

# Instituto IMDEA Energía

## Grupo IMDEA-USE

Tercer anualidad 2021

Web: [geiser.depeca.uah.es/promint](http://geiser.depeca.uah.es/promint)

- **Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA**
  - H2.1. Modelado de sistemas de gestión de energía multivector y su aplicación a casos existentes de redes inteligentes
  - H2.2. Introducir y habilitar la flexibilidad en la operación de redes urbanas
- **Objetivo 3: Recuperación energética en redes de transporte ferroviario y su integración en micro-redes**
  - H3.1. Mejora de la eficiencia energética en redes de transporte ferroviario electrificados en CC
  - H3.2. Desarrollo de micro-redes eléctricas dentro del entorno ferroviario
  - H3.3. Gestión inteligente del sistema energético



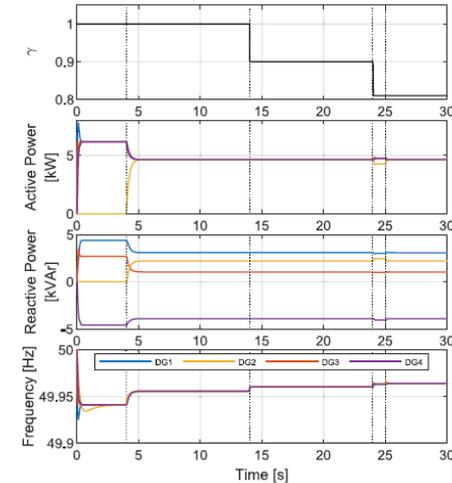
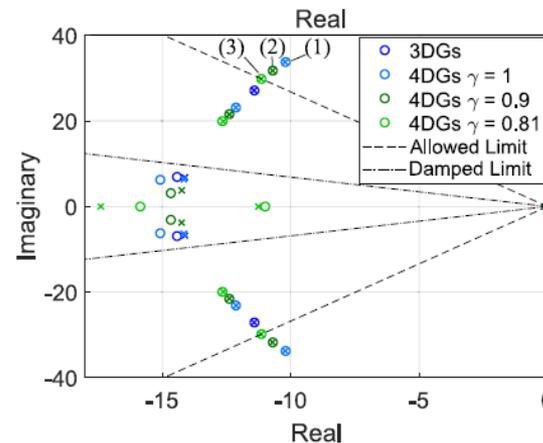
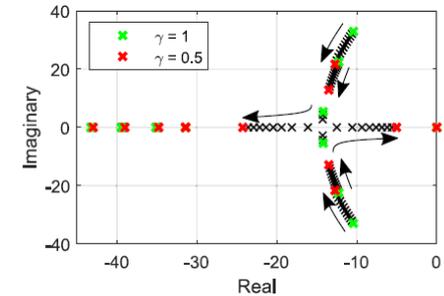
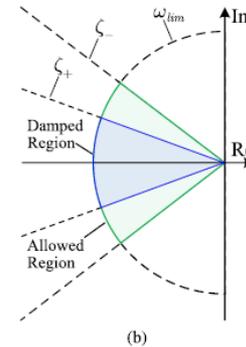
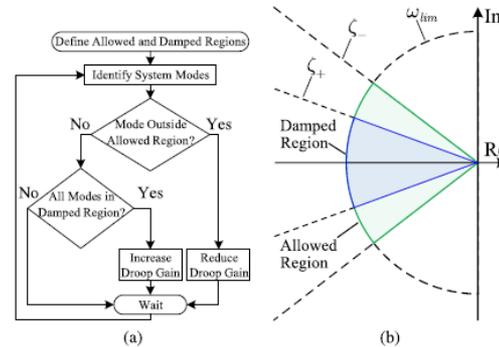
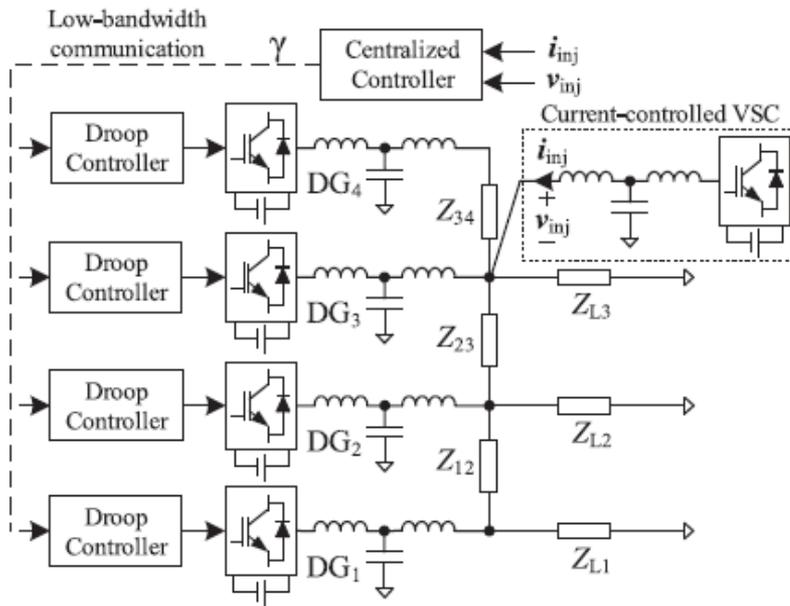
# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

- **Estabilidad de microrredes de CC, CA y híbridas**
  - Modelado de pequeña señal de inversores (en distintos modos de control), generadores diésel, carga activa, impedancias etc.
  - Análisis de estabilidad usando bifurcación
  - Desarrollo de los controladores del nivel primario y secundario
  - Estabilidad transitoria en redes dominadas con convertidores de electrónica de potencia
  - Gestión de la calidad de potencia
- **Integración de renovables y de almacenamiento en redes urbanas**
  - Control de convertidores en paralelo
  - Control predictivo para convertidores conectados a la red
- **Redes urbanas con la flexibilidad y los servicios auxiliares**
  - Apoyo al control de tensión
- **3 artículos de revista y 8 de congresos**
- **Organización de una jornada de formación**



# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

- Estudios de estabilidad de microrredes (en colaboración con NTNU)
- **Objetivo:** asegurar la estabilidad



Fredrik Göthner, Raymundo E. Torres-Olguin, Javier Roldán-Pérez, Atle Rygg, and Ole-Morten Midtgård, "Apparent Impedance-Based Adaptive Controller for Improved Stability of a Droop-Controlled Microgrid", IEEE Transactions on Power Electronics, 2021

