

## Evaluación de un Tanque Flash para el ahorro energético en el sistema recuperador de condensados del Hospital la Caleta

Evaluation of a Flash Tank for energy saving in the condensed recovery system of the Caleta Hospital

**Diego Mariños Rosado<sup>1,\*</sup>; Samir Rojas Chávez<sup>1</sup>; Yery De los Santos Reyna<sup>1</sup>; Roberto Chucuya Huallpachoque<sup>2</sup>**

1 Escuela de Ingeniería en Energía, Universidad Nacional del Santa. Av. Pacífico 508 - Nuevo Chimbote. Ancash, Perú.

2 Departamento de Energía y Física, Universidad Nacional del Santa. Av. Pacífico 508 - Nuevo Chimbote. Ancash, Perú.

\*Autor correspondiente: [diego\\_j\\_mr@hotmail.com](mailto:diego_j_mr@hotmail.com) (D. Mariños).

Fecha de recepción: 16 01 2017. Fecha de aceptación: 22 03 2017

### RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en la casa de fuerza del "Hospital la Caleta" de la ciudad de Chimbote, cuya actividad principal es la producción de vapor para las diferentes áreas como la lavandería y la cocina; tiene por objeto de estudio al sistema recuperador de condensados, en la cual se evaluará un Tanque Flash para reutilizar el condensado, esperando obtener un incremento en la eficiencia térmica del proceso, asimismo lograr un ahorro en el consumo de combustible y la disminución económica en la facturación de los mismos; además de reducir la emisión de contaminantes a la atmosfera; porque la producción del vapor hoy en día es un recurso muy valioso para cualquier industria. Se evidencia que al realizar la implementación del Tanque Flash al sistema recuperador de condensados, se logrará mejorar el Indicador Energético Técnico en 3,86% y el Indicador Energético Económico en 4%, asimismo de logrará reducir 234 gal Diesel B2 por año equivalente al 3,86%. Además de obtener un ahorro en el consumo de combustible equivalente a S/. 2 278,10 en los próximos 12 meses.

**Palabras clave:** Tanque Flash; vapor; Sistema recuperador de condensados; ahorro energético.

### ABSTRACT

The present investigation was carried out in the powerhouse of the "Hospital la Caleta" of the city of Chimbote, whose main activity is the production of steam for the different areas like the laundry and the kitchen; is to study the condensate recovery system, in which a Flash Tank will be evaluated to reuse the condensate, hoping to obtain an increase in the thermal efficiency of the process, also to achieve a saving in the fuel consumption and the economic decrease in the Billing thereof; in addition to reducing the emission of pollutants to the atmosphere; because steam production today is a very valuable resource for any industry. It is evident that when implementing the Flash Tank to the condensate recovery system, it will be possible to improve the Technical Energy Indicator by 3.86% and the Economic Energy Indicator by 4%, and also achieve a reduction of 234 gal Diesel B2 by year equivalent to 3.86%. In addition to obtaining a saving in the fuel consumption equivalent to S/. 2 278.10 in the next 12 months.

**Keywords:** Flash tank; steam; condensate recovery system; energy saving.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en los circuitos industriales de vapor y condensado existen pérdidas de energía térmica las cuales por lo general no son tomadas en cuenta por el personal a cargo del mantenimiento y de producción de la planta, estas pérdidas a la larga representan cantidades considerables de dinero. Esto debido a la mala recuperación de condensados, fugas de vapor, tuberías de distribución mal dimensionadas y sin aislamiento térmico, trampas de vapor en mal estado y fallando, estos son algunos de los problemas más comunes que se presentan en las plantas industriales y artesanales que utilizan vapor como un fluido de trabajo en sus procesos de producción.

Debido a esta preocupación varias empresas han implementado sistemas de ahorro y reaprovechamiento energético, uno de ellos es el sistema de vapor flash, para recuperar los condensados producto de la transformación del vapor y para luego darles un correcto tratamiento y uso, con la idea de reaprovechar los recursos energéticos y ahorrar combustible. Los tanques Flash son equipos que se alimentan con un condensado a una presión, pero que, en su interior, soportan una presión menor (Abed et al., 2016; Hongjie et al., 2016; Sirwan et al., 2013; Qiao, 2015).

De igual manera en los últimos años, la conciencia energética y la percepción medioambiental han transformado el sistema de condensado. Lo que antes era un modesto subproducto de la distribución de vapor se ha convertido hoy en día en un recurso muy valioso para cualquier industria (Cervantes, 2006; Li et al., 2016; Guo et al., 2013; Heo et al., 2012; Khanam et al., 2013). La creciente demanda de energía, el elevado costo de combustible y los problemas ambientales ya que el sector industrial es uno de los sectores donde se da el mayor consumo energético, superando el 31% del total de energía final (Sosa, 2013).

Por otra parte, una vez que se genera el vapor flash se necesita distribuirlo en un sistema de vapor de baja presión o también llamado sistema de vapor flash, el cual es uno de los objetivos de esta investigación. Ya que el vapor flash es de la misma calidad que el vapor vivo,

instalaciones modernas normalmente tratan de reutilizar cantidades significativas de vapor flash en donde sea posible su utilización (Valiente, 2007; Mosaffa et al., 2016; Bao et al., 2017; Muthusamy y Srithar., 2017). Un sistema de vapor flash es donde la circulación de vapor es generada por diferencia de presión, a partir de los condensados como sucede en los sistemas de agua caliente (Polzot et al., 2017; Barma et al., 2017; Wei et al., 2017). La circulación de vapor se realiza con sistemas de una o más tuberías, estas devuelven el agua formada por condensación a la caldera. Para resolver este problema, mediante la presente investigación se propone al Hospital la caleta la implementación del sistema de condensados presurizados anteriormente mencionado, utilizando un tanque flash, donde se recuperarán los condensados de los equipos y generará un vapor flash, el cual será utilizado en un sistema de vapor de baja presión, ahorrando de esta manera el combustible que se empleaba para generar esta cantidad de vapor. De esta forma se podrá comparar cuanta energía (combustible) ahorrará la casa de fuerza del Hospital implementando este tipo de sistema en vez de utilizar un tanque recolector de condensados venteado a la atmósfera.

