

7 Ensayos

7.1 Caracterización de pila de combustible

Con el objetivo estudiar mejor el comportamiento y caracterizar la pila de combustible se ha procedido al ensayo de la pila.

El ensayo ha consistido en la demanda de potencia a la pila de combustible a saltos de potencia en el rango de 100 a 600 W. Y la medida del caudal másico de hidrógeno consumido.

Obteniendo los siguientes resultados:

Pot (W)	NI/min
100	0,57
156	0,82
206	1,07
256	1,32
306	1,53
357,5	1,755
402	2,1
458,5	2,315
510	2,6
558	2,8
619	3,1

Tabla 17: Resultados de caracterización de pila de combustible

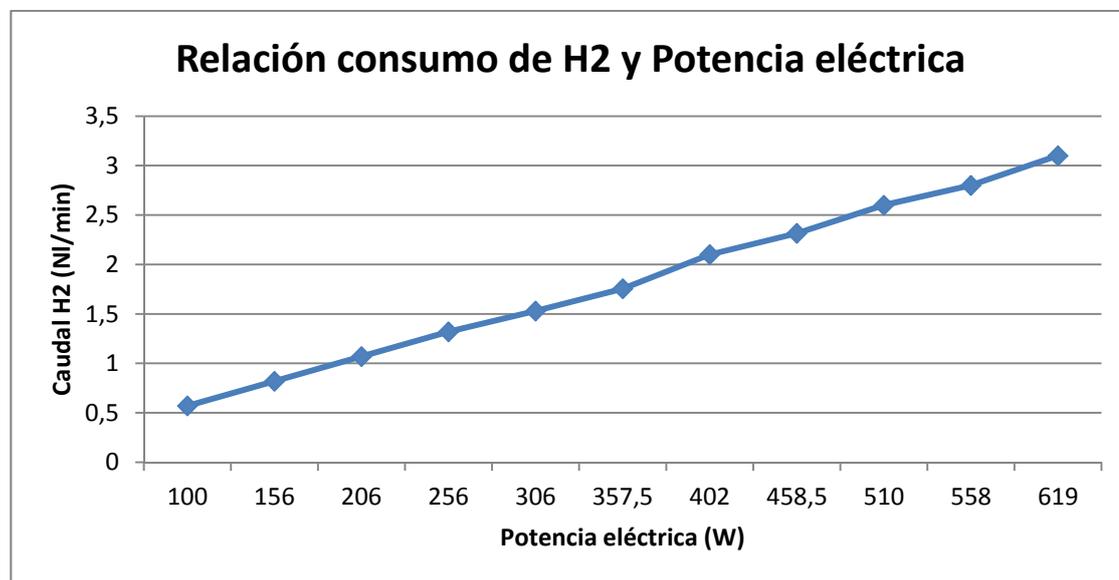


Ilustración 96 - Gráfica de caracterización de la pila de combustible

Con los datos de densidad y Poder Calorífico Inferior, podemos hallar el rendimiento energético de la pila de combustible para diferentes potencias eléctricas de funcionamiento.

$$\rho = 0'0899 \text{ kg} / \text{Nm}^3; \quad PCI = 120 \text{ MJ} / \text{kg}$$

P eléctrica (W)	Rend
100	48,8%
156	52,9%
206	53,5%
256	53,9%
306	55,6%
357,5	56,6%
402	53,2%
458,5	55,1%
510	54,5%
558	55,4%
619	55,5%

Gráficamente:

