

# Ahorro energético en el procesamiento de conservas de pescado mediante la recuperación del condensado

Juan N. Jiménez Bellasmil<sup>1</sup>; Segundo Seijas Velásquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Docente de la Universidad Nacional de Piura, jjb216@hotmail.com

<sup>2</sup>Docente de la Universidad Nacional de Trujillo, mabesei@yahoo.com

Recibido: 31-01-2014

Aceptado: 24-08-2015

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito obtener ahorro energético en la etapa de esterilización en el procesamiento de conservas de atún mediante la recuperación del condensado. Los datos se obtuvieron de la empresa "Conservera de las Américas" y para la ejecución del balance energético se utilizó un módulo experimental compuesto de un recipiente flash experimental de 2 L de capacidad construido en acero inoxidable AISI 304 L así como un caldero eléctrico de 7,5 kw y un condensador de tipo casco y tubos construido en acero inoxidable AISI 304 L. Los resultados mostraron que la recuperación del condensado a alta presión como vapor flash proveniente del esterilizador no solamente incrementó la temperatura del agua de alimentación al caldero, en 40°C sino también permitió ahorrar combustible e incrementar la eficiencia de la caldera en un 4%. La energía total requerida fue de 211,58 kcal/kg de pescado en conserva, determinándose una eficiencia en el esterilizado de 90%. El sistema de recuperación de calor requiere de un intercambiador de casco y tubos construido en acero al carbono con un coeficiente global de transferencia de calor de 1095 kcal/h m<sup>2</sup> °C.

Se calculó un ahorro obtenido por recuperación de energía (precalentando el agua de alimentación al caldero) mediante el condensado de 51 840gal/1000BHP año correspondiendo a un ahorro de S/192 471,55/1000BHP año.

**Palabras clave:** Recuperación de condensado, conserva de pescado, ahorro energético.

## ABSTRACT

The present study was aimed to obtain energy saving in the sterilization step in the processing of canned tuna by recovering condensate. The data were obtained from the company "Conservera de las Américas" and to implement the energy balance an experimental module consist of an experimental flash vessel 2 L of capacity built in stainless steel AISI 304 L was used also an electric boiler of 7,5 kw and a condenser of hull and tubes type made of stainless steel AISI 304 L. The results showed that the recovery of the condensate at high pressure as flash steam from the sterilizer not only increased the temperature of the boiler feed water at 40° C but also allowed save fuel and increase boiler efficiency by 4%. The total energy required was 211,58 kcal / kg of canned fish, determining an efficiency in the sterilized by 90%. The heat recovery system requires a shell and tube heat exchanger constructed of carbon steel with an overall heat transfer coefficient of 1095 kcal / h m<sup>2</sup> ° C. It calculated a saving obtained by recovery of energy (to preheat the water of feeding to the boiler) by means of the condensed of 51 840 gal/1000 BHP year corresponding to a saving of S/192 471, 55/ 1000 BHP year.

**Keywords:** recovery of condensate, canned fish, sterilization.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el proceso de elaboración de conservas de pescado es similar en todas las plantas conserveras a nivel mundial diferenciándose solamente en las especies marinas y su capacidad de producción, empleando los mismos equipos ofertados principalmente por España y Estados Unidos; sin embargo los efluentes tales como el condensado generalmente se elimina después del tratamiento térmico

respectivo causando daño al medio ambiente, desperdicio de agua y principalmente baja eficiencia del proceso térmico que trae como consecuencia mayores emisiones de gases de efecto invernadero.

En nuestro país al igual que a nivel mundial el proceso de elaboración de conservas es similar, teniendo en cuenta las normas de inocuidad alimentaria. El tratamiento térmico efectuado en un esterilizador requiere de energía calorífica proporcionada por vapor saturado proveniente de una caldera.

Después del tratamiento térmico de la conserva en la autoclave, se obtiene condensado con alta temperatura (superior a 100°C) como efluente de la esterilización. Teniendo en cuenta que un fluido caliente causa impacto ambiental negativo al medio ambiente, es una importante opción, la recuperación del condensado que contiene un alto calor sensible y está exento de sales, el cual podría emplearse para precalentar el agua de alimentación al caldero.

Para la generación de vapor destinado a conservas, la empresa Conservera de las Américas cuenta con una caldera de tipo pirotubular el cual consume como combustible petróleo diesel a razón de 0,3 gal/h BHP constituyendo un alto costo en la producción de conservas de atún, debido a que el vapor, a la salida de los equipos es considerado como efluente y no se aprovecha la energía calorífica que aún contiene ocasionando un mayor uso de vapor de proceso incrementando los costos operativos.

En el presente estudio se propone ahorrar energía en el esterilizado mediante la recuperación del condensado proveniente de esta etapa, el cual permitirá precalentar el agua de alimentación al caldero incrementando su temperatura y por lo tanto disminuir los costos de producción de conservas de atún.

La justificación del presente proyecto se ha considerado bajo los siguientes aspectos:

- Tecnológico, porque proporciona una metodología y procedimiento sobre la forma de recuperación de energía del condensado proveniente del equipo de esterilizado.
- Económico, la aplicación del presente trabajo permitirá la disminución de costos operativos al incrementar la eficiencia en la generación de vapor y por lo tanto la disminución del costo en consumo de combustibles.
- Medioambiental, el incremento de la eficiencia en la generación de vapor permite disminuir el consumo de combustible y por lo tanto disminuir las emisiones de gases de combustión causantes del efecto invernadero.

En el presente estudio se responde a la interrogante:

¿La recuperación del condensado proveniente del esterilizado produce ahorro energético en la producción de conservas de atún?

Como hipótesis de trabajo se consideró:

La recuperación del condensado proveniente del proceso de esterilizado de las conservas de atún permite disminuir los costos de operación optimizando el uso del vapor.

