



USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA *USE OF THE ENERGY IN AGRICULTURE*



ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Energy-Economic Evaluation in the Production of Canned Tuna in Ecuadorian Industry

Evaluación energético-económica en la producción de atún en conservas en la industria ecuatoriana

M.Sc. Ángel Rafael Arteaga-Linza^I, Dr.C. María Isabel Fernández-Parra^{II}, Dr.C. Ángel Luis Brito-Sauvanell^{II}

^I Universidad Técnica de Manabí, Provincia de Manabí, República de Ecuador.

^{II} Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

ABSTRACT. The lack of indicators for the energetic - economic evaluation of the canned tuna canning process motivated the present work aimed at establishing those indicators that contribute to the establishment of benchmarking that serve as reference for the evaluation of this process. The methodology used combined, from the literature consulted, a method to determine the energetic efficiency of a pyrotubular steam generator with a procedure to calculate the cost of saturated steam generated by the system, and finally adapts the proposal of key indicators of performance for the improvement of an industry performance, establishing the indicators for the energetic - economic evaluation of the process under study. The main results showed that the consumption of specific steam was 1,142 t of steam/t of raw material, with a specific cost of 27,074 USD/t of raw material, concentrating 72.67% of steam consumption in cooking and sterilization processes. The implementation of the proposed indicators corroborated the relevance.

Keywords: tuna, steam, cooking, sterilization, energetic-economic indicators.

RESUMEN. La carencia de indicadores para la evaluación energético-económica del proceso de elaboración de conservas de atún en latas, motivó el presente trabajo dirigido a establecer indicadores energético - económicos que contribuyan al establecimiento de benchmarking que sirvan de referencia para la evaluación de dicho proceso. La metodología utilizada combinó, a partir de la literatura consultada, un método para determinar la eficiencia energética de un generador de vapor pirotubular con un procedimiento para el cálculo del costo del vapor saturado generado por el sistema, y finalmente adapta la propuesta de indicadores claves de desempeño para la mejora del rendimiento de una industria, estableciendo los indicadores para la evaluación energético - económica del proceso objeto de estudio. Los principales resultados arrojaron que el consumo de vapor específico fue de 1 142 t de vapor/ton de materia prima, con un costo específico de 27,074 \$/t de materia prima, concentrándose el 72,67% del consumo de vapor en los procesos de cocinado y esterilizado. La implementación de los indicadores propuestos corroboró su pertinencia.

Palabras clave: atún, vapor, cocinado, esterilizado, indicadores energético-económicos.

INTRODUCTION

The fishing sector is particularly important in developing countries, as it represents the livelihood of 8% of the world's population (Avadí and Fréon, 2013). It is estimated that 56.6 million people were employed in the primary sector of capture fisheries and aquaculture in 2014, of which 36% were full time, 23% part-time and the rest were occasional fishermen or unspecified situation (FAO, 2016).

Fisheries and aquaculture sector accounted for 12% of Ecuador's exports, becoming the second exportable product

INTRODUCCIÓN

El sector de la pesca es particularmente importante en los países en vías de desarrollo, ya que representa el medio de vida del 8% de la población mundial (Avadí y Fréon, 2013). Se estima que 56,6 millones de personas trabajaban en el sector primario de la pesca de captura y la acuicultura en 2014, de los cuales el 36% lo hacía a tiempo completo, el 23% a tiempo parcial y el resto eran pescadores ocasionales o de situación sin especificar (FAO, 2016).

El sector de la pesca y la acuicultura representaron para la República de Ecuador el 12% de sus exportaciones, convirtiéndose en

after oil in the country (Avadí *et al.*, 2015). Ecuador is among the top ten countries in the world in catch of tuna, and is the second largest tuna processor, after Thailand, with almost 12% of annual global production. From 2014, 27 tuna processing plants operate in the country according to the Vice Ministry of Aquaculture and Fisheries (Pacheco, 2013), located in two provinces of the coast: 81% in Manabí, specifically in the city of Manta and 19% in Guayas, in the cities of Guayaquil and Posorja, a number that has increased since in 2008 there were only 18 plants (Avadí *et al.*, 2015).

In the canning process of canned tuna, steam is the most suitable means of transporting heat demanded by different processes, such as cooking, packaging, sterilizing, labeling and packaging, to convert tuna into a finished product (Avadí *et al.*, 2015). Factors such as the efficiency and productivity of the equipment and machines that generate and consume it, will directly determine the cost of the ton of steam produced and the ton of raw material processed (Jimenez *et al.*, 2016).

In the literature reviewed, different researches have been carried out which show the importance of the energetic-economic evaluation of the machinery used in agricultural processes (De las Cuevas *et al.*, 2010; García de la Figal *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 2015), however, about the process of canning tuna, no studies were found that define or present values of steam consumption/t of total processed tuna, nor in each stage of the process, which is indispensable in studies of optimization, design and control of this type of industrial processes, not only for the reduction of the use of energy carriers, but also for emissions of polluting gases, which today represents a problem that worries humankind.

For this reason, the objective of this work is to establish a set of energetic - economic indicators for the tuna canning process, which contributes to the establishment of benchmarking to serve as a reference for their energetic - economic evaluation with a view to continuous improvement thereof.

This work is part of a project financed by the Ecuadorian government through its scholarship program of the National Secretariat of Science and Technology and Innovation (SENESCYT), and was carried out in one of the most important transnational canned tuna processing companies in the Republic of Ecuador.