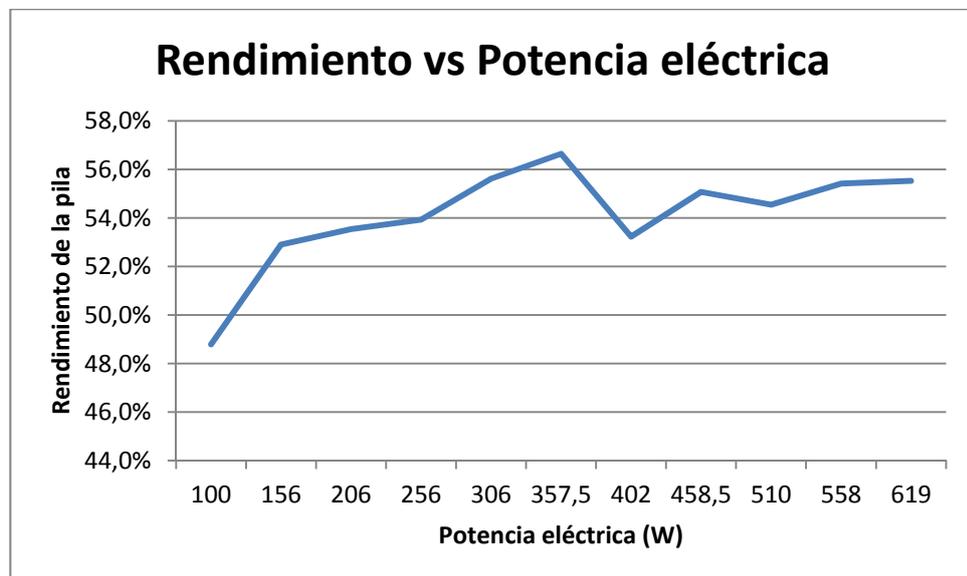


Ilustración 97 - Rendimiento de la pila vs potencia eléctrica

Siendo el punto de máximo rendimiento a 357 W, con un rendimiento del 56'6%.

7.2 Caracterización de electrolizador

También se ha procedido a realizar un ensayo similar al de la pila de combustible, inyectando una potencia en el electrolizador y midiendo el caudal másico de hidrógeno generado.

El ensayo se ha realizado inyectando saltos de potencia entre 100 y 650W.

Pot elec (W)	Q H2 (NI/min)
100	0,40142356
200	0,83244531
300	1,28155654
400	1,69229497
500	2,07683701
600	2,48669119

Tabla 18: Resultados de caracterización del electrolizador

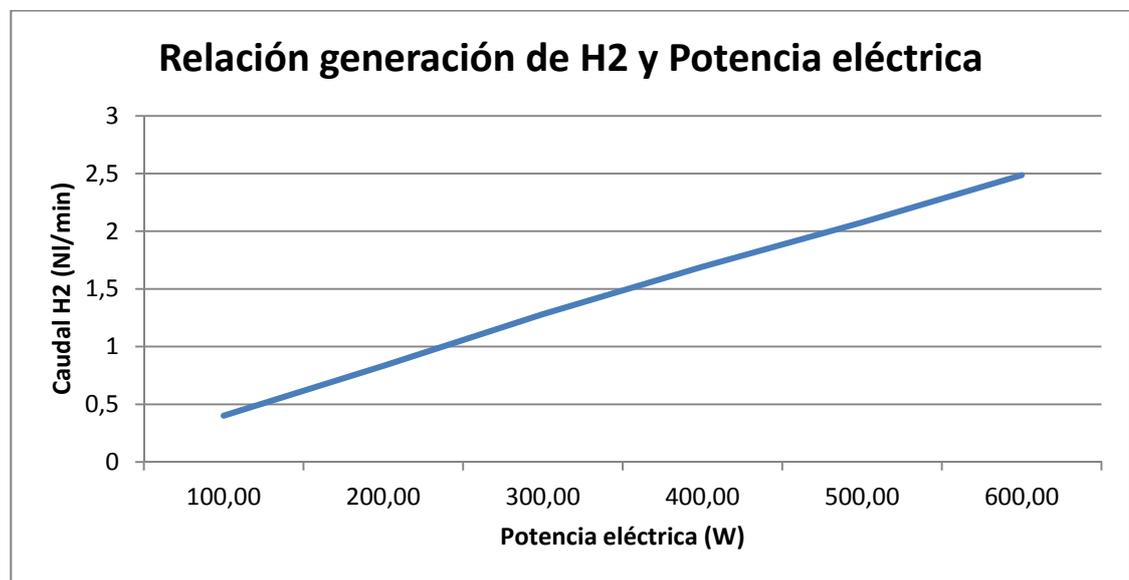


Ilustración 98 - Gráfica de caracterización del electrolizador

Siguiendo una recta prácticamente lineal

Con los datos de densidad y Poder Calorífico Inferior, podemos hallar el rendimiento energético de la pila de combustible para diferentes potencias eléctricas de funcionamiento.

