

Estudio técnico económico de instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A.

Economic technical study of installation of industrial condenser and cooling tower to optimize the operation of the turbine generator Escher Wyss in the sugar company the Ingenio S.A.

Lucius Francisco Larrea Sagástegui ¹

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de realizar un estudio técnico económico de instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A. La investigación es aplicada, pre experimental y se realizó en base a la información obtenida del análisis documental de la empresa, para corroborar la información se realizaron balances energéticos en estado actual, luego se procedió a calcular los nuevos parámetros de funcionamiento del turbogenerador Escher Wyss para generar los 5 MW de potencia, posteriormente se calculó el flujo másico de agua y la capacidad necesaria para el nuevo condensador industrial y torre de enfriamiento a implementar, también se tuvo que redimensiono el sistema de distribución de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado, se dimensionaron los conductores de media y baja tensión, culminado con el análisis económico de la investigación; obteniendo los siguientes resultados: El rendimiento actual del ciclo termodinámico es de 14% y el flujo másico de vapor para generar los 5MW de energía eléctrica en el turbogenerador Escher Wyss es de 17.853 Kg/s; el flujo másico de agua de condensación que necesita el condensador industrial es 718.122 kg/s; el condensador industrial a fabricar será de tipo carcasa y tubos, con una capacidad de 48787.406 KW y la torre de enfriamiento seleccionada será una SICREA el modelo COOLPACK SR2920/OU-7T-C70.34 de 50938 KW. Concluyendo que el estudio técnico económico de instalación de un condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss es factible en todos los aspectos debido a que se eliminará la dependencia de energía eléctrica del SEIN, generará grandes ingresos económicos para la empresa con la venta del excedente de la misma, contribuye con el ahorro de combustible en las calderas y su periodo de retorno de inversión es de tan solo 3.6 meses.

Palabras clave: Condensador industrial, turbogenerador, torre de enfriamiento.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of carrying out an economic technical study of the installation of industrial condenser and cooling tower to optimize the operation of the Escher Wyss turbogenerator in the sugar mill Ingenio S.A. The research was applied, pre-experimental and was carried out based on the information obtained from the documentary analysis of the company, to corroborate the information were realized energy balances in current state, then proceeded to calculate the new operating parameters of the turbine generator Escher Wyss Generating the 5 MW of power, subsequently calculating the mass flow of water and the capacity required for the new industrial condenser and cooling tower to be implemented, also had to resize the distribution system of superheated steam, saturated steam and saturated liquid, Medium and low voltage conductors were dimensioned, culminating with the economic analysis of the research; Obtaining the following results: The current yield of the thermodynamic cycle is 14% and the mass flow of steam to generate the 5MW of electrical energy in the Escher Wyss turbogenerator is 17,853 Kg / s; The mass flow of condensation water required by the industrial condenser is 718,122 kg / s; The industrial capacitor to be manufactured will be of the housing type and tubes, with a capacity of 48787.406 KW and the cooling tower selected will be a SICREA model COOLPACK SR2920 / OU-7T-C70.34 of 50938 KW. Concluding that the economic technical study of the installation of an industrial condenser and cooling tower to optimize the operation of the Escher Wyss turbogenerator is feasible in all respects because it

¹ Universidad César Vallejo - Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. E-mail: llarrea94@gmail.com

will eliminate the dependency of electrical energy of the SEIN, it will generate great economic income for the company. With the sale of the surplus of the same, contributes with the saving of fuel in the boilers and its period of return of investment is of only 3.6 months.

Key Words: Industrial condenser, turbogenerator, cooling tower.

1. INTRODUCCIÓN

La Empresa Agroindustrial El Ingenio, se dedica principalmente a la elaboración de azúcar de alta calidad orientada a atender al sector industrial peruano, sus actividades se desenvuelven en la Provincia de Huaura, en Perú; y cuenta con 7,137 hectáreas cultivadas en caña de azúcar donde más del 30% están sembradas en el desierto Limeño.

