

Evaluación económica del ahorro de energía y combustible para las modificaciones propuestas en el procesamiento de filetes de atún cocidos envasados al vacío

Economic evaluation of energy and fuel saving for the proposed modifications on processing of cooked tuna steaks, vacuum packed

Juan Carlos Carmona Rodríguez,¹ Roberto Castelo Báez¹ y Yanet González García²

¹ Centro de Investigaciones Pesqueras. Calle 246 No. 503 entre 5ta. Avenida y Mar, Reparto Barlovento, Municipio Playa, La Habana, Cuba, CP 19100, E-mail: jcarlos@cip.alinet.cu

² Unidad Empresarial Industrial de Alimentos. Hacendados # 55 entre Ave. del Puerto y Línea del Ferrocarril, Habana Vieja, La Habana, Cuba

RESUMEN

INDAL es el único establecimiento de Cuba dedicado a la producción de filetes de atún cocidos envasados al vacío. Estudios anteriores realizados en la unidad establecieron reordenamientos para las tallas Extra chica y Chica y nuevos tiempos de cocción. Estas variaciones eliminaron la sobrecocción, aumentaron los rendimientos en el procesamiento y mejoraron la calidad del producto final. A partir de estas modificaciones se propuso determinar el ahorro energético y estimar su efecto económico. La disminución de la energía consumida se calculó mediante la comparación del nuevo índice de consumo de combustible y el establecido hasta el momento. Para la evaluación económica se determinaron los costos de producción y se compararon con los actuales por tonelada de producto terminado. Se obtuvo una disminución del calor consumido en el procesamiento durante una jornada de trabajo de 105 665,8 kJ que equivalió a un ahorro de 13 kg de combustible. Esto redujo el gasto de combustible anual en 2 223 kg. Los cambios propuestos generaron un ahorro de 247,68 CUC y 20,77 CUP por tonelada de producto terminado, que representaron un ahorro anual para la empresa de 1 048 CUC a partir de la disminución de los costos e incrementos en la productividad y calidad del producto. Los cambios implementados trajeron consigo una disminución en el consumo energético y un aumento de las utilidades por la reducción del índice de consumo de materia prima y ahorro de combustible.

Palabras clave: calor, consumo, cocción, reducción.

ABSTRACT

INDAL is the only establishment in Cuba dedicated to produce cooked tuna steaks vacuum packed. Previous studies held in this place set rearrangements for extra small and small sizes and established new cooking times. These variations eliminated overcooking, increased processing yields and improved product quality. From these changes, we proposed to determine the energy savings and estimate their economic impact. The decrease of the energy consumed was calculated by comparing the new fuel consumption index with now established. For economic evaluation, production costs were determined and compared with currents per ton of finished product. A decreasing of heat consumed in processing of 105 665,8 kJ during a workday was obtained, equivalent to a saving of 13 kg of fuel. This reduced annual fuel expenditure in 2 223 kg. The proposed changes generated savings of 247,68 CUC and 20,77 CUC per ton of finished product, which represented an annual saving of 1 048 CUC from reduced costs and increased productivity and quality product. The changes brought a decrease in energy consumption and increase profits by reducing the rate of consumption of raw materials and fuel.

Keywords: heat, consumption, cooking, reduction.

INTRODUCCIÓN

La exigencia del uso racional y el control eficaz de los recursos materiales hace necesario elevar cada vez más la eficiencia de las producciones, sin dejar de tener en cuenta el consumo de combustibles que en la actualidad tiene una vital importancia por el alto costo de los mismos, el progresivo agotamiento de las reservas y la contaminación atmosférica que ocasionan (Macías & Ramos, 2006). Cada día el consumo energético se incrementa de forma geométrica, altamente estimulado en los países industrializados así como en numerosos países en desarrollo (González *et al.*, 2010).

La Empresa Industrial de Alimentos (INDAL), perteneciente al Ministerio de la Industria Alimentaria, es el único establecimiento del país dedicado a la producción de conservas de pescado. En dicha empresa se producen los filetes de atún cocidos, envasados al vacío y congelados; producto preparado, que solo requiere ser recalentado y/o descongelado para su consumo, que goza de gran aceptación no solo por su calidad nutricional, sino por su buena apariencia y excelente sabor.

