

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



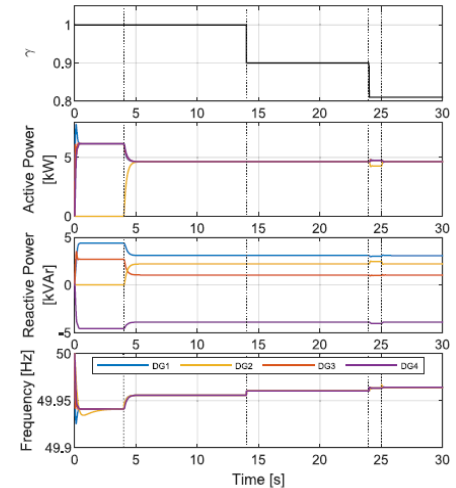
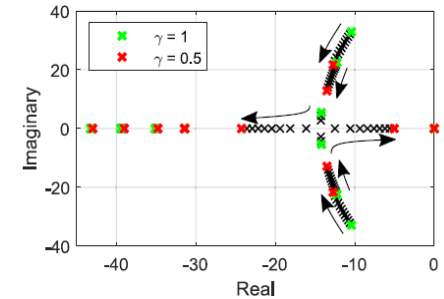
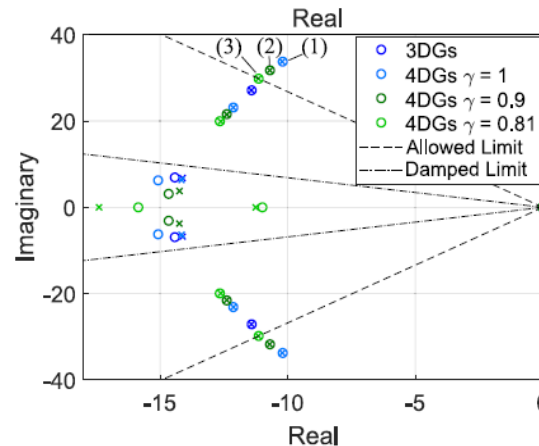
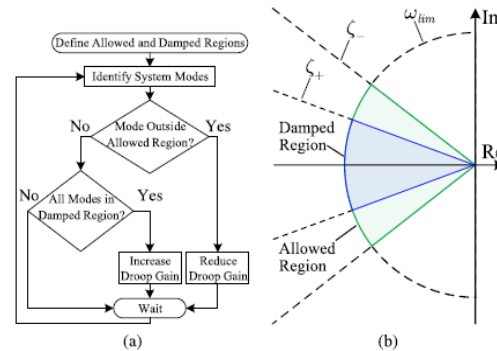
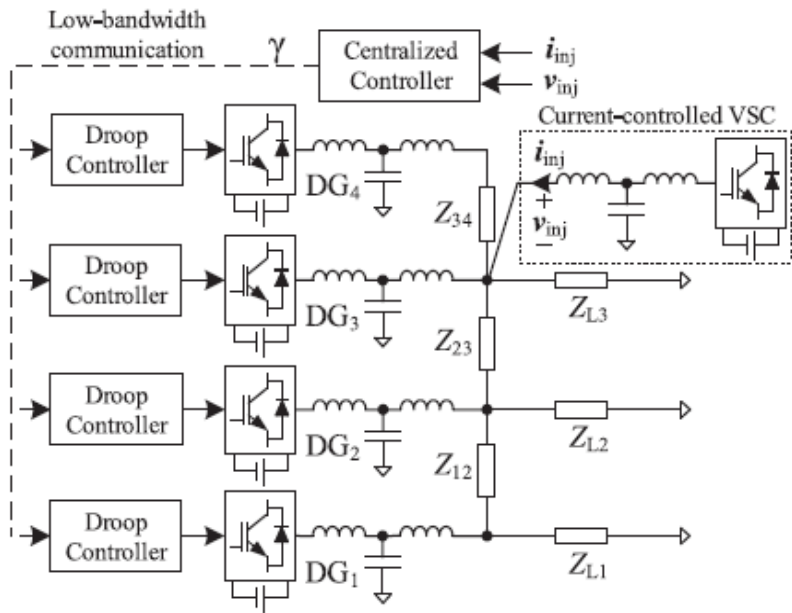
# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

- **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



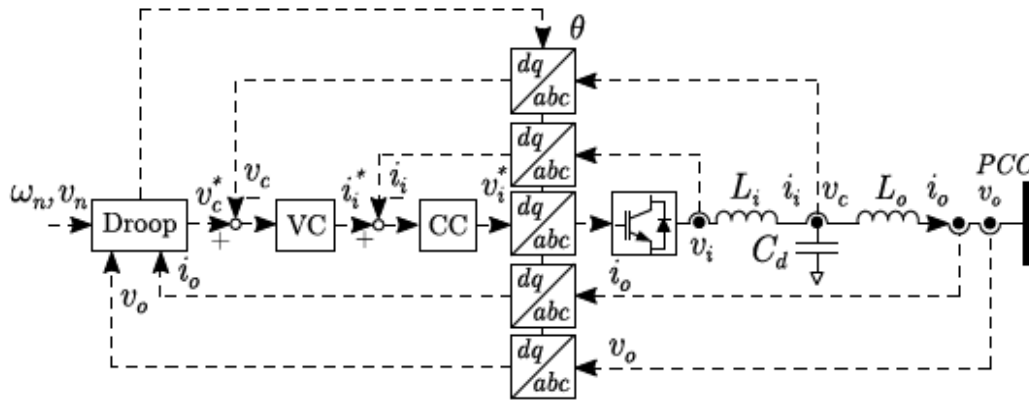
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad  
de Madrid

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

## Convertidor-Formador

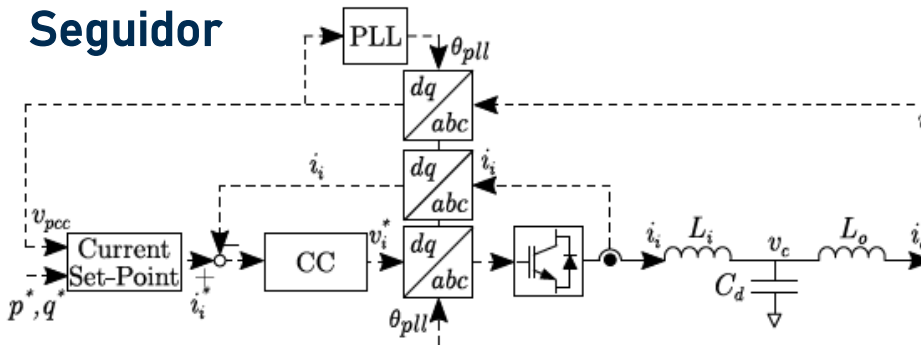


Integrar energía renovables en redes eléctricas:

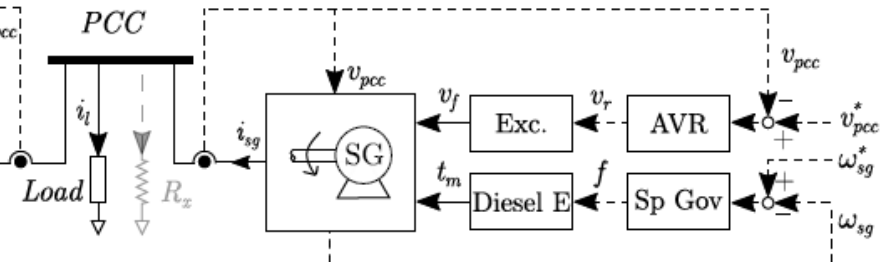
- Formadores de red (GS o inversores de droop).
- Seguidores de red (fuentes renovables).