La cantidad de energía ahorrada al implementar un sistema recuperador de condensados presurizado utilizando un Tanque Flash en vez de utilizar un tanque recolector de condensados venteado a la atmósfera; el proceso se desarrolla utilizando los principios prácticos de conservación de la energía, asimismo identificando los elementos que conforman el sistema de vapor y analizando el sistema energético actual.

Demostrando que un sistema de condensados presurizado puede ahorrar a una planta industrial como mínimo de un 15% a 35% los costos de combustible cuando es comparado con un sistema de condensados convencional venteado a la atmósfera (Villacrés y Andrade, 2012).

El análisis de la situación energética actual para identificar y evaluar oportunidades de conservación de la energía que permitan obtener un ahorro económico para la empresa, se ve reflejado en la reducción del consumo de combustible;

de tal manera que en la etapa del pre-diagnostico se debe medir los consumos de vapor de los usuarios para la condición de demanda máxima y promedio, verificar el correcto dimensionamiento de las tuberías, cambiar el sistema de puga de la caldera e implementar los tanques Flash para aprovechar de mejor manera la energía que contiene el condensado, de tal manera que permitan ahorrar un 10,43% del consumo total de combustible (Bohórquez, 2013).

En el interior del Hospital la Caleta se ubica la casa de fuerza, la cual cuenta con 2 calderas de serie U-HD, LOOS INTERNATIONAL, actualmente una en operación de 15 BHP; asimismo está instalado el sistema de redes de distribución de vapor, que está unido a un tanque desareador; también se ubica el sistema de alimentación de agua, en la cual el fluido es almacenado en un tanque de 500 litros, y se cuenta con los tanques de almacenamiento del Petróleo Diesel B2. El sistema recuperador de condensados de la casa de fuerza del hospital la caleta, cuenta con un tanque desareador en el que se reúne el 71% del vapor proporcionado por la caldera de 15 BHP; este vapor que ya es condensado es el que llega al tanque desareador procedente de las diferentes áreas como la lavandería y la cocina, y lo demás es eliminado a un ducto que lleva las aguas no utilizables de algún otro proceso. La caldera para generar el 100% del vapor consume diario 21 galones de petróleo Diesel B2 durante sus 7 horas de operación.

En respuesta a la utilización de los condensados, se presenta la implementación del tanque flash, con el objetivo de ahorrar el combustible empleado diariamente en la producción del vapor.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio de la "Evaluación de un Tanque Flash para el ahorro energético en el sistema recuperador de condensados del Hospital la Caleta" es de diseño no experimental debido a que no existió manipulación en forma deliberada de variables, simplemente se procedió a realizar observaciones de situaciones ya

existentes. Por otro lado, es transversal porque lo que se buscó fue describir la variable recogiendo información con respecto al sistema recuperador de condensados.

De acuerdo al fin que persiguió, la presente investigación es aplicada debido a que su propósito fue proponer soluciones a problemas identificados en el generador de vapor debido al desperdicio de los condensados y a su excesivo consumo de combustible. Asimismo de acuerdo a la técnica de contrastación es una Investigación Descriptiva debido a que tuvo como prioridad la descripción de la eficiencia de combustión, vapor flash y los indicadores energéticos tanto técnicos como económicos. De acuerdo al régimen de investigación es Orientada ya que el presente trabajo fue guiado por un asesor metodólogo y un asesor especialista para su correcto desarrollo.

El diseño del estudio en su totalidad es descriptivo y comparativo con diversos trabajos de investigación en cuanto a sus resultados.

## Evaluación

### A) Eficiencia de Combustión:

$$n = \frac{\dot{m}_v \cdot (h_g - h_i)}{\dot{m}_c \cdot PCI} \quad (1)$$

Donde:

$\dot{m}_v$ : Flujo másico de vapor

$\dot{m}_c$ : Flujo de combustible empleado

PCI: Poder calorífico inferior

$h_g$ : Entalpia de vapor saturado a la presión de operación

$h_i$ : Entalpia de líquido comprimido a la presión de operación

### B) Porcentaje de vapor flash:

$$\%_{\text{vapor flash}} = \frac{h_{f P \text{ alta}} - h_{f P \text{ baja}}}{h_{fg P \text{ baja}}} \quad (2)$$

Donde:

$h_{f P \text{ alta}}$ : Entalpia de líquido saturado a la presión de alta

$h_{f P \text{ baja}}$ : Entalpia de líquido saturado a la presión de baja

$h_{fg P \text{ baja}}$ : Entalpia de agua saturada (líquido-vapor) a la presión de baja

### C) Indicador Energetico Técnico (IET):

#### Influencia en el indicador energetico de producción, (IET<sub>1</sub>)

Para el cálculo del indicador energetico tecnico de producción IET, se determina por lo siguiente:

$$IET_1 = \frac{\text{gal Diesel B2}}{\text{ton de vapor producido}} \quad (3)$$

#### Influencia en el indicador de generación de vapor flash, (IET<sub>2</sub>)

Para el cálculo de los indicadores energéticos, en este caso del indicador de generación de vapor flash (IET<sub>2</sub>), se sigue el siguiente cálculo:

$$IET_2 = \frac{\text{kg de vapor flash}}{\text{ton de vapor producido}} \quad (4)$$

### D) Indicador Energetico Económico (IEE):

Para el cálculo del indicador energetico económico, se necesita lo siguiente:

$$IEE = \frac{s/}{\text{ton de vapor producido}} \quad (5)$$

De esta manera se puede comprobar que el comportamiento de los indicadores varia en función de la generación de vapor flash y en ahorro de combustible, lo cual da más sustento a nuestra investigación ya que se comprueba la influencia del sistema de vapor flash con el comportamiento y la mejora de los indicadores energéticos.