El principal objetivo del presente estudio es la recuperación de energía del condensado generado en la etapa de esterilización para precalentar el agua del caldero disminuyendo los costos de operación.

Para obtener ahorro de energía en una planta es necesario recuperar el condensado logrando disminuir los costos de agua y su tratamiento para la alimentación al caldero de agua (Ruiz, 2005: 55).

Según Pauer (1990:120) el condensado que se obtiene luego de que el vapor entregó su energía es agua de una calidad muy alta desde el punto de vista de su contenido salino. Por ello es fundamental su reutilización, que ahorra productos químicos, además es portador de calor, lo que produce un ahorro adicional de combustible.

El vapor flash se produce cuando un condensado a alta presión y una temperatura mayor que la de saturación del líquido a baja presión, es descargado a una presión menor. El vapor flash no es tan diferente del vapor normal, simplemente es un nombre conveniente que es utilizado para explicar cómo se forma el vapor (TLV, 2011: 6).

Conviene señalar que el agua generalmente en estado de vapor, es uno de los fluidos más utilizados como agente de calefacción en la industria alimentaria. Ello se debe a su bajo costo, facilidad de obtención y a excelentes propiedades, entre las que se pueden destacar: su elevado calor latente (permite liberar una gran cantidad de energía durante la condensación), los altos valores de los coeficientes de transmisión que se consiguen, así como la posibilidad de ser utilizado en un amplio intervalo de temperaturas (20°C – 250°C) sin más que modificar la presión (Aguado, 2002:25).

Se considera que cuando un envase conteniendo algún alimento está en una atmósfera de vapor, la transferencia de calor tiene lugar por condensación del vapor sobre la pared externa (Ball, 1985: 12).

Los objetivos de la operación del esterilizado comercial son: destruir los microorganismos presentes en el alimento para conseguir su esterilidad comercial. Esto implica la destrucción de todos los microorganismos patógenos—es decir productores de toxiinfecciones alimentarias - y además a todos los microorganismos alterantes capaces de crecer durante las condiciones de almacenamiento (Footit y Lewis, 2000:74).

Existe un método indirecto de pérdidas para determinar la eficiencia de un caldero restándole a 100 el valor de las pérdidas de calor (Sener, 2003: 82)

La comparación de resultados de los análisis energéticos del sistema recolector de condensados en forma convencional con el sistema recolector de condensados utilizando un Surge Tank, demostraron que una planta industrial podría ahorrar un 15% de energía calorífica (Villacrés y Andrade, 2000: 152).

Experiencias realizadas en similares procesos han demostrado que en la mayoría de los casos la recuperación de calor requiere baja inversión y tiene un bajo retorno de la inversión de normalmente menor a un año. El reuso del condensado como agua de alimentación, incrementa significativamente la eficiencia del caldero y se puede alcanzar un ahorro significativo en costos (Vineeth y Prince, 2013: 62).

Se han efectuado investigaciones sobre las pérdidas de energía en un caldero, determinando pérdidas por gases de combustión debido a una falta de control en el exceso de aire, purgas sin la evaluación del contenido de sólidos mediante análisis químicos, pérdidas de energía a través de las paredes del caldero debido a una falta de mantenimiento del aislante térmico, etc. lo que permitió al autor disminuir dichas pérdidas de energía optimizando el exceso de aire de combustión a un mínimo, efectuando un adecuado y oportuno mantenimiento del aislamiento térmico y la recuperación del vapor flash del condensado; como consecuencia de ello la recuperación de energía del condensado. (Sánchez, 1995: 81).

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 Objeto de estudio

**Población:** Flujo de condensado de esterilización en la elaboración de conservas de pescado en plantas conserveras del litoral peruano.

Como muestra se tomó el flujo de condensado del proceso de esterilización en la empresa Conservera de las Américas ubicada en la ciudad de Paita, Departamento de Piura.

**Variables:**

Variable independiente: Recuperación de condensado

Variable dependiente: Disminución de los costos de producción

### 2.2 Material y equipos

**Equipo experimental**

- Autoclave experimental de 2 litros de capacidad de acero inoxidable AISI 304 L, utilizado para realizar el balance energético.
- Caldero eléctrico de potencia 7,5 kw construido en acero inoxidable AISI 304 L.
- Intercambiador de calor de coraza de acero al carbono y tubos de cobre con superficie de transferencia de calor de 0,094 m<sup>2</sup>
- Recipiente de flasheado construido en acero inoxidable AISI 304L, 500L de capacidad; con cabezales elipsoidales y acoplamientos para entrada de condensado de alta presión y salida de condensado de baja presión.
- Autoclave tipo horizontal estacionaria de acero inoxidable AISI 304 L con capacidad para esterilizar 7 560 latas/día (Planta de empresa Las Américas).
- Caldero pirotubular de 600 BHP, marca Cleaver Brooks (tres pasos).

### 2.3 Métodos y técnicas

En el presente estudio se utilizó el método general descriptivo y las siguientes técnicas:

- Observación: Se visitó la planta Conservera de las Américas para obtener datos referentes al proceso y sus parámetros operativos.
- Experimentación: Se ejecutó el balance de masa y energía en la etapa de esterilización y la recuperación del condensado para su empleo en el precalentamiento del agua para el

caldero empleando un equipo experimental consistente en una caldera eléctrica de 7,5 kw, acoplada directamente al condensador (ICI) (Fig. A-1) además de un equipo de flasheado para el condensado de alta presión (Fig. A-2).

### Descripción del proceso

El desarrollo del presente trabajo se inició con el esterilizado de las latas de conservas durante 35 minutos a la temperatura entre 115°C a 127°C seguido del enfriamiento y finalmente el empaque, obteniéndose la información según los parámetros de operación empleados en la planta de conservas de la empresa.

La auditoría energética consistió en efectuar un balance de masa y energía, en el proceso de fabricación, midiendo los flujos y presión del vapor que ingresa al proceso.