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

## Seguidor



## GS-Formador



(en colaboración con ICAI)

**PROMINT-CM**

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



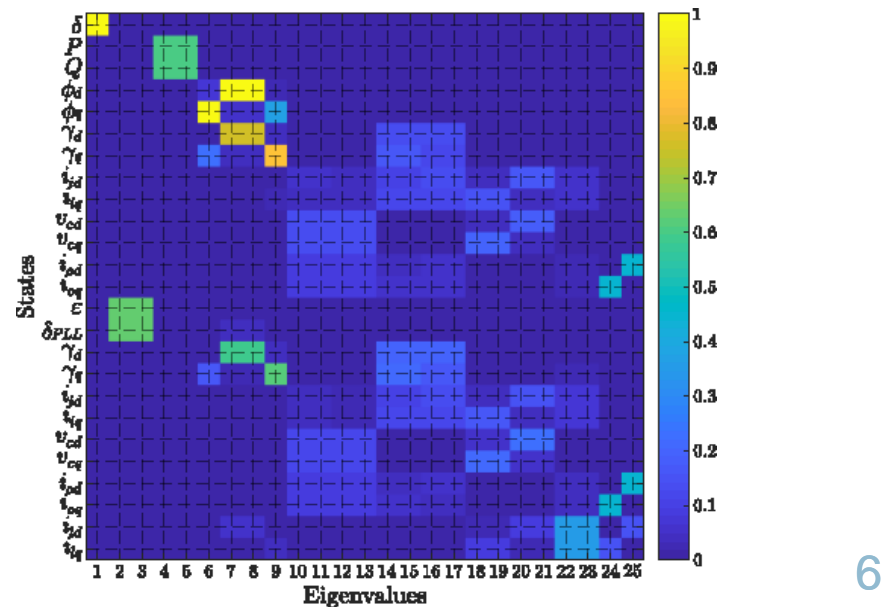
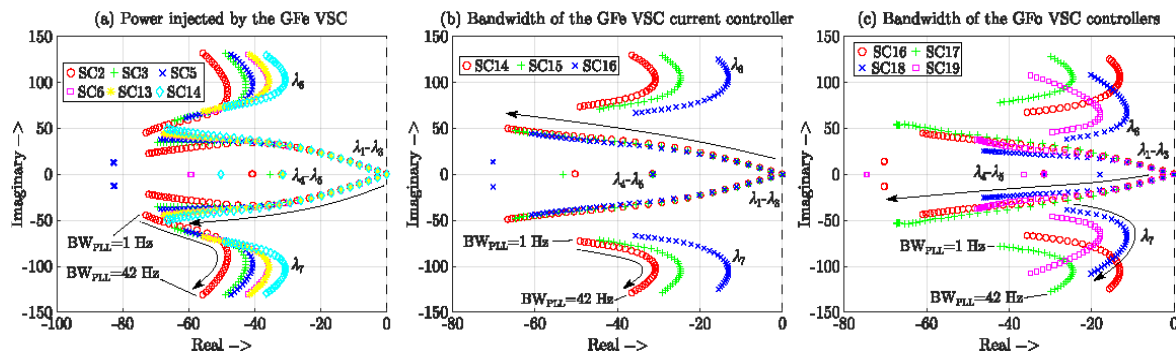
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



**Comunidad de Madrid**

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

- Se analiza la interacción dinámica entre los enlaces de control de formadores y seguidores.
- Análisis de autovalores.
- Análisis de factores de participación.
- Ancho de banda de PLL es el parámetro más crítico.
- Ancho de banda de controladores de corriente y de tensión tiene impacto.
- Se propuso una guía de diseño.



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



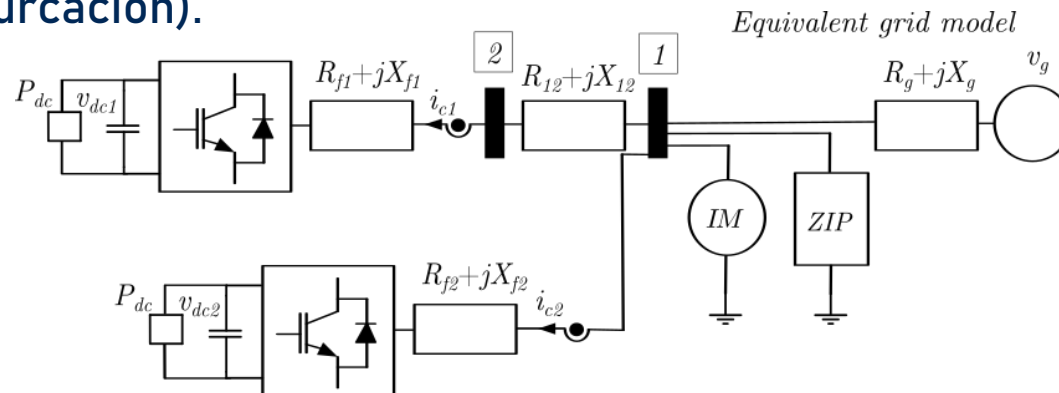
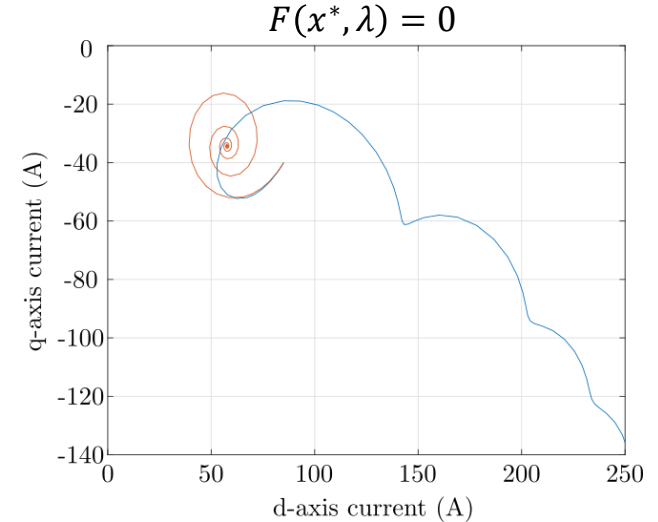
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



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).

