
Influencia de un sistema de vapor *flash* en el área de secado para la reducción del consumo de combustible en la planta de harina de pescado Copeinca S.A.C.**Influence of a flash steam system in the drying area for the reduction of fuel consumption in the fish meal plant Copeinca S.A.C.****Influência de um sistema do vapor flash na área de secagem para a redução do consumo de combustível na Fabrica de farinha de peixe Copeinca S.A.C.****Kevin Daniel Valle Bendezú¹, Roberto Carlos Chucuya Huallpachoque², Lourdes Esquivel Paredes³.**

Resumen

Objetivo. La presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar la influencia de un sistema de vapor *flash* en el área de secado para la reducción del consumo de combustible en una planta de harina de pescado. **Materiales y métodos.** La investigación es de tipo aplicada cuantitativa, cuenta con dos fases definidas: la de campo y de gabinete. El método y diseño de investigación son descriptivos; donde la población estuvo conformada por las plantas de harina de pescado de la empresa COPEINCA S.A.C., y la muestra fue la planta de harina de pescado ubicada en la ciudad de Chancay. **Resultados.** Se recopiló los parámetros de operación y la información técnica de los secadores, cocinas e intercambiadores de calor del área de PAMA. Se realizaron balances de materia y energía, y se determinó que del condensado saliente de los secadores rotadisco y rotatubos puede producirse un flujo de 3504,71 kg/h de vapor *flash* a una presión de 1,4 Barg, el cual será usado en las cocinas y los intercambiadores de calor del área de PAMA. Luego, se determinó el combustible equivalente que representa la energía de este vapor *flash* producido. Finalmente, se hizo un análisis económico según el ahorro y los costos de inversión y mantenimiento que representa la implementación del sistema de vapor flash. **Conclusión.** Implementando un sistema de vapor *flash* se logra reducir el consumo de combustible en un 3,68 % generando un ahorro económico anual de USD 94 975,18.

Palabras clave: Vapor Flash, Ahorro energético, Reducción del consumo de combustible, Recuperación de condensado.

Abstract

Objective. The present investigation was carried out to evaluate the influence of a flash steam system in the drying area in order to reduce fuel consumption in the fish meal plant Copeinca. **Materials and methods.** The research is of a quantitative and applied type, it has two defined phases: field research and desk research. The method and design of the research are descriptive; where the population consisted of all the Fish meal Plants of the company COPEINCA SAC, and the sample was the Plant located in Chancay. **Results.** The operation and technical data of the steam dryers, cooking area and heat exchangers of the PAMA's area were compiled. They were made balances of material and energy and it was determined that using the condensate of the Rotadisk and Rotatubs dryers the flash steam system produce 3504,71 kg/h of flash steam at a pressure of 1,4 Barg which will be used in the cooking area and heat exchangers of the PAMA's area. Then, it was determined the equivalent fuel that represents the energy of the produced flash steam. Finally, an economic analysis based on the savings, investment and maintenance costs of the flash steam system implementation was made. **Conclusion.** It was concluded that implementing the flash steam system, the fuel consumption of the plant is reduced in 3,68 %, generating a cost saving of USD 94 975,18.

Keywords: Flash Steam, Energy Saving, Fuel Consumption Reduction, condensate recovery.

Resumo

Objetivo. A presente investigação foi realizada de modo a avaliar a influência de um sistema de vapor flash na área de secagem para reduzir o consumo de combustível na fábrica de farinha de peixe Copeinca. **Materiais e métodos.** A pesquisa é do tipo aplicado, quantitativo, tem duas fases definidas: o campo e o gabinete. O método e projeto da pesquisa são descritivos; onde a população é formada pelas fábricas de farinha de peixe da empresa COPEINCA SAC, e a amostra é a fábrica de farinha de peixe localizada na cidade de Chancay. **Resultados.** Os parâmetros operacionais e a informação técnica dos secadores, cozinhas e trocadores de calor da área do PAMA

¹ Escuela de Ingeniería en Energía. Bachiller. Chimbote. Perú. kvallebendezu@gmail.com.

² Escuela de Ingeniería en Energía. Magister. Universidad César Vallejo. Chimbote. Perú. roberto_chuya@yahoo.es.
<https://orcid.org/0000-0001-9175-5545>.

³ Dirección de Investigación. Magister. Universidad César Vallejo. Chimbote. Perú. lesquivel@ucv.edu.pe.
<http://orcid.org/0000-0001-5541-2940>

foram compilados. Balanços de materiais e energia foram realizados, e foi determinado que usando o condensado dos secadores rotadisco e os secadores de tubos rotativos, o sistema de vapor flash produz um fluxo de 3504,71 kg / h de vapor flash a uma pressão de 1,4 Barg, que será utilizado nas cozinhas e trocadores de calor da área do PAMA. Logo foi determinado o combustível equivalente que representa a energia do vapor flash produzido. Finalmente, uma análise econômica foi feita com base nos custos de poupança, manutenção e investimento do sistema de vapor flash. **Conclusão.** Depois de implementar um sistema de vapor flash, o consumo de combustível é reduzida em 3,68 % gerando a poupança econômica anual de USD 94 975,18.

