



Reunión del subcomité científico Presentación de avances

2 de diciembre de 2022

Grupo GCSP-UC3M

Web: geiser.depeca.uah.es/promint

Objetivo 4: Diseño e implementación de un sistema de gestión de energía para sistemas híbridos de generación renovable y almacenamiento en baterías.

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



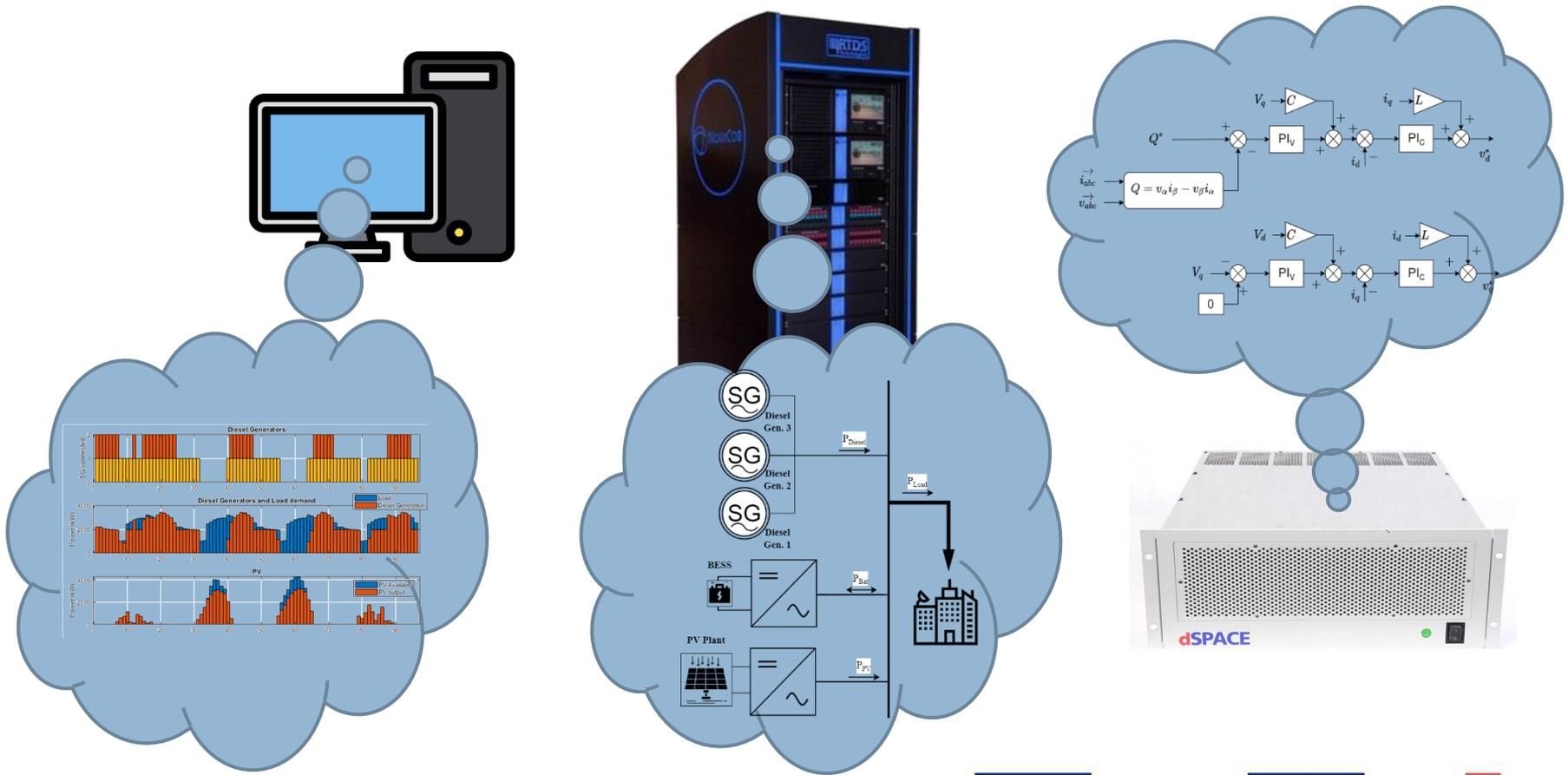
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




