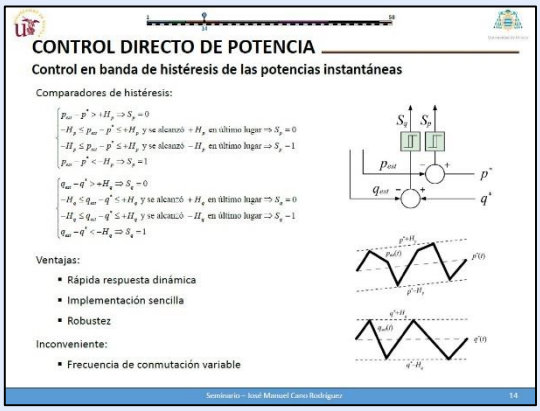
## "Aportaciones al Modelado, Control y Diagnóstico de Rectificadores Activos Trifásicos con Control Activo de Potencia"

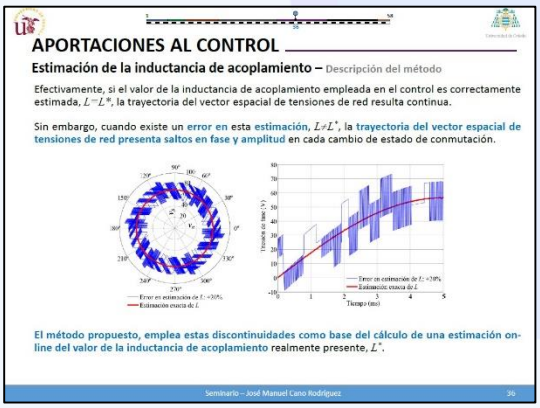
**14/10/2019**

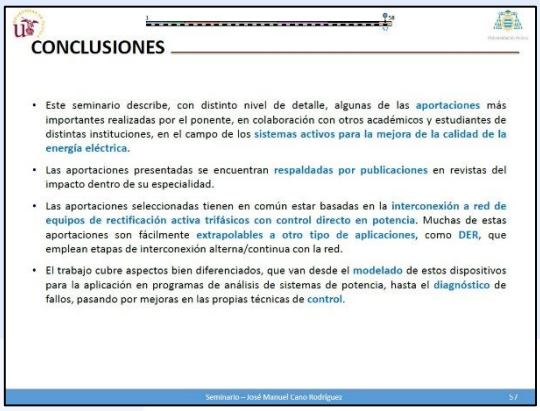
# “Aportaciones al Modelado, Control y Diagnóstico de Rectificadores Activos Trifásicos con Control Activo de Potencia”

**Dr. José Manuel Cano Rodríguez**

*Universidad de Oviedo*



Seminarios

# Dr. Antonio Gómez Expósito

## "The Factored Approach to Solving Nonlinear Power System Problems"

**18/11/2019**

# “The Factored Approach to Solving Nonlinear Power System Problems”

**Charla: Solución factorizada en sistemas de ecuaciones no lineales: aplicaciones a sistemas eléctricos**
**Lugar: Auditorio D'Etigny, Beaucheff 851**
**Fecha: Lunes 18 de noviembre a las 14:00 hrs.**

Breve descripción del expositor:

El profesor **Antonio Gómez Expósito**, Catedrático de Universidad de Ingeniería Eléctrica en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla.

Director de la Cátedra Endesa Red (desde 2007). Editor de Journal of Modern Power Systems and Clean Energy (China). Investigador principal de uno de los mayores y más relevantes grupos de investigación a nivel nacional en el área de los sistemas eléctricos, integrado por más de 20 doctores y cinco catedráticos.

**Fellow Member** del capítulo *Power and Energy Society* de IEEE, ha recibido el prestigioso galardón **2019 IEEE PES Outstanding Power Engineering Educator Award,** por su contribución de liderazgo a la educación, a supervisión de investigación y publicaciones académicas.

El profesor Gómez Expósito dirige uno de los mayores y más relevantes grupos de investigación a nivel nacional en el área de los sistemas eléctricos de potencia, siendo coautor de más de 300 publicaciones técnicas en este campo.


CENTRO DE ENERGÍA
**Paola Silva T.**
Coordinadora General SERC-Chile
/ + 56 2 2978 0981
/ psilva@centroenergia.cl
/ www.centroenergia.cl



**Dr. Antonio Gómez Expósito**
*Dpto. of Electrical Eng. – Endesa Red Chair University of Sevilla, Spain*


UNIVERSIDAD DE CHILE

**The factored approach to solving nonlinear power system problems**


**Antonio Gómez-Expósito**
*Dpt. of Electrical Eng. – Endesa Red Chair*
*University of Sevilla, Spain*


*November 18, 2019*

## Factored solution approach

- Conventional NR (for comparison):

$$h(x) = p \qquad H_k \Delta x_k = \Delta p_k = p - h(x_k)$$

- **Two-step factored procedure:**

$$Ey = p$$
$$u = f(y)$$
$$Cx = u$$

Factored Jacobian: $\tilde{H} = E\tilde{F}^{-1}C$

Step 0: Initialization $x_0 \rightarrow y_0$

Step 1: $(EE^T)\lambda = p - Ey_k$

$\tilde{y} = y_k + E^T\lambda$

$\tilde{u} = f(\tilde{y})$

Step 2: $\tilde{H}x_{k+1} = E\tilde{F}^{-1}\tilde{u}$

$y_{k+1} = f^{-1}(Cx_{k+1})$

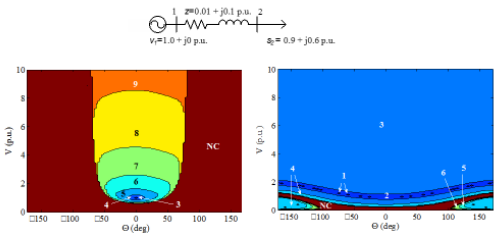
$||p - Ey_{k+1}||_\infty < \varepsilon$

NO → Step 1; YES → END

© Gómez-Expósito

## Factored Load Flow Solution

Convergence basins: 2-bus example

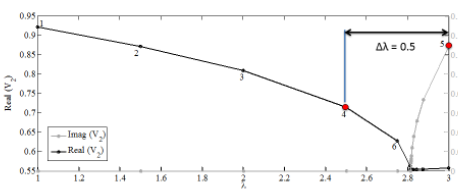



© Gómez-Expósito

## Maximum loading point determination

**Factored load flow-based procedure:**

Phase 1: Increase regularly λ until two consecutive solutions correspond to feasible and infeasible points




© Gómez-Expósito

# Dra. Hortensia Amarís Duarte

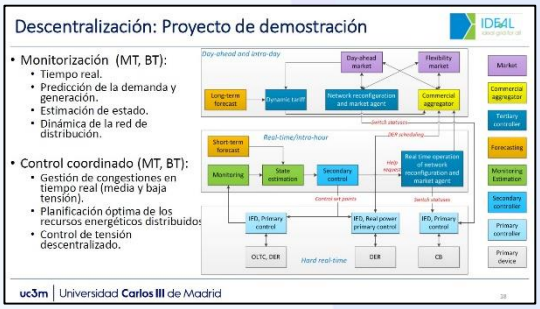
## "Las 3D de los Sistemas Eléctricos: Descarbonización, Digitalización y Descentralización"

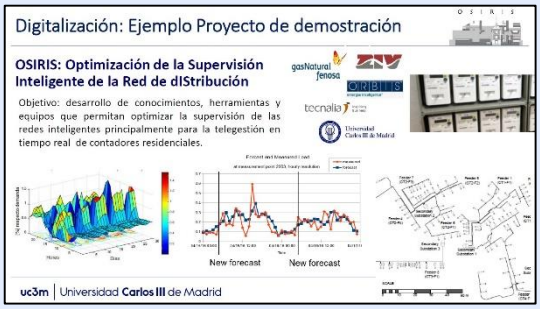
**02/12/2019**

# “Las 3D de los Sistemas Eléctricos: Descarbonización, Digitalización y Descentralización”

**Dra. Hortensia Amarís Duarte**

*de la Universidad Carlos III de Madrid, centro, junto a los profesores Dra. Esther Romero Ramos y Dr. José María Maza Ortega*



# Congresos Internacionales

- PowerTech Milano 2019 (Italia)
- IEEE PES GM Atlanta (EE.UU.)