Palavras-chave: Vapor Flash, economia de energia, redução do consumo de combustível, recuperação de condensado.

Introducción

El sistema de vapor *flash* para reducir el consumo de vapor es una de las formas de ahorro de energía que se practica en muchas empresas del sector industrial que usan vapor como su principal fuente de energía térmica. Esta práctica conlleva a la generación de un vapor llamado *flash* a partir de condensados calientes, que no requiere de combustible para su producción.

El presente trabajo de investigación surge tras observar que los condensados salientes de los equipos de los secadores rotatubos se regresan al tanque de condensado sin aprovechar su calor almacenado, lo que genera un constante “*flasheo*” de vapor en el tanque de condensado, perdiéndose este vapor al ambiente. Esta realidad se da en muchas otras plantas de harina de pescado, siendo esta la razón de la realización de un estudio para establecer en qué medida la aplicación de la tecnología de vapor *flash* influye en la reducción del consumo de combustible.

“Si se tiene condensado caliente o agua hirviendo, presurizados, y esta se libera a una presión inferior, un porcentaje de esos líquidos se vuelven a evaporar, a este vapor se le asigna el nombre de Vapor Flash o Vapor Secundario” (Armstrong, 1998).

En la investigación de Urcia y Zavaleta (2016), cuyo objetivo fue implementar un sistema vapor *flash* en el área de cocción para reducir el consumo de vapor en dicha área, se planteó implementación de unos tanques *flash* para para aprovechar el condensado saliente de los equipos de secado. Se propuso la instalación de tres tanques *flash*: uno para el área de secadores rotadiscos, con un total de 722,13 kg/h vapor *flash* generado; otro tanque para generar 966,94 kg/h de vapor *flash* en los secadores rotatubos y, el final, para el secador de aire caliente que genera 323,68 kg/h de vapor *flash*. Como conclusión, se determinó la reducción del consumo de vapor en un 11,24 % en el área de cocción, un ahorro de combustible de 29,36 gal/h de petróleo R-500, equivalente a un ahorro económico de 98 356,0 U\$/año.

Suárez (2015), en su trabajo de investigación, realizó un análisis energético del sistema inicial de vapor de una fábrica de papel Tissue, el cual descargaba el vapor condensado proveniente de la máquina papelera al tanque de alimentación del caldero, venteando, al igual que en nuestro caso de estudio, vapor *flash* a la atmósfera. Luego, se determinó el calor total generado por un sistema de vapor, en el cual se reingresa el vapor condensado directamente al caldero. Para determinar si existía una diferencia significativa entre los calores totales generados por ambos sistemas, se realizó la prueba de Wilcoxon para diferencia de medias relacionadas, determinándose una diferencia. Finalmente, lograron determinar un calor ahorrado equivalente a $6,82 \times 10^5$ de kJ/h, el cual representa un ahorro del 19,87 % en el consumo de gas natural, generando un ahorro de $8,8 \times 10^4$ dólares por año.

De igual manera, Custodio y Solís (2017) en su trabajo: “Evaluación del sistema de recuperación de purgas de fondo y de nivel de las calderas pirotubulares en la empresa pesquera Austral Group S.A.A. – Coishco”, para una eficiencia de las calderas del 85 %, calculó un flujo de condensado de purgas de 9 617,33 kg/h a una presión de 120 PSI, el cual genera un flujo de vapor flash de 1 206,01 kg/h a una presión de 7,5 PSI. Tras una evaluación económica, se determinó una tasa interna de retorno (TIR) de 52,5 %, un periodo de repago de inversión de 23 meses y la relación beneficio-costos del proyecto de 2,68, por lo que el sistema recuperador de calor mixto permitió un ahorro de 17 632,40 Gal R-500/año.

Asimismo, Purizaca (2015) en su investigación: “Diseño técnico-económico de un sistema de recuperación de vapor *flash* de purgas continuas para calentar el agua de alimentación de las calderas de la empresa pesquera Ribaud S.A.” evaluó el rendimiento de los calderos pirotubulares de 400 BHP-01, 400 BHP-02, 600 BHP, 700 BHP y 800 BH, teniendo como resultado: 79,61 %, 79,23 %, 76,92 %, 77,10 % y 75,82 %, respectivamente. Luego, calculó el flujo másico de purgas por cada caldero pirotubular de 400 BHP-01, 400 BHP-02, 600 BHP, 700 BHP y 800 BHP, obteniendo: 2689,2 kg/h, 1760,4 kg/h, 2286 kg/h, 2739,6 kg/h y 3150 kg/h. Se pudo obtener el flujo másico de vapor *flash* por las purgas en un tanque de revaporizado por cada caldero pirotubular de 400 BHP-01, 400 BHP-02, 600 BHP, 700 BHP y 800 BHP, obteniendo: 14,96 % de vapor *flash*, es decir: 255,6 kg/h, 262 8 kg/h, 342 kg/h, 410,4 kg/h y 471,6 kg/h, respectivamente. Para las calderas se seleccionó un tanque de revaporizado modelo FV18. Con el vapor *flash* recuperado se logró calentar el agua de alimentación incrementado la temperatura de 60 °C a 80°C, ahorrando 35,1 gal de combustible/h. Este proyecto obtiene un beneficio de 1 152 572 soles/año con un retorno de inversión de 2 meses.

