


## Modelización de las curvas características de eficiencia de un conversor DC/DC.

Luque López, Rafael

Mataix Caballero, Diego

Vega Mateos, Javier

Zapatero Montaña, Pablo



---

En el estudio de los sistemas de potencia en general y en el de los de uso espacial en particular, es crucial tener en cuenta el rendimiento de los convertidores DC/DC, así como la variación de este rendimiento. Este estudio pretende realizar un análisis de este rendimiento a partir de los ensayos realizados a los convertidores DC/DC del sistema de distribución de potencia eléctrica del UPMSat-2, ajustando su comportamiento a diferentes modelos matemáticos de diferente complejidad que relacionen este rendimiento con la potencia de salida de diferentes convertidores.

**Palabras clave:** Conversor DC/DC; Modelización; Rendimiento; Inductor

---



# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Metodología</b>	<b>4</b>
<b>3. Resultados</b>	<b>4</b>
3.1. Conversor de 3,3 V . . . . .	4
3.2. Conversor de 5 V . . . . .	5
3.3. Conversor de 15 V . . . . .	6
<b>4. Conclusiones</b>	<b>7</b>

# Índice de Figuras

1. Esquema del subsistema de potencia eléctrica del UPMSat-2 [1]. . . . .	3
2. Datos experimentales y ajustes por los diferentes modelos propuestos de la curva característica de eficiencia del conversor de 3,3 V. . . . .	5
3. Datos experimentales y ajustes por los diferentes modelos propuestos de la curva característica de eficiencia del conversor de 5 V. . . . .	6
4. Datos experimentales y ajustes por los diferentes modelos propuestos de la curva característica de eficiencia del conversor de 15 V. . . . .	7

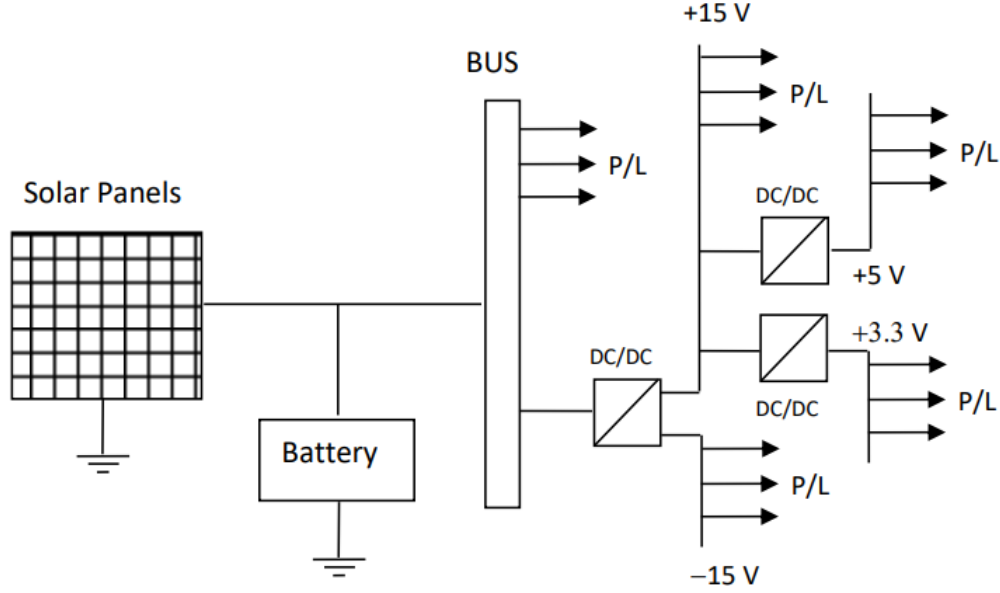
# Índice de Tablas

1. Parámetros y error (RMSE) obtenidos para el ajuste de la curva característica de eficiencia del conversor de 3,3 V. . . . .	5
2. Parámetros y error (RMSE) obtenidos para el ajuste de la curva característica de eficiencia del conversor de 5 V. . . . .	6
3. Parámetros y error (RMSE) obtenidos para el ajuste de la curva característica de eficiencia del conversor de 15 V. . . . .	7
4. Comparación de errores obtenidos para los modelos y conversores estudiados. . . . .	7

# 1. Introducción

Los convertidores DC/DC (*Direct Current / Direct Current*) son la base de los sistemas modernos de distribución de potencia eléctrica. Su objetivo, como su nombre indica, es el de convertir el potencial de una fuente de corriente continua disponible,  $V_{in}$ , en un potencial de salida,  $V_{out}$ , que se encuentre al nivel deseado.

Este estudio pretende ajustar un modelo de comportamiento de los convertidores DC/DC del sistema de distribución de potencia eléctrica del UPMSat-2, a partir de los datos disponibles de los ensayos realizados. Este sistema, como se puede ver en la Figura 1, consta de tres tipos de convertidores DC/DC, de 3,3 V, de 5 V y de 15 V.