# Congresos Internacionales

## PowerTech Milano 2019
## Leading Innovation for Energy Transition

**23 al 27/06/2019**

## Ponencia: "PMU-Based Estimation of Renewable Power Plants Parameters"

*A cargo de* ***D. José Antonio Rosendo Macías,***
*Catedrático de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Sevilla*

---

**2019 IEEE PowerTech (Milan)**

### PMU-Based Estimation of Renewable Power Plants Parameters

M. A. González-Cagigal, PhD student
A. Gómez-Expósito, *Fellow, IEEE*
José A. Rosendo-Macías, *Senior Member, IEEE. (rosendo@us.es)*

University of Seville, Spain

June, 2019

---

**1. Introduction**

A correct grid operation require the knowledge of the **dynamic models** of the system components, including their defining equations.

The parameters in those equations are considered constant with respect to external factors, as:

- Temperature
- Voltage
- Power exchanged
- Aging
- etc.

Need of a method to obtain the values of the model **parameters for the actual operating point** of the machine.

4

---

**2. Unscented Kalman filter**

Rudolf E. Kalman
1930 - 2016

Kalman Filter is a Dynamic State Estimator developed by Rudolf E. Kalman in 1960.

It was implemented to identify the state of a **linear system** when it is not posible to measure it. The system model is defined by the following state and measurement equations:

$$\dot{x}(t) = A(t) \cdot x(t) + w(t)$$
$$z(t) = H(t) \cdot x(t) + v(t)$$

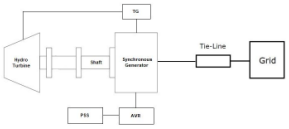
A particularity of the Kalman Filter is that both state and measurement may be affected by a Gaussian noise, $w(t)$ and $v(t)$ respectively.

5

---

**3. Fully regulated synchronous generator: system modeling**

A fully regulated synchronous generator representing a real system is simulated to provide the measurements used in the DSE

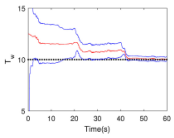



10

---

**3. Fully regulated synchronous generator: second stage results**

The estimated values at the first stage are fed into the second stage as initial estimation, improving the overall UKF performance: error under **3.2%**




Relative error in parameter estimation.

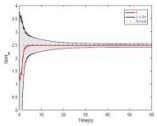
| Parameter | Estimated value | Relative error (%) |
|---|---|---|
| $R$ | 0.1032 | 3.20 |
| $T_1$ | 0.1006 | 0.64 |
| $K_1$ | 49.75 | 0.498 |
| $T_{1w}$ | 0.988 | 1.186 |
| $T_2$ | 0.2002 | 0.101 |
| $K_2$ | 2.479 | 0.84 |
| $T_w$ | 10.135 | 1.35 |
| $K_w$ | 30.78 | 2.596 |

20

---

**4. Wind generator case**

Estimation with Kalman filtering provides good performance in the estimation of generator and converter parameters.




RELATIVE ERROR IN PARAMETER ESTIMATION WITH SMOOTH VARIATIONS

| Parameter | Estimated Value | Relative Error (%) |
|---|---|---|
| $H_{TG}$ | 4.008 | 0.201 |
| $K_{TG}$ | 34.638 | 1.031 |
| $T_{d0}'$ | 6.403 | 1.393 |
| $K_{AV}$ | 1.404 | 0.467 |
| $T_{d1}'$ | 0.506 | 1.388 |
| $T_{q0}'$ | 0.496 | 0.800 |
| $K_{AV}$ | 1.497 | 0.200 |
| $T_{q1}'$ | 2.067 | 0.434 |
| $K_{q1}'$ | 1.975 | 1.250 |

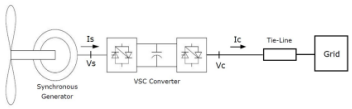
Note that the **maximum error is lower tan 1.4%.**

22

---

**4. Wind generator case**

- Wind turbine
- Direct-driven Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM)
- Fully-rated back-to-back Voltage Source Converter (VSC).




21

---

**5. Conclusions**

- Application of Kalman filtering to parameter estimation of thermal and renewable generators: **Hydro** and **wind** sources.
- Measurement requirements fulfilled by **PMUs** at the generator bus: **no internal measurements.**
- Convergence difficulties:
  - Formulation with modified parameters
  - Fully regulated synchronous generators: two-stage estimation
- **Accurate results:**
  - Fully regulated synchronous generator: maximum estimation error under 3.2%.
  - Wind generator case: 1.4%

22

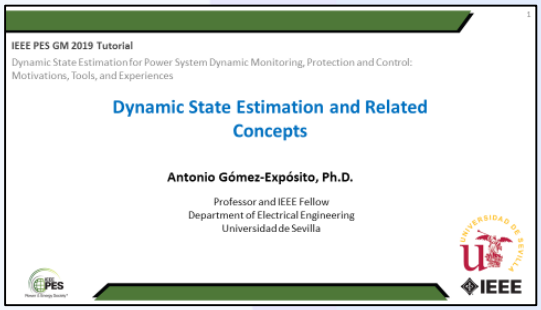
Congresos Internacionales

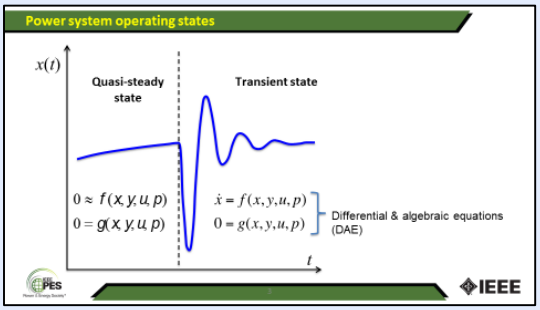
# IEEE PES GM 2019 Dynamic State Estimation and Related Concepts

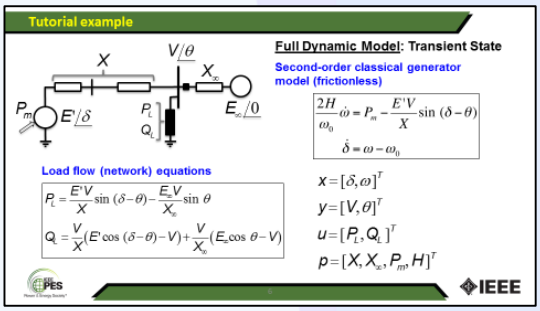
**04 al 08/08/2019**

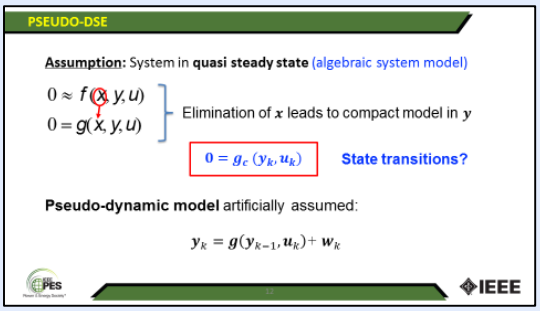
## Tutorial: “Dynamic State Estimation and Related Concepts”

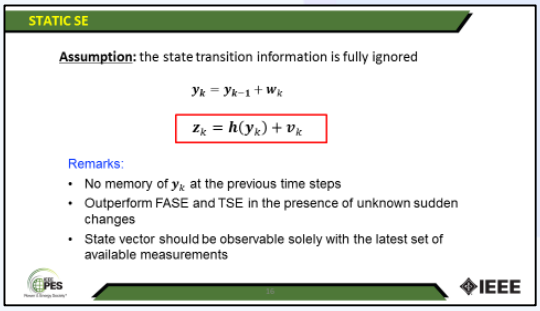
*A cargo de* ***D. Antonio Gómez-Expósito, Ph.D.,***
*Professor and IEEE Fellow, Department of Electrical Engineering, Universidad de Sevilla*