Con la metodología descrita, las formulas y las leyes que son importantes, nos dan un panorama de lo que se pretende investigar, en ese sentido, podemos dar sustento a esta investigación demostrando que ya tiene un fundamento establecido, y será desarrollado posteriormente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A) Consideraciones Iniciales

Los Parámetros necesarios para el cálculo del balance energético son:

**Tabla 1.** Datos de Ingreso para la determinación del balance energético

Parámetros físicos	Valores
Para la Caldera	
Serie	U-HD, Loos International (117 - 834) kw = (11 - 85) BHP
Gama de producción	hasta 204 °C
Temperatura de diseño máx.	15 BHP
Capacidad	8 bar
Presión nominal	7 bar
Presión de operación	88%
Eficiencia de combustión	7 h/día
Horas de trabajo	70% consumo vapor nominal
Consumo vapor real	
Para el Diesel B2	
Poder Calorífico Inferior	42500 kJ/kg
Densidad	870 kg/m <sup>3</sup>
Flujo másico del combustible	3 gal/h
1 galón de D-2	138700 BTU
Para el agua de alimentación	
Temperatura	85 °C
Para el agua de reposición	
Repone en 7 horas de trabajo	60% de un tanque de 500 litros

Fuente: Reportes de Mantenimiento del área de la Casa de fuerza del Hospital la Caleta.

**Tabla 2.** Consumo de vapor de los diversos equipos de la cocina y lavandería

Cocina	
Hervidor 01	$\dot{m}_1 = 14\% * \text{flujo de v. real}$
Hervidor 02	$\dot{m}_2 = 14\% * \text{flujo de v. real}$
Lavandería	
Secadora 01	$\dot{m}_3 = 12\% * \text{flujo de v. real}$
Secadora 02	$\dot{m}_4 = 12\% * \text{flujo de v. real}$
Rodillo de planchado	$\dot{m}_5 = 11\% * \text{flujo de v. real}$
Plancha	$\dot{m}_6 = 11\% * \text{flujo de v. real}$
Lavadora 01	$\dot{m}_7 = 13\% * \text{flujo de v. real}$
Lavadora 02	$\dot{m}_8 = 13\% * \text{flujo de v. real}$

Fuente: Reportes de Mantenimiento del área de la Casa de fuerza del Hospital la Caleta.

### B) Evaluación y Análisis del Sistema Energético actual

El hospital la caleta requiere un flujo estimado de vapor para satisfacer la demanda que exigen los diferentes procesos.

Para realizar el análisis energético del sistema actual debemos de tener en cuenta los parámetros anteriores.

#### Consumo del combustible real:

Multiplicando por la densidad del combustible D-2 (870 kg/m<sup>3</sup>) y dividiéndolo entre el factor de conversión de metros cúbicos a galones (1 m<sup>3</sup> = 264,172 gal) y el factor de conversión de hora a segundo (1 h = 3600 s) para convertirlo a kilogramo por segundo.

$$\dot{m}_{c. real} = 3 \frac{gal}{h} * \frac{1}{264,172} \frac{m^3}{gal} * 870 \frac{kg}{m^3} * \frac{1}{3600} \frac{h}{s}$$

$$\dot{m}_{c. real} = 2,74415 * 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

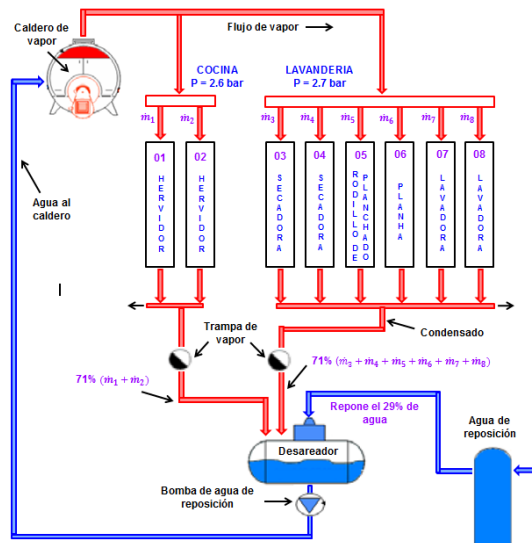


Figura 1. Esquema del sistema actual de vapor

**Flujo másico de vapor nominal:**

El rango de capacidad de la caldera es de (11 – 85) BHP  
 Multiplicando por el factor de conversión de BHP a kilowatts (9,81 kW = 1 BHP)

$$15 \text{ BHP} * \frac{9,81 \text{ kW}}{1 \text{ BHP}} = 147,15 \text{ kW}$$

$$= \dot{m}_{v nominal} * (h_g - h_i)$$

BHP: Potencia de operación del caldero  
 $h_g$ : Entalpia de vapor saturado a la presión de 8 bar  
 $h_i$ : Entalpia de líquido comprimido a la presión de 8 bar y temperatura de 85°C

$$\dot{m}_{v nominal} = 147,15 \frac{kw}{(h_g - h_i)} = \frac{147,15}{(2769,1 - 356,5)} \frac{kJ/s}{kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{v nominal} = 0,0609 \frac{kg}{s}$$

Dividimos entre el factor de conversión de kilogramos a toneladas (1000 kg = 1 ton) y multiplicamos por el factor de conversión de hora a segundo (1 h = 3600 s) para convertirlo a toneladas por hora.

$$\dot{m}_{v nominal} = 0,0609 \frac{kg}{s} * \frac{1}{1000} \frac{ton}{kg} * \frac{3600 s}{1 h}$$

$$\dot{m}_{v nominal} = 0,2196 \frac{ton}{h}$$

En 7 horas:  $\dot{m}_{v nominal} = 1,5370 \text{ ton}$

**Consumo de combustible nominal:**

$$n_{nominal} = \frac{\dot{m}_{v nominal} * (h_g - h_i)}{\dot{m}_{c nominal} * PCI}$$

$h_g$  = entalpia de vapor saturado a 8 bar

$h_i$  = entalpia de liq. comp. a 8 bar y 85°C

$$\dot{m}_{c nominal} = \frac{0,0609 \frac{kg}{s} * (2769,1 - 356,5) \frac{kJ}{kg}}{88\% * 42500 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_{c. nominal} = 3,92949 * 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

**Flujo másico de vapor real:**

$$\dot{m}_{v real} = 70\% * \dot{m}_{v nominal}$$

$$\dot{m}_{v real} = 70\% * 0,0609 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{v real} = 0,04118 \frac{kg}{s}$$