METHODS

The study was carried out in one of the largest canned tuna processing companies in the Republic of Ecuador, which has a production capacity of 12,000 boxes and exports its products to more than 30 countries in South America and Europe. Figure 1 shows the process map for the preparation of canned tuna of this company, in which the subsystems that integrate the system are clearly differentiated: steam generation and production process.

The experimental data were taken in September 2015 for 15 days. For the determination of a set of energetic - economic indicators with a view to the establishment of benchmarking

el segundo reglón exportable después del petróleo en el país (Avadí *et al.*, 2015). El Ecuador se encuentra entre los diez principales países del mundo en captura de atún, y es el segundo mayor procesador de atún, después de Tailandia, con casi el 12% de la producción global anual. A partir del 2014, 27 plantas procesadoras de atún operan en el país de acuerdo al Viceministerio de Acuicultura y Pesca (Pacheco, 2013), localizadas en dos provincias de la costa: el 81% en Manabí, específicamente en la ciudad de Manta y el 19% en Guayas, en las ciudades de Guayaquil y Posorja, número que se ha incrementado ya que en el 2008 solo existían 18 plantas (Avadí *et al.*, 2015).

En el proceso de elaboración de conservas de atún en latas, el vapor constituye el medio más idóneo de transporte del calor demandado por los diferentes procesos, tales como cocción, empaque, esterilizado, etiquetado y encartonado, para convertir al atún en un producto terminado (Avadí *et al.*, 2015). Factores como la eficiencia y productividad de los equipos y máquinas que lo generan y consumen, determinarán de manera directa el costo de la tonelada de vapor producido y de la tonelada de la materia prima procesada (Jiménez *et al.*, 2016).

Dentro de la bibliografía revisada se han llevado a cabo diferentes investigaciones que dan cuenta de la importancia de la evaluación energético-económica de la maquinaria utilizada en los procesos agrícolas (de las Cuevas *et al.*, 2010; García de la Figal *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 2015), sin embargo, sobre el proceso de elaboración de conservas de atún en latas, no se encontraron trabajos que definan o presenten valores de índices de consumo de vapor/ toneladas de atún procesado total, ni en cada etapa del proceso, lo cual resulta indispensable en estudios de optimización, diseño y control de este tipo de procesos industriales, no solo por la disminución del uso de portadores energéticos, sino también por las emisiones de gases contaminantes, lo cual representa hoy un problema que preocupa a la humanidad.

Por tal motivo, el objetivo de presente trabajo es establecer un set de indicadores energético - económicos para el proceso de elaboración de conserva de atún en latas, que contribuya al establecimiento de benchmarking que sirvan de referencia para su evaluación energético-económica con vistas a la mejora continua de los mismos.

Este trabajo se encuentra dentro de un proyecto financiado por el gobierno ecuatoriano mediante su programa de becas de la Secretaria Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SENESCYT), y fue realizado en una de las más importantes empresas transnacionales procesadora de conservas de atún en latas en la república del Ecuador.

MÉTODOS

El estudio fue realizado en una de las mayores empresas procesadoras de atún en latas de la República del Ecuador, la cual cuenta con una capacidad de producción de 12000 cajas y exporta sus productos a más de 30 países en Suramérica y Europa. La Figura 1 muestra el mapa de proceso para la elaboración de conservas de atún de dicha empresa, en el cual se diferencia claramente los subsistemas que componen el sistema: generación de vapor y proceso de producción.

La toma de los datos experimentales se realizó en el mes de septiembre del 2015 durante 15 días. Para la determinación de un

that allow the evaluation of the tuna canning process for its continuous improvement, a methodology was applied that consists of three main stages.

In the first stage, the thermal parameters are determined applying the method used by Jiménez *et al.* (2016), the energetic efficiency of the Cleaver Brooks pyrotubular steam generator is evaluated, and the economic operating costs are established, which in their integration allow obtaining the cost of the saturated steam generated by the system using an adaptation of the methodology used by Silveira *et al.* (2012).

set de indicadores energético - económicos con vista al establecimiento de benchmarking que permitan la evaluación del proceso de elaboración de conserva de atún en latas para su mejora continua, se ha aplicado una metodología que consta de tres etapas principales.

En la primera etapa, se determinan los parámetros térmicos aplicando el método utilizado por Jiménez *et al.* (2016), se evalúa la eficiencia energética del generador de vapor pirotubular Marca Cleaver Brooks, y se establecen los costos económicos operativos, lo cual en su integración permiten obtener el costo del vapor saturado generado por el sistema aplicando una adaptación de la metodología utilizada por Silveira *et al.* (2012).