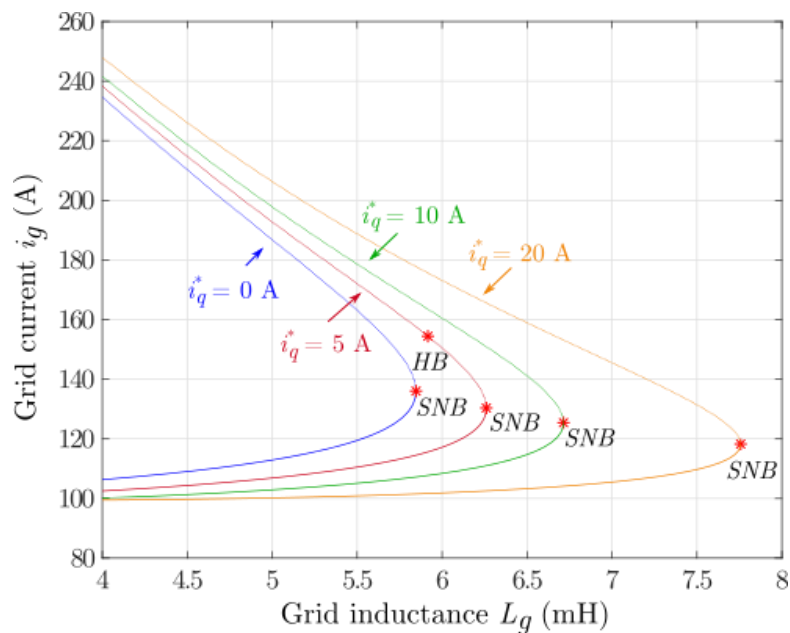


D. Moutevelis, J. Roldán-Pérez, M. Prodanovic and S. S. Acevedo, "Bifurcation Analysis of Converter-Dominated Electrical Distribution Systems", ECCE, 2021

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

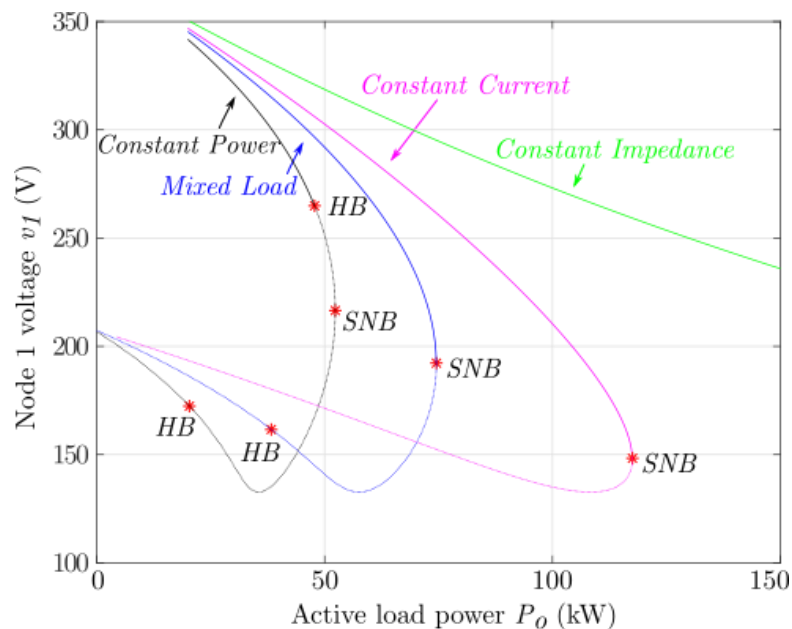
## Caso 1: Variación de la inductancia de red

- 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



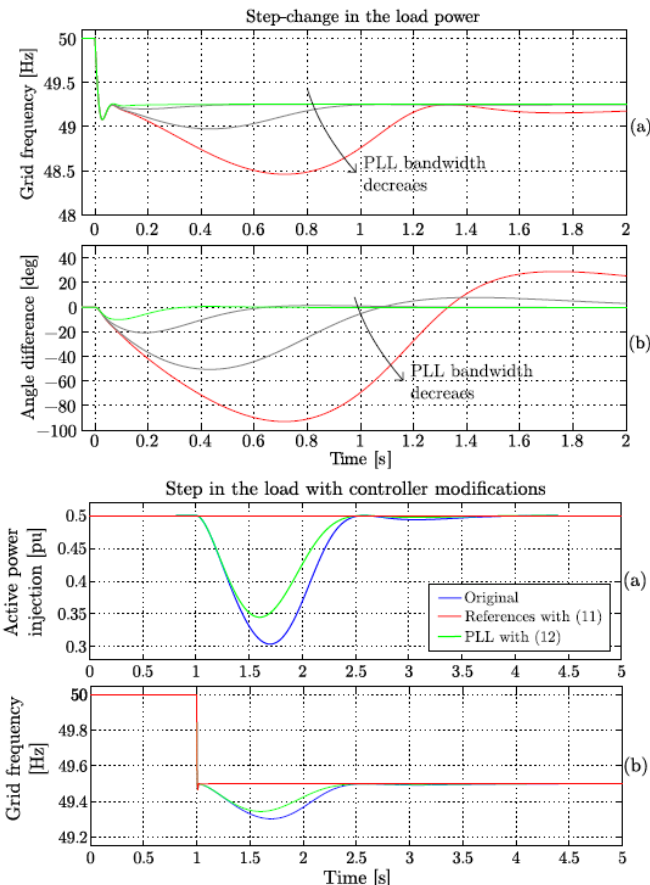
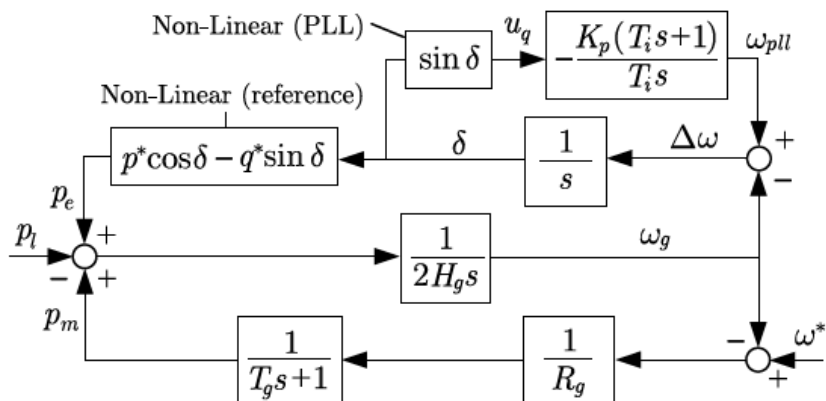
Comunidad  
de Madrid



