

## Estimación de la eficiencia de hornos eléctricos

Goñi S.M.<sup>1,2</sup>, Salvadori V.O.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA), CCT-CONICET La Plata. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

[smgoni@quimica.unlp.edu.ar](mailto:smgoni@quimica.unlp.edu.ar)

### RESUMEN

En los últimos años, en nuestro país se ha extendido el uso de hornos eléctricos, los cuales no poseen clasificación energética. Al mismo tiempo, en general el horneado de alimentos posee un elevado consumo energético y baja eficiencia. En este sentido, existe una necesidad de estudiar su eficiencia para avanzar en su clasificación energética. En este trabajo se realizaron determinaciones de consumo de energía de dos hornos eléctricos domésticos. En los experimentos se determinó el factor de uso de energía, el cual es el cociente entre el tiempo durante el cual las resistencias eléctricas están encendidas y el tiempo total, una vez alcanzado un estado de régimen estable. Se realizaron experiencias con los hornos en su estado de fábrica, y colocando aislamientos térmicos en diferentes localizaciones del horno. Al 1° horno se le colocó aislante en la pared del fondo y en el piso, no obteniéndose una mejora en el factor de uso de energía. Para el 2° horno se construyeron paredes secundarias y se colocó aislante en la pared del fondo, el piso, el techo y el lateral izquierdo. En este caso se obtuvo una mejora del factor de uso de energía de 5,3% en promedio.

**Palabras clave:** hornos eléctricos, consumo de energía, eficiencia energética.

### ABSTRACT

In the recent years, the use of electric ovens has increased in our country. This type of oven does not have an energy rating. At the same time, food roasting in general presents high energy consumption and low efficiency. In this sense, there is a need to study its efficiency to advance on the energy rating of the ovens. With this aim, in this work the energy consumption of two domestic electric ovens were determined. In the experiments the energy factor of use was measured, this factor is defined as the ratio of the heating time respect to the total time, after reaching a regime state. Measurements were performed using the factory setup of the ovens, and adding insulation material. The insulation material was placed on the back wall and the floor of the 1st oven; not improved values of the energy factor of use were measured. For the 2nd oven additional walls were built and the insulation material was placed in the back wall, floor, ceiling and the left side. In this case a better performance of the oven was observed, and the factor of use decreases 5.3% in average.

**Keywords:** electric ovens, energy consumption, energy efficiency.

### INTRODUCCIÓN

El horneado de alimentos es una técnica de cocción ampliamente utilizada en nuestro país y en muchos otros, utilizada tanto a nivel doméstico, como comercial e industrial. El horneado se aplica a productos de consumo habitual y masivo, como son los productos panificados y cárneos, principalmente. La demanda de energía necesaria para cocinar el producto es alta, y se usa principalmente para calentarlo, y para evaporar parcialmente parte de su contenido de agua. Para productos cárneos y panificados se puede tener una demanda de energía del orden de 10<sup>2</sup> kJ/kg de masa inicial (Goñi y Salvadori 2014, Ploteau et al. 2015). Al mismo tiempo, el consumo de energía de los hornos es también alto (Le-Bail et al. 2010, Bansal et al. 2011, Purlis 2012, Khatir et al. 2012, Hager et al. 2013, Goñi y Salvadori 2012, 2014), y mucho mayor que la