**Figura 1:** Esquema del subsistema de potencia eléctrica del UPMSat-2 [1].

A través de los modelos desarrollados para caracterizar el comportamiento de los distintos convertidores, se pretende obtener el rendimiento,  $\eta$  en función de la potencia de salida,  $P_{out}$ , para cada uno de ellos.

La relevancia de la modelización del comportamiento de los convertidores DC/DC radica en que nos permite determinar las pérdidas que se obtienen durante la conversión del potencial, lo cual es indispensable a la hora de proporcionar los potenciales requeridos por los distintos equipos y cargas de pago presentes en el satélite. La importancia de este tipo de modelizaciones radica también en que los convertidores AC/DC (*Alternate Current / Direct Current*) se basan en parte en la realización de conversiones DC/DC [2].

En la literatura de estudios sobre convertidores DC/DC incluye todo tipo de análisis, pero, al contrario que otras curvas más complicadas de ajustar en otros dispositivos eléctricos, estos se centran más en encontrar sistemas de mejora de eficiencia, más que en buscar modelos de ajuste. Esto incluye: desarrollo de convertidores DC/DC de muy alta eficiencia mediante la implementación de diodos de conmutación ultrarrápidos tipo *CoolMOS* que disminuyan las pérdidas en la conmutación [3], la utilización de inductores integrados que reducen la inductancia requerida y que se traduce en un aumento de eficiencia en convertidores de bajo voltaje de salida [4] y el planteamiento de redes de resistencia comprimida (RCN) para el mantenimiento de eficiencias elevadas en un amplio rango de voltajes de entrada y salida [5].

## 2. Metodología

Para realizar la modelización del comportamiento de los convertidores DC/DC se parte de los datos experimentales disponibles, y se realiza primeramente un modelo simplificado y se comienza un proceso iterativo en el que se van aumentando los niveles de complejidad de los modelos. Finalmente, se pretende comparar los resultados obtenidos con cada uno de los modelos empleados.

El modelo matemático propuesto para ajustar el rendimiento es el de un sistema de primer orden, descrito por la siguiente expresión:

$$\eta = \eta_{\max}(1 - e^{f(P_2)}), \quad (1)$$

donde  $f(P_2)$  es una función de la potencia a la salida del convertidor,  $P_2$ , y se definirá en modelos de complejidad creciente.

En primer lugar se plantea un modelo lineal de la forma:

$$f(P_2)_{\text{lineal}} = aP_2, \quad (2)$$

donde  $a$  es el único parámetro de ajuste a determinar. Prosiguiendo con modelos de dificultad creciente, se propone un polinomio de segundo orden:

$$f(P_2)_{\text{orden } 2} = aP_2 + bP_2^2, \quad (3)$$

donde se añade un segundo parámetro  $b$ , y por último un polinomio de tercer orden:

$$f(P_2)_{\text{orden } 3} = aP_2 + bP_2^2 + cP_2^3, \quad (4)$$

incluyendo un último parámetro  $c$ .

La obtención de los coeficientes se realizará de forma numérica. Se calcula para ello el RMSE (*Root Mean Square Error*) mediante la siguiente expresión:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\eta_{\text{modelo},i} - \eta_{\text{exp},i})^2}, \quad (5)$$

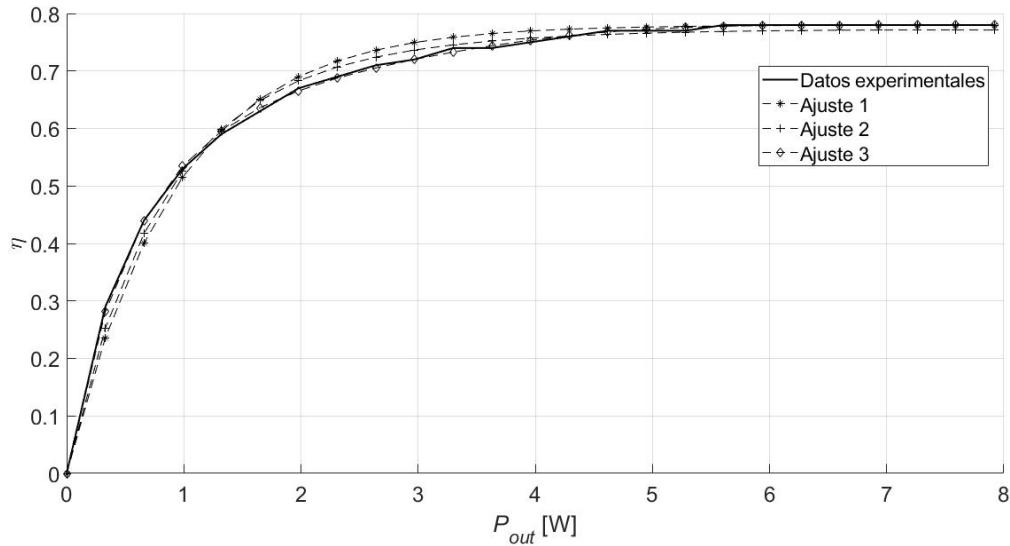
y se buscan valores de los coeficientes que minimicen el mismo mediante la función *fminsearch* de Matlab.