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

- Modelado de redes con inercia reducida

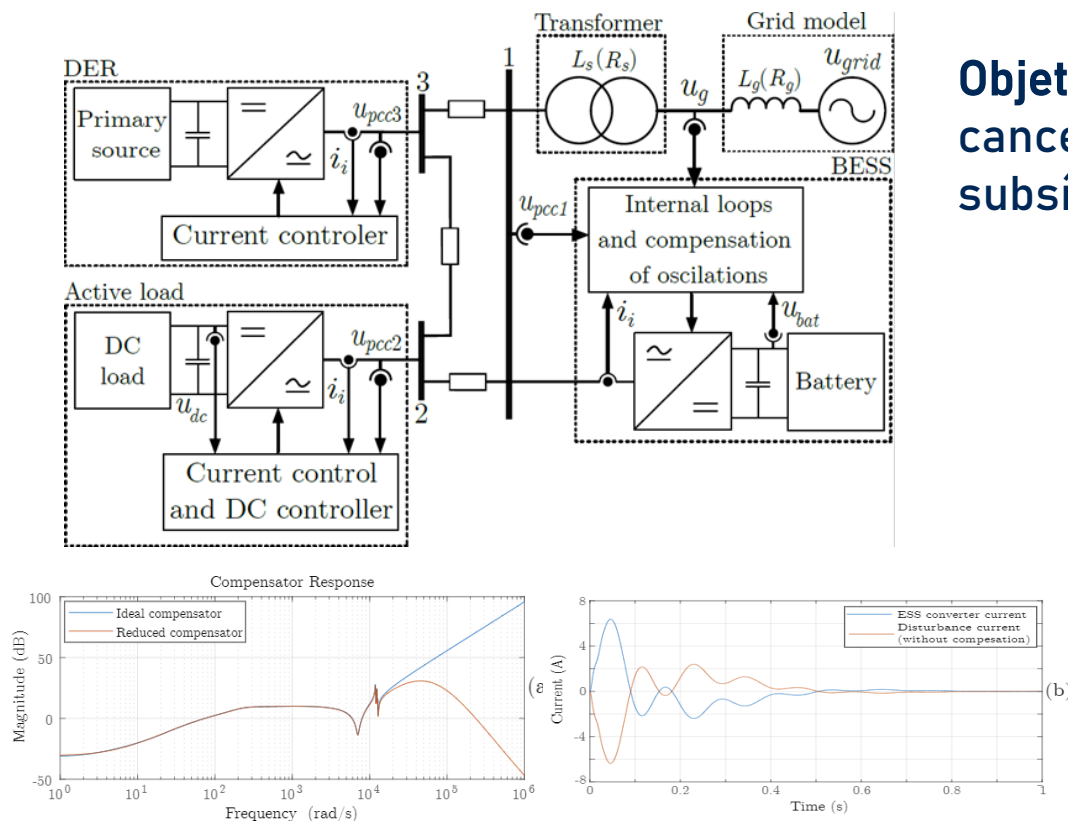
**Objetivo:** Investigar la interacción entre convertidores y la red de baja inercia



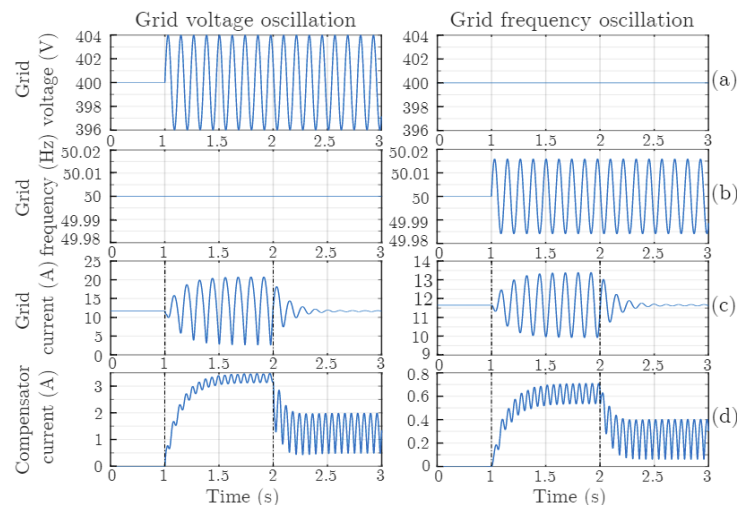
Javier Roldan-Perez, Milan Prodanovic and Alberto Rodriguez-Cabero, "Modelling Power-Frequency Interactions between Voltage Source Converters with PLLs and Power Networks with Reduced Inertia", PowerTech, 2021