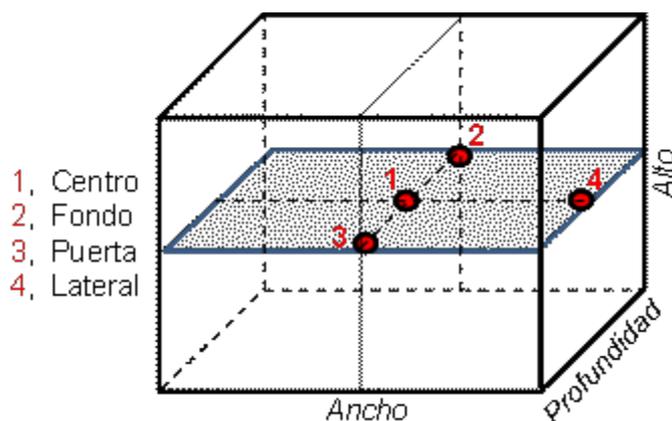
demanda del producto, pudiendo alcanzar fácilmente valores del orden de  $10^3$  kJ/kg, dado que una parte importante de la energía erogada por los mismos se puede absorber en el equipo (paredes, bandejas, rejillas, etc.), se pierde hacia el ambiente, ya sea a través de las paredes o asociada a flujos de materia que salen del mismo (principalmente para hornos a gas). Goñi y Salvadori (2014) encontraron eficiencias (definida como la demanda de energía del producto dividido el consumo de energía del horno) menores al 20% durante la cocción de productos cárneos usando un horno eléctrico; Bansal et al. (2011) informaron una eficiencia de hornos eléctricos de 12,5%, con pérdidas hacia el ambiente de 40%; Hager et al. (2013) reportaron una eficiencia de hornos eléctricos normales de 12,15%. El uso de hornos eléctricos en nuestro país se ha incrementado en los últimos años, y continúa en ascenso, debido a diversos factores. En primer lugar, el gas natural o el gas licuado son combustibles no renovables, por lo cual se tiende a disminuir su uso. Numerosas poblaciones no poseen redes de distribución de gas natural, y su instalación es onerosa, por lo cual se emplea gas envasado; su uso se distribuye entre calefacción, acondicionamiento de agua, y elaboración de alimentos, preferentemente usando otras técnicas diferentes al horneado. Por otro lado, la instalación de redes de distribución de energía eléctrica es más barata, y el precio de una nueva clase de hornos eléctricos disponibles en el mercado en los últimos años, es más barato en comparación con cocinas a gas. Esta clase de hornos eléctricos tienen una serie de características interesantes y ventajosas; gran variedad de tamaños (de unos 15 L a más de 100 L), control de temperatura (en general), temporizador, selector de resistencias, potencias, spiedo, ventilador, doble piso removible para limpieza, anafes superiores, precios accesibles, son livianos, portátiles, se pueden usar en diferentes lugares, etc. Al mismo tiempo, las instalaciones son considerablemente más simples, y para emprendimientos comerciales son más fáciles de implementar y habilitar; etc. Sin embargo, la mayoría de los hornos disponibles están formados por una cámara y una carcasa de una lámina metálica simple y fina, con una puerta de vidrio simple, y sin ningún aislamiento adicional. Por lo tanto, se prevé que este tipo de hornos tengan elevadas pérdidas de energía hacia el ambiente. La tendencia mundial de clasificación, identificación y rotulado energético de equipos (ver por ej. UE 66 2014, para hornos de mayor tamaño) no se aplica al tipo de hornos portátiles disponibles en el mercado. Considerando todos estos aspectos en forma conjunta, se percibe una oportunidad y una necesidad de realizar estudios de eficiencia energética de este tipo de equipos, tendiente a incorporar una clasificación energética de los mismos. Más allá del diseño y funcionamiento de un horno particular, es importante mencionar que el último factor, y no menos importante, en el consumo de energía del proceso, es el propio usuario. En este sentido, DeMerchant (1997) encontró que el comportamiento del usuario puede llegar a duplicar el consumo de energía para preparar el mismo alimento. Por lo tanto es importante dar toda la información que se pueda al usuario, no solo sobre el consumo de energía de los equipos, sino también sobre buenas prácticas en la cocina, etc. El objetivo de este trabajo fue analizar la influencia de la incorporación de material aislante en el consumo de energía de hornos eléctricos domésticos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se realizaron determinaciones de consumo de energía de dos hornos eléctricos domésticos. En primer lugar, se utilizó un horno "1" (Winco, origen China) para realizar una determinación preliminar del consumo de energía. El mismo posee una potencia de 2,6 kW (1,6 kW horno y 1 kW anafe) nominal y una capacidad de 36 lt. Se estableció una temperatura de operación de 200 °C en el control del horno, y se midió su temperatura interna durante media hora, tiempo suficiente para que se alcance un estado de régimen. Posteriormente se repitió el experimento, aislando el exterior del piso y la pared del fondo del horno con una capa de fibra de vidrio de baja densidad de 1 cm de espesor; el techo y las paredes laterales no se recubrieron dado que poseen parte de los circuitos eléctricos del horno, y se usó la puerta original del horno. En ambos casos la temperatura en el centro de la cámara del horno se monitoreó usando un adquisidor de temperatura FieldLogger (NOVUS, Brasil). En ambas experiencias, luego que se alcanzó un estado de régimen estable, se determinó el factor de uso de energía, definido como el cociente entre el tiempo durante el cual los elementos calefactores permanecen encendidos, valor que es determinado a partir de las curvas de temperatura, y el tiempo total. Este valor provee una medida de la eficiencia del horno (Goñi y Salvadori



2012, 2014), siendo deseables valores los más bajos posibles, lo que implica que las resistencias deben estar encendidas poco tiempo para mantener una temperatura estable dentro de la cámara del horno. Posteriormente, se adquirió un horno eléctrico “2” (ATMA, origen China), de 1,8 kW de potencia y 50 lt de capacidad. El mismo representa mejor el universo de hornos disponibles en el mercado. En este caso, las mediciones de temperatura se realizaron en 4 puntos del plano horizontal central del horno: en el centro de la cámara, en las cercanías de la pared posterior, en las cercanías de la puerta, y en las cercanías de la pared lateral (**Fig. 1**). Adicionalmente, se colocó una termocupla en la parte central de la puerta, desde el lado exterior, y otra termocupla en la parte central del piso, también del lado exterior. Estas mediciones se realizaron teniendo en cuenta que la puerta es la parte más probable que el usuario puede tocar ocasionalmente, y que podría producir algún tipo de lesión, y que por otro lado el piso del horno está muy cercano a la base donde se apoya el horno, por lo cual podría afectarlo.



**Figura 1.** Disposición esquemática de los puntos de medición de temperatura interna del horno.

Con este horno se trabajó a temperaturas nominales de 150, 200 y 250°C. Las mediciones se iniciaron a 150°C; luego de alcanzar el estado de régimen, se continuó el experimento el tiempo suficiente para que se produzcan algunos ciclos de encendido/apagado del sistema de control del horno, de manera de estimar el factor de uso de energía. Luego se aumentó la temperatura a 200°C, y se repitió el procedimiento, y finalmente a 250°C. Posteriormente, se procedió a incorporar aislación a este equipo. Para esto se construyeron diversas paredes adicionales en aluminio. Una pared externa adicional se usó para recubrir el piso y el fondo del horno. Similarmente, otras paredes internas se usaron para recubrir el lateral izquierdo y el techo. La puerta se dejó sin modificaciones, y la pared lateral derecha se dejó sin aislamiento. Esta decisión se tomó en virtud de que el sensor de temperatura del sistema de control del horno está dentro del panel de instrumentos del horno, y no dentro de la cámara o en contacto con la pared del horno; si se colocara aislante el sensor de temperatura no se calentaría y se podría dañar el equipo. El espacio dejado entre las paredes de la cámara del horno y las nuevas paredes fue de 2 cm, y fueron rellenos con fibra de vidrio. También se midió la temperatura de las superficies exteriores de ambos hornos usando una cámara termográfica (TESTO 875, Alemania).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **Tabla 1** resume los resultados obtenidos para el horno “1” usado en las pruebas preliminares. Tanto para el horno normal como para el horno con aislante, se encontró que el factor de uso de energía fue igual a 0,485; esto se debe a que menos del 35% de la superficie de la cámara del horno fue recubierta con aislante. Una vez logrado el estado de régimen, este factor representa el tiempo efectivo de resistencias encendidas