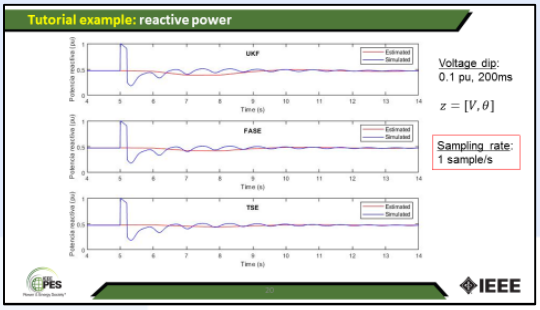


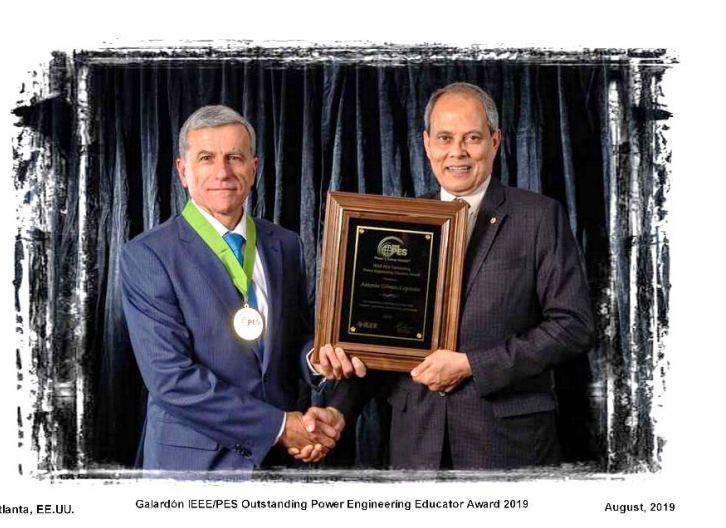



# IEEE/PES Outstanding Power Engineering Educator Award 2019




El profesor Antonio Gómez Expósito, catedrático de Ingeniería Eléctrica en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la US y Fellow Member del capítulo Power and Energy Society del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), recibió el prestigioso galardón 2019 IEEE PES Outstanding Power Engineering Educator Award, por su contribución de liderazgo en la educación, a la supervisión de investigación y publicaciones académicas.

La Sociedad de Potencia y Energía (PES), la más antigua y la segunda por tamaño (más de 38.000 miembros) de las 39 que componen el IEEE, entregó dicho galardón al profesor Gómez Expósito en el mes de agosto, durante la celebración del General Meeting de la PES en Atlanta (EEUU), el mayor congreso en el área de la ingeniería eléctrica de potencia.

Tras 24 ediciones, es la segunda ocasión en que este prestigioso reconocimiento se otorga a un profesor de una universidad europea, desde que en 2007 le fuese concedido al profesor Göran Andersson de la Escuela Politécnica Federal de Zürich (ETH).

Antonio Gómez Expósito es Ingeniero Industrial, especialización en Ingeniería Eléctrica, y doctorado en Ingeniería (1985), por la Universidad de Sevilla, donde ha presidido el Departamento de Ingeniería Eléctrica durante casi 12 años y en la que actualmente dirige la Cátedra Endesa.

Ha publicado cerca de 300 trabajos de investigación, incluyendo 120 artículos en revistas de alto impacto. Además, ha sido uno de los autores más prolíficos de libros de texto sobre Teoría de Circuitos y Sistemas de Potencia, tanto para estudiantes de grado como de postgrado, con un total de 12 libros de texto, entre los que destacan: "Power System State Estimation: Theory and Implementation" (Taylor & Francis, 2004), uno de los más ampliamente citados en el área de Sistemas de Energía, y "Electric Energy Systems: Analysis and Operation" (CRC Press, 2008, 2nd edition 2018), un proyecto colectivo originalmente publicado en español, llegando a convertirse en el libro de texto predeterminado en la mayoría de las universidades españolas y latinoamericanas, por lo que fue traducido al inglés, portugués y euskera.

El profesor Gómez Expósito ha impartido 90 seminarios o cursos en 16 países. En 2008, lanzó el 'Classroom of Light', un repositorio basado en la web de todos los seminarios, cursos, Ph.D. Tesis, etc. organizadas por la Cátedra Endesa.

Ha sido investigador principal o ha participado en más de cien proyectos de investigación y transferencia de tecnología, la mayoría de ellos en estrecha cooperación con las principales empresas de servicios públicos nacionales y europeas. Asimismo, dirige el equipo de Investigación de Ingeniería Eléctrica compuesto por más de 30 investigadores, del cual en 2019 se originó la spin-off Ingelectus.

Es miembro del IEEE y editor anterior de IEEE Transactions on Power Systems. Ha recibido numerosos reconocimientos profesionales, entre ellos los recientes: Insignia de oro otorgada por la Asociación Española para el Desarrollo de la Ingeniería Eléctrica (2013) y el Premio de Investigación y Transferencia de Tecnología, otorgado por la Junta de Andalucía (2011).

# Conferencias

- Movilidad Eléctrica: Estado Actual, Retos y Tendencias.
- Retos y Tecnologías para la Integración Masiva de Renovables en Generación, Transporte y Distribución.
- Renovables y Almacenamiento: Pilares del Sistema Energético Descarbonizado.

Conferencias

# Movilidad Eléctrica: Estado Actual, Retos y Tendencias. (Universidad de Chile, Chile)

**18/11/2019**

**Charla: Estado actual, retos y tendencias de la movilidad eléctrica**
**Lugar: Auditorio D'Etigny, Beauchef 851**
**Fecha: Lunes 18 de noviembre a las 10:00 hrs.**

Breve descripción del expositor:

El profesor **Antonio Gómez Expósito**, Catedrático de Universidad de Ingeniería Eléctrica en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla.

Director de la Cátedra Endesa Red (desde 2007). Editor de Journal of Modern Power Systems and Clean Energy (China). Investigador principal de uno de los mayores y más relevantes grupos de investigación a nivel nacional en el área de los sistemas eléctricos, integrado por más de 20 doctores y cinco catedráticos.

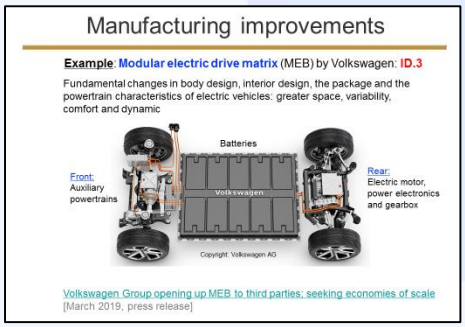
**Fellow Member** del capítulo *Power and Energy Society* de IEEE, ha recibido el prestigioso galardón **2019 IEEE PES Outstanding Power Engineering Educator Award,** por su contribución de liderazgo a la educación, a supervisión de investigación y publicaciones académicas.

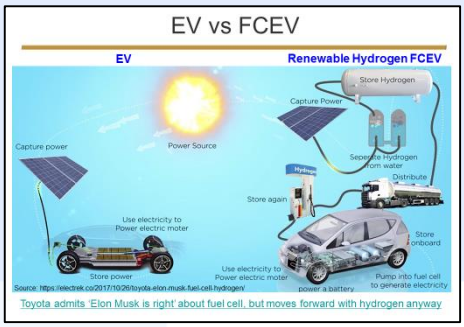
El profesor Gómez Expósito dirige uno de los mayores y más relevantes grupos de investigación a nivel nacional en el área de los sistemas eléctricos de potencia, siendo coautor de más de 300 publicaciones técnicas en este campo.