Esta empresa en los últimos años ha requerido de la búsqueda de nuevas formas de procesamiento para los túnidos, así como una optimización de sus procesos

productivos para reducir los costos de producción con vistas a lograr más competitividad en el mercado nacional.

Estudios realizados establecieron modificaciones como el reordenamiento de la clasificación de tallas Extra chica y Chica (Castelo & González, 2011a) y reducción de los tiempos en la cocción (Castelo & González, 2011b), que permitieron incrementar los rendimientos y elevar la calidad del producto final obtenido. A partir de estas transformaciones se propuso determinar el ahorro energético logrado con las modificaciones propuestas por estos autores y estimar el efecto económico que ellas conllevan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los índices de consumo de combustible, se calcularon para los parámetros de trabajo actuales (Castelo & González, 2011a) y para las modificaciones recomendadas (Castelo & González, 2011b). Para ello se consideró la siguiente base de cálculo:

Base de cálculo: Un turno de trabajo de 8 h en el que se procesan 3 500 kg de materia prima, donde el 60 % corresponde a las tallas de interés, según récord histórico de la empresa.

TABLA 1. Comportamiento de la distribución actual de las tallas estudiadas

Materia prima total (kg)	Distribución (%)		Distribución (kg)	
	Extra chica	Chica	Extra chica	Chica
3 500	10	50	350	1 750

TABLA 2. Comportamiento de la distribución con el nuevo reordenamiento de las tallas estudiadas

Materia prima total (kg)	Distribución (%)		Distribución (kg)	
	Extra chica	Chica	Extra chica	Chica
3 500	15	45	525	1 575

Ecuaciones empleadas para los cálculos:

$$Q_{total} = Q_{proceso} + Q_{equipos} + Q_{perdido}$$

$$Q_{proceso} = \sum Q_{sensibles} + \sum Q_{latentes}$$

Como hay cambio de fase mínimo en el agua de cocción en el proceso, pues las balsinas están cerradas y el agua que se evapora se condensa nuevamente, entonces se considera que:

$$Q_{proceso} = \sum Q_{sensibles}$$

Por tanto:

$$Q_{proceso} = Q_{cocción} \text{ y } Q_{cocción} = Q_{bonito} + Q_{agua} + Q_{carrobandejero}$$

$$\text{Donde: } Q = m * C_p * (T_{final} - T_{inicial})$$

Para el calor de cocción del atún, se calculó el valor de capacidad calórica (C_p) por el modelo de Heldman & Singh (Zumalacárregui, 2009), tomando como referencia la composición centesimal del atún reportada por Izquierdo & Torres (2001), que incluye todos los elementos primarios de los alimentos.

$$C_p = 1,424X_c + 1,449X_p + 1,675X_f + 0,837X_a + 4,187X_w$$

$$\text{Carbohidratos: } X_c = 0,0218$$

$$\text{Proteínas: } X_p = 0,2345$$

Grasas: $X_f = 0,0178$
 Cenizas: $X_a = 0,0114$

Humedad: $X_w = 0,7145$
 Sustituyendo queda: $C_p = 3,42 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$.

TABLA 3. Cantidad de cocciones por tallas según peso promedio de los carros bandejeros, para el sistema actual de clasificación y el propuesto

No. de cocciones/día talla Extra chica		No. de cocciones/día talla Chica	
Actual	Propuesto	Actual	Propuesto
1	2	4	3

TABLA 4. Valores considerados para el cálculo del calor de cocción de acuerdo con la clasificación actual y la propuesta, para la talla Extra chica

	Masa (kg)		Cp (kJ/kg $^\circ\text{C}$)	Temperatura inicial ($^\circ\text{C}$)	Temperatura final ($^\circ\text{C}$)	
	Actual	Propuesto			Actual	Propuesto
Pescado	350	525	3,42	2	83,69	69,13
Agua	1 520	1 520	4,186*	25	100	100
Carro bandejero	181	181	0,477 2*	25	90	90

*(Earle, 1971)