Dividimos entre el factor de conversión de kilogramos a toneladas (1000 kg = 1 ton) y multiplicamos por el factor de conversión de hora a segundo (1 h = 3600 s) para convertirlo a toneladas por hora.

$$\dot{m}_{v real} = 0,04118 \frac{kg}{s} * \frac{1}{1000} \frac{ton}{kg} * \frac{3600 s}{1 h}$$

$$\dot{m}_{v real} = 0,1483 \frac{ton}{h}$$

En 7 horas:  $\dot{m}_{v real} = 1,0381 \text{ ton}$

**Eficiencia real:**

$$n_{real} = \frac{\dot{m}_{v real} * (h_g - h_i)}{\dot{m}_{c real} * PCI}$$

$h_g$  = entalpia de vapor saturado a de 7 bar

$h_i$  = entalpia de liq. comp. a 7 bar y 85°C

$$n_{real} = \frac{0,04118 \frac{kg}{s} * (2763,5 - 356,4) \frac{kJ}{kg}}{2,74415 * 10^{-3} \frac{kg}{s} * 42500 \frac{kJ}{kg}} * 100\%$$

$$n_{real} = 85\%$$

**Agua de reposición:**

7 horas → 60% \* 500 l = 300l , consume la caldera

1 hora → 42,85 l , consume la caldera

$$\dot{m}_{H_2O} = x \% * \dot{m}_{v real}$$

$\dot{m}_{H_2O}$  = flujo masico del agua

$\dot{m}_{v real}$  = flujo masico del vapor real

$$x \% = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{m}_{v real}} = \frac{42,85 \text{ l}}{0,1483 \text{ ton}} * \frac{1}{1000} \frac{ton}{kg} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} * 100\%$$

$x \% = 29 \% \text{ de agua de reposición}$

En el proceso se pierde el 29% del agua y esta es la misma cantidad que se repone, el 71% regresa al tanque desareador.

**Consumo de vapor en cada área**

**Tabla 3.** Consumo y salida del vapor de los diversos equipos de la cocina y lavandería

Consumo de vapor de cada equipo			
Área	Equipos	$\dot{m}$ (kg/s)	$\dot{m}$ (kg/s)
Cocina	$\dot{m}_1$	0,00576	0,01152
	$\dot{m}_2$	0,00576	
Lavandería	$\dot{m}_3$	0,00494	0,02962
	$\dot{m}_4$	0,00494	
	$\dot{m}_5$	0,00452	
	$\dot{m}_6$	0,00452	
	$\dot{m}_7$	0,00535	
	$\dot{m}_8$	0,00535	
$\dot{m}_{v \text{ real de entrada}}$		0,04118	
Salida de vapor de cada equipo			
Área	Equipos	$\dot{m}$ (kg/s)	$\dot{m}$ (kg/s)
Cocina	$\dot{m}'_1$	0,00409	0,00818
	$\dot{m}'_2$	0,00409	
Lavandería	$\dot{m}'_3$	0,00350	0,02102
	$\dot{m}'_4$	0,00350	
	$\dot{m}'_5$	0,00321	
	$\dot{m}'_6$	0,00321	
	$\dot{m}'_7$	0,00380	
	$\dot{m}'_8$	0,00380	
$\dot{m}_{v \text{ real de salida}}$		0,0292	

**C) Evaluación y Análisis del sistema energético utilizando un tanque flash**

Implementando un Tanque Flash al sistema de condensado se puede ahorrar como mínimo de un 3% a 20% en combustible.

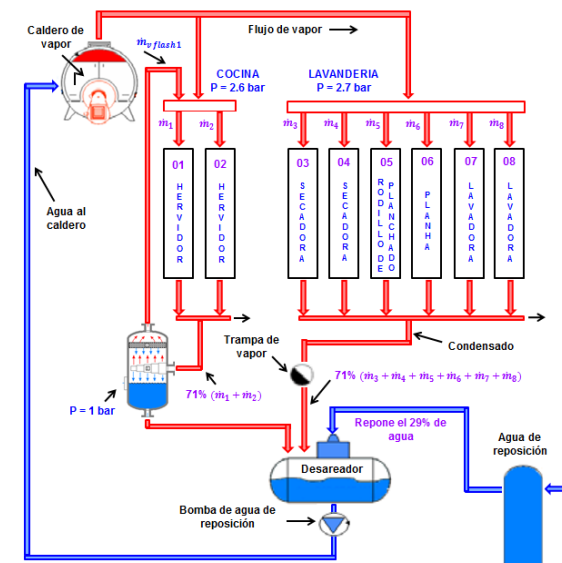
Un Tanque Flash en el sistema de condensado no es un lujo, pero es un componente necesario para maximizar o incrementar la eficiencia del sistema de vapor.

En las figuras 02, 03 y 04 se muestra como el condensado retorna directamente al llamado "Tanque Flash" de alta presión instalado en la sala de calderos, a una presión de 2,5 bar que es equivalente a 362,6 psi, y la presión de baja es 1 bar equivalente a 14,5 psi.

Una vez mencionada las ventajas de utilizar el Tanque Flash en el sistema recuperador de condensados, procedamos a calcular el ahorro de energía que se obtiene con la utilización del mismo.

Para esto se realizara 3 casos, los cuales serán comparados y se escogerá el caso

que mayor ahorro represente para el sistema, los casos se muestran a continuación.



**Figura 2.** Esquema empleándose el Tanque Flash en el sistema de condensado que sale de la cocina

**CASO – 01: Implementación del tanque flash en el sistema de condensado que sale de la cocina**

Para realizar el análisis energético del sistema del caso – 01, debemos de tener en cuenta los parámetros anteriores.

