



Calibración de la potencia de un microondas mediante un balance de energía en régimen estacionario

Apellidos, nombre	Cárcel Carrión, Juan Andrés (jcarcel@tal.upv.es) Castelló Gómez, Marisa (mcasgo@upv.es) Fito Suñer, Pedro (pedfisu@tal.upv.es) Sanjuán Pellicer, Nieves (nsanjuan@tal.upv.es) Tarrazó Morell, José (jtarrazo@tal.upv.es)
Departamento	Departamento de Tecnología de Alimentos
Centro	Universitat Politècnica de València

1 Resumen

En este artículo vamos a presentar la metodología para determinar el rendimiento de un microondas. De esta manera, se podrá conocer la **potencia real** que se genera en función de la potencia nominal aplicada, es decir, la que proporciona el fabricante. Para ello, se recurrirá a un test industrial, el Test de los 2L (IMPI 2-Liter Test), que se basa en la aplicación de un **balance de energía en estado estacionario**.

2 Introducción

Una de las formas más habituales de calentar o cocinar los alimentos es mediante hornos microondas. El funcionamiento de estos equipos se basa en la radiación de fotones en el espectro electromagnético de las microondas generadas por una lámpara, denominada magnetrón, a partir de energía eléctrica (Figura 1).

COMO FUNCIONA UN MICROONDAS

A nuestro alrededor, existen ciertas ondas electromagnéticas caracterizadas por su alta frecuencia y que reciben el nombre de microondas. Están presentes en nuestra vida cotidiana y pueden aplicarse dentro de una gran variedad de actividades diversas, entre las que quizá, la forma más conocida sea la del horno de cocina descubierto en los años 40 del siglo XX y que en comparación con el tradicional prepara los alimentos con mayor rapidez. Pero las microondas también se encuentran en otros muchos aparatos, aunque ignoramos su presencia y la importancia que tienen por ejemplo para las comunicaciones.