Se determinó que el equipo de mayor consumo de energía es la autoclave para la esterilización de las conservas y que se puede recuperar el condensado para el precalentamiento del agua para alimentación del caldero.

Se utilizó un módulo experimental consistente en un caldero experimental de 7,5kw acoplado al autoclave de 2L de capacidad en el cual el vapor se condensa a la misma presión de entrada mediante enfriamiento por la chaqueta y luego el condensado pasa al tanque de flasheado donde se determinó el porcentaje de vapor flash que se genera, a partir de estos valores se procedió a la extrapolación o escalamiento a escala industrial.

El coeficiente global de transferencia de calor del condensador se determinó experimentalmente mediante balance energético en el equipo.

Calor absorbido por los envases ( $Q_e$ ), calculado teniendo en cuenta envases de hojalata.

Calor perdido por radiación convección ( $Q_{pe}$ ).

Se evaluó las pérdidas de calor a través de las tapas anterior y posterior de la autoclave las cuales no cuentan con aislamiento térmico; se empleó la ecuación de Fourier en estado estacionario, no se consideró la envolvente de la autoclave por estar debidamente aislado térmicamente con fibra de vidrio de 2 pulg de espesor.

Se determinó la energía calorífica total, sumando todos los flujos de calor involucrados: ( $Q_T$ )

El requerimiento de vapor para esterilización (W) se determinó mediante cálculo teórico dividiendo la energía total ( $Q_T$ ) con la entalpía del vapor saturado a la presión manométrica de 2,491kg/cm<sup>2</sup> considerando el requerimiento de temperatura del vapor en 127°C.

Se midió el flujo real de vapor para el esterilizado mediante lectura del caudalímetro instalado en las líneas de vapor y comparado con el flujo teórico se determinó la eficiencia térmica ( $\epsilon$ ).

### Determinación del coeficiente global de transferencia de calor del condensador del módulo experimental

Se determinó el coeficiente total de transmisión de calor ( $U$ ) efectuando un balance de masa y energía en el módulo experimental mediante la condensación del vapor saturado proveniente del caldero eléctrico en el condensador; registrando las respectivas temperaturas del agua de condensación y condensado en condiciones de entrada y salida; así mismo teniendo en cuenta la superficie de transferencia de calor del condensador y considerando la transferencia de calor predominante que es por convección, se tiene :  $U = \frac{Q_T}{A\Delta T_m}$

- El coeficiente global de transferencia de calor :  $U$
- Flujo calorífico transferido:  $Q_T$
- Diferencia media logarítmica de temperatura :  $\Delta T_m$
- Área de transferencia de calor del condensador:  $A$

### Cálculo del condensador IC1

Este equipo se requiere para condensar el vapor flash formado en el tanque de flasheado (TF) debido a la diferencia de presiones del condensado a presión de 2,491 kg/cm<sup>2</sup> man y el recipiente a presión atmosférica.

Para el cálculo se midió:

- Flujo de condensado de alta presión proveniente de la autoclave de esterilización.

- Vapor flash generado
- Condensado de baja presión (A la salida del tanque flash).
- Temperatura del condensado a la entrada (se midió una caída de temperatura desde la autoclave hacia el tanque de flasheado).
- Temperatura del condensado a la salida.

**Cálculo de la temperatura de mezcla de agua:**

Mediante acoplamiento de entrada al intercambiador de calor IC2 se mezclan: el condensado de baja presión proveniente del recipiente flash (TF), condensado del vapor flash y el agua caliente proveniente del condensador IC1 (Ver Fig.2)

**Balance de energía en el intercambiador de calor: IC2**

Teniendo en cuenta que una caldera pirotubular normalizado de tres pasos requiere de agua para alimentación a razón de 4,1 gal/h BHP, así mismo el caldero produce 15,52 kg de vapor/h BHP (López, 1995: 35).

Las bombas de los calderos pirotubulares con cierto uso pueden alimentarse con agua tratada a 60°C sin problema de cavitación.

**Procedimiento de ejecución del experimento para disminuir el consumo de energía mediante la recuperación de condensado.**

Se requiere la documentación respecto al proceso, características de los equipos y los parámetros de operación, para luego efectuar una auditoría energética mediante un balance de energía en el esterilizador determinando el flujo de vapor requerido para el esterilizado, su eficiencia térmica, y la recuperación del condensado resultante del proceso para su aprovechamiento en el precalentamiento del agua para el caldero.

**Parámetros de operación en el proceso de producción de conservas de atún**

- Tipo de esterilizador: Horizontal
- Función: Esterilizar producto envasado
- Temperatura de esterilización: 127°C
- Peso de la lata: 37 g
- Tiempo de esterilizado: 35 minutos
- Calor específico del producto: 0,98 kcal/kg °C (Dossat, 1996:214).
- Calor específico del envase (hojalata): 0,35 kcal/kg °C ( Perry,1990 : 339)
- Capacidad de producción: 25Ton/día
- Producto envasado: 12 700 kg/día

**III. RESULTADOS**

Se tomó como base para la recuperación de condensado la presión de operación del autoclave con un valor de 2,491kg/cm<sup>2</sup>. El condensado de alta presión ingresa al recipiente de flasheado generando vapor flash el cual es condensado en el condensador IC1, conjuntamente con el condensado de baja presión y el agua empleada en el condensador pasan al intercambiador de calor IC2 como fluido caliente para precalentar el agua de alimentación para el caldero tal como se muestra en la Fig.1

**Energía requerida para el esterilizado**

Los cálculos que involucra el balance de energía se determinó en la forma siguiente:

**Calor requerido por el producto (Q<sub>p</sub>)**

Tomando como base de cálculo la producción diaria de conservas de atún por la empresa: 12700 kg/día