Actualmente la empresa cuenta con dos calderas acuotubulares que generan 5.713 Kg/s y 5.218 Kg/s respectivamente, con una presión de salida de 56.16 bar@ y una temperatura de 335°C, los cuáles son reducidos a través de una válvula reductora de presión a 25.13 bar@ y 298.89 °C. Ambas alimentan dos líneas de trabajo de 2 turbogeneradores (Escher Wyss y Brown Boveri), que producen actualmente 1.6 MW y 1.5 MW de energía eléctrica respectivamente. Según su carga nominal el turbogenerador Escher Wyss tiene una capacidad de producción de energía eléctrica de 5MW, mientras que el turbogenerador Brown Boveri tiene una capacidad máxima de 2MW.

La planta en la actualidad tiene un consumo de 4.3 MW de energía eléctrica, pero genera solamente 3.1 MW, comprando a la empresa concesionaria Edelnort 1.2 MW, operando en promedio 8395 h/año a un precio unitario de 0.08 \$/KWh, obteniendo un costo anual de 805920 \$/año. Los turbogeneradores Escher Wyss y Brown Boveri utilizan una turbina de condensación pura. El primero es utilizado para los diversos procesos de la planta destiladora y el segundo turbogenerador Brown Boveri es utilizado para alimentar de energía eléctrica al sistema de bombeo de agua, para regar todas las hectáreas sembradas de caña de la compañía. Las dos líneas de trabajo de la empresa son refrigeradas por un sistema centralizado de torres de enfriamiento el cual cubría con la demanda de agua de la planta.

Como la organización está en expansión, se ha elevado la demanda de agua refrigerada debido a esto se diseñó el sistema de torres de enfriamiento, y no cubre con la suficiente agua para los dos procesos.

La dificultad es que, si la planta industrial El Ingenio tiene una demanda mayor de su producto, se obstaculiza con el sistema de generación de energía que es alimentado por el turbogenerador y no cumple con la demanda solicitada para el sistema de bombeo de la empresa. Y también sucede lo contrario cuando se quiere generar más energía eléctrica, se ve afectado el sistema de producción, y la empresa tiene que estar en ese dilema. Con la finalidad de resolver el problema descrito se plan-

tea realizar un estudio técnico económico de instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss en la empresa azucarera el Ingenio S.A y dejar de comprar E.E. al SEIN.

2. CONTENIDO

La investigación se basa en principios de termodinámica, mecánica de materiales, mecánica de fluidos, transferencia de calor y análisis económico.

Balance de masa y energía [2]

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

$$\sum \dot{Q}_{\text{entrada}} = \sum \dot{Q}_{\text{salida}} \quad \dots (2)$$

Coefficiente global de transferencia de calor [6]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{int}}} + R_{t,a} + \frac{e_t}{K_t} + R_{t,v} + \frac{1}{h_{\text{ext}}}} \quad \dots (3)$$

Temperatura media logarítmica [6]

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T_{\text{mín}}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\text{máx}}}{\Delta T_{\text{mín}}}\right)} \quad \dots (4)$$

Superficie de intercambio de calor [6]

$$S_{IC} = \frac{\dot{Q}_u}{U * \Delta T_m} \quad \dots (5)$$

Rendimiento energético de la caldera [4]

$$\eta_{\text{cald}} = \frac{\dot{m}_v * (h_v - h_{ag})}{\dot{m}_{\text{cble}} * (PCI + h_{\text{cble}} + R_{\frac{a}{\text{cble}}} * h_a)} \quad \dots (6)$$

Flujo másico de aire seco [2]

$$\dot{m}_{\text{as}} = \frac{\dot{m}_{\text{agc}} * (h_{\text{agc}} - h_{\text{agf}})}{(1+X_{\text{ac}}) * h_{\text{ac}} - (1+X_{\text{af}}) * h_{\text{af}} - (X_{\text{ac}} - X_{\text{af}}) * h_{\text{ar}}} \quad \dots (7)$$

Cálculo del Número de Cedula [7]

$$SCH = 1000 \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_{\text{máx}}} \right) * f.s. \quad \dots (8)$$

Potencia de bomba centrífuga [7]

$$P = \frac{\rho * g * \dot{V} * H_{\text{neta}}}{1000 * \eta_v} \quad \dots (9)$$

Carga neta positiva de aspiración disponible [5]

$$NPSHdis = \frac{P_A - P_v}{\rho g} = \frac{P_1 - P_v}{\rho g} + Z_1 - H_{perdidas\ totales} \dots (10)$$