**Porcentaje de vapor flash 1**

$$\%_{\text{vapor flash 1}} = \frac{h_{f P \text{ alta}} - h_{f P \text{ baja}}}{h_{fg P \text{ baja}}}$$

$h_{f P \text{ alta}}$ : Entalpia de líquido saturado a la presión de 2,6 bar

$h_{f P \text{ baja}}$ : Entalpia de líquido saturado a la presión de 1 bar

$h_{fg P \text{ baja}}$ : Entalpia de agua saturada (líquido-vapor) a la presión de 1 bar

$$\%_{\text{vapor flash 1}} = \frac{(540,59 - 417,46) \frac{kJ}{kg}}{2258 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\%_{\text{vapor flash 1}} = 0,0545 = 5,45 \%$$

**Flujo másico de vapor flash 1**

$$\dot{m}_{\text{vapor flash 1}} = \%_{\text{vapor flash 1}} * \dot{m}_{\text{salida de cocina}}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor flash 1}} = 0,0545 * 0,00818 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor flash 1}} = 4,4581 * 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

**Ahorro del flujo másico del combustible**

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{m}_{vapor\ flash\ 1} * (h_g - h_i)}{n_{real} * PCI}$$

$h_g$  = entalpia de vapor saturado a 7 bar  
 $h_i$  = entalpia de liq. comp. a 7 bar y 85°C

$$\dot{m}_c = \frac{4,4581 * 10^{-4} \frac{kg}{s} * (2763,5 - 356,4) \frac{kJ}{kg}}{0,85 * 42500 \frac{kJ}{kg}}$$

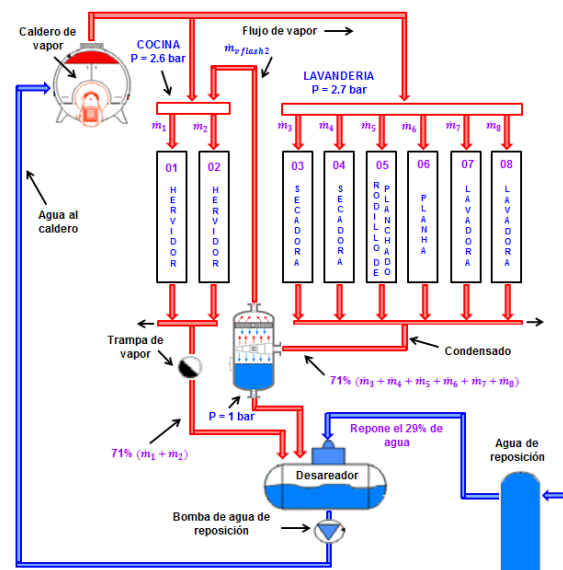
$$\dot{m}_c = 2,9705 * 10^{-5} \frac{kg}{s}$$

Dividimos entre la densidad del combustible D-2 (870 kg/m³), el factor de conversión de metros cúbicos a galones (1 m³ = 264,172 gal) y multiplicamos por el factor de conversión de hora a segundo (1 h = 3600 s) para convertirlo a galones por hora.

$$\dot{m}_{c.\ real} = 2,9705 * 10^{-5} \frac{kg}{s} * \frac{1\ m^3}{870\ kg} * \frac{264,172\ gal}{1\ m^3} * \frac{3600\ s}{1\ h}$$

$$\dot{m}_{c.\ real} = 0,0325 \frac{gal}{h}$$

**CASO – 02: Implementación del tanque flash en el sistema de condensado que sale de la lavandería**



**Figura 3.** Esquema empleándose el Tanque Flash en el sistema de condensado que sale de la lavandería

Para realizar el análisis energético del sistema del caso – 02, debemos de tener en cuenta los parámetros anteriores.

**Porcentaje de vapor flash 2**

$$\%_{vapor\ flash\ 2} = \frac{h_{f\ P\ alta} - h_{f\ P\ baja}}{h_{fg\ P\ baja}}$$

$h_{f\ P\ alta}$ : Entalpia de líquido saturado a la presión de 2.7 bar

$h_{f\ P\ baja}$ : Entalpia de líquido saturado a la presión de 1 bar

$h_{fg\ P\ baja}$ : Entalpia de agua saturada (liquido-vapor) a la presión de 1 bar

$$\%_{vapor\ flash\ 2} = \frac{(545,81 - 417,46) \frac{kJ}{kg}}{2258 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\%_{vapor\ flash\ 2} = 0,0568 = 5,68\ \%$$

**Flujo másico de vapor flash 2**

$$\dot{m}_{vapor\ flash\ 2} = \%_{vapor\ flash\ 2} * \dot{m}_{salida\ de\ la\ lavandería}$$

$$\dot{m}_{vapor\ flash\ 2} = 0,0568 * 0,02102 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{vapor\ flash\ 2} = 1,1939 * 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

**Ahorro del flujo másico del combustible**

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{m}_{vapor\ flash\ 2} * (h_g - h_i)}{n_{real} * PCI}$$

$h_g$  = entalpia de vapor saturado a 7 bar

$h_i$  = entalpia de liq. comp. a 7 bar y 85°C

$$\dot{m}_c = \frac{1,1939 * 10^{-3} \frac{kg}{s} * (2763,5 - 356,4) \frac{kJ}{kg}}{0,85 * 42500 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_c = 7,9553 * 10^{-5} \frac{kg}{s}$$

Dividimos entre la densidad del combustible D-2 (870 kg/m³), el factor de conversión de metros cúbicos a galones (1 m³ = 264,172 gal) y multiplicamos por el factor de conversión de hora a segundo (1 h = 3600 s) para convertirlo a galones por hora.

$$\dot{m}_{c.\ real} = 7,9553 * 10^{-5} \frac{kg}{s} * \frac{1\ m^3}{870\ kg} * \frac{264,172\ gal}{1\ m^3} * \frac{3600\ s}{1\ h}$$

$$\dot{m}_{c.\ real} = 0,0869 \frac{gal}{h}$$

**CASO – 03: Implementación del tanque flash en el sistema de condensado que sale de la cocina y la lavandería**

Para realizar el análisis energético del sistema del caso – 03, debemos de tener en cuenta los parámetros anteriores.