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



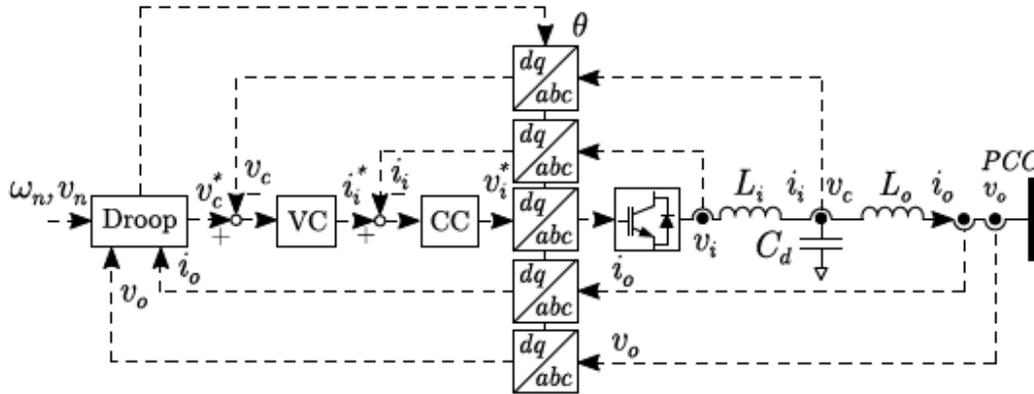
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad  
de Madrid

# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

## Convertidor-Formador

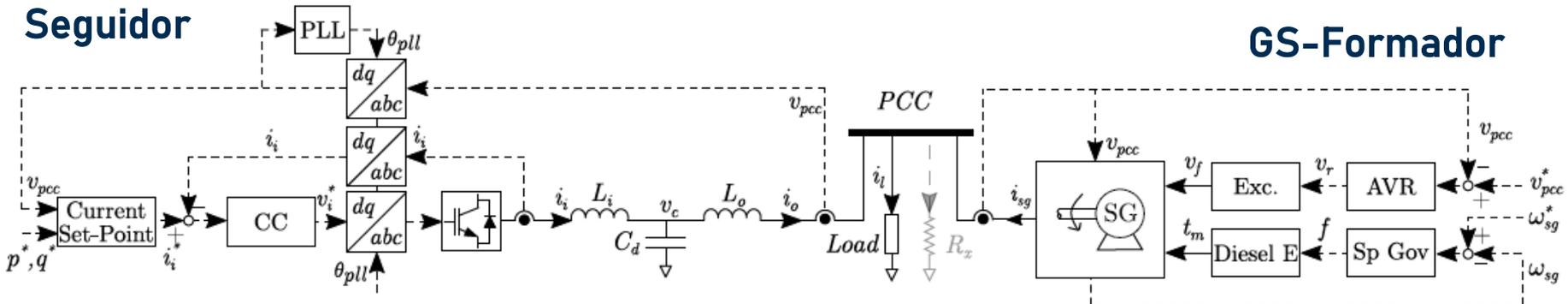


Integrar energía renovables en redes eléctricas:

- Formadores de red (GS o inversores de droop).
- Seguidores de red (fuentes renovables).

**Reto** - cómo operarlos juntos en una manera segura.

## Seguidor



(en colaboración con ICAI)

**PROMINT-CM**

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro

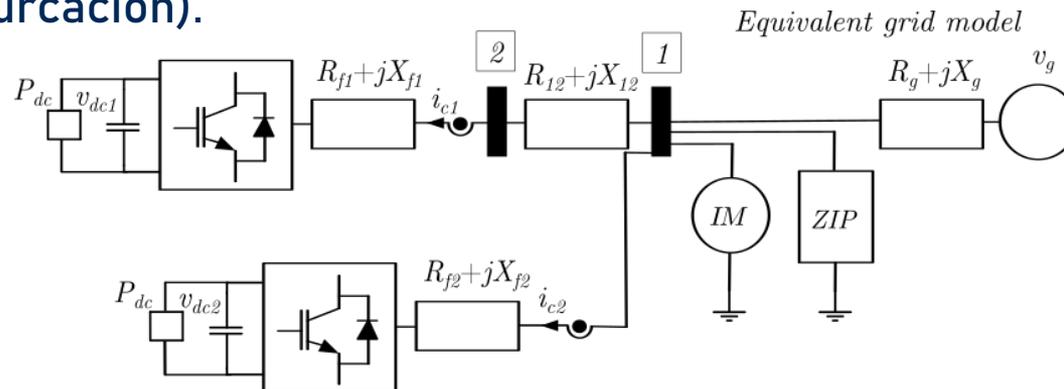
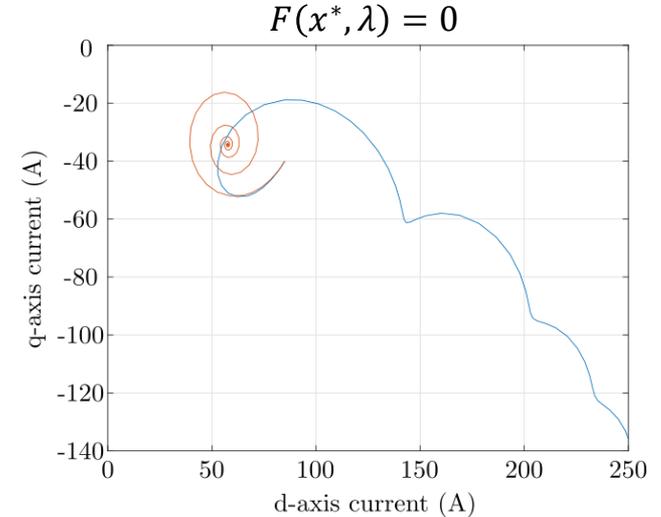


**Comunidad de Madrid**



# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

- **Objetivo:** Análisis de bifurcación de redes eléctricas
- Modelos linealizados de pequeña señal no pueden predecir los cambios en la red con perturbaciones grandes.
- Se aplican cambios suaves de parámetros.
- Definición de estabilidad paramétrica se define calculando los puntos de colapso de sistema (puntos de bifurcación).

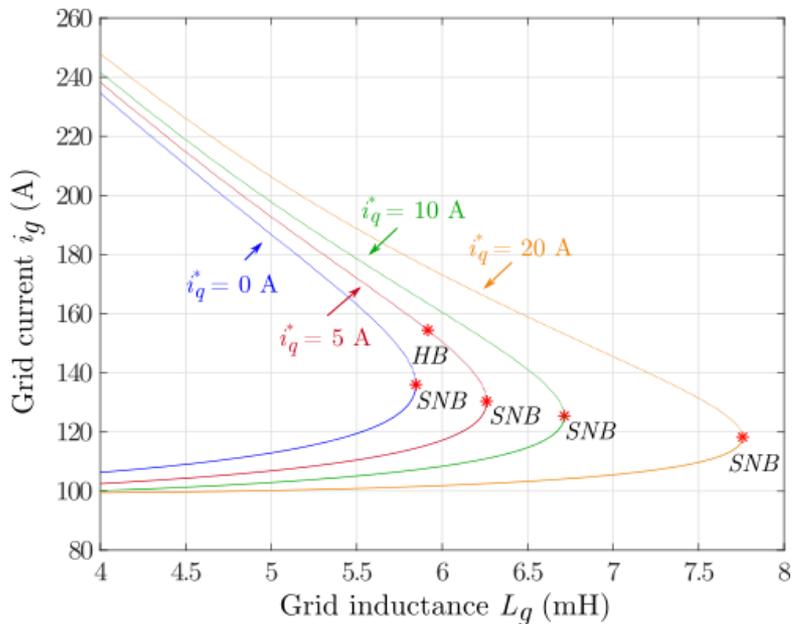


D. Moutevelis, J. Roldán-Pérez, M. Prodanovic and S. S. Acevedo, "Bifurcation Analysis of Converter-Dominated Electrical Distribution Systems", ECCE, 2021

# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

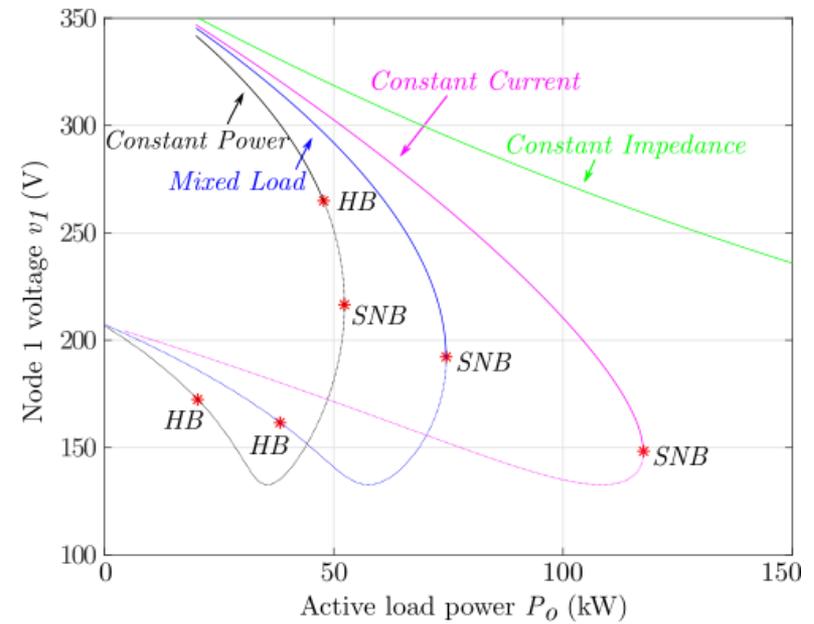
## Caso 1: Variación de la inductancia de red

- Definición de región de estabilidad de parámetros.
- Se calculan puntos de bifurcación.
- Mejoras márgenes de estabilidad con la absorción de corriente reactiva.



## Caso 2: Variación de carga

- Se dibujan curvas P-V
- Composición de cargas tiene papel importante para márgenes de estabilidad.
- El caso peor son las cargas de potencia constante.



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro

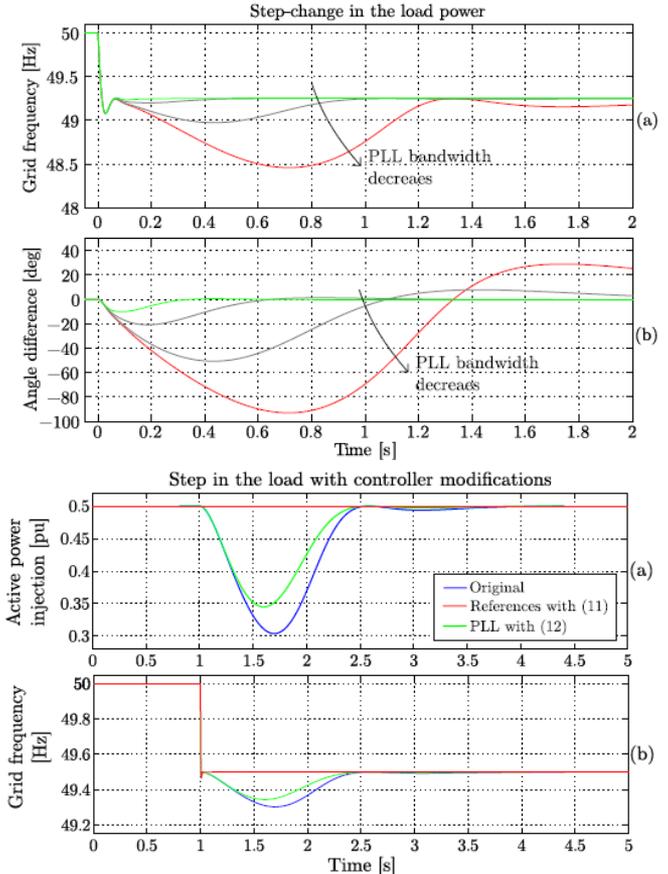
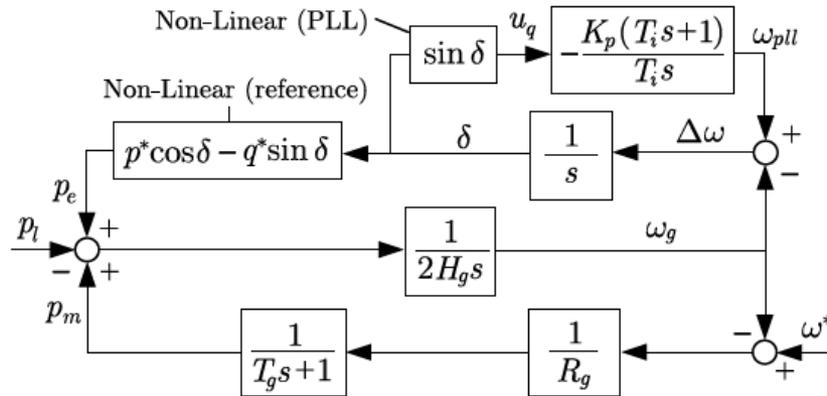


Comunidad  
de Madrid

# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

- Modelado de redes con inercia reducida

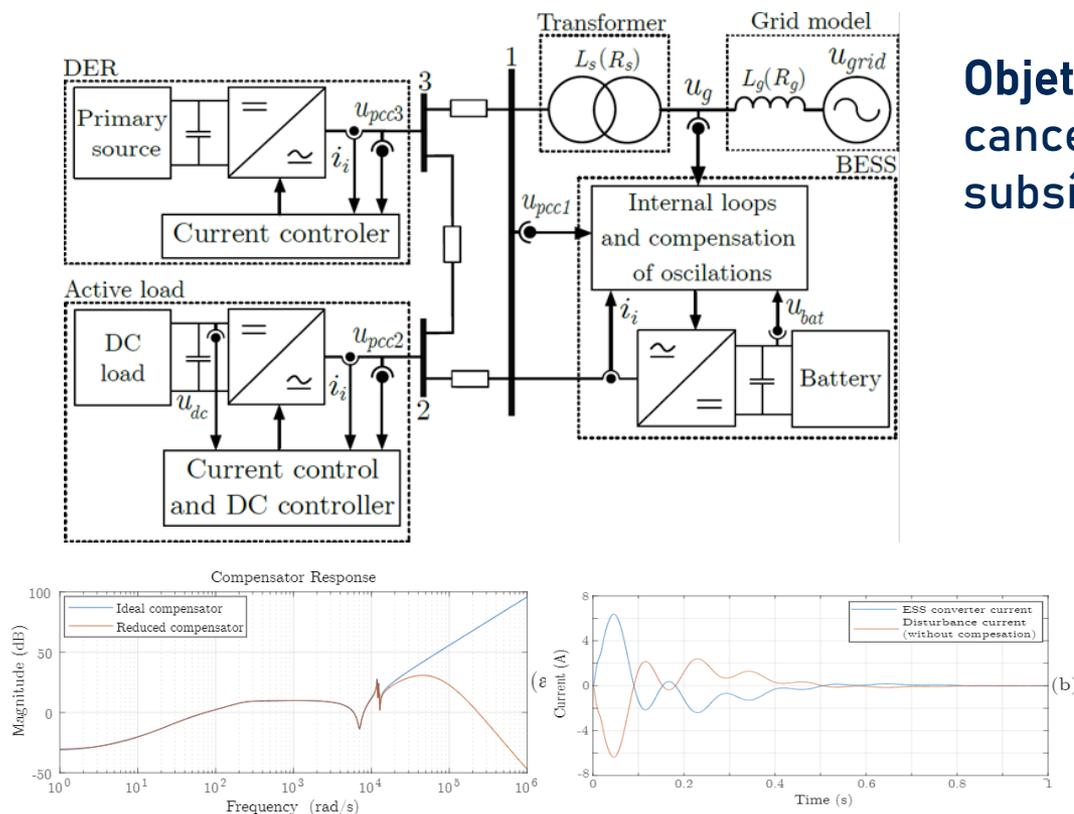
**Objetivo:** Investigar la interacción entre convertidores y la red de baja inercia



