



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Volumen II
Anexos

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

A background image of a large, ornate building with a central tower and many windows, likely a university building. The image is slightly faded and has a red border.

"OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS HÍBRIDAS AISLADAS"

TFG presentado para optar al GRADO en
INGENIERÍA de la ENERGÍA
Por **Marc Galceran Feixas**

Barcelona, 8 de Junio de 2016

Director: Mònica Aragüés Peñalba
Departamento de Ingeniería Eléctrica (EE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE ANEXOS

Índice Anexos	1
Anexo A: Parámetros del sistema.....	3
A.1. Datos de consumo.....	3
A.2. Datos de la planta fotovoltaica	4
A.3. Rendimiento de los generadores diesel.....	4
A.4. <i>Ramp Rate</i> de los generadores diesel.....	5
Anexo B: Resultados de las simulaciones	7
B.1. Simulación con perfil fotovoltaico 3.....	7
B.2. Simulación con perfil fotovoltaico 2.....	8
B.3. Simulación con perfil fotovoltaico 1.....	9
B.4. Datos del análisis de sensibilidad.....	10
B.4.1. Uso de la batería para $\phi_2=0.0$	10
B.4.2. Frecuencia relativa de los generadores diésel.....	10
B.5. Histograma de probabilidad de potencias	11

ANEXO A: PARÁMETROS DEL SISTEMA

A.1. Datos de consumo

Los datos de consumo diario con resolución horaria que se han usado para generar la curva de demanda aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Potencia de consumo real diaria con resolución horaria.

Tiempo	Potencia	Tiempo	Potencia
[h]	[pu]	[h]	[pu]
1	0.6279	13	0.6678
2	0.5806	14	0.6499
3	0.5533	15	0.6289
4	0.5470	16	0.6510
5	0.5607	17	0.7287
6	0.6163	18	0.8967
7	0.7329	19	0.9828
8	0.7843	20	0.9754
9	0.7465	21	0.9681
10	0.7203	22	0.9114
11	0.6930	23	0.8316
12	0.6825	24	0.7350

A.2. Datos de la planta fotovoltaica

La Tabla 2 muestra información sobre plantas fotovoltaicas existentes. La planta fotovoltaica de Milagro ha servido para conocer el orden de magnitud de algunos elementos de la microrred.

Tabla 2. Características y frecuencia cut-off estimada para diferentes plantas fotovoltaicas.

Planta PV	P_{pico} (kWp)	P_{transformer} (kW)	Superficie (Ha)	f_c (Hz)
Milagro Section 2	143	100	0.63	0.026
Arguedas	958	775	4.1	0.0098
Sesma	990	800	4.2	0.0088
Cintruénigo	1438	1155	6.4	0.0081
Rada	1790	1400	8.7	0.0072
Castejón	2640	2000	11.8	0.0069
Milagro	9400	7243	52	0.0032

A.3. Rendimiento de los generadores diesel

La Figura 1 muestra la curva de rendimiento del generador diesel síncrono usado en la microrred en función de la potencia eléctrica. Todos los generadores tienen las mismas características.