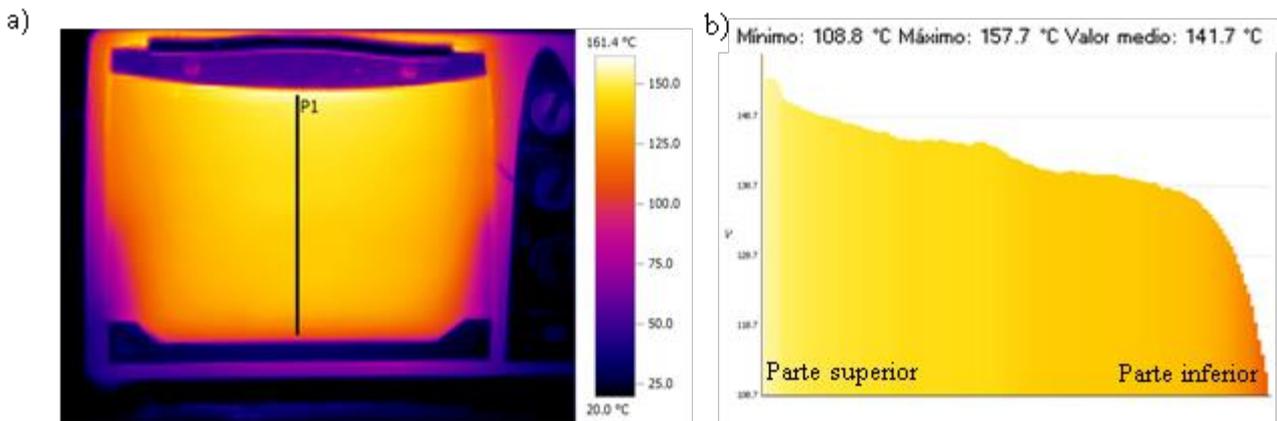


sólo para mantener el valor deseado de temperatura, ya que en estas pruebas el horno está vacío, sin productos. En términos equivalentes, se puede afirmar que el horno pierde casi el 50% de la energía suministrada por las resistencias eléctricas, y que el aislamiento no redundó en una disminución del consumo de energía.

**Tabla 1.** Efecto del aislamiento para el horno “1”, temperatura nominal de 200°C.

	Horno normal	Horno aislado
Temperatura en el centro (°C)	200,3	205,6
Factor de uso	0,485	0,485

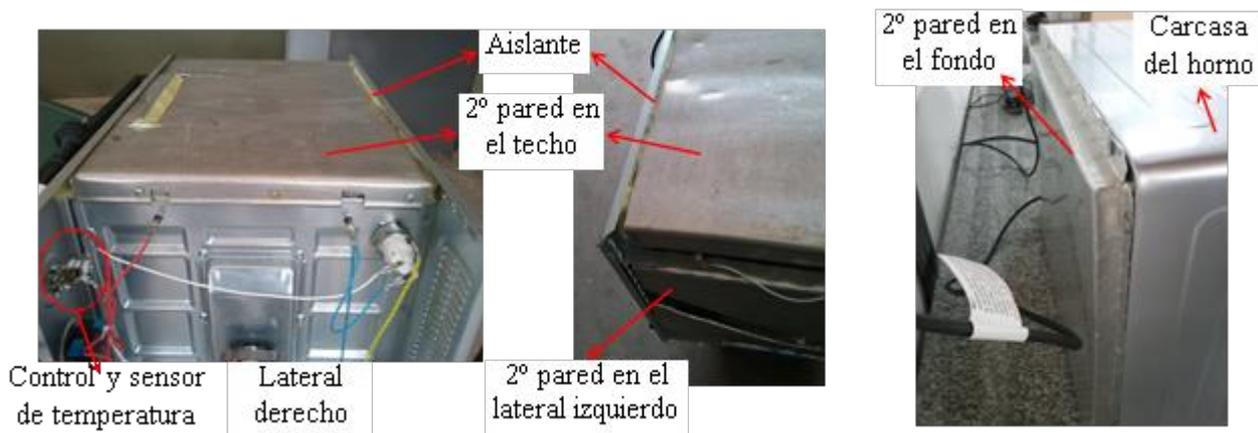
El aislamiento no logró aumentar la eficiencia en forma directa, sin embargo se obtuvo una mejora indirecta. Esto se debe a que se produjo un aumento de la temperatura de la cámara del horno de 5,3°C y disminuyó el tiempo de puesta en régimen. Para lograr mejoras más directas y sustanciales de la eficiencia se deberían aislar todas las superficies del horno y modificar su puerta. La **Figura 2** muestra la temperatura en la parte exterior de la puerta del horno; como puede verse, se alcanzan temperaturas considerablemente altas. Estas temperaturas tan elevadas son clara muestra de las considerables pérdidas de energía que se producen.