$$\rho = 0,0899 \text{ kg/Nm}^3; \quad PCI = 120 \text{ MJ/kg}$$

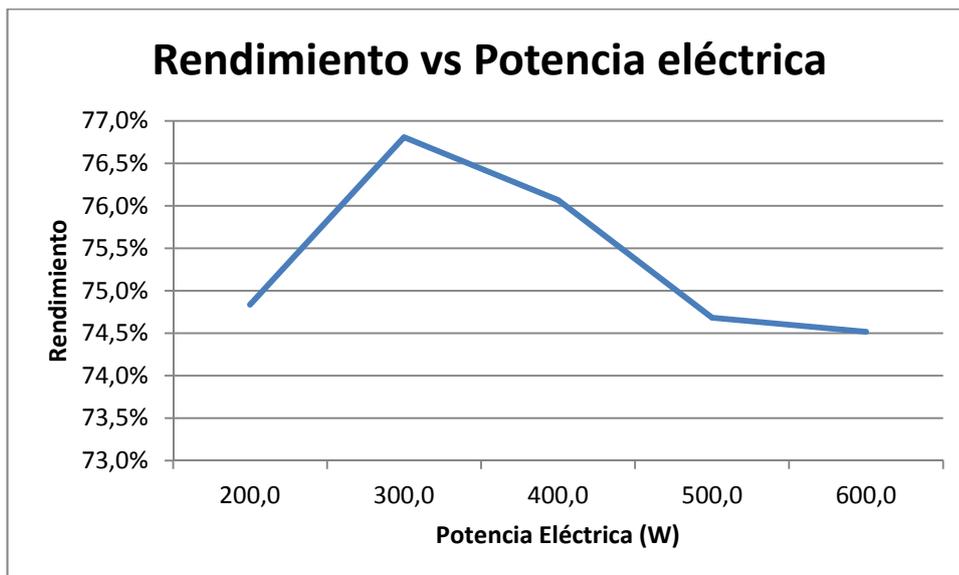


Ilustración 99 - Rendimiento del electrolizador vs Potencia eléctrica

El electrolizador encuentra su punto de máxima eficiencia para 300 W, con un rendimiento del 76'8%.

7.3 Caracterización de convertidores dc/dc

7.3.1 Convertidor de pila de combustible

Se ha procedido a caracterizar el rendimiento del convertidor de la pila de combustible a diferentes potencias.

Para ello se ido asignando saltos de potencia de consigna y midiendo la potencia en el lado del bus de corriente, y en lado de la pila de combustible.

Los resultados han sido:

Pot pila (W)	Pot bus (W)	Rendimiento
100	65	65,0%
156	120	76,9%
206	170	82,5%
256	219	85,5%
306	272	88,9%
357,5	310	86,7%
402	366	91,0%
458,5	415	90,5%
510	462	90,6%
558	510,5	91,5%
619	559	90,3%

Tabla 19: Resultados de caracterización de convertidor de pila de combustible

Gráficamente

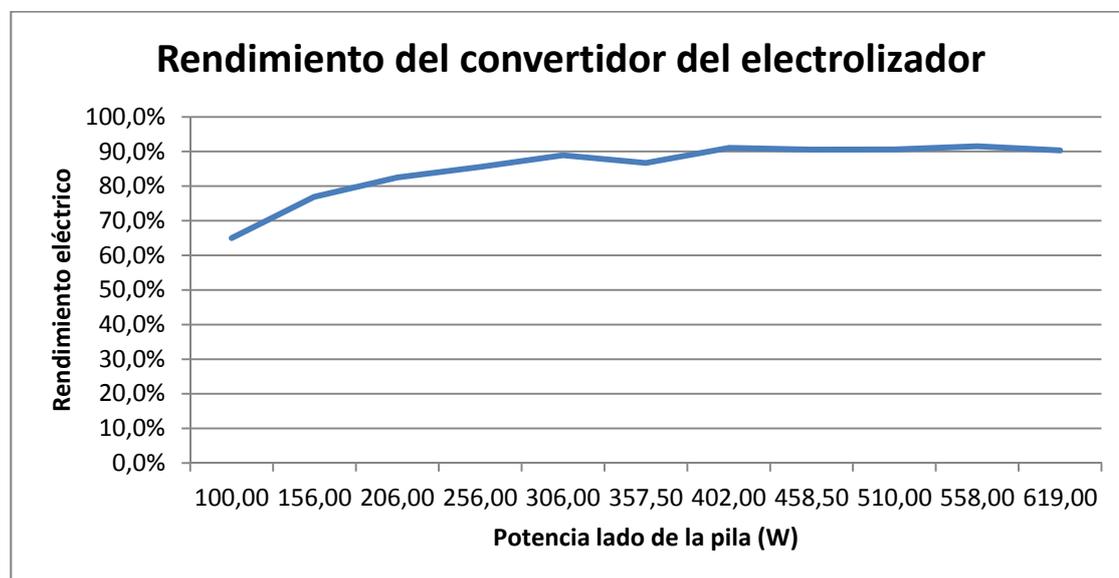


Ilustración 100 - Gráfica de caracterización de convertidor de pila de combustible

El resultado de cruzar los datos de rendimiento de la pila de combustible con el del convertidor de la pila de combustible, obtenemos los siguientes datos de rendimiento para el conjunto Pila+convertidor.