Calor específico del atún: 0,98  $\frac{kcal}{kg^{\circ}C}$

$$Q_p = 12700 \frac{kg}{dia} * \frac{1 dia}{12 h} * 0,98 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} (117 - 20^{\circ}C)$$

$$Q_p = 100 605,2 kcal/h$$

**Calor absorbido por los envases (Q<sub>e</sub>)**

Contenido en el envase: 180 g

Peso del envase: 37 g

Teniendo en cuenta la producción diaria de conservas en la planta y 12 horas de producción y un contenido de producto por envase de 0,180 kg / envase se tiene:

$$5880 \frac{\text{Envases}}{h}$$

Calor específico de la hojalata: 0,35 kcal/kg°C

$$Q_e = 5880 \frac{\text{Envases}}{h} * \frac{0,037 \text{kg}}{\text{envase}} * \frac{0,35 \text{kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (117 - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_e = 7386,2 \text{ kcal/h}$$

### Calor perdido por radiación convección ( $Q_{pe}$ )

Se evaluó las pérdidas de calor a través de las tapas anterior y posterior de la autoclave empleando la ecuación de Fourier en estado estacionario, no se consideró la envolvente de la autoclave por estar debidamente aislada térmicamente con fibra de vidrio de 2 pulgadas de espesor.

X: Espesor de la chapa de acero inoxidable AISI 304 L: 5/16" (8mm)

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura interior y exterior (115-65);  $\Delta T = 50^\circ\text{C}$

K: Conductividad térmica del acero inoxidable AISI 304: 14 kcal/hm<sup>2</sup> °C/m; para un rango de 100 °C – 500°C (Perry, 1990: 701).

Superficie total de la pared sin aislante térmico: 1,325m<sup>2</sup> (diámetro de las tapas de la autoclave: 1,30m).

$$Q_{pe} = 14 * 1,325 * 50 / 0,008$$

$$Q_{pe} = 115 937,5 \text{ kcal/h}$$

### Energía Calorífica total ( $Q_T$ )

$$Q_T = 100605,2 + 7386,2 + 115937,5$$

$$Q_T = 223 928,9 \text{ kcal/h}$$

### Requerimiento de vapor para esterilización (W)

Considerando la temperatura del vapor en 127°C le corresponde una presión de 2,491kg/cm<sup>2</sup> de vapor saturado; correspondiendo una entalpía de vapor de  $h_g = 648,5 \text{ kcal/kg}$  (Kutz, 2008:1383).

$$W = \frac{223928,9 \text{ kcal/h}}{648,5 \text{ kcal/Kg}}$$

W = 345,3 kg/h de vapor saturado (Teórico)

Eficiencia Actual ( $\varepsilon$ )

Vapor calculado (balance de energía teórico) = 345,3kg/h

Vapor real empleado = 383,66 kg/h (medido directamente por lectura del flujómetro instalado en la línea de vapor.)

$$\varepsilon = Q_{\text{teórico}}/Q_{\text{real}} = \frac{223928,9}{248809,88} * 100$$

Eficiencia térmica en el esterilizado:  $\varepsilon = 90\%$

La muestra (mpr) se ubica en el esterilizador (E1), donde ingresa vapor saturado del caldero, esteriliza el producto y una vez condensado el vapor, se conduce al tanque flash donde se genera vapor (mvf) que ingresa al intercambiador (IC1) para calentar el agua del caldero (mc), el condensado de baja presión (m'con) de salida del tanque flash, pasa al intercambiador de calor (IC2). Los fluidos calientes de ambos intercambiadores se reciben en el tanque TK1.

### Cálculo del condensador (IC – 1)

De acuerdo a los datos de la Tabla 1.

$m_v f = 170 \text{ kg/h}$  (Vapor flash determinado experimentalmente en el módulo de laboratorio. El condensado de alta presión ingresa al tanque flash formándose un promedio de 15,86% de vapor flash).

$$m_c = 1435,98 \text{ kg/h}$$

$$t_{vf} = 117^\circ\text{C}$$

$$t_{c1} = 20^{\circ}\text{C}$$

La Fig.1 constituye el módulo experimental compuesto por los equipos siguientes:

- Esterilizador (E1)
  - Tanque Flash (TF)
  - Intercambiador de calor de tipo casco y tubos (Ic1)
  - Intercambiador de calor tipo casco y tubos (Ic2)
  - Tanque de agua caliente para alimentación a la caldera (TK1)
- Los fluidos que ingresan y salen de los equipos son los siguientes:
- Vapor saturado proveniente de la caldera (mv)
  - Latas de conservas a esterilizar (mpr)
  - Condensado de alta presión (mcon)
  - Vapor flash (mvf)
  - Agua tratada a condiciones de temperatura ambiente (mc)
  - Condensado proveniente del intercambiador de calor Ic1 (mvf)
  - Condensado de baja presión proveniente del tanque flash (m'con)
  - Agua caliente para alimentación a la caldera (mc)

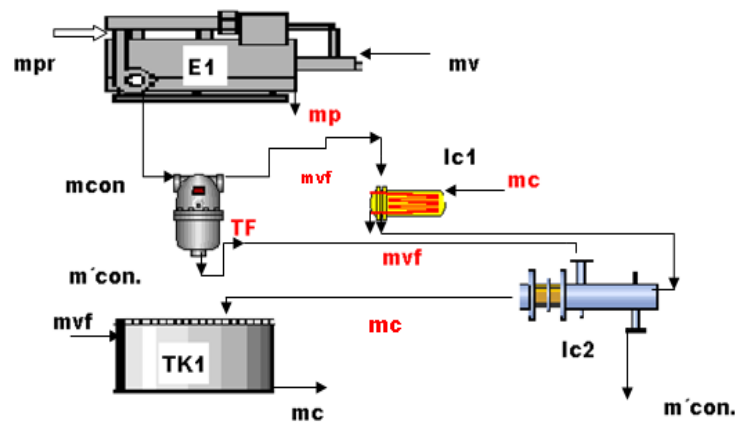


Fig. 1 Módulo experimental para recuperación de condensado y calentamiento del agua de alimentación al caldero.