CENTRO DE ENERGÍA
**Paola Silva T.**
Coordinadora General SERC-Chile
/ + 56 2 2978 0981
/ psilva@centroenergia.cl
/ www.centroenergia.cl

## "Movilidad Eléctrica: Estado Actual, Retos y Tendencias"

*a cargo de* ***D. Antonio Gómez-Expósito,*** *Fellow IEEE*
*Dpto. de Ingeniería Eléctrica –Cátedra Endesa Red de la Universidad de Sevilla*

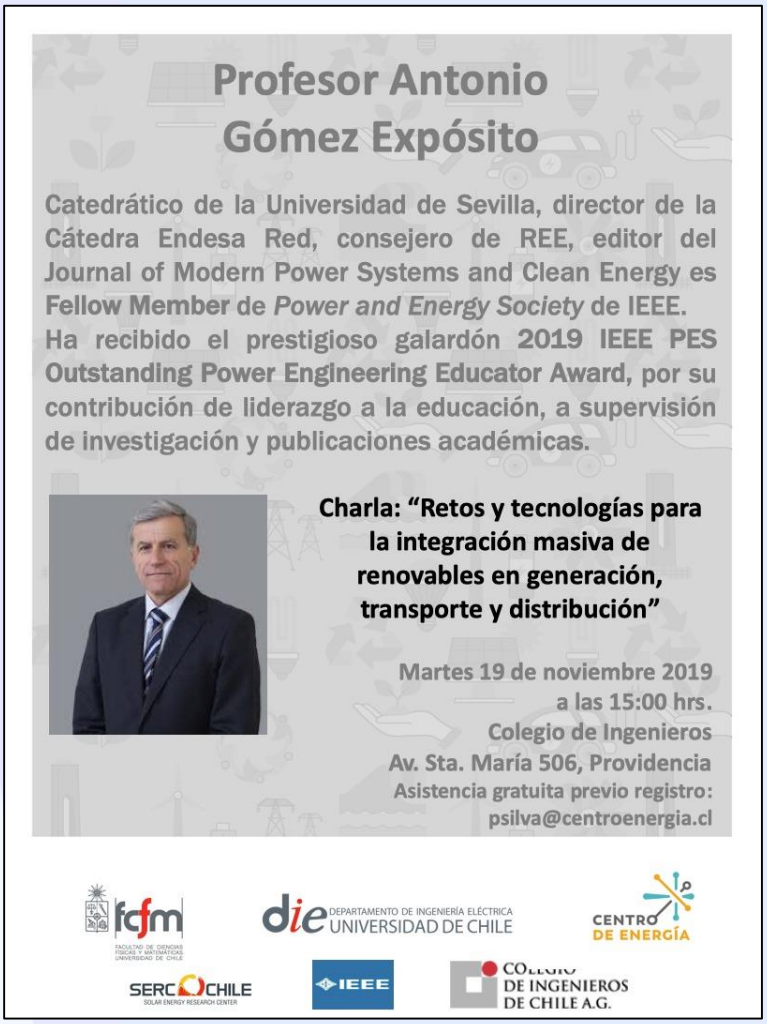


Conferencias

# Retos y Tecnologías para la Integración Masiva de Renovables en Generación, Transporte y Distribución. (Colegio de Ingenieros de Chile, Chile)

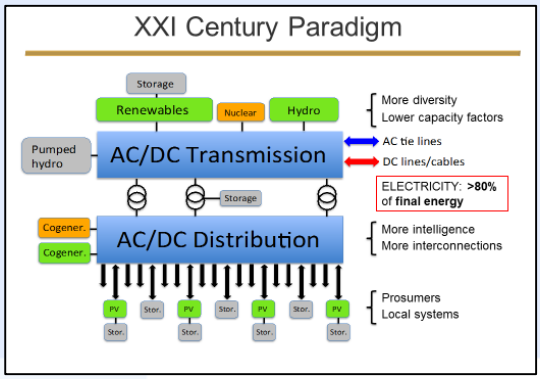
**19/11/2019**




**"Retos y Tecnologías para la Integración Masiva de Renovables en Generación, Transporte y Distribución"**

*a cargo de* ***D. Antonio Gómez-Expósito,*** *Fellow IEEE*

*Dpto. de Ingeniería Eléctrica –Cátedra Endesa Red de la Universidad de Sevilla*



# Renovables y Almacenamiento: Pilares del Sistema Energético Descarbonizado. (Zaragoza)

**27/11/2019**

## Conferencia: "Renovables y Almacenamiento: Pilares del Sistema Energético Descarbonizado"

*a cargo de* ***D. Antonio Gómez-Expósito,*** *Fellow IEEE*
*Dpto. de Ingeniería Eléctrica –Cátedra Endesa Red de la Universidad de Sevilla*

CLÚSTER ENERGÍA ARAGÓN
CLENAR

**Renovables y almacenamiento: pilares del sistema energético descarbonizado**

**Antonio Gómez Expósito**
***Universidad de Sevilla***

27 Noviembre 2019

Ingelectus
Innovative Electrical Solutions

### Technologies for 100% renewable systems

- Power electronics
  - Renewable generation interfaces
  - HVDC & FACTS
- Digitalization
  - Smart renewable plants
  - Smart T&D grids
  - Smart prosumers
- Interconnections
- Ubiquitous storage systems

Flexibility

Firm capacity

### HVDC grids in China

**UHV DC technology:**
**1100 kV, 3300 km, 12 GW**
6 US$ billion
Max 5000 km
25000 coal trains

**10-12%** wind and solar curtailment

Source: IEEE Spectrum

### 100% Renewable Mix for Spain in **2040**?

| Tipo de tecnología | Potencia **2018** (MW) | Potencia añadida (MW) | **Potencia total (MW)** | Factor uso | **Energía anual (TWh)** |
|---|---|---|---|---|---|
| Nuclear | 7.100 | | | | |
| Carbón | 9.563 | | | | |
| Fuel/gas | 3.429 | | | | |
| C. combinados | 24.550 | | | | |
| Cogeneración | 5.720 | -700 | 5.000 | 25% | 10,95 |
| Hidráulica | 17.056 | 950 | 18.000 | 20% | 31,54 |
| Eólica | 23.070 | 27.000 | 50.000 | 25% | 109,50 |
| Fotovoltaica | 4.437 | 82.500 | 87.000 | 20% | 152,00 |
| Solar térmica | 2.268 | 2.700 | 5.000 | 22% | 9,67 |
| Otras renov. | 970 | 1.000 | 2.000 | 25% | 4,38 |

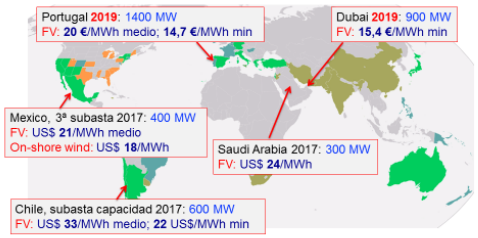
50 GW

48 GW

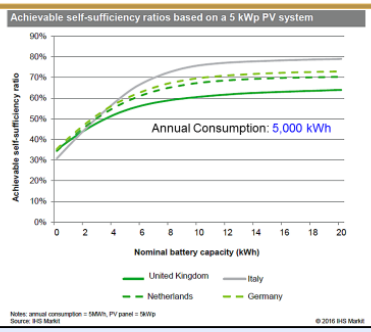
96% Ren.
85% W+S

Potencia instalada: **99 GW** **114 GW** **167 GW** **318 TWh**
Demanda punta: 41 GW
Demanda promedio: 29 GW
**Consumo b.c. en 2018: 254 TWh + 64 TWh VEs**

### Solar cheaper than coal and gas? 2017-2019




### The risk of "grid defection"



# Premio Trabajo Fin de Grado 2019

- D. Darío Gavira Pero

Título Trabajo Fin de Grado:
"Gestión de Almacenamiento para Integrar Eficientemente Paneles Fotovoltaicos y Vehículos Eléctricos en Núcleos Residenciales".

Tutores: Dr. Manuel Barragán Villarejo
Dr. Alejandro Marano Marcolini

El objeto del presente trabajo es gestionar de la forma más eficiente posible la generación basada en paneles fotovoltaicos y la integración del vehículo eléctrico en núcleos residenciales de alta densidad poblacional. Para ello, es primordial contar con un sistema de almacenamiento de energía que se encargue de gestionar los nuevos flujos de energía presentes en este escenario y, además, lo haga de la forma más económica posible. Entre otras, con esta propuesta se favorece: descarbonizar el parque de generación y los núcleos urbanos disminuyendo las emisiones del sector transporte, descargar a las redes eléctricas de la gran demanda que supondrá la instalación masiva de vehículos eléctricos, y ayudar a aplanar la curva de demanda.

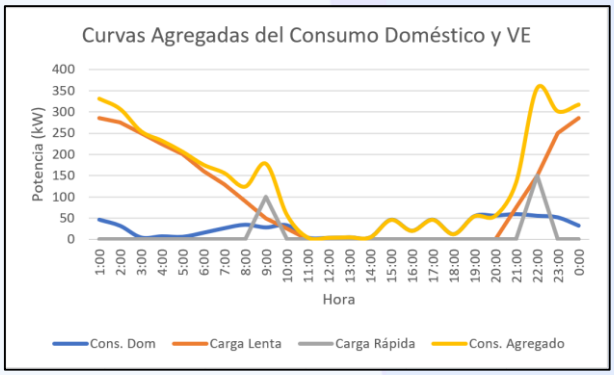
Para este estudio, se evalúa la alimentación eléctrica de un núcleo residencial compuesto por 100 viviendas. Cada una dispone de una plaza de aparcamiento adaptada para la recarga de un vehículo eléctrico. Este escenario podría suponer un problema en el futuro tras una penetración masiva de los vehículos eléctricos, dado que provocaría un incremento en la potencia consumida en determinados periodos.