De esta forma, la presente investigación evalúa la implementación de un sistema de vapor *flash* en el área de secado para la reducción del consumo de combustible en una planta de harina de pescado con una capacidad de procesamiento de 168 ton/h. Previo a ello, se desarrollaron los siguientes objetivos: determinar el consumo energético de los equipos de cocción, secado y PAMA; determinar la cantidad de vapor *flash* que se puede recuperar de los condensados en el área de secado a vapor; evaluar el aprovechamiento energético del vapor *flash* en las áreas de cocción y PAMA; y realizar un análisis económico para la implementación del sistema de vapor *flash*.

Materiales y métodos

La presente investigación tuvo carácter descriptivo. La población de estudio estuvo conformada por las plantas de harina de pescado de la empresa COPEINCA S.A.C. en el ámbito nacional, y la muestra por la planta de Harina de pescado ubicada en la ciudad de Chancay. El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia.

La variable independiente: “Sistema de vapor *flash*” fue operacionalizada mediante los siguientes indicadores: flujo de condensado a alta presión, presión de condensado, presión de vapor *flash* y flujo de vapor *flash*. La variable dependiente: “Consumo combustible en la planta de harina Copeinca Chancay” se operacionalizó mediante flujo de calor requerido para el proceso productivo, flujo de vapor producido en la zona de generación de vapor y eficiencia de las calderas pirotubulares.

La presente investigación se realizó en diferentes fases, las cuales fueron:

A) La fase de campo consiste en el reconocimiento de planta y proceso en general, luego del sistema en particular a estudiar. Se realizará un estudio de los modos de operación de las áreas de interés, así como entrevistas con los operadores de la planta, y se recopilará la información técnica pertinente para el estudio.

B) Desarrollo del procedimiento para determinar el ahorro de combustible, tal como se explica en el diagrama de flujo de la Figura 1.

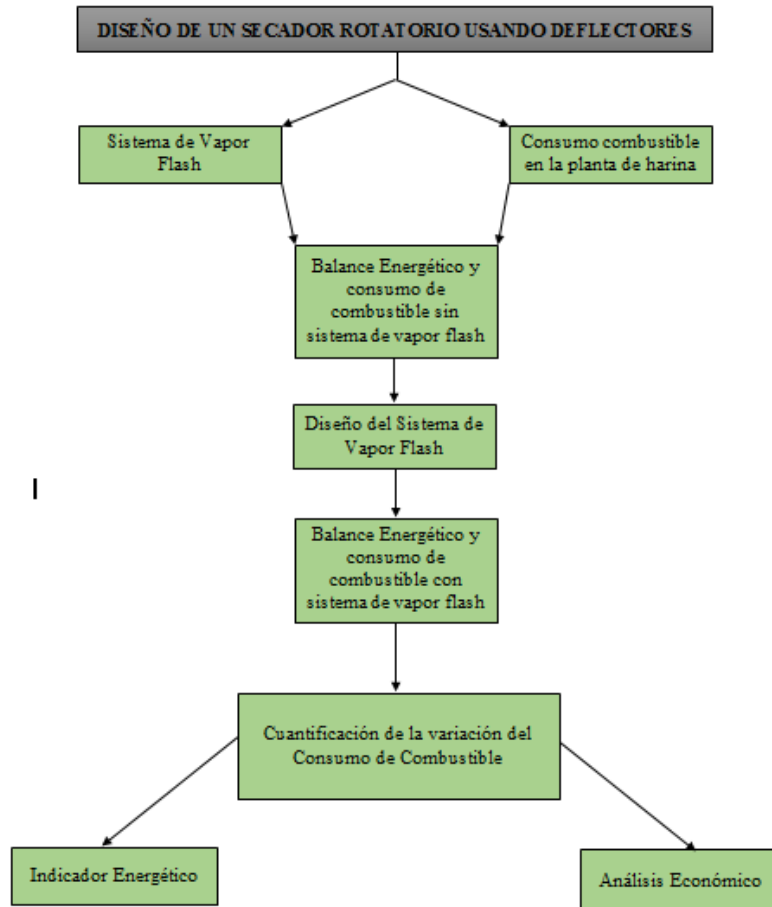


Figura 1. Diagrama de la metodología aplicada para la determinación de la reducción de combustible.