P eléctrica bus (W)	Rend. convertidor pila
65	31,7%
120	40,7%
170	44,2%
219	46,1%
272	49,4%
310	49,1%
366	48,5%
415	49,9%
462	49,4%
510,5	50,7%
559	50,1%

Gráficamente:

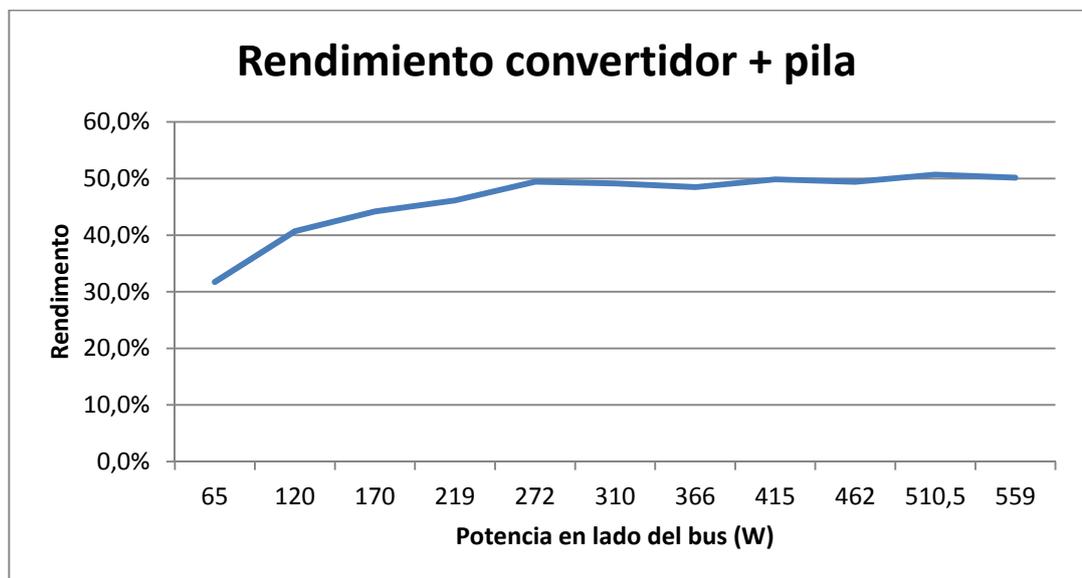


Ilustración 101 - Rendimiento convertidor + pila

El punto de máxima eficiencia se encuentra para una potencia de 510 W, con un rendimiento del 50'7%.

7.3.2 Convertidor del electrolizador

Análogamente se ha procedido a caracterizar el convertidor del electrolizador.

Obteniendo los siguientes resultados:

Pot electrolizador (W)	Pot bus (W)	Rendimiento
100	102,421575	97,6%
200	206,835974	96,7%

300	315,994423	94,9%
400	425,947084	93,9%
500	535,451956	93,4%
600	645,455765	93,0%