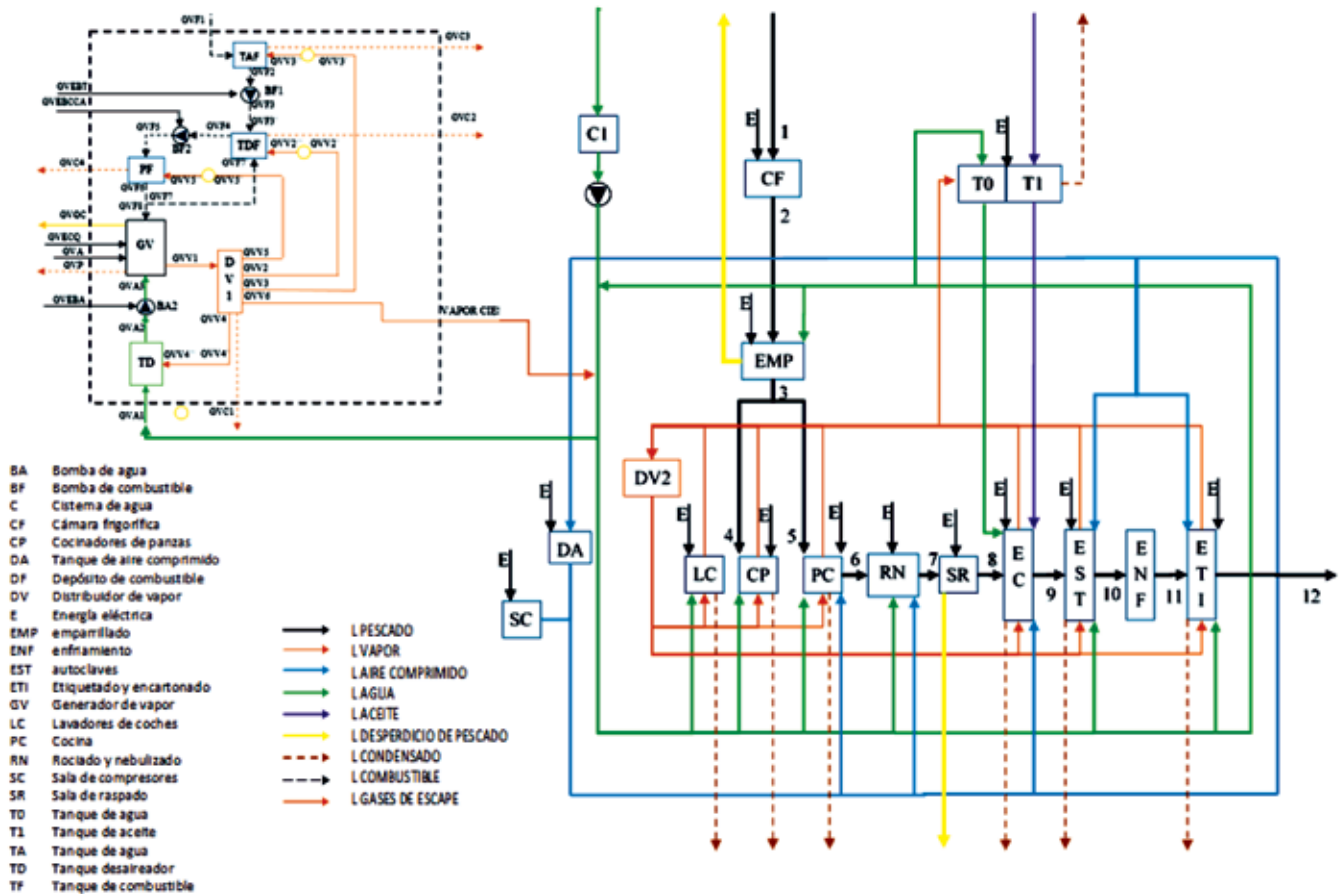


FIGURE 1. Map of Tuna Canning Processes of the Company Object of Study.
 FIGURA 1. Mapa de procesos de la elaboración de conservas de atún en latas de la empresa objeto de estudio.

Thermal Parameters of the Steam Generation System

By means of a mass balance to the water supply tank of the pyrotubular boiler, the quantity of water leaving the tank was determined GV_{A2} , using equation (1):

$$GV_{A2} = GV_{A1} + GV_{V4} \quad (1)$$

Where:

GV_{A1} = entrance to the water supply tank (kg/h)

GV_{V4} = steam inlet to water supply tank (kg/h)

To determine $GVA1$ a volumetric multi-flow meter, model GMDX90°C of 2" of diameter was installed at the inlet of the water supply tank of the boiler.

Parámetros térmicos del sistema de generación de vapor

Mediante un balance de masa al tanque de alimentación de agua de la caldera pirotubular, se determinó la cantidad de agua que sale del tanque GV_{A2} , utilizando la ecuación (1):

$$GV_{A2} = GV_{A1} + GV_{V4} \quad (1)$$

donde:

GV_{A1} = entrada al tanque de alimentación de agua (kg/h)

GV_{V4} = entrada de vapor tanque alimentación de agua (kg/h)

Para determinar $GVA1$ se instaló un medidor de flujo volumétrico de chorro múltiple, modelo GMDX90°C de 2" de diámetro a la entrada del tanque de alimentación de agua de la caldera.