Equipos e instrumentos de medición

- Termómetros industriales bimetálicos: para registrar temperaturas en los diferentes puntos del proceso.
- Manómetros estándar inundado con glicerina: para registrar la presión de operación de los equipos a analizar.
- Termómetro infrarrojo con láser marca SKF: para medir la temperatura en las superficies.

Metodología del cálculo

Balance de masa y energía:

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida} \dots \dots (1)$$

$$E_{entrada} = E_{sal} \dots \dots (2)$$

Cálculo del flujo másico de vapor:

$$\dot{m}_{vap} = \frac{Q}{C_p \times \Delta T} \dots \dots (3)$$

Cálculo del flujo másico de combustible:

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{m}_v \times (h_2 - h_1)}{\eta_{cald} \times PCI} * 100\% \dots \dots (4)$$

Calor específico de la materia orgánica:

$$c_{p\ anch} = \sum c_{pi} x_i \dots \dots \dots (5)$$

Pérdida de calor por convección en superficies cilíndricas:

Para determinar las pérdidas de calor al medio ambiente en las cocinas, partiremos de la Figura 2, la cual nos muestra las resistencias al flujo de calor:

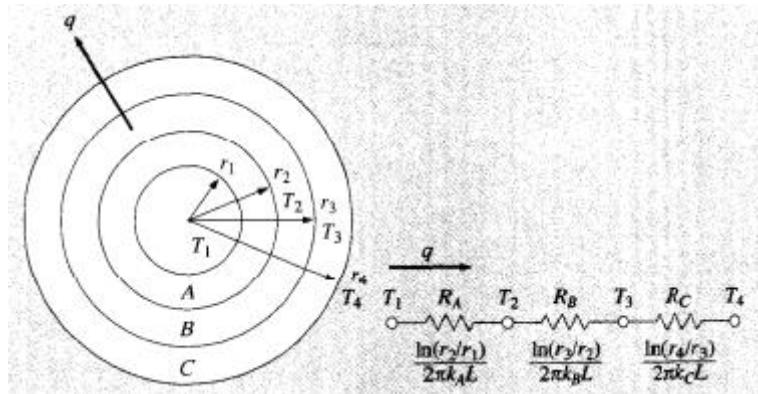


Figura 2. Resistencias al flujo de calor desde la cámara de vapor al ambiente.

Nota. Tomado de Holman (1998).

Para el cálculo de flujo de calor se usarán las siguientes ecuaciones:

$$q_{convec} = \frac{T_1 - T_4}{R_A + R_B + R_C} \dots \dots \dots (6)$$

$$R_A = \frac{1}{2 \times \pi \times L \times r_1 \times h} \dots \dots \dots (7)$$

$$R_B = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \times \pi \times L \times k_{tub}} \dots \dots \dots (8)$$

$$R_C = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2 \times \pi \times L \times k_{tub}} \dots \dots \dots (9)$$

Coefficiente convectivo:

$$h = \frac{Nu \ k}{D} \dots \dots \dots (10)$$

Número de Nusselt:

$$Nu = 0.0214(Re^{0.8} - 100)Pr^{0.4} \dots \dots \dots (11) \text{ Para } 0.5 < Pr < 1.5, 10^4 < Re < 5 \times 10^6$$

$$Nu = 0.012(Re^{0.87} - 280)Pr^{0.4} \dots \dots \dots (12) \text{ Para } 1.5 < Pr < 300, 3000 < Re < 10^6$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{D \times Gmax}{\mu} \dots \dots \dots (13)$$

$$Gmax = \frac{\text{Caudal}_{de\ vapor}}{\text{Área libre}} \dots \dots \dots (14)$$

Número de Prandtl:

$$Pr = \frac{\mu \times Cp}{k} \dots \dots \dots (15)$$

Pérdida de calor por radiación

$$q_{rad} = \varepsilon_{Ace} \sigma A_{sup.ext.coc} (T_4^4 - T_{Amb}^4) \dots \dots \dots (16)$$

Vapor de agua requerido por cada equipo de Secado a Vapor Indirecto

$$\dot{m}_{vapor} = \dot{m}_{evapor} \times \eta_{Térmica} \dots \dots \dots (17)$$

Vapor *Flash*: El porcentaje de vapor *flash* generado (a partir del flujo condensado a alta presión) puede ser calculado de la siguiente manera (Armstrong, 1998):

$$F = \frac{h_{f1} - h_{f2}}{h_{fg2}} \dots \dots \dots (18)$$

Para poder cuantificar la energía ganada por el vapor *flash* usaremos la siguiente ecuación:

$$E_{G. vp.F.} = \frac{\dot{m}_{vap flash} \times (h_{g ing vap flash} - h_{f sal cond flash})}{3600} \dots \dots \dots (19)$$