Pérdidas mayores de carga [7]

$$h_{perdidas\ mayores} = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \dots (11)$$

Pérdidas menores de carga [7]

$$h_{perdidas\ menores} = k \frac{V^2}{2g} \dots (12)$$

Valor actual neto [9]

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} - I_0 \dots (13)$$

Tasa interna de retorno [9]

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I_0 = 0 \dots (14)$$

ROI [9]

$$ROI = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio Útil}}$$

3. RESULTADOS

Del balance de masa y energía en estado actual se obtuvo que el rendimiento del ciclo termodinámico es de 14%, además de otros parámetros de operación expresados en las siguientes tablas:

Tabla 01. Parámetros de operación de las calderas acuotubulares en estado actual.

Caldera acuotubular	Relación aire combustible (Ra/cble)	Rendimiento energético? ($\eta_{caldera}$)
01	6.412 $\frac{\text{kg aire}}{\text{kg cble}}$	61.9%
02	6.383 $\frac{\text{kg aire}}{\text{kg cble}}$	62%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 02. Parámetros de operación del condensador industrial del turbogenerador Escher Wyss en estado actual.

Flujo másico de agua de condensación (\dot{m}_{agz})	Flujo másico de aceite en el sistema de transmisión (\dot{m}_{aceite})	Flujo másico de agua del enfriador (\dot{m}_{agy})	Flujo másico de agua de refrigeración de la torre de enfriamiento (\dot{m}_{agv})	Calor útil del condensador (\dot{Q}_{util})
229.8 kg/s	1.804 kg/s	0.925 kg/s	230.725 kg/s	12489.663 KW

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 03. Parámetros de operación de la torre de enfriamiento del turbogenerador Escher Wyss en estado actual.

Flujo másico de aire seco (\dot{m}_{as})	Flujo másico de agua de reposición (\dot{m}_{agr})	Flujo volumétrico de agua de reposición (V_{agr})	Calor útil de la torre de enfriamiento (\dot{Q}_{util})
434.553 kg aire /s	2.39 kg agua/s	8.618 m ³ /h	12539.904 KW

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, realizando el mismo procedimiento se obtuvo los nuevos parámetros de operación del turbogenerador Escher Wyss y de la caldera acuotubular para generar los 5 MW de energía eléctrica, las cuales se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 04. Parámetros de operación del turbogenerador Escher Wyss en estado de mejora.

Consumo de flujo másico de vapor sobrecalentado (\dot{m}_{vs}) _{mejora}	Consumo específico de vapor (C_{ev}) _{EW - mejora}	Incremento de vapor sobrecalentado ($\Delta \dot{m}_v$)
17.853 kg/s	12.281 kg/KWh	12.14 kg/s

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 05. Parámetros de operación de las calderas acuotubulares en estado de mejora.

Caldera acuotubular	Consumo de combustible en mejora (\dot{m}_{cble})	Rendimiento energético ($\eta_{caldera}$)
01	6.337 Kg cble/s	64.5%
02	6.121 Kg cble/s	64.6%

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo que el rendimiento de la planta termoelectrica con los nuevos parámetros de operación del turbogenerador Escher Wyss y las calderas acuotubulares es de 16.5%.

Asimismo, también se determinó el flujo másico de agua de condensación para la torre de enfriamiento a implementar para el turbogenerador Escher Wyss y la capacidad del condensador y Torre de enfriamiento en estado de mejora, los cuales se muestran en la tabla:

Tabla 06. Parámetros de operación del condensador industrial del turbogenerador Escher Wyss en estado de mejora.

Flujo másico de agua de condensación (\dot{m}_{agz})	Flujo másico de aceite en el sistema de transmisión (\dot{m}_{aceite})	Flujo másico de agua del enfriador (\dot{m}_{agy})	Flujo másico de agua de refrigeración de la torre de enfriamiento (\dot{m}_{agv})	Calor útil del condensador (\dot{Q}_{util})
718.122 kg/s	5.636 kg/s	2.889 kg/s	721.011 kg/s	33029.925 KW

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 07. Parámetros de operación de la torre de enfriamiento del turbogenerador Escher Wyss en estado de mejora.