# 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



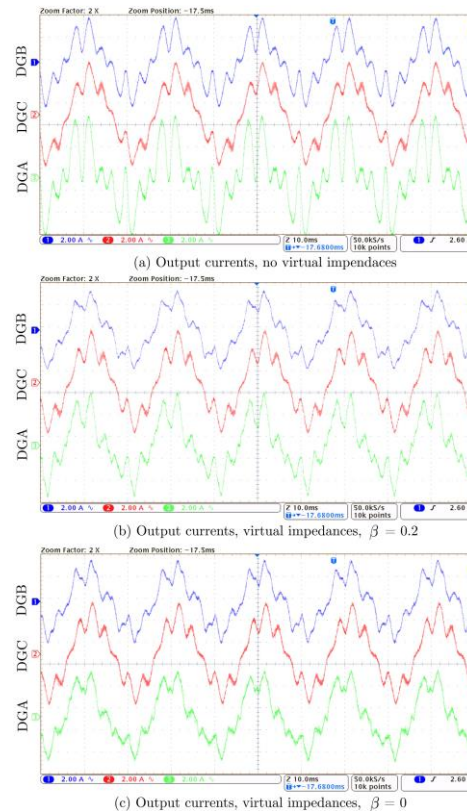
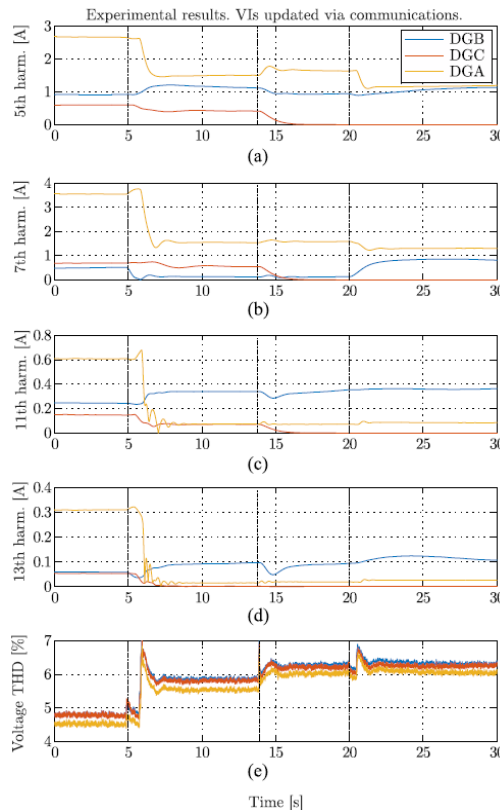
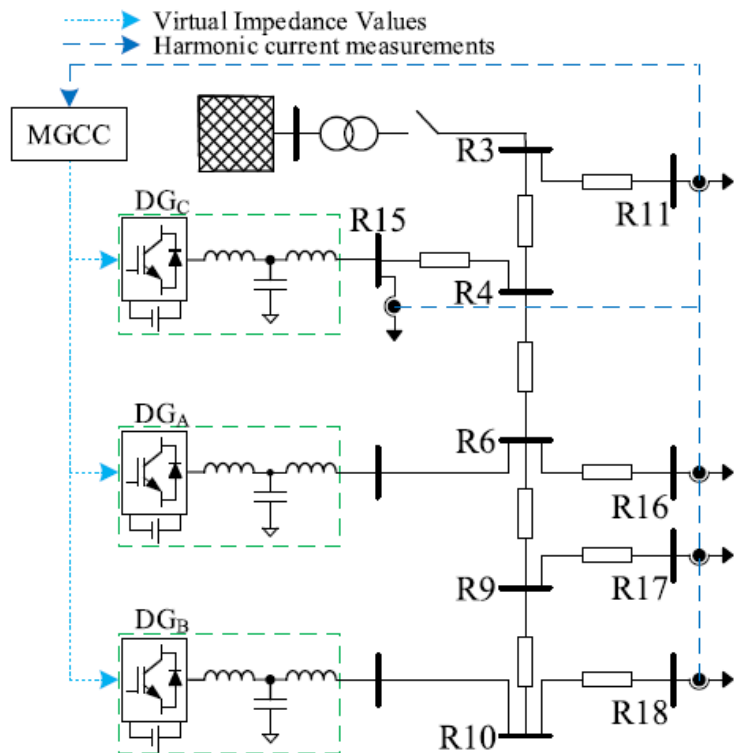
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



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

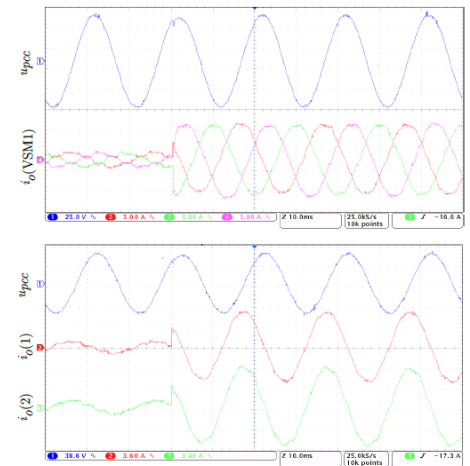
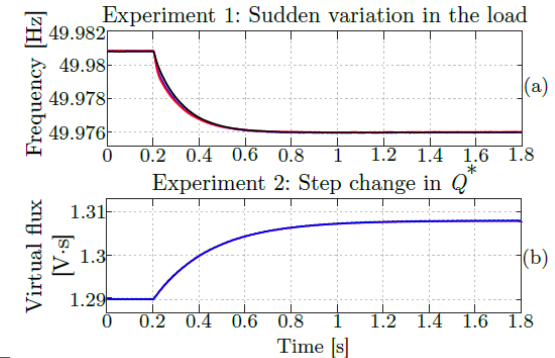
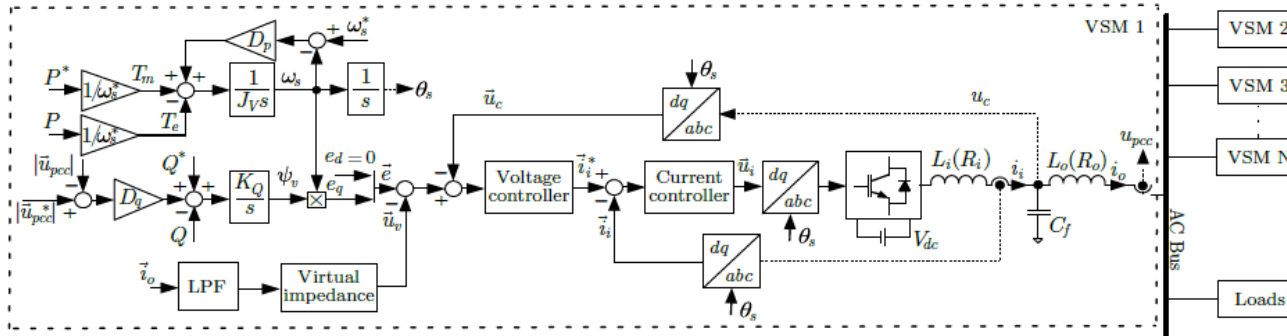


Comunidad de Madrid

# 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



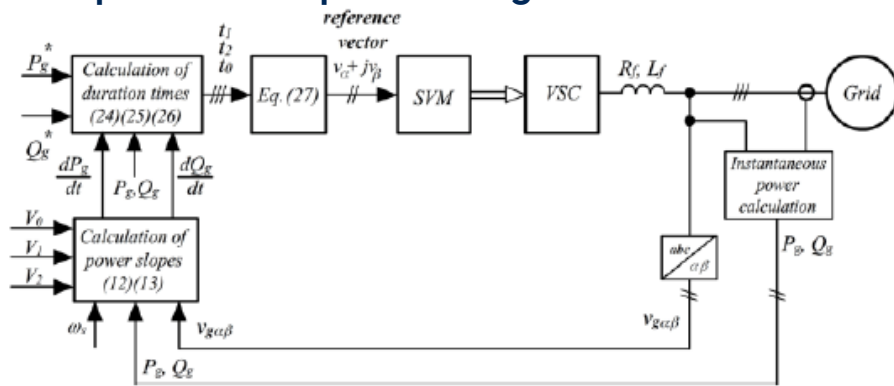
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



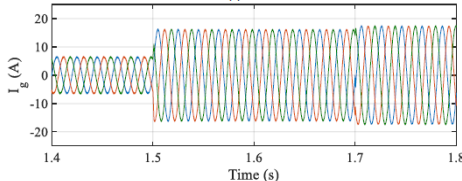
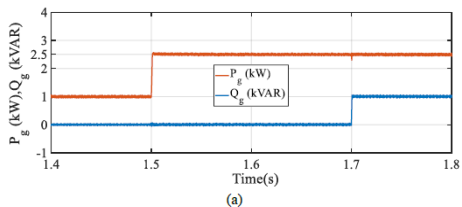
**Comunidad de Madrid**