Tabla 20: Resultados de caracterización de convertidor del electrolizador

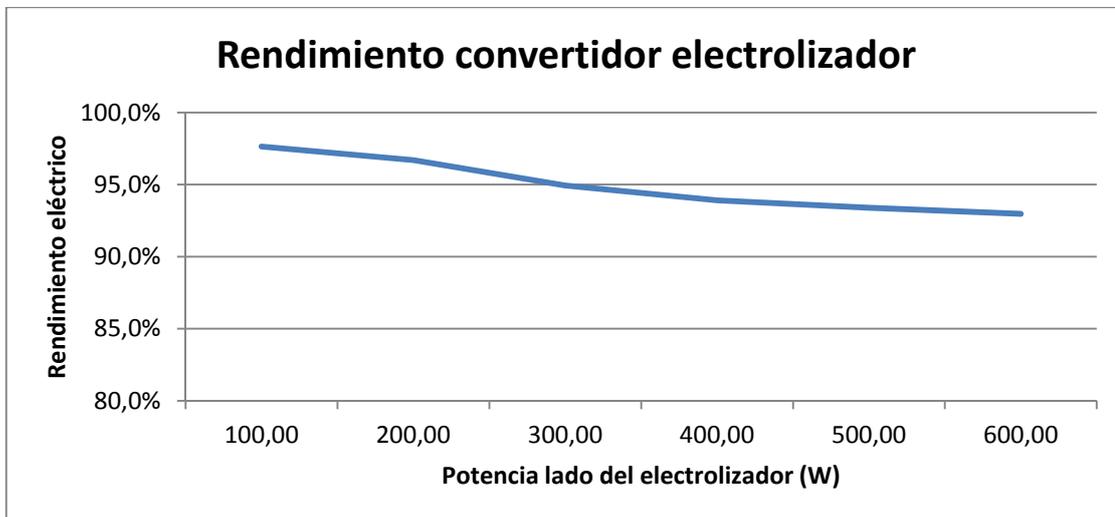


Ilustración 102 - Gráfica de caracterización de convertidor del electrolizador

El resultado de cruzar los datos de rendimiento del electrolizador con el del convertidor del electrolizador, obtenemos los siguientes datos de rendimiento para el conjunto electrolizador+convertidor.

P eléctrica bus (W)	Rend Electrolizador + Convertidor
206,835974	72,4%
315,994423	72,9%
425,947084	71,4%
535,451956	69,7%
645,455765	69,3%

Gráficamente:

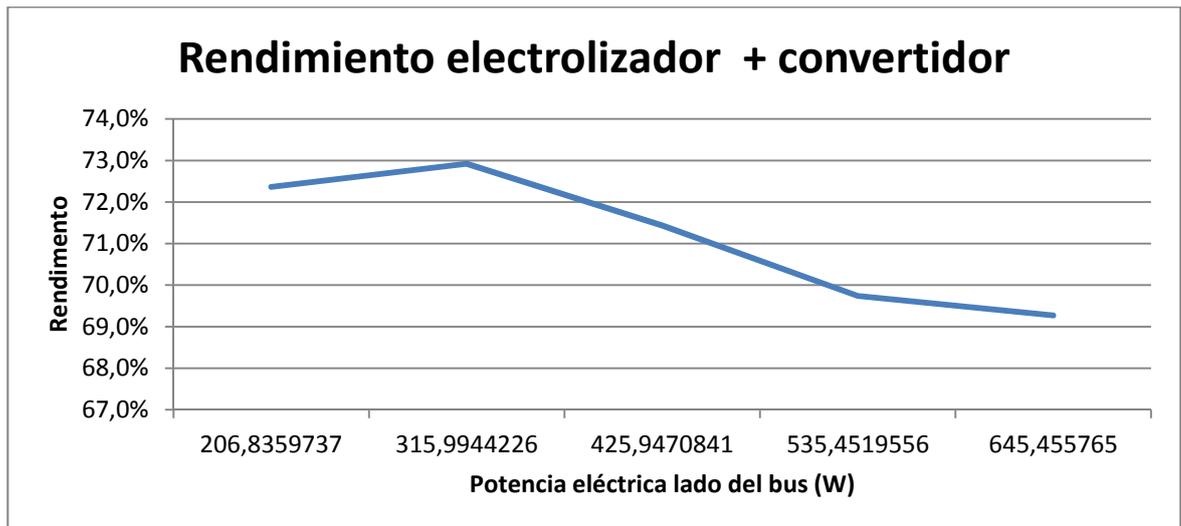


Ilustración 103 - Rendimiento electrolizador + convertidor

El punto de máxima eficiencia se encuentra para una potencia de 316 W, con un rendimiento del 72'9%.

7.4 Caracterización de baterías

Para el correcto control del sistema se hace imprescindible el conocimiento de las características de las baterías.

Para ello se ha procedido a la descarga intermitente de las baterías, partiendo de un punto conocido. Intermitentemente se ha descargado las baterías a una tasa de 25 A en ciclos de 30 minutos.