**Figura 2.** Distribución de temperaturas en a) la parte exterior de la puerta de vidrio del horno “1” luego de media hora de funcionamiento, y b) detalle de la variación de temperatura a lo largo de una línea vertical en el centro de la puerta.

La **Figura 3** muestra detalles del aislamiento realizado en el horno “2”; la 2ª pared incorporada en el techo y el lateral izquierdo queda cubierta por la carcasa original del horno. Se cubrieron 4 de las 6 caras de la cámara del horno, en términos de área esto representa aproximadamente el 70% de la superficie de la cámara (~0,63 m<sup>2</sup> cubiertos de ~0,9 m<sup>2</sup> totales).

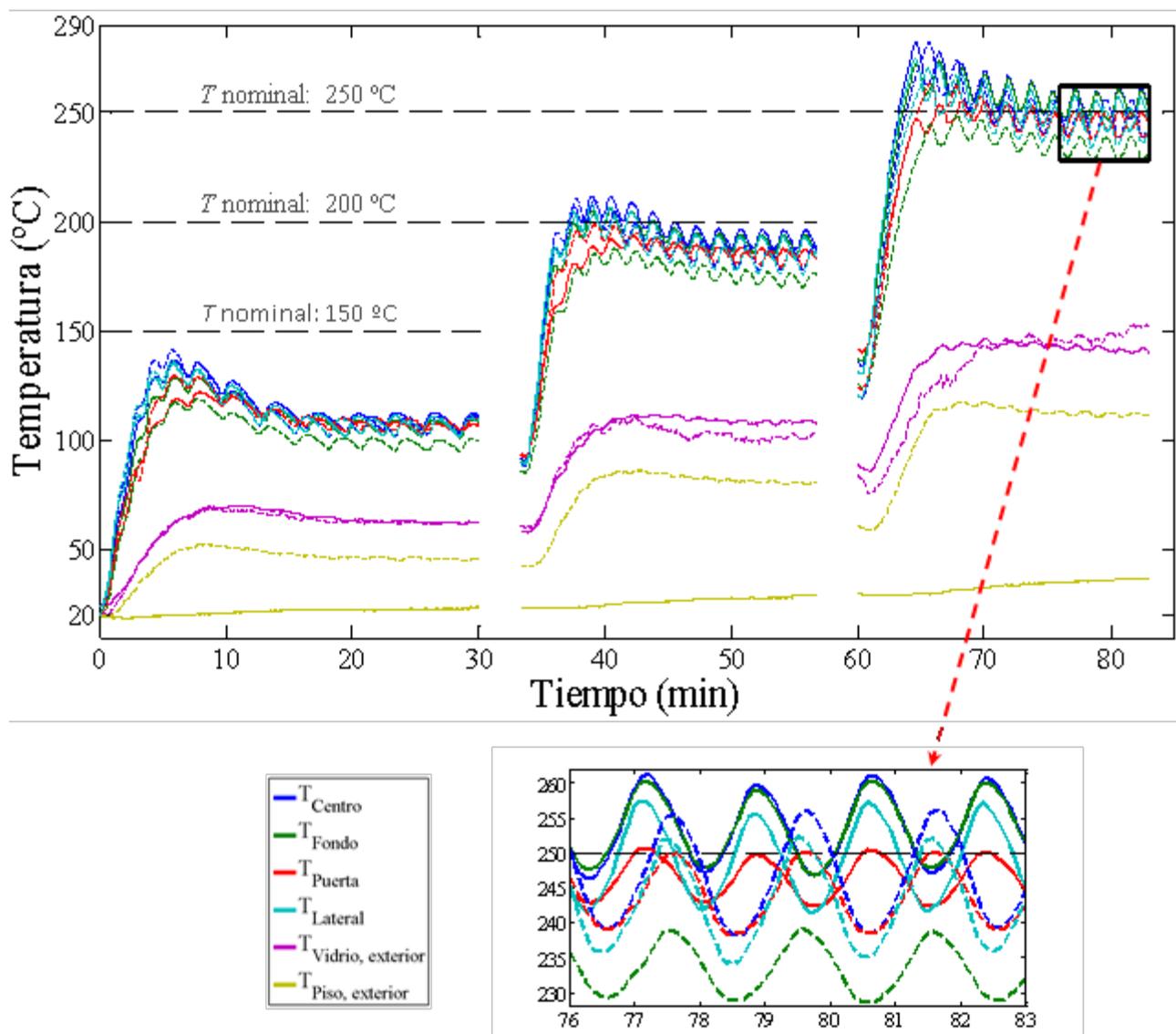




**Figura 3.** Diferentes vistas del horno “2” con el aislamiento.

La **Figura 4** muestra la temperatura registrada usando el horno “2”. Al comienzo la temperatura aumenta hasta que comienza a actuar el sistema de control del horno. Luego la temperatura oscila ( $\pm 3,2^{\circ}\text{C}$  de desviación estándar promedio para todas las medidas) alrededor de un valor determinado, el cual no necesariamente es cercano a la temperatura nominal; a  $150^{\circ}\text{C}$  de temperatura nominal, la temperatura de funcionamiento del horno es más de  $40^{\circ}\text{C}$  más baja. Para el horno “1” se obtuvo un comportamiento similar, pero con un rango de variación considerablemente menor ( $\pm 1,6^{\circ}\text{C}$  de desviación estándar).





**Figura 4.** Temperaturas medidas en diferentes puntos del horno “2”, a diferentes temperaturas nominales. Líneas punteadas: horno normal. Líneas continuas: horno aislado.