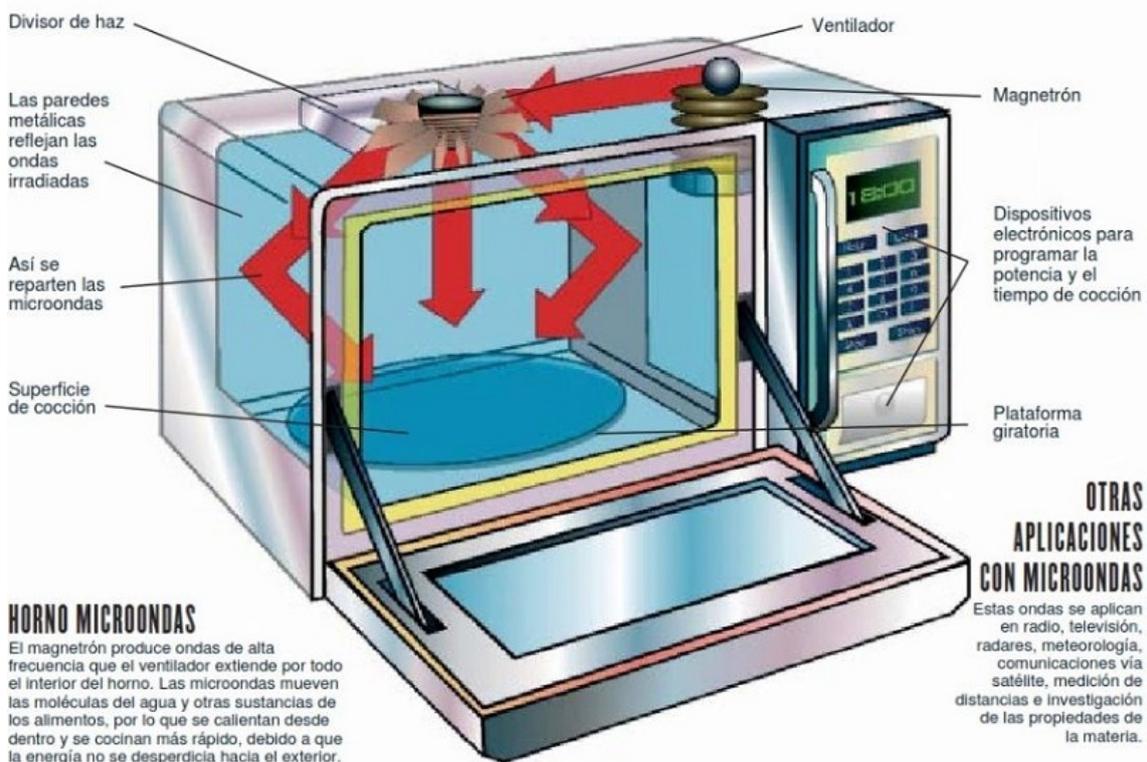


Figura 1. Partes y funcionamiento de un microondas (Fuente: Sepúlveda, 2017; <https://como-funciona.co/un-microondas/>)

¿Cómo se comportan los distintos materiales frente a las microondas?

El comportamiento de los materiales frente a los fotones en el espectro de las microondas es distinto en función de la naturaleza del sistema que atraviesan. Así, la energía es absorbida por las especies químicas polares y por las iónicas, reflejándose por sistemas metálicos y transmitida a través de, entre otros, el vidrio, la cerámica, el plástico o el papel (todas sustancias no polares). De los materiales que transmiten las microondas se dice que son transparentes a ellas. Por el contrario, cuando un cuerpo absorbe las microondas, parte de su energía se convierte en calor.

¿Cómo producen calor los equipos microondas?

Existen dos fenómenos de relajación por los cuales la energía de los fotones en el espectro de las microondas es transformada en calor o almacenada en energía eléctrica: la conductividad iónica y la dispersión gamma o efecto dipolar (Aradilla *et al.*, 2009; Llabrés, 2018) (Figura 2).

Conductividad iónica: El fenómeno de excitación iónica, que se produce en las moléculas electrolíticas asociadas a la circulación de fotones, consiste en la vibración de dichas moléculas. Esto provoca un aumento de la energía interna del medio (Castro-Giráldez *et al.*, 2010). Dicho fenómeno se produce desde el espectro de radiofrecuencia hasta el de microondas, siendo más fuerte cuanto menor es la frecuencia, por esta razón los magnetrones americanos que trabajan a 915 MHz generan más calentamiento debido a este efecto que los europeos que trabajan a 2,45 GHz.

Dispersión gamma o fenómeno dipolar: La dispersión gamma o relajación dipolar va desde los 100 MHz hasta los 100 GHz y produce la orientación dinámica del spin de rotación de las moléculas dipolares (como, por ejemplo, el agua, mayoritaria en todos los sistemas biológicos) en la dirección del campo eléctrico, y la inducción o rotación de la molécula a través del spin. Este fenómeno, produce una acumulación de energía eléctrica (almacenamiento) en la reorientación del spin y una transformación de parte de la energía eléctrica en energía calorífica, provocada por las colisiones y fricciones asociadas al incremento en la movilidad molecular. El espectro dieléctrico del agua líquida, presenta la relajación de relajación a 18 GHz a 25°C (Talens *et al.*, 2016).

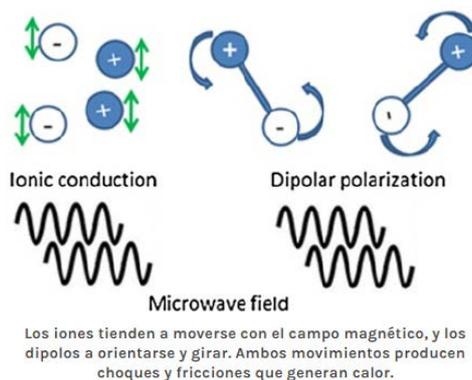


Figura 2. Mecanismos por las que las microondas se transforman en calor (Llabrés, 2018)

Por lo tanto, el calentamiento por microondas supone la transformación de parte de la energía eléctrica (electrones) en una energía calorífica y, como en cualquier proceso, esta transformación tiene una eficacia. Es decir, que una cosa es la potencia nominal

del microondas, que sería el consumo de energía eléctrica, y otra cosa es la cantidad de energía calorífica que es capaz de producir, que sería la potencia real aplicada.