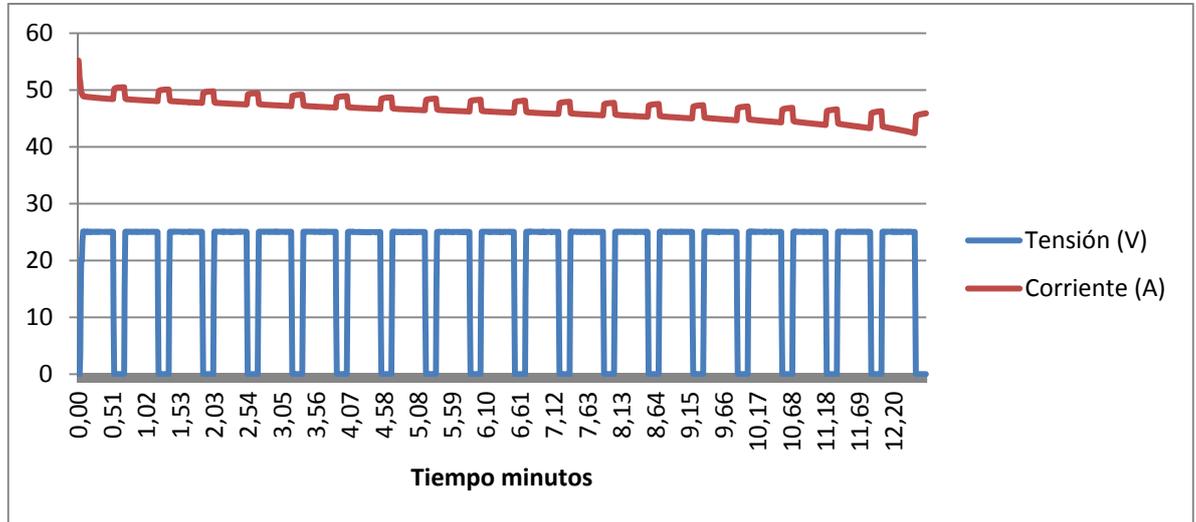


Ilustración 104 - Caracterización de baterías

Gracias a este ensayo podemos relacionar la tensión interna de las baterías, con el estado de carga.

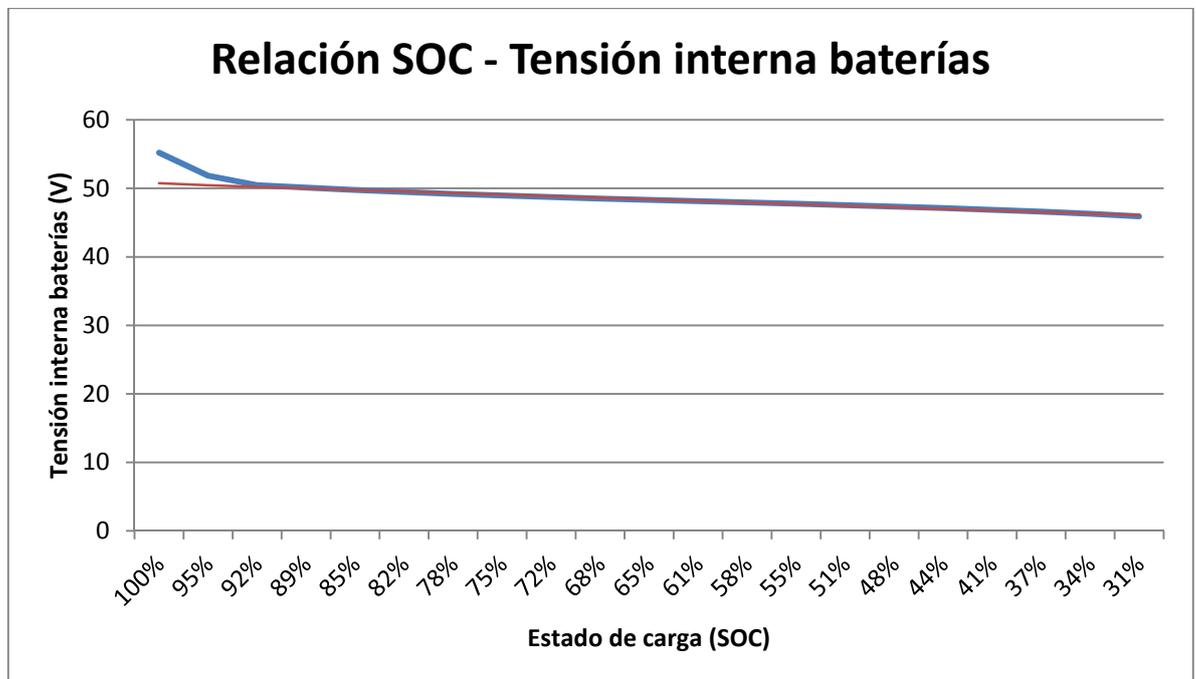


Ilustración 105 - Relación de estado de carga y tensión interna de baterías

7.5 Ensayo de planta durante un día

Para probar el correcto funcionamiento del programa de control se ha procedido a realizar una prueba de funcionamiento durante 24 horas con dos perfiles de generación y demanda de energía.

Debido a la avería del convertidor de la pila de combustible no se ha podido realizar la prueba de conjunto físicamente. Para suplir esa cadencia, se ha procedido al diseño en Simulink del modelo de planta, y sus respectivos equipos, el cual estará comunicado con el servidor OPC utilizado por el PLC de control con el OPC Toolbox de Matlab. Además se ha utilizado como controlador el simulador de PLC que incluye Unity.