La **Tabla 2** presenta un resumen de los resultados obtenidos para el horno “2”. Como es de esperar, conforme aumenta la temperatura del horno aumenta la pérdida de energía, lo cual se refleja en el aumento del factor de uso, tanto para el horno normal como para el horno aislado. Para este horno, al usar aislamiento sí se observó una disminución del factor de uso, dado que el aislamiento se aplicó a una fracción del área del horno mucho mayor. La reducción del factor de uso fue de 8,47, 3,33 y 4,11%, para 150, 200 y 250°C de temperatura nominal, respectivamente.

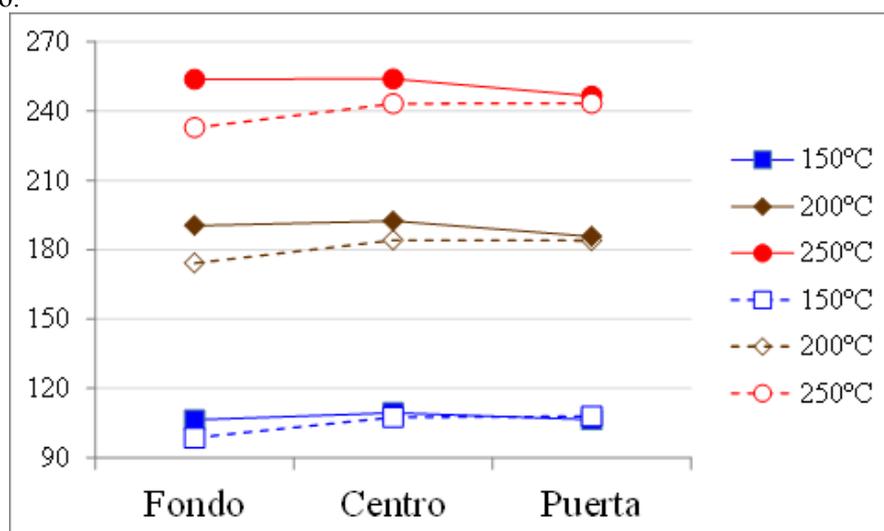
Simultáneamente, nuevamente se obtiene una mejora indirecta de la eficiencia, dado que se verificó un aumento de la temperatura en la mayoría de los puntos interiores, de hasta casi 10% en algunos puntos. En particular, en el fondo se registraron las mayores diferencias, donde se instaló una segunda pared con aislante. Es importante mencionar que en otras partes del horno podrían producirse mayores diferencias de temperatura, pero aquí se midieron solamente los lugares mencionados.



**Tabla 2.** Efecto del aislamiento en las temperaturas internas del horno “2”, a diferentes temperaturas nominales.

Temperatura (°C)	Horno normal			Horno aislado			Diferencia (aislado-normal)		
	150	200	250	150	200	250	150	200	250
Nominal	150	200	250	150	200	250	150	200	250
Centro	107,5	184,1	243,2	109,4	192,4	253,9	1,9	8,3	10,7
Fondo	98,6	174,2	232,8	106,3	190,4	253,8	7,7	16,2	21,0
Puerta	107,9	183,9	243,4	106,4	185,7	246,5	-1,5	1,8	3,1
Lateral	106,8	182,5	242,6	107,5	188,7	249,2	0,7	6,2	6,6
Máxima diferencia (°C)	9,3	9,9	10,6	3,1	6,7	7,4			
Factor de uso	0,354	0,406	0,481	0,324	0,392	0,461			

Adicionalmente, el aislamiento produjo una mejora en la uniformidad de la distribución de temperaturas en la cámara del horno; la diferencia de temperatura dentro de la cámara del horno siempre fue menor usando aislamiento. La **Figura 5** muestra gráficamente la variación de temperatura (para 3 de los 4 puntos medidos) y el cambio de uniformidad mencionado; al usar aislamiento en el fondo, la variación de temperatura entre el fondo y el centro resultó mucho más baja. La resistencia que ofrece una pared a la transferencia de energía depende de su espesor y su conductividad térmica (Bird, 2006). La pared posterior (fondo) tiene un espesor mucho menor que la puerta de vidrio, y una conductividad térmica considerablemente más alta, por lo cual pierde mayor energía por unidad de área. Debido a esto la temperatura disminuye desde el centro del horno hacia el fondo. Al incorporar el aislante se limitan las pérdidas y la temperatura en el fondo aumenta entre 7,7 y 21°C, lo que también determina que aumente el resto de las temperaturas medidas en el interior de la cámara del horno.