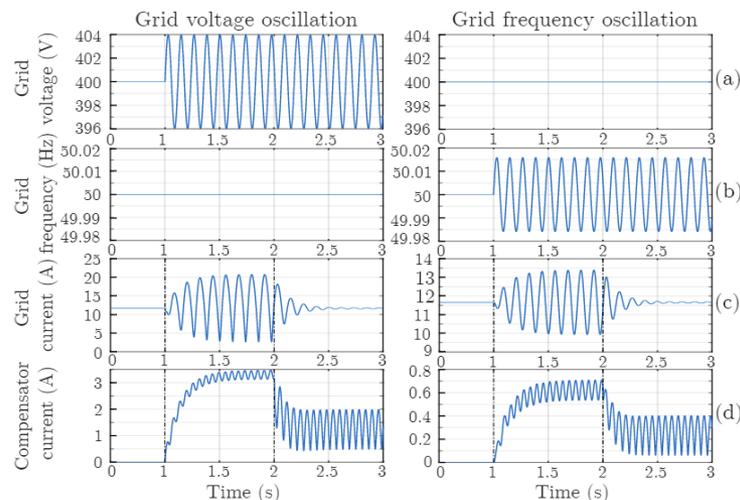
Javier Roldan-Perez, Milan Prodanovic and Alberto Rodriguez-Cabero, "Modelling Power-Frequency Interactions between Voltage Source Converters with PLLs and Power Networks with Reduced Inertia", PowerTech, 2021

# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

## ● Cancelación de oscilaciones en microrredes



**Objetivo:** usar almacenamiento para cancelar el impacto de oscilaciones subsíncronas en la red local.



Pablo Rodriguez-Ortega, Milan Prodanovic and Javier Roldan-Perez, "Converter-Based Solution for Cancellation of Subsynchronous Oscillations in Local Power Grids", PowerTech Conference, 2021

10

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



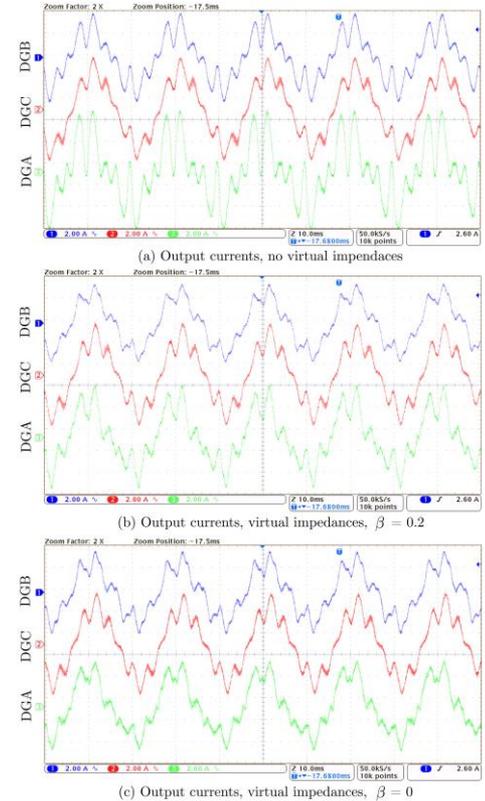
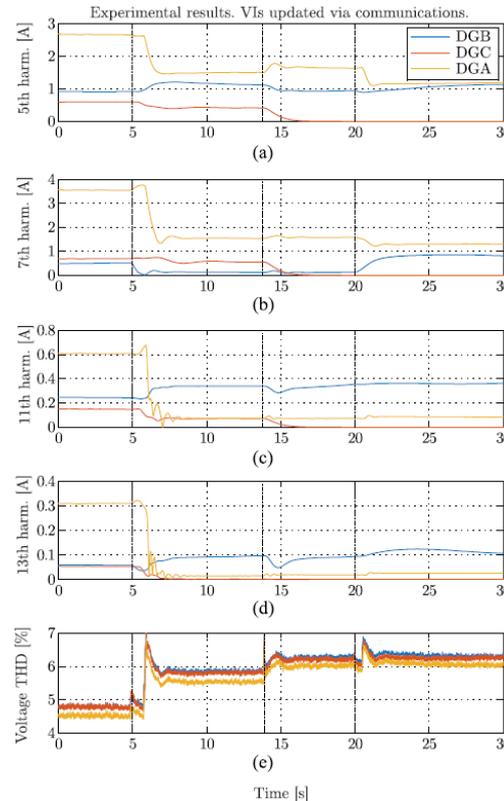
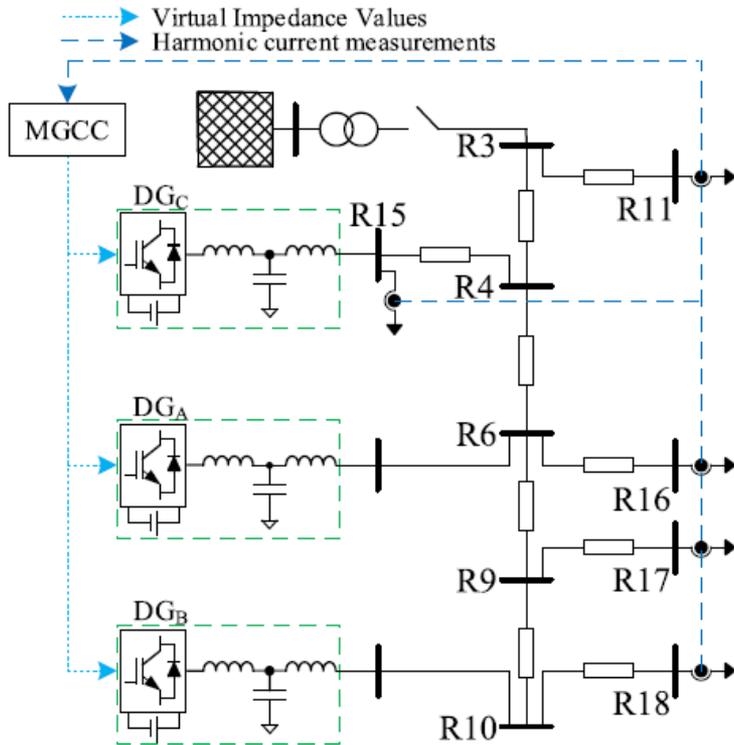
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad  
de Madrid

# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

- Impedancia virtual para diseño óptimo de calidad de potencia en microrredes (en colaboración con NTNU)



Fredrik Göthner, Javier Roldán-Pérez, Raymundo E. Torres-Olguin and Ole-Morten Midtgård, "Harmonic Virtual Impedance Design for Optimal Management of Power Quality in Microgrids", IEEE Transactions on Power Electronics, 2021

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro

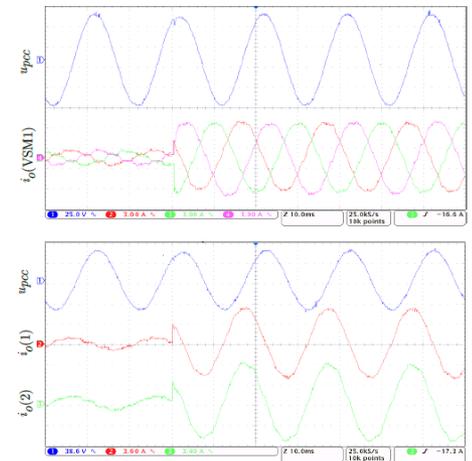
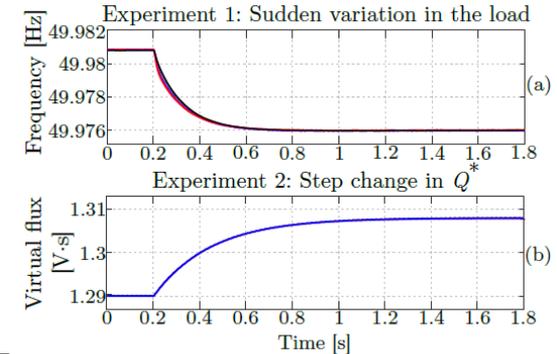
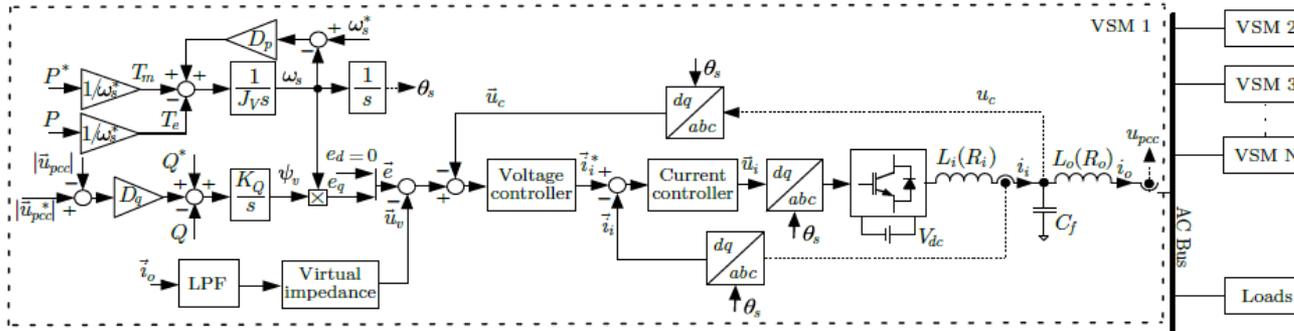


Comunidad  
de Madrid

# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

- VSM en paralelo (en colaboración con UAH)

**Objetivo:** controlar Maquinas Síncronas Virtuales en conexión paralela para microrredes aisladas



Adrian Gonzalez-Cajigas, Javier Roldan-Perez, and Emilio J. Bueno, "Modeling and Control of N-Paralleled Virtual Synchronous Machines in Island Mode", IEEE 11th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2020

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



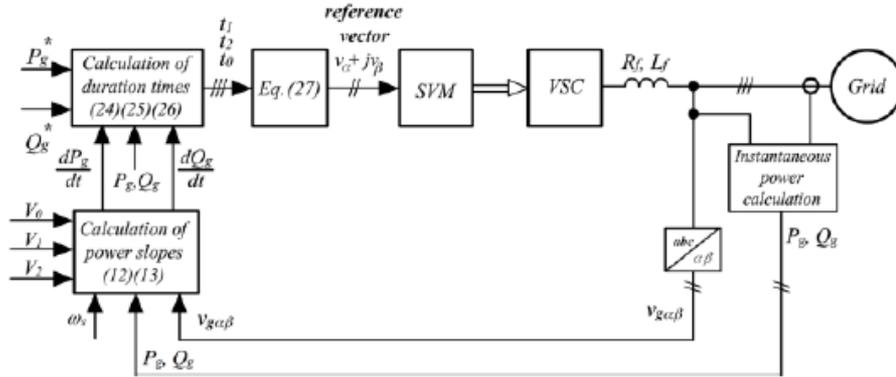
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



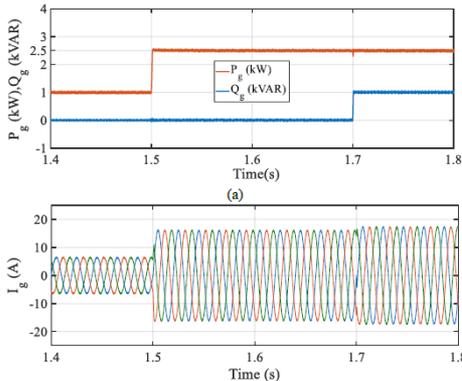
Comunidad  
de Madrid

# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

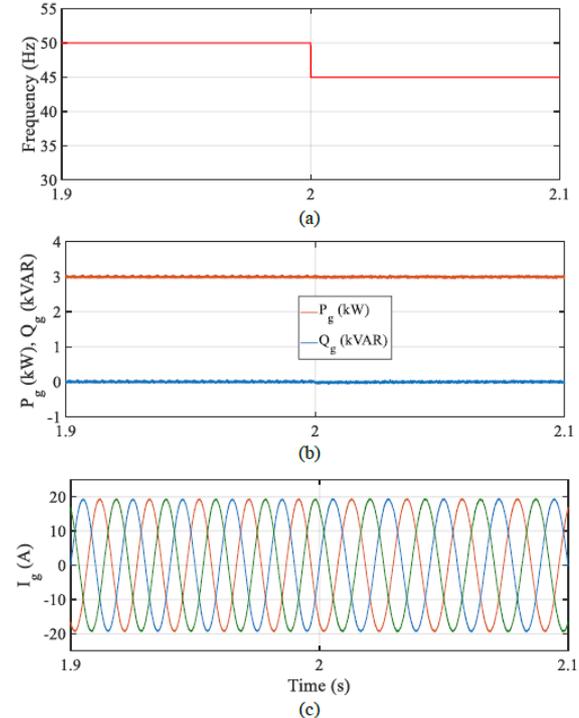
- Control predictivo para integración de renovables (en colaboración con UPM)