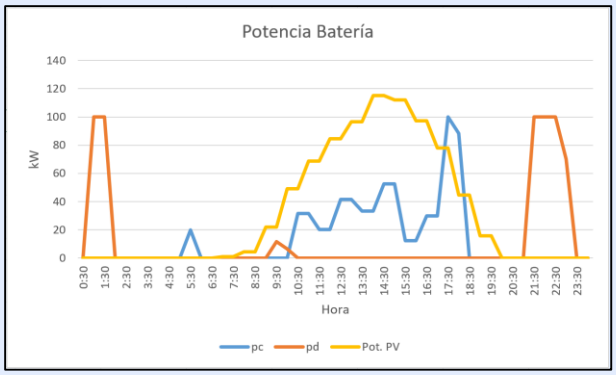
La propuesta de este trabajo consiste en emplear una instalación fotovoltaica que, apoyada por un sistema de almacenamiento de energía gestionado eficientemente, consiga mitigar este efecto.

De esta forma, se ayuda a suavizar la curva de la demanda, beneficiando técnicamente al sistema eléctrico y económicamente al propio consumidor.

Para el usuario final, este estudio significa una forma de ahorrar en la factura eléctrica mediante

la optimización del uso de la energía. Este ahorro se alcanza disminuyendo el coste de la energía al consumirla de la red en periodos con tarifas valle y, a su vez, minimizando la potencia contratada. Se implementa un algoritmo de optimización que considera las curvas de consumo doméstico, las curvas de generación fotovoltaica y de recarga del vehículo eléctrico durante un año. Este algoritmo permite obtener el dimensionamiento óptimo del sistema de almacenamiento de energía (potencia y energía) y su operación a lo largo del periodo estudiado en aras de minimizar los costes. Diferentes escenarios serán considerados en función de verter o no energía a la red por parte del núcleo residencial. Por último, se analizará el beneficio económico mediante el ahorro anual de cada propuesta.



# Premio Trabajo Fin de Máster 2019

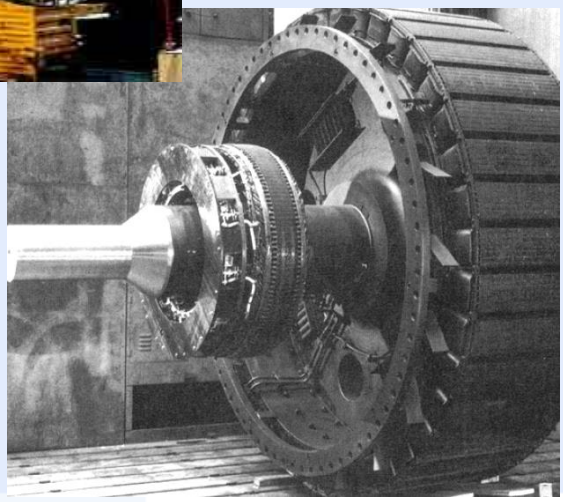
- D. Miguel Ángel González Cagigal

Título Trabajo Fin de Máster:
"Estimación del Modelo Dinámico de Centrales Eléctricas Mediante Filtros de Kalman Escalonados"

Tutor: Dr. José Antonio Rosendo Macías

Una práctica habitual en relación con los parámetros involucrados en las ecuaciones que gobiernan la dinámica de los elementos del sistema eléctrico consiste en asumir su valor constante independientemente de las condiciones de operación concretas, como pueden ser la tensión, la potencia intercambiada, la temperatura o el propio envejecimiento de los equipos. Dado que esta suposición puede no ser del todo correcta, es preciso establecer un método que permita estimar el valor de estos parámetros considerando los mencionados factores.

En este marco se ubica este Trabajo Fin de Máster, más concretamente en la estimación de parámetros de generadores síncronos totalmente regulados, sin duda una de las máquinas eléctricas más importantes en el panorama global. La técnica propuesta para la estimación, basada en una formulación particular del filtro de Kalman, denominada *Unscented Kalman Filter*, se ha implementado siguiendo un proceso escalonado que permite la identificación progresiva de los parámetros del generador síncrono y de sus reguladores, todo ello utilizando exclusivamente medidas externas al grupo de generación, lo cual supone una mejora significativa con respecto a otras estrategias de estimación que se proponen en estudios pasados y actuales. Los casos de estudio presentados en el trabajo validan el buen desempeño de la técnica propuesta, con un elevado grado de precisión en la estimación de todos los parámetros involucrados en el modelo.



# Proyectos y Transferencia Tecnológica

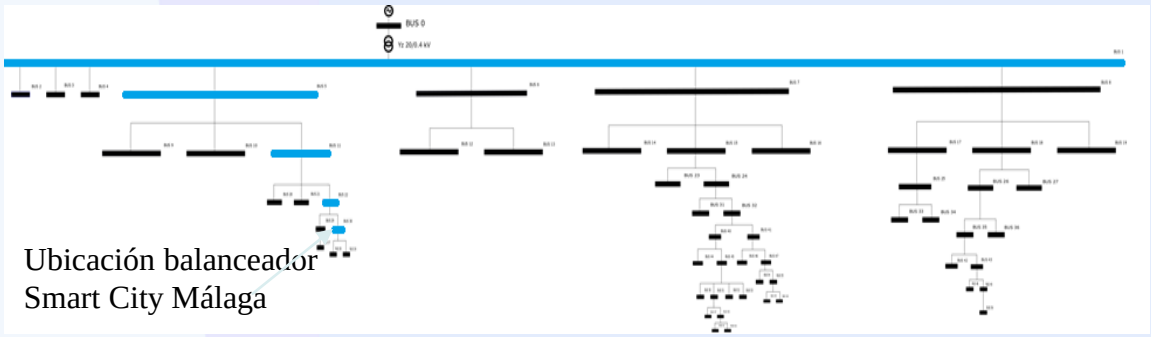
- Proyecto "Aplicaciones del almacenamiento eléctrico para mejorar la calidad del suministro en redes de distribución"
- Proyecto "EASY-RES: Enabling Ancillary Services by Renewable Energy Sources "
- Proyecto "Pastora: Análisis Preventivo de Redes Inteligentes en Tiempo Real e Integración de Recursos Renovables"
- Proyecto "Distribution Digitization Technologies for Technical Losses Reduction: A Cost-Benefit Analysis"
- Informe "Incendios Forestales y Líneas Eléctricas Aéreas"
- Informe "Riesgo de Incendio en Conectores de Derivación a Perforación del Aislante para Cables Trenzados (sin corriente de derivación)"

Transferencia Tecnológica

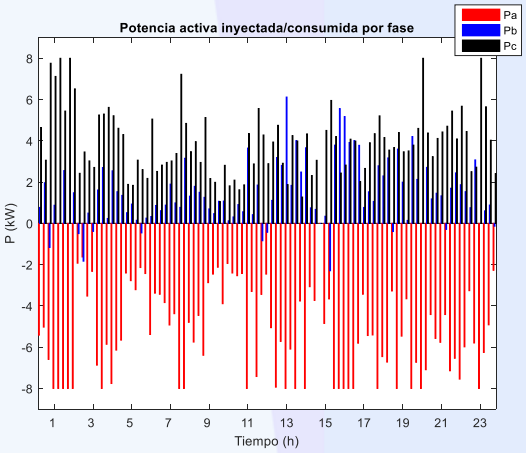
# Proyecto "Equilibrado de redes en baja tensión por trasvase de potencia activa entre fases mediante convertidores a 4 hilos"

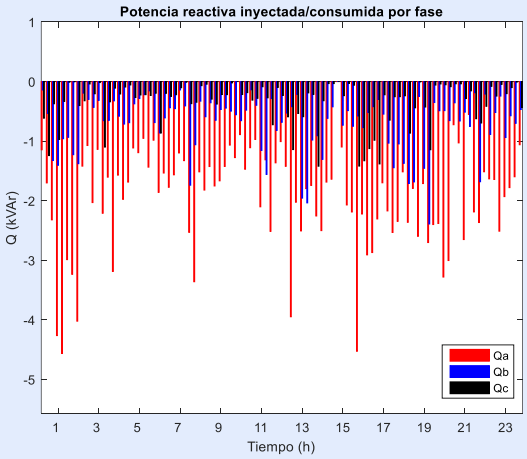
Durante la anualidad de 2019 se encomendó a esta cátedra el estudio técnico de los beneficios del uso de balanceadores en redes de baja tensión con el objetivo de minimizar desequilibrios. Se trata de utilizar convertidores de potencia a cuatro hilos que permitan en el punto de conexión trasvases de potencia activa de una fase a otra al mismo tiempo que se utiliza su capacidad como compensador de reactiva.