## 3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los convertidores del satélite, por medio de los tres modelos de ajuste propuestos.

### 3.1. Convertor de 3,3 V

En el caso del convertor de 3,3 V, se obtiene un buen ajuste con todos los modelos propuestos, como se observa en la Figura 2.



**Figura 2:** Datos experimentales y ajustes por los diferentes modelos propuestos de la curva característica de eficiencia del conversor de 3,3 V.

Por otro lado, los modelos de uno y dos parámetros, muestran un ajuste visiblemente peor. Los resultados numéricos obtenidos del ajuste se exponen en la Tabla 1, junto con el RMSE obtenido en cada caso. Aquí puede observarse que el mayor salto cualitativo en cuanto a RMSE se produce al pasar del modelo de dos parámetros al de tres.

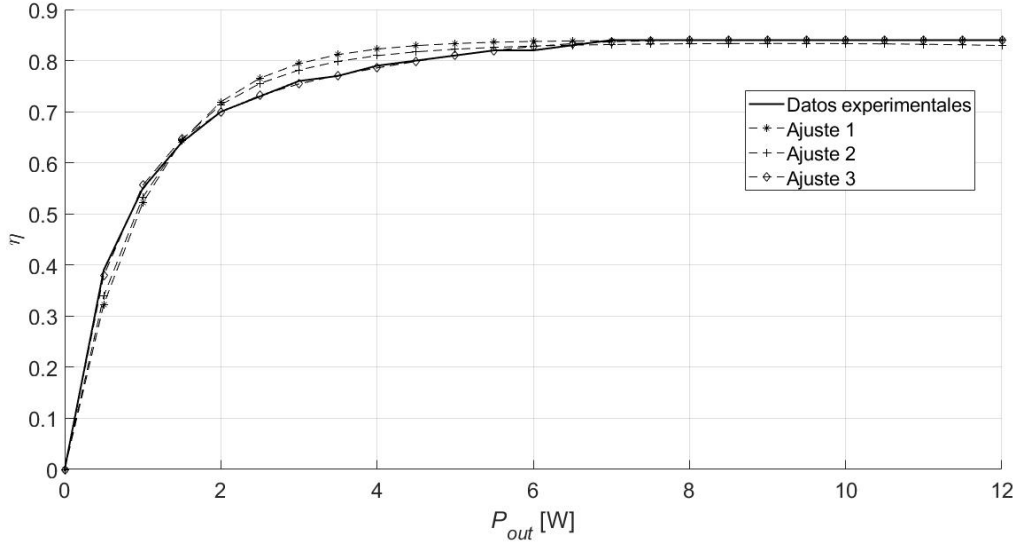
**Tabla 1:** Parámetros y error (RMSE) obtenidos para el ajuste de la curva característica de eficiencia del conversor de 3,3 V.

Parámetros			Error
a [ $W^{-1}$ ]	b [ $W^{-2}$ ]	c [ $W^{-3}$ ]	
-1,092	-	-	0,0196
-1,215	0,0817	-	0,0131
-1,464	0,3461	-0,0486	0,0064

*¿Dimensiones?*

### 3.2. Conversor de 5 V

En esta sección se exponen los resultados obtenidos para el ajuste de la curva característica de eficiencia del conversor de 5 V. En la Figura 3 se recogen la curva experimental y las obtenidas mediante cada uno de los ajustes, apreciándose una buena calidad del modelo, al igual que en el caso anterior.



**Figura 3:** Datos experimentales y ajustes por los diferentes modelos propuestos de la curva característica de eficiencia del convertor de 5 V.