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

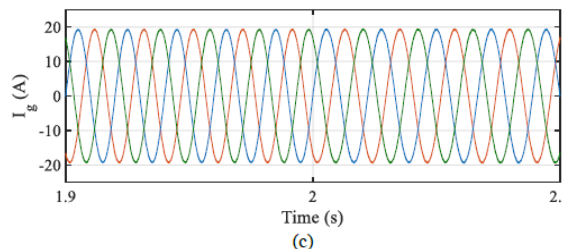
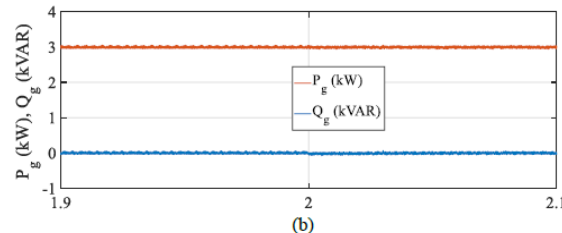
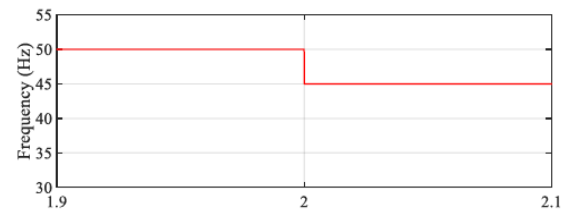
- Control predictivo para integración de renovables (en colaboración con UPM)



MPPC propuesto



Respuesta transitoria a cambios de potencia

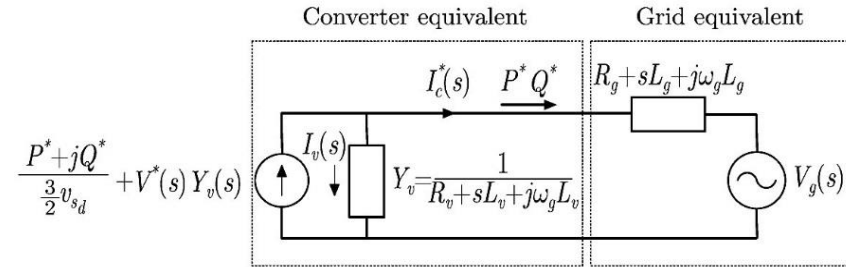
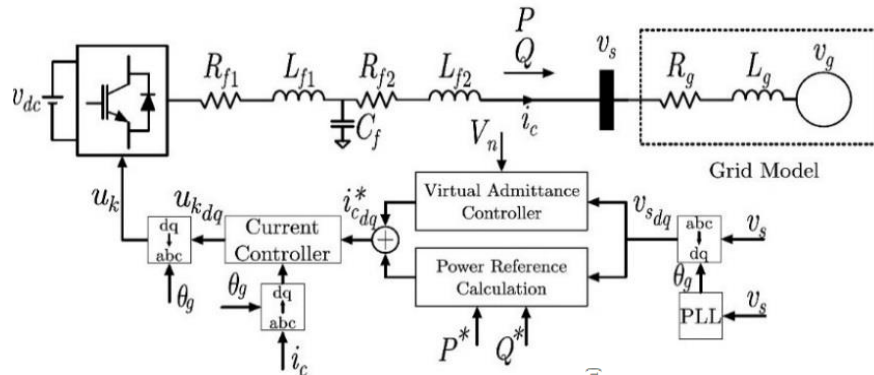


Respuesta de MPPC a cambio de frecuencia

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

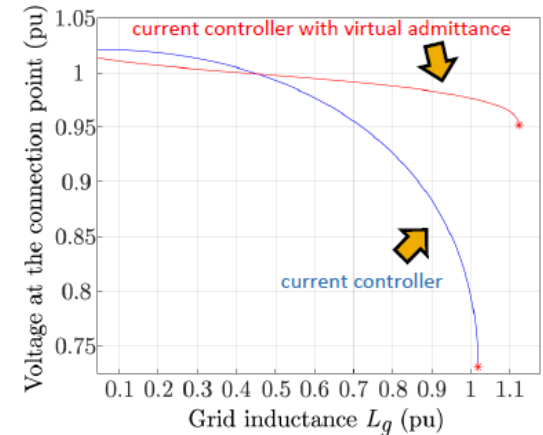
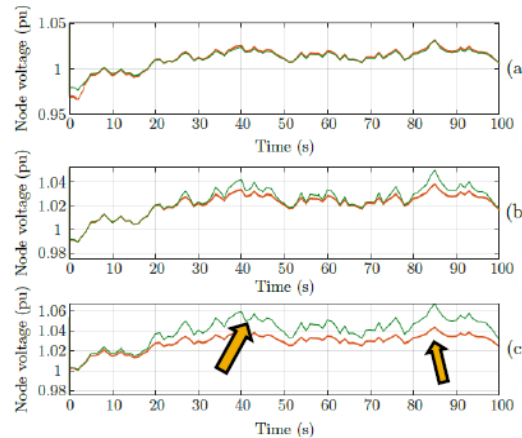
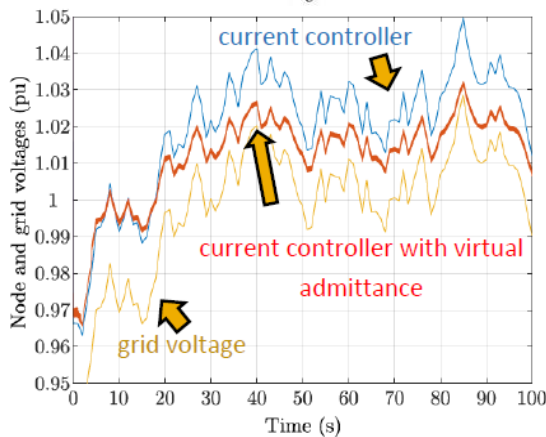
# Objetivo 2: Modelado, control y gestión de energía en redes inteligentes híbridas CC/CA