TABLA 5. Valores considerados para el cálculo del calor de cocción de acuerdo con la clasificación actual y la propuesta, para la talla Chica

	Masa (kg)		Cp (kJ/kg $^\circ\text{C}$)	Temperatura inicial ($^\circ\text{C}$)	Temperatura final ($^\circ\text{C}$)	
	Actual	Propuesto			Actual	Propuesto
Pescado	1 750	1 575	3,42	2	82,60	69,9
Agua	1 520	1 520	4,186*	25	100	100
Carro bandejero	181	181	0,477 2*	25	90	90

*(Earle, 1971)

Para el cálculo del calor que consumen los equipos: $Q = mequ岸os * Cpaceroinox * (Tfinal - Tinicial)$.

TABLA 6. Valores para el cálculo del calor consumido por las balsinas

	Masa (kg)	Cp (kJ/kg $^\circ\text{C}$)	Temperatura inicial ($^\circ\text{C}$)	Temperatura final ($^\circ\text{C}$)
2 balsinas de acero inoxidable AISI-316	1 100	0,477 2*	25	90

*(Earle, 1971)

Para el cálculo del calor perdido al ambiente:

$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{perdido equipos}} + Q_{\text{perdido tuberías}}$$

$$Q_{\text{perdido}} = ha * A * (T_{\text{ambiente}} - T_{\text{superficie}}) * t$$

El área A se determinó con los datos reportados en el catálogo (TABLA 8).

$$\text{Para las balsinas por: } A_{\text{equipos}} = 2 * \text{largo} * \text{altura} + 2 * \text{largo} * \text{Ancho} + 2 * \text{Ancho} * \text{altura}$$

Y para las tuberías por: $A_{tubería} = 2 * \pi * longitud * radio$

El coeficiente de transferencia de calor (ha) se determinó para los equipos por:

$$ha = hr + hc$$

$$hc = 1,978 \times (Ts - Ta)^{0,25}$$

$$hr = \xi * \sigma [(Ts^4 - Ta^4)/(Ts - Ta)]$$

Donde:

ϵ : Emisividad térmica de la superficie

ϵ (acero inoxidable AISI - 316) = 0,96

σ : Constante de Stefan - Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

Ts : Temperatura de la superficie

Ta : Temperatura ambiente

Y para las tuberías por:

$$ha = 9,77 + 0,07 * (Ts - Ta)$$

Donde: Tuberías IPS 4 pulgadas (TABLA 8). Espesor del aislante: $5 \times 10^{-2} \text{ m}$.

$$D = D_{exterior} + 2 * \text{espesor aislante}$$

TABLA 7. Valores para el cálculo del calor perdido por los equipos y tuberías

Equipos	ha (W/m ² K)	Área (m ²)	T ambiente (°C)	T superficie (°C)	Tiempo actual (h)	Tiempo propuesto (h)
Balsinas	3,888	15,43	25	40*	5,33	4,66
Tuberías	10,47	38,0	25	35	5,33	4,66

*(Gandón, 2009)

Cálculo de la masa de combustible: $\eta = Q_{total}/(mc * VCI)$

$$\text{Entonces: } mc = Q_{total}/(\eta * VCI)$$

Donde:

Q_{total} : calor total consumido

η : Eficiencia del generador de vapor: 0,80 (Molina Calvo, 2008)

mc : masa de combustible

VCI : Valor calórico inferior del combustible: 10 300 kJ/kg (Molina & Calvo, 2008)

$$IC = mc/m_{producto}$$

Donde:

IC : índice de consumo de combustible

mc : masa de combustible

$m_{producto}$: materia prima procesada y/o producto terminado

TABLA 8. Datos de las tuberías y equipos utilizados en el balance energético

Tuberías			Balsinas			
Longitud (m)	Área (m ²)	Ancho (m)	Largo (m)	Altura (m)	Masa (kg)	Área (m ²)
60	12,85	1,09	2,1	1,7	550	15,43

Fuente: Catálogo de los equipos.