The parameters that define the thermodynamic state of GVV4'' were obtained by means of the calculation of the losses of pressure and heat by convection and radiation in the steam pipe of the water supply tank, applying the fundamental equations of fluid mechanics and heat transfer presented by Levenspiel (2014), and applied to the methodology described by Vega and González (2002). By performing an energy balance to the boiler water supply tank, the amount of condensate formed by the heating of the boiler feed water was determined. It was calculated according to equation (2).

$$hA2 \cdot GV_{A2} = hA1 \cdot GV_{A1} + HV4 \cdot GV_{V4''} \quad (2)$$

The quantity of steam generated in the boiler pyrotubular, was determined according to the equation (3), defining it as the difference between the water that enters to the boiler and the quantity that goes out of it for concept of the purges.

$$GV_{V1} = GV_{A3} - GV_P \quad (3)$$

Where:

GV_{V1} = steam generated by the pyrotubular boiler (kg/h)

GV_{A2} = GVA3= outlet of the water supply tank (kg/h)

GV_P = water from level and bottom purges (kg/h)

To determine the amount of water leaving the boiler (GVP) due to the purging, a metal container was placed at the outlet of the purge tank, which was duly cubed, where the volume extracted per hour of the boiler was measured. On the basis of the measurements realized and applying the procedure proposed by Spirax Sarco (2004), this parameter was calculated according to equation (4).

$$GV_P = Líquido + Re_{vaporizado} \quad (4)$$

Where:

Liquid = Liquid collected in metal tank (kg/h)

$Re_{vaporizado}$ = flash steam of condensate discharge kg/h)

The vapor generated by the system was determined according to equation (5), where the difference between the vapor generated by the pyrotubular boiler and the summation of all consumptions of the components of the steam generation system, is represented.

$$GV_{V6} = GV_{V1} - (GV_{V2''} + GV_{V3''} + GV_{V4''} + GV_{V5''}) \quad (5)$$

Where:

$GV_{V2''}$ = heating steam of daily fuel tank (kg/h)

$GV_{V3''}$ = heating steam of fuel storage tank (kg/h)

$GV_{V4''}$ = heating steam of boiler feed water tank (kg/h)

$GV_{V5''}$ = heating steam of fuel heater (kg/h)

GV_{V6} = steam to canning process (kg/h).

For the determination of the aforementioned components, tanks were constructed and installed for the collection and quantification of condensate, proceeding in a manner analogous to the collection of condensate from the boiler purges.

The fuel flow (GVF1) entering the fuel storage tank (TAF) was obtained by statistical analysis in the Statgraphic software of the fuel information that monthly entered the steam gene-

Los parámetros que definen el estado termodinámico de GVV4'' se obtuvieron mediante el cálculo de las pérdidas de presión y de calor por convección y radiación en la tubería de vapor del tanque de alimentación de agua, aplicando las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos y transferencia de calor presentadas por Levenspiel (2014), y aplicadas a la metodología descrita por Vega y Rodríguez (2007). Mediante la realización de un balance de energía al tanque de alimentación de agua de la caldera, se determinó la cantidad de condensado que se formó por el calentamiento del agua de alimentación de la misma, la cual se calculó según la ecuación (2).

$$hA2 \cdot GV_{A2} = hA1 \cdot GV_{A1} + HV4 \cdot GV_{V4''} \quad (2)$$

La cantidad de vapor generado en la caldera piro tubular, se determinó según la ecuación (3), definiéndola como la diferencia entre el agua que entra a la caldera y la cantidad que sale de esta por concepto de las purgas.

$$GV_{V1} = GV_{A3} - GV_P \quad (3)$$

donde:

GV_{V1} = vapor generado por la caldera piro tubular (kg/h);

GV_{A2} = GVA3= salida del tanque de alimentación de agua.

(kg/h);

GV_P = agua de purgas de fondo y nivel. (kg/h).

Para determinar la cantidad de agua que sale de la caldera (GVP) por efecto de las purgas, se colocó a la salida del tanque de purgas un recipiente metálico debidamente cubado, donde se midió el volumen extraído por hora de la caldera. Sobre la base de las mediciones realizadas y aplicando el procedimiento propuesto por Spirax Sarco, Inc. (2011), se calculó dicho parámetro según la ecuación (4).

$$GV_P = Líquido + Re_{vaporizado} \quad (4)$$

donde:

Líquido = líquido recogido en tanque metálico (kg/h);

$Re_{vaporizado}$ = vapor flash del condensado de descarga (kg/h).

El vapor generado por el sistema se determinó según la ecuación (5), donde se representa la diferencia entre el vapor generado por la caldera piro tubular y la sumatoria de todos los consumos de los componentes del sistema de generación de vapor.

$$GV_{V6} = GV_{V1} - (GV_{V2''} + GV_{V3''} + GV_{V4''} + GV_{V5''}) \quad (5)$$

donde:

$GV_{V2''}$ = vapor de calentamiento de combustible de tanque diario (kg/h)

$GV_{V3''}$ = vapor de calentamiento de combustible de tanque de almacenamiento (kg/h)

$GV_{V4''}$ = vapor de calentamiento de tanque de agua de alimentación de caldera (kg/h)

$GV_{V5''}$ = vapor de calentamiento de calentador de combustible (kg/h)

GV_{V6} = Vapor de salida a proceso de elaboración de conservas en latas (kg/h).

Para la determinación de los componentes antes mencionados, se construyeron e instalaron tanques aforados para la recolección y cuantificación del condensado, procediendo de manera análoga a la recolección de condensado de las purgas de la caldera.

El flujo de combustible (GVF1) que ingresa al tanque de almacenamiento de combustible (TAF), se obtuvo mediante

ration system during the year 2015. The fuel consumed by the boiler (GVF8) is calculated by equation 6.

$$F_{comb} = \frac{Q_{\text{útil}}}{\eta * q_{\text{disponible}}} \quad (6)$$

Where:

F_{comb} = fuel flow to the boiler (kJ/h)

$Q_{\text{útil}}$ = heat absorbed by the water in the boiler (kJ/h)

$Q_{\text{available}}$ = heat of fuel (kJ/kg_{comb.})

The fuel flow that drives the boiler feed pump (GVF5) was determined by the manufacturer's technical specifications.