**Comunidad
de Madrid**

Implementación y validación experimental del EMS

- Capas de Control de la microrred en tiempo REAL



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



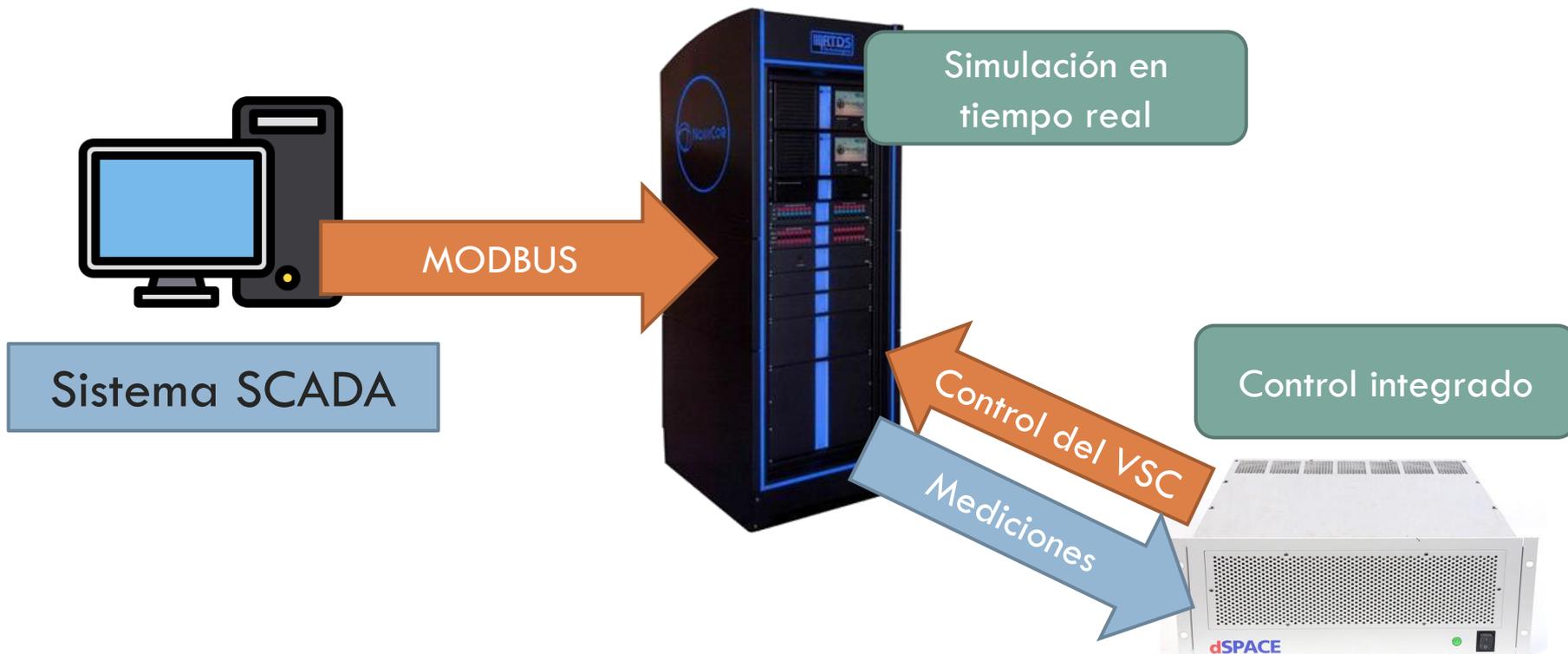
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad de Madrid

Implementación y validación experimental del EMS

- Capas de Control de la microrred en tiempo REAL



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



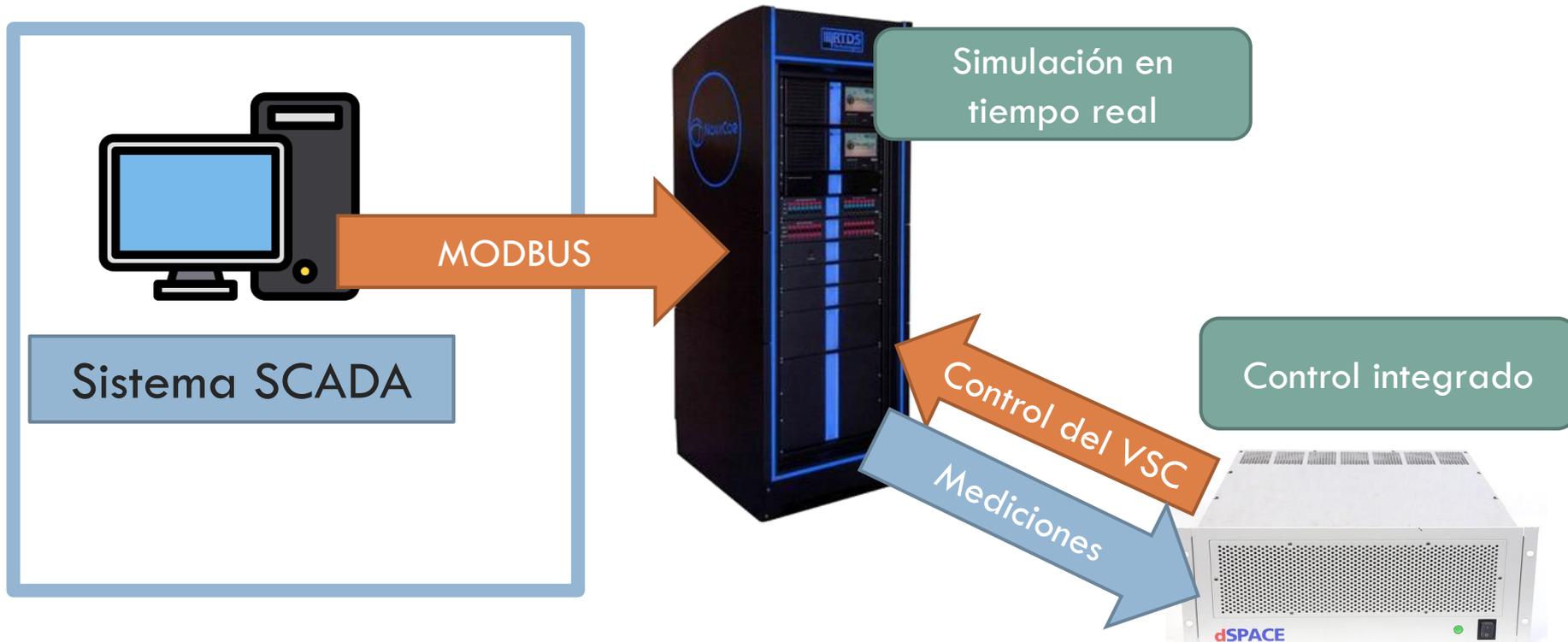
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Implementación y validación experimental del EMS