Para evaluar el efecto económico de la modificación propuesta se determinaron los costos de producción y se compararon con los actuales por tonelada de producto terminado, según:

Costos de producción = materias primas y materiales + Salario + Combustible y Energía eléctrica + Servicios auxiliares + Mantenimiento + Costos indirectos de producción

Además se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos actualmente en los procesos de limpieza y obtención del

producto terminado (Castelo & González, 2011a) y con las modificaciones propuestas (Castelo & González, 2011b); así como el récord histórico de producciones de la empresa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas 9, 10 y 11, se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de los calores consumidos para el procesamiento de las tallas, Extra chica y Chica, para el proceso actual y para las modificaciones.

TABLA 9. Calor consumido en el proceso de cocción para las tallas estudiadas

	Talla Chica		Talla Extra chica	
	Actual (kJ)	Propuesto (kJ)	Actual (kJ)	Propuesto (kJ)
Bonito	482 391,00	365 743,95	97 782,93	120 531,92
Agua	477 204,00	477 204,00	477 204,00	477 204,00
Carro	5 614,26	5 614,26	5 614,26	5 614,26
Total	965 209,26	848 561,61	580 601,19	603 350,18

En la TABLA 9 se observa que se redujo el calor consumido en la cocción para la talla Chica como consecuencia del reordenamiento aplicado, el cual disminuyó la cantidad de piezas en esta talla. También se muestra que aumentó el calor consumido para la talla Extra chica con el nuevo reordenamiento, pues se incrementaron las piezas en dicha talla, al ampliar el rango. El resto de los calores consumidos en la cocción se

mantuvieron constantes con las modificaciones, pues no se realizaron cambios que les afectasen.

En la TABLA 10 se observa cómo con las nuevas modificaciones propuestas se produjo una disminución del consumo de calor total de la cocción de 93 898,66 kJ, como consecuencia de la reducción de los tiempos de cocción en 5 min y 10 min, para la tallas Extra chica y Chica, respectivamente (Castelo & González, 2011b).

TABLA 10. Calor total consumido para ambas tallas en la cocción

	Actual (kJ)	Propuesto (kJ)
Calor total de proceso	1 545 810,45	1 451 911,79

En la TABLA 11 se muestra que el consumo actual de calor por las balsinas se mantuvo igual con las nuevas modificaciones, ya que la temperatura que se alcanzó en

el equipo es la misma en ambos casos, por lo que las modificaciones no influyeron en el calor consumido por los equipos.

TABLA 11. Calor consumido por los equipos

Equipo	Actual (kJ)	Propuesto (kJ)
2 balsinas de acero inoxidable AISI-316	34 119,8	34 119,8

En la TABLA 12 se muestra el resumen del calor total perdido para el proceso actual y el propuesto.

TABLA 12. Calor perdido en el proceso de cocción

	Actual (kJ)	Propuesto (kJ)
Equipos (balsinas)	17 268,02	15 098,26
Tuberías	76 341,38	66 745,00
Total	93 610,40	81 843,26

La TABLA 12 refleja una reducción del calor que se perdió al medio ambiente con las modificaciones propuestas, de 11 767,14 kJ, al reducir los tiempos de trabajo para estas tallas en 0,67 h. En ambos casos las tuberías tuvieron las mayores pérdidas al ambiente puesto que estas ocupan una

mayor superficie de contacto (desde el generador de vapor hasta el área de cocción) con el medio exterior.

La TABLA 13 muestra el resumen del calor total consumido para ambas tallas de acuerdo con los dos métodos evaluados

TABLA 13. Calor total consumido para ambas tallas de acuerdo con los dos métodos evaluados

	Actual (kJ)	Propuesto (kJ)
Proceso	1 545 810,45	1 451 911,79
Equipos	34 119,80	34 119,80
Pérdidas	93 610,40	81 843,26
Total	1 673 540,65	1 567 874,85

En la TABLA 13 se observa la reducción del calor que se consumió en la cocción de las tallas Extra chica y Chica durante una jornada de trabajo. Esta reducción fue de 105 665,8 kJ y se debió a la disminución del calor consumido en el proceso y en las pérdidas.

La figura 1 muestra los calores consumidos en la cocción, por los equipos y las pérdidas, durante el procesamiento de las tallas Extra chica y Chica en una jornada de trabajo, tanto para el método actual como para las modificaciones.