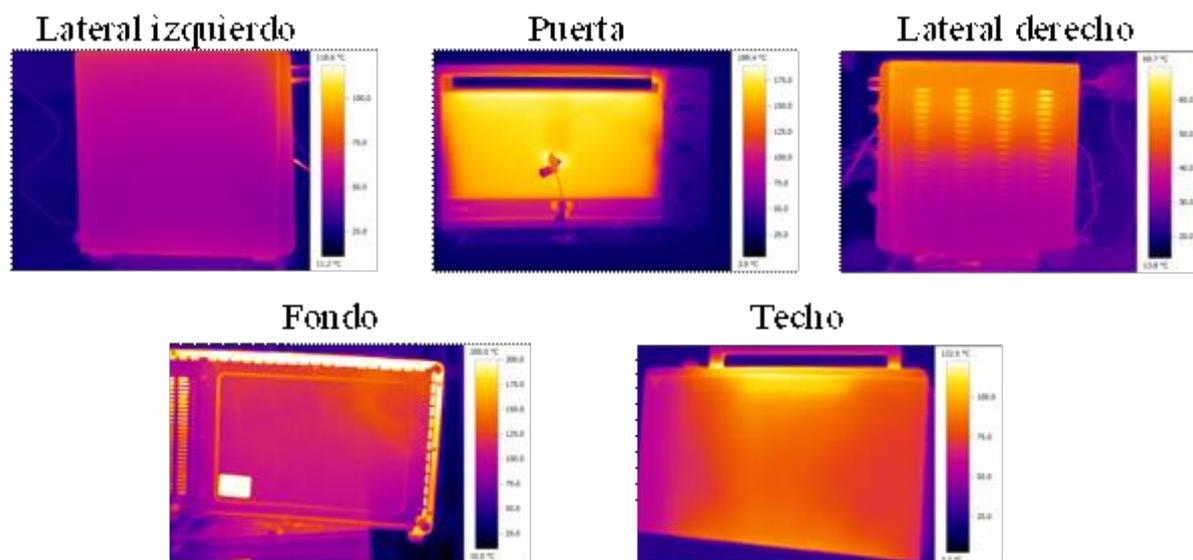
**Figura 5.** Distribución de temperatura a lo largo de la línea central del horno (ver **Figura 1**), a diferentes temperaturas nominales. Símbolos vacíos: horno normal. Símbolos llenos: horno aislado.

La temperatura en las superficies exteriores se determinó usando la cámara termográfica y/o termocupla. La **Tabla 3** presenta los valores obtenidos. La temperatura de la puerta alcanzó valores considerables (independientemente del instrumento usado para la medición), los cuales requieren tener especial cuidado en el uso de este tipo de hornos. La Figura 6 muestra la distribución de temperaturas de distintas superficies del horno “2”; diferentes materiales tienen emisividades diferentes, por lo cual se debe establecer correctamente su valor para medir temperatura en la región particular de interés.



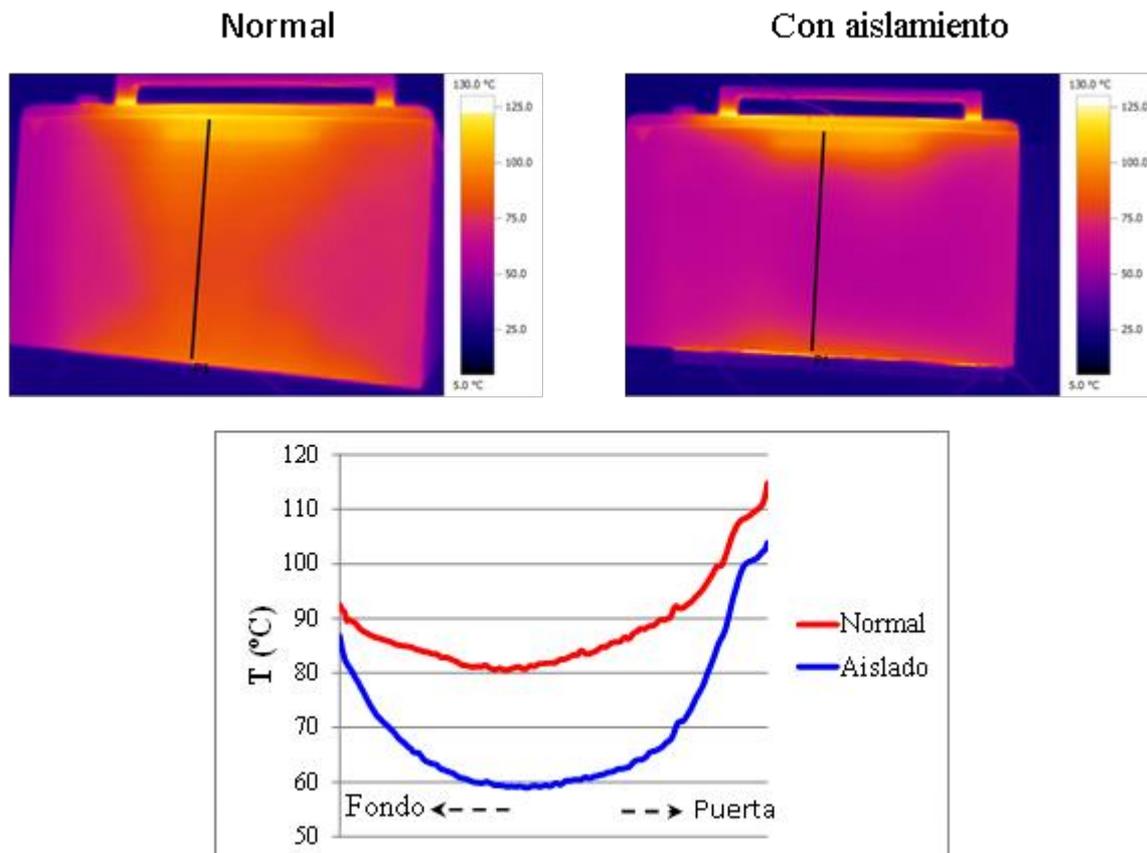
**Tabla 3.** Temperatura de las superficies exteriores del horno “2”, a diferentes temperaturas nominales.

Temperatura (°C)	Instrumento	Horno normal			Horno aislado		
		150	200	250	150	200	250
Nominal		150	200	250	150	200	250
Puerta, desde el exterior	Termocupla	62,6	101,5	150,3	63,1	108,5	141,8
	Termografía	74,7	124,4	165,2	72,9	124,8	166,03
Piso, desde abajo	Termocupla	46,0	80,4	111,8	23,0	28,2	36,2
Fondo, desde atrás	Termografía	49,6	81,9	117,3	33,1	42,6	61,2

**Figura 6.** Distribución de temperatura en las superficies exteriores del horno “2”, sin usar aislamiento, a una temperatura nominal de 250°C.