- Capas de Control de la microrred en tiempo REAL



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



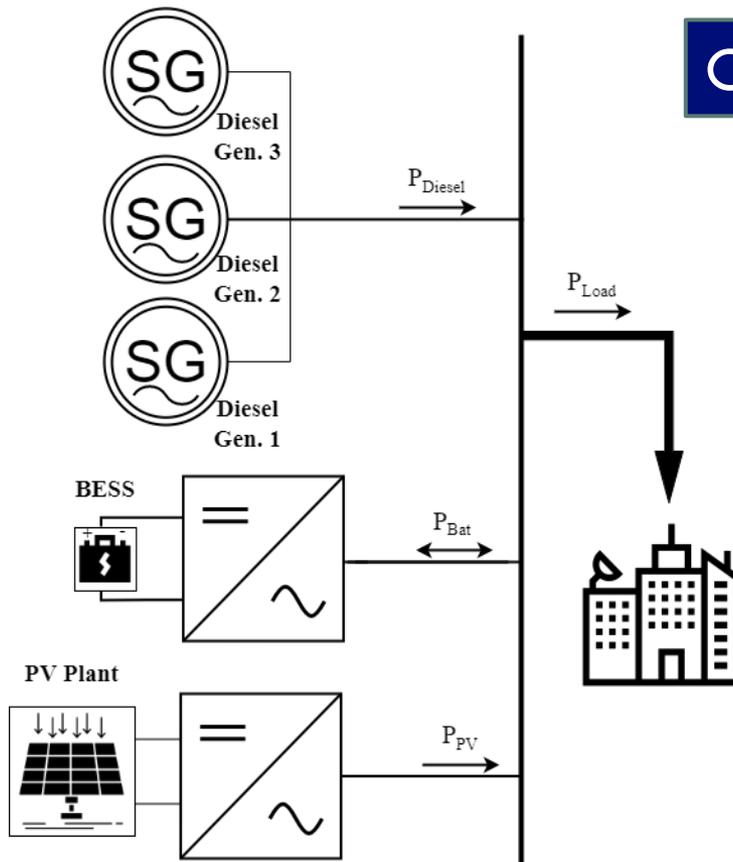
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




**Comunidad
de Madrid**

Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación



Objective function

$$\min \sum_{t=1}^K \left((n_{1,t} + n_{2,t} + n_{3,t}) * H^{COST} + (p_t^{GEN} * F^C) + (p_t^{BAT} * D^{COST}) \right)$$

$n_{i,t}$	→ Diesel generator status (ON=1, OFF=0)
H^{COST}	→ Hourly wearing cost of the diesel generators
p_t^{GEN}	→ Total power output of the diesel generators
F^C	→ Fuel cost
p_t^{BAT}	→ Absolute value of the hourly power of the battery
D^{COST}	→ Degradation cost of the BESS

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

Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

Restricciones

Balance de Potencia:

$$p_t^{\text{GEN}} = p_t^{\text{LOAD}} - p_t^{\text{PV}} - p_t^{\text{BAT}}$$

Potencia Fotovoltaica:

$$0 \leq p_t^{\text{PV}} \leq p_t^{\text{PV MAX}}$$

Batería:

$$p_t^{\text{BAT}} = p_t^{\text{DISCHARGE}} - p_t^{\text{CHARGE}}$$

$$(P^{\text{MAX BAT}} * n_t^{\text{C}}) \geq p_t^{\text{CHARGE}}$$

$$(P^{\text{MAX BAT}} * n_t^{\text{D}}) \geq p_t^{\text{DISCHARGE}}$$

$$(n_t^{\text{D}} + n_t^{\text{C}}) \leq 1$$



Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

Restricciones

Battery State of Charge (SoC):

$$SoC^{\text{MIN}} \leq SoC_t \leq SoC^{\text{MAX}}$$

$$SoC_{t+1} = SoC_t + (p_t^{\text{CHARGE}} * \eta^{\text{BAT}}) - (p_t^{\text{DISCHARGE}} / \eta^{\text{BAT}})$$

Restricciones técnicas del generador Diésel:

$$p_t^{\text{GEN}} \leq ((n_{1,t} + n_{2,t} + n_{3,t})) * 2000$$

$$p_t^{\text{GEN}} \geq ((n_{1,t} + n_{2,t} + n_{3,t})) * 400$$



Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

Restricciones

Requerimientos de reserva de potencia:

$$p_t^{RESERVE} \geq \max \left[\left((n_{1,t} + n_{2,t} + n_{3,t}) * 2000 \right) * 0.25, \quad (p_t^{PV} * 0.8) \right]$$