Flujo másico de aire seco (\dot{m}_{as})	Flujo másico de agua de reposición (\dot{m}_{agr})	Flujo volumétrico de agua de reposición (\dot{V}_{agr})	Calor útil de la torre de enfriamiento (\dot{Q}_{util})
1357.971 Kg aire seco/s	7.469 Kg agua/s	26.931 m ³ /h	39186.948 KW

Fuente: Elaboración propia.

Se procedió a rediseñar las líneas de distribución de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado teniendo en cuenta el diámetro nominal y número de cedula para cada caso y aislamiento térmico obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 08. Tuberías de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado rediseñadas.

Tramo	Fluido	NPS (pulg.)	SCH	Material
1-2	Vapor sobrecalentado	5	80	ASTM - A192
2-5	Vapor sobrecalentado	8	30	ASTM - A192
3-4	Vapor sobrecalentado	5	80	ASTM - A192
4-5	Vapor sobrecalentado	8	30	ASTM - A192
5-6	Vapor sobrecalentado	10	30	ASTM - A192
6-7	Vapor sobrecalentado	10	30	ASTM - A192
8-9	Vapor Saturado	30	40	ASTM - A 53
10-0	Líquido Saturado	6	40	ASTM - A 53

Fuente: Elaboración propia.

En base a las teorías de transferencia de calor se procedió a dimensionar y seleccionar el condensador industrial y torre de enfriamiento para el turbogenerador Escher Wyss, teniendo como resultado lo siguiente:

El condensador industrial a fabricar será de tipo carcasa y tubos, con una capacidad de 48787.406 KW, una longitud de 5.41 m, diámetro de 2.64 m, material ASTM A53, de un solo paso, flujo a contracorriente, con una sección de intercambio de calor de 693.332 m² y con un diámetro del serpentín de 2 pulgadas, el cual será fabricado por la misma empresa; mientras que la torre de enfriamiento seleccionada será una SICREA el modelo COOLPACK SR2920/OU-7T-C70.34 que cuenta con una capacidad nominal de 50938 KW. Ambos equipos

fueron diseñados considerando un factor de seguridad de 1.25.

Posteriormente se procedió a rediseñar las líneas de agua de refrigeración utilizando los mismos lineamientos anteriormente usados y se seleccionó las bombas centrífugas y motores eléctricos para cada red según la necesidad, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 09. Tuberías de líquido saturado rediseñadas.

Tramo	Fluido	Material	NPS (pulg.)	SCH
11-12	Líquido saturado	ASTM - A53	37	40
13-14	Líquido saturado	ASTM - A53	37	40
15-16	Líquido saturado	ASTM - A53	2 1/2	40
17-18	Líquido saturado	ASTM - A53	2 1/2	40
23-24	Líquido saturado	ASTM - A53	3 1/2	40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Parámetros de las bombas de operación.

Modelo	200 - 400	50-160
Aplicación	Agua de refrigeración	Agua de reposición
Potencia	200 HP	1.5 HP
Caudal	242.33 l/s	7.481 l/s
RPM	1790	1730
NPSH_r	8 m	1.9 m
Rendimiento	68 %	74 %

Fuente: Hidrostral.

Tabla 11. Parámetros de las bombas de los motores eléctricos.

Modelo	W22 - IE 3	W22 - IE 1
Aplicación	Agua de refrigeración	Agua de reposición
Potencia	250 HP (185 KW)	2 HP (1.5 KW)
Velocidad de rotación	1790 RPM	1730 RPM
Nº polos	4	4
% Carga	86.8	96.5
Rendimiento	96.14 %	82 %
F.P.	0.85	0.78
Voltaje	380 V	220 V
Corriente nominal	336 A	6.08 A

Fuente: WEG.

Los conductores en baja tensión rediseñados tuvieron las siguientes especificaciones:

Tabla 12. Conductores en baja tensión.

LONGITUD (m)	CONDUCTOR	SECCION (mm ²)
60	AWG - 2/0	3-1 x 67,43
70	AWG - 12	3 - 1 x 3,309
50	AWG - 10	3 - 1 x 5,261
5	AWG - 4/0	3-1 x 107,20

Fuente: INDECO.