#### Balace de masa en tanque Flash

$$mcon = mvf + m'con$$

#### Balace de energía en el condensador :

Temperatura del agua de condensación (agua de alimentación al caldero):  $t_{c2}$

$$m v f * h_{vf} = mc * Cp * (t_{c2} - t_{c1})$$

Reemplazando y resolviendo

$$170 \frac{kg}{h} * 645 \frac{kcal}{kg} = 1435,98 \frac{kg}{h} * 1,0 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} (t_{c2} - 20^{\circ}\text{C})$$

$$t_{c2} = 96,36^{\circ}\text{C}$$

**Cálculo de la superficie de transferencia de calor ( $A_c$ ):** tomando como base el intercambio de calor en módulo experimental (Fig.A-1, A-2).

- El coeficiente global de transferencia de calor  $U = 1095 \frac{kcal}{hm^2^{\circ}C}$  (Perry, 1990: 339).

- Flujo calorífico transferido:  $Q_{vf} = 109\ 650 \frac{Kcal}{h}$  por el vapor flash

- Diferencia media logarítmica de temperatura :  $\Delta T_m = ^{\circ}\text{C}$  ( a contra corriente)

De acuerdo al esquema de temperatura en el condensador se tiene:

$$\Delta T_m = \frac{(117 - 20) - (117 - 96,36)}{\ln \frac{(117-20)}{(117-96,36)}}$$

$$\Delta T_m = 49,3^\circ\text{C}$$

Superficie de transferencia del condensador teniendo en cuenta que predomina la transferencia de calor por convección:

$$Ac = \frac{Q_{vf}}{U\Delta T_m} \text{ reemplazando valores:}$$

$$Ac = \frac{109\,650}{1095 * 49,3}$$

$$Ac = 2,03 \text{ m}^2$$

#### **Cálculo del intercambiador de calor IC2**

- Flujo de condensado de alta presión: 1071,63 kg/h en la entrada del tanque flash (TF) Fig.1
- Vapor flash generado: 170 kg/h
- Condensado de baja presión: 901,63 kg/h
- Temperatura del condensado a la entrada del tanque flash : 117°C
- Temperatura del condensado a la salida del tanque flash : 98°C

#### **Cálculo de la temperatura de la mezcla de condensado de baja presión y el flujo de agua caliente proveniente del condensador: IC1.**

$$m_{ac} = m'_{con} + m_c$$

$$m_{ac} = 2\,293,28 \text{ kg/h}$$

#### **Temperatura de la mezcla:**

$$901,63 * (98 - t_{fc}) = 1\,435,98 * (t_{fc} - 96,36^\circ\text{C})$$

$$t_{fc} = 97^\circ\text{C}$$

#### **Cálculo de la temperatura de mezcla del fluido caliente y vapor flash.**

$T_{fc}$ : Temperatura del fluido caliente: 97°C

$T_{vf}$ : Temperatura del condensado proveniente del vapor flash : 117°C

$$m_{vf} = 170 \text{ kg/h}$$

$$(117 - T_f) * 170 = 2293,28 (T_f - 97^\circ\text{C})$$

$$T_f = 98,3^\circ\text{C}$$

#### **Agua caliente disponible (mca)**

$$m_{ca} = 2\,293,28 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 170 \text{ kg/h}$$

$$m_{ca} = 2\,463,28 \text{ kg/h}$$

#### **Pre calentamiento del agua tratada para el caldero**

$$T_f = 98,3^\circ\text{C}$$

$$T_{fs} = 31^\circ\text{C} \text{ (Agua para lavado de envases conteniendo el producto)}$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C} \text{ (Temperatura inicial del agua para el caldero)}$$

$$T_2 = 60^\circ\text{C} \text{ (Temperatura recomendable para alimentación del agua para el caldero).}$$

#### **Cálculo del agua disponible para el caldero**

##### **Balance de energía en el intercambio de calor: IC2**

Considerando un cálculo de mezclas de las corrientes de agua caliente en el tanque TK1:  $m_{c'}$ ,  $m_{vf'}$ , el flujo mcal; se determinó la temperatura de mezcla por medición directa.

**mcal**: flujo másico del agua para la caldera

**mca**: flujo másico del agua caliente

$$m_{cal} * 1 * (60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 2463,28 * \frac{1\text{kcal}}{\text{kg}}^\circ\text{C} * (98,3 - 31^\circ\text{C}) \text{ (Fig.2)}$$

$$m_{cal} = 4144,46 \text{ kg/h}$$

Teniendo en cuenta que una caldera pirotubular normalizado de tres pasos requiere de agua para alimentación:

4,1 gal/h BHP, así mismo la caldera produce 15,52 kg de vapor/h BHP, por lo tanto el flujo de agua caliente para alimentación a la caldera a la temperatura de 60°C puede abastecer de agua para un caldero de 272 BHP.



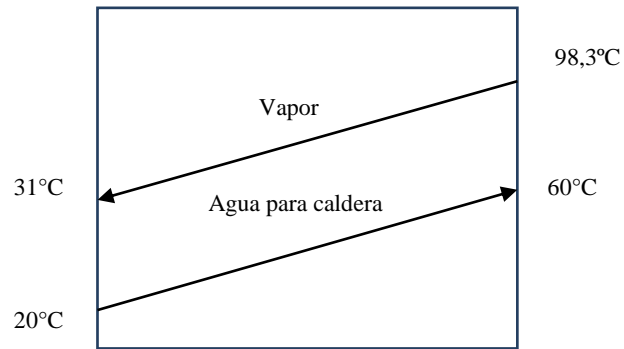


Fig.2 Diagrama de temperaturas en intercambiador de calor IC2

Temperatura de mezcla: 98,3°C

$$\text{Flujo de calor } (Q) \\ Q = 2507,61 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1,0 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} (98,3 - 31^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 168\,762,153 \text{ kcal/h}$$

Según la Tabla 2 el coeficiente para la transmisión de calor (Perry, 1990: 738), para tipo de cambiador o recuperador de calor: líquido – líquido clase de resistencia: convección forzada:

$$U = 1098 \text{ kcal/hm}^2\text{°C (promedio)}$$

#### Cálculo de la temperatura media logarítmica ( $\Delta T_m$ )

$$\Delta T_m = 21,84^{\circ}\text{C}$$

#### Cálculo de la superficie de transferencia de calor del intercambiador de calor IC2:

$$A = \frac{168762,153}{1098 * 21,84}$$

$$A = 7,04 \text{ m}^2$$

El esterilizado se realiza a 127°C con vapor saturado proveniente de la caldera durante 35 min.