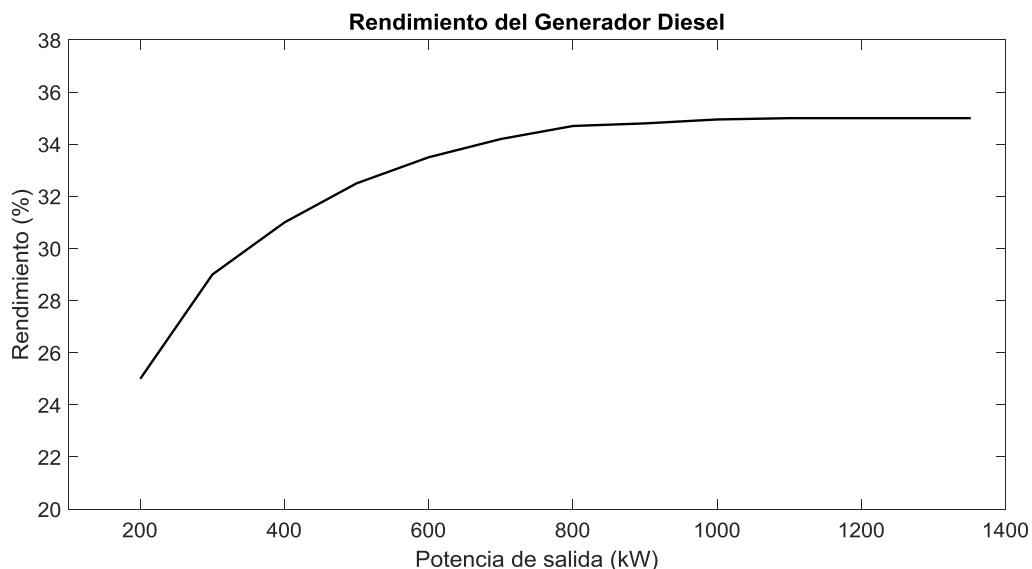


Figura 1. Rendimiento de los generadores diesel.

A.4. Ramp Rate de los generadores diesel

La Tabla 3 muestra las características técnicas de los generadores diesel. Para el cálculo de la potencia máxima que pueden entregar entre intervalos de simulación se requiere el *ramp power rate* (r_{diesel}^d).

Tabla 3. Características de los generadores diesel.

Ud.	P_{diesel}^n	P_{diesel}^{max}	P_{diesel}^{min}	r_{diesel}^d
nº	[kW]	[kW]	[kW]	[kW/s]
d	1100	1350	200	110

El r_{diesel}^d de la Tabla 3 está en kW/s por lo que se debe pasar a minutos (intervalo de simulación de 1 minuto). La ecuación A.1 muestra como se obtiene el valor deseado.

$$r_{diesel}^d \left[\frac{kW}{min} \right] = r_{diesel}^d \left[\frac{kW}{s} \right] \cdot \frac{60s}{1min} = 6600 \frac{kW}{min} \quad (\text{A.1})$$

$$r_{diesel}^d \left[\frac{kW}{min} \right] > P_{diesel}^{max} \quad (\text{A.2})$$

ANEXO B:

RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

En este anexo se muestran los resultados numéricos y gráficos de las simulaciones realizadas en GAMS[®] y MATLAB[®] que no aparecen en la memoria que se consideran relevantes.

B.1. Simulación con perfil fotovoltaico 3

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la simulación con perfil fotovoltaico P_{PV3}^{max} . La Tabla 4 muestra las energías entregadas a la red por la planta fotovoltaica, los generadores diésel y las baterías. La Tabla 5 muestra la energía entregada por cada generador diésel a la microred a lo largo del período de simulación en MWh. La Tabla 6 muestra la frecuencia relativa para las potencias eléctricas de 200, 1100 y 1350kW entregadas por los generadores diésel.

Tabla 4. Energía entregada a la microred para el perfil fotovoltaico 3.

E_{pv}	E_{diesel}	$E_{battery}$
[MWh]	[MWh]	[MWh]
79.50	105.50	0.60

Tabla 5. Energía de cada generador diésel para el perfil fotovoltaico 3.

E_{diesel}^1	E_{diesel}^2	E_{diesel}^3	E_{diesel}^4	E_{diesel}^5	E_{diesel}^6	E_{diesel}^7	E_{diesel}^8	E_{diesel}^9
[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
20.09	19.83	20.01	13.44	11.17	7.31	4.81	4.70	4.07

Tabla 6. Frecuencia relativa de los diésel para el perfil fotovoltaico 3.