Conocida la ganancia de energía, el ahorro de combustible (gas natural seco peruano) se puede calcular la siguiente fórmula:

$$\dot{m}_{GN ahor.} = \frac{E_{G. vp.F.}}{\eta \times PCI_{GN} \times 4.18} \dots \dots \dots (20)$$

Indicador Energético

$$I.E = \frac{\dot{m}_{com}}{\text{Tonelada de harina producida por hora}} \dots \dots \dots (21)$$

Reducción del consumo de combustible

$$\Delta I.E_{Planta} = I.E_{Planta} - \Delta I.E_{Coc} - \Delta I.E_{PAMA} \dots \dots \dots (22)$$

Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = -I + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \dots \dots \dots (23)$$

Tasa interna de retorno (TIR):

$$0 = -I + \frac{FNE_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FNE_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+TIR)^n} \dots \dots \dots (24)$$

Payback:

$$P = \frac{I}{FNE} \dots \dots (25)$$

Consideraciones previas

- Se tiene cuatro cocinas de la misma capacidad, para una velocidad de 168 Ton/h. Se considera que cada cocina procesa 42 Ton/h.
- Se tiene tres secadores rotatubos de la misma capacidad. Se considera que cada secador procesa la misma cantidad de *scrap*.
- Se tiene cuatro secadores rotadiscos de la misma capacidad. Se considera que cada secador procesa la misma cantidad de *scrap*.
- Se tiene cuatro intercambiadores de calor en el área de PAMA, estos se dividen en dos etapas; la primera consta de tres intercambiadores llamados precoaguladores, la segunda está conformada por un solo intercambiador de calor llamado coagulador.
- La torta o cake ingresa a los secadores rotadiscos con una humedad promedio de 55 % y sale con una humedad de 44,8 %, luego ingresa a los secadores rotatubos y sale con una humedad promedio de 16,42 %
- El producto final (harina de pesado) tiene una humedad final promedio de 7,43.
- Las calderas solo trabajan a gas natural y tienen una eficiencia promedio de 91,48 %.
- Se instalará un tanque de producción de vapor *flash* para los secadores rotadisco y uno para los secadores rotatubos.
- La presión del condensado de los secadores Rotadisco asciende a los 4,5 Barg mientras que el condensado de los secadores rotatubos ascienden a los 5 Barg.
- La presión de descarga del tanque *flash* es de 1,4 Barg.
- El precio del gas natural puesto en planta es de 0,4163 USD/Sm3

Resultados

Balance de masa y energía

Se realizaron balances de masa y energía de las cocinas, secadores rotadisco y rotatubos e intercambiadores de calor del área de PAMA. Los resultados se muestran en las tabas contiguas:

Tabla 1

Resultado de flujo de calor total requerido en las cocinas

Parámetros	Cocina 1	Cocina 2	Cocina 3	Cocina 4	Unidad
Calor para la cocción del pescado	12690373,25	12690373,25	12690373,25	12690373,25	kJ / h
Calor perdido por radiación	77,30	82,28	75,71	89,10	kJ / h
Calor perdido por convección	10520,48	10049,21	13436,47	12954,96	kJ / h
Calor total requerido Cocinas	12700971,03	12700504,74	12703885,42	12703417,31	kJ / h

Tabla 2

Flujo de calor total requerido en los precoaguladores.

Parámetros	Precoagulador	Unidad
Calor Calentamiento de Espuma	951720	kJ / h
Calor Perdido al Ambiente	14927	kJ / h
Calor total requerido por precoagulador	966647	kJ / h

Número precoaguladores	3	
Calor total requerido	2899,940,869	kJ / h

Tabla 3

Flujo de calor total requerido en el moagulador

Parámetros	Símbolo	Coagulador	Unidad
Calor Calentamiento de Espuma	Q espum	347613,31	kJ /h
Calor Perdido al Ambiente	Q per	614,48	kJ/h
Calor total requerido en el coagulador	Q req coa	348227,79	kJ /h

Tabla 4

Resultado de vapor requerido por área de secado a vapor indirecto

Equipo	Cantidad de agua evaporada (Kg/h)	Eficiencia térmica (Kg Vapor/Kg H2O Evap)	Vapor de agua requerido por área de secado (Kg/h)
mevap RD	15964,97	1,3	20754,46
mevap RT	23916,11	1,238	29596,18

Vapor Flash producido

A partir del condensado caliente a alta presión de los secadores se produce vapor *flash*, según se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Cálculo del vapor Flash producido por los condensados de los secadores.