The measurements of the chemical composition of the exhaust gases of the pyrotubular boiler were determined by the Testo brand, model 350 series 02555648 exhaust gas measurement equipment owned by ELICROM Company.

In order to obtain the elemental chemical composition of fuel oil No. 6, distributed by Petrocomercial for the entire Ecuadorian industrial sector, and which is the analyzed company supplier, a sample was sent to the company "SertinLab". It is a company that performs analysis of fuels and lubricants, accredited by Ecuadorian State.

Evaluation of Energetic Efficiency of Pyrotubular Steam Generator, Brand Cleaver Brooks

Once measurements of all operation parameters of the steam generation system have been made, its energy efficiency is determined, by indirect and direct methods, by applying equations (7) and (8) as expressed by Jiménez et al. (2016).

$$\eta = 100 - \Sigma (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \quad (7)$$

Where:

q_2 = exhaust gas loss (%)

q_3 = loss due to incomplete chemical combustion (%)

q_4 = loss due to incomplete mechanical combustion (%)

q_5 = loss of heat transfer through walls (%)

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{F_{comb} * q_{\text{disponible}}} \quad (8)$$

Where:

F_{comb} = fuel flow to the boiler (KJ/h)

$Q_{\text{útil}}$ = heat absorbed by the water in the boiler (KJ/h)

$Q_{\text{disponible}}$ = fuel heat (kJ/kg_{comb.})

Saturated Steam Cost Generated by the System

The cost of the ton of steam generated by the industry's steam generation system was obtained according to equation (9) proposed by Silveira et al. (2012).

$$P_V = \left(\frac{h_{V1} - h_{A3}}{PCI * \eta} * CC \right) + PQ + PEE + PA + PO \quad (9)$$

Where:

P_V = cost of steam (\$/kg of steam)

h_{V1} = saturated steam enthalpy at the outlet of the boiler (kJ/kg)

h_{A3} = water enthalpy at the inlet of the boiler (kJ/kg)

un análisis estadístico en el software Statgraphic, de la información del combustible que mensualmente ingresó al sistema de generación de vapor durante el año 2015. El combustible consumido por la caldera (GVF8) se calcula por la ecuación 6.

$$F_{comb} = \frac{Q_{\text{útil}}}{\eta * q_{\text{disponible}}} \quad (6)$$

donde:

F_{comb} = flujo de combustible a la caldera (kJ/h);

$Q_{\text{útil}}$ = calor absorbido por el agua en la caldera (kJ/h);

$Q_{\text{disponible}}$ = calor del combustible (kJ/kg_{comb.}).

El flujo de combustible que maneja la bomba de alimentación de la caldera (GVF5), se determinó mediante las especificaciones técnicas del fabricante.

Las mediciones de la composición química de los gases de escape de la caldera pirotubular, se determinaron mediante el equipo de medición de gases de escape, Marca Testo, modelo 350 serie 02555648 de propiedad de la empresa ELICROM.

Para la obtención de la composición química elemental del combustible fueloil No. 6, que distribuye petrocomercial para todo el sector industrial ecuatoriano, y del cual se abastece la empresa analizada, se envió una muestra a la empresa "SertinLab", la cual es una compañía que realiza análisis de combustibles y lubricantes, acreditada por el Estado Ecuatoriano.

Evaluación de la eficiencia energética del generador de vapor pirotubular Marca Cleaver Brooks

Una vez realizados las mediciones de todos los parámetros de operación del sistema de generación de vapor, se procede a determinar su eficiencia energética, tanto por el método indirecto y directo, mediante la aplicación de las ecuaciones (7) y (8) según lo expresado por Jiménez et al. (2016).

$$\eta = 100 - \Sigma (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \quad (7)$$

donde:

q_2 = pérdida por gases de escape (%);

q_3 = pérdida por combustión química incompleta (%);

q_4 = pérdida por combustión mecánica incompleta (%);

q_5 = pérdida por transferencia de calor a través de las paredes (%).

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{F_{comb} * q_{\text{disponible}}} \quad (8)$$

donde:

F_{comb} = flujo de combustible a la caldera (kJ/h);

$Q_{\text{útil}}$ = calor absorbido por el agua en la caldera (kJ/h);

$Q_{\text{disponible}}$ = calor del combustible (kJ/kg_{comb.}).

Costo del vapor saturado generado por el sistema

El costo de la tonelada de vapor generada por el sistema de generación de vapor de la industria se obtuvo según la ecuación (9) propuesta por Silveira et al. (2012).

$$P_V = \left(\frac{h_{V1} - h_{A3}}{PCI * \eta} * CC \right) + PQ + PEE + PA + PO \quad (9)$$

donde:

P_V = costo del vapor (\$/kg de vapor);

PCI = lower heating value of fuel #6 (kJ/kg)
 CC = fuel price (0,252 \$/kg of fuel)
 PQ = chemicals cost (0,00097 \$/kg of steam)
 PA= cost of water consumption (0,0022 \$/kg of steam)
 PEE = cost of electric power consumption (0,0000337 \$/kg of steam)
 PO = cost of operation and maintenance (0,00174 \$/kg of steam)

In the second stage, the key processes of tuna canning, in accordance with the technological requirements of the company object of study, are established using the process map of tuna processing proposed by Avadí *et al.* (2015), as well as the daily consumption of raw material and steam per stage of the process. That latest parameter was obtained by applying the procedure proposed by Spirax Sarco (2004), used in the first stage, and calculates the cost of the steam per day for each of the stages of the process according to equation (10).

$$\text{Cost of steam} = P_v \cdot \text{steam consumption} \quad (10)$$

Finally, in the third stage, the indicators for the energetic-economic evaluation of the process of tuna canning are established, adapting the proposal of key performance indicators for the performance improvement of an industry proposed by Lindberg *et al.* (2015).