MPPC propuesto



Respuesta transitoria a cambios de potencia

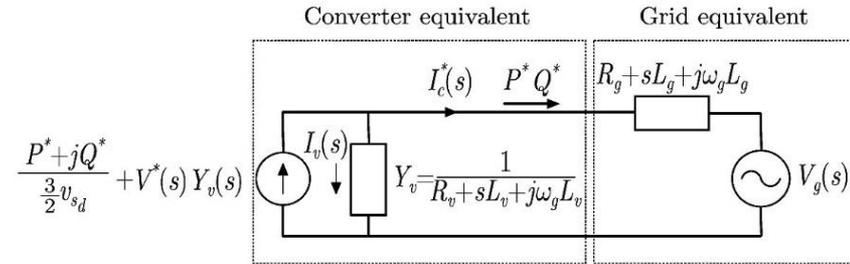
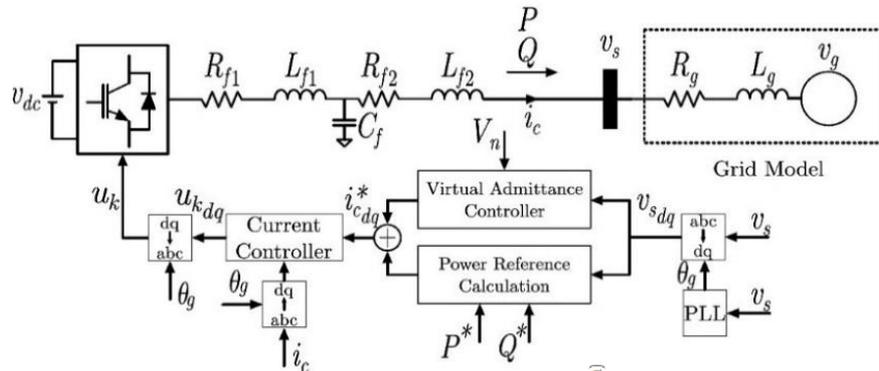


Respuesta de MPPC a cambio de frecuencia

Mohammad Ebrahim Zarei, Dionisio Ramirez, Milan Prodanovic, and Giri Venkataramanan, "Multi-Vector Model Predictive Power Control for Grid Connected Converters in Renewable Power Plants", IEEE JESTPE, 2021

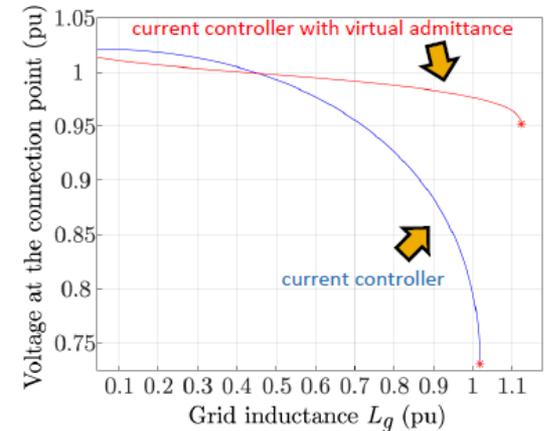
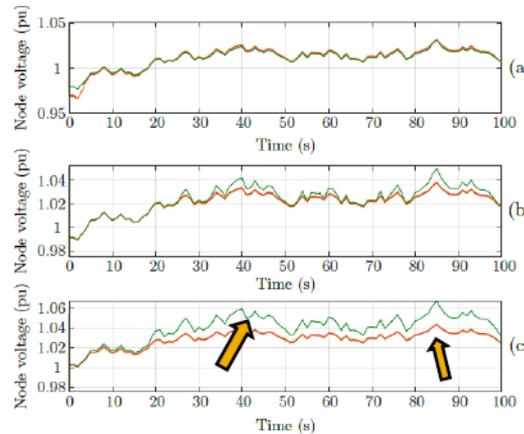
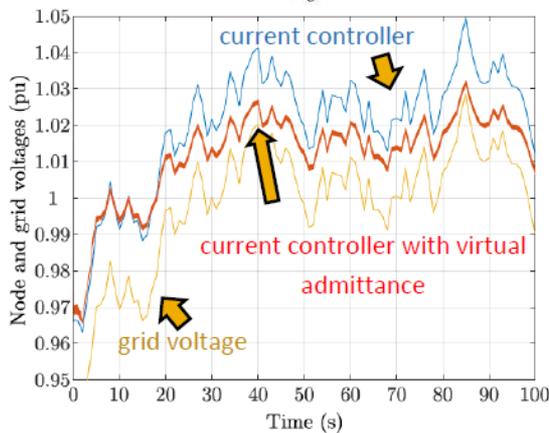
# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

## ● Apoyo al control de tensión utilizando la admitancia virtual



$$\frac{P^* + jQ^*}{\frac{3}{2}v_{sd}} + V^*(s) Y_v(s)$$

Admitancia virtual



Comparación con el controlador tradicional

Dionysios Moutvelis, Javier Roldán-Pérez and Milan Prodanovic, "Virtual Admittance Control for Providing Voltage Support using Converter Interfaced Generation", IEEE PES ISGT Europe, 2021