Parámetros	Símbolo	Secador Rotadisk	Secador Rotatubo	Unidad
Presión de Trabajo (Secador)	Pt	4,5	5	Barg
Presión de Descarga (TQ Flash)	Pd	1,4	1,4	Barg
Entalpía condensado presión Trabajo	hfpt	669,99	683,72	kJ/kg
Entalpía condensado a presión Descarga	hfpd	525,79	525,79	kJ/kg
Entalpía de evaporación a presión Descarga	hfgpd	2187,60	2187,60	kJ/kg
Flujo de Condensado a Transportar	m1	20754,46	29596,18	kg/h
Porcentaje Vapor Flash	F	6,59%	7,22%	%
Vapor flash producido	m3	1368,07	2136,65	Kg/h

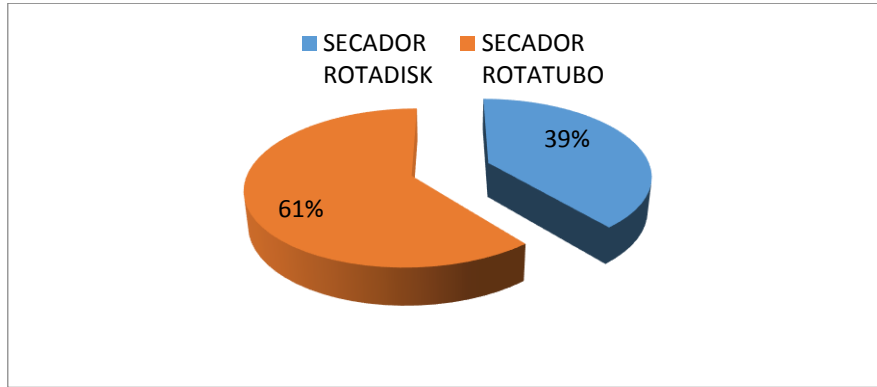


Figura 3. Vapor flash producido por los secadores a vapor indirecto

Evaluación del Indicador Energético

Tabla 6

Variación del Indicador Energético en las áreas de aprovechamiento de vapor flash

Área	Sin sistema Vapor Flash	Con sistema Vapor Flash	Variación
Cocinado	38,20821	34,73106	3,47715
PAMA	2,44262	0,21624	2,22638

Reducción del consumo de combustible

El ratio de combustible (indicador) de la planta Copeinca Chancay, sin vapor flash es de 155 m³/ton Harina

$$I. E_{Planta} = 155 \frac{m^3}{Ton Har prod} - 3,47715 \frac{m^3}{Ton Har prod} - 2,22648 \frac{m^3}{Ton Har prod}$$

$$I. E_{Planta} = 149,29647 \frac{m^3}{Ton Har prod}$$

Esto representa una variación de:

$$\Delta I. E_{Planta} = \frac{155 \frac{m^3}{Ton Har prod} - 149,29647 \frac{m^3}{Ton Har prod}}{155 \frac{m^3}{Ton Har prod}} \times 100 \%$$

$$\Delta I. E_{Planta} = 3,68 \%$$

Análisis económico

La planta Copeinca Chancay tiene una licencia producir 40 000 toneladas de harina por año.

$$A GN_{anual} = 5,70353 \frac{m^3}{Ton Har prod} \times 40\,000 \frac{ton har prod}{año} = 228\,141,2 \frac{m^3 GN}{año}$$

El ahorro económico anual vendría dado por:

$$A GN_{anual} = 228\,141,2 \frac{m^3 GN}{año} \times 0,4163 \frac{USD}{m^3 GN} = 94\,975,18 \frac{USD}{año}$$

Tabla 7

Herramientas de análisis económico

Indicadores	Sin programa de mantenimiento	Unidad
Tasa de descuento	12	%
Periodo de evaluación	10	años
V.A.N	461,810,33	USD
T.I.R	156,22%	%
Payback	0,64	Años

Discusión

El consumo energético en el área de cocción es variable y depende tanto de la composición (de esto depende el calor específico) como de la temperatura de ingreso de la materia prima. La composición de la materia prima usada para los cálculos son los valores promedios obtenidos de la materia prima procesada en la temporada de pesca 2018–II. Respecto a la temperatura de ingreso de la materia prima, en la presente investigación se considera 15 °C, pero se debe de tener en cuenta que la temperatura de ingreso de materia de barcos con sistema RCW puede llegar a ser cercana a los 0 °C, mientras que la materia prima de los barcos tradiciones ingres por lo general de 15 a 20 °C. Por lo expuesto, se puede deducir que el consumo energético en las cocinas calculado no es absoluto y variará dependiendo de las condiciones de la materia prima.

El consumo energético en el área del PAMA es variable y depende tanto de la composición (de esto depende el calor específico) de las espumas como de la temperatura de ingreso de la materia prima. Respecto a su composición, la variable principal es la cantidad de sanguaza y al igual que con la materia prima, los datos aquí presentados son los datos promedios de las espumas procesadas por la planta Chancay en la temporada 2018-II. Respecto a la temperatura de ingreso de las espumas, se considera 20 °C, ya que si bien las espumas pueden ingresar a temperaturas menores, estas también pueden salir a temperaturas menores, siempre y cuando sean mayores o iguales a 90 °C. Por lo expuesto se puede deducir que el consumo energético en el PAMA calculado no es absoluto, aunque, a diferencia de las cocinas, su variación es menor.