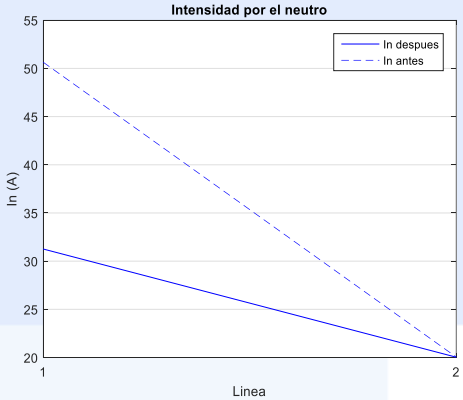
Este análisis ha tenido lugar sobre redes reales de Endesa: redes en Tarragona y en Smart City Málaga. En ambas se ha estudiado el punto óptimo de ubicación del balanceador así como caracterizado su comportamiento a lo largo de un día característico de funcionamiento. Las principales conclusiones extraídas de este análisis son: constatación de la reducción de corriente de neutro aguas arriba del balanceador, con la consecuente disminución de pérdidas, reducción del nivel de carga del transformador y mejora del perfil de tensiones. Se evidencia la importancia del balanceador como compensador de reactiva y su beneficio sobre el sistema.




Ubicación balanceador
Smart City Málaga



Transferencia Tecnológica

# Proyecto "EASY-RES: Enabling Ancillary Services by Renewable Energy sources"

EASY-RES (Enabling Ancillary Services bY Renewable Energy Sources) es un proyecto europeo financiado por la Comisión Europea en su programa Horizonte H2020.

La estabilidad y seguridad de los sistemas eléctricos tradicionales se basa en gran medida en las propiedades inherentes de los generadores síncronos (GS). Tales propiedades son: la capacidad de formación de la red, la inercia, el amortiguamiento de los transitorios y la provisión de grandes corrientes durante las faltas, lo que facilita su detección y eliminación. La creciente penetración de las fuentes de energía renovable distribuida (DRES) conectadas a la red a través de un convertidor electrónico (por lo tanto, sin inercia) eventualmente reemplazará a los GS gestionables y aumentará la volatilidad de la energía, causando grandes desviaciones de frecuencia y problemas de regulación de tensión.

EASY-RES propone solucionar los problemas asociados a este nuevo paradigma del sistema eléctrico mediante una modificación de la configuración y control de los DRES de forma que puedan ser capaces de comportarse de manera similar a los GS. De esta manera, los DRES podrían proporcionar servicios complementarios al sistema eléctrico tales como inercia, amortiguación de transitorios, intercambio de potencia reactiva para fines de regulación de tensión, capacidad de soportar y eliminar faltas y respuesta adaptable para el control de frecuencia primaria y secundaria. Estas nuevas funcionalidades serán transparentes a todos los niveles de tensión de red (baja, media y alta tensión).

Con este objetivo, EASY-RES realiza una segmentación de la red de distribución en pequeñas Áreas de Control Individual, donde los DRES y diversas tecnologías de almacenamiento energético se coordinarán de manera óptima para mejorar la operación de las redes de transporte y distribución.

EASY-RES no olvida que la solución aportada debe ser económicamente viable, por lo que se plantean modelos de negocio basados en una cuantificación analítica de costes incurridos y beneficios aportados. Dichos modelos de negocio se particularizan para todos y cada uno de los agentes involucrados (distribuidor, transportista, prosumidor, generador, etc.). A la vista de los resultados obtenidos, se propondrán modificaciones a los actuales códigos de red y a los aspectos regulativos que puedan suponer una barrera para la adopción de la solución propuesta y que permitan una transición eficiente y segura hacia un sistema eléctrico decarbonizado.

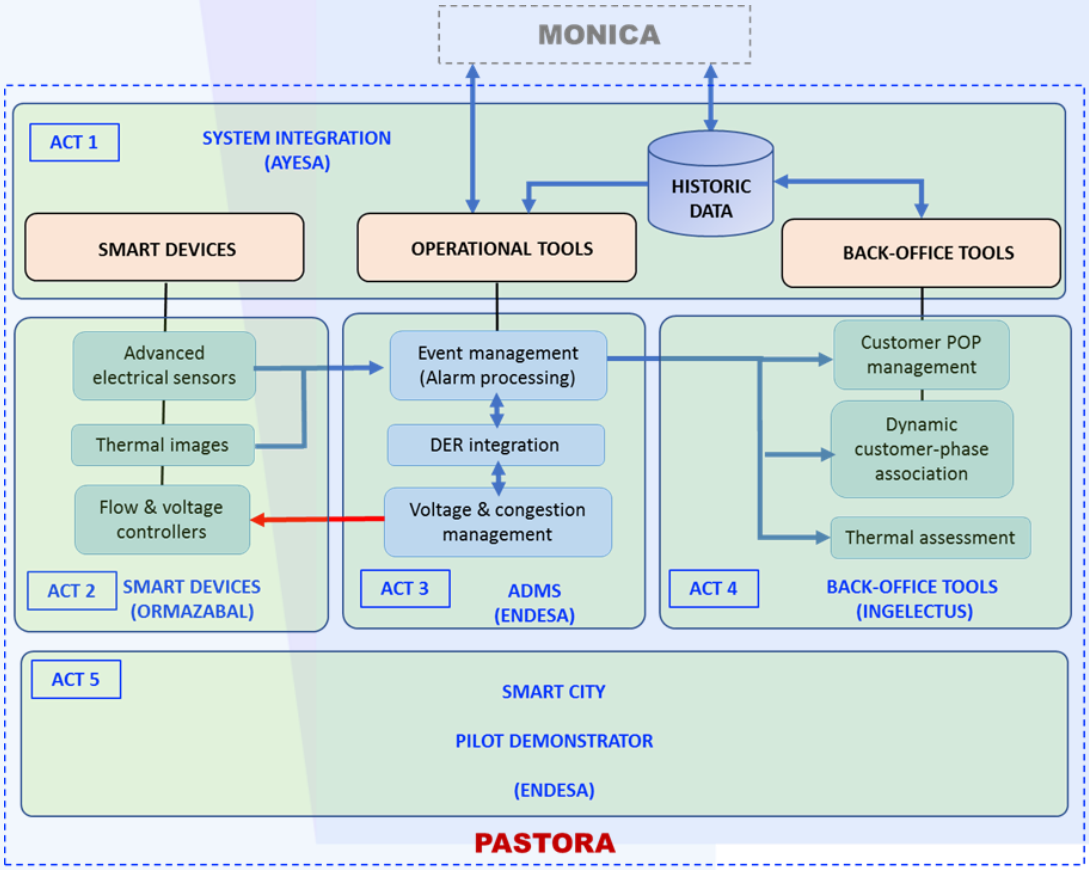
Transferencia Tecnológica

# Proyecto "Pastora: Análisis Preventivo de Redes Inteligentes en Tiempo Real e Integración de Recursos Renovables"

Los excelentes resultados alcanzados en el proyecto previo MONICA desarrollado en el ámbito de las redes de MT y BT de Smartcity de Endesa en Málaga, han permitido detectar puntos débiles o situaciones indeseables, que se sospechaban pero que no se podían evaluar con precisión hasta la puesta en marcha de las herramientas de monitorización desarrolladas en el proyecto.