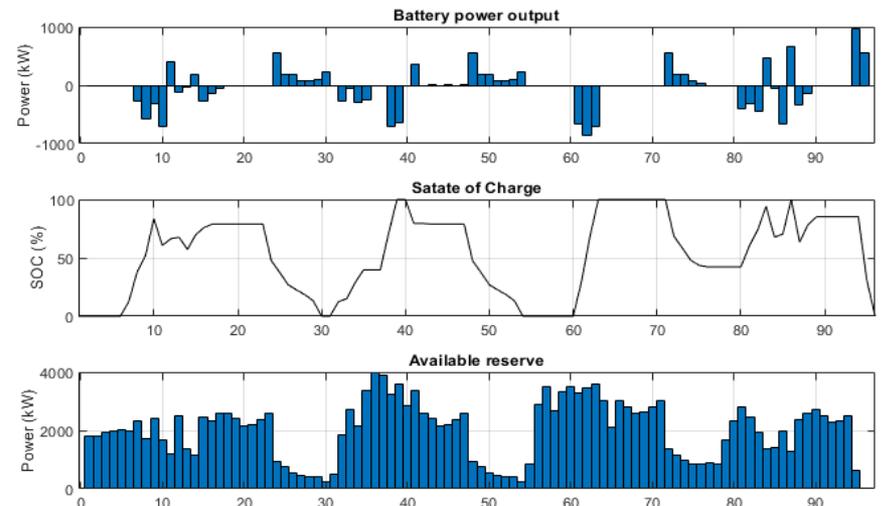
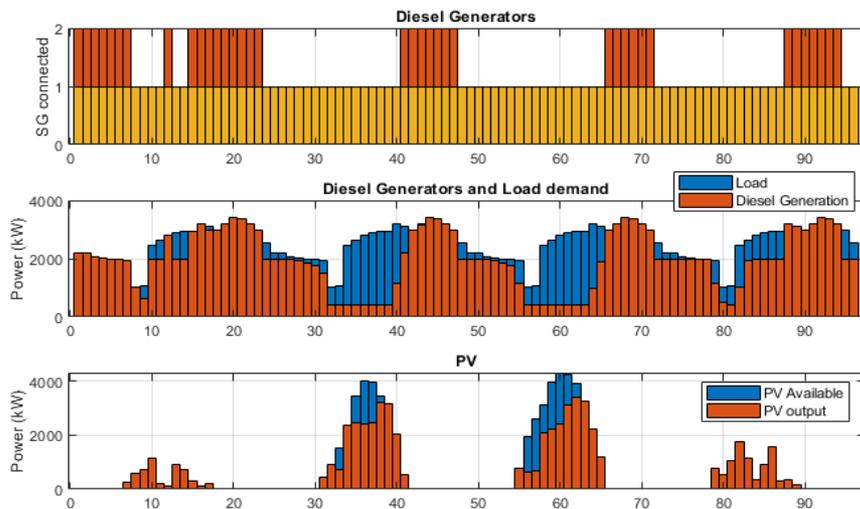
$$p_t^{RESERVE} = \left((n_{1,t} + n_{2,t} + n_{3,t}) * 2000 \right) - p_t^{GEN} + (p_t^{BAT MAX} - p_t^{BAT}) + (p_t^{PV MAX} - p_t^{PV})$$

Restricción técnica:

$$\underline{(n_{1,t} + n_{2,t} + n_{3,t}) \geq 1}$$

Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación
 - Planificación de 72h con una ventana de datos de 24h, ejecutada hora a hora



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



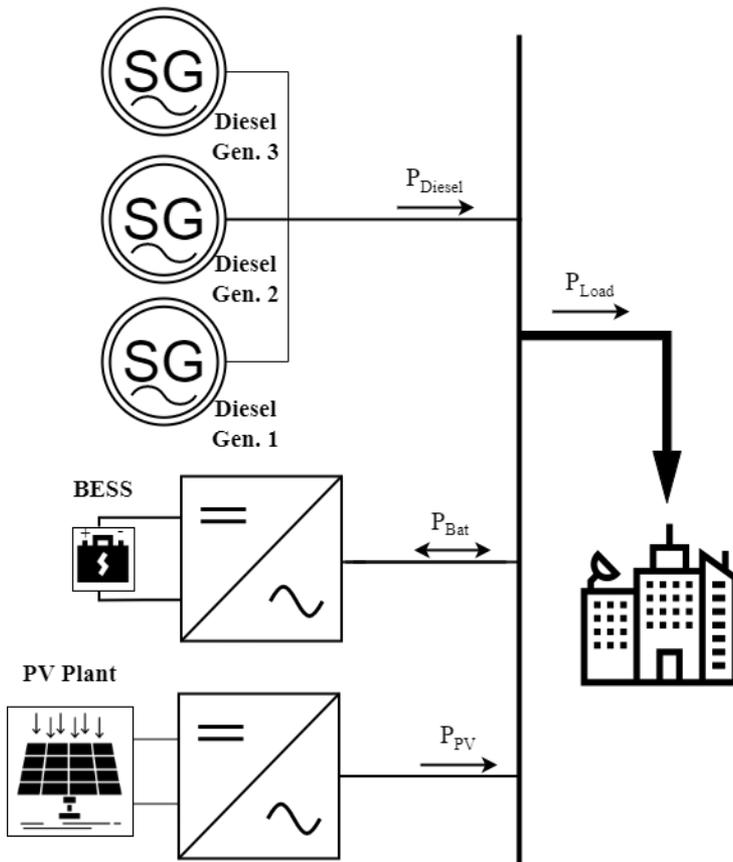
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación



$$p_{Gi} - P_{Di} = v_i \sum_{k=1}^n y_{ik} v_k \cos(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik})$$

$$q_{Gi} - Q_{Di} = v_i \sum_{k=1}^n y_{ik} v_k \sin(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik})$$

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**

Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación

$$p_{Gi} - P_{Di} = v_i \sum_{k=1}^n y_{ik} v_k \cos(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik}) \quad q_{Gi} - Q_{Di} = v_i \sum_{k=1}^n y_{ik} v_k \sin(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik})$$

n : el número de nudos en la red

(y_{ik}, θ_{ik}) : un número complejo que tiene módulo y_{ik} , y argumento θ_{ik} el cual depende de la topología y estructura física de la red