Si bien se obtuvieron mejoras directas e indirectas de la eficiencia del horno, la elevada difusividad térmica del material de las paredes del horno podría estar limitando la reducción en el consumo de energía. Esto se debe a que el calor que absorben las paredes de la cámara del horno se transfiere muy rápidamente hacia regiones más frías, donde se disipa hacia el ambiente. La **Figura 7** compara la distribución de temperatura en el techo del horno con y sin aislamiento, y como puede verse, el aislamiento reduce la temperatura. La cámara del horno está físicamente unida al techo por el frente y el fondo (no por los laterales), y la forma de la distribución de temperatura observada, es compatible con la suposición de un importante efecto de la transmisión de energía por conducción a lo largo de la pared.





**Figura 7.** Distribución de temperatura en el techo del horno “2”, a una temperatura nominal de 250°C, y variación a lo largo de una línea central.

La **Figura 8** muestra una simulación (COMSOL Multiphysics® 3.5, COMSOL AB, Suecia) donde se observa el fenómeno descrito; el material de la pared es aluminio de 1 mm de espesor, la puerta es vidrio de 3,5 mm de espesor, y el material aislante es fibra de vidrio de 28 mm de espesor. La temperatura en las superficies interiores fue impuesta, variando de 20 a 250°C en 5 min, y en las superficies exteriores se establecieron pérdidas por convección, usando un coeficiente efectivo de transferencia de energía  $h = 6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$ , y una temperatura ambiente de 20°C. La simulación predice que el techo va a estar más caliente que el aislante, debido a la transferencia de energía a lo largo de la pared metálica. A tiempos largos (estado estacionario), el techo va a estar más frío, pero para alcanzar tal estado se requieren tiempos mucho más largos que los habitualmente usados en una cocción típica. Se requieren determinaciones experimentales adicionales para poder caracterizar satisfactoriamente este comportamiento. Por otro lado, la pared metálica de alta difusividad térmica es necesaria y conveniente, tanto en la cámara del horno como en las paredes externas, para que la energía se transfiera rápidamente y evitar puntos o zonas de excesiva temperatura.

Desde el punto de vista de diseño y construcción, se podrían realizar varias modificaciones, las cuales sirven al propósito de disminuir el consumo energético:

- en primer lugar, como se demuestra en este trabajo, se puede incorporar aislación a los hornos. Cuanto más baja difusividad térmica posea el aislante utilizado tanto mejor, aunque además hay que considerar el peso y el costo del mismo.
- se podría usar puerta de doble vidrio, no solo para disminuir el consumo de energía, sino también para disminuir los riesgos de lesiones del usuario, dado que al aumentar el espesor se alcanzarán temperaturas



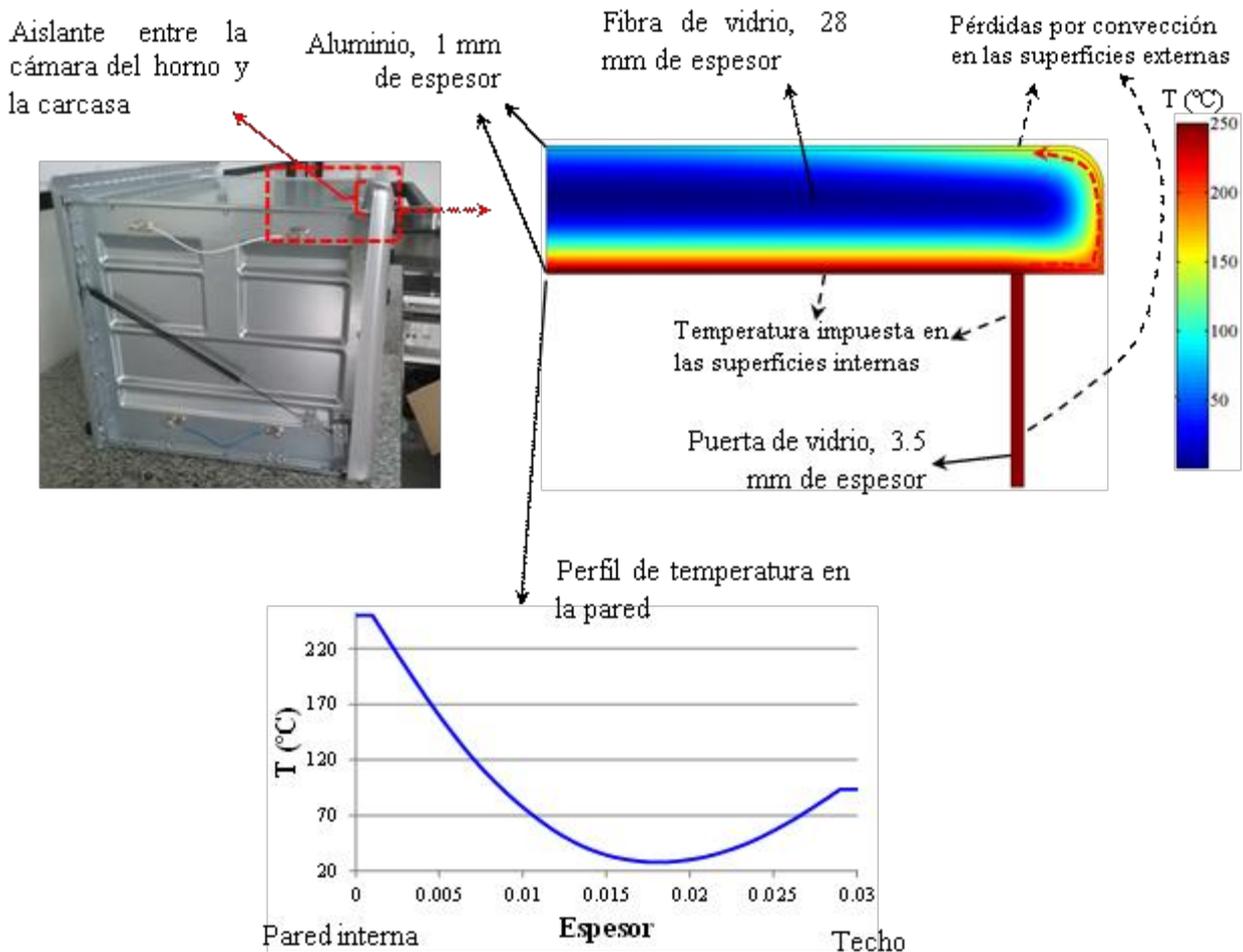
exteriores más bajas. A partir de los datos de las **Tablas 2 y 3**, se observa que la disminución promedio de temperatura entre las cercanías de la puerta (desde el interior), y el exterior, fue de 44,3, 79,8 y 98,9°C, para temperaturas nominales de 150, 200 y 250°C, respectivamente.