El consumo energético en el área del secado se calculó con base en el rendimiento térmico de los secadores y el rendimiento de la harina. Respecto al rendimiento de la harina, la variación de esta es mínima entre días de producción. Respecto al rendimiento térmico, este varía conforme el secador se va ensuciando con harina que queda pegada a las superficies de los secadores; esto se ve reflejado con el aumento de la presión de trabajo. Este aumento de presión es más notorio en los secadores rotadisco que en los rotatubos e indica que conforme aumenta las horas de trabajo, se necesita más vapor para secar el *scrap* por lo que se generaría más condensado.

Los equipos de secado a vapor indirecto tienen un consumo energético total de 104 730 554,14; de esto el 42 % va a los secadores rotadisco en forma de un flujo de 20754,46 kg/h de vapor saturado a 4,5 Barg, lo restante va a los secadores rotatubos en forma de un flujo de 29596,18 kg/h de vapor saturado a 5 Barg.

Se determinó que el condensado saliente de los secadores rotatubos generan el 61 % (2136,64 kg/h) del total de vapor *flash* generado mientras los condensados salientes de los secadores rotadisco

generan el 39 % (1368,07 kg/h) de vapor *flash*, generándose en el área de secado un total de 3504,71 kg/h de vapor *flash*. El vapor *flash* generado por los secadores rotadisco será enviado al área del PAMA, mientras que el generado en los rotatubos será utilizado en el área de cocción. El vapor *flash* en planta alcanza un máximo de 1,4 Barg.

Se cuantificó la ganancia energética que representa la producción del vapor *flash* generado, así se tiene que el flujo másico de combustible equivalente por la generación de vapor *flash*, es de 93,51 m³/h de gas natural para los secadores rotadisco, 146,04 m³/h de gas natural para los secadores rotatubos.

El vapor *flash* producido por los secadores rotadisco es usado para calentar la espuma del PAMA, mientras que se propone que el vapor *flash* producido por los secadores rotatubos sea aprovechado en las últimas chaquetas de las cocinas. No se considera usar el vapor *flash* en los intercambiadores de calor del licor de prensa y separadoras, debido a que para calentar estos licores lo ideal debido a que la sala de tratamiento de licores se ubica debajo de los cocinadores sería utilizar los condensados de las cocinas para generar vapor *flash* y con este vapor calentar los licores, pero: esta evaluación escapa de los límites de la presente investigación, por lo queda abierta una nueva investigación que evalúe el aprovechamiento de los condensados de los cocinadores.

En la evaluación del indicador energético (IE), con el sistema de vapor *flash*, en el área de cocción se tiene una disminución del 9,10 %, lo que significa que este sistema de vapor *flash* genera un ahorro de 3,47715m³ de GN/Ton harina. En tanto, en el PAMA se tiene una disminución del 91,15 %, lo que significa que el sistema de vapor *flash* genera un ahorro de 2,22638 m³ de GN/Ton harina.

Finalmente, se realizó análisis económico para un horizonte de 10 años, se determinó un Valor Actual Neto (VAN) de USD 461 810,33, una tasa interna de retorno (TIR) de 156,22 % (muy superior a la tasa de interés de 12 %), así como un tiempo de retorno de la inversión de 0,64.

Conclusiones

Tras realizar un balance de masa y energía en el área de cocción, se determinó que esta área de cocción tiene un consumo energético de 50 808 778,49 kJ/h (24102,84 kg vapor de vapor a 4 Barg por hora) para cocinar 168 toneladas de materia prima por hora.

Tras realizar un balance de masa y energía en el área del PAMA, se determinó que el área del PAMA tiene un consumo energético de 3 248 168,66 kJ/h (348227,78 kJ/h para el coagulador y 966 646,96 kJ/h para cada uno de los tres precoaguladores) para calentar 14 000 kg/h de espuma.

Tras realizar un balance de masa y energía en los secadores de vapor, se determinó un consumo energético de 43 295 597,43 kJ/h (20 754,46 kg vapor de vapor a 4,5 Barg por hora) para los secadores rotadisco, mientras que el consumo energético de los secadores rotatubos es de 61 434 956,71 kJ/h (29 596,18 kg vapor de vapor a 5 Barg por hora); esto para una producción de 42 toneladas de harina de pescado por hora.

Se determinó que a partir de los condensados salientes de los secadores se puede generar 3504,71 kg/h de vapor *flash* a una presión de 1,4 Barg, donde los cuatro secadores rotadisco aportan con 1368,07 kg/h vapor *flash* mientras que los tres secadores rotatubos con 2136,64 kg/h de vapor *flash*.