Las condiciones del proceso de tratamiento térmico fueron las siguientes:

Temperatura: 98°C

Flujo de condensado: 1190,7 kg/h

Merma de condensado: 10% (en el esterilizador)

Flujo real de condensado: 1071,63 kg/h

El precalentamiento del agua para el caldero se efectuó empleando un intercambiador de calor de tubo y coraza 1-2 normalizado (Normas TEMA y ASME VII: Tubular Exchanger Manufacturers Association); formado por 20 tubos de cobre con una superficie de transferencia de calor de 7,04 m<sup>2</sup>, 38 mm de diámetro y 3,0 m de longitud expandidos a dos placas porta tubos y coraza de acero al carbono con acoplamientos de entrada y salida de vapor con baffles para incremento del tiempo de permanencia del vapor (Kern, 2006: 165).

#### Recuperación del condensado proveniente del esterilizador

En la etapa de esterilizado del proceso de elaboración de conservas de atún; la empresa Conservera de las Américas emplea vapor saturado a una presión de 2,491 kg/cm<sup>2</sup>, proveniente de la caldera.

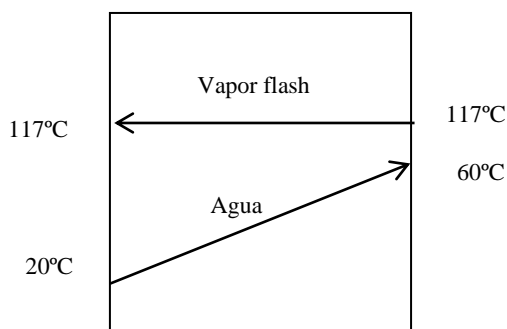
La autoclave permanece herméticamente cerrado hasta obtener la presión de entrada de vapor para luego el condensado a alta presión pasar al recipiente de flasheado, donde debido a la diferencias de presiones se produce vapor flash el cual se condensa y se alimenta al tanque de agua tratada para alimentación de agua al caldero; mientras que el condensado a baja presión intercambia calor con el agua fría para alimentación de agua para la caldera.

En la Tabla 1 se presenta los resultados del balance de energía en la etapa de esterilización de las conservas de atún.

**Tabla 1: Parámetros energéticos de los fluidos intervinientes en la recuperación de energía del condensado**

Corriente	Símbolo	Flujo másico (kg/h)	Temperatura (C°)	Presión (kg/cm <sup>2</sup> manométrica)	Entalpia (kcal/kg)	ΔT (°C)	ΔP (kg/cm <sup>2</sup> manométrica)
Conservas esterilizar	mpr	1176,00	20	Atm.	-----	-----	-----
Vapor de la caldera	mv	1190,70	127	2491	648,5	-----	-----
Condensado a presión	mcon	1071,63	117	2491	*24,25	10	-----
Vapor flash	mvf	170,0	117	0,92	645,0	-----	-----
Agua caliente la caldera	mc	143,98	60	2,00	-----	-----	-----
Condensado (baja presión)	m'con	857,30	98	atm.	-----	-----	-----
Merma de condensado	mp	119,07	127	atm.	-----	-----	-----

\*Calor específico del agua a la temperatura de 117°C: 0,25kcal/kg °C (Perry, 1990: 333)



**Fig. 3. Diagrama de temperaturas en el recipiente de flasheado (flujo en contracorriente)**

**Tabla 2: Balance de energía del proceso de esterilización de conservas de atún**

Parámetro	Símbolo	Cantidad	Unidades
Energía térmica requerida por el producto	Q <sub>p</sub>	100 605,20	kcal/h
Energía térmica requerida por el envase	Q <sub>e</sub>	7386,2	kcal/h
Energía térmica perdida por radiación	Q <sub>pe</sub>	115 937,5	kcal/h
Energía total requerida	Q <sub>T</sub>	223 928,9	kcal/h
Eficiencia térmica de la esterilización	ε	90,0	%

El ahorro energético realizado en la esterilización de conservas se muestra en la Tabla 4

**Ahorro energético por precalentamiento del agua de alimentación al caldero mediante recuperación del condensado**

Teniendo en cuenta que al precalentar el agua de alimentación a la caldera con energía de una fuente diferente (condensado de alta presión proveniente de la autoclave), por cada 10°C de temperatura que se eleva al agua de alimentación se incrementa en un 50% su calor sensible y este constituye a su vez en un 3,4% del calor total requerido para la evaporación del agua constituyendo 1,7% la disminución de energía, equivalente en la práctica en 1,0% (Ecuación de Clausius - Clapeyron y Primer Principio de la Termodinámica).

Se tomó como base de cálculo la temperatura promedio inicial del agua de 20°C y expresándola porcentualmente del total de energía calorífica requerida para generar vapor, se deduce dicho valor. La caldera pirotubular consume 0,3 gal/h BHP, para una potencia de caldero de 272 BHP se calcula un consumo de petróleo diesel de 81,6 gal/h. Al incrementarse el agua 40°C se incrementa la eficiencia del caldero en un 4% por tanto un ahorro de petróleo de 3,264 gal/h.