P_{Di} : la demanda de potencia activa en el nudo i

Q_{Di} : la demanda de potencia reactiva en el nudo i

\underline{V}_i : la cota inferior para el módulo del voltaje en el nudo i

\overline{V}_i : la cota superior para el módulo del voltaje en el nudo i

\underline{P}_{Gi} : la potencia activa de salida mínima del generador i

\overline{P}_{Gi} : la potencia activa de salida máxima del generador i

\underline{Q}_{Gi} : la potencia reactiva de salida mínima del generador i

\overline{Q}_{Gi} : la potencia reactiva de salida máxima del generador i

C_i : el precio por unidad de potencia activa en el generador i

Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

Restricciones

Requerimientos de reserva de potencia:

$$p_t^{RESERVE} \geq \max \left[\left((n_{1,t} + n_{2,t} + n_{3,t}) * 2000 \right) * 0.25, \quad (p_t^{PV} * 0.8) \right]$$

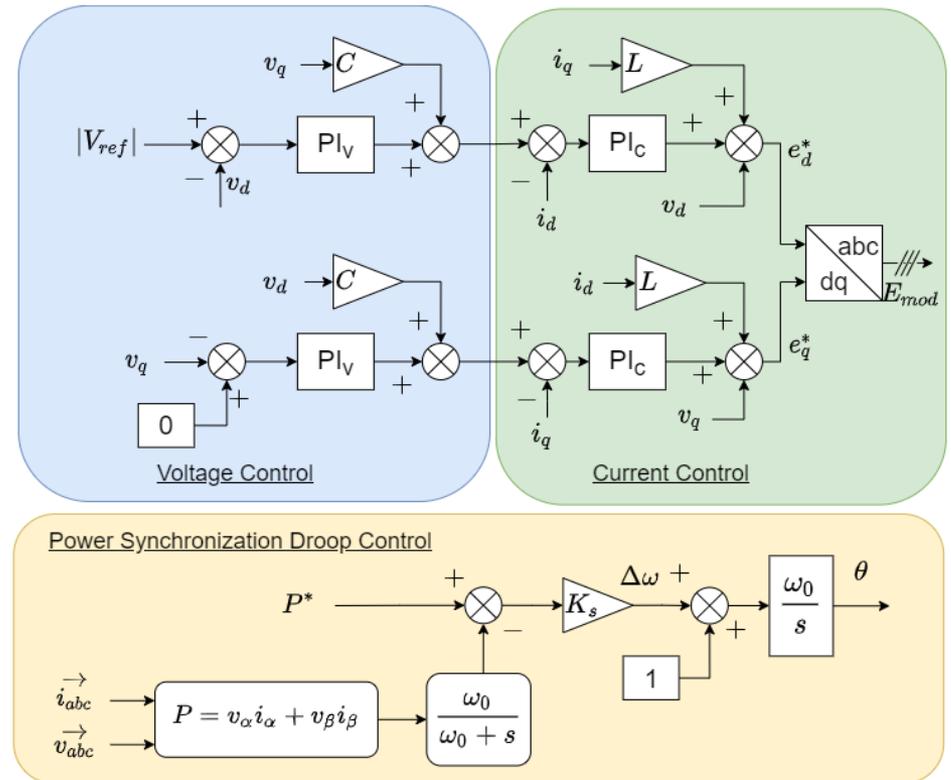
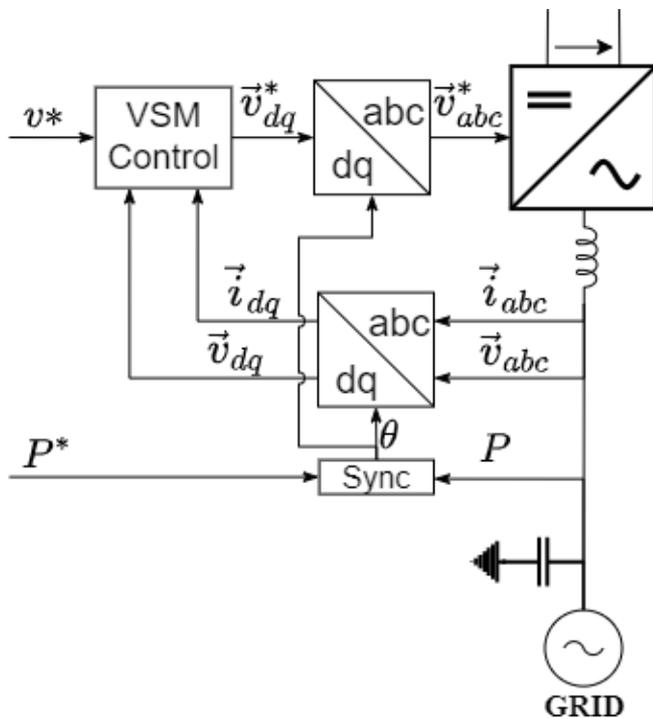
$$p_t^{RESERVE} = \left((n_{1,t} + n_{2,t} + n_{3,t}) * 2000 \right) - p_t^{GEN} + (p_t^{BAT MAX} - p_t^{BAT}) + (p_t^{PV MAX} - p_t^{PV})$$

Restricción técnica:

$$\underline{(n_{1,t} + n_{2,t} + n_{3,t}) \geq 1}$$

Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Esquema de control implementado modo Grid Forming