Con un sistema de vapor *flash* a partir de los condensados de los secadores a vapor, se obtiene una mejora de los indicadores energéticos, lo que permite una disminución en el ratio de consumo de combustible de 3,68 % o 5,70353 m³/Ton harina.

Del análisis económico se concluye la factibilidad económica de la implementación de un sistema de vapor *flash* en el área de secado a vapor.

Recomendaciones

De los resultados obtenidos en el presente estudio, se recomienda que la industria pesquera, la cual consume gran volumen de combustible, realice inversión en la reingeniería o la sustitución tecnológica para poder aprovechar la energía de los condensados a alta presión para otros procesos, siendo una

opción el uso de un sistema de vapor *flash*; cualquier medida que se tome para reducir el consumo de combustibles tendrá un impacto sobre el costo del producto, la eficiencia del proceso, la calidad del producto y el cuidado del medio ambiente.

El vapor *flash* generado por los secadores rotatubos debe de ser suministrado a las dos últimas chaquetas de los cocinadores, es decir, en la salida del pescado cocinado; suministrando vapor vivo al eje y las primeras chaquetas de las cocinas, asegurando así la coagulación de proteína del pescado y la eliminación de las bacterias.

Se recomienda ubicar los tanque *flash* de manera que el paquete de purga debe estar a una altura superior que el tanque desareador para que por gravedad todo el condensado llegue al tanque desareador, y no se requiera una bomba para que todo el condensado sea impulsado.

Referencias

- Armstrong International (1998), *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados*. Recuperado de: <https://www.armstronginternational.com/sites/default/files/resources/documents/n101spanish.pdf>
- Arroyo, V. (2008). Costos de los combustibles. En seminario de capacitación “*Eficiencia energética y administración de la demanda en el sector productivo*”, octubre a noviembre de 2018, Lima. MINEM & Produce. Recuperado de: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con_uibd.nsf/AE982758BA07E4B3052574F7005E39CA/\\$FILE/Costosdeloscombustibles.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con_uibd.nsf/AE982758BA07E4B3052574F7005E39CA/$FILE/Costosdeloscombustibles.pdf)
- Avallone, E. & Baumeister, T. (1995). *Marks manual del Ingeniero Mecánico*. Tomo 1 (9a Ed). México D.F.: Editorial Mc Graw Hill.
- Baca, G. (2007). *Fundamentos de Ingeniería Económica*. 4ta ed. Bogotá, Colombia: Editorial Mc Graw Hill Interamericana
- Cengel, Y. & Boles, M. (2012). *Termodinámica*. 7a Ed. México D.F.: Editorial Mc Graw Hill
- Chucuya, R. (2017). *Indicadores energéticos, ambientales y económicos*. Diagnóstico y racionalización de la energía. Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Ancash. 05 de mayo del 2017.
- Custodio R., J. & Solís P., E. (2017). *Evaluación del sistema de recuperación de purgas de fondo y de nivel de las calderas pirotubulares en la Empresa Pesquera Austral Group S.A.A. – Coishco*. (Tesis de Grado). Recuperado de: <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2564/TESIS%20%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Estrada A., F. (2012). *Análisis exergético para la optimización del recurso energético de una planta de harina de pescado*. (Tesis de Maestría). Recuperado de: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3339/1/estrada_af.pdf
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2013). Guía básica de calderas industriales. Madrid, España. Recuperado de: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>
- Guevara, R. (2017). *Combustión industrial y equipos consumidores de energía*. Diagnóstico y racionalización de la energía. Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Ancash.
- Holman, J. (1998). *Transferencia de calor*. 8a ed. Madrid, España: Editorial Mc Graw Hill
- OSINERMING. (2015). El gas natural y sus diferencias con el GLP. Lima, Perú. Recuperado de: http://srvgart07.osinerg.gob.pe/webdgn/contenido/PAGINA%20WEB/folletos/Folleto14_el_gas_natural_y_sus_diferencias_con_el_GLP.pdf

- Purizaca F., R. (2015). *Diseño técnico-económico de un sistema de recuperación de vapor flash de purgas continuas para calentar el agua de alimentación de las calderas de la empresa pesquera Ribaldo S.A.* (Tesis de Grado) Recuperado de: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/9680>
- Suárez C., F. (2015). *Determinación del ahorro energético a partir de la recuperación del vapor condensado en una fábrica de papel tissue.* (Tesis de grado). Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2155>
- Treybal, R. (1998). *Operaciones de transferencia de masa.* 2da ed. México D.F.: Editorial McGraw Hill
- Urcia S., G. & Zavaleta D., J. (2016). *Implementación de un sistema vapor flash para reducción del consumo de vapor en área de cocción-empresa Pesquera Centinela S.A.* (Tesis de Grado). Recuperado de: <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2635/42916.pdf?sequence=1&isAllowed=y>