Tabla 13. Conductor en media tensión.

LONGITUD (m)	CONDUCTOR	SECCION (mm ²)
60	N2XSY de 8.7/15 KV	3-1 x 185

Fuente: INDECO.

Del análisis económico se obtuvo un ROI de 3.6 meses, con un beneficio útil de 829657.102 US\$/año y una inversión de 218316.823 US\$, además de un VAN de 4'667,726.00 US\$ y un TIR de 380 %.

4. DISCUSIONES

- Del balance de masa y energía en estado actual de la planta termoeléctrica se obtuvo que el rendimiento actual del ciclo termodinámico es de 14 %, por otra parte Oropin (2006) en su investigación titulada “Cálculo y diseño eléctrico de una cocina industrial y estudio de transferencia de calor en una torre de enfriamiento y su influencia en la eficiencia del ciclo Rankine, en el Ingenio azucarero Santa Ana” concluye que, en base al análisis termodinámico efectuado sobre el ciclo regenerativo de la unidad de 25 MW, se pudo determinar que el rendimiento térmico del ciclo es del 53%, valor por encima del publicado por la CONAE (52%). La diferencia entre los rendimientos termodinámicos de ambas investigaciones se ve muy marcada y esto se debe a que la empresa azucarera el Ingenio S.A. trabaja solo con turbinas a condensación pura, las cuales no generan calor útil; en cambio en la empresa azucarera Santa Ana utilizan una turbina a contrapresión la cual si genera calor útil que es utilizado para los distintos procesos de producción de la azúcar, contribuyendo así con el rendimiento del ciclo termodinámico.

De acuerdo con los rangos conocidos en el campo laboral se tiene que el rendimiento de una planta termoeléctrica de cogeneración a vapor varía entre 50 - 80%, por lo que el rendimiento obtenido en mi investigación se encuentra fuera de los rangos de funcionamiento.

- Para que se genere 5MW de energía eléctrica en el turbogenerador Escher Wyss se necesitará un flujo másico de vapor de 17.853 Kg/s, el cuál se condensará y posteriormente retornará como agua de alimentación hacia las calderas acuatubulares a una temperatura de 100°C, generando así ahorros económicos para la empresa

en lo que respecta a agua y combustible.

Para reafirmar lo anteriormente dicho Rios, M. (2015) en su investigación “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaud S.A - Departamento de Ancash” concluye que el beneficio de la instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial traerá consigo una reducción en el consumo de agua en 3.014 Kg/s debido a que se elevará la temperatura del agua de alimentación de las calderas, debido a la elevada temperatura del condensado, además de generar grandes ahorros económicos de combustible. Por consiguiente, basado en los resultados obtenidos de ambas investigaciones y en las teorías del autor Cengel en su libro “Termodinámica” se puede afirmar que la instalación de un condensador industrial es factible económicamente, ambientalmente y tecnológicamente para la empresa.

- Debido al incremento de demanda de agua de condensación y a la limitación de la torre existente, se plantea instalar una nueva torre de enfriamiento para el turbogenerador Escher Wyss que entregará 721.011 Kg/s de agua de refrigeración y se necesitará una capacidad en el condensador industrial y torre de enfriamiento de 39029.925 KW y 39186.948 KW respectivamente. Por su parte Carias (2010) en su investigación “Análisis termodinámico y propuesta de mejora de eficiencia de torre de enfriamiento, en el área de cogeneración, Ingenio Tumulá.” concluye que la torre de enfriamiento W400 que actualmente trabaja es insuficiente para enfriar el agua que utiliza el condensador del área de Cogeneración, ya que el caudal para el cual fue diseñada era de 1009.443 Kg/s se tiene un exceso de 227.125 Kg/s, actualmente circula un caudal de 1236.568 Kg/s con base en el análisis termodinámico efectuado.

Teniendo en cuenta las teorías del autor Cengel en su libro “Termodinámica” se verifica que para ambos casos se debe instalar una nueva torre de enfriamiento debido a que las que se encuentran instaladas actualmente no logran satisfacer la demanda de agua de condensación y por consiguiente el proceso no se puede realizar a plenitud.

- El flujo másico de vapor que circulara por las tuberías para generar los 5MW de energía eléctrica en el turbogenerador Escher Wyss es 3.12 veces mayor que la que circula actualmente. Es por esto que se vio necesario rediseñar el sistema de distribución de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado. Mientras que Rios, M.(2015) en su investigación “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaud S.A - Departamento de Ancash” dimensionó el sistema de distribución de las líneas de retorno de agua de alimentación condensada hacia la caldera, selección de aislamiento térmico, análisis

estructural y soldadura. La diferencia entre mi investigación la de Ríos, M.(2015) es que en mi caso se procedió a rediseñar las líneas de producción de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido sin modificar la distribución de los equipos; por otro lado Ríos, M.(2015) dimensionó solamente las tuberías de líquido saturado que retornan hacia la caldera acuotubular, pero en su caso él tuvo que diseñar de acuerdo a sus criterios la distribución de las mismas. Estos lineamientos se basan a las teorías de los autores Cengel (Transferencia de calor), Hibbeler (Mecánica de materiales) y Mott (Mecánica de fluidos) los cuales garantizan la aceptabilidad de los resultados.

- Se dimensionó el condensador industrial y la torre de enfriamiento teniendo en cuenta un factor de seguridad de 1.25, obteniendo que la capacidad neta de cada uno de los equipos 48787.406 KW y 48983.685 KW respectivamente. Luego se procedió a seleccionar la torre de enfriamiento del catálogo SICREA el modelo COOLPACK SR2920/OU-7T-C70.34 que cuenta con una capacidad nominal de 50938 KW y también se procedió a fabricar el condensador industrial de carcasa y tubos con una longitud de 5.41 m, diámetro de 2.64 m, material ASTM A53, de un solo paso, flujo a contracorriente, con una sección de intercambio de calor de 693.332 m² y con un diámetro del serpentín de 2 pulgadas, el cual será fabricado por la misma empresa. Ríos, M.(2015) en su investigación “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaudó S.A - Departamento de Ancash” Selecciónó la Torre de enfriamiento SICREA COOLPACK SR4512X2/ OU-12C-C70.34 de una capacidad de 2281.5 KW y se fabricó el condensador de carcasa y tubos de una longitud de 2 m, diámetro de 1.095 m, material ASTM A53, diámetro de serpentín ¾ pulgadas. En ambas investigaciones se procedió con la misma metodología a seleccionar una torre de enfriamiento y a fabricar un condensador industrial, pero para cada caso se realizó sus cálculos correspondientes de acuerdo con la demanda existente de su respectiva empresa y a los parámetros de funcionamiento de sus equipos. Los lineamientos anteriormente calculados estuvieron basados en las teorías del autor Incropera en su libro “Fundamentos de transferencia de calor”.

- El flujo másico de agua de refrigeración que circulara para condensar los 17.853 kg/s de vapor es 721.011 kg/s entregados por la torre de enfriamiento y el flujo de agua de reposición que necesitará la misma es de 7.469 Kg/s. Esto es debido a que el flujo másico de agua incrementó, por lo que se vio necesario rediseñar el sistema de distribución de líquido saturado sin variar la geometría de distribución de los equipos, para el cual se empleó tuberías ASTM A53, se seleccionó 3 bombas centrífugas

de 200 HP que trabajaran en paralelo para distribuir el agua de refrigeración y 1 bomba centrífuga de 1.5 HP para el sistema de agua de reposición, también se seleccionó 3 motores para las bombas en paralelo de una capacidad de 250 HP y 1 motor de 2 HP para la red de agua de reposición, cálculo de cimientos y soldadura. por su parte Ríos, M.(2015) en su investigación “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaudó S.A - Departamento de Ancash” dimensionó el sistema de distribución de agua de condensación y las líneas de agua de reposición, seleccionó de aislamiento térmico, seleccionó una bomba de 25 HP para la línea de agua de condensación, análisis estructural y soldadura. En cada investigación se procedió a dimensionar de acuerdo a la demanda existente de agua de refrigeración y agua de reposición, pero ambas se basaron en los lineamientos de los autores Cengel (Transferencia de calor), Hibbeler (Mecánica de materiales) y Mott (Mecánica de fluidos) los cuales garantizan la aceptabilidad de los resultados.

- Se dimensionó nuevos conductores en media y baja tensión debido a que la capacidad de generación de energía eléctrica se incrementará. Ríos, M.(2015) en su investigación “Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaudó S.A - Departamento de Ancash” solamente dimensionó los conductores en baja tensión de sus bombas centrífugas y ventiladores de su torre de enfriamiento debido a que el no iba a incrementar su producción de energía eléctrica. La única diferencia entre ambas investigaciones es que en la mía se rediseño el calibre de los conductores en baja y media tensión, mientras que en la de Ríos, M (2015) solo se dimensionó para baja tensión. El procedimiento realizado para cada investigación estuvo basado en teorías del autor Sanz J. (2009) en su libro “Instalaciones eléctricas”.

- Del análisis económico y financiero se obtuvo un ROI de 3.6 meses, con un beneficio útil de 829657.102 US\$/año y una inversión de 218316.823 US\$, además se obtuvo un VAN de 4'667,726.00 US\$ y un TIR de 380 %. Por su parte Carías (2010) en su tesis titulada “Análisis termodinámico y propuesta de mejora de eficiencia de torre de enfriamiento, en el área de cogeneración, ingenio Tumulá” sostiene que el ROI obtenido en su investigación es de 5 meses con un beneficio útil de 452701.00 US\$/año y una inversión de 288203.00 US\$. Se puede afirmar que mi investigación es mucho más factible que la de Carías (2010) y que el periodo de retorno de inversión es menor que la de él, a pesar de que en su investigación solamente instalará una torre de enfriamiento. Los resultados estuvieron basados en la teoría del autor Park en su libro “Fundamentos de la Ingeniería económica”

5. CONCLUSIONES

- Se concluye que el estudio técnico económico de instalación de un condensador industrial y torre de enfriamiento para optimizar la operación del turbogenerador Escher Wyss es factible en todos los aspectos debido a que se eliminará la dependencia de energía eléctrica del SEIN, generará grandes ingresos económicos para la empresa con la venta del excedente de la misma, contribuye con el ahorro de combustible en las calderas y su periodo de retorno de inversión es de tan solo 3.6 meses.
- El balance de masa y energía en estado actual determinó que el rendimiento actual del ciclo termodinámico es de 14%, las eficiencias de las calderas acuotubulares 01 y 02 son 61.9% y 62% respectivamente.
- Para que se genere 5MW de energía eléctrica en el turbogenerador Escher Wyss se necesitará un flujo másico de vapor de 17.853 Kg/s, para lo cual las calderas acuotubulares 01 y 02 deberán generar para satisfacer la demanda de vapor sobrecalentado 11.723 Kg/s y 11.348 Kg/s respectivamente y esto a su vez indicará un mayor consumo de combustible en cada una de ellas a 6.337 Kg/s y 6.121 Kg/s.
- El flujo másico de agua de condensación que necesita el condensador industrial de la turbina Escher Wyss para condensar los 17.853 Kg/s de vapor saturado es 718.122 kg/s de agua, para esto se necesita un calor útil de 39029.925 KW y por parte del condensador y 39186.948 KW en caso de la torre de enfriamiento, lo cual garantiza que el proceso de condensación se realice a plenitud.
- El flujo másico de vapor que circulara por las tuberías para generar los 5MW de energía eléctrica en el turbogenerador Escher Wyss es 3.12 veces mayor que la que circula actualmente. Es por esto que se vio necesario rediseñar el sistema de distribución de vapor sobrecalentado, vapor saturado y líquido saturado, los cuales constan del redimensionamiento de las tuberías ASTM A 192 sin costura para el caso de vapor sobrecalentado y ASTM A53 para vapor y líquido saturado sin variar la geometría de la instalación, además del cálculo de aislamiento térmico para cada tramo, perfiles estructurales que soportaran las tuberías, pernos, placas base, cimientos, juntas, válvulas compuerta y soldadura.
- El condensador industrial a fabricar será de tipo carcasa y tubos, con una capacidad de 48787.406 KW, una longitud de 5.41 m, diámetro de 2.64 m, material ASTM A53, de un solo paso, flujo a contracorriente, con una sección de intercambio de calor de 693.332 m² y con un diámetro del serpentín de 2 pulgadas, el cual será fabricado por la misma empresa; mientras que la torre de enfriamiento seleccionada será una SICREA el modelo COOLPACK SR2920/OU-7T-C70.34 que cuenta con una capacidad nominal de

50938 KW. Ambos equipos fueron diseñados considerando un factor de seguridad de 1.25.

- El flujo másico de agua de refrigeración que circulara para condensar los 17.853 kg/s de vapor es 721.011 kg/s entregados por la torre de enfriamiento y el flujo de agua de reposición que necesitará la misma es de 7.469 Kg/s. Esto es debido a que el flujo másico de agua incrementó, por lo que se vio necesario rediseñar el sistema de distribución de líquido saturado sin varias la geometría de distribución de los equipos, para el cual se empleó tuberías ASTM A53, se seleccionó 3 bombas centrífugas de 200 HP que trabajaran en paralelo para distribuir el agua de refrigeración y 1 bomba centrífuga de 1.5 HP para el sistema de agua de reposición, también se seleccionó 3 motores para las bombas en paralelo de una capacidad de 250 HP y 1 motor de 2 HP para la red de agua de reposición, cálculo de cimientos y soldadura
- Se tuvo que dimensionar nuevamente los conductores de baja y media tensión debido a que no soportaran el incremento de la producción de energía eléctrica de 3.1 MW a 6.5MW.
- Del análisis económico y financiero se obtuvo un ROI de 3.6 meses, con un beneficio útil de 829657.102 US\$/año y una inversión de 218316.823 US\$, además de un VAN de 4'667,726.00 US\$ y un TIR de 380%.

6. RECOMENDACIONES FINALES

- Hacerle un mantenimiento periódicamente a la torre de enfriamiento debido a que el agua que utiliza de reposición es bombeada desde el subsuelo y puede que existan impurezas que ocasionen daños a las bombas centrífugas instaladas.
- Capacitar al personal de trabajo técnicamente para poder conocer más acerca de los beneficios que se obtienen con la instalación de condensador industrial y torre de enfriamiento.
- Instalar un turbogenerador a contrapresión para generar energía eléctrica y calor útil, para así aprovechar al máximo el flujo de vapor de las calderas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CARÍAS MEJÍA, A. F. Análisis Termodinámico y propuesta de mejora de eficiencia de Torre DE Enfriamiento, en el área de cogeneración, Ingenio Tululá. Tesis de titulación, universidad de San Carlos de Guatemala, 2010.
- [2] CENGEL, Y. y BOLES, M. Termodinámica. 6^a ed. México: McGrawHill, 2009. 1050p.

- [3] CONTRERAS TILLERO, C. C. Evaluación del Sistema de agua de enfriamiento de la unidad de servicios industriales de una planta mejoradora de crudo extrapesado. Tesis de titulación, universidad de Oriente Núcleo de anzoátegui,2010
- [4] GARCÍA, S. y FRAILE, D. Cogeneración: Diseño, Operación y Mantenimiento de plantas. 1ª ed. Madrid: Díaz de Santos, 2008.150 p.
- [5] HIBBELER, R. C. Mecánica de Materiales.8ª ed. México: Pearson,2011.863 p.
- [6] INCROPERA, F. Fundamentos de transferencia de calor, 4ªed. México: Pearson,1999. 902p.
- [7] MOTT, R. Mecánica de fluidos 6ª ed. México: Pearson, 2006. 647p.
- [8] OROPÍN, L. Cálculo y diseño eléctrico de una cocina industrial y estudio de transferencia de calor en una torre de enfriamiento y su influencia en la eficiencia del ciclo Rankine, en el Ingenio azucarero Santa Ana. Tesis de titulación, Universidad de San Carlos de Guatemala,2006.
- [9] PARK, C. Fundamentos de la Ingeniería económica,2ª ed. México: Pearson, 2009. 655p.
- [10] PASCUAL, M. Análisis técnico económico y financiero de instalación de una torre de enfriamiento y condensador industrial para reducir los costos del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa pesquera Ribaud S.A - Departamento de Ancash. Tesis de titulación, universidad Cesar Vallejo, 2015.