RESULTS AND DISCUSSION

First Stage Results

The values of thermal parameters of the steam generation system, determined from measurements made in situ and calculated by applying the equations proposed in the methods, are shown in Table 1.

h_{v1} = entalpia de vapor saturado a la salida de la caldera (kJ/kg);
 h_{A3} = entalpia de agua que ingresa a la caldera (kJ/kg);
 PCI = poder calorífico inferior de fuel #6 (kJ/kg);
 CC = precio del combustible (0,252 \$/kg de combustible);
 PQ = costo de productos químicos (0,00097 \$/kg de vapor);
 PA= costo del consumo de agua (0,0022 \$/kg de vapor);
 PEE = costo del consumo de Energía Eléctrica (0,0000337 \$/kg de vapor);
 PO = costo de operación y mantenimiento (0,00174 \$/kg de vapor).

En la segunda etapa, se establecen los procesos claves de la elaboración de conservas de atún en latas en correspondencia con los requerimientos tecnológicos de la empresa objeto de estudio, utilizando el mapa de procesos del procesamiento del atún propuesto por Avadí *et al.* (2015), así como se determina el consumo diario de materia prima y de vapor por etapa del proceso, parámetro este último que se obtuvo aplicando el procedimiento propuesto por Spirax Sarco, Inc. (2011), utilizado en la primera etapa, y se calcula el costo del vapor por día para cada una de las etapas del proceso según la ecuación (10).

$$\text{Costo del vapor} = P_v \cdot \text{Consumo de vapor} \quad (10)$$

Finalmente, en la tercera etapa, se establecen los indicadores para la evaluación energético- económica del proceso de elaboración de conservas de atún en latas adaptando la propuesta de indicadores claves de desempeño para la mejora de rendimiento de una industria propuesta por Lindberg *et al.* (2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la primera etapa

Los valores de los parámetros térmicos del sistema de generación de vapor, determinados a partir de las mediciones realizadas in situ y calculados aplicando las ecuaciones planteadas en los métodos, se muestran en la Tabla 1.

TABLE 1. Thermodynamic Parameters of the Steam Generation System
 TABLA 1. Parámetros termodinámicos del sistema de generación de vapor

Nomenclature	Material	kg/h	bar	°C
GVA1	WATER	3895,560	1,013	40,000
GVA2	WATER	3978,000	1,013	52,700
GVA3	WATER	3978,000	10,448	53,000
GVV1	STEAM	3499,000	8,724	174,000
GVV2	STEAM	17,010	8,724	174,000
GVV2'	STEAM	17,010	8,668	174,000
GVV2''	STEAM	17,010	3,013	142,700
GVV3	STEAM	42,912	8,724	174,000
GVV3'	STEAM	42,912	7,824	169,500
GVV3''	STEAM	42,912	3,013	133,700
GVV4	STEAM	82,512	8,724	174,000
GVV4'	STEAM	82,512	8,636	173,600
GVV4''	STEAM	82,512	2,513	132,300
GVV5	STEAM	19,537	8,724	174,000
GVV5'	STEAM	19,537	8,705	173,940

GVV5''	STEAM	19,537	2,013	144,700
GVV6	STEAM	3320,280	8,724	174,000
GVP	WATER	478,080	8,724	174,000
GVC1	WATER	17,640	8,724	174,000
GVF1	FUEL	262,800	1,013	40,050
GVF2	FUEL	262,800	1,013	54,800
GVF3	FUEL	262,800	10,710	55,000
GVF4	FUEL	605,880	1,013	52,800
GVF5	FUEL	605,880	6,410	53,000
GVF6	FUEL	605,880	4,370	88,000
GVF7	FUEL	343,080	4,370	88,000
GVF8	FUEL	262,800	4,370	88,000

According to Jiménez *et al.* (2016), the energetic efficiency of the pyrotubular steam generator was evaluated, resulting in 84.91% by the indirect method and 83.82% by the direct method, which corresponds to the values predetermined by Nieuwlaar *et al.* (2015). Finally, the cost of the ton of steam generated by the company's system under study, based on its operation and maintenance input costs, was 23.7 \$/t of steam.

Second Stage Results

The parameters values of daily consumption of raw material and steam, as well as the cost of steam per day for each stage of the tuna canned elaboration process, were determined on the basis of measurements made in situ and the application of the equations in the methods, (Table 2).

De acuerdo a lo expresado por Jiménez *et al.* (2016), se evaluó la eficiencia energética del generador de vapor pirotubular, resultando esta de un 84,91% por el método indirecto y un 83,82% por el directo, lo cual se corresponde con los valores predeterminados por Nieuwlaar *et al.* (2016). Finalmente, el costo de la tonelada de vapor generada por el sistema de la empresa en estudio, en función de sus costos de insumos de operación y mantenimiento fue de 23,7 USD/t de vapor.