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



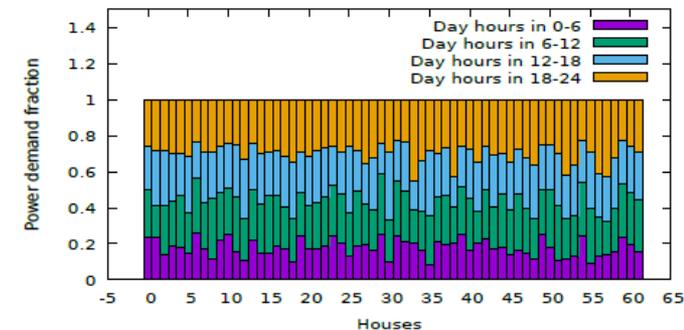
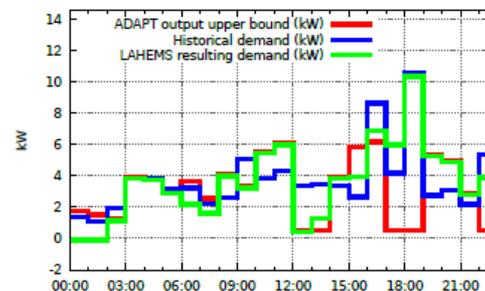
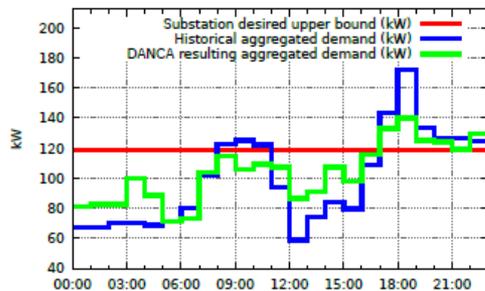
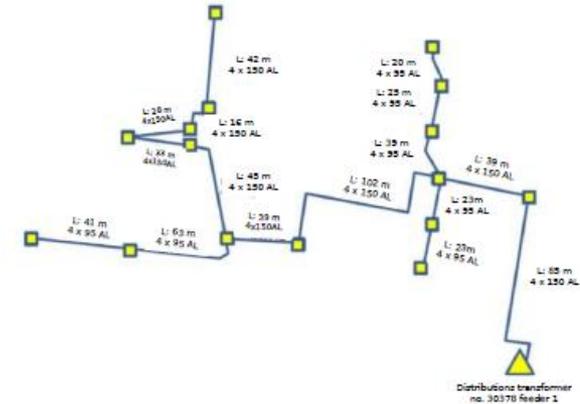
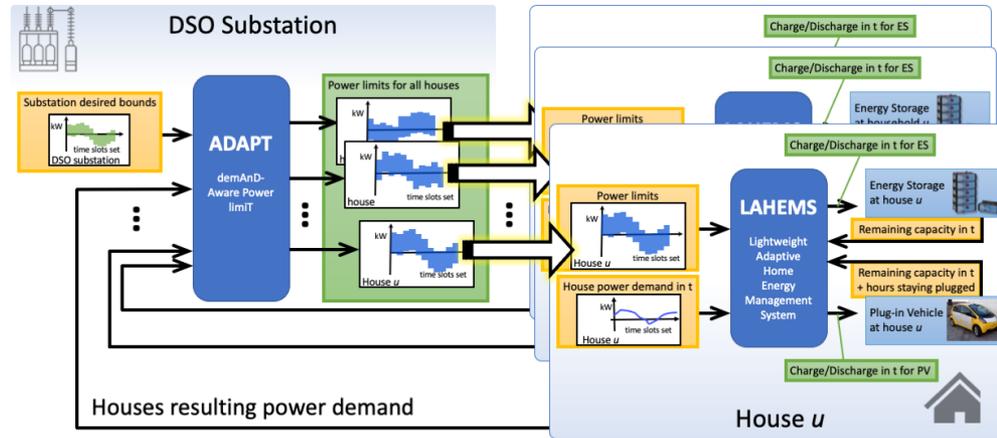
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad  
de Madrid

# Objetivo 3: Recuperación energética en redes de transporte ferroviario y su integración en micro-redes

## ● Gestión inteligente para subestaciones (en colaboración con La Sapienza)



Igor Melatti, Federico Mari, Toni Mancini, Milan Prodanovic, and Enrico Tronci, "A Two-Layer Near-Optimal Strategy for Substation Constraint Management via Home Batteries", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2021

15

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad de Madrid

# Trabajos de futuro

- Continuar con el análisis de estabilidad de redes urbanas y hibrida con los convertidores de electrónica de potencia.
- Gestión coordinada del almacenamiento agregado para servicios de inercia
- Continuar el desarrollo de los algoritmos de control primario (VSM) y de secundario en el entorno del laboratorio SEIL.
- Enlaces CC para redes ferroviarias
- Gestionar la de demanda del sistema ferroviario urbano.
- Organizar una jornada para presentar resultados del proyecto

16

**PROMINT-CM**

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

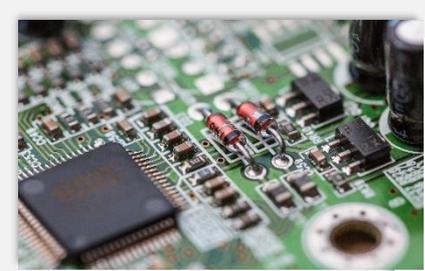
UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



  
**Comunidad  
de Madrid**



# Instituto IMDEA Energía

## Laboratorio IMDEA-SEIL

Tercera anualidad 2021

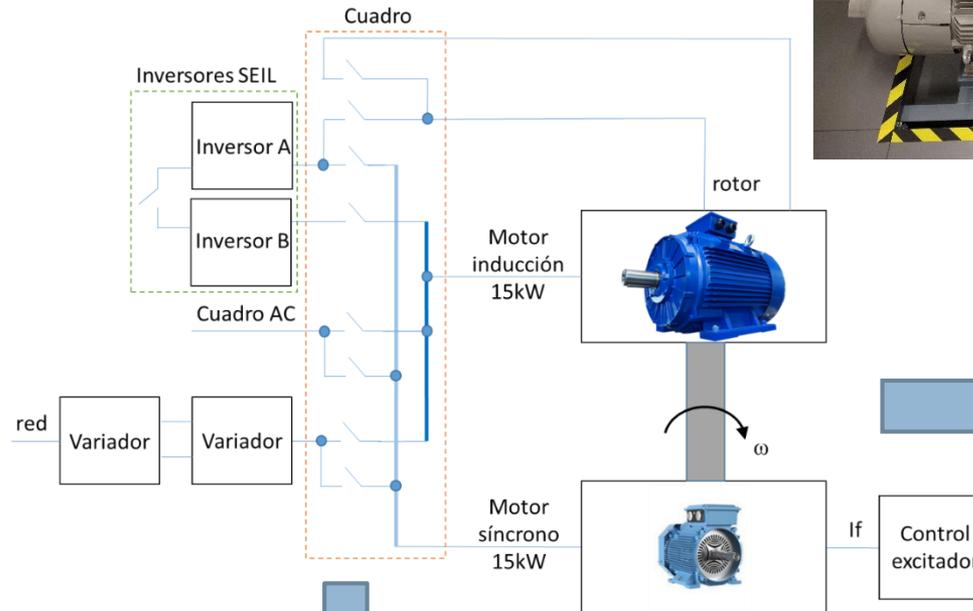
Web: [geiser.depeca.uah.es/promint](http://geiser.depeca.uah.es/promint)

- **Objetivo cumplido:** Dotar el laboratorio SEIL con un banco de generadores/motores para las pruebas de su conexión a redes eléctricas.
- Facilitará los estudios de estabilidad transitoria de redes y microrredes eléctricas.
- Tres modos de operación
  - Generador síncrono
  - Motor asíncrono
  - Generador doble alimentado (DFIG)
- Se adquirieron e instalaron tres subsistemas:
  - Sistema mecánico de dos motores acoplados en el mismo eje
  - Variador de frecuencia bidireccional controlando uno de los motores
  - Cuadro eléctrico para la conexión, monitorización y control



# Diseño del banco

- Diseño instalado:



**PROMINT-CM**

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



**Comunidad  
de Madrid**

# Laboratorio SEIL – Redlab 368

SEIL es una instalación única y representa un conjunto de dispositivos eléctricos que se pueden conectar en una manera flexible y versátil para formar redes eléctricas:

- 4 x 15 kVA y 2 x 75 kVA convertidores de electrónica de potencia
- 2 x 30 kW y 25kVA cargas programables y controlables remotamente
- 47.5 kWh sistema de batería Ion-Li y 5kWh batería de flujo
- 75 kW cargador de baterías bidireccional y programable
- 22kW banco de motores configurable con DFIG y motor-generador síncrono
- Cuadros de distribución eléctrica configurables para CC y CA
- Impedancias de red configurables
- Sistema independiente de monitorización y control
- Plataforma flexible para programación

