

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**Efecto de la inyección de condensado presurizado en los  
indicadores de desempeño energético de generadores de  
vapor pirotubulares**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍA**

**AUTOR :**

Bach. García Mozo, Albano Dustin

**ASESOR :**

Dr. Mariños Castillo, Gualberto Antenor  
DNI 17890841  
Código ORCID: 0000-0001-7514-9908

**Nuevo Chimbote, Perú**

**2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente Tesis para Título se a revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D: N°492-2017-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGÍA**

**Efecto de la inyección de condensado presurizado en los indicadores de  
desempeño energético de generadores de vapor pirotubulares**

**AUTORES :**

Bach. Albano Dustin García Mozo

Dr. Mariños Castillo, Gualberto Antenor  
Asesor

DNI 17890841

Código ORCID: 0000-0001-7514-9908

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

El presente jurado evaluador da la conformidad de la presente Tesis para Título, revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al Reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D: N°492-2017-CU-R-UNS), titulado:

**“Efecto de la inyección de condensado presurizado en los indicadores de desempeño energético de generadores de vapor pirotubulares”**

AUTORES:

Bach. Albano Dustin García Mozo

Dr. Benites Villegas, Héctor Domingo  
DNI: 17821639  
Código ORCID: 0000-0002-8809-6371  
PRESIDENTE

Mg. Guevara Chinchayán, Robert Fabián  
DNI: 32788460  
Código ORCID: 0000-0002-3579-3771  
SECRETARIO

Dr. Mariños Castillo, Gualberto Antenor  
DNI: 17890841  
Código ORCID: 0000-0001-7514-9908  
INTEGRANTE

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

El día lunes 13 del mes de mayo del año dos mil veinticuatro, siendo las 11:00 a.m. en el Aula E-3 de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al Art. 68 del Reglamento General de Grados y Títulos, aprobado con Resolución N°337-2024-CU-R-UNS de fecha 12.04.24, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 200-2024-UNS-CPI de fecha 29.04.24, integrado por los siguientes docentes:

- Dr. Héctor Domingo Benites Villegas : Presidente
- Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán : Secretario
- Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo : Integrante

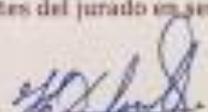
Y según la Resolución Decanal N°227-2024-UNS-FI de fecha 10.05.24 se **DECLARA EXPEDITO** al bachiller para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: "EFECTO DE LA INYECCIÓN DE CONDENSADO PRESURIZADO EN LOS INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE GENERADORES DE VAPOR PIROTUBULARES", perteneciente al bachiller: **GARCÍA MOZO ALBANO DUSTIN**, con código de matrícula N° 0201211038, teniendo como asesor al docente **Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo**, según Resolución Decanal N° 516-2023-(UNS-FI) de fecha 25.07.23.

Terminada la sustentación del bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 73° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
GARCÍA MOZO ALBANO DUSTIN	17	BUENO

Siendo las 11:40 a.m. del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Dr. Héctor Domingo Benites Villegas  
PRESIDENTE

  
Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

  
Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo  
INTEGRANTE



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Albano Garcia
Título del ejercicio:	TESIS
Título de la entrega:	Efecto de la inyección de condensado presurizado en los ind...
Nombre del archivo:	TESIS_ALBANO.pdf
Tamaño del archivo:	2.09M
Total páginas:	121
Total de palabras:	25,652
Total de caracteres:	126,912
Fecha de entrega:	06-jun.-2024 04:50p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2397133892



## Efecto de la inyección de condensado presurizado en los indicadores de desempeño energético de generadores de vapor pirotubulares

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	14%
2	<a href="http://www.tlv.com">www.tlv.com</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://www.ayvaz.com">www.ayvaz.com</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Fuente de Internet	<1%
5	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://biblioteca.uns.edu.pe">biblioteca.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://repositorio.uvg.edu.gt">repositorio.uvg.edu.gt</a> Fuente de Internet	<1%

## DEDICATORIA

A Dios por permitirme  
alcanzar este momento  
tan importante y esperado  
en mi vida asimismo por  
los triunfos y momentos difíciles  
que superé de la mano con él.

A mi familia por su  
apoyo y comprensión  
en todo este proceso que permitió  
la culminación exitosa de mi tesis.

A.D.G.M

## RECONOCIMIENTO

Un agradecimiento a mi asesor  
el Dr. Antenor Mariños  
por su valiosa asesoría  
para realizar  
la presente tesis.

A cada uno de los docentes de la  
Escuela Profesional de Ingeniería en Energía  
por cada una de sus enseñanzas impartidas  
en las aulas de la UNS  
y por brindarnos su experiencia  
en nuestro crecimiento profesional

Atentamente,

A.D.G.M

## INDICE GENERAL

### INDICE

### RESUMEN

I.	INTRODUCCION	1
1.1	Realidad Problemática	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Justificación	4
1.4	Hipótesis	5
1.5	Objetivos	5
II.	MARCO TEÓRICO	7
2.1	Generación de vapor	7
2.2	Condensados	27
2.3	Desempeño energético	40
2.4	Evaluación económica	43
III.	MATERIAL Y MÉTODO	47
3.1	Material	47
3.2	Método	53
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1	Evaluación de la generación de vapor	57
4.2	Sistema de recuperación de condensados presurizados	61
4.3	Benchmarking energético	73
4.4	Evaluación económica	76
4.4	Discusión de resultados	78
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
5.1	Conclusiones	80
5.2	Recomendaciones	81
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
VII.	ANEXOS	88

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama T-v para el proceso de calentamiento del agua a presión constante	10
Figura 2 Vista frontal de un generador de vapor pirotubular	11
Figura 3 Flujos intervinientes en calderos	12
Figura 4 Corte transversal de un Caldero de 2 paso	14
Figura 5 Vista frontal, lateral y posterior de un Caldero	15
Figura 6 Partes de una Caldera Pirotubular	16
Figura 7 Requisitos para una óptima combustión en un caldero	18
Figura 8 Influencia del calentamiento del agua de alimentación en el consumo de combustible en calderos	21
Figura 9 Esquema básico de una red de distribución de vapor	24
Figura 10 Manífol de una red de distribución de vapor	25
Figura 11 Sistema de recuperación de condensados	29
Figura 12 Ahorro de combustible por recuperación de condensados	31
Figura 13 Sistema de Recuperación Venteado a la Atmósferas	34
Figura 14 Bombas de Condensado ACOPs	35
Figura 15 Recuperación de Condensado Usando una Bomba Centrífuga	38
Figura 16 Recuperación de Condensado Usando una Bomba Mecánica	39
Figura 17 Recuperación de Condensado Usando una Bomba Especializada	39
Figura 18 Diagrama de proceso productivo para obtención de harina y aceite de pescado	47
Figura 19 Distribución de vapor saturado en planta	52
Figura 20 Detalles de suministro de agua para calderos	53
Figura 21 Detalles de suministro de condensado a calderos	54
Figura 22 Esquema de distribución de flujos con Flash tank	58
Figura 23 Esquema de distribución de flujos con recuperación de condensados Presurizados	62
Figura 24 Esquema de retorno de condensados presurizados.	66
Figura 25 Bomba CP-N.	68
Figura 26 Balance de energía en el desareador	69
Figura 27 Bomba multietapa de velocidad variable Marca CNP	70
Figura 28 Distribución de condensados y agua de reposición para cada caldero	70
Figura 29 Balance de energía global en cabeceros de mezcla	71

Figura 30 Benchmarking entre Indicadores de desempeño energético técnico	74
Figura 31 Benchmarking entre Indicadores de desempeño energético económico	75
Figura 32 Benchmarking entre Indicadores de desempeño energético ambiental	76

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Proporción de sólidos, grasas y humedad del proceso productivo para obtención de harina y aceite de pescado	48
Tabla 2 Características de calderos pirotubulares	49
Tabla 3 Detalles de cocinas	50
Tabla 4 Detalle de secadores rotatubos	50
Tabla 5 Detalles de secadores rotadiscos	51
Tabla 6 Balance de masas del proceso productivo para obtención de harina y aceite de pescado para 160 Ton/h	55
Tabla 7 Flujos de vapor por centro de consumo	56
Tabla 8 Vapor generado por Calderos	57
Tabla 9 Flujos de condensado unitario por equipo por centro de consumo	63
Tabla 10 Caudal de condensado unitario por equipo en Secadores rotatubos	63
Tabla 11 Tuberías de condensados hacia sala de calderos	65
Tabla 12 Flujo de combustible con propuesta de inyección de condensados presurizados a Calderos	72

## RESUMEN

El presente trabajo titulado: Efecto de la inyección de condensado presurizado en los indicadores de desempeño energético de generadores de vapor pirotubulares, tuvo como objetivo la evaluación del efecto de la inyección de condensados presurizados en los indicadores de desempeño energético de generadores de vapor pirotubulares, se usó el Método de tipo pre-experimental, de naturaleza descriptiva, se realizó en la Empresa Copeinca S.A de la ciudad de Chancay. En la tesis se presenta la propuesta de recuperación de condensados presurizados del área de secadores rotatubos. La empresa opera con una capacidad de 160 Ton/h de materia prima, produciendo 40,23 Ton de harina/ hora, y tiene una sala de calderos compuesto por 5 calderos sumando un total de 6 000 BHP.

Se concluye con el dimensionamiento del sistema de recuperación de condensados presurizados desde el área de secadores rotatubos, a través de bombas de condensados CP-N obteniéndose con ello un valor de temperatura de 121°C a la entrada de los calderos. Se determino la mejora de los indicadores de desempeño energético con los siguientes valores, el indicador de desempeño económico mejora en 6.4%, el indicador de desempeño energético técnico de 4,1% y el indicador de desempeño energético ambiental en 3,2%. Con lo cual se supera el valor propuesto de 3,0% en la hipótesis.

**PALABRAS CLAVE:** Desempeño energético, vapor, condensados.

## **ABSTRACT**

The present work entitled: Effect of the injection of pressurized condensate on the energy performance indicators of fire tube steam generators, had the objective of evaluating the effect of the injection of pressurized condensate on the energy performance indicators of fire tube steam generators, it was used The pre-experimental method, of a descriptive nature, was carried out at the Company Copeinca S.A in the city of Chancay. The thesis presents the proposal for the recovery of pressurized condensate from the rotary tube dryer area. The company operates with a capacity of 160 Ton/h of raw material, producing 40.23 Ton of flour/hour, and has a boiler room made up of 5 boilers totaling 6,000 BHP.

It is concluded with the sizing of the pressurized condensate recovery system from the rotary tube dryer area, through CP-N condensate pumps, thereby obtaining a temperature value of 121°C at the entrance to the boilers. The improvement of the energy performance indicators was determined with the following values, the economic performance indicator improved by 6.4%, the technical energy performance indicator by 4.1% and the environmental energy performance indicator by 3.2%. This exceeds the proposed value of 3.0% in the hypothesis.

**KEYWORD:** Energy performance, steam, condensate.

## **I. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Realidad problemática**

Los elevados costos por consumo de combustible en los calderos pirotubulares son el principal problema en las empresas consumidoras de energía, sobre todo en las empresas de harina de pescado, quienes requieren un alto consumo de vapor saturado que se obtiene de los calderos. Al margen de la migración en ciertas empresas desde el petróleo R500 al gas natural, ha reducido el indicador de desempeño de vapor, este sigue siendo el principal problema de costos de energía por solucionar.

Del mismo modo el valor de la temperatura del agua de reposición a calderos es un factor relevante en el consumo de combustible, el valor de la temperatura se del agua se encuentra limitada por el valor de las condiciones de succión de la bomba de suministro de agua, la cual impulsa agua a presión atmosférica, debido a ello el valor de la temperatura del agua de reposición es aproximadamente 100 °C como máximo para evitar el problema de cavitación.

Dentro del caldero, el cual opera a presiones promedio de 8 bar, se tiene una temperatura de saturación del agua cercana a los 160 °C, debido a ello es que debe consumirse combustible en el caldero para incrementar la temperatura del agua desde 100 a 160°C para alcanzar el valor del punto de saturación. Este gasto adicional de combustible ha sido siempre un problema de tratar de resolver para optimizar el consumo de combustibles y su facturación.

De otro lado los condensados provenientes del área de secado y cocción son recuperados y por lo general se expansionan en tanque flash para obtener un vapor de baja presión. Se puede implementar un sistema para recuperar los condensados presurizados, almacenarlos en un recipiente hermético e inyectar este condensado de forma directa para aprovechar su temperatura, el cual es cercana a los 130°C. El problema consta en el dimensionamiento de las características de las instalaciones del sistema de retorno de condensados para ser inyectados directamente a través de un sistema de bombeo directo hacia los calderos con ello reducir el consumo de combustible y los costos relacionados a ello.

Según lo considerado en la realidad problemática se enuncia el problema:

¿Cuál es el efecto de la inyección de condensados presurizados en los indicadores de desempeño energético de los generadores de vapor pirotubulares?

## 1.2 Antecedentes:

Se han considerado los antecedentes para la presunta investigación:

Andrade, F. y Villacrés, J. (2019) en su artículo científico: Ahorro de energía en el sistema recuperador de condensados para una planta industrial en Guayaquil, tuvo como objetivo analizar y proyectar el ahorro energético con la recuperación de condensados, empleo el método descriptivo, no experimental incluye las áreas de calderos y distribución de vapor y recuperación de condensados. Concluye que el sistema de condensados permite el ahorro para una planta industrial entre 15 al 35% con respecto a la facturación del combustible, comprándolo con un sistema de recuperación convencional de condensados empleando un desareador.

Gómez, J. (2012) en su tesis: Rediseño y recuperación del sistema de retorno de condensado para ahorrar energía en la empresa Ecuajugos para la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, tuvo como objetivo el rediseño y recuperación del condensado para el ahorro energético en la empresa Ecuajugos, se aplicaron los métodos deductivo, inductivo, científico y bibliográfico. Concluye que la implementación del sistema de bombeo para recuperar los condensados, permitirá la recuperación de 3,900 lb/h, que podrá ser reutilizado en el suministro de agua para calderos, con un ahorro potencial de 20,31%. Se estima que el 80% de condensado generado por 24 000 lb/h de vapor de los dos calderos que operan en paralelo. El rediseño del sistema para recuperar condensados permitirá utilizar eficientemente la energía remanente contenido en los condensados de la empresa Ecuajugos.

Martínez, M. (2009) en su trabajo de maestría: Recuperación de Condensados de un Área de Decapado para Bobinas Laminadas en Caliente para la Universidad Politécnica de Valencia, España, tuvo como objetivo principal la reutilización de los condensados producidos en el circuito de calentamiento de los tanques de ácido de decapado químico, para lavar la banda con agua desmineralizada, aplico el método descriptivo de naturaleza no experimental. Concluye: la capacidad del tanque de condensados recuperados es 200 m<sup>3</sup>, lo cual es recuperado con un valor de temperatura mayor a 100 °C, lo que representa un considerable valor de calor sensible disponible. Los condensados calientes serán remitidos al tanque diario de agua, pero previamente deberá filtrarse para eliminar las impurezas contenidas del proceso de decapado, de tal forma que se optimiza el proceso.

Razelau, A. (2006) en su tesis: Dimensionamiento de la recuperación de condensados para reducir el consumo de petróleo diésel y agua tratada químicamente para suministrarse a un caldero de una empresa industrial para la Universidad del Valle en Guatemala, tuvo como objetivo general la realización del dimensionamiento de un sistema de recuperación para reducir el consumo de Diesel y el agua alimentada a un caldero. Empleo el método de análisis previo, luego un análisis cuantitativo para el diseño y un análisis final de resultados. Concluye que al implementar el sistema de recuperación se prevé conseguir una reducción del consumo de combustible de 8,623.33 gal/año, el ahorro de 17,085.92 m<sup>3</sup>/año de agua, lo cual produce una reducción significativa de 0.66 kg/año de productos químicos empleados en el proceso de tratamiento del agua dura suministrada al caldero, lo cual origina una reducción del costo de operación del caldero de Q269,088.68. Con una inversión para ejecutar el proyecto es Q203,172.31, para un periodo de retorno de 1 año.

Yépez, J. (2019) en su tesis: Evaluación del recupero de condensados para una planta dual de producción de una fábrica de hojalatas y laminado S.A. Holasa para el Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, tuvo por objetivo el diseño de un sistema de recuperación de condensados para recircularlos en el proceso y para su uso como agua de reposición en un caldero, empleo el método deductivo e inductivo. Concluye que el condensado es por lo general agua de muy alta pureza la cual posee una temperatura alta, por lo tanto, es un requerimiento la recuperación de la mayor cantidad posible para reutilizarla dentro del caldero. El recupero de condensados se realiza con el fin de reducir el consumo de calor, agua de reposición e insumos químicos empleados en el tratamiento de agua y en la reducción del combustible empleado en la producción de vapor saturado a baja presión.

López, X. (2023) en su tesis: Incremento de temperatura de suministro de agua de generadores de vapor en un Sistema Óptimo de Recuperación de Calor para la Universidad Nacional del Santa, tuvo por objetivo incrementar la temperatura de suministro de agua para calderas a través de un sistema óptimo de recuperación de calor, empleo el método descriptivo, cuantitativo, siendo la tesis de tipo pre-experimental. Concluye que un análisis para aprovechar los flujos de calor sensible de los fluidos disponibles en la zona de vapor, así tenemos el vapor flash a 2 bar se genera para el proceso de calentamiento del agua de reposición saliente de la bomba de agua con presión de 30 bar, mediante un calentador de agua presurizada, incrementa su

temperatura desde 90°C hasta 112°C, obteniéndose 22°C, para el cual no se utilizara combustible en los quemadores del caldero para generarlo, ingresando el agua al caldero a mayor temperatura.

Ramos, J, & Valle, K. (2019) en su tesis: Influencia del sistema de generación de vapor flash para el área de secado para la disminución del consumo de combustible en la Empresa Copeinca Chancay, para la Universidad Nacional del Santa-Perú, tuvieron por objetivo la evaluación de la influencia de un sistema de revaporizado en el área de secado para reducir el consumo de gas natural para la planta de harina Copeinca Chancay, emplearon el método descriptivo, explicativo y exploratorio. Concluyen que el condensado recuperado de los secadores rotatubos genera el 61% de la producción total, del mismo modo el condensado produce el 39% (13,7 Ton/h) del revaporizado. El revaporizado se considera una fuente de energía terciaria al ser obtenido del condensado (el cual es el fluido obtenido de la condensación del vapor saturado luego de ceder su calor latente. El equivalente energético obtenido del vapor flash es de 217,08 BHP de un caldero que dejara de consumir 239,55 m<sup>3</sup> /h de gas natural, con su respectivo efecto en la disminución de costos por facturación de gas natural y del CO<sub>2</sub> emitido por la combustión del gas natural.

Vivanco, K. (2017) en su tesis: dimensionamiento de un sistema de recupero de condensados calientes ahorrar energía en los calderos para la empresa Laive en la Universidad Nacional del Callao, tuvo como objetivo el diseño del sistema de recuperación de condensados para generar un ahorro de combustible en los calderos de la empresa Laive. Emplearon el método de investigación del tipo tecnológico y de nivel aplicativo. Concluye que con el dimensionamiento del sistema de recuperación de condensados se consigue obtener un ahorro de energía de 1 873 236.7 BTU/h equivalente a 381 968.4 m<sup>3</sup> /año de gas natural. Además, el periodo de retorno de la inversión es 5 meses, un TIR de 286% el cual resulta ser mayor a la tasa de interés del mercado y un valor del Valor Actual Neto de 837 696 U\$ concluyéndose que el proyecto es de alta rentabilidad.

### **1.3 Justificación:**

El presente trabajo se justifica debido a que:

El proceso de recuperación de condensados para el desareador del cual se suministra el agua a los calderos representa una adecuada técnica eficiente para incrementar el

rendimiento de la instalación de generación de vapor, y es reconocida como la técnica de mayor efectividad para incrementar el rendimiento de la planta de vapor.

El condensado tiene un valor agregado debido a que proviene del vapor saturado generado en calderos, el cual tiene un costo de generación unidad de combustible consumido/unidad de vapor generado, y este asociado directamente al costo del combustible y en un menor porcentaje al costo de operación de mano de obra, costo por energía eléctrica, costo por mantenimiento entre otros.

El condensado o líquido saturado por lo general se encuentra a la presión de operación del vapor de donde proviene, aunque su entalpía específica no es alta, el valor de su temperatura cercana a los 140°C representa un nivel de temperatura que puede aprovecharse convenientemente.

El valor de la temperatura del agua suministrada a los calderos bordea los 100 °C impulsado por una bomba de agua multietapa de caudal variable, el valor de la temperatura del agua en la succión limita la temperatura de ingreso al caldero. Sería muy diferente si el agua ingresara a 120°C (lo cual significa que se dejaría consumir dentro del caldero un equivalente de combustible que calienta el agua desde 100 a 120°C). Pero la limitando de la succión de la bomba evita que los sistemas actuales en los sistemas actuales de suministro de agua puedan succionar agua a valores mayores a 100°C por el problema de cavitación.

La posibilidad de inyectar directamente el líquido saturado entre 140 a 130°C a través de una bomba de alta presión presenta una alta probabilidad de un ahorro de combustible, en este caso gas natural.

#### **1.4 Hipótesis:**

El efecto de la inyección de condensados presurizados optimiza los indicadores de desempeño energéticos de generadores de vapor pirotubular en 3%.

#### **1.5 Objetivos:**

##### **Objetivo general**

Evaluar el efecto de la inyección de condensados presurizados en los indicadores de desempeño energético de generadores de vapor pirotubulares.

##### **Objetivos específicos:**

- Realizar un balance energético en las áreas de consumo de vapor para determinar el flujo de condensado y su desempeño energético.
- Dimensionar el sistema de recuperación de condensados presurizados para su recuperación en el área de secadores rotatubos.
- Realizar un balance energético en los generadores de vapor pirotubular para estimar la optimización de los indicadores de desempeño energético.
- Realizar un análisis económico de la propuesta de implementación del sistema de recuperación de condensados presurizados.

## II. MARCO TEORICO.

### 2.1 Generadores de vapor.

#### 2.1.1 Vapor.

El vapor es la representación del agua en estado gaseoso, el cual se produce cuando al agua se le adiciona calor hasta llegar a su punto de vaporización. Luego de ello al continuarse la adición de calor, el agua pasa al estado de vapor (0% de partículas de agua líquida). El vapor es un fluido de especiales propiedades energéticas que permiten ser empleado en diversas operaciones unitarias dentro de un proceso industrial o de servicios. (Yépez, 2018)

El vapor de agua representa un fluido de alto nivel de energía que es empleado en la industria y en las empresas de servicio. El vapor se caracteriza por presentar un valor alto de entalpía entre su estado de vapor saturado y líquido saturado para usarse en procesos de evaporación, cocción y secado, o en procesos de lavado o esterilización. El vapor de agua puede ser empleado desde los 1,13 bar a 70 bar de presión, que incluyen un rango térmico de 103°C y 287°C, y en algunas situaciones se le emplea como vapor sobrecalentado. Su calor latente depende del valor de su temperatura y de su calor específica que le dan una particularidad en su utilización. Su uso es la mayor parte de empresas que requieran procesos de intercambio de calor tenemos: Empresas de alimentos, agroindustriales, cemento, etc. (Junta de Castilla y León, 2010)

El vapor de agua se produce cuando el agua pasa del estado de líquido saturado en un proceso de presión y temperatura constante para ello se requiere agregar una cantidad de energía para generarla. Al adicionarse calor al agua, sus moléculas logran liberarse de los enlaces que las unen. En el agua como líquido saturado o comprimido las moléculas de agua están continuamente enlazadas y separadas de forma constante. Sin embargo, al incrementar la temperatura, las moléculas del agua, las uniones comienzan a colapsar en forma veloz, mucho más rápido de lo que se puedan nuevamente unir. (Zavala, 2021)

El vapor de agua se caracteriza en su uso en el sector industrial en lo siguiente:

- Materia prima de bajo costo.
- Amplio margen de temperatura de utilización.
- No es inflamable y no tóxico.

- Fácil de transportarse a través de tuberías.
- Alto valor de la entalpia de vapor saturado.
- Alto calor específico del agua en comparación a otros fluidos.
- Temperatura de condensación fácil de regular. (Zavala, 2021)

El vapor de agua es utilizado como un vector energético y se caracteriza por contener y transportar energía térmica desde un punto a otro a través de su valor entálpico contenido. El agua al transformarse en vapor saturado incrementa el valor de su entalpia especifica a partir de que se le suministra energía térmica en un generador de vapor del tipo acuotubular o pirotubular. El calor suministrado es el resultado de la combustión de un combustible dentro de un quemador u hogar, o por medio de la adición de calor con una resistencia eléctrica. En el sector industrial el empleo de la generación de vapor es a través de calderos pirotubulares, dentro del cual el agua tratada químicamente sufre dos transformaciones, la primera de ella es la de incrementar su calor sensible y luego realiza un proceso de cambio de calor latente hasta obtenerse vapor saturado. Para ello el agua debe estar tratada químicamente, principalmente para reducir completamente su dureza, y además contener ciertas características químicas en sulfitos, fosfatos, conductividad, entre otras que al final se obtenga un producto de alta calidad energética. (Junta de Castilla y León, 2010)

En la industria se tienen los siguientes tipos de vapor:

Vapor saturado. Esta referido a aquel vapor 100% seco obtenido a través de un proceso de presión y temperatura constante. Luego de incrementar su temperatura hasta el punto de vaporización en un proceso isobárico, el agua en estado de líquido saturado cambia de fase al estado de vapor saturado, 100% vapor seco. En estas condiciones el vapor está en condiciones de ser utilizado en procesos industriales de intercambio de calor directo (cocinadores de conservas) o indirecto (operaciones unitarias como secado o evaporación) o en las áreas de servicio de un hospital. (Yépez, 2018)

Vapor sobrecalentado, en este proceso el vapor saturado, continua un proceso de incremento de su temperatura en un proceso isobárico, generándose como resultado de ello, el vapor alcanza característica de calidad definida por su temperatura de mayor calidad para ser empleado en turbinas de vapor debido a su alta energía cinética. Con esta

calidad energética es de muy amplio uso en las centrales termoeléctricas como fluido energético al tener un valor alto entálpico, ya que al cambiar de niveles de energía puede desarrollar potencia mecánica en una turbina, la cual transforma la energía mecánica generada en energía eléctrica. (Yépez, 2018)

Vapor flash, es una fuente de energía terciaria obtenida por la expansión de los condensados recuperados de los procesos térmicos en la ruta de retorno al tanque desareador de una planta de producción de vapor saturado. El vapor flash en su forma de vapor saturado representa una fracción de los condensados recuperados a una presión entre 2 a 1,5 bar, en este estado termodinámicos adquiere un valor energético mucho mayor cuando se encuentra como líquido comprimido. También cuando se recupera condensados calientes presurizados y se expanden dentro de un recipiente a una menor presión, generándose vapor saturado a baja presión, pero de una alta calidad entálpica que es utilizado principalmente en procesos de calentamiento de fluidos de procesos. (Urcia & Zavaleta, 2016)

Al analizar los cambios de estado termodinámicos, esto se realiza a nivel macroscópico, no siendo necesario los análisis a nivel de su configuración molecular ni de las reacciones internas que se realizan dentro de la transformación, siendo importante solo el punto de inicio y el final. En condiciones de uso es relevante solo el equilibrio termodinámico existente y el valor del nivel de energía entálpica alcanzado para uso. (Cengel, et al., 2019)

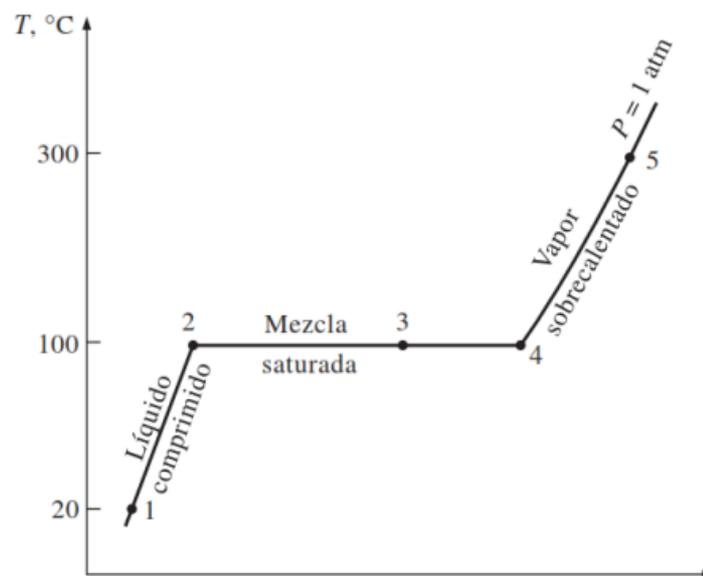
Según la figura 1, se describen los estados termodinámicos donde coexiste el agua en sus diversas presentaciones:

- 1-Líquido comprimido (1-2): es agua en la región de estado líquido a condiciones de temperatura inferior a su temperatura de cambio de estado termodinámico y con presión igual o mayor a la atmosférica.
- 2- Líquido saturado (2): se refiere al agua al inicio de su proceso de ebullición, estando con una presión correspondiente a ese estado.
- 3-Vapor húmedo de líquido-vapor (2-4): en este proceso el vapor húmedo contiene agua en estado líquido en ciertas proporciones, no se emplea en estas condiciones de entalpia.

- 4-Vapor saturado (4): en este estado el vapor es 100% seco libre de partículas de agua líquida suspendida, y se encuentra en condiciones óptimas de uso. Su valor de entalpía es hasta 4 a 5 veces el valor de su entalpía como líquido saturado.
- 5-Vapor sobrecalentado (4-5): es el vapor obtenido a partir del vapor saturado al cual se le incrementa el valor de su temperatura en un proceso a presión constante, en el cual el vapor alcanza niveles de energía mayores, empleados para accionar turbinas de vapor en centrales de energía. (Cequeira & Fontana., 2019)

Figura 1

Diagrama T-v para el proceso de calentamiento del agua a presión constante



Nota. Imagen obtenida del Texto de Termodinámica de Cengel, et al.

El vapor saturado se utiliza en la industria por lo siguiente:

- Para su generación el agua como insumo aún se considera de alta disponibilidad.
- A cada valor de presión le corresponde un valor de temperatura, un valor de entalpía específica y volumen específico.
- Posee un elevado potencial energético por unidad de masa.
- El vapor fluye por las redes de distribución de planta en función a un diferencial de presiones y no requiere bombas.
- El coeficiente de transferencia de calor es superior al valor del líquido saturado, con lo cual su nivel energético es superior. (Yépez, 2018)

### 2.1.2 Calderos pirotubulares.

Es un equipo térmico que funciona a presión constante que está conformado por un recipiente hermético metálico, completamente aislado, tiene por objetivo generar vapor saturado o sobrecalentado obtenido de agua tratada químicamente, para ello se suministra un combustible en estado líquido o gaseoso que combustiona con el oxígeno del aire por medio de una reacción de combustión, produciéndose la liberación de energía térmica necesaria el cual es aprovechado por el agua. El rendimiento de un caldero puede ser de hasta 87%. Los calderos pirotubulares también conocido como calderos de tubos de fuego, se caracterizan porque en el interior de los tubos de los calderos fluyen los gases calientes. (Corpus y López, 2015)

Figura 2

*Vista frontal de un generador de vapor pirotubular*



*Nota.* Imagen obtenida de Empresa Colquimaquinas.

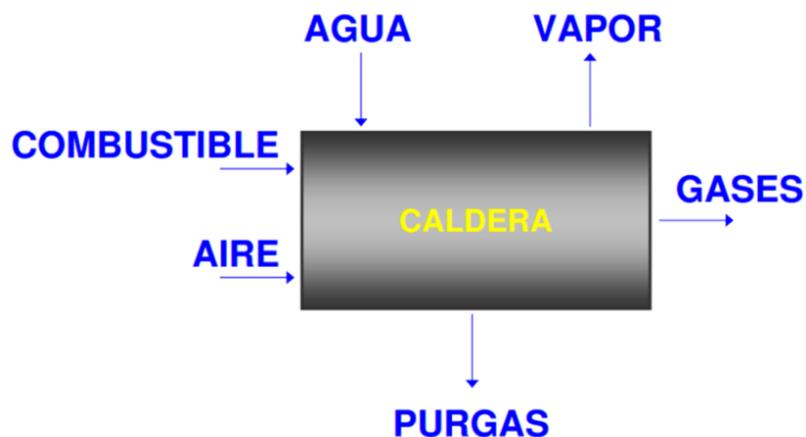
Un generador de vapor industrial tiene por finalidad generar vapor teniendo como insumo agua tratada químicamente. Este cambio de estado se produce por la adición de calor por la combustión de un combustible (no se emplean sólidos). En estas máquinas los gases de la combustión fluyen dentro de los tubos que están sumergidos en el agua alojadas dentro de un recipiente cerrado. Los calderos se diseñan para presiones de operación entre 7 a 10 bar y con potencias entre 100 a 2 500 BHP, para generación de vapor saturado a 1 565 Kg/h y 39 125 kg/h. (Barreto & Quiñonez, 2014)

La operación es la siguiente:

- El agua tratada químicamente, con 0 ppm de dureza, es inyectado al equipo por medio de una bomba de múltiples etapas o de operación variable a una presión mayor a la presión de servicio del equipo.
- La energía térmica suministrada se realiza a través del calor de reacción de un combustible a través de un proceso exotérmico y de oxidación entre un combustible y el oxígeno del aire, con un exceso de aire pre-determinado produciéndose gases de la combustión.
- El rendimiento del proceso es función del exceso de aire, con valores de 15 a 10% para combustibles gaseosos y 20 a 30% para combustibles líquidos, con el fin de alcanzar un alto valor de su temperatura de flama adiabática.
- La eficiencia del proceso de combustión dependerá de los valores de temperatura y presión del combustible, temperatura del aire, hermeticidad del hogar, condiciones de limpieza del quemador, calidad y turbulencia de la mezcla, entre otros. (Barreto & Quiñonez, 2014)

Figura 3

*Flujos intervinientes en calderos*



*Nota.* Imagen obtenida de Manual de Auditorias Energéticas de Guevara

- El flujo de calor sensible se transfiere desde los gases de la combustión al agua, con un grado de rendimiento del calor suministrado al calor útil. Posteriormente

los gases de combustión son expulsados por la chimenea generalmente con un proceso de tiro forzado.

- El agua caliente o vapor saturado o sobrecalentado fluye por medio de la válvula de globo de apertura variable hacia la red de distribución de vapor. En las redes, el condensado formado es retirado por diversos mecánicos, siendo el principal de ellos las trampas de vapor.
- Se requiere un permanente control del nivel de agua y su presión de operación dentro del caldero para su confiabilidad y segura operación. (Barreto & Quiñonez, 2014)

En los calderos, los gases de la combustión alta temperatura circulan dentro de los tubos de acero al carbono, los cuales están rodeados por el agua en proceso de evaporación. Se cuenta con un acamara de combustión donde se realiza la reacción y química y una caja de humos pro donde se deriva los gases a la atmosfera luego de ceder su calor latente. Cada grupo de tubos conforma un paso, presentando estos equipos números de pasos que van desde 2 a 4 pasos según su potencia. Las calderas pirotubular es de espalda húmeda, fijan sus tubos a través de uniones soldadas o expandidos en unas placas o espejos, para el caso de 04 pasos con espalda seca, la chimenea se u bica sobre la parte frontal del caldero. En la parte posterior y frontal se emplean materiales refractarios, para poder contener el calor aprovechable, así como en la parte lateral el cilindro del caldero este forrado con lana de vidrio. (Allauca, 2019)

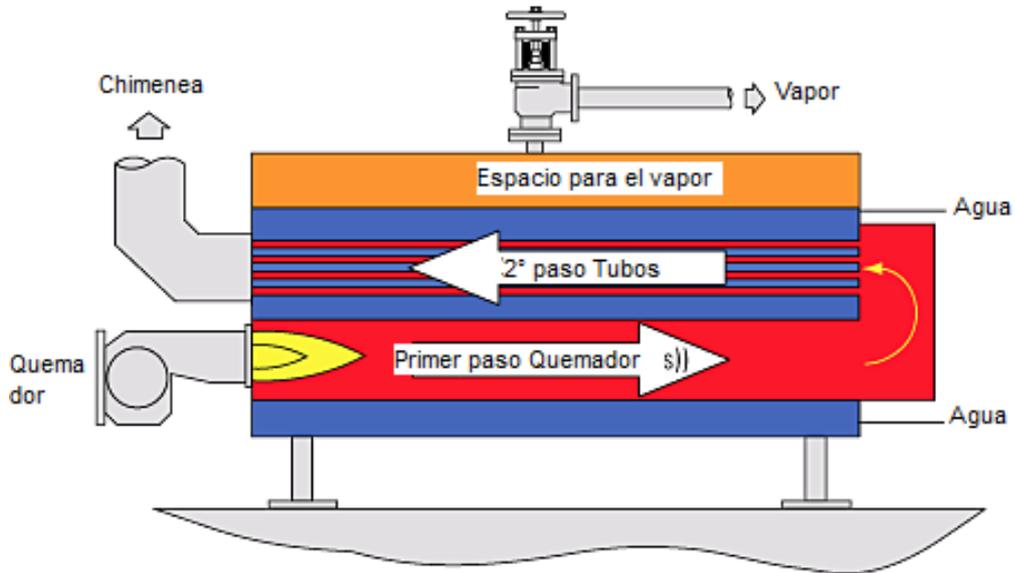
Los calderos pirotubulares están diseñadas para una óptima utilización del calor sensible contenido en los gases de combustión según las siguientes características:

- El cuerpo central del caldero, este compuesto por un cilindro horizontal fabricado de acero y con uniones de soldadura especial, contiene dentro los grupos de tuberías o banco de tubos hasta una altura de  $\frac{7}{8}$  a  $\frac{3}{4}$  de su diámetro, el ultimo tubo superior deben diseñarse para ser ubicado a 2” del nivel máximo de agua dentro del cilindro.
- El flujo de los gases se inicia desde la cámara frontal hasta la cámara posterior donde culmina su recorrido y viceversa hasta fluir por los pasos diseñados en cada caldero. (Allauca, 2019)

De acuerdo al número de viajes horizontales que realizan los gases de la combustión, se tienen arreglos de 2, 3 y 4 pasos para calderos.

Figura 4

*Corte transversal de un Caldero de 2 pasos.*



*Nota.* Imagen obtenida de Manual de Auditorias Energéticas de Guevara

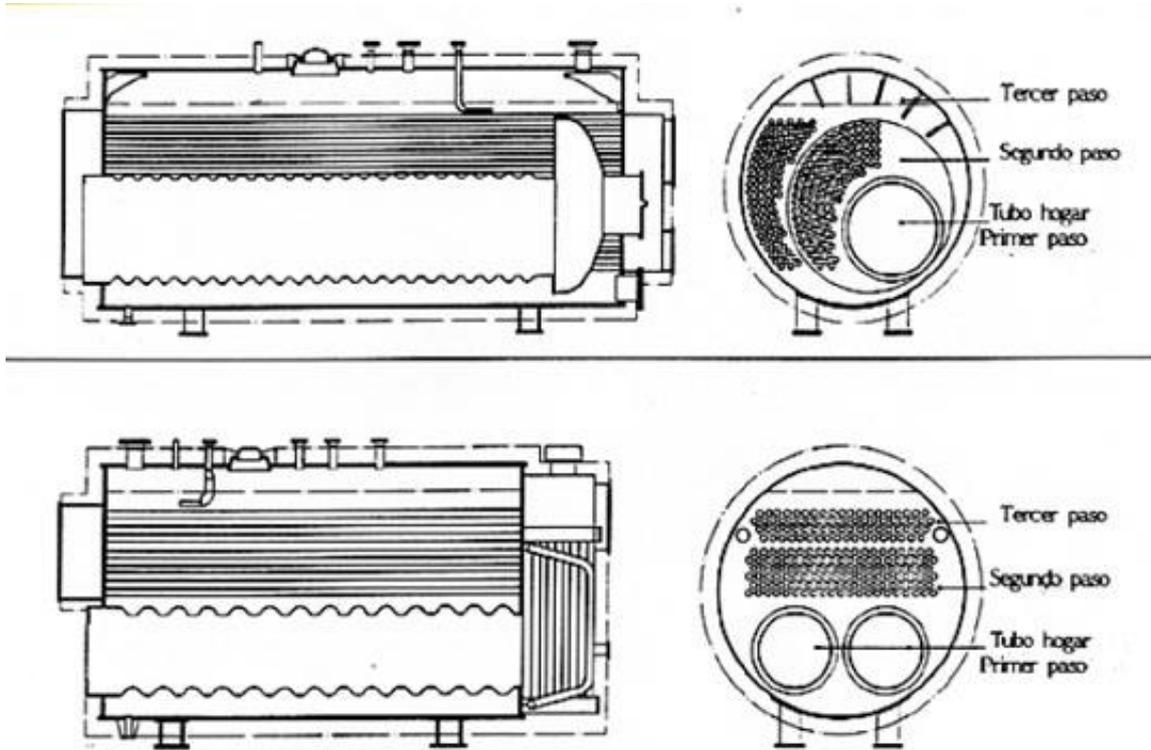
Dependiendo la ubicación de la chimenea, se tienen calderas de espalda seca, en este caso la chimenea se ubica en la parte posterior y calderas de espalda húmeda, en este caso la chimenea se ubica en la parte frontal.

Pueden ser de hogar o flue único o doble, dependiendo del valor de su potencia.

La potencia de un caldero está dada en BHP, se estableció en 1889 por la institución ASME. Este valor se fundamenta en una máquina de vapor que utiliza 13.62 kg (30 lb) de vapor por hora con una presión de servicio de 4.9 kg/cm<sup>2</sup> (70 psi) y con temperatura de 38.5 °C (101 °F). Lo cual corresponde a evaporar 15.65 kg (34.5 lb) de agua por hora a 100 °C (212 °F), con una conversión energética de 15.65 kg de agua por hora a 100 °C en vapor saturado a 100 °C, a una presión atmosférica normal (1.033 kg/cm<sup>2</sup>), dentro una superficie de transferencia de calor de 0,929 m<sup>2</sup>. Se construyen calderas desde 10 a 2 500 BHP. El BHP es un indicador para comparar calderas pirotubulares. (Guevara, 2023)

Figura 5

*Vista frontal, lateral y posterior de un Caldero*



*Nota.* Imagen obtenida de Manual de Auditorias Energéticas de Guevara

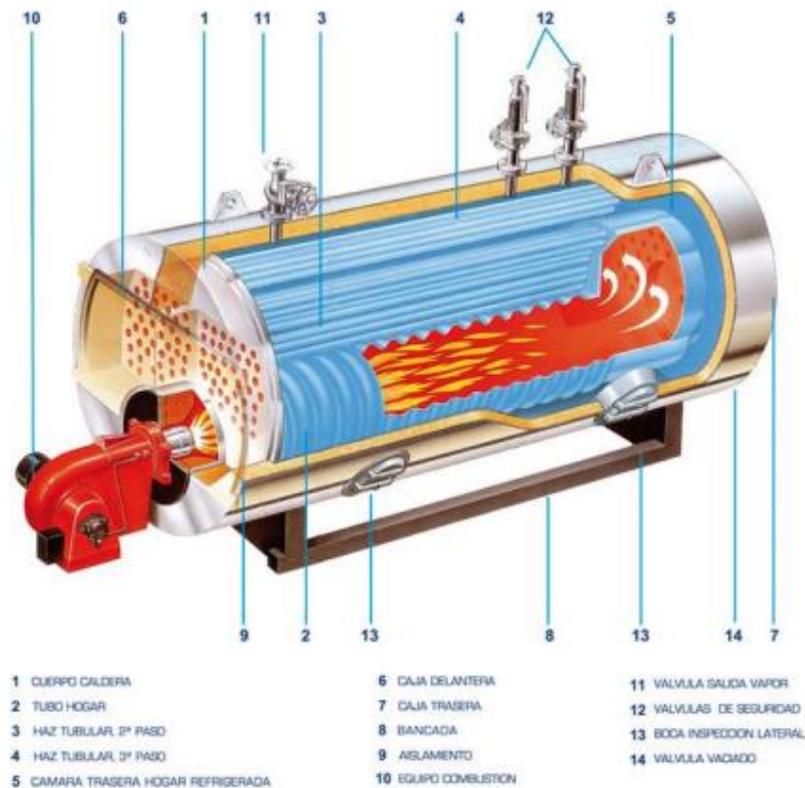
Las principales partes de un caldero pirotubular son las siguientes partes:

- Quemador. Puede ser estático o rotativo.
- Hogar o flue: donde está alojado el quemador, está rodeado por material refractario y está en la capacidad de soportar las altas temperaturas de la reacción de combustión.
- Tubos de acero a través del cual se realiza la transferencia de calor desde los gases calientes producidos por la combustión hasta el agua.
- Chimenea: es el ducto de salida de los gases de la combustión. (Zavala, 2021)
- Redes de distribución: desde donde el vapor se distribuye a los centros de consumo de vapor.

- Bomba: por lo general es multietapa de caudal variable para una eficiente alimentación de agua según el régimen de operación del equipo. Pueden ser verticales o horizontales.
- Carcasa o cilindro: contiene el hogar o flue y el banco de tubos. Esta recubierta por lana de vidria en la parte lateral y material refractario en sus extremos. Está diseñada para soportar esfuerzos mecánicos a alta temperatura según la norma ASME Sección VII para recipientes sometidos a presión. (Zavala, 2021)

Figura 6

*Partes de una Caldera Pirotubular*



*Nota.* Imagen obtenida de Tesis de Zavala.

### 2.1.3 Evaluación de calderos pirotubulares.

En los generadores industriales de vapor, se procura una combustión segura y eficiente para un bajo costo de operación. El diseño del quemador determina la calidad de la mezcla entre el combustible y el aire, tamaño de partículas del combustible y el tipo t tamaño de la llama generada. La operación de un calor requiere una lata calidad técnica en su

operación para obtener el mayor aprovechamiento del calor de reacción del combustible, el cual involucra un costo de adquisición. (Huamancayo, 2017)

Las reacciones químicas deben presentar condiciones adecuadas para la combustión:

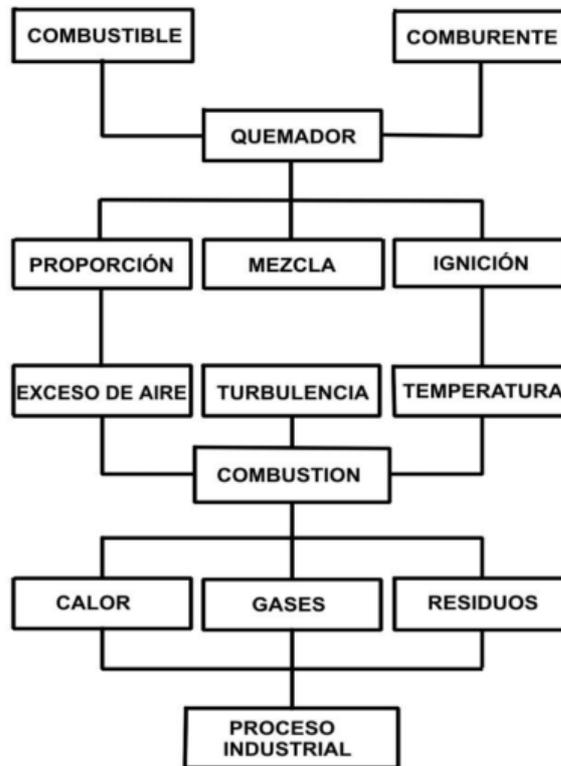
- Adecuada relación combustible y aire.
- La mezcla debe ser uniforme, para ello la arquitectura del quemador deberá proporcionar la mezcla idónea y su turbulencia.
- La temperatura de ignición o inflamación de la mezcla es controlada por un programador electrónico de tal manera que el combustible continúe su ignición hasta alcanzar la estabilidad de la llama. (Huamancayo, 2017)

El exceso de aire es un parámetro de operación de relevante importancia para la reacción de combustión y las reacciones intermedias que se presentan, el tamaño de la partícula del combustible retarda la mezcla optimas entre el combustible y el aire debido a la rapidez del proceso en el hogar y dentro de las tuberías. Del mismo modo la naturaleza fisicoquímica de un combustible requiere de un adicional de aire para evitar la formación de partículas inquemadas o monóxido de carbono por disociación y generándose un bajo desprendimiento de energía, lo cual repercute en el bajo nivel de energía útil obtenida. Par combustibles en estado gaseoso como el GLP y el GNV se tienen excesos de aire entre 10 a 15%, mientras que para combustibles líquidos entre 20 a 30% y para combustibles sólidos entre 40 a 45% de exceso de aire. (Huamancayo, 2017)

La eficiencia de la reacción de combustión esta referida al grado de aprovechamiento entre la energía térmica útil para la generación de vapor desde agua, con la energía térmica de la reacción de combustión en el hogar, la cual va depender de diversos factores propios de la combustión tal como el exceso de aire, la calidad y turbulencia de la mezcla y la temperatura de la ignición, para lo cual valores de temperatura y presión adecuados permiten alcanzar valores de rendimiento de combustión cercanos al 100% . De alguna manera el grado de mantenibilidad del quemador y el nivel de aislamiento del caldero contribuyen en la mejora de la eficiencia. (Huamancayo, 2017)

Figura 7

*Requisitos para una óptima combustión en un caldero*



*Nota.* Imagen obtenida de Texto Combustion industrial de Castillo Neyra.

El control de la reacción de combustión requiere la regulación de la entrada de combustible con el fin de mantener un flujo continuo de vapor a una presión constante, y así mismo regular el ingreso de aire al caldero en proporción correcta al ingreso de combustible. En la actualidad existen cambios económicos y técnicos en la operatividad de la industria para ser más competentes. Por lo cual es necesario implementar novedosos sistemas de control con el fin de:

- El mantenimiento de una presión del vapor constante y un flujo masico según las condiciones de operación de la demanda.
- Optimización del consumo de combustible a través de un incremento de la eficiencia.
- Reducción de las emisiones. (Huamancayo, 2017)

Factor de carga: Es un indicador de operación que permite comparar los BHP de operación con los BHP nominales para determinar el grado de uso de la capacidad de generación del equipo.

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{BHP de operacion}}{\text{BHP nominales}} \dots \dots (1)$$

Es recomendable operar un caldero con un Factor de Carga entre 85 a 90 %, para alcanzar la máxima eficiencia del equipo. (Guevara, 2023)

El rendimiento representa el indicador más relevante de un caldero, ya que representa el grado de aprovechamiento del calor de la reacción del combustible para poder generar flujo de calor útil o generar vapor saturado en ciertas condiciones de presión. El objetivo de un caldero, es aprovechar con un máximo grado la transferencia de calor desde los gases de la combustión hacia el agua en proceso de ebullición, para ellos factores de operación como exceso de aire, calidad de mezcla, condiciones de presión y temperatura del combustible, así como el tipo de quemador incluyen significativamente en el rendimiento. Por otro lado, también juega un papel relevante la calidad del agua de procesos. (Guevara, 2023)

Método directo para evaluar eficiencia del caldero. Conocido como el Método input-output debido a que solo se requiere evaluar las condiciones de ingreso o suministro de energía térmica al equipo y las condiciones de la energía útil en el vapor saturado generado. Representa la influencia de la variación de la operación del caldero incluyéndose los periodos de arranque y parada del quemador, así como las purgas continuas o temporales realizadas al agua de calderos. (Guevara. 2023)

Se evalúa empleando la fórmula:

$$\eta = \frac{\text{Potencia Calorifica Util}}{\text{Potencia Calorifica suministrada}} * 100\% \dots \dots (2)$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_v * (h_2 - h_1)}{\dot{m}_c * Pci} * 100\% \dots \dots (3)$$

Dónde:

$\dot{m}_v$  =Flujo masico de vapor generado.

$(h_2 - h_1)$  = Variación de entalpía específica.

$\dot{m}_c$  = Flujo másico del combustible utilizado.

$P_{ci}$  = Poder calorífico inferior característico de cada combustible.

Potencia térmica suministrada: La medida de ingreso o suministro de flujo de energía calorífica es de vital importancia por estar asociado al costo del combustible. Es un valor medible básicamente para la diversa tecnología existente para medir el flujo masico de combustible ya sea a través de medidores de flujo ultrasonido o contadores de líquidos. Para combustible gaseoso: los contadores deben estar normalizados según las condiciones standard de suministro de gas natural por el distribuidor externo para tener una medida exacta del consumo de combustible. (Guevara, 2023)

Para combustible líquido: El petróleo R500 es de alta densidad y viscosidad la cual varía según la temperatura. El medidor es instalado sobre la tubería de suministro de combustible, teniendo en cuenta siempre los puntos de retorno. En ciertos casos se emplea el método de diferencia de alturas en cilindros verticales cubicadas. (Guevara, 2023)

Potencia calorífica útil. Relacionado a la entalpia final que consigue el vapor saturado generado y la entalpia de entrada del agua de alimentación al caldero. La temperatura de entrada de agua de alimentación al caldero tiene una gran influencia en el rendimiento de la generación y el consumo de combustible asociado a ello. Por ejemplo, se requiere menos combustible cuando la temperatura del agua de alimentación es de 100 °C con respecto a un caso en el cual ingresa a 80 °C o menos. (Guevara, 2023)

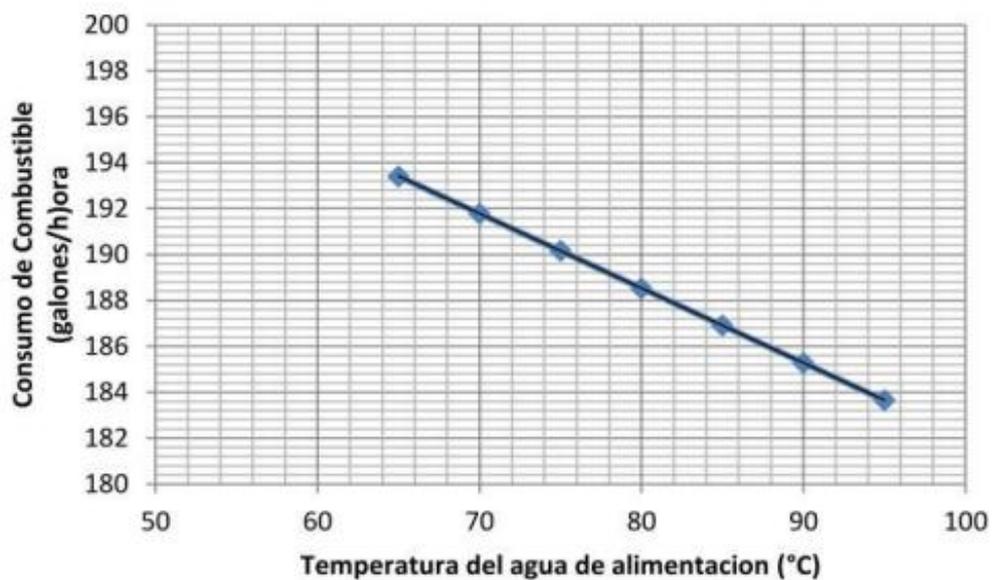
La temperatura del agua de reposición durante el proceso de vaporización dentro un caldero juega un papel muy relevante debido a que este asociado al consumo de combustible, cada grado de temperatura que debe elevarse hasta antes de alcanzar la temperatura de saturación a la presión de servicio del caldero. La temperatura del agua de suministro está limitada por la succión del agua en la bomba de agua, la cual a una temperatura próxima a 100°C genera cavitación. Al ingresar el agua a 100 °C, deberá emplearse un equivalente en combustible para aumentar la temperatura del agua de suministro. Hay que agregar que la temperatura del agua de alimentación es producto de

la mezcla de los condensados calientes recuperados y el agua de reposición a temperatura ambiental en el tanque desareador. (Garcia.2013)

El incremento de la temperatura del agua de suministro al caldero permite disminuir el consumo de combustible, referido al gas natural o petróleo empleado para calentar el agua al punto de saturación. Cuando se aprovecha el flujo de energía térmica de los gases de combustión en 20 °C se consigue incrementar el valor de la temperatura del agua de suministro a calderos en 15 °C, con un aumento del rendimiento de 3%. Para este proceso se emplean los economizadores los cuales se ubican en las chimeneas de los calderos. (Guevara, 2023)

Figura 8

*Influencia del calentamiento del agua de alimentación en el consumo de combustible en calderos*



*Nota.* Imagen obtenida de Revista Ignosis,2017.

El agua de alimentación en una caldera es un recurso crítico que debe ser controlado y manejado de manera óptima para garantizar la operación segura y eficiente de las calderas industriales. Los parámetros de control, como la concentración de sólidos disueltos, el pH y el oxígeno disuelto, deben monitorearse y ajustarse regularmente. Además, las purgas continuas e intermitentes desempeñan un papel vital en el mantenimiento de la calidad del agua y la integridad de la caldera. La comprensión y la implementación adecuada de

estas prácticas son esenciales para prolongar la vida útil de las calderas y minimizar los gastos de mantenimiento y reparación. (Pérez, 2023)

El agua de alimentación en una caldera es el componente primordial que se utiliza para generar vapor. Su calidad y manejo adecuado son esenciales para evitar problemas operativos, daños a la caldera y, en última instancia, garantizar la seguridad de las instalaciones y la eficiencia energética. El costo que implica su tratamiento conlleva a la implementación de técnicas de eficiencia y ahorro energético para la reducción de costos. (Pérez, 2023)

Un factor relevante en el rendimiento de la generación de vapor es el valor de la temperatura del agua de suministro. Cuando se tiene un valor mucho más alto de la temperatura de ingreso de agua, su efecto será el de la reducción del ingreso de combustible empleado en el caldero, ya que será menor el requerimiento térmico para que desde la temperatura de ingreso del agua se alcance la temperatura de saturación para el cambio de estado dentro del caldero. (Guevara, 2023)

Por cada 3° C de aumento de la temperatura del agua de alimentación se incrementa el rendimiento del caldero en 1%, el valor numérico presenta importancia cuando se tiene en cuenta las horas de operación mensuales de un caldero que consume por ejemplo 150 galones hora, para un total de 100 horas mes de trabajo se pueden obtener 150 galones de combustible dejados de consumir. El incremento del valor de la temperatura por métodos clásicos se realiza mezclándolo directamente con vapor saturado saliente del caldero, recuperando los condensados limpios de los procesos de la industria o calentando el agua con un calentador de agua instalado en la chimenea, pero solo es válido técnicamente para combustibles gaseosos. (Guevara, 2023)

#### 2.1.4 Circuito de uso del vapor

En las redes de distribución de vapor saturado se cuenta con una eficiencia promedio del 95%. El vapor es generado en calderos y luego es remitido a un manifold o distribuidor de vapor donde se regula la presión antes de derivar el vapor a los centros de consumo. En la red de distribución se debe contar con accesorios de control y medición como reguladores y válvulas de seguridad, purgadores y trampas de vapor para eliminar los

condensados formados, juntas de dilatación para las uniones mecánicas, soportes para evitar el pandeo de tuberías y debe estar debidamente aislada para evitar las pérdidas de energía térmica. (Valverde, 2017)

El uso del vapor saturado en la industria requiere condiciones para su empleo con la finalidad de alcanzar en los puntos de consumo un vapor saturado de calidad en su composición y presión, para ello reviste importancia el rol de la ubicación de las trampas de vapor, las cuales pueden ser del tipo mecánicas, termodinámicas o termostáticas, y cumplen la función de retirar el condensado formado en las redes de distribución de vapor de grandes tramos. Así mismo la operación del estado de las trampas de vapor es importante ya que un mal estado de una ellas pueden generar mayores pérdidas en la red de distribución con una mayor formación de condensados y enfriamiento en tramos de la red. (Valverde, 2017)

Los sistemas de vapor están formados en su arquitectura por tres subsistemas: la red desde el generador de vapor hasta el manifold, desde el manifold a los puntos de consumo y la red de recuperación de condensados (la cual al estar asociado a un costo) los cuales en muchos casos debido al flujo y presión pueden ser recuperados para generar energía del tipo terciaria en forma de vapor flash o en otros casos recuperarlos directamente e inyectarlos en el desareador para mezclar y calentar el agua de reposición, empleado para compensar las pérdidas de la distribución. En las empresas de harina de pescado se presenta un alto índice de intensidad de consumo de vapor. (Valverde, 2017)

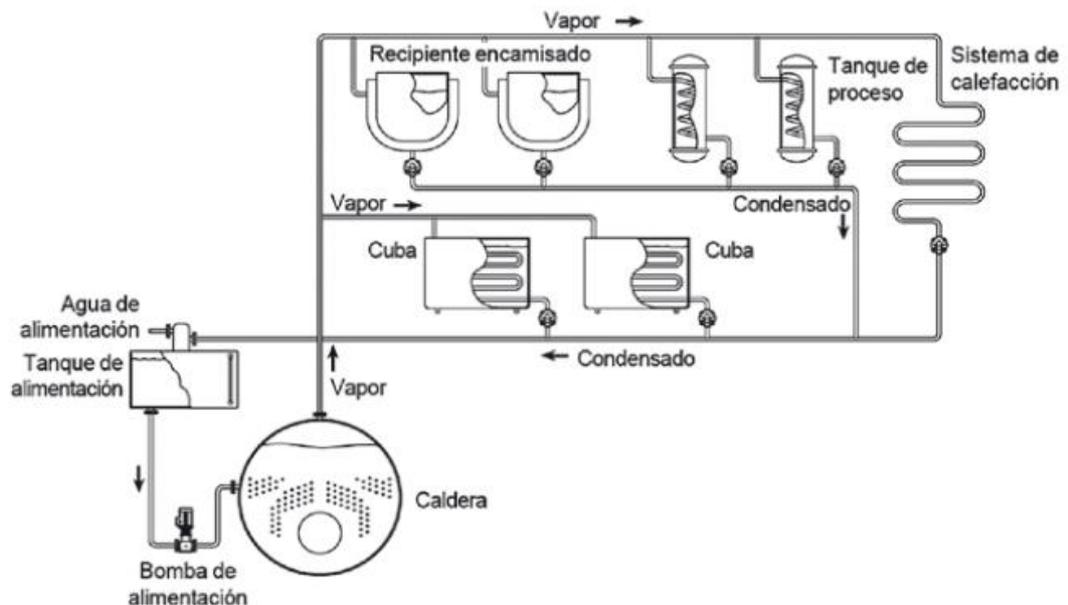
Es importante reconocer la forma de aprovechar la entalpía del vapor saturado. En este caso según el tipo de equipos consumidores de cada planta se predetermina el valor de la presión de producción de vapor, para lo cual es necesario realizar un estudio de flujo de fluidos para determinar si la presión generada es la idónea. Debido a que en muchas empresas se regula la presión desde la presión de distribución, por ejemplo, desde 6 bar a 4 bar, con la consiguiente pérdida del nivel energético y de entalpía. Hay que tener en cuenta que el costo de generar vapor a una presión mayor está asociado a una mayor facturación del combustible. Por lo tanto, la transferencia de energía térmica en el punto de consumo deberá estar asociado con la presión de generación entre 50 a 75 % más. (Junta de Castilla y León, 2010)

Por otro lado, los condensados, representan el vapor que ha pasado desde el estado de vapor saturado a liquido saturado luego de ceder su calor latente en un centro de consumo. Según su presión de operación el condensado tendrá un valor de temperatura característica, según el cual se podrá aprovechar condensados que presentan temperaturas entre los 105 a 150 °C según el tipo de centro de consumo. Aunque el valor de la entalpía de los condensados es relativamente bajo, su valor de temperatura aun es alto el cual requiere su utilización. (Junta de Castilla y León, 2010)

Los condensados por su presión no requieren un sistema de bombeo para fluir hasta el tanque desareador, pero para casos en los cuales se requiera su inyección directa al caldero requieren de bombas especiales para elevar su presión hasta el valor de la presión de servicio del caldero, con la finalidad de que la temperatura del condensado influya sobre la temperatura del agua ingresante al caldero, alcanzándose valores de 120 a 130 °C según el caso. (Junta de Castilla y León, 2010)

Figura 9

*Esquema básico de una red de distribución de vapor*



*Nota.* Imagen obtenida de Spirax Sarco

Debido a los cambios de estado para el empleo de las redes de distribución se requiere utilizar elementos en la red muy específicos en estos sistemas. Los reguladores de presión se instalan por lo general a la salida de los manífol o cabezales de vapor, para regular la presión de distribución, generalmente van acompañadas de válvulas de seguridad, que son accesorios que liberan las sobrepresiones de vapor ante un exceso de vapor generado o el cierre de ingreso de vapor en un centro de consumo. Las unidades de venteo se emplean para liberar el aire contenido en las redes de distribución antes de iniciar el proceso de distribución de vapor por la red. Del mismo modo la inclinación de la red de vapor juega un papel importante en la distribución adecuada de un vapor de calidad. (Junta de Castilla y León, 2010)

La presencia de aire en una red de vapor genera pérdidas, esto debido a que el aire posee un bajo calor específico y mala transmisión térmica. Esto requiere el uso de purgadores de aire que garanticen la eliminación del aire. Esto es común en sistema de distribución intermitentes; que, al enfriarse, absorben el aire por la contracción del fluido que se produce debido al enfriamiento. (Junta de Castilla y León, 2010)

Figura 10

*Manífol de una red de distribución de vapor*



*Nota.* Imagen obtenida de Termotecnia Ingenieros

La presencia de condensados es inherente del proceso de distribución de vapor en redes y se genera debido a que el vapor ingresa a zonas frías de la red, lo cual también puede presentarse en los mismos equipos que consumen vapor. La presencia de condensados se genera por lo general en los periodos de arranque, en la cual se presentan puntos con condensados fríos del proceso anterior que no han sido retirados o por la presencia de aire en la instalación. La presencia de condensados fríos en la red produce golpes de ariete o choques térmicos contrarios al flujo de vapor restándole eficiencia a la distribución. Una vez que se estabiliza el régimen térmico en una red, puede seguir generándose condensados debido a mal funcionamiento de redes de vapor, falta de aislamiento o por mala calidad del vapor generado con presencia de arrastre de partículas de agua líquida. (Junta de Castilla y León, 2010)

La presión de distribución del vapor es función de la presión de servicio de los equipos consumidores de calor, la distancia desde el manifold al punto de consumo, el número de cambios de dirección de la red, cantidad de accesorios, entre otros factores. En resumen, para la selección de la presión de operación, se toma en cuenta lo siguiente:

- Presión a la entrada del centro de consumo.
- Gradiente de presión en la red en función de su longitud.
- Número de accesorios por pérdidas secundarias.
- Estado de las trampas de vapor.
- Pérdidas de calor en las redes de tuberías sin aislamiento. (Junta de Castilla y León, 2010)

Las tuberías según el API se clasifican de acuerdo al espesor de pared de la tubería, llamado Schedule o SCH. Este parámetro técnico se relaciona con la presión de diseño de la tubería y su material, son un total de once, desde 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160. Para tuberías de diámetro nominal 150 mm y menores, el SCH 40 (denominado a veces 'standard weight'), es de menor espesor. Las tuberías con Schedule 40 y 80 cubren una gama completa de medidas normalizadas empleadas desde 15 mm a 600 mm y son los grados de tubería SCH utilizados en las redes de distribución de vapor. (Junta de Castilla y León, 2010)

## 2.2 Condensados.

### 2.2.1 Generalidades.

El condensado es agua de alto grado de pureza con un valor de temperatura relativamente elevada entre 115 a 150 °C según su presión de origen. Su calidad y el costo asociado a su generación implican la necesidad de recuperarla y aprovechar técnicamente su temperatura antes de retornarla al tanque desareador. La recuperación de condensados se realiza con la finalidad de disminuir el consumo de calor, agua de reposición, insumos químicos empleados para el tratamiento de agua y sobre todo disminuir los costos operativos por compra de combustible. Del mismo modo este asociado a la reducción de gases de efecto invernadero al reducirse el consumo de combustible. (Yépez, 2017)

En las Instalaciones consumidoras de vapor medianas y pequeñas, existe una tendencia a generar y distribuir el vapor a una presión entre 7 a 10 bar. En Instalaciones grandes de procesos industriales que involucran elevadas cantidades de intercambio de calor se emplean redes paralelas de distribución a presiones distintas una de otras con la fin de optimizar el flujo de combustible durante el proceso de generación, con lo cual se independizan calderos según los centros de consumo. (Guevara, 2023)

El condensado al no ser eliminado de las tuberías, será arrastrado hacia los equipos generándose posibles y graves problemas tal como el golpe de ariete. Por lo tanto, es importante la eliminación del condensado tan rápido como se produzca, aunque su contenido energético es elevado, su aprovechamiento haría el proceso de calentamiento lento, teniendo en cuenta que el coeficiente de transferencia de calor del vapor es aproximadamente tres veces al del agua. Por lo general el condensado de las redes de vapor no es recuperado. (Guevara, 2023)

Las redes de recuperación de condensados son aquellas que retornan el condensado de varios colectores de salida de las trampas de vapor y lo derivan hacia el desareador con la finalidad de mezclarse con el agua de reposición. El dimensionamiento del diámetro de las tuberías de retorno implica ciertos problemas distintos las redes de distribución de vapor. El problema de mayor importancia es la generación de vapor flash. Una tubería de recuperación de condensados debe de ser capaz de retornar al condensado evitando las pérdidas energéticas para lo cual la determinación del valor promedio de la velocidad del

condensado es muy importante, con valores de 0,5 a 4,0 m/s dentro de una tubería circular. Una mayor velocidad ocasionara erosión y una velocidad pequeña produce sedimentación. (Fonseca, 2011)

En el desareador se recolecta el condensado retornado desde los equipos consumidores de calor para ser reinyectada en el los calderos por medio de una bomba de agua multietapa. En el desareador, el cual debe estar a una temperatura de 100°C, los condensados recuperados incrementan el valor del agua de reposición con la finalidad de que pueda liberar el O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> disuelto en el agua, que puede ocasionar corrosión en las tuberías de los calderos. En otros casos se emplea el condensado directamente como fluido energético secundario para procesos de calentamiento a baja temperatura. (Fonseca,2011)

Si 1 000 kg/h de vapor es suministrado a un equipo consumidor de vapor tal como cocción o secado, entonces al ser un proceso indirecto, se recupera también 1 000 kg/h de condensado, pero con un menor valor de entalpia. La recuperación del condensado es un proceso de reutilización del agua de alto valor económico y el calor sensible contenido en el condensado retornado. El recupero de condensado, en vez de derivarlo al drenaje, genera ahorros importantes de dinero, reactivos químicos, combustible tratamiento químico y agua de reposición. El condensado tiene las siguientes posibilidades de empleo:

- Para mezclar el agua de reposición en el desareador.
- Para procesos de precalentamiento, en fluidos a baja temperatura.
- En la generación de revaporizado.
- Como agua caliente, en limpieza de máquinas, equipos o como agua sanitaria.

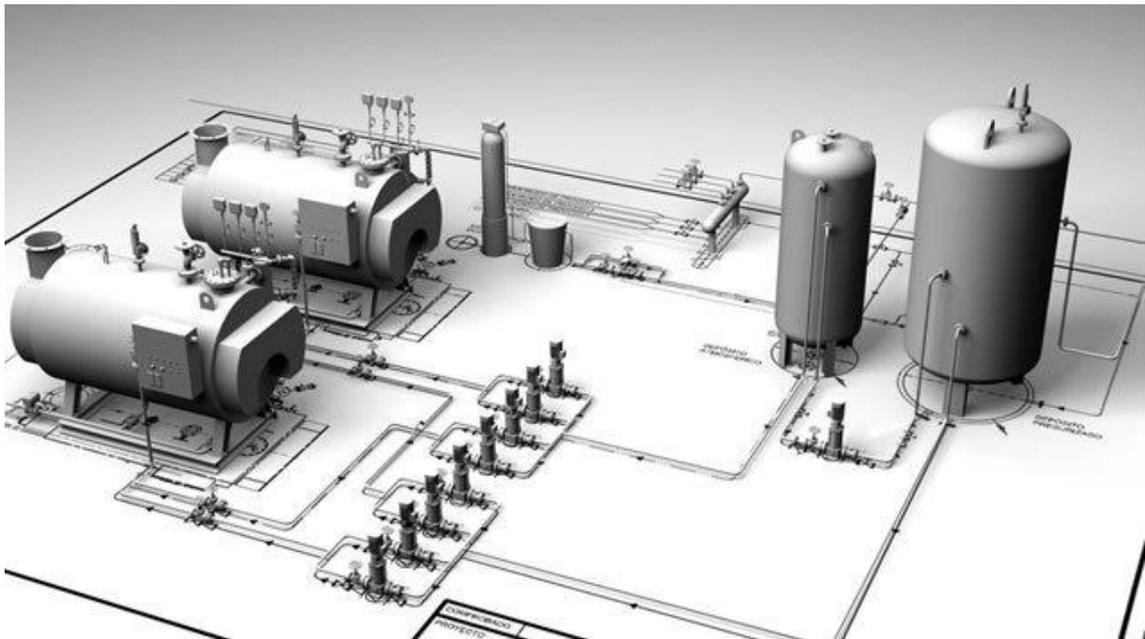
(Spirax Sarco, 2018)

La recuperación de condensados se realiza de tal manera que las tuberías no interfieran con la operatividad de las trampas para vapor. Por lo tanto, un sistema de condensados presurizados podría generar ahorros significativos a una empresa como mínimo entre 15% a 35% de la facturación por consumo de combustible, cuando se le compara con un sistema de recuperación de condensados convencional eliminado al medio ambiente. (Yépez, 2018)

El condensado se forma en las redes de distribución y dentro de las tuberías de los puntos de consumo debido a pérdidas de transferencia por calor por radiación y conducción. El condensado formado en los sistemas de vapor deberá ser removido y usado en la alimentación de calderas ya que mantiene el 35-25% de la energía proporcionada en la caldera y es un subproducto de alto valor energético. (Yépez, 2018)

Figura 11

*Sistema de recuperación de condensados*



*Nota.* Imagen obtenida de Termotecnia Ingenieros

El condensado es el fluido proveniente del cambio de estado desde vapor saturado a líquido saturado luego de ceder su flujo de calor latente. Su valor está asociado al costo de generación del combustible empleado para generar el vapor saturado, y representa más del 90% del costo de generación. El condensado contiene cerca del 25% de la energía utilizable del vapor, esto debido a que en las condiciones de recuperación cuenta con una entalpía específica (no tan alta como la del vapor saturado) pero sí tiene un alto nivel energético debido al valor de su temperatura. El condensado retorna al tanque desareador o en algunos casos se genera a través del vapor flash para procesos de calentamiento. Cada 6°C de aumento de temperatura del agua de reposición al caldero equivalente para alcanzar un ahorro consumo de combustible de 1%. (Spirax Sarco, 2018)

Los condensados calientes provienen del agua que ha sido tratada químicamente inicialmente, libre de dureza y con una calidad de agua con un bajo porcentaje de STD dentro del agua. Del mismo modo su recuperación involucra la reducción del nivel de purgas intermitentes del caldero. El tratamiento químico con diversos tipos de reactivos involucra un costo que debe optimizarse, y mediante la recuperación de condensados se consigue. (Spirax Sarco, 2018)

### 2.2.2 Valor energético de los condensados.

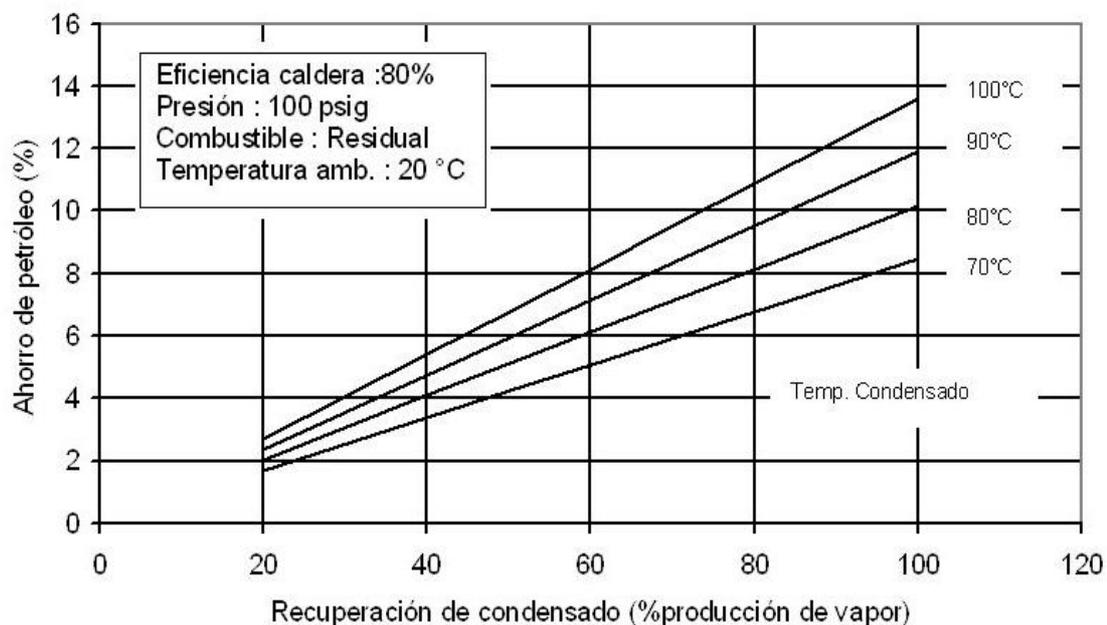
El retorno de condensados permite una reducción de consumo de combustible en el caldero y menores costos operativos por lo siguiente:

- El condensado por lo general retorna con una temperatura de 140 a 110 °C, con lo cual presenta un alto nivel energético en función a su temperatura, en caso de no ser aprovechada, deberá ser cubierta por un adicional de combustible que deberá emplearse.
- Si el condensado se desechase; el agua de alimentación aumentaría en volumen originándose un mayor costo en los reactivos químicos empleados para ablandar el agua.
- El agua de suministro que sustituye a un condensado no recuperado presenta mayor cantidad de impurezas. Con lo cual deberá incrementarse la frecuencia de purgas. Un factor relevante en la recuperación de condensados es que, al reducirse el consumo de combustible, este último está asociado a las emisiones emitidas a la atmosfera, debido a que la descarga de fluidos calientes presenta impactos negativos. (ríos, lagos, etc.) (Yépez, 2017)

El condensado es un fluido de alto valor energético debido a su volumen conteniendo una cantidad significativa de calor sensible, en un 10 al 30% de la energía primaria suministrada al vapor. El suministro de condensado a alta temperatura permite la maximización de la operación de la generación de vapor al emplearse una menor cantidad de combustible. Cuando es eficiente el proceso de recuperación se pueden alcanzar reducciones de consumo de combustible entre el 10 y el 20%. (Zavala, 2021)

Figura 12

*Ahorro de combustible por recuperación de condensados*



*Nota.* Imagen obtenida de PAE-MINEM

Se recomienda siempre la remoción de las impurezas contenidas en los condensados para lo cual es importante la filtración mecánica o en otros casos algún tipo de tratamiento químico para eliminar los insolubles. Por lo general el condensado solo presentara partículas provenientes de la parte interna de las tuberías que son arrastrados con el flujo. (Zavala, 2021)

La reducción del flujo de combustible se realiza por la recuperación de condensado, así como una menor contaminación del medio ambiente, reduciéndose los contenidos emitidos de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>. Las redes de retorno de recuperación de condensado disminuyen las nubes de vapor, reducen el nivel de ruido producido por la descarga del condensado hacia la atmósfera y previenen los depósitos de agua en el suelo de la planta. En función al contenido de condensados recuperados y reusados, se pueden presentar otros beneficios como la reducción de purgas de caldera como resultado de la mejor calidad del agua. (Zavala, 2021)

La red de tuberías de recuperación de condensado permite el retorno de los mismos a la red de consumo de vapor por medio de las trampas de vapor. Las trampas de vapor son mecanismos que permiten trabajar, en las proximidades de la zona de saturación y con una presión diferencial lo suficiente entre el lado del vapor y el lado de descarga del condensado. Con este fundamento se analiza lo que ocurre cuando una trampa de vapor realiza una descarga, solo evacua el condensado o líquido saturado a una presión que es la de la red de distribución de vapor, hacia una segunda red que cuenta con una presión menor a la de la red principal de vapor. (Zavala, 2021)

El retorno de condensado es el proceso que permite volver a utilizar el agua y el calor contenido, lo que puede dar como resultado ahorros de energía térmica, de componentes químicos para el tratamiento químico y reposición de agua y, la reducción de costos. La recuperación de condensados permite la optimización de los procesos al retorno un fluido utiliza al cual se le puede generar un valor agregado. Con ello vuelve al circuito inicial de generación de vapor con un calor remanente para iniciar nuevamente el ciclo de generación de vapor. (Spirax Sarco, 2021)

Para este proceso de recuperación se requiere contar con equipos idóneos tales como redes de retorno de condensados, trampas de vapor, sistemas de control de condensados y en algunos casos bombas mecánicas o de accionamiento eléctrico para impulsar al condensado. Las Estaciones de Recuperación de Condensados CRU, constan de estaciones con bombas, por lo general conformado por un mecanismo de recepción atmosférico y un sistema de control de nivel de una o dos bombas. Los equipos para recuperar condensado son:

Bombas mecánicas.

Bombas automáticas. (Spirax Sarco, 2021)

### 2.2.3 Sistemas de recuperación de condensados.

Se clasifican en atmosféricos (que son ventilados a la atmósfera) y presurizados (cerrados a la atmósfera o herméticos) esto depende si el condensado retorna hacia un depósito abierto a la atmósfera tal es el caso de un desareador o se deriva a un recipiente presurizado o de forma directa al caldero. En un sistema venteado se aprovecha la presión al ingreso del condensado a la trampa de vapor para impulsarla hacia un colector de

recepción abierto o cerrado, de ahí se deriva al desareador desde donde se mezcla con el agua nueva de reposición (para compensar las pérdidas) obteniéndose un fluido con una temperatura promedio de 100 °C. (Spirax Sarco, 2021)

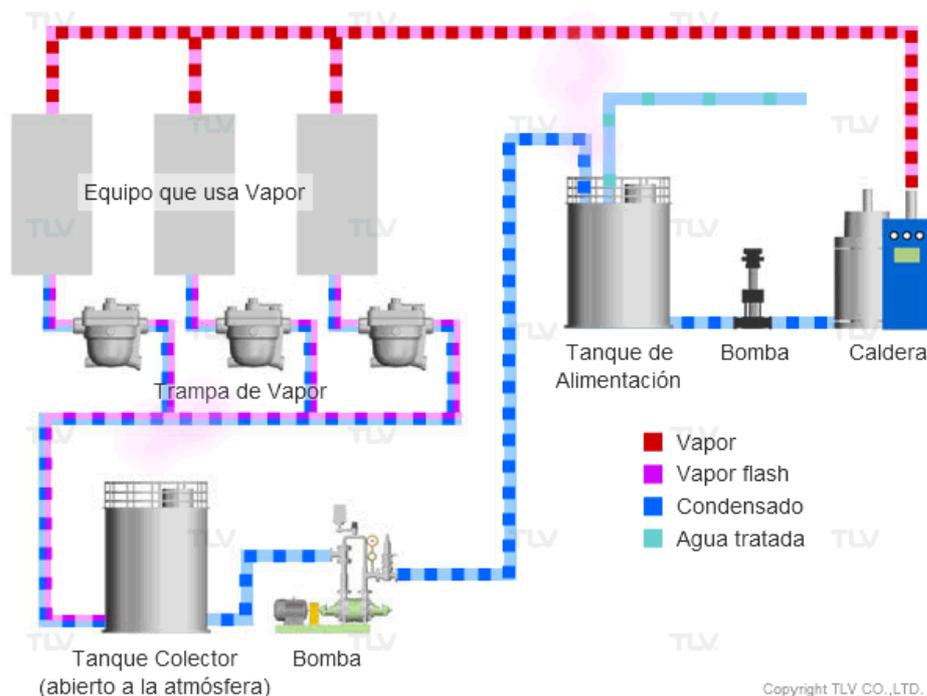
Para un sistema presurizado de retorno de condensados, éste último sigue a una presión superior a la presión atmosférica en la etapa de recuperación. Por lo general el condensado a presión se emplea como agua de suministro que es impulsada a los calderos. El vapor flash generado, así como los condensados retornan presurizados por una red sometida a presión que se caracteriza porque el sistema puede estar a la presión de condensación, y con ese valor de presión se impulsa hacia el desareador o un punto de mezcla con otro fluido a menor temperatura. Otro aspecto que diferencia a los sistemas de venteo y presurizados es el valor de la temperatura de recuperación. (Spirax Sarco, 2021)

En el sistema venteado, el condensado se recupera a presión ambiental, con lo cual al ser un sistema abierto la máxima temperatura sería cercana a los 100 °C como producto de la expansión del condensado presurizado al entrar en contacto con la presión atmosférica. En un sistema presurizado, el condensado se recupera con temperaturas muy superiores que son proporcionales a su presión, encontrándose como líquido saturado. Así tenemos que sistema presurizado a 6 bar, el condensado puede recuperarse a 158 °C siendo derivado por su propio impulso al desareador u otro elemento que pueda aprovechar indirectamente su calor sensible. (Spirax Sarco, 2021)

En cuanto a los costos asociados a cada instalación los sistemas de recuperación venteados presentan una mínima inversión con respecto a los sistemas presurizados. El diseño de las redes de tuberías para retorno de condensados se realiza según las mismas características de diseño de una tubería de agua, teniendo en cuenta las velocidades permisibles para un flujo interno con lo cual se selecciona el tipo de tubería, material y SCH. Siempre dando un margen de diseño para no sobredimensionar o subdimensionar las tuberías. (Spirax Sarco, 2021)

Figura 13

*Sistema de Recuperación Venteado a la Atmósferas*



*Nota.* Imagen obtenida de Spirax Sarco

Según la figura anterior, para los sistemas presurizados se necesita un mayor número de componentes o accesorios con respecto a los sistemas venteados. Así tenemos que es necesario la instalación de una válvula para la regulación del revaporizado generado y del condensado a baja presión formado de tal manera que sean derivados el primero hacia los centros de consumo y el segundo se derive hacia el desareador directamente. El revaporizado recuperado debe contar con una red de tuberías de distribución de vapor a baja presión que permita su rápida utilización (calor de vaporización) antes de que su presión decaiga y pierda su nivel energético adquirido. (Spirax Sarco, 2021)

#### 2.2.4 Sistema de bombeo de condensados calientes.

Las Bombas de Condensado presurizado recolectan el condensado y lo impulsan hacia un punto de manipulación o directamente al tanque desareador. Con respecto al primero, el condensado presurizado puede reinyectarse directamente a los calderos, adecuándose al sistema un sistema de control de flujo. O caso contrario puede ingresar a un colector que sirve de punta de mezcla para combinarse con otra línea de condensada a la misma presión antes de ingresar al caldero. Para este caso se han desarrollado bombas de condensados

que succionar condensado a una determinada presión e incrementar su altura de bombeo, con lo cual el problema de cavitación no se hace evidente. (AYVAZ, 2023)

Figura 14

*Bombas de Condensado ACOPs*



*Nota.* Imagen obtenida de Empresa AYVAZ

El condensado ingresa al colector de entrada, a través de una válvula de retención. Al alcanzar el condensado el límite superior del colector, el control de nivel deriva una señal eléctrica hacia la válvula neumática de 3 vías, abriéndose la línea de vapor que están conectadas al tanque. Por efecto de la presión del vapor el cual es superior a la del condensado, este último es impulsado desde la bomba de condensado por medio de la válvula de retención de salida. En los periodos donde la válvula neumática de 3 vías permanece cerrada, el condensado que se ha formado en la línea de alimentación de vapor es descargado por medio de una trampa de vapor. Se requiere mantener un buen estado de las trampas de vapor y un mantenimiento predictivo constante. (AYVAZ, 2023)

Cuando el condensado formado alcanza al límite inferior del colector, el control de nivel envía una señal eléctrica hacia la válvula neumática de 3 vías, para que se obture la línea de vapor que se encuentra conectada al colector. Luego de esto la válvula neumática se encarga de nivelar la presión entre el colector de ingreso y el tanque. La frecuencia de este

ciclo es función del volumen de vapor alimentado al centro de consumo y el tamaño o capacidad del colector. (AYVAZ, 2023)

Un sistema de bombeo es necesario para impulsar al condensado cada vez que la contrapresión originada supera a la presión presente al ingreso a la trampa de vapor. La contrapresión del sistema se calcula con la suma de 3 componentes por el lado de la descarga:

- La altura de descarga de la trampa de vapor.
- La caída de presión debido a la fricción o rozamiento en la parte interna de la tubería.
- La presión estática asociada con la presión del colector.
- La sumatoria de las componentes de contrapresión del sistema de condensado se conoce como Cabeza Dinámica Total. (Spirax Sarco, 2021)

Ventajas:

- Recuperación de condensados.
- Disminución de insumos químicos empleados para el tratamiento de agua.
- Disminución del consumo de combustible.
- Ahorro de energía.
- No se necesita un nuevo dimensionamiento de las tuberías.
- No se requiere el empleo de otro tanque adicional de condensado. (AYVAZ, 2023)

Las áreas de aplicación son las siguientes:

- Proceso de control de temperatura en donde se emplean válvulas de control de temperatura.
- Salidas de trampas de vapor.
- Entremedio de trampas de vapor y depósitos de recuperación de condensado ubicados estos a grandes distancias.
- Sistemas de condensado de baja presión en cambiadores de calor después de las trampas de vapor. Para estos casos especiales cuando el volumen de condensado se incrementa, el flujo masico del vapor disminuye, provocándose un vacío en el serpentín la cual no posee presión suficiente para impulsar al condensado. (AYVAZ, 2023)

Durante el periodo de tiempo que el condensado ingresa en un estado de “Estancamiento” se pueden presentar problemas de oxidación, pero se presentan solo en situaciones especiales. (AYVAZ, 2023)

### **Bombas centrífuga de Condensado o de tipo Turbina con Motor Eléctrico.**

En el caso de la existencia de una presión diferencial negativa entre dos puntos uno de origen y otro de llegada, se emplean bombas centrífugas o turbinas las cuales permiten incrementar la presión del condensado. Dos aspectos de vital importancia por considerarse en el caso de emplearse bombas o turbinas son la Cabeza de Succión Neta Positiva Disponible (NPSHA) al ingreso de la bomba y la Cabeza Dinámica Total (TDH) en la descarga de la bomba. Cuando se requiere un sistema de bombeo óptimo, la selección de la turbina o bomba centrífuga debe poseer una Cabeza de Succión Neta Positiva Requerida (NPSHR) de menor valor o similar a la NPSHA y una Presión Total de Descarga (TDP) requerida para poder contrarrestar la TDH del sistema de impulsión. Con el cumplimiento de estos aspectos las bombas eléctricas permiten que altos volúmenes de condensados se recuperen y así mismo puedan impulsarse a elevadas presiones de servicio. (Spirax Sarco, 2021)

Así mismo se presentan potenciales problemas al dimensionamiento, tal como la falta de conexiones eléctricas cercanas, normatividad eléctrica por cumplir, sobrecorriente/capacidad insuficiente de las bombas centrífugas y turbinas, con lo cual se puede presentar problemas de cavitación. (Spirax Sarco, 2021)

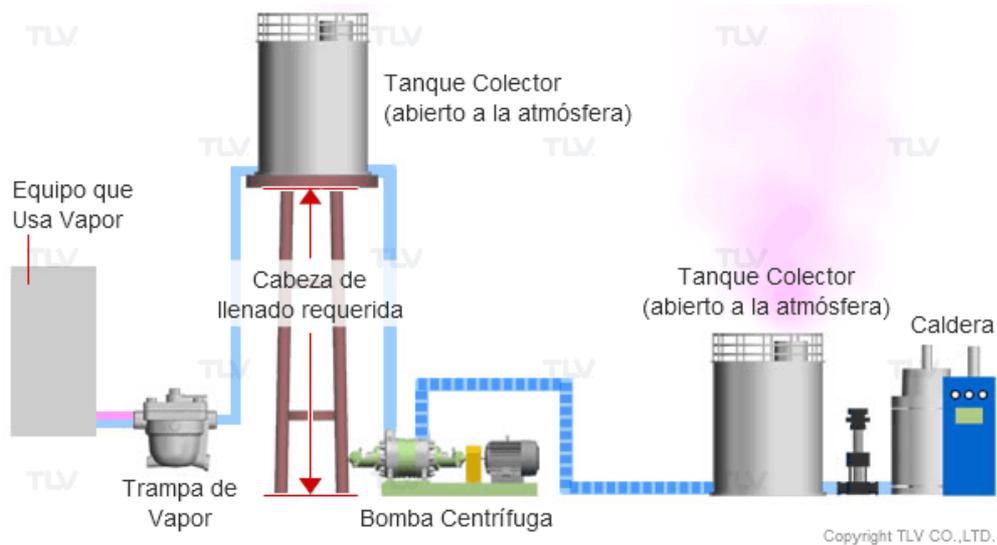
La cavitación es típica para motores de alta velocidad y pueden presentarse en casos de que la temperatura del fluido sea superior a 80 °C y la NPSHA es menor que la NPSHR. La cavitación provoca graves deterioros sobre la superficie de los álabes, llegando a colapsar la bomba. Para ello es necesario el incremento del NPSHA para optimizar el sistema de bombeo. (Spirax Sarco, 2021)

Una metodología consiste en la instalación de un tanque elevado e incrementar la altura de impulso un valor en 3 a 5 metros sobre el valor del NPSHR de la bomba, en el caso de agua a temperatura intermedia (siempre cuando que la contrapresión sea aceptable). Otro

método es emplear la presión de vapor para incrementar la presión en el tanque colector, siempre que el líquido sea resistente a alta presión/temperatura. También, se encuentran comercialmente bombas centrífugas de alta gama que no presentan cavitación. (Spirax Sarco, 2021)

Figura 15

*Recuperación de Condensado Usando una Bomba Centrífuga*



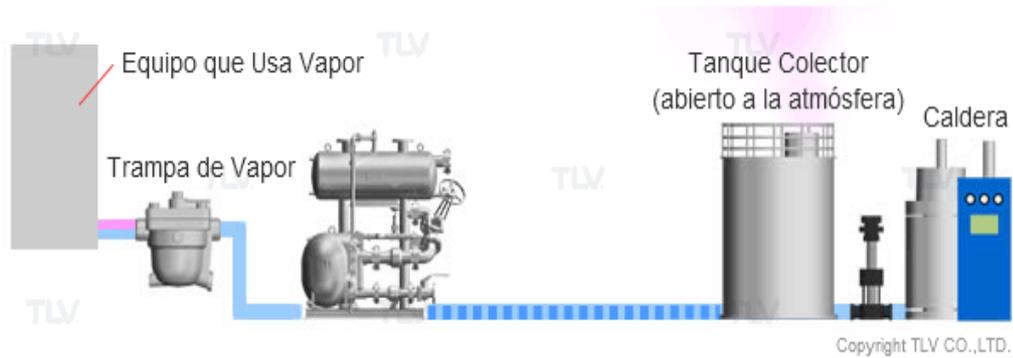
*Nota.* Imagen obtenida de Empresa Spirax Sarco

Las bombas de condensado de tipo mecánica son llamadas también Purgadores de Presión Secundaria, las cuales se diseñaron para superar las dificultades que ocurren en las bombas eléctricas. Tal es el hecho que en las bombas mecánicas no se presentan los problemas de los párrafos anteriores tal como la cavitación, estos son seleccionados en la mayor parte de los casos. (Spirax Sarco, 2021)

Las bombas de condensado de tipo mecánico hacen uso del desplazamiento positivo como impulso para el bombeo y no emplean la rotación de los impulsores, por lo tanto, no presentan problemas de cavitación. Adicionalmente, están diseñadas para operar en áreas a prueba de explosiones y en lugares aislados sin energía eléctrica. Los modelos y capacidades de las bombas mecánicas se han mejorado tecnológicamente, siendo actualmente muy utilizadas. (Spirax Sarco, 2021)

Figura 16

*Recuperación de Condensado Usando una Bomba Mecánica*

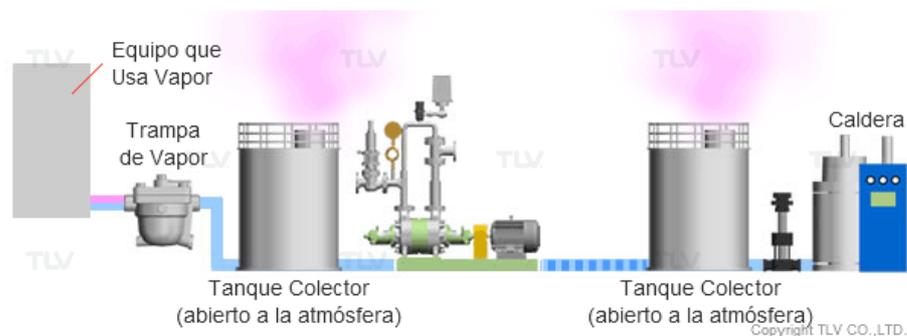


*Nota.* Imagen obtenida de Empresa Spirax Sarco

La bomba centrífuga que no presentan cavitación fueron fabricadas exclusivamente para la recuperación de condensados. Estas turbomáquinas emplean un inyector montado en la zona de succión para solucionar el problema presente con la caída de presión estática debido a la rotación del impulsor. El inyector vence la caída de presión al suministrar el condensado presurizado a alta temperatura a la bomba centrífuga. De esta forma se impulsa condensado sin presencia de cavitación, en algunos casos con valores de NPSHA iguales a 1 m. Su empleo es semejante al de una bomba de agua tradicional. Las bombas centrífugas de alta presión con inyector se emplean en sistemas presurizados para suministro de condensado inyectándose de forma directa al caldero. (Spirax Sarco, 2021)

Figura 17

*Recuperación de Condensado Usando una Bomba Especializada*



*Nota.* Imagen obtenida de Empresa Spirax Sarco

El rendimiento de una bomba de condensados se calcula en función al caudal que se descargan para cubrir una demanda prevista. Esto se expresa como el cociente entre la potencia útil y la potencia absorbida por la bomba. Este rendimiento se ve afectado por 3 tipos de pérdidas presentes en el interior de la bomba; las pérdidas volumétricas son consecuencia de las fugas entre la carcasa y el impulsor de la bomba, las pérdidas mecánicas se presentan entre las empaquetaduras, cojinetes, discos internos y por esfuerzos cortantes originados por la velocidad del agua, y las pérdidas por rozamiento producidas por el mismo flujo. Las pérdidas alcanzan valores de 30% del rendimiento de la bomba. (Delgado, 2019)

$$\eta = \frac{\rho * g * Q * H_T}{P_s} \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

$P_s$  = Potencia suministrada por el motor eléctrico. (W)

$\rho$  = Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

$Q$  = Caudal del agua (m<sup>3</sup>/s)

## 2.3 Desempeño energético.

### 2.3.1 Generalidades.

El Desempeño Energético es un término que implica a la relación existente entre el rendimiento energético, el uso eficiente y el consumo energético en sus diversos aspectos. Estos son los términos conceptuales que se deben manejar y tener en cuenta en una organización o institución que consume energía para un eficaz uso en sus actividades. La norma ISO 50001:2018 brinda los lineamientos para la evaluación del desempeño energético y el cumplimiento de sus metas y objetivos propuestos a través de su plan de acción y el alcance de sus indicadores desempeño o KPI. Actualmente es relevante importancia para aquellas empresas que deben presentar una mejor imagen a nivel internacional. Con los aspectos contemplados en la norma ISO 50001 se puede tener una mejor gestión de la energía. (Guzmán, 2023)

El desempeño energético incluye una serie de conceptos que presentan relación directa con la manipulación energética para cualquier organización que quiera tener un

desempeño energético eficaz, de tal forma que deberá cumplir con los lineamientos para poder certificarse. El desempeño energético presenta a la organización elementos clave para la medición y cuantificación del estado del Sistema de Gestión de la Energía. Esto se consigue controlando los KPI energéticos sobre una línea base energética planteada para los diversos insumos energéticos que manipulen, buscando la excelencia del desempeño energético. (Yutzil, 2019)

Es necesario que este proceso de medición se realice de forma correcta, con lo cual la organización podrá tomar conocimiento sobre el funcionamiento de cada uno de los procesos relacionados al empleo de energía en sus diversos niveles, con lo cual se podrá detectar con precisión la desviación a la línea base energética y poder corregirlo para ello planificando actividades de uso eficiente de la energía. De otro aspecto cada organización debe establecer sus indicadores más relevantes referente a sus actividades, del mismo modo una revisión energética le proporciona la información necesaria para definir sus KPI energéticos. (Yutzil, 2019)

### 2.3.2 Indicadores de desempeño energético.

Se emplean para la verificación del desempeño energético de la organización con referencia al uso significativo de la energía, la intensidad energética y el grado de acercamiento a los indicadores meta establecidos en la línea base energética, la cual sirve de referencia para alcanzar los objetivos y metas energéticas. Los IDEs se elaboran para cada tipo de empresa según el sector económico que se ubiquen, y pueden clasificarse en técnicos, económicos y ambientales, teniendo en cuenta que las unidades de comparación energética deben hacerse con el valor de producción o de servicio de la organización. Los indicadores se determinan en función a los resultados obtenidos luego de un análisis energético. (Quezada, 2020)

La elaboración de Indicadores de Desempeño Energético para el Sistema de Gestión es una función que involucra una adecuada planificación y a todos los integrantes de la organización, según sus niveles de jerarquía establecida e incluye los aspectos de personal, compras, logística, capacitación y otras actividades desarrolladas en la organización. Este sistema de gestión se complementa con la ISO 9001, ISO 14001 y otras familias de gestión que buscan la mejora continua. (González, 2021)

De este modo, con la finalidad de que los indicadores de desempeño sean de utilidad para la organización, deben tener las siguientes condiciones:

- Concordantes con la estrategias y objetivo de la política de la organización.
- Determinarse en forma conjunta con todos los integrantes y áreas de una organización.
- Deben ser precisos y fiables, para el establecimiento de objetivos medibles, seguibles y permitan la predicción de sus tendencias para la toma de acciones correctivas.
- Deberán seleccionarse como base en la toma futura de decisiones de estratégica y operacional. (González, 2021)
  
- Deben desplegarse convenientemente como indicadores de desempeño según las funciones y los niveles establecidos por la organización, consiguiéndose las metas y objetivos propuestos.
- Deben ser aparentes a la naturaleza y tamaño de la organización, sus actividades, servicios y procesos.
- Se deben cuantificar, con la finalidad de corregir las desviaciones que se presenten y poder corregirlas.
- Reproducibles, de tal manera que cualquier integrante de la organización pueda interpretarla y sobre todo calcularla y poder obtener resultados de fácil interpretación. (González, 2021)

En el caso de los indicadores del desempeño energético éstos deberán cumplir con las siguientes características:

- Deben ser definidos por la misma organización.
- Deben reflejar el desempeño en el uso, el consumo o la eficiencia.
- Son cuantitativos.
- Deben establecerse de tal manera que permitan su comparación y revisión en conformidad con la línea base energética. (González, 2021)

Los Indicadores Energéticos, también llamados consumos específicos, ratios energéticas, números energéticos característicos son valores que nos permiten evaluar la eficiencia

energética mediante una comparación entre las unidades de energía consumida o su equivalente energético o facturación o emisiones asociadas con las unidades de producción o servicio generada. Se elaboran en función a las características de consumo de cada organización, así tenemos los siguientes:

INDICADORES ENERGETICOS TECNICOS: Referidos al consumo de energía térmica en forma de combustible o energía eléctrica, dentro de los Indicadores Energéticos técnicos tenemos el siguiente:

$$IET = \frac{\text{m}^3 \text{ de gas natural /mes}}{\text{Toneladas de Harina producida/mes}} \dots\dots (5)$$

INDICADORES ENERGETICOS ECONOMICOS: Están asociados a la facturación mensual por consumo de insumos energéticos en la actividad productiva o servicios de una organización.

$$IEE = \frac{\text{U\$ Facturacion de gas natural consumido/mes}}{\text{Toneladas de Harina producida/mes}} \dots\dots (6)$$

INDICADORES ENERGETICOS AMBIENTALES:

Los Indicadores Energéticos Ambientales: Permiten la comparación de las emisiones de dióxido de carbono que se emiten a la atmósfera por el consumo de combustible o electricidad por cada unidad productiva o de servicios. Emplean para ello los factores de emisiones normados por cada país.

$$IEA1 = \frac{\text{Toneladas de CO}_2 \text{ emitidas/mes}}{\text{Toneladas de Harina producida/mes}} \dots\dots (7)$$

## 2.4 Evaluación económica.

### 2.4.1 Valor actual neto.

El valor actual neto (VAN) es el valor que expresa todos los flujos de efectivo futuro (ingresos o egresos) al momento presente para analizar una inversión. Este análisis es una forma de valoración financiera y se emplea en el sector financiero y contable para determinar el valor monetario de un negocio, la seguridad de una inversión, un proyecto de inversión, una nueva empresa, un programa de reducción de costos y cualquier evaluación que involucre flujo de caja. La evaluación VAN se utiliza para la determinación del valor de una futura inversión o proyecto, y según ellos implementarlo. Esencialmente, el VAN de una inversión es la suma de los flujos de efectivo futuros que pueden incluir desde gastos generales, de mantenimiento, administración, operativos, personal, así como ingresos por ahorros o ventas, entre otros flujos de caja contables. (Business School, 2023)

El cálculo del valor presente neto se usa a menudo en la elaboración de presupuestos para ayudar a las empresas a decidir cómo y dónde asignar el capital. Al llevar cada opción de inversión o proyecto potencial al mismo nivel (cuánto valdrá al final), los profesionales financieros están mejor equipados para tomar decisiones estratégicas. Además de tener en cuenta todos los ingresos y egresos, también considera el periodo de tiempo en que se realiza el flujo de caja. Por ejemplo, las entradas en efectivo se deben ver antes y las salidas de efectivo luego. (Business School, 2023)

El VAN permite ser la base de futuras toma de decisiones, siendo ellas, analizar si las inversiones son rentables o viables económicamente y en segundo término analizar un grupo de inversiones y compararlas entre ellas para hallar la mejor. Los criterios de decisión van a ser los siguientes:

$VAN > 0$ : El valor de la inversión es positiva, por lo tanto, es rentable, y será mayor la rentabilidad cuando el valor del VAN sea mayor.

$VAN = 0$ : El proyecto de inversión no genera ni beneficios ni pérdidas, siendo su ejecución indiferente.

$VAN < 0$ : El proyecto de inversión es antieconómico, produce pérdidas económicas, por lo tanto es inviable. (Velayos,2020)

El Valor del VAN se determina según la expresión siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

$V_t$  = Flujo de caja anual (U\$/año)

$i$  = Tasa de interés de mercado (12 %)

$I$  = Inversión inicial. (U\$)

$t$  = Tiempo en años.

En el cálculo de  $V_t$  se tiene la ecuación:

$$V_t = A_t - CO_t \dots \dots (9)$$

Donde:

$A_t$  = Es el flujo de caja los ingresos, ahorros o rentabilidad según cada periodo de tiempo de duración del proyecto.

$CO_t$  = Egresos por OPEX anual.

#### 2.4.2 Tasa interna de retorno.

La TIR es un indicador de rentabilidad de un proyecto o inversión a realizar, cuando mayor sea el TIR entonces es mayor la rentabilidad. Permite conocer la tasa interna de rentabilidad de uno o más proyectos, lo cual es una herramienta de mucha utilidad en la toma de decisiones. Se podría decir que la TIR representa el porcentaje de ingresos o pérdidas que se obtendrán al haber realizado un desembolso económico para cubrir una inversión. (Fernández, 2023)

Al realizar el análisis del TIR se presentan las siguientes soluciones:

- Cuando la TIR > tasa de descuento ( $r$ ): El proyecto es viable.
- Cuando la TIR =  $r$ : El proyecto se posterga.
- Cuando la TIR < tasa de descuento ( $r$ ): El proyecto se deniega.

La TIR se determina con la siguiente expresión:

$$VAN = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} \dots \dots (10)$$

### 2.4.3 Pay back.

Es una estrategia financiera Se trata de una estrategia, un indicador usado en las empresas para calcular el que permite evaluar el periodo de retorno en meses o años con lo cual se podrá recupera una inversión, en este caso la recuperación de la inversión es en función a los ahorros generados como parte del objetivo de un proyecto. Estos periodos de recuperación serán función del monto de la inversión realizada y de la magnitud de los ingresos obtenidos. (Mezquita, 2023)

$$Pay\ Back = \frac{Inversion}{Ahorro\ mensual} \dots \dots (11)$$

### III. MATERIAL Y MÉTODO

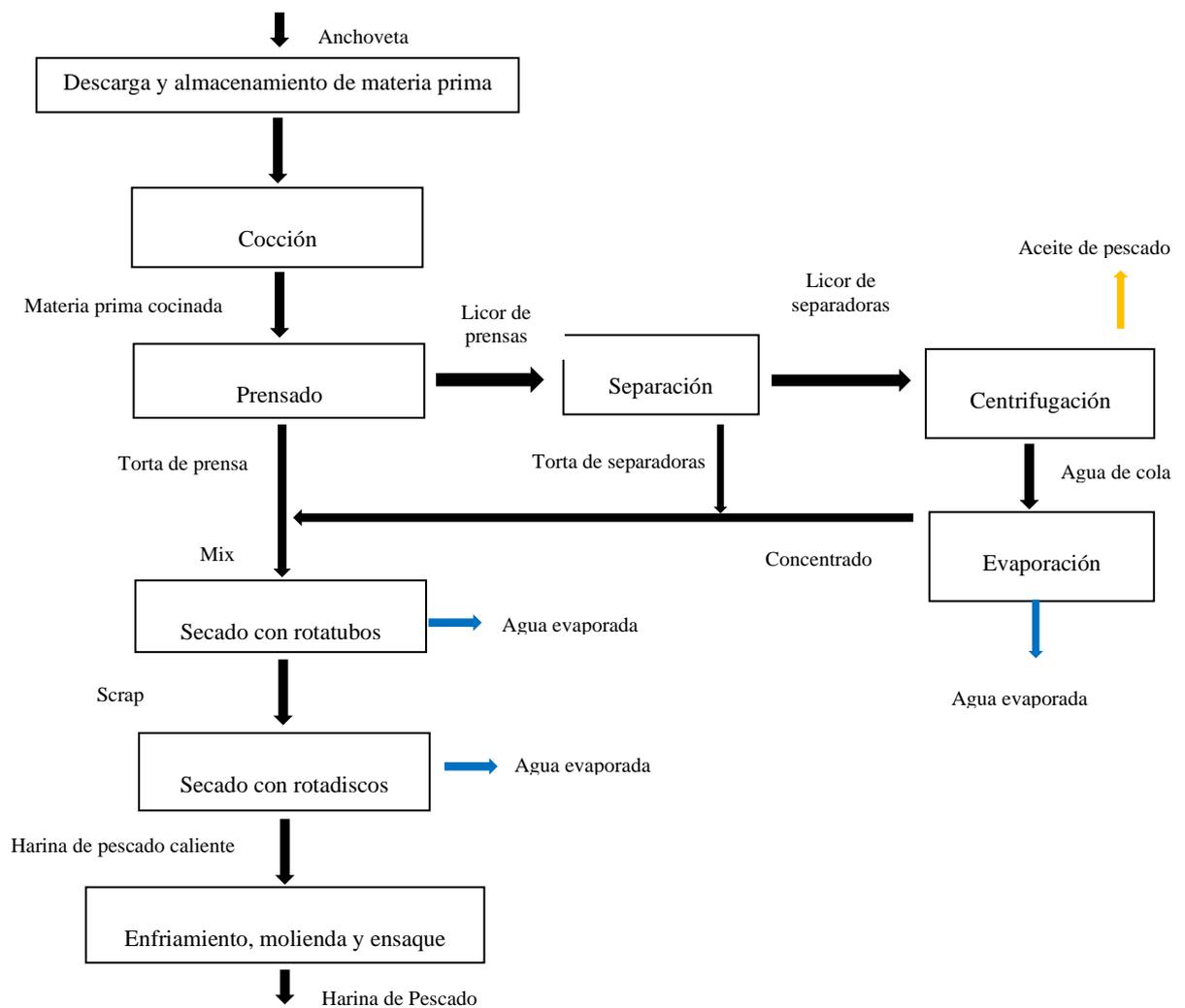
#### 3.1 Material:

##### 3.1.1 Características de la Planta de Harina de Pescado.

La Planta ubicada en la ciudad de Chancay presenta una capacidad productiva de 168 t/h de procesamiento de anchoveta. La harina de pescado producida es del tipo steam dried y super dried, lo cual se obtiene mediante un proceso continuo. Junto a ello los procesos de recuperación de sólidos como son separación, centrifugación, evaporación y sistema de recuperación PAMA.

Figura 18

*Diagrama de proceso productivo para obtención de harina y aceite de pescado*



*Nota.* Elaboración propia con información de la empresa

3.1.2 Balance de masas. Se presenta la proporción de sólidos, grasa y humedad contenido en los fluidos de proceso en cada etapa característica.

Tabla 1

*Proporción de sólidos, grasas y humedad del proceso productivo para obtención de harina y aceite de pescado*

<b>Etapa</b>	<b>% Humedad</b>	<b>% Grasa</b>	<b>% Solidos</b>
Entrada a cocinas	72,0%	6,0%	22,0%
Salida de cocina/entrada a prensas	72,0%	6,0%	22,0%
Torta de prensa (Salida de prensa)	50,0%	4,0%	46,0%
Licor de prensa (Salida de prensa)	84,0%	7,0%	9,0%
Torta de separadoras	65,0%	3,0%	32,0%
Licor de separadoras	82,0%	12,0%	6,0%
Aceite de pescado	0,05%	99,9%	0,05%
Agua de Cola	91,8%	0,5%	7,7%
Concentrado de agua de cola	65,0%	1,0%	34,0%
Mix (Ingreso a secador rotatubos)	55,0%	3,0%	42,0%
Scrap (Ingreso a secador rotadiscos)	40,3%	4,3%	55,4%
Harina de Pescado	8,0%	6,6%	85,4%

Nota. Tabla elaborada con información de la empresa.

3.1.3 Equipamiento de planta de vapor.

Los equipos de generación de vapor son del tipo pirotubular están acondicionados para combustionar con gas natural el cual es abastecido por la Empresa Calidda Gas Natural de Lima. Así mismo están acondicionados para combustionar también petróleo R500. El vapor generado es del tipo saturado, el cual es generado a 8 bar. El vapor saturado es distribuido a las áreas de cocinado, secado (con secadores rotatubos y rotadiscos) y para sistemas de calentamiento de licor de prensa, licor de separadoras y fluidos del programa de adecuación al medio ambiente. Se cuenta con 05 calderos pirotubulares de operación automático y el caldero 01 en condición de mantenimiento.

Tabla 2

*Características de calderos pirotubulares*

<b>Parámetro</b>	<b>Caldero 02</b>	<b>Caldero 03</b>	<b>Caldero 04</b>	<b>Caldero 05</b>	<b>Caldero 06</b>
Marca	Johnston Boiler	Johnston Boiler	Johnston Boiler	Johnston Boiler	Johnston Boiler
Potencia (BHP)	800	1 000	1 200	1 500	1 500
Numero de pasos	4	4	4	4	4
Eficiencia (%)	86,3%	86,5%	86,5%	86,7%	86,5%
Flujo gas natural nominal (m <sup>3</sup> /h)	823	1 026	1 235	1 547	1 547
Flujo gas natural operación (m <sup>3</sup> /h)	550	930	1 200	1 500	1 500
Presión de operación (bar)	8	8	8	8	8
Temperatura de agua de alimentación (°C)	100	100	100	100	100
Presión de agua de alimentación	20	20	20	20	20
Poder calorífico GN (kJ/m <sup>3</sup> )	39 710	39 710	39 710	39 710	39 710

*Nota.* Elaboración propia con información de la empresa.

### 3.1.4 Equipamiento de consumo de vapor.

Las empresas de harina y aceite de pescado operan en su proceso productivo con un elevado consumo de energía térmica, a través de vapor saturado, lo que significa cerca del 95% de la energía equivalente.

Área de Cocinado compuesta por 04 cocinas indirectas del tipo rotativo que operan a velocidad de rotación de eje entre 5 a 4 rpm. El vapor saturado se suministra por medio del eje de la cocina y por las camisas ubicadas en la parte externa de la cocina. La materia prima se suministra a temperatura ambiental hasta una temperatura de 95 °C, del mismo modo el condensado obtenido luego de que del vapor saturado cede su calor latente de vaporización, es descargado al sistema de generación de revaporizado.

Tabla 3  
*Detalles de cocinas*

<b>Parámetro</b>	<b>Cocina 01</b>	<b>Cocina 02</b>	<b>Cocina 03</b>	<b>Cocina 04</b>
Capacidad (Ton/hora)	42	42	42	42
Marca	Atlas Fima	Atlas Fima	Fabtech	Fabtech
Modelo	AF-50	AF-50	C1-11616-30- 1S	C1-11617-30- 1S
Presión (bar)	4	4	4	4
Consumo de vapor (Ton. /h)	5,8	5,8	5,8	5,8

Nota. Información elaborada con información de la empresa.

Presecado u obtención de scrap, conformado por 04 secadores rotatubos, los cuales se caracterizan por ser tipo indirecto con vapor saturado. El fluido de proceso es el mix el cual se deshidrata de forma parcial, ingresando al secador a una temperatura de 60 °C. El condensado es derivado al sistema de generación de revaporizado.

Tabla 4  
*Detalle de secadores rotatubos*

<b>Parámetro</b>	<b>Secador</b>	<b>Secador</b>	<b>Secador</b>	<b>Secador</b>
	<b>Rotatubos- 01</b>	<b>Rotatubos- 02</b>	<b>Rotatubos- 03</b>	<b>Rotatubos- 04</b>
Capacidad (Ton. /hora)	60	60	60	60
Marca	HAARSLEV INDUSTRIES	HAARSLEV INDUSTRIES	HAARSLEV INDUSTRIES	HAARSLEV INDUSTRIES
Modelo	RTD 3522-22	RTD 3522-22	RTD 3522-22	RTD 3522-22
Presión (bar)	4	4	4	4
Consumo de vapor (Ton. /h)	9	9	9	9

Nota. Información elaborada con información de la empresa.

Área de Secado, compuesto por 04 secadores indirectos de flujo en contracorriente a vapor del tipo Rotadiscos, El vapor saturado ingreso a través del eje interno de los secadores y

las chaquetas de las mismas. El vapor saturado cede su calor latente al scrap, el cual se encuentra a una temperatura de 60 °C.

Tabla 5  
*Detalles de secadores rotadiscos*

<b>Parámetro</b>	<b>Secador Rotadisco- 01</b>	<b>Secador Rotadisco- 02</b>	<b>Secador Rotadisco- 03</b>	<b>Secador Rotadisco- 04</b>
Capacidad (Toneladas/hora)	42	42	42	42
Marca	Atlas Fima	Atlas Fima	Atlas Fima	Atlas Fima
Modelo	ADD-1968	ADD-1968	ADD-1968	ADD-1968
Presión (bar)	4	4	4	4
Consumo de vapor (Ton. /h)	8,4	8,4	8,4	8,4

*Nota.* Información elaborada con información de la empresa.

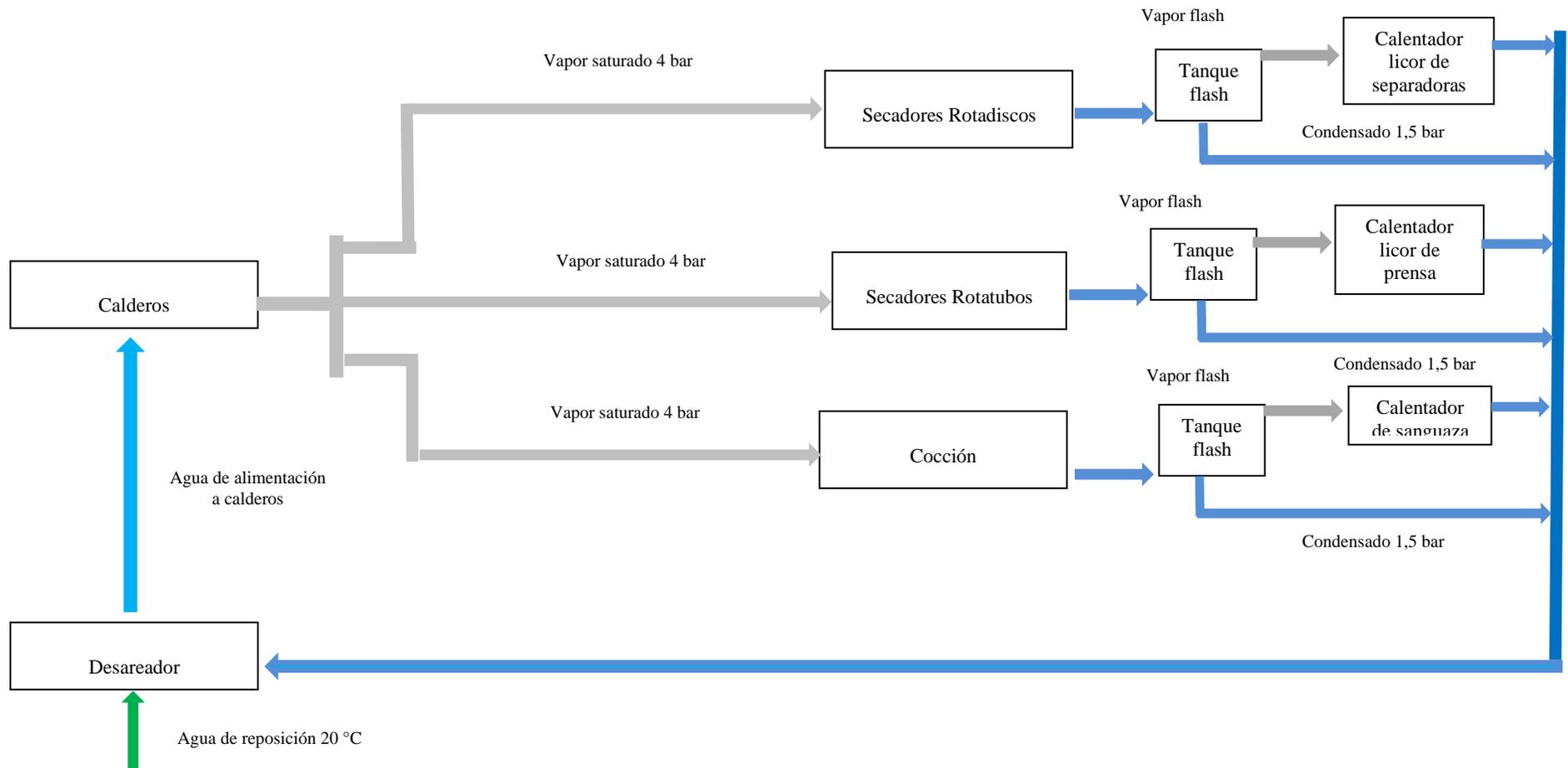
Área de Calentamiento de fluidos de proceso. Compuesto por 02 calentadores de caldo de prensa y 02 calentadores de caldo de separadoras, los cuales son precalentados con vapor flash. El flujo de licor de prensa a calentar desde 60 a 90 °C de flujo continuo. El flujo de licor de separadoras a calentar desde 60 a 90 °C es flujo continuo. El vapor flash se utiliza de forma indirecta. Así como en el PAMA se tiene un consumo de 540 kg/h de vapor saturado a 2 bar de presión.

### 3.1.5 Características operativas de la recuperación de condensados.

El condensado extraído del área de secadores y cocinas son suministrados al área de generación de vapor flash o revaporizado, los condensados retornan a baja presión (condensado del revaporizado y el líquido saturado de la descarga del tanque flash son retornados al desareador el cual tiene una capacidad de 9,45 m<sup>2</sup> (3 metros de largo y 2 metros de diámetro en el colector horizontal) ubicado a una altura de 12,0 m sobre el nivel de operación de las bombas de suministro de agua al caldero. La temperatura promedio es 100 °C dentro del tanque desareador. Luego el agua de alimentación es suministrada a cada caldero mediante bombas verticales de caudal variable a una presión de descarga de 20 bar.

Figura 19

Distribución de vapor saturado en planta



Nota. Información elaborada con información de la empresa

### 3.2 Método.

3.2.1 El presente trabajo de investigación es del tipo pre-experimental, de naturaleza descriptiva.

3.2.2 Diseño de la investigación: El diseño de la investigación es no experimental, ya que no manipula variables. Se basa en la observación de los fenómenos tal como se presentan en su contexto natural y luego son analizados.



O1: Indicadores de desempeño energético sin inyección de condensado presurizado.

O2: Indicadores de desempeño energético con inyección de condensado presurizado.

X: Sistema de inyección de condensado presurizado.

G.E: Caldero pirotubular.

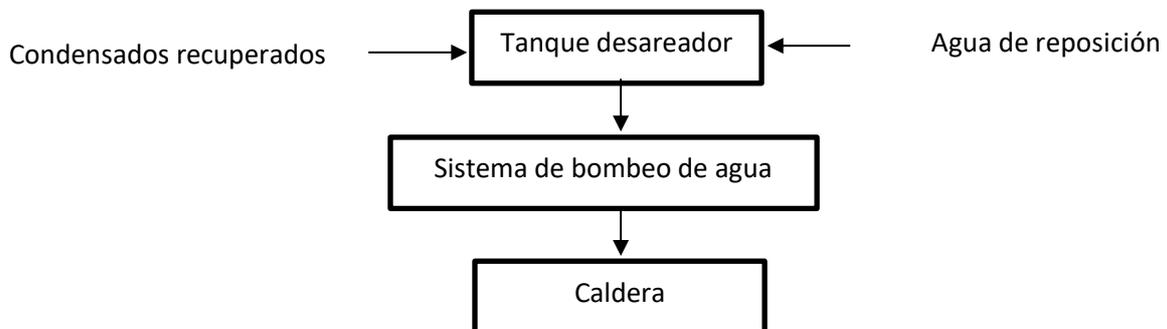
### 3.2.3 Metodología de cálculo:

Se presenta la siguiente secuencia:

- Balance de energía en el sistema de distribución de vapor y recuperación de condensados para determinar el flujo de vapor flash disponible por áreas de calentamiento.
- Balance de energía en el sistema de suministro de agua para calderos

Figura 20

*Detalles de suministro de agua para calderos*

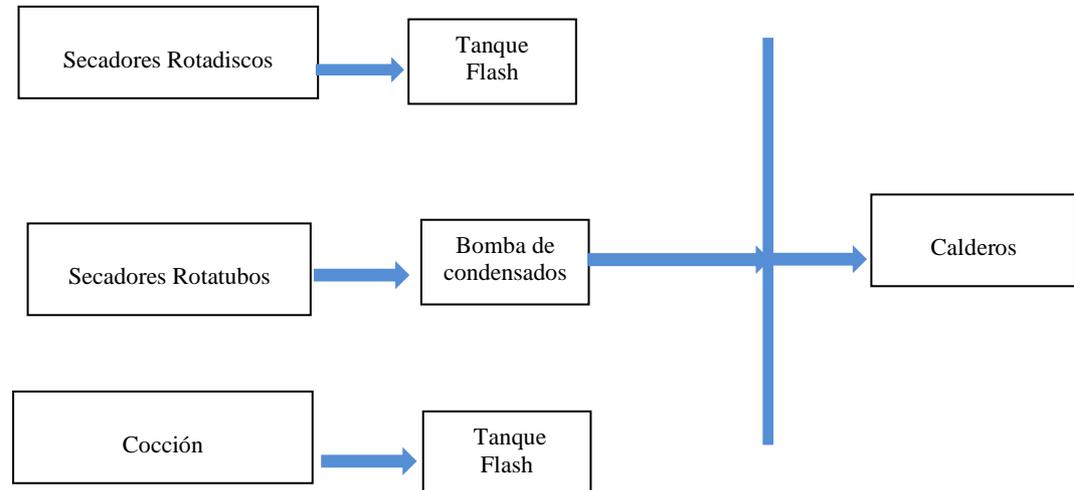


*Nota. Información propia*

- Determinar las características del sistema de recuperación de condensador e inyección del condensado a la planta de generación de vapor saturado.

Figura 21

*Detalles de suministro de condensado a calderos*



*Nota.* Información propia

- Evaluación del efecto del sistema de recuperación de condensados presurizados en los indicadores de desempeño energético.

#### IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

##### 4.1 Evaluación de la generación de vapor.

- **Premisas de cálculo:**

La evaluación energética se realiza para una producción de 160 Ton/h de capacidad.

- **Balance de materia en planta.**

Teniendo en cuenta los valores de la tabla 1 y para una producción de 160 Ton/capacidad se tiene los resultados del balance de masas en cada etapa del proceso productivo.

Tabla 6

*Balance de masas del proceso productivo para obtención de harina y aceite de pescado para 160 Ton/h*

<b>Etapa</b>	<b>Humedad</b>	<b>Grasa</b>	<b>Solidos</b>	<b>Total</b>
Entrada a cocinas	115,20	9,60	35,20	160,00
Salida de cocina/entrada a prensas	115,20	9,60	35,20	160,00
Torta de prensa (Salida de prensa)	27,50	2,20	25,30	55,00
Licor de prensa (Salida de prensa)	87,70	7,40	9,90	105,00
Torta de separadoras	6,14	0,28	3,02	9,45
Licor de separadoras	81,56	7,12	6,88	95,55
Aceite de pescado	0,003	6,682	0,003	6,69
Agua de Cola	81,55	0,43	6,87	88,86
Concentrado de agua de cola	11,55	0,18	6,04	17,77
Mix (Ingreso a secador rotatubos)	45,19	2,66	34,37	82,22
Scrap (Ingreso a secador rotadiscos)	25,00	2,66	34,37	62,03
Harina de Pescado	3,20	2,66	34,37	40,23

*Nota.* Elaboración propia.

- **Determinación del flujo de vapor saturado en los centros de consumo.**

Según los cálculos presentados en los anexos 1,2,3 y 4 y la figura 19 se presentan los flujos de vapor requeridos por los centros de consumo.

Tabla 7  
*Flujos de vapor por centro de consumo*

<b>Centro de consumo</b>	<b>Flujo de vapor Ton/h</b>	<b>Presión</b>	<b>Fuente de suministro</b>
Cocinadores	20,4	4	Red de vapor
Secadores Rotadiscos	30,4	4	Red de vapor
Secadores Rotatubos	28,4	4	Red de vapor
Calentador de licor de prensa	1,78	1,5	Tank Flash
Calentador de licor de separadoras	1,62	1,5	Tank Flash
Calentador de sanguaza	1,10	1,5	Tank Flash

*Nota.* Elaboración propia.

El flujo de vapor total requerido es:

$$\dot{m}_{vc} = 79\,200 \frac{kg}{h}$$

El flujo de vapor requerido proveniente del circuito de recuperación de los tank flash es:

$$\dot{m}_{vft} = 4\,500 \frac{kg}{h}$$

- **Generación de vapor en planta de vapor.**

Se presenta el cálculo de generación de vapor para el Caldero 06 con la información de la tabla 2.

Información:

Flujo de gas natural de operación: 1 500 m<sup>3</sup>/h

Poder calorífico inferior del gas natural: 39 710 kJ/m<sup>3</sup>

Entalpia de vapor saturado a 8 bar: 2 767,5 kJ/kg

Entalpia de ingreso de agua a 20 bar y 100°C: 420,5 kJ/kg

Eficiencia: 86,5%

Utilizando la ecuación 3:

$$86,5\% = \frac{\dot{m}_{v6} * (2\,767,5 - 420,5)}{1\,500 * 39\,710} * 100\%$$

$$\dot{m}_{v6} = 21\,953 \frac{kg}{h}$$

Tabla 8

*Vapor generado por Calderos*

Parámetro	Caldero 02	Caldero 03	Caldero 04	Caldero 05	Caldero 06
Potencia (BHP)	800	1 000	1 200	1 500	1 500
Eficiencia (%)	86,3%	86,5%	86,5%	86,7%	86,5%
Flujo gas natural operación (m <sup>3</sup> /h)	550	930	1 200	1 500	1 500
Presión de operación (bar)	8	8	8	8	8
Temperatura de agua de alimentación (°C)	100	100	100	100	100
Presión de agua de alimentación	20	20	20	20	20
Poder calorífico GN (kJ/m <sup>3</sup> )	39 710	39 710	39 710	39 710	39 710
Flujo de vapor (kg/h)	8 031	13 611	17 562	22 004	21 953

*Nota.* Elaboración propia.

El flujo de vapor total es:

$$\dot{m}_v = 83\,161 \frac{kg}{h}$$

El flujo de perdidas es:

$$\dot{m}_{vp} = 83\,161 - 79\,200 = 3\,961 \text{ kg/h}$$

Lo que representa:

$$\% \text{ de pérdidas distribución} = \frac{3\,961}{83\,161} * 100\% = 4,76\%$$

Las pérdidas son repuestas a través del agua de reposición que son suministradas al desareador.

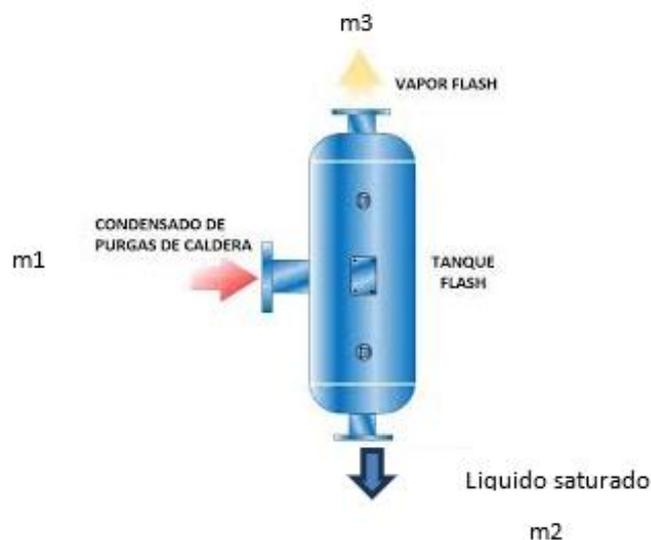
- **Balance de energía en los flashes tank.**

Para la obtención del vapor flash generado se tiene en cuenta los cálculos.

Esquema de cálculo:

Figura 22

*Esquema de distribución de flujos con Flash tank*



*Nota.* Elaboración propia.

Condiciones de ingreso:

Presión de entrada : 4 bar.

Flujo masico de condensado ( $m_1$ ) : 79 200 kg/h

Entalpia ( $h_1$ ) : 640,1 kJ/kg (Líquido saturado a 4 bar).

Condiciones de generación de vapor flash:

Presión : 2 bar.  
 Entalpia(h2) : 467,1 kJ/kg (Líquido saturado a 1,5 bar de presión)  
 Entalpia(h3) : 2 693,4 kJ/kg (vapor saturado a 1,5 bar de presión)

Aplicando la ecuación de conservación de masas en los Tank Flash.

$$m_1 = m_2 + m_3$$

$$79\,200 = m_2 + m_3$$

$$m_2 = 79\,200 - m_3$$

Aplicando la ecuación de conservación de la energía en los Tank Flash.

$$m_1 * h_1 = ((m_1 - m_3) * h_2) + (m_3 * h_3)$$

$$79\,200 * 640,1 = ((79\,200 - m_3) * 467,1) + (m_3 * 2\,693,4)$$

$$m_3 = 4\,895,1 \text{ kg/h}$$

$$m_3 = 4\,895,1 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

El flujo de vapor requerido proveniente del circuito de recuperación de los tank flash es:

$$\dot{m}_{vft} = 4\,500 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Lo que representa:

$$\% \text{ de pérdidas circuito vapor flash} = \frac{4\,891 - 4\,500}{4\,891} * 100\% = 7,99\%$$

- **Indicadores de desempeño energético.**

Parámetros para el cálculo para el Indicador Energético Técnico.

Flujo de gas natural de operación: 5 680 m<sup>3</sup>/h (Tabla 8)

Producción: 40,23 Ton de harina/h (Tabla 6)

Según ecuación 5.

$$IET = \frac{5\,680\, m^3/h}{40,23\, Ton/h} = 141,19\, \frac{m^3}{Ton}$$

Parámetros para el cálculo para el Indicador Energético Económico.

Facturación mensual promedio de gas natural de operación: 5 680 m<sup>3</sup>/h (Anexo 5) S/  
1'395 501,00

Produccion:40,23 Ton de harina/h (Tabla 6) para 200 horas/mes de operación.

Según ecuación 6.

$$IEE = \frac{1'395\,501,00}{40,23 * 200} = 173,44\, \frac{S/}{Ton}$$

Parámetros para el cálculo para el Indicador Energético Ambiental.

Factor de emisiones para el gas natural: 56,1 Ton CO<sub>2</sub>/TJ (Tomado de Tesis de López, 2023)

Horas de operación al mes: 100 h.

Produccion:40,23 Ton de harina/h (Tabla 6)

Según ecuación 7.

$$IEA = \frac{5\,680\, \frac{m^3}{h} * 39\,710\, \frac{kJ}{m^3} * \frac{1\,TJ}{10^9\,kJ} * 56,1\, \frac{Ton_{CO_2}}{TJ}}{40,23\, \frac{Ton.harina}{h}} = 0,31\, \frac{Ton_{CO_2}}{Ton.harina}$$

## **4.2 Sistema de recuperación de condensado presurizados.**

- **Premisas de cálculo:**

Se instalarán bombas de condensados a la salida de cada equipo del área de consumo, de los secadores rotatubos para recuperar el líquido saturado igual a 28,4 Ton/h a 4 bar e impulsarlo hasta el cabezal de suministro de agua presurizado a 20 bar. Luego se combinará con el agua proveniente del desareador, esta última es impulsada desde la presión atmosférica a 20 bar hasta el cabezal de suministro de agua presurizado a 20 bar. (que es la presión de servicio de calderos). Desde el cabezal de suministro de agua presurizado a 20 bar se inyecta agua a los 05 calderos.

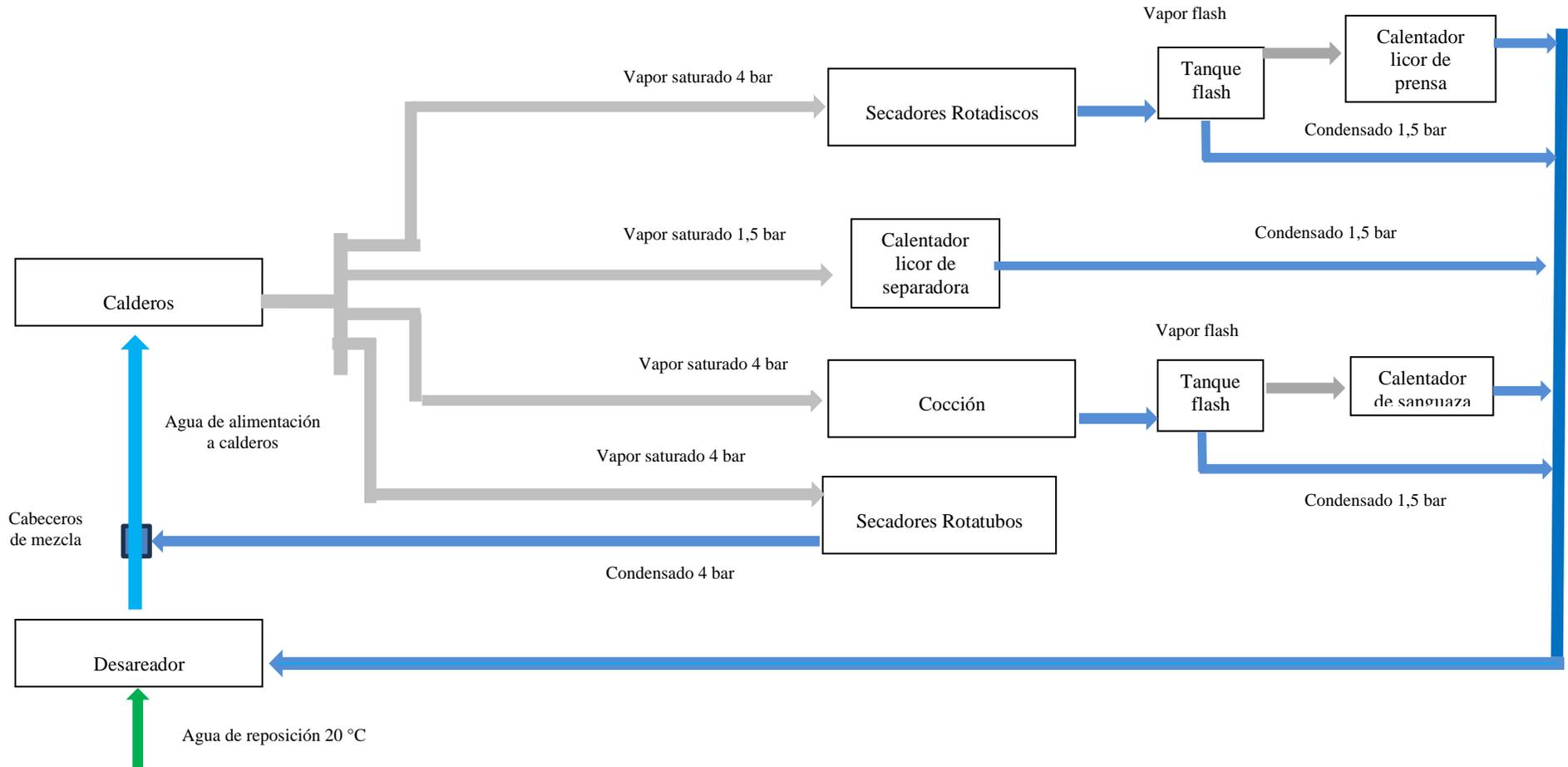
Se continuará operando los sistemas de generación de vapor flash, provenientes de los calentadores de licor de prensa y sanguaza, los condensados a 1,5 bar serán recuperados e inyectados al desareador, un total de 2,89 Ton/h.

Se generará vapor saturado para el calentador de licor de separadoras desde una presión de 8 bar, lo cual será regulara a 1,5 bar que es la presión de servicio del calentador de licor de separadoras. Luego el condensado será recuperado y derivado hacia el desareador.

Se presenta la propuesta para el sistema de recuperación de condensados:

Figura 23

Esquema de distribución de flujos con recuperación de condensados presurizados



- **Determinación de los flujos de condensados por equipo.**

Tabla 9

*Flujos de condensado unitario por equipo por centro de consumo*

<b>Centro de consumo</b>	<b>Flujo de vapor Ton/h</b>	<b>N° de equipos</b>	<b>Flujo de condensado por equipo Ton/h</b>	<b>Derivado hacia</b>
Cocinadores	20,4	4	5,1	Tanque Flash
Secadores Rotadiscos	30,4	3	10,3	Tanque Flash
Secadores Rotatubos	28,4	4	7,1	Calderos

*Nota.* Elaboración propia.

Para una presión de 4 bar de recuperación de condensados calientes, se tiene un volumen específico de 0,