**Tabla 3. Incremento de eficiencia del caldero mediante recuperación del condensado proveniente del esterilizado**

Parámetros	Cantidad	Unidades
Flujo de agua precalentado para caldero equivalente en potencia de caldero	272	BHP
Incremento de temperatura al agua para el caldero	40	°C
Consumo inicial de combustible diesel según la potencia de caldero.	81,6	gal/h
Incremento de eficiencia de la caldera por precalentamiento del agua de alimentación.	4,0	%
Eficiencia inicial de la caldera de la empresa Conservera de las Américas	86,0	%
Eficiencia final del caldero de la empresa	90,0	%
Ahorro de combustible diesel	3,264*	gal/h
Ahorro anual de combustible diesel por la empresa	192 471,55**	S/.
Ahorro anual de combustible diesel por cada 1000 BHP	51 840	$\frac{\text{gal}}{1000 \text{ BHP}}$

\* Por cada 10°C de incremento de temperatura al agua de alimentación a la caldera se incrementa en un 1,0% su eficiencia

\*\* Ahorro = 3,264 gal/h (S/.13,65/gal) (12 h/día) (360 día/año)

Ahorro = S/. 192 471,55/año

#### IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos remarcan la importancia de la recuperación del condensado y del vapor flashpor cuanto la energía residente en el condensado constituye la mayor parte del impacto económico asociado con el retorno del condensado como lo reportan Gajjar et al (2012: pág.6).

La eficiencia del caldero tiene una importante influencia en el ahorro de energía relacionado con el calentamiento y se refiere a la medida de la capacidad de generar vapor a partir de un combustible dado como lo sostiene Saidur (2011: 210).

El balance de energía se considera como el método más importante en la determinación de la eficiencia de los calderos, pero también es importante tener en consideración que este balance energético está generalmente limitado por el valor térmico máximo del combustible el cual comprende seis partes siendo una de ellas la energía absorbida por el agua de alimentación, mientras que las otras cinco partes representan indicadores relacionados a los calderos usualmente debido a una combustión incompleta y el incremento de la salida de los gases como lo señalan Muhaisen y Abdullah (2012: 125).

La eficiencia del esterilizado es de 90,0% de la energía total empleada con el vapor saturado debido a que se pierde energía calorífica a través de las paredes de la autoclave. La pérdida de calor se produce por radiación-convección desde las paredes exteriores de la autoclave sin el aislamiento térmico necesario.

La energía requerida para el proceso de esterilizado es obtenida a partir de un balance de materia y energía en el autoclave de esterilizado, considerando un proceso en estado estacionario.

La temperatura del vapor debe ser superior a la temperatura de esterilizado del producto teniendo en cuenta que el producto está en un recipiente metálico con un determinado espesor el cual produce un pequeño gradiente de temperatura entre el producto y el flujo termoportador (vapor).

Otro factor muy importante es el calor específico del producto y los materiales que involucran el proceso.

La eficiencia térmica del proceso se determina teniendo en cuenta el flujo de energía teórico obtenido por balance de materia y energía dividida por el flujo de calor proporcionado por el vapor.

El Coeficiente global de transferencia de calor constituye otro factor relevante en la velocidad de transferencia de calor, pudiéndose calcular a partir de los coeficientes individuales de película y la resistencia de la pared metálica.

Cuando el calor pasa del fluido caliente al fluido frío, se debe transferir la misma cantidad de calor por unidad de área y por unidad de tiempo a través de la película  $f'$ , de la pared y de la película  $f''$ . La cantidad total de calor que se transfiere puede expresarse como:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{total} = h' A_f' \Delta T_f' = \frac{k A_w \Delta T_w}{X_w} = h'' A_f'' \Delta T_f''$$

Donde:

$Q$  = Flujo total de calor

$U$  = Coeficiente general de transferencia de calor del intercambiador de calor

$A$  = Área de base seleccionada para la evaluación de  $U$  (superficie del intercambiador de calor)

$\Delta T_{total}$  = Diferencia de temperatura entre el fluido caliente y el fluido frío

$h'$  = Coeficiente de película para el lado caliente.

$A_f'$  = Área de la película en lado caliente

$\Delta T_f'$  = Caída de temperatura a través de la película en el lado caliente,  $f'$

$K$  = Conductividad térmica del material de la pared

$A_w$  = Área de la pared

$\Delta T_w$  = Caída en temperatura a través de la pared

$X_w$  = espesor de la pared

De ello se deduce que en el diseño del intercambiador de calor se deberá tener en cuenta el empleo de un material de alta conductividad térmica tal como tubos de cobre, teniendo en cuenta que esta propiedad intrínseca de los materiales valora la capacidad de conducir el calor a través de ellos. El valor de la conductividad varía en función de la temperatura a la que se encuentra la sustancia.

Para el presente estudio se especificó el coeficiente global de transferencia de calor teniendo en cuenta el material de construcción del intercambiador de calor, el curso de fluidos, el estado de los fluidos líquido-líquido, el material de construcción y teniendo en cuenta que los fluidos circulan por convección forzada puesto que se efectúan mediante bombas centrífugas.

El costo de energía es una parte muy importante del costo total del procesamiento de alimentos especialmente a nivel de las operaciones unitarias, tales como la pasteurización y la esterilización comercial de alimentos donde varias formas de energía pueden usarse como lo sostienen Barrón y Burcham (2001:12). El calentamiento y enfriamiento son dos operaciones unitarias donde el consumo de energía es crítico. Cuando se consideran oportunidades para ahorro y eficiencia de energía en la industria del procesamiento de alimentos, la seguridad alimentaria es el factor más importante y no puede ser comprometida. Así tenemos que en el enlatado un adecuado suministro de energía mediante vapor o agua caliente es necesario para obtener la temperatura correcta durante el tiempo de proceso a fin de alcanzar la esterilidad comercial.