- se podría utilizar otro material, de baja difusividad térmica, para conectar estructuralmente la cámara del horno con las paredes exteriores o carcasa del horno, de manera tal de retrasar el calentamiento de la carcasa del horno.

La incorporación de aislante, partes metálicas para paredes dobles, doble vidrio, etc., va a incrementar el peso del equipo. En este sentido, se puede aprovechar el espacio entre la cámara del horno y la carcasa del mismo para contener el aislante sin realizar mayores modificaciones. Por otro lado, estas partes adicionales requerirán energía adicional para calentarse, aunque serán bajas.

Otros aspectos que pueden considerarse en el diseño incluyen:

- la ubicación del sensor de temperatura del sistema de control del horno, el cual podría colocarse en contacto o cerca de alguna de las paredes del horno, de manera tal de poder colocar aislante en todas las paredes.
- usar recubrimientos antiadherentes, antioxidantes, etc., en el interior de la cámara del horno, de manera tal de aumentar su vida útil.



**Figura 8.** Perfil de temperatura simulado en un sistema modelo durante media hora.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se determinó la influencia de la incorporación de material aislante en el consumo de energía de hornos eléctricos domésticos. Se encontró que la incorporación de aislamiento disminuye el consumo de energía del horno y simultáneamente produce un aumento de la temperatura efectiva de funcionamiento del mismo. Por lo tanto, se produce un doble efecto que va a mejorar la eficiencia de los hornos. Por otro lado, se encontró que la incorporación de aislamiento disminuye las diferencias de temperatura dentro de la cámara del horno, por lo cual podrían lograrse cocciones más uniformes. Este tipo de estudios puede servir para informar al consumidor, y para desarrollar regulaciones sobre el rotulado energético y establecer estándares mínimos de eficiencia energéticos a los fabricantes e importadores de equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bansal P, Vineyard E, Abdelaziz O. 2011. Advances in household appliances - A review. *Applied Thermal Engineering*, 31: 3748-3760.
- Bird RB, Stewart WE, Lightfoot EN. 2006. *Fenómenos de Transporte*. 2º Ed., Limusa Willey, México.
- DeMerchant EA. 1997. *User's Influence on Energy Consumption with Cooking Systems Using Electricity*, Doctoral Thesis. Último acceso 26/10/2016: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-119142139711101/unrestricted/edemerch.etd.pdf>
- Goñi SM, Salvadori VO. 2012. Model-based multi-objective optimization of beef roasting. *Journal of Food Engineering*, 111: 92-101.
- Goñi SM, Salvadori VO. 2014. Energy Consumption Estimation during Oven Cooking of Food. En Reiter, S., Ed., *Energy Consumption: Impacts of Human Activity, Current and Future Challenges, Environmental and Socio-Economic Effects*. Nova Science Publishers, Inc., New York. pp. 99-116.
- Hager TJ, Morawicki R. 2013. Energy consumption during cooking in the residential sector of developed nations: A review. *Food Policy*, 40: 54-63.
- Khatir Z, Thompson H, Kapur N, Toropov V, Paton J. 2012. Multi-objective Computational Fluid Dynamics (CFD) design optimisation in commercial bread-baking. *Applied Thermal Engineering*, 60: 480-486.
- Le-Bail A, Dessev T, Jury V, Zuniga R, Park T, Pitroff M. 2010. Energy demand for selected bread making process: conventional versus part baked frozen technologies. *Journal of Food Engineering*, 96: 510-519.
- Ploteau JP, Glouannec P, Nicolas V, Magueresse A. 2015. Experimental investigation of French bread baking under conventional conditions or short infrared emitters. *Applied Thermal Engineering*, 75: 461-467.
- Purlis E. 2012. Baking process design based on modelling and simulation: Towards optimization of bread baking. *Food Control*, 27: 45-52.
- UE 66, 2014. Diseño ecológico aplicables a los hornos, las placas de cocina y las campanas extractoras de uso domestic. Último acceso 26/10/2016: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0066&from=EN>

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se financió con fondos provenientes de la UNLP (11I183), ANPCyT (PICT 2013-1637), y CONICET (PIP-180).