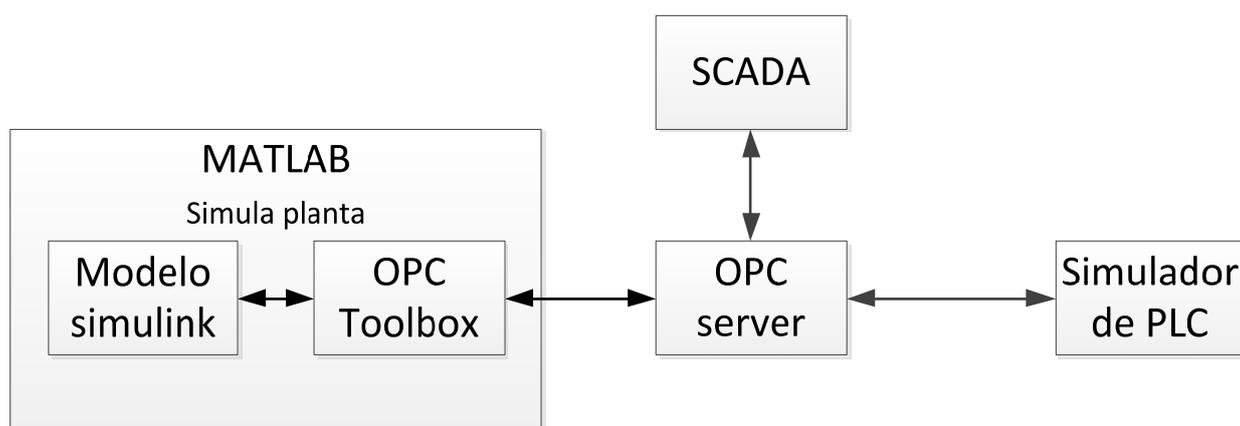


Ilustración 106 - Esquema de simulación del sistema completo en un día

Para la curva de generación se ha utilizado los datos de generación eólica para un día de Junio obtenido de la web de Red Eléctrica, y para los datos de generación fotovoltaica se ha utilizado los datos de radiación media para el mes de Junio en Sevilla. Todos estos datos han sido escalados para la coincidencia con nuestra planta.

Para la curva de demanda se ha utilizado los datos de demanda de un día de Junio obtenidos de la web de Red eléctrica. Con estos datos la simulación no sería para una vivienda, ni para una industria. Sería válido para la demanda general de la red eléctrica. Estos datos han sido escalados para la coincidencia de nuestra planta.

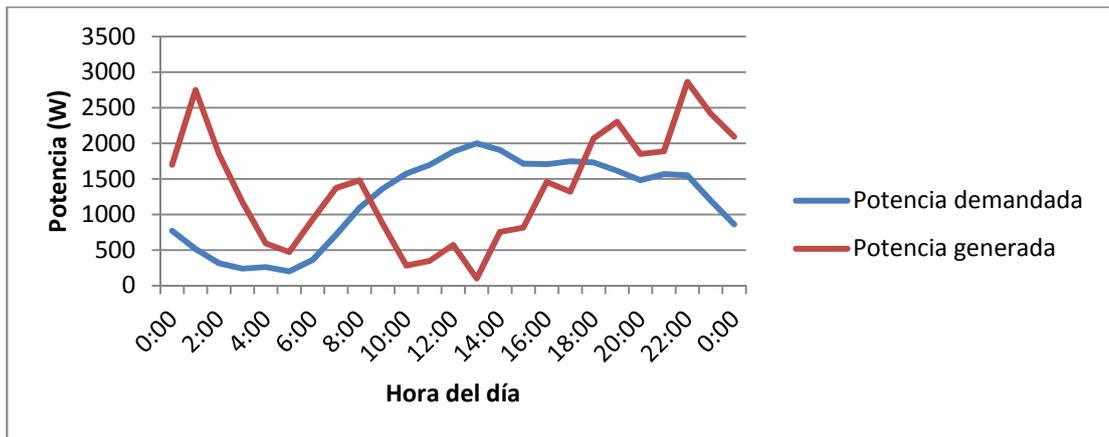


Ilustración 107 - Potencia demandada y generada en ensayo diario

En términos energéticos, se ha generado más energía que se ha consumido.

- Energía demandada: 29'24 kWh
- Energía generada: 32'423 kWh
- Sobregeneración: 10'9%

Después de realizar el ensayo obtenemos los siguientes resultados.