El impacto producido al recuperar el condensado de los procesos de esterilización de conservas de pescado es viable técnica, económica y medioambientalmente al disminuir el consumo de energía en dicho proceso.

## V. CONCLUSIONES

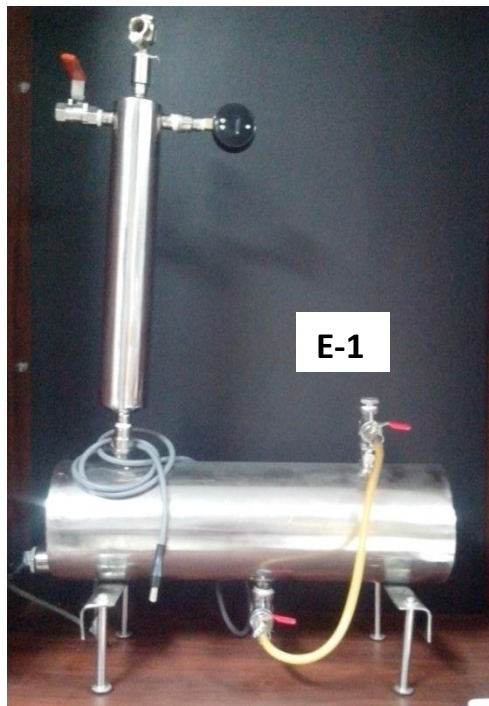
- En la etapa de esterilización de conservas de atún (Tabla 3) se puede aplicar un sistema de recuperación de condensado proveniente del vapor de autoclaveado el cual permite precalentar el agua de alimentación al caldero desde la temperatura ambiente hasta un promedio de 60°C empleando un tanque flash, e intercambiadores de calor.
- El diseño del sistema de recuperación de calor deberá constar de un condensador para vapor flash empleando un coeficiente global de transferencia de calor de 1095 kcal / h m<sup>2</sup> °C, recipiente de flasheado construidos ambos en acero inoxidable AISI 304L, un intercambiador de casco y tubos construido en acero al carbono con tubos rígidos de cobre expandidos con un coeficiente global de transferencia de calor de 1098 kcal / h m<sup>2</sup> °C.
- El precalentamiento del agua de alimentación a la caldera empleando una fuente externa (condensado de alta presión) incrementa la eficiencia térmica de la caldera que alimenta de vapor al proceso mediante intercambio de calor en un 4% por lo que la energía calorífica proporcionada por el combustible disminuye en la misma proporción. Tomando como base una caldera de 1000 BHP de potencia con un

consumo específico promedio de diesel Nº 2 de 300 gal/h, para una operación de la planta de 4320 horas al año un ahorro de 12 gal/h al precio de S/13,65/gal se obtiene un ahorro de 51 840 gal/1000 BHP y un ahorro de S/192 471,55/año.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUADO, J. 2002 Ingeniería de la Industria Alimentaria. Vol. I Conceptos Básicos. Edit. Síntesis. Pág.25
- BALL, C.O. 1985 Sterilization in Food Technology First Edition. Mc. Graw –Hill Book Company, Inc New York, London Pág.12
- BARRON F Y BURCHAM J. 2001 Recommended Energy Studies in the Food Processing and Packaging Industry: Identifying Opportunities for Conservation and Efficiency. Journal of Extension. Vol.39, Number 2 Pág.12
- DOSSAT R. J1996 Principios de Refrigeración Ed. John Wiley & Sons, INC. Pág.214
- FOOTITT R. Y LEWIS A. 2000 Enlatado de Pescado y Carne. Editorial Acribia S.A Zaragoza, España .Pág.74
- GAJJAR V. et al. 2012 Steam System Audit. International Journal of Engineering. Vol.2. Number 3. Pág.6
- KERN D. 2006. Procesos de Transferencia de Calor. Pág.165
- KUTZ M. 2008. Enciclopedia de Mecánica, Ingeniería y Técnica. Propiedades termofísicas de vapor de agua y agua saturada Pág.1383
- LÓPEZ F. 1995 Manual para Ingenios Azucareros. Pág.35, 220
- MUHAISEN N. Y ABDULLAH R. 2012 Calculating the Efficiency of Steam Boilers Based on Its Most Effecting Factors A Case Study .World Academy of Science, Engineering and Technology. Vol:6 2012-03-26 Pág.125
- PAUER R. 1990 El Tratamiento de Condensado (en Sistemas de Media o Baja Presión). Seminario de Tratamiento de Agua. Pág.120
- PERRY J. 1990. Manual del Ingeniero Químico, Tomo I. Pág.333, 339, 738
- RUIZ A. 2005 Eficiencia Energética en Instalaciones de Vapor. SpiraxSarco .Pág.15
- SAIDUR R. 2011. Energy Savings and Emission Reductions in Industrial Boilers. Thermal Science, Vol.15, No.3 Pág.210
- SÁNCHEZ, C.M.1995. Investigación de las Vías para Reducir las Pérdidas de Calor en un Caldero. Trujillo-Perú. Pág.81
- SENER .2003 Balance Nacional de Energía. <http://www.conae.gob.mx>. Pág.82
- TLV. Vapor flash .2011 Compañía Especialista en Vapor. <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/flash-steam.html>. Pág.6
- VILLACRES Y ANDRADE. 2000 Ahorro Energético en el Sistema de Recuperador de Condensados de una Planta Industrial en Guayaquil utilizando un Surge Tank .Trabajo de Investigación. Pág.153
- VINEETH C Y PRINCE M.2013 Impact of Condensate Recovery on Boiler Fuel Consumption in Textile Sector *Journal of Engineering Research and Applications*. Vol. 3, Issue 5, Sep-Oct 2013, pp.190-195

## ANEXOS



**Fig. A-1 Caldero eléctrico de 7,5 kw; acoplado a condensador (IC1)**



**Fig.A-2 Recipiente de flasheado para condensado de alta presión**