Resultados de la segunda etapa

Los valores de los parámetros de consumo diario de materia prima y de vapor, así como el costo del vapor por día para cada etapa del proceso de elaboración del atún, se determinaron a partir de las mediciones realizadas in situ y la aplicación de las ecuaciones planteadas en los métodos, (Tabla 2).

Table 2. Consumption and Cost of Steam and Raw Material per Day for Each Key Process
TABLA 2. Consumo y costo de vapor y materia prima por día para cada proceso clave

Processes	Steam Consumption (t of steam/day)	Raw Material (t RM/day)	Steam Cost (\$/day)
Condensed	5,998	134,122	142,213
Steam Generation	5,438	134,122	128,935
Cooking	27,859	134,122	660,537
Sterilization	33,165	52,200	786,342
Cleaning of Containers	1,600	52,200	37,936
Preheated	1,671	52,200	39,619
Dosage	2,119	52,200	50,241
Can Sealing	2,400	52,200	56,904
Packing wash	1,984	52,200	47,041
Packed	1,144	52,200	27,124
Rest of Areas	0,592	134,122	14,036
TOTAL	83,970		1990,929

The results presented above allow inferring that daily yield of the tuna elaboration process in the company under study is 39%, which is considered acceptable, nevertheless, they must work to increase it since, according to Zagarramurdi et al. (1999), it should be in the range of 38-40% and Taboada et al. (2016) places it at 41%. In addition, the results show that 72.67% of the steam consumption is concentrated in the cooking and sterilization processes, reaffirming what is presented by Avadí et al. (2015), where these processes are considered as steam consumers in the elaboration of canned tuna.

Third stage results

The proposal of key performance indicators for performance improvement of an industry by Lindberg et al. (2015) is adapted, establishing two fundamental indicators for the energetic - economic evaluation of each stage of the tuna canning process: specific consumption (*Conev*) and specific cost of steam (*Cosev*), which are calculated applying equations (11) and (12). The results obtained in the company under study are shown in Table 3.

$$Conev = \frac{\text{consumo de vapor}}{\text{materia prima}} \quad (11)$$

$$Cosev = \frac{\text{Costo del vapor}}{\text{materia prima}} \quad (12)$$

Los resultados antes presentados permiten inferir que el rendimiento diario del proceso de elaboración del atún en la empresa objeto de estudio es del 39%, el cual se considera aceptable, no obstante, se debe trabajar para incrementarlo ya que según lo expresado por Zagarramurdi et al. (1999), el mismo debe estar en un rango entre 38 - 40% y Taboada et al. (2016), lo ubica en un 41%. Además, los resultados evidencian que el 72,67% del consumo de vapor se concentra en los procesos de cocinado y esterilizado, reaffirmando lo expuesto en el mapa de proceso de Avadí et al. (2015), donde considera dichos procesos como consumidores de vapor en la elaboración de conserva de atún en latas.

Resultados de la tercera etapa

Se adapta la propuesta de indicadores claves de desempeño para la mejora de rendimiento de una industria de Lindberg et al. (2015), estableciendo dos indicadores fundamentales para la evaluación energético - económica de cada etapa del proceso de elaboración de conservas de atún en latas: consumo específico (*Conev*) y costo específico de vapor (*Cosev*), los cuales se calculan aplicado las ecuaciones (11) y (12). Los resultados alcanzado en la empresa objeto de estudio constan en la Tabla 3.

$$Conev = \frac{\text{consumo de vapor}}{\text{materia prima}} \quad (11)$$

$$Cosev = \frac{\text{Costo del vapor}}{\text{materia prima}} \quad (12)$$

Table 3. Energetic-Economic Indicators per Stages of the Process
 TABLA 3. Indicadores energético - económica por etapas del proceso

Equipment /Installation	Specific Consumption of Steam (t of steam/t of mat)	Specific Cost of Steam (\$/t of mat)
Condensed	0.045	1.060
Steam Generation	0.041m	0.961
Cooking	0.208	4.925
Sterilization	0.635	15.064
Cleaning of Containers	0.031	0.727
Preheated	0.032	0.759
Dosage	0,041	0,962
Can Sealing	0.046	1.090
Packing wash	0.038	0.901
Packed	0.022	0.520
Rest of Areas	0.004	0.105
TOTAL	1.142	27.074

CONCLUSIONS

- The indicators for energetic-economic evaluation of each stage of tuna canning process in order to establish benchmar-

CONCLUSIONES

- Los indicadores para la evaluación energético-económica de cada etapa del proceso de elaboración de conserva de atún

- | | |
|--|--|
| <p>king, that serve as a reference for continuous improvement, were specific consumption and specific cost of steam.</p> <ul style="list-style-type: none">• The relevance of the indicators proposed was corroborated with their implementation in the company under study. | <p>en latas, con vistas al establecimiento de benchmarking que sirvan de referencia para su mejora continua fueron consumo específico y costo específico de vapor.</p> <ul style="list-style-type: none">• La pertinencia de los indicadores propuestos quedó corroborada con su implementación en la empresa objeto de estudio. |
|--|--|