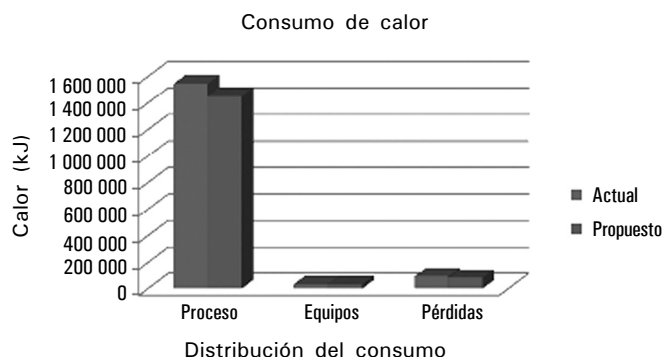


Fig. 1. Consumo de calor en la cocción de ambas tallas actualmente y para las modificaciones.

En la figura 1 se observa un menor consumo de calor tanto en el proceso como en las pérdidas para las modificaciones, identificándose además cómo la cocción constituye el mayor consumidor de calor en este proceso, debido al calentamiento del agua y del bonito, que tienen un calor específico más alto que el resto de los equipos y materiales, a la gran diferencia de temperatura del Centro Térmico del bonito a la entrada y al final de la cocción que tuvo que calentarse hasta la temperatura deseada en el centro térmico (68-72 °C), mientras que los equipos y materiales en algunos casos mantienen el calor y al volumen de producto que se procesa. Por otra parte las balsinas se encuentran aisladas térmicamente por una doble pared en todos sus laterales (calorifugadas) y son herméticamente cerradas, en tanto las tuberías se encuentran protegidas y aisladas por insulaciones, lo que permite un menor calor perdido al ambiente.

El ahorro de combustible obtenido con las modificaciones establecidas fue de 2 223 kg de combustible lo que equivale a 2 470 L, el precio del petróleo es de 0,57 CUC/L, lo que equivale a un ahorro de 1 048 CUC.

CONCLUSIONES

Las transformaciones implementadas trajeron consigo una disminución en el consumo energético anual de 2 223 kg de combustible y un ahorro de 1 048 CUC para INDAL.

REFERENCIAS

- Castelo, R. & González, Y. (2011a). Evaluación de un nuevo método de clasificación y reordenamiento de peso del bonito (*Katsuwonus pelamis*) en las tallas extra chica y chica antes del tratamiento térmico.
- Castelo, R. & González, Y. (2011b). Efecto del tratamiento térmico sobre la textura y rendimiento en el procesamiento de los túnidos en INDAL.
- Earle, E. (1971). *Ingeniería de los Alimentos*. Instituto Cubano del Libro, La Habana, Cuba.
- Gandón, H. J. E. (2009). *Utilización de la energía en la Industria Alimentaria*, La Habana, Cuba.
- González Valdés, R., Rodríguez López, Y., García Taín, Y. & Fernández, L. (2010). Consumo de combustible de los motores de combustión interna. *Rev Cie Téc Agr (19)* 1, 1-8 [online] [citado 2012-10-20]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/lo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-542010000100001&lng=es&nrm=iso
- Izquierdo & Torres, M. (2001). Efecto de tres métodos de cocción en la composición proximal y el perfil de ácidos grasos del atún. *Revista Científica, FCV-LUZ, (XI)* 4, 367-372.
- Macías, I. & Ramos, J. (2006). Determinación del consumo de combustibles para el cumplimiento de las tareas de producción, en camiones cisternas de la Empresa Comercial de Combustibles de la Provincia Granma. [online]. Universidad de Granma. Facultad de Ingeniería. [Citado en 2013-01-15]. Disponible: <http://www.ilustrados.com/tema/8014/Determinacion-consumo-combustible-para-cumplimiento-tareas.html>
- Molina, A. & Calvo, L. C. (2008). *Política ambiental de INDAL*. Empresa Industrial de Alimentos (INDAL), La Habana.
- Zumalacárregui, L. (2009). *Propiedades físico-químicas de los Alimentos*, La Habana.