20

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid



instituto  
imdea  
energía

EXCELENCIA  
MARÍA  
DE MAEZTU

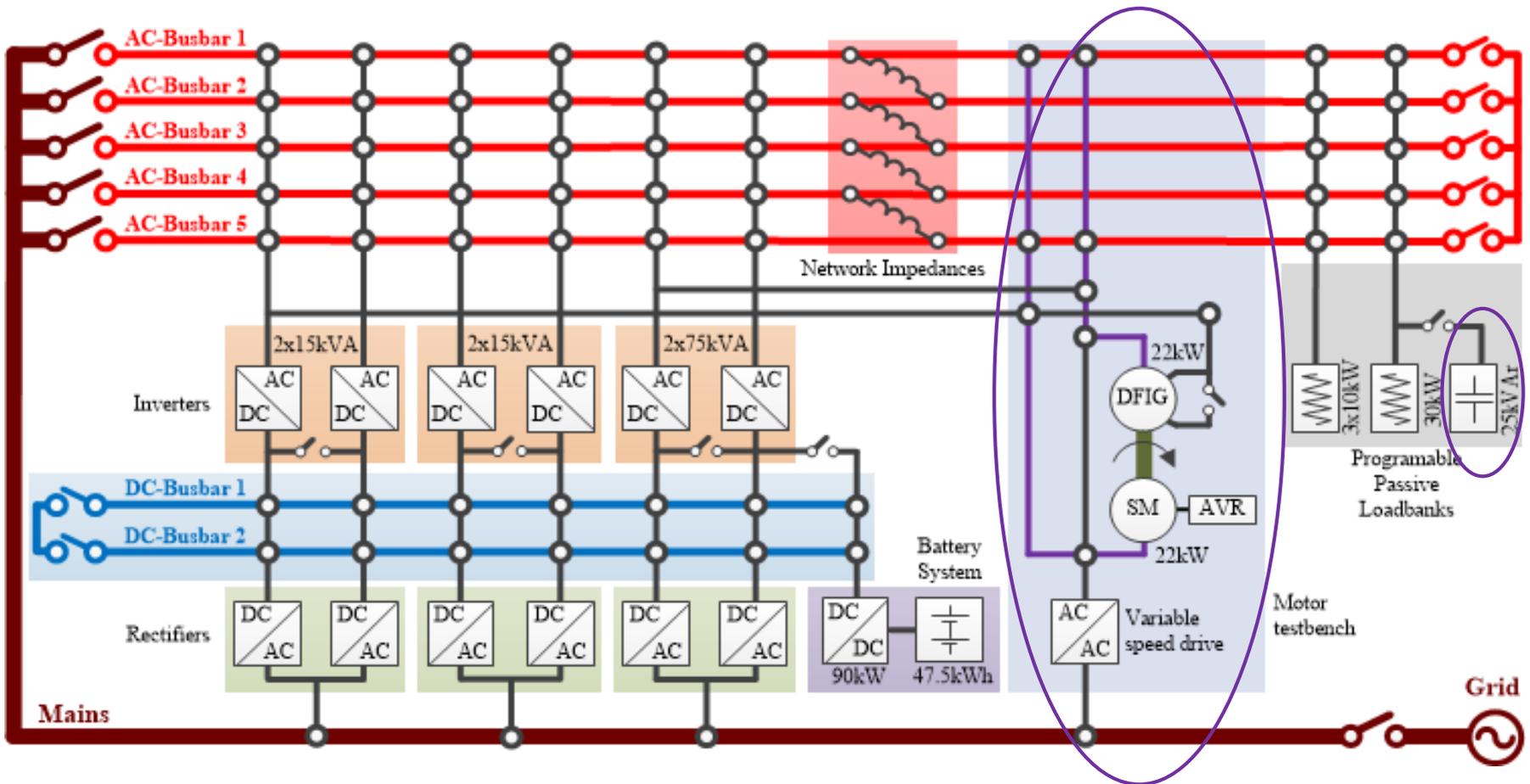
UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro

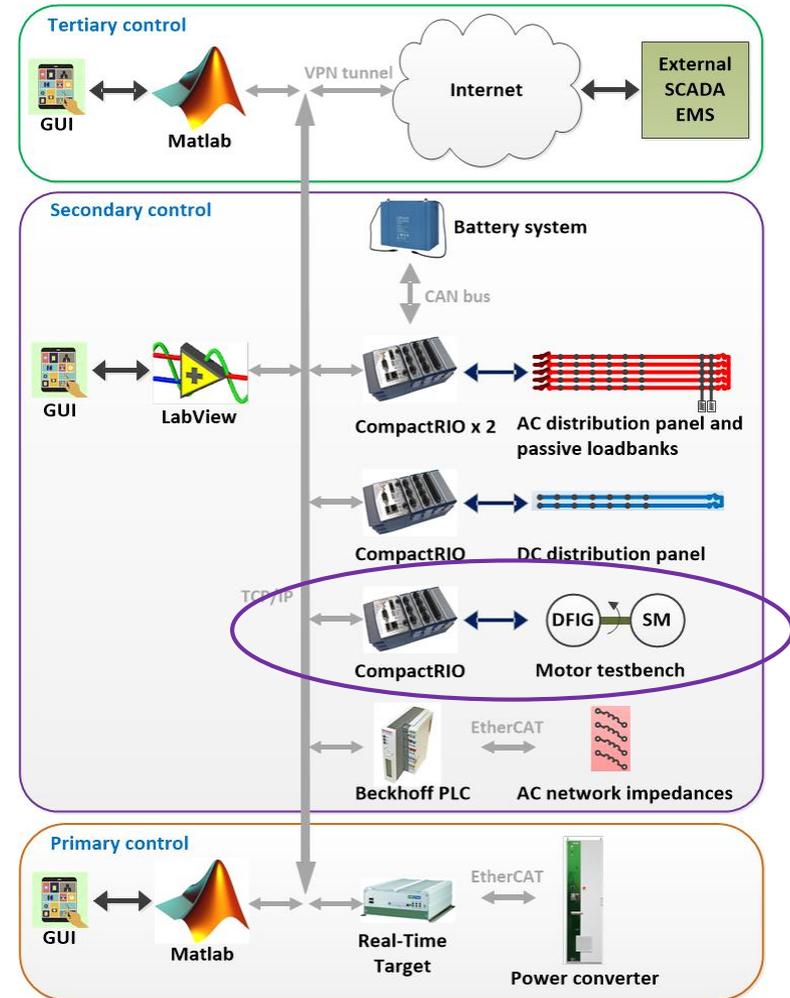


Comunidad  
de Madrid



SEIL permite la implementación de algoritmos de gestión y de control en tiempo real:

- Control primario usando la programación en Simulink.
- Control secundario utilizando LabView.
- Control terciario utilizando cualquier plataforma de control interno o externo.
- Conexión vertical utilizando TCP/IP.
- Controladores locales de cuadros eléctricos.
- Interfaz con sistema SCADA.
- Monitorización en tiempo real.



# Trabajos previstos

- Comprobar el cableado y poner vinilos descriptivos
- Terminar la integración del banco de motores al sistema de control de SEIL