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AVADÍ, A.; BOLAÑOS, C.; SANDOVAL, I.; YCAZA, C.: "Life cycle assessment of Ecuadorian processed tuna", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(10): 1415-1428, octubre de 2015, ISSN: 0948-3349, 1614-7502, DOI: 10.1007/s11367-015-0943-2.
- AVADÍ, A.; FRÉON, P.: "Life cycle assessment of fisheries: A review for fisheries scientists and managers", *Fisheries Research*, 143: 21-38, junio de 2013, ISSN: 0165-7836, DOI: 10.1016/j.fishres.2013.01.006.
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; DÍAZ, Á.M.; PANEQUE, R.P.: "Software para el cálculo de indicadores energéticos, de explotación y económicos del sistema de distribución de humus de lombriz", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2): 65-70, junio de 2010, ISSN: 2071-0054.
- FAO: *State of world fisheries and aquaculture 2016 (spanish)*, [en línea], Ed. FAO, Rome, Italy, 213 p., 2016, ISBN: 978-92-5-309185-0, Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>, [Consulta: 1 de septiembre de 2016].
- GARCÍA DE LA FIGAL, C.A.E.; VALDÉS, L.Y.; VARGAS, H.J.: "Evaluación de los gastos de explotación, económicos y energéticos en la labor de cultivo del frijol, tomate y papa comparando el tractor YUMZ-6M con yunta de bueyes", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3): 62-68, septiembre de 2012, ISSN: 2071-0054.
- JIMÉNEZ, R.; MADRIGAL, J.A.; LAPIDO, M.J.; VIDAL, D.A.: "Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor", *Ingeniería Energética*, 37(2): 135-143, agosto de 2016, ISSN: 1815-5901.
- LEVENSPIEL, O.: *Engineering Flow and Heat Exchange*, [en línea], Ed. Springer, 3.ª ed., 397 p., Google-Books-ID: f_CbBQAAQBAJ, 26 de noviembre de 2014, ISBN: 978-1-4899-7454-9, Disponible en: https://books.google.es/books?id=f_CbBQAAQBAJ, [Consulta: 1 de septiembre de 2016].
- LINDBERG, C.-F.; TAN, S.; YAN, J.; STARFELT, F.: "Key Performance Indicators Improve Industrial Performance", *Energy Procedia*, 75: 1785-1790, agosto de 2015, ISSN: 1876-6102, DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.474.
- NIEUWLAAR, E.; ROES, A.L.; PATEL, M.K.: "Final Energy Requirements of Steam for Use in Environmental Life Cycle Assessment", *Journal of Industrial Ecology*, 20(4): 828-836, 1 de agosto de 2016, ISSN: 1530-9290, DOI: 10.1111/jiec.12300.
- PACHECO, B.J.L.: *Aspectos Biológicos y Pesqueros de las Capturas de Atún Registrada por la Flota Atunera Cerquera Ecuatoriana Período 2000-2013*, [en línea], Ed. Instituto Nacional de Pesca, Guayaquil, Ecuador, 13 p., 2013, Disponible en: <http://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2014/08/1-Aspectos-Biol%C3%B3gicos-y-Pesqueros-de-las-Capturas-de-At%C3%BAn-Registradas-por-La-Flota-Atunera-Cerquera-2000-2013.pdf>, [Consulta: 29 de mayo de 2017].
- PEREIRA, C.A.; PÉREZ, A.; MARÍN, D.; GONZÁLEZ, O.: "ExploMq, software para la evaluación energética y económica de la maquinaria agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1): 72-76, marzo de 2015, ISSN: 2071-0054.
- SILVEIRA, J.L.; LAMAS, W. de Q.; TUNA, C.E.; VILLELA, I.A. de C.; MIRO, L.S.: "Ecological efficiency and thermoeconomic analysis of a cogeneration system at a hospital", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5): 2894-2906, junio de 2012, ISSN: 1364-0321, DOI: 10.1016/j.rser.2012.02.007.
- SPIRAX SARCO, INC.: *Design of Fluid Systems. Steam utilization*, [en línea], Ed. Spirax Sarco, Inc., Maryland, USA, 66 p., 2011, Disponible en: http://www.spiraxsarco.com/global/us/Training/Documents/Design_of_Fluid_Systems_Steam_Utilization.pdf, [Consulta: 30 de mayo de 2017].
- TABOADA, M.C.; MAGÁN, A.; TORRES, R.; BELLO, P.M.: "Towards sustainable systems configurations: application to an existing fish and seafood canning industry", *Journal of Cleaner Production*, 129: 374-383, 15 de agosto de 2016, ISSN: 0959-6526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.047.
- VEGA, P.L.E.; RODRÍGUEZ, G.L.E.: "Perdidas de presión en tuberías de vapor", *Ciencias Holguín*, 13(3): 1-10, 2007, ISSN: 1027-2127.
- ZUGARRAMURDI, A.; PARÍN, M.A.; LUPIN, H.M.: *Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera*, [en línea], ser. Documento Técnico de Pesca, no. ser. 351, Ed. FAO, Roma, Italia, 268 p., Google-Books-ID: Q_eoohQZ9PIC, 1999, ISBN: 978-92-5-303738-4, Disponible en: https://books.google.es/books?id=Q_eoohQZ9PIC, [Consulta: 30 de mayo de 2017].

Received: 30/01/2017.

Approved: 15/06/2017.

Ángel Rafael Arteaga-Linza, Profesor Principal tiempo completo, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador,

E-mail: aarteaga@utm.edu.ec

María Isabel Fernández Parra, E-mail: aarteaga@utm.edu.ec

Ángel Luis Brito Sauvanell, E-mail: aarteaga@utm.edu.ec

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.