3 Objetivos

Una vez leas este objeto de aprendizaje con detenimiento serás capaz de:

- **Cuantificar la potencia efectiva o real** que suministra un microondas en cada una de las diferentes potencias especificadas por el fabricante en el respectivo dial.

4 Desarrollo

Para abordar este objetivo vamos a aplicar los **balances de energía en estado estacionario** al calentamiento por microondas. Concretamente, haremos uso del test de los 2L adaptado de Buffler (1991) (IMPI 2-Liter Test). Este método se basa en una operación básica de calentamiento descrita en el siguiente diagrama de flujo (Figura 3):

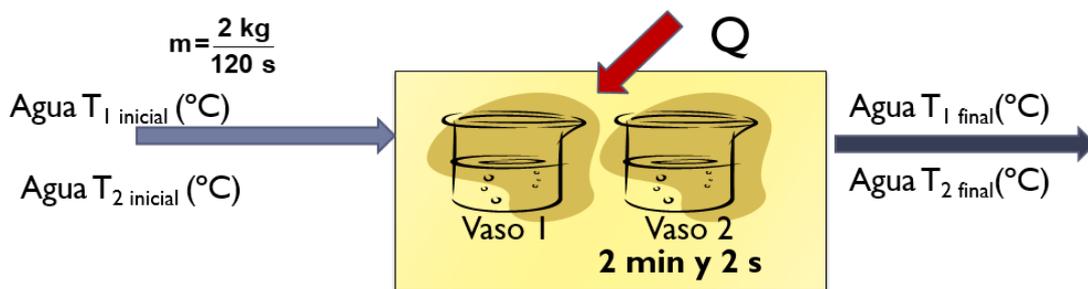


Figura 3. Diagrama de flujo de la operación básica de calentamiento por microondas contemplada en el método de los 2L adaptado de Buffler (1991) (Castelló, 2014).

El ensayo consiste en colocar en un microondas 2 vasos de precipitados con 1 kg de agua en cada uno de ellos. Se toma la temperatura inicial del agua de cada vaso y la que alcanza dicha agua después de haberse calentado en el microondas durante 2 minutos y 2 segundos a una potencia nominal establecida. De esta manera, se considera un tiempo de respuesta del magnetrón de 2 segundos y un tiempo efectivo de calentamiento de 2 minutos. Este ensayo ha de hacerse para todas las potencias que se pueden seleccionar en el microondas si se quiere saber cuál sería la potencia real para cada una de ellas.

4.1 Balance de energía para establecer el Test de los 2L

Teniendo en mente el diagrama de flujo mostrado, vamos a plantear en el mismo un balance de energía (ecuación 1):

$$\Delta(m(e_p + e_k + h)) + \frac{d}{dt}(m(e_p + e_k + u)) = q + w \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

m: caudal másico
e_p: energía potencial
e_k: energía cinética
h: entalpía
u: energía interna
q: calor
w: trabajo