**Porcentaje de vapor flash 3**

$$\%_{vapor\ flash\ 3} = \frac{h_{f\ P\ alta} - h_{f\ P\ baja}}{h_{fg\ P\ baja}}$$

$h_{f\ P\ alta}$ : Entalpia de líquido saturado a la presión de 2,6 bar

$h_{f\ P\ baja}$ : Entalpia de líquido saturado a la presión de 1 bar

$h_{fg P\ baja}$ : Entalpia de agua saturada (liquido-vapor) a la presión de 1 bar

$$\%_{vapor\ flash\ 3} = \frac{(540,59 - 417,46) \frac{kJ}{kg}}{2258 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\%_{vapor\ flash\ 3} = 0,0545 = 5.45\ \%$$

Significa que el 5,45 % de la masa disponible se recupera con un tanque a 1 bar .

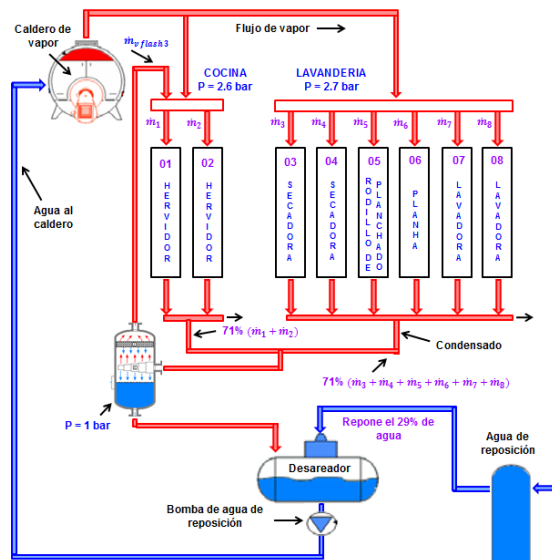


Figura 4. Esquema empleándose el Tanque Flash en el sistema de condensado que sale de la cocina y la lavandería.

**Flujo másico de vapor flash 3**

$$\dot{m}_{vapor\ flash\ 3} = \%_{vapor\ flash\ 3} * \dot{m}_{salida\ de\ cocina\ y\ lavandería}$$

$$\dot{m}_{vapor\ flash\ 3} = 0,0545 * (0,00818 + 0,02102) \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{vapor\ flash\ 3} = 1,5914 * 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

**Ahorro del flujo másico del combustible**

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{m}_{vapor\ flash\ 3} * (h_g - h_i)}{n_{real} * PCI}$$

$h_g$  = entalpia de vapor saturado a 7 bar  
 $h_i$  = entalpia de liq. comp. a 7 bar y 85°C

$$\dot{m}_c = \frac{1,5914 * 10^{-3} \frac{kg}{s} * (2763,5 - 356,4) \frac{kJ}{kg}}{0,85 * 42500 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_c = 1,0604 * 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

Dividimos entre la densidad del combustible D-2 (870 kg/m³), el factor de conversión de metros cúbicos a galones (1 m³ = 264,172 gal) y multiplicamos por el factor de conversión de hora a segundo (1 h = 3600 s) para convertirlo a galones por hora.

$$\dot{m}_{c.\ real} = 1,0604 * 10^{-4} \frac{kg}{s} * \frac{1\ m^3}{870\ kg} * \frac{264,172\ gal}{1\ m^3} * \frac{3600\ s}{1\ h}$$

$$\dot{m}_{c.\ real} = 0,1159 \frac{gal}{h}$$

Considerando que la operación de la caldera es de 7 horas por día, 6 días a la semana y 48 semanas al año, se obtiene que:

**Ahorro de combustible**

$$0,1159 \frac{gal}{h} * 7 \frac{h}{día} * 6 \frac{días}{semana} * 48 \frac{semanas}{año} = 233,65 \frac{gal}{año}$$

Para nuestro caso el consumo real de combustible es 21 galones de Diesel B2 evaluado a las 7 horas de operación por día, siendo consumido 3 galones de Diesel B2 por hora, del presente año.

**Consumo de combustible**

$$3 \frac{gal}{h} * 7 \frac{h}{día} * 6 \frac{días}{semana} * 48 \frac{semanas}{año} = 6048 \frac{gal}{año}$$

**Porcentaje de ahorro:**

$$\left(100 - \frac{6048 - 233,65}{6048}\right) * 100\ \% = 3,86\ \%$$

Por lo tanto al desarrollar los 3 casos, observamos que en el tercer caso tenemos el mayor ahorro de combustible y comprobamos que usando un tanque flash a 1 bar de presión interna podemos reducir 0,1159 gal/h de combustible en los días de producción. Por lo cual el dimensionamiento del tanque flash va a depender de la presión de trabajo que usaremos para recuperación de condensado y producción de vapor flash.

**D) Evaluación económica**

El costo del vapor o costo de generación del vapor es una buena vía para poder conocer la eficiencia de un sistema de vapor. Este costo depende del tipo de combustible que se utilice, del costo del combustible, la eficiencia de la caldera, la temperatura de alimentación del agua y la presión del vapor.

El combustible que se utiliza en la caldera de la Caleta es el Petróleo Diesel B2 o también conocido como Oíl N°2 (bunker). Según (OSINERGMIN, 2016): El costo del Oíl N°2 (bunker) es de 9,75 s/./galón.

El máximo ahorro de combustible se obtiene en el CASO - 03, en la cual la cantidad es de:

$$\dot{m}_{c.\ real} = 0,1159 \frac{gal}{h}$$



Ahora multiplicaremos por el precio del Diesel B2 que es (9,75 soles por galón) y las horas de operación al año para obtener el ahorro neto en soles al año.

$$AHORRO NETO = 0,1159 \frac{\text{gal}}{\text{h}} * 9,75 \frac{\text{s/}}{\text{gal}}$$

$$AHORRO NETO = 1,13 \frac{\text{s/}}{\text{h}}$$

Considerando que la operación de la caldera es de 7 horas por día, 6 días a la semana y 48 semanas al año, se obtiene que:

$$1,13 \frac{\text{s/}}{\text{h}} * 7 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 6 \frac{\text{días}}{\text{semana}} * 48 \frac{\text{semanas}}{\text{año}}$$

$$AHORRO NETO = 2 278,1 \frac{\text{s/}}{\text{año}}$$

En este valor solo se está considerando el ahorro de combustible, por lo cual se debe sumar el ahorro en agua y el ahorro de producto químico utilizado para su tratamiento si así lo fuera.