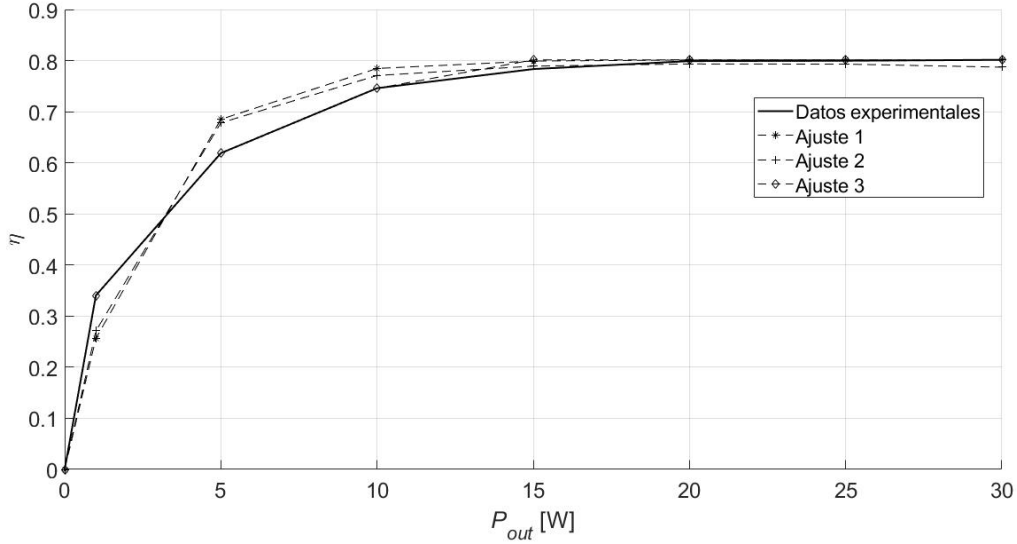
En la Tabla 3 se presentan los parámetros y errores obtenidos para el ajuste en el caso de este convertor. Al igual que en el caso anterior, puede observarse un gran salto en el RMSE al pasar de un modelo de dos a tres parámetros, mientras que la diferencia entre los modelos de uno y dos parámetros es menos significativa.

**Tabla 2:** Parámetros y error (RMSE) obtenidos para el ajuste de la curva característica de eficiencia del convertor de 5 V.

Parámetros			Error
a [W <sup>-1</sup> ]	b [W <sup>-2</sup> ]	c [W <sup>-3</sup> ]	
-0,970	-	-	0,0228
-1,063	0,0582	-	0,0163
-1,332	0,2761	-0,0286	0,0037

### 3.3. Convertor de 15 V

Por último, se analiza el caso del convertor de 15 V. En la Figura 4 se recogen los datos experimentales y los ajustes logrados. En este caso, el ajuste se ve condicionado por el escaso número de puntos experimentales con el que se cuenta.



**Figura 4:** Datos experimentales y ajustes por los diferentes modelos propuestos de la curva característica de eficiencia del conversor de 15 V.

En la Tabla 3, puede observarse como el error alcanzado por los dos primeros modelos es en este caso mayor que en los anteriores, pero en el último se alcanza un error muy bajo.

**Tabla 3:** Parámetros y error (RMSE) obtenidos para el ajuste de la curva característica de eficiencia del conversor de 15 V.

Parámetros			Error
a [ $W^{-1}$ ]	b [ $W^{-2}$ ]	c [ $W^{-3}$ ]	
-0,386	-	-	0,0406
-0,422	0,0096	-	0,0340
-0,649	0,1031	-0,0065	0,0037

## 4. Conclusiones

En este estudio se han logrado obtener diferentes modelizaciones de las curvas características de eficiencia de los convertidores DC/DC del satélite UPMSat-2. Los errores (RMSE) obtenidos para cada uno de los equipos y modelos se recogen en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Comparación de errores obtenidos para los modelos y convertidores estudiados.

Conversor	Error		
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
3,3 V	0,0196	0,0131	0,0064
5 V	0,0228	0,0163	0,0037
15 V	0,0406	0,0340	0,0037

Se trata, en todos los casos, de un error reducido, del orden de un 4% en el caso con menor número de datos y un modelo más sencillo. Estos errores pueden reducirse en gran medida empleando los modelos más complejos, en concreto el modelo de 3 parámetros aporta una reducción del error muy significativa, del orden de la mitad a 10 veces menos del obtenido con el modelo de dos parámetros. Se cuenta por tanto con una variedad de modelos

que aportan buenos resultados, en función del error deseado en los cálculos, y de la complejidad y el coste computacional que se asuman en la elección del modelo.

## Referencias

- [1] S. Pindado, Enunciado de la práctica 7 de la asignatura de Generación y Gestión de Potencia Eléctrica (2021).
- [2] S. Maniktala, Switching Power Supplies A-Z, Elsevier Ltd (2012).
- [3] W. Yu, H. Qian, J. S. Lai, Design of high-efficiency bidirectional dc/dc converter and high-precision efficiency measurement, IEEE Transactions on Power Electronics 25 (2010) 650–658.
- [4] J. Wibben, R. Harjani, A high-efficiency dc-dc converter using 2 nH integrated inductors, Vol. 43 (2008), pp. 844–853.
- [5] W. Inam, K. K. Afridi, D. J. Perreault, High efficiency resonant dc/dc converter utilizing a resistance compression network, IEEE Transactions on Power Electronics 29 (2014) 4126–4135.