$f_r(P_{200})$	$f_r(P_{1100})$	$f_r(P_{1350})$
[%]	[%]	[%]
10.22	35.56	1.45

B.2. Simulación con perfil fotovoltaico 2

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la simulación con perfil fotovoltaico P_{PV2}^{max} . La Tabla 7 muestra las energías entregadas a la red por la planta fotovoltaica, los generadores diésel y las baterías. La Tabla 8 muestra la energía entregada por cada generador diésel a la microred a lo largo del período de simulación en MWh. La Tabla 9 muestra la frecuencia relativa para las potencias eléctricas de 200, 1100 y 1350kW entregadas por los generadores diésel.

Tabla 7. Energía entregada a la microred para el perfil fotovoltaico 2.

E_{PV}	E_{diesel}	E_{battery}
[MWh]	[MWh]	[MWh]
8.58	176.32	0

Tabla 8. Energía de cada generador diésel para el perfil fotovoltaico 2.

E_{diesel}^1	E_{diesel}^2	E_{diesel}^3	E_{diesel}^4	E_{diesel}^5	E_{diesel}^6	E_{diesel}^7	E_{diesel}^8	E_{diesel}^9
[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
25.40	26.36	26.90	25.31	23.91	21.49	12.53	7.79	7.13

Tabla 9. Frecuencia relativa de los diésel para el perfil fotovoltaico 2.

$f_r(P_{200})$	$f_r(P_{1100})$	$f_r(P_{1350})$
[%]	[%]	[%]
2.62	63.12	2.73

B.3. Simulación con perfil fotovoltaico 1

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la simulación con perfil fotovoltaico P_{PV2}^{max} . La Tabla 10 muestra las energías entregadas a la red por la planta fotovoltaica, los generadores diésel y las baterías. La Tabla 11 muestra la energía entregada por cada generador diésel a la microrred a lo largo del período de simulación en MWh. La Tabla 12 muestra la frecuencia relativa para las potencias eléctricas de 200, 1100 y 1350kW entregadas por los generadores diésel.

Tabla 10. Energía entregada a la microrred para el perfil fotovoltaico 1.

E_{PV}	E_{diesel}	$E_{battery}$
[MWh]	[MWh]	[MWh]
50.91	134.16	0.99

Tabla 11. Energía de cada generador diésel para el perfil fotovoltaico 1.

E_{diesel}^1	E_{diesel}^2	E_{diesel}^3	E_{diesel}^4	E_{diesel}^5	E_{diesel}^6	E_{diesel}^7	E_{diesel}^8	E_{diesel}^9
[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
24.06	24.41	24.44	18.07	16.83	9.48	6.61	5.69	5.09

Tabla 12. Frecuencia relativa de los diésel para el perfil fotovoltaico 1.

$f_r(P_{200})$	$f_r(P_{1100})$	$f_r(P_{1350})$
[%]	[%]	[%]
4.80	48.49	1.35

B.4. Datos del análisis de sensibilidad

En este apartado se muestran datos del análisis de sensibilidad realizado a los parámetros de la función multi-objetivo.

B.4.1. Uso de la batería para $\phi_2=0.0$

La Figura 2 muestra el estado de carga de la batería para un factor de operación de batería de 0. Los otros parámetros de la función objetivo son los óptimos hallados. Las líneas en rojo determinan los límites del estado de carga (20 y 90%).