### E) Determinación de los indicadores energéticos

De igual manera se realizó el cálculo correspondiente al comportamiento de los indicadores y verificar como estos se comportan y mejoran con la recuperación de condensados y la generación de vapor flash.

#### Influencia en el indicador energético técnico de producción, (IET<sub>1</sub>)

Para nuestro caso el consumo real de combustible es 21 galones de Diesel B2 evaluado a las 7 horas de operación por día, siendo consumido 3 galones de Diesel B2 por hora, del presente año.

Cálculo del Indicador energético actual:

$$IET_1 = \frac{3 \text{ gal Diesel B2}}{0,1483 \text{ ton de vapor producido}}$$

$$IET_1 = 20,23 \frac{\text{gal Diesel B2}}{\text{ton de vapor producido}}$$

Combustible ahorrado por la generación de vapor flash a 1 bar es 0,1159 galones de Diesel B2 por hora.

Cálculo del nuevo consumo de combustible, con la generación de vapor flash.

Combustible a consumir = 3 - 0,1159

$$2,88 \frac{\text{gal Diesel B2}}{\text{h}}$$

Cálculo del nuevo indicador energético técnico mejorado.

El indicador del Neto Indicador IE<sub>1</sub> (IE<sub>1</sub> Mejorado) es:

$$IET_1 \text{ Mejorado} = \frac{2,88 \text{ gal Diesel B2}}{0,1483 \text{ ton de vapor producido}}$$

$$IET_1 \text{ Mejorado} = 19,45 \frac{\text{gal Diesel B2}}{\text{ton de vapor producido}}$$

Cálculo del porcentaje de mejora del indicador térmico energético técnico.

El porcentaje de mejora (% de Mejora del IE) del indicador energético será:

$$\% \text{ Mejora IET} = \frac{(20,23 - 19,45)}{20,23} * 100\%$$

$$\% \text{ Mejora IET} = 3,86 \%$$

#### Influencia en el indicador energético técnico de generación de vapor flash, (IET<sub>2</sub>)

Para el cálculo de los indicadores energéticos, en este caso del indicador de generación de vapor flash (IET<sub>2</sub>), se sigue el siguiente cálculo:

Para nuestro caso la generación de vapor flash es de 5,729 kg/h de vapor flash a 1 bar.

Cálculo del indicador de generación de vapor flash

$$IET_2 = \frac{5,729 \frac{\text{kg de vapor flash a 1 bar}}{\text{h}}}{0,1483 \frac{\text{ton vapor producido}}{\text{h}}}$$

$$IET_2 = 38,63 \frac{\text{kg de vapor flash a 1 bar}}{\text{ton de vapor producido}}$$

#### Indicador Energético Económico (IEE)

Para el cálculo del indicador energético económico, se necesita lo siguiente:

Para nuestro caso el precio del Diesel B2 es 9,75 s/ por galón y el consumo real de combustible es 21 galones de Diesel B2 evaluado a las 7 horas de operación por día, siendo consumido 3 galones de Diesel B2 por hora, del presente año.

Cálculo del Indicador energético Económico actual:

$$IEE = \frac{3 \frac{\text{gal Diesel} - 2}{\text{h}} * 9,75 \frac{\text{s/}}{\text{gal Diesel} - 2}}{0,1483 \frac{\text{ton de vapor producido}}{\text{h}}}$$

$$IEE = 197,24 \frac{\text{s/}}{\text{ton de vapor producido}}$$

Combustible ahorrado por la generación de vapor flash a 1 bar es 0,1159 galones de Diesel B2 por hora.

Cálculo del nuevo consumo de combustible, con la generación de vapor flash.

$$\text{Combustible a consumir} = 3 - 0,1159 \frac{\text{gal Diesel B2}}{\text{h}}$$

Cálculo del nuevo indicador energético económico mejorado.

El indicador del Neto Indicador IE<sub>1</sub> (IE<sub>1</sub> Mejorado) es:

$$\text{IEE Mejorado} = \frac{2,88 \frac{\text{gal Diesel B2}}{\text{h}} * 9,75 \frac{\text{s/}}{\text{gal Diesel B2}}}{0,1483 \frac{\text{ton de vapor producido}}{\text{h}}}$$

$$\text{IEE Mejorado} = 189,35 \frac{\text{s/}}{\text{ton de vapor producido}}$$

Cálculo del porcentaje de mejora del indicador energético económico.

El porcentaje de mejora (% de Mejora del IEE) del indicador energético será:

$$\% \text{ Mejora IEE} = \frac{(197,24 - 189,35)}{197,24} * 100\%$$

$$\% \text{ Mejora IEE} = 4 \%$$

Habiendo presentado los resultados de la investigación, a continuación se procederá con la discusión, la misma que se iniciará con la discusión correspondiente al sistema recuperador de condensados, luego se procederá con la discusión perteneciente a la evaluación de los tres sistemas propuestos con la implementación del tanque flash, así como la mejora de los indicadores tanto técnicos como económico y finalmente se concluirá con la discusión, para determinar si la casa de fuerza del Hospital la Caleta se beneficia o no con la nueva propuesta.

El resultado obtenido con respecto al primer objetivo de aplicar la evaluación de un Tanque Flash para el ahorro energético en el sistema recuperador de condensados; nos damos cuenta que al evaluar los tres casos presentados, en este último existe un mayor aprovechando del condensado ya que proviene de la cocina y la lavandería, lo cual conlleva a un mejor ahorro energético.

**Tabla 4.** Comparación de los casos al implementar un tanque flash en el sistema recuperador de condensados

	Caso 01	Caso 02	Caso 03
Porcentaje de vapor Flash (%)	5,45	5,68	5,45
Combustible ahorrado (gal/h)	0,0325	0,0869	0,1159

En cuanto a la evaluación económica, aplicándose al sistema recuperador de condensados, se obtiene un ahorro neto de 2 278,10 S/. /año. Siendo estos números muy beneficiosos para la casa de fuerza del Hospital la Caleta. En este valor solo se esta considerando el ahorro de combustible, por lo cual se debe sumar el ahorro en agua y el ahorro de producto químico utilizado para su tratamiento si así lo fuera.