En el balance vamos a considerar que la entrada y la salida de materia al sistema (y por lo tanto de la energía asociada a la misma) son iguales e igual a los 2 kg de agua. En este caso, no va a haber cambios en relación entrada/salida de energía potencial, ni de energía cinética. El término de acumulación será nulo ya que vamos a considerar que nuestro sistema se encuentra en estado estacionario. En cuanto a los términos no asociados a la materia, vamos a despreciar el trabajo aportado por el plato giratorio. Por lo tanto, la expresión del balance de energía quedaría como se muestra en la ecuación 2:

$$\Delta mh = q \quad (\text{ecuación 2})$$

Si reemplazamos las variables por sus valores numéricos y considerando que el calor específico del agua es 4180 Jkg⁻¹°C⁻¹, obtenemos la ecuación que nos permite calcular la potencia calorífica (W) real suministrada por el microondas en una determinada posición de su dial (ecuación 3).

$$q(W) = \frac{2 \text{ kg}}{120 \text{ s}} 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \left(\frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} \right) ^\circ\text{C} = 69,7 \cdot \left(\frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} \right) \quad (\text{ecuación 3})$$

En esta ecuación, ΔT₁ y ΔT₂ hacen referencia a la diferencia de temperatura del agua del vaso de precipitados 1 y del 2, respectivamente, tras someterse al proceso de calentamiento por microondas.

4.2 Procedimiento para aplicar el método de los 2L

Los **pasos** a seguir **para aplicar el método de los 2L** son los siguientes:

1. En primer lugar, debemos seleccionar la potencia del microondas que se va a calibrar
2. Después, llenaremos los 2 vasos de precipitados con 1000 g de agua cada uno y anotaremos la Temperatura inicial de cada uno de ellos (T_{1 inicial}, T_{2 inicial})
3. Colocaremos los dos vasos a la vez en el centro del microondas y pondremos el microondas en marcha durante 2 min y 2 s. Luego, sacaremos los vasos del microondas, agitaremos el agua para homogeneizar la temperatura del agua y anotaremos dicha temperatura (T_{1 final}, T_{2 final})
4. Repetiremos esta operación 3 veces a la misma potencia para tener un triplicado
5. Repetiremos esta operación para cada una de las potencias que muestre el dial del microondas

4.3 Caso práctico

Puesto que la mejor forma de ver cómo se aplica una metodología es viendo un ejemplo, vamos a trabajar con unos datos experimentales recogidos para calibrar la potencia de un microondas (Tabla 1).

Tabla 1. Recopilación de datos experimentales para calibrar la potencia de un microondas

q nominal (W)	T₁ inicial (°C)	T₁ final (°C)	ΔT₁	T₂ inicial	T₂ final	ΔT₂	q calculada (W)	q media (W)
70	26,3	27,4	1,1	23,8	25	1,2	80	86±7
70	18,7	20,0	1,3	25,7	26,8	1,1	84	
70	18,6	19,8	1,2	20,5	22,0	1,5	95	
150	18,3	20,9	2,6	18,8	21,1	2,3	172	154±19
150	19,0	21,0	2,0	19,0	21,5	2,5	158	
150	18,9	20,5	1,6	18,6	20,8	2,2	133	
350	18,4	22,7	4,3	18	22,4	4,4	305	285±26
350	18,7	22,4	3,7	18,5	22,1	3,6	256	
350	18,8	23,0	4,2	18,8	23	4,2	294	
500	17,6	24,1	6,5	18,3	24,8	6,5	455	407±42
500	18,0	23,0	5,0	18,7	24,5	5,8	378	
500	18,5	23,6	5,1	18,9	24,9	6,0	389	
750	16,8	27,0	10,2	18,6	27,1	8,5	655	588±66
750	17,0	26,0	9,0	18,4	26,2	7,8	588	
750	18,8	25,8	7,0	18,9	26,8	7,9	522	

Para poder estudiar con más claridad la equivalencia entre la potencia eléctrica consumida (la que indica el fabricante en el dial) y la potencia real suministrada por el microondas, se pueden representar los resultados de la tabla 1 en una gráfica (Figura 4). Como se puede observar en la Figura 4 la potencia real suministrada por el microondas es menor que la nominal, de ahí que el ajuste lineal nos da una pendiente inferior a la unidad.