Balance de energía comprada y vendida a la red eléctrica:

En el gráfico podemos ver la evolución de potencia vendida y comprada a la red eléctrica.

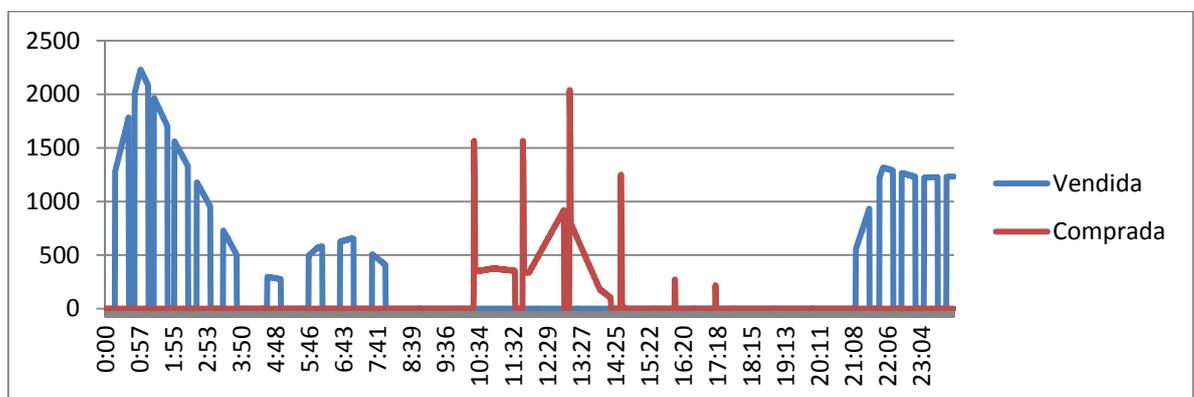


Ilustración 108 - Evolución de venta compra de electricidad

Energéticamente:

- Energía vendida: 6'12 kWh
- Energía comprada: 1'74 kWh

Balance de hidrógeno generado y consumido:

En el gráfico podemos apreciar la evolución de generación y consumo de hidrógeno

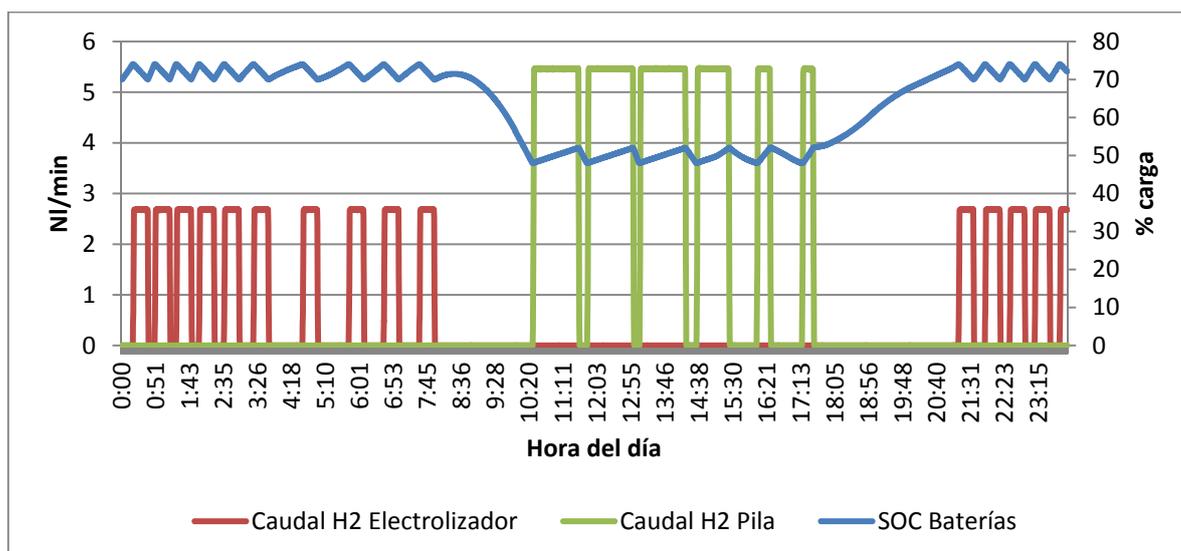


Ilustración 109 - Evolución de consumo y generación de hidrógeno, y estado de carga de baterías

Balance:

- Hidrógeno generado: 1'594 Nm³
- Hidrógeno consumido: 0'863 Nm³