El objetivo principal de este nuevo proyecto PASTORA es dar un paso más en la conceptualización y desarrollo de un sistema de gestión de energía avanzado ADMS. En otras palabras, en el siglo XXI no se puede seguir operando las redes MT/BT "a ciegas", sino que es preciso desplegar un sistema de gestión de energía avanzado ADMS, conceptualmente similar al que hace décadas se implantó en redes de transporte y distribución AT (Alta Tensión), que permita a los operadores realizar la monitorización y control preventivo en tiempo real de estos activos o incluso mejorando dichos sistemas mediante una inteligencia en "isla" que permita una autogestión entre los elementos aguas abajo de la red y las subestaciones de Media Tensión, mediante CPCs (Centralized Protection & Control) y mediante IEDs (Intelligent Electronic Devices).

El ADMS mantendrá, o incluso mejorará, los niveles de calidad de suministro actuales (fiabilidad), a pesar de la presencia de nuevos e inesperados agentes, todo ello al menor coste posible para el sistema (o sea, reduciendo en lo posible las inversiones en nuevos activos de potencia y no subiendo la tarifa al ciudadano).



Transferencia Tecnológica

# Proyecto "Distribution Digitization Technologies for Technical Losses Reduction: A Cost-Benefit Analysis"

Proyecto de financiación privada de ENEL que tiene como objetivo principal realizar un análisis de las diferentes tecnologías que, habilitadas por la incorporación de la digitalización de las redes de distribución, podrían tener un impacto en la reducción de pérdidas técnicas.

El proyecto realiza un análisis teórico exhaustivo de los factores que afectan a las pérdidas en las redes eléctricas evaluándose la explotación radial frente a la mallada, la influencia de la longitud de los alimentadores, el nivel y distribución de la carga, el desequilibrio y la variación en el tiempo de la carga así como la afección de la generación distribuida.

Posteriormente, se analizan las diferentes que pueden ser aplicadas en las redes de distribución para reducir las pérdidas, en particular: cambiadores de tomas en carga, compensadores estáticos de potencia reactiva, reconfiguración de redes, equilibradores de carga, enlaces de corriente continua para mallar la red de distribución, dispositivos de almacenamiento y diferentes tecnologías de generación distribuida.

Para realizar una cuantificación de la reducción de pérdidas que podría conseguirse con estas tecnologías se realiza una aplicación de las mismas a una red de referencia de media tensión con configuración “americana” propuesta por la CIGRE Task Force C06.04.02. Dicha red está caracterizada por disponer de carga desequilibrada y disponer de una serie de laterales monofásicos. Para cada una de las tecnologías enunciadas anteriormente se realiza un análisis de la reducción de pérdidas conseguidas y de otros indicadores (niveles de tensión y desequilibrio de tensiones) que permiten una comparación cuantitativa de las mismas desde un punto de vista técnico.

Finalmente, el proyecto realiza un simple pero interesante análisis económico que permite evaluar la viabilidad de cada una de las propuestas contrastando los beneficios obtenidos a través de la reducción de pérdidas en función del coste de inversión necesario. Este análisis permite concluir qué tecnologías son más relevantes para aplicar en las redes de distribución.

El proyecto tiene como objetivo publicar un *white paper* que ponga de manifiesto el posicionamiento de ENEL, como compañía pionera en la aplicación de la digitalización, en relación con la optimización de la operación de las redes de distribución.

Transferencia Tecnológica

# Informe “Incendios Forestales y Líneas Eléctricas Aéreas”

En marzo de 2016 se redactó para Endesa un informe titulado “Efectos negativos de los incendios agrícolas y forestales en el funcionamiento de líneas aéreas”. Dicho informe analizaba las dos principales consecuencias debidas a incendios localizados bajo los conductores de una línea eléctrica en operación: (1) pérdida significativa de la rigidez dieléctrica del aire y (2) reducción de la distancia conductor-masa de arbolado debido a dos fenómenos que experimenta el conductor, uno reversible (dilatación elástica) y otro irreversible (deformación plástica). Ambas consecuencias derivan, en el peor de los casos, en una descarga conductor-arbolado y el correspondiente disparo de las protecciones de la línea.

Pasados 3 años desde aquel informe, se cree conveniente por parte de Endesa continuar el análisis en las siguientes líneas de actuación:

1) Actualizar la bibliografía. Con objeto de conocer mejor el fenómeno de la reducción de la capacidad dieléctrica del aire en presencia de incendio, existen desde hace unos 40 años numerosos estudios que analizan el cambio en las propiedades dieléctricas del aire en presencia de gas a elevada temperatura, de restos vegetales y partículas procedentes de incendios bajo los conductores. La presencia de llama ha sido objeto de especial atención en los últimos años. Por otro lado, el impacto en el propio conductor y su efecto en la flecha ha empezado a estudiarse hace menos de una década. Por todo ello, nuevos estudios siguen surgiendo. Incluso estudios previos al informe de 2016, que fueron pasados por alto en su momento, pueden ser de utilidad ahora. Se acompaña un anexo A con la descripción del fenómeno de la ruptura dieléctrica en ausencia de incendios y las distancias requeridas en función de la tensión soportada.

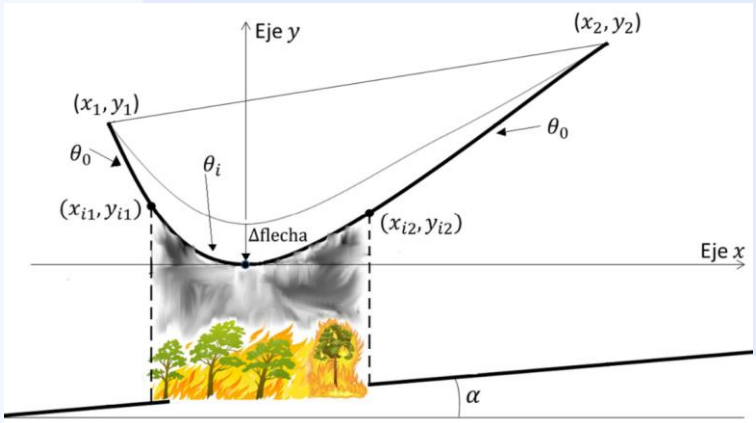
2) Describir con más detalle el fenómeno del incendio forestal: componentes, evolución, composición de los residuos, estadísticas en España. Se incluye en anexos B, C y D.

3) Ampliar el contenido relativo a las medidas para evitar las repercusiones negativas de los incendios, de indudable interés para las compañías distribuidoras.

4) Formular matemáticamente el problema del incremento de flecha, tanto por dilatación elástica (en caliente) como por deformación plástica (en frío). Con objeto de estimar tanto el aumento de flecha que un incendio ha provocado como el aumento esperado en caso de incendio en un determinado emplazamiento, se presenta una formulación válida para conductores aluminio-acero con la intención de ser implementada en el futuro por Endesa. Se incluye en anexos E y F.

El informe concluye con una serie de recomendaciones dirigidas en general a las compañías propietarias de líneas eléctricas agrupadas en cuatro grandes grupos:

1) Análisis *post mortem* que tenga en cuenta la separación conductor-arbolado y el estado mecánico del conductor.
2) Revisión de los criterios de diseño de líneas y protecciones en paso por zonas forestales.
3) Implantación de sistemas de detección precoz de incendios forestales.
4) Desarrollo de herramientas predictivas y de valoración del riesgo.