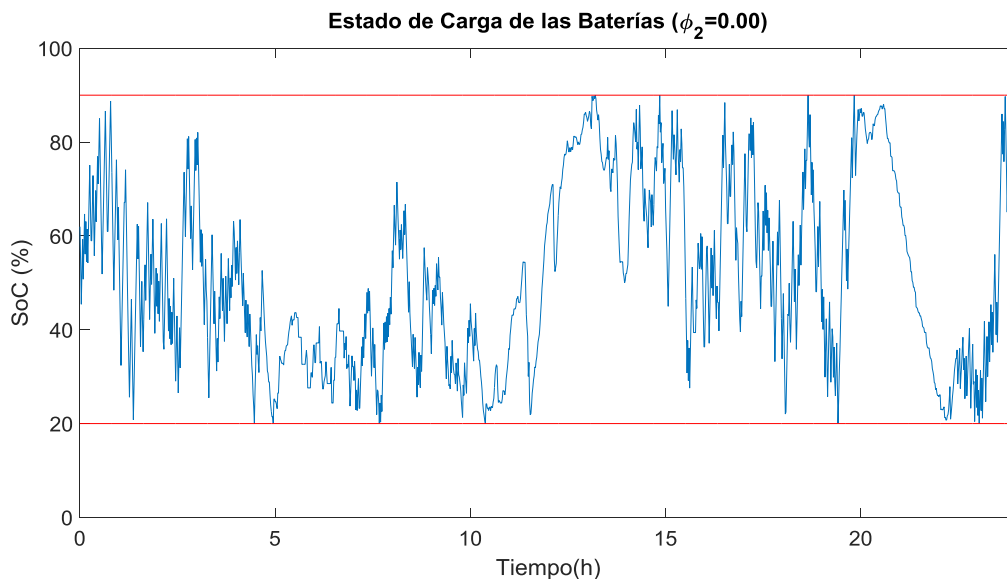


Figura 2. Estado de carga de la batería para $\phi_2=0$.

B.4.2. Frecuencia relativa de los generadores diésel

La Tabla 13 muestra la frecuencia relativa de los generadores diésel para distintos valores del parámetro ψ .

Tabla 13. Frecuencia relativa de los diésel para el perfil fotovoltaico 1.

ψ	$f_r(P_{200})$	$f_r(P_{1100})$	$f_r(P_{1350})$
[pu]	[%]	[%]	[%]
0.00	16.98	34.47	1.47
0.25	9.90	35.61	1.43
0.50	10.22	35.59	1.28
0.75	10.25	35.64	1.38
1.00	9.90	35.79	1.45

B.5. Histograma de probabilidad de potencias

La Figura 3 muestra la frecuencia relativa de la potencia eléctrica del conjunto de generadores diesel con una optimización de la operación basada en el rendimiento. Este histograma se ha realizado con una variación de la función objetivo, en vez de maximizar la potencia fotovoltaica se ha optimizado el rendimiento de los generadores diésel.

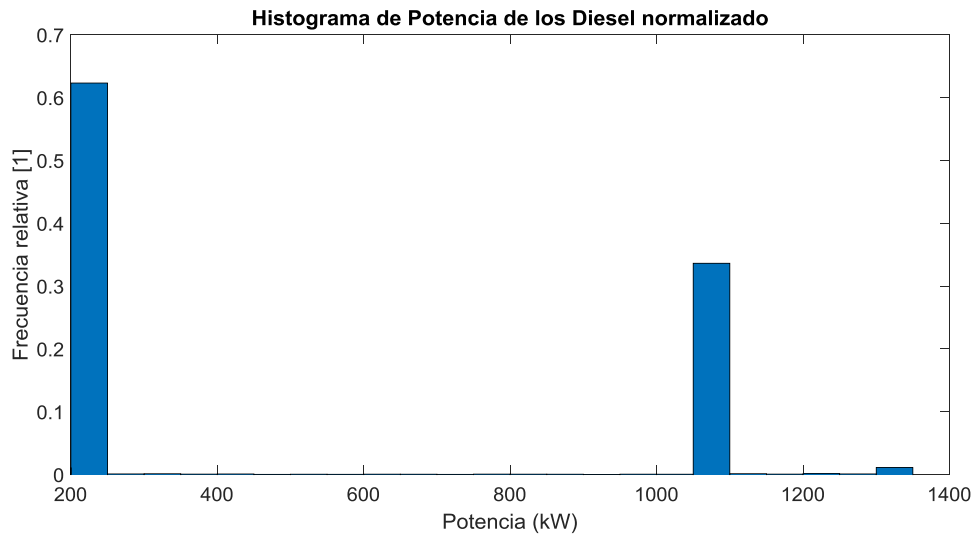


Figura 3. Frecuencia relativa de la potencia de los generadores diesel.