El resultado final fue la mejora de los indicadores técnicos como económico, en la cual el primero mejoro en 3,86% y el segundo en 4%. De esta manera se puede comprobar que el comportamiento de los indicadores varia en función de la generación de vapor flash y en ahorro de combustible, lo cual da más sustento a nuestra investigación ya que se comprueba la influencia del sistema de vapor flash con el comportamiento y la mejora de los indicadores energéticos.

La implementación de este proyecto debe realizarse lo más pronto posible debido al ahorro económico que se presenta para la casa de fuerza del Hospital la Caleta.

Asimismo se debe implementar medidores de flujo de vapor y condensado en puntos estratégicos, para poder registrar el consumo de vapor en cada momento del proceso y así cuantificar el condensado que retorna, ya que de esta manera se puede obtener con mayor precisión los datos y obtener mejores resultados en el futuro.

## CONCLUSIONES

Analizando y comparando el ahorro energético que se obtiene al implementar un Tanque Flash en el sistema recuperador de condensados de la casa de fuerza del Hospital la caleta, podemos ver que se puede ahorrar 234 gal diesel B2, que equivale al 3,86% del consumo de combustible total durante un año.

Evaluando los tres casos propuestos al sistema energético con la implementación de un tanque flash al sistema recuperador de condensados de la casa de fuerza del Hospital la caleta. Observamos que en el tercer caso se obtuvieron los mejores resultado como el porcentaje de vapor flash generado de 5,45% lo cual conlleva

al ahorro de combustible de 0,1159 galones por hora de Diesel B2.

El Hospital la Caleta podría ahorrar s/ 2 278,10 por año solo en combustible, sin tomar en cuenta el ahorro de agua y de químicos.

Se determinaron los indicadores energéticos antes y después de implementar un tanque flash en el sistema recuperador de condensados, en la cual se obtuvo las siguientes mejoras. Indicador Energético Técnico mejoró en 3,86% y el Indicador Energético Económico mejoró en 4%.

Se concluye que la implementación de este proyecto debe realizarse lo más pronto posible debido a las mejoras que se presentan para la casa de fuerza del Hospital la Caleta, tanto las mejoras energéticas como la obtención de ahorros en la producción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abed, A.; Alghoul, M.; Sopian, K. 2016. Evaluación del rendimiento del ciclo de enfriamiento de absorción del tanque flash mediante dos eyectores 101: 47-60.
- Bao, J.; Lin, Y.; Zhang, R.; Zhang, N.; He, G. 2017. Efectos del número de etapas del proceso de condensación en los sistemas de generación de energía para la recuperación de energía fría de GNL 144: 123-141.
- Barma, M.; Saidur, R.; Rahma, S.; Allouhi, A.; Akash, B. 2017. Una revisión sobre el uso de energía de las calderas, ahorro de energía y reducción de emisiones 79: 970-983.
- Bohórquez, G. 2013. Auditoría energética al circuito de vapor y condensado de una planta de elaboración de café liofilizado. México.
- Cervantes, J. 2006. Fundamentos de Transferencia de calor, ediciones Científicas Universitarias. Monterrey, México.
- Guo, M.; Hui, Z. 2013. Estudio experimental de un sistema de bomba de calor con tanque de evaporación acoplado con compresor scroll 40: 697-701.
- Heo, J.; Jeong, M.; Kim, Y. 2012. Efectos de la inyección de vapor del tanque flash en el rendimiento de calefacción de una bomba de calor accionada por inversor para regiones frías 33: 848-855.
- Hongjie, Q.; Liu, F.; Yu, J. 2016. Análisis del rendimiento de un nuevo ciclo de inyección de vapor híbrido con subenfriamiento y tanque flash para bombas de calor de aire 74: 540-549.
- Khanam, S.; Mohanty, B. 2013. Colocación de tanques flash de condensación en un sistema de evaporador de efecto múltiple 262: 67-71.
- Loos International. 1998. Catálogo de la caldera, Armstrong International, Inc. Catálogo N – 101S. New York, EE.UU.
- Mosaffa, A.; Farsgi, L.; Ferreira, C.; Rosen, M. 2016. Análisis exerceconómicos y ambientales de los sistemas de refrigeración en cascada de CO<sub>2</sub> / NH<sub>3</sub> equipados con diferentes tipos de intercoolers de tanque de flash 117: 442-453.
- Muthusamy, C.; Srithar, K. 2017. Potencial de ahorro de energía en el sistema de desalinización de humidificación-deshumidificación 118: 729-741.
- Polzot, A.; Agaro, P.; Cortella, G. 2017. Análisis energético de un sistema de refrigeración de supermercado CO<sub>2</sub> transcrito con recuperación de calor 117: 648 – 657.
- Qiao, H.; Xu, X.; Aute, V.; Rademacher, R. 2015. Modelado transitorio de un sistema de bomba de calor de inyección de vapor del tanque flash - Parte I: Desarrollo del modelo 49: 169-182
- Sirwan, R.; Alghoul, M.; Sopian, K.; Ali, Y.; Abdulateef, J. 2013. Evaluación de la adición del tanque flash al sistema de refrigeración por absorción eyector-absorción solar 91: 283-296.
- Sirwan, R.; Alghoul, M.; Sopian, K.; Ali, Y. 2013. Análisis termodinámico de un sistema de refrigeración de absorción de tanque de eyector-flash 58: 85-97.
- Sosa, J. 2013. Recuperación de condensados generados en el sistema de drenaje de cabezales de vapor y venas de calentamiento en el área de setil (servicios auxiliares) de la refinería estatal de esmeraldas. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Villacrés, J.; Andrade, F. 2012. Ahorro energético en el Sistema de Recuperador de Condensados de una Planta Industrial en Guayaquil utilizando un Surge Tank. Espol, fimcp, Guayaquil.
- Wei, M.; Zhao, X.; Fu, L.; Zhang, S. 2017. Estudio del rendimiento y aplicación del nuevo sistema de recuperación de calor de las calderas de la caldera de carbón 188: 121-129.