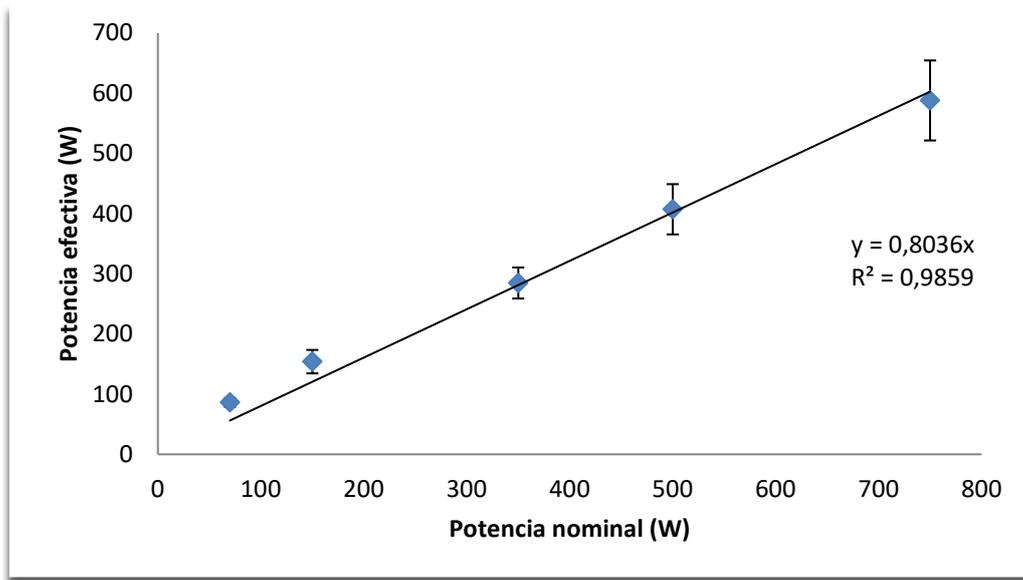


Figura 4. Representación de la potencia efectiva de una microondas para cada una de las potencias nominales aportadas por el fabricante

5 Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto qué pasos hay que seguir para cuantificar la potencia real de un microondas utilizando un balance de energía en régimen estacionario, es decir, utilizando el test de los 2 L del IMPI. Para comprobar que realmente has aprendido cómo hacerlo, consigue una sonda de temperatura rápida, 2 vasos de precipitados de 1 litro de capacidad cada uno y aplica el método en el microondas de tu casa.

6 Bibliografía

Aradilla, D., Oliver, R., Estrany, F. (2009). La química de la radiación de microondas. *Técnica Industrial* 284 / Noviembre - Diciembre 2009. Disponible en: <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/66/75/a75.pdf>

Buffler, C. 1991. A guideline for power output measurement of consumer microwave ovens. *Microwave World* 10(5):15)

Castelló, M.L. (2014). Calibración de un microondas. *Politube*. Disponible en: <https://media.upv.es/player/?id=1c994520-021e-11e6-851a-656f7e06a374>

Castro-Giráldez, M., Fito, P. J., & Fito, P. (2010). Application of microwaves dielectric spectroscopy for controlling pork meat (*Longissimus dorsi*) salting process. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 484-490.

Llabres, P.J. (2018). Blog de divulgación científica, con aroma a Química. Dirigido por Pedro Juan Llabrés Campaner. Entrada: 17/01/2018. Disponible en: <https://hueleaquimica.wordpress.com/2018/01/17/como-funciona-un-aparato-microondas/>



Sepúlveda, F. (2017). ¿Cómo funciona el microondas? Disponible en: <http://www.refaccionesdeelectrodomesticosmexico.com/blog-fs/1-blog/153-%C2%BFcomo-funciona-el-microondas>

Talens, C., Castro-Giraldez, M., & Fito, P. J. (2016). A thermodynamic model for hot air microwave drying of orange peel. *Journal of Food Engineering*, 175, 33-42.