## ● 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



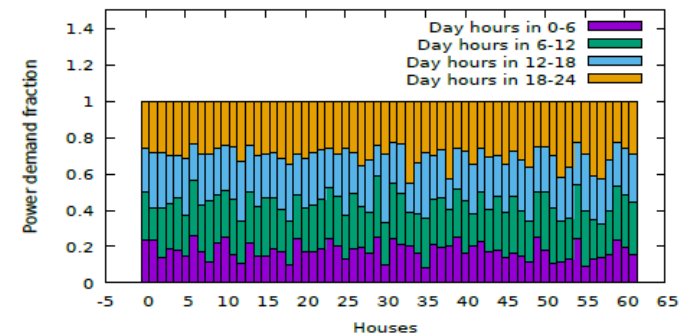
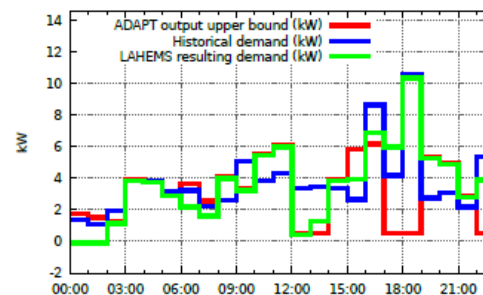
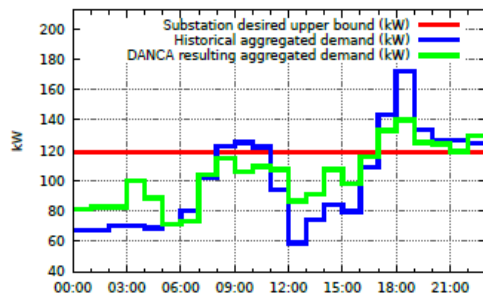
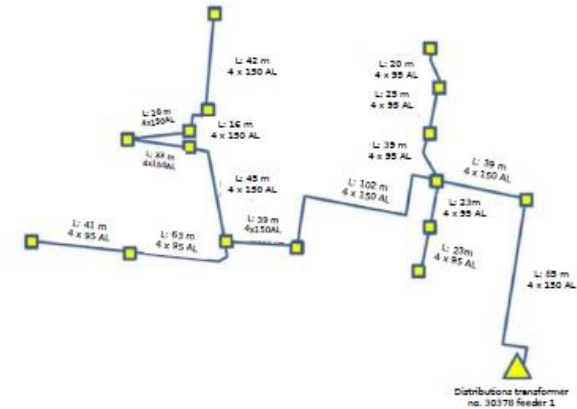
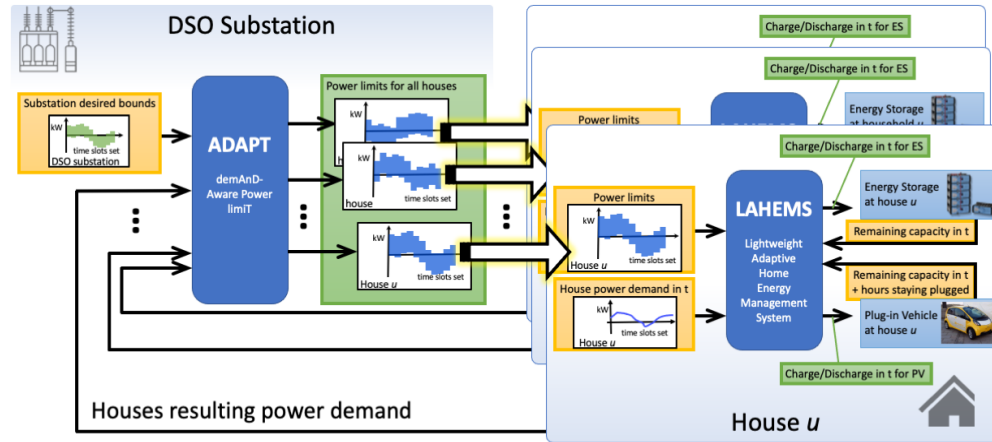
UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



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

# 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

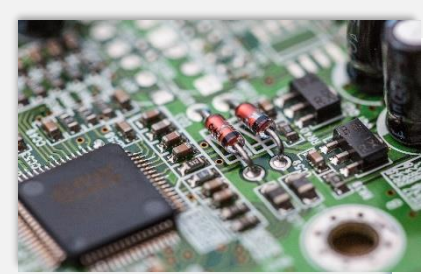


UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro



  
**Comunidad  
de Madrid**





# Instituto IMDEA Energía

## Laboratorio IMDEA-SEIL

Tercera anualidad 2021

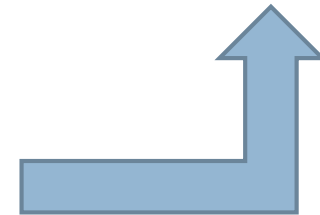
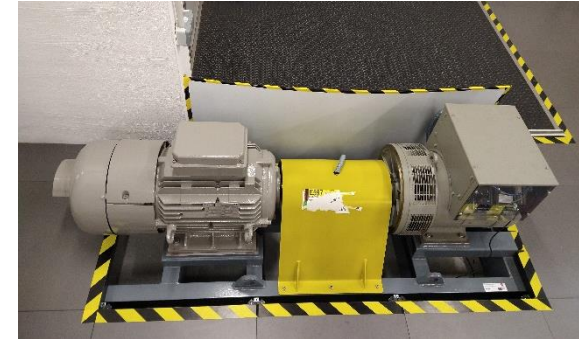
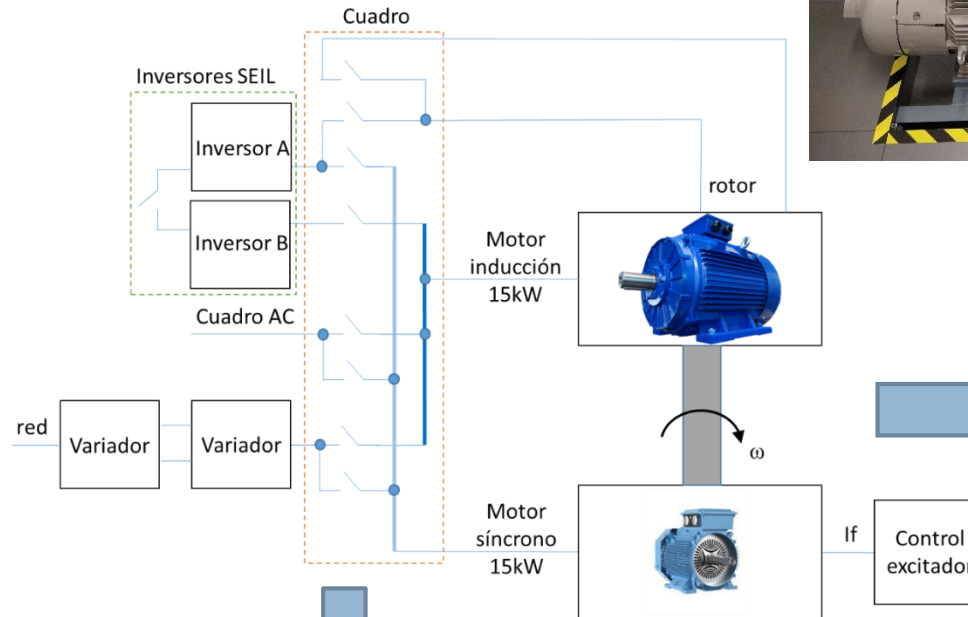
Web: [geiser.depeca.uah.es/promint](http://geiser.depeca.uah.es/promint)

- **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

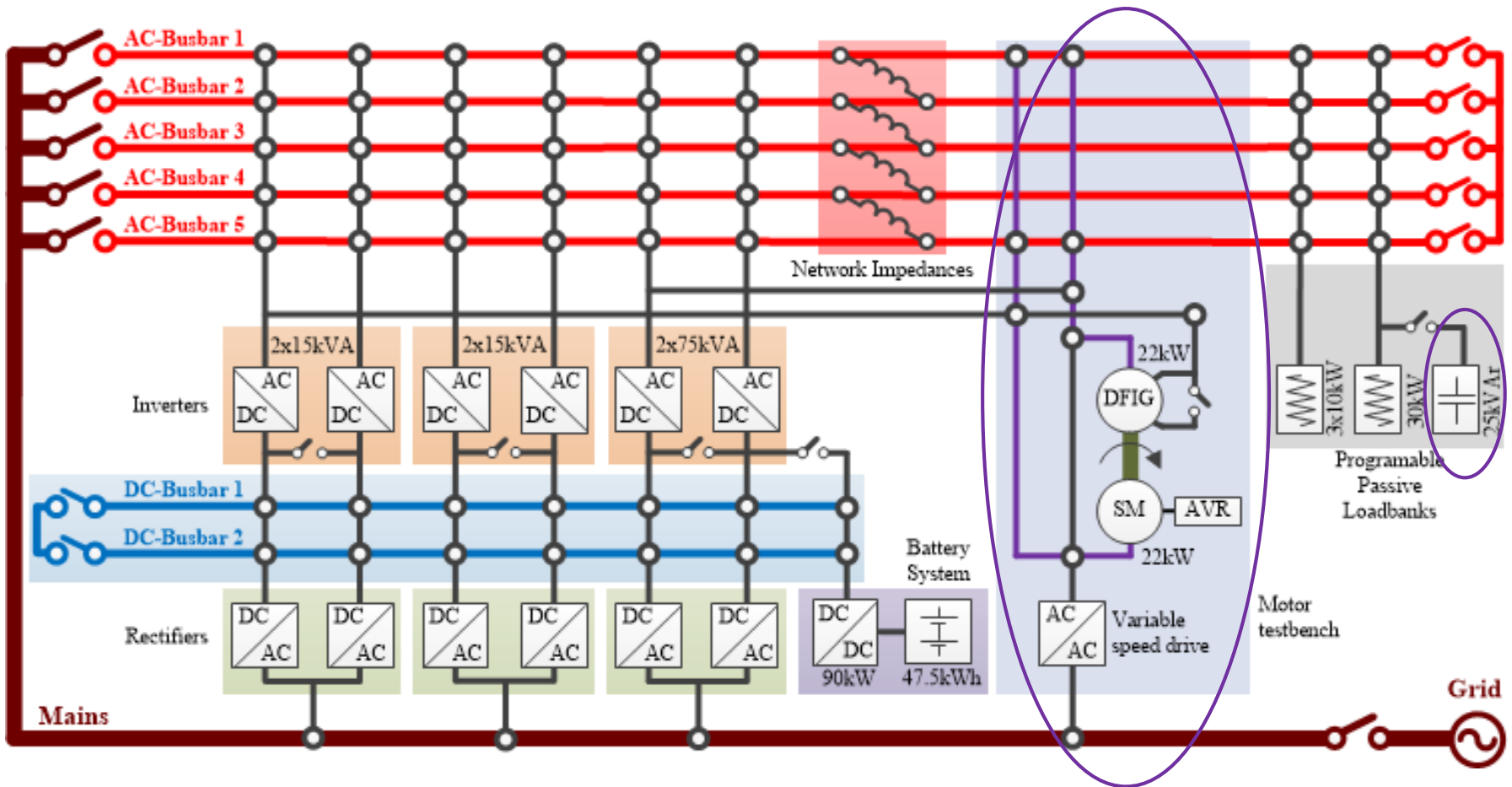
UNIÓN EUROPEA  
Fondos Estructurales  
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Social Europeo  
El FSE invierte en tu futuro

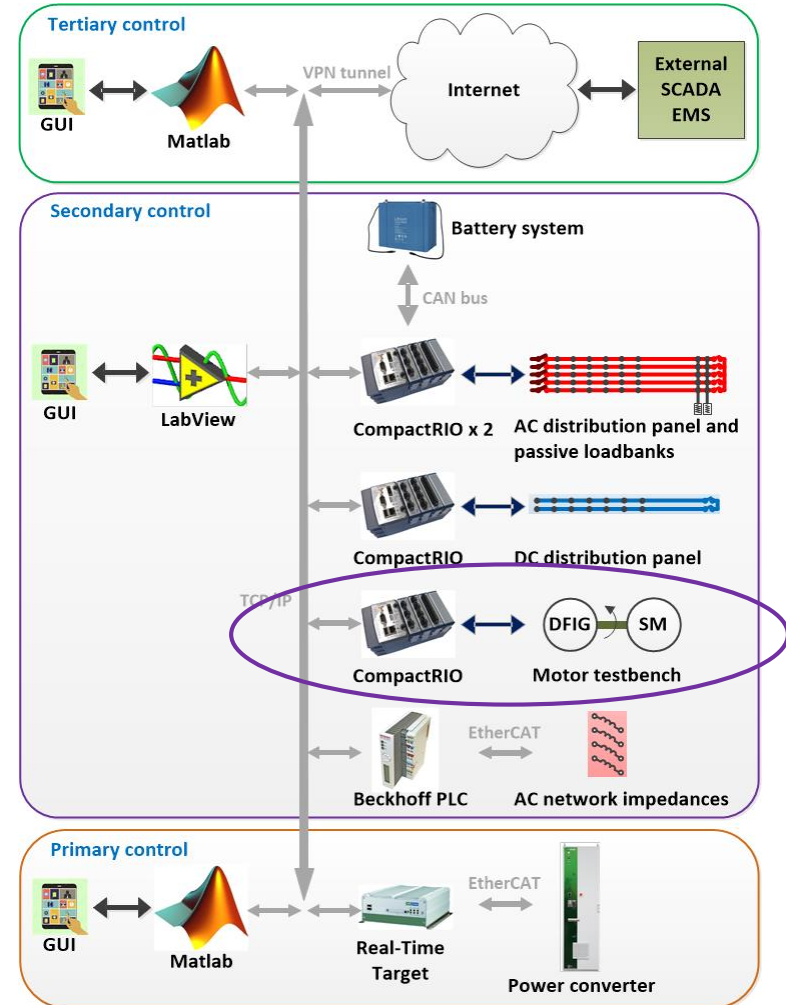


**Comunidad  
de Madrid**



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