Transferencia Tecnológica

# Informe “Riesgo de Incendio en Conectores de Derivación a Perforación del Aislante para Cables Trenzados (sin corriente de derivación)”

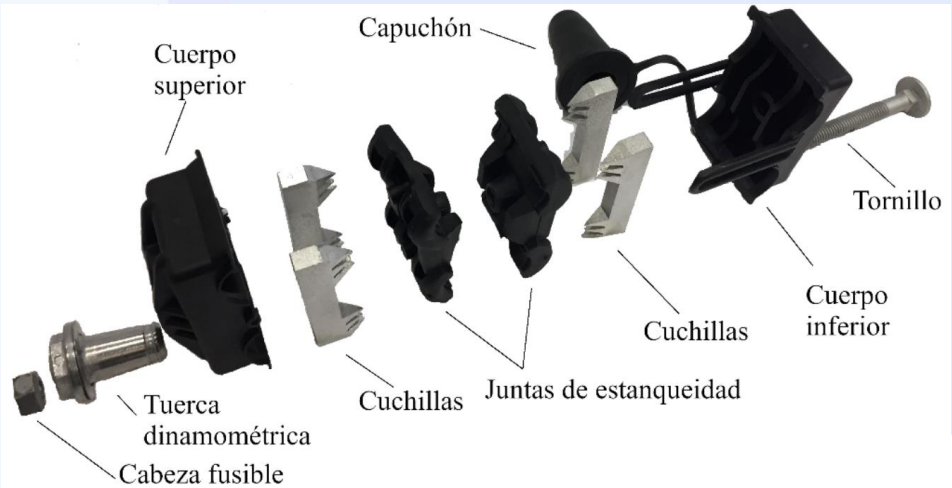
Cuando se origina un incendio forestal, y tras la urgente actuación para extinguirlo, los técnicos buscan pruebas, o al menos indicios, que permitan explicar el origen del incendio. Las causas se suelen clasificar en cinco grandes tipos: (1) rayo, (2) negligencias y causas accidentales (incluidas las de origen eléctrico), (3) intencionadas, (4) desconocidas y (5) reproducciones de incendios anteriores. Atendiendo a las estadísticas oficiales nacionales disponibles para la década 2001-2010, los que tienen un origen eléctrico supusieron el 1,3 % del total. Los más frecuentes fueron los intencionados, con el 55 % del total, seguidos por los negligentes de origen no eléctrico con el 21 %. Se concluye por tanto que en España la probabilidad de que un incendio tenga un origen eléctrico es muy baja comparada con la actuación intencionada sumada a la negligencia (quemas culposas, vandalismo).

Es conveniente destacar que se suele distinguir entre causa cierta (demostrada con evidencias consideradas indiscutibles) y supuesta (existen indicios pero no completa certidumbre). De los 2175 incendios con origen en línea eléctrica un 25,7 % son supuestos. Esto hace ver la dificultad que existe con frecuencia para determinar la causa concreta de un incendio de origen eléctrico. Aun así, este porcentaje es de los más pequeños cuando se compara con otras causas, como por ejemplo la quema de matorral (55 % supuestos), la quema de basuras (49,3 %) o los cigarrillos (70 %). En el total de incendios forestales, el 57,5 % tienen una causa supuesta.

De los datos anteriores podemos concluir que en general existe en muchos casos una elevada incertidumbre a la hora de determinar la causa de los incendios forestales más habituales, como las quemas agrícolas, de basuras, etc. Tras un incendio los técnicos buscan pruebas que permitan elaborar una reconstrucción de los hechos, pero en estos casos no son concluyentes. En supuestos de negligencia o intencionalidad, es preciso determinar además la persona o personas causantes de incendio, lo cual supone una dificultad añadida.

Las líneas eléctricas son instalaciones imposibles de eludir por su tamaño y longitud, por lo que su sola presencia en las proximidades de un incendio hace que sea motivo de sospecha inicial, a pesar del poco respaldo que las estadísticas dan a esta relación causa-efecto. La empresa eléctrica propietaria de la línea es normalmente responsable última de su correcto mantenimiento, por lo que la tarea de identificación del supuesto responsable se habría efectuado también.

Este informe, cuya conclusión tendrá lugar en 2020, se enmarca en la exposición de argumentos puramente técnicos que tratan de justificar la dificultad de que un incendio se provoque en una línea BT aérea con cable trenzado, en particular que se origine en un conector de derivación a perforación del aislante, homologado por Endesa y debidamente seleccionado e instalado. Se incluye un repaso de las estrictas normas de calidad y endurancia que deben pasar estos conectores y un análisis para el caso de conductor derivado sin carga. Por último se analizará un caso particular ocurrido en Beas (Huelva), en junio de 2019.



# Publicaciones

| | Publicaciones en Revistas |
|---|---|
| 1. | Buzau, Madalina Mihaela, Tejedor Aguilera, Javier, Cruz Romero, Pedro Luis, Gomez Exposito, Antonio: Detection of non-technical losses using smart meter data and supervised learning. *En: IEEE Transactions on Smart Grid*. 2019. Vol. 10. Núm. 3. Pag. 2661-2670. 10.1109/Tsg.2018.2807925 |
| 2. | Buzau, Madalina Mihaela, Tejedor Aguilera , Javier, Cruz Romero, Pedro Luis, Gomez Exposito, Antonio: Hybrid deep neural networks for detection of non-technical losses in electricity smart meters. *En: IEEE Transactions on Power Systems*. 2019. Vol. Early Access. Núm. -. Pag. 1-1. 10.1109/Tpwrs.2019.2943115 |
| 3. | Angel Arcos Vargas, Gomez Exposito, Antonio, Gutiérrez García, Francisco: Self-sufficient renewable energy supply in urban areas: application to the city of Seville. En: *Sustainable Cities and Society*. 2019. Vol. 46. doi.org/10.1016/j.scs.2019.101450 |
| 4. | Tevar, Gabriel, Gomez Exposito, Antonio, Arcos Vargas, Ángel: Influence of Rooftop PV Generation on Net Demand, Losses and Network Congestions: A Case Study. En: *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2019. Vol. 106. Núm. Marzo 2019. Pag. 68-86. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.09.013 |
| 5. | Maza Ortega, Jose Maria, Gomez Exposito, Antonio: Sistemas de recarga de vehículos eléctricos: revisión tecnológica e impacto en el sistema eléctrico. En: *Economía Industrial*. 2019. Vol. 411. Pag. 35-44 |

# En los medios

| | Medio de Comunicación | Enlace |
|---|---|---|
| 1. | EUROPA PRESS 02/01/2019 | Endesa lidera un proyecto para introducir la inteligencia artificial en el control de la red de distribución |
| 2. | LA VANGUARDIA 02/01/2019 | Endesa incorporará la inteligencia artificial en la red de distribución |
| 3. | El periódico de la energía 02/01/2019 | Endesa lidera un proyecto para introducir la inteligencia artificial en el control de la red de distribución |
| 4. | Inversión Finanzas.com 02/01/2019 | Endesa incorporará la inteligencia artificial en la red de distribución |
| 5. | Computerworld 02/01/2019 | Endesa abraza la inteligencia artificial |
| 6. | Diario de Sevilla 03/01/2019 | La Hispalense participa en un proyecto de control de la red eléctrica |
| 7. | El Día de Córdoba 03/01/2019 | Endesa lidera cómo introducir la inteligencia artificial en el control de la red eléctrica. |
| 8. | El Economista 03/01/2019 | Endesa aplica la Inteligencia Artificial a la Red Eléctrica |
| 9. | MERCADOS21.es 13/02/2019 | Almacenamiento y el diseño de una red de baja tensión, premios Cátedra Endesa |
| 10. | EUROPA PRESS 06/03/2019 | Dos ingenieras de la Universidad de Sevilla son reconocidas con los XIV premios de la Cátedra Endesa |
| 11. | 20 minutos 24/04/2019 | LA IV Escuela de la Energía UIMP-Cátedra Endesa aborda retos de la transición energética |
| 12. | EUROPA PRESS 24/04/2019 | LA IV Escuela de la Energía UIMP-Cátedra Endesa aborda retos de la transición energética |
| 13. | LA VANGUARDIA 24/04/2019 | LA IV Escuela de la Energía UIMP-Cátedra Endesa aborda retos de la transición energética |
| 14. | IEEE sección España 01/05/2019 | El profesor Antonio Gómez Expósito, recibe el prestigioso premio 2019 IEEE PES Outstanding Power Engineering Educator Award |
| 15. | AEDIVE 06/06/2019 | VEM 2019 cierra su quinta edición con 20.000 visitantes entusiasmados por la movilidad eléctrica |
| 16. | SMARTGRIDSINFO.es 13/06/2019 | Un Consejo Académico de expertos asesorará a Aedive para fomentar la movilidad eléctrica |
| 17. | Cadena Ser 11/07/2019 | Los retos del coche eléctrico, a debate |
| 18. | ELPAIS 14/07/2019 | La movilidad del siglo XXI se enchufa |
| 19. | Diario de Sevilla 16/07/2019 | #eCitySevilla hará de Andalucía un referente energético mundial |
| 20. | Diario de Sevilla 11/12/2019 | Las pymes andaluzas, ante el reto de abordar la transición energética |