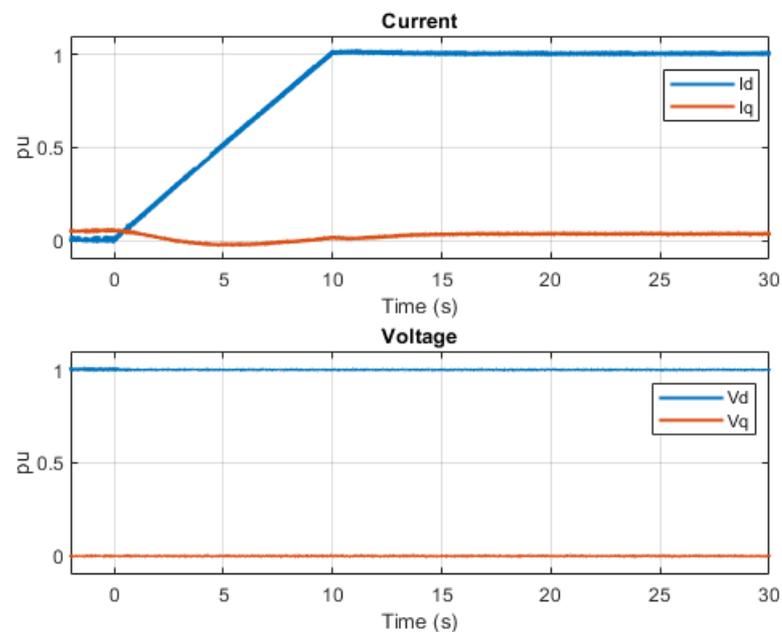
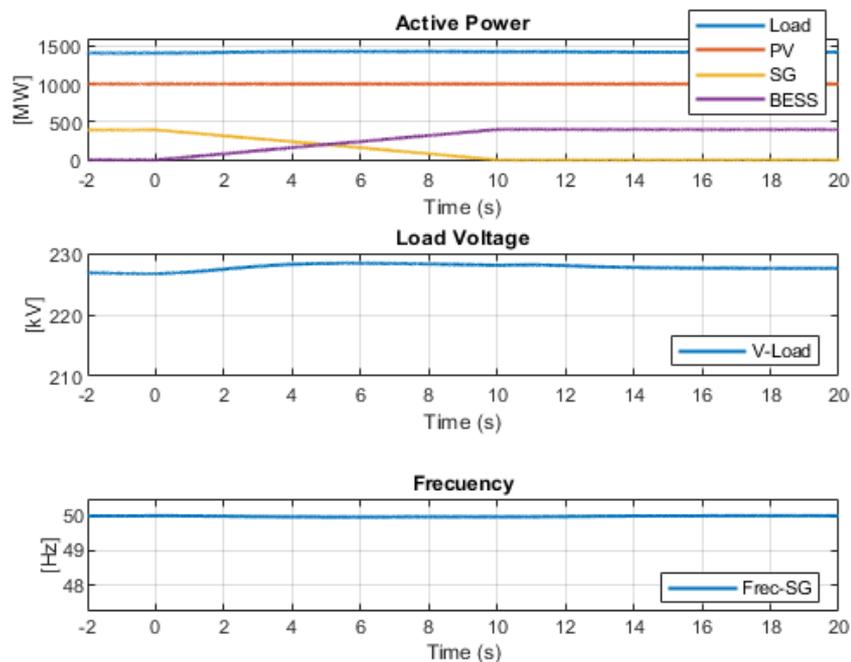


Implementación y validación experimental del EMS

- **Control Grid-Forming**

- Permite a la microrred operar en una red sin generación convencional

- **Prueba ante desconexión de la generación convencional**



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



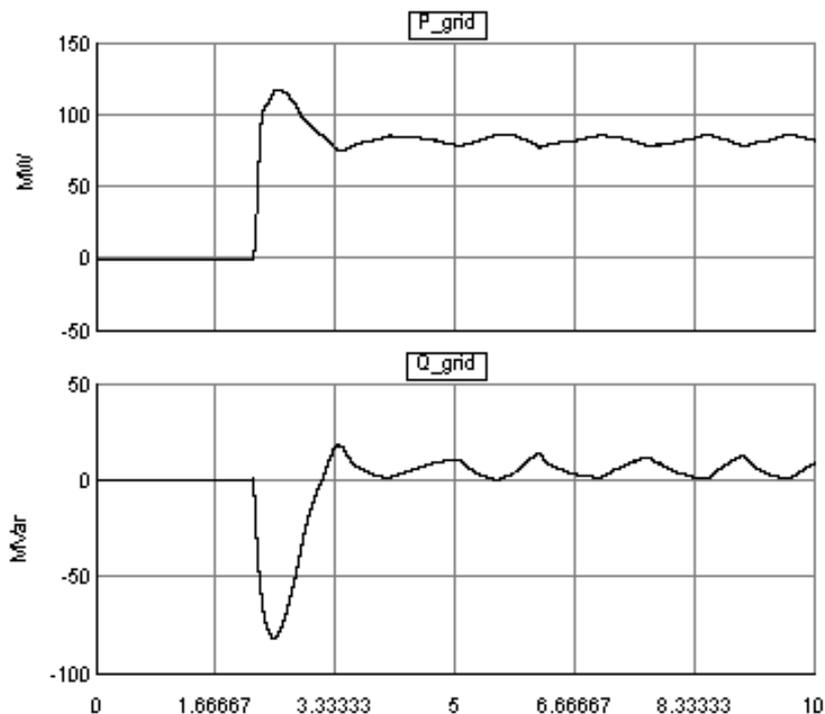
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



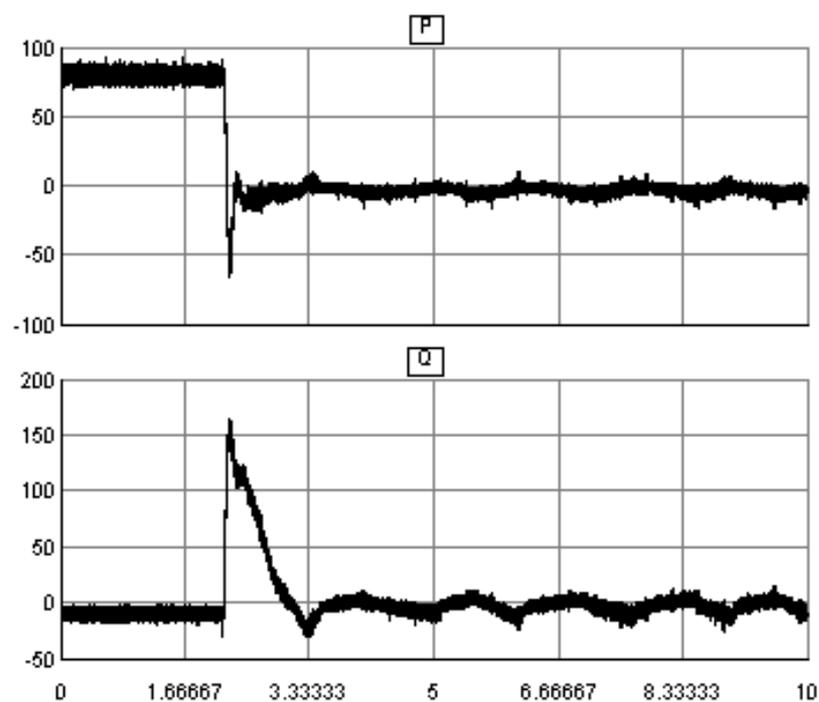
Implementación y validación experimental del EMS

- Recepción de las consignas en tiempo real
 - Ajuste de las potencias de salida a la reconexión de la generación síncrona

Gen. Diésel



BESS



PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



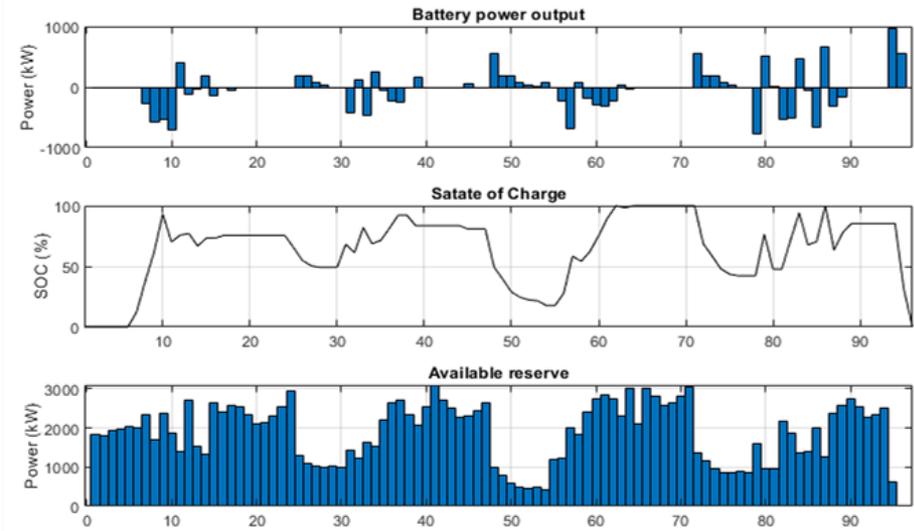
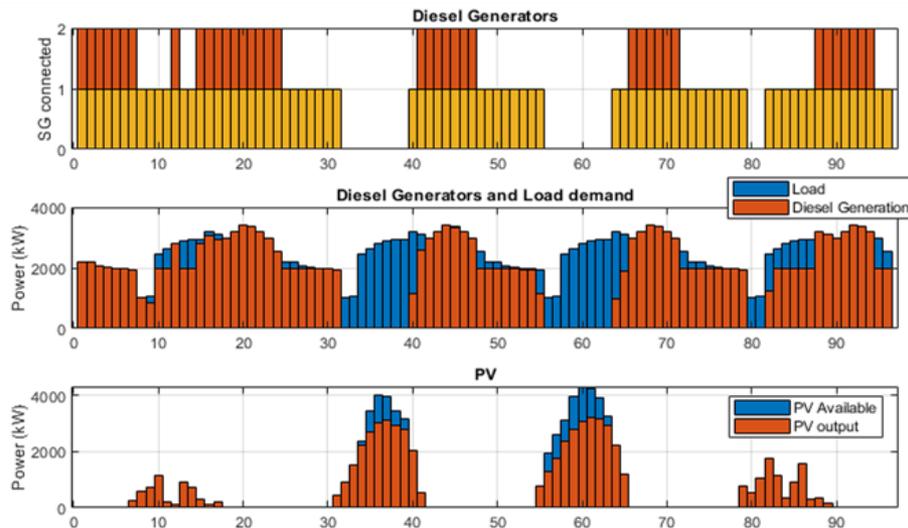
UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro



Comunidad
de Madrid

Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación
 - Planificación de 72h con una ventana de datos de 24h, ejecutada hora a hora



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

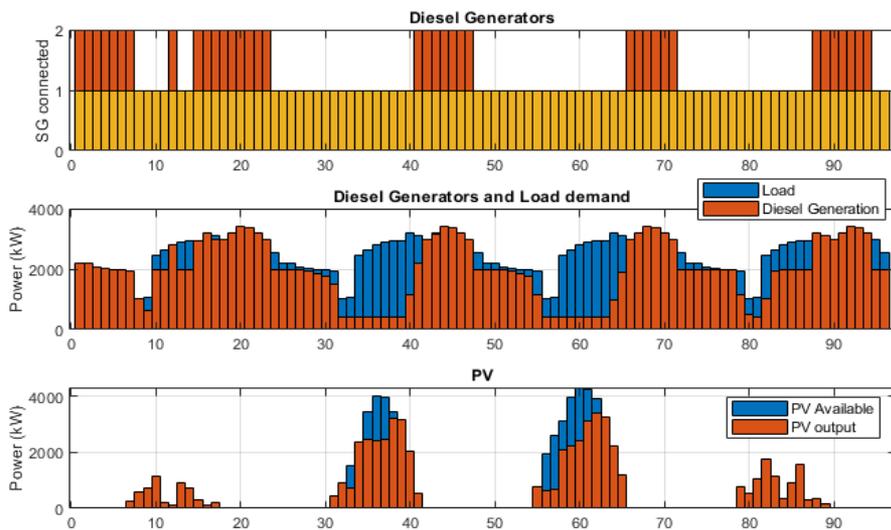


Comunidad
de Madrid

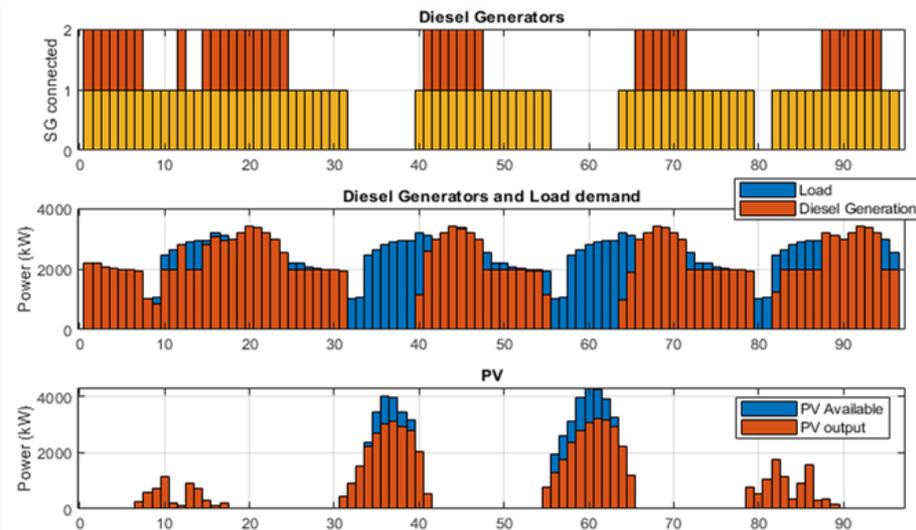
Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación
 - Planificación de 72h con una ventana de datos de 24h, ejecutada hora a hora

SIN GFC



CON GFC



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

Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

- Algoritmo de despacho óptimo de unidades de generación

1 Year Simulation	Base Case	With GFC
PV Plant		
Available Energy [kWh]	7,165,200	7,165,200
Final Energy [kWh]	6,231,800	6,532,800
Curtailement [kWh]	933,430	632,390
Curtailement [%]	13.03	8.83
Diesel Generators		
Total Energy [kWh]	16,164,000	15,865,000
Total Working hours [h]	11,245	9,467
BESS		
Discharged energy [kWh]	613,040	631,160
Charged energy [kWh]	758,110	779,210
Energy throughput [kWh]	1,371,150	1,410,370
Load		
Total Load [kWh]	22,250,228	22,250,228
Generation Cost [€]	4,336,231	4,100,300
Cost of Energy [€/kWh]	0.195	0.184

Diseño y simulación del sistema de gestión de energía para la operación del sistema híbrido

● Conclusiones

- Implementando un convertidor de tipo Grid-Forming, es posible operar una microrred sin generación síncrona conectada.

● Resultados en una simulación con datos anuales

- Reducción del PV curtailment: 32,2%
- Reducción de horas de funcionamiento de los GS: 15%
- Ahorro en el coste de generación: 5,5%

PROMINT-CM

PROgrama Microrredes INTeligentes Comunidad de Madrid

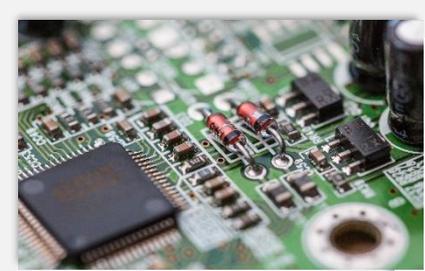
UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en tu futuro



UNIÓN EUROPEA
Fondo Social Europeo
El FSE invierte en tu futuro




**Comunidad
de Madrid**



Reunión del subcomité científico Presentación de avances

2 de diciembre de 2022

Grupo GCSP-UC3M

Web: geiser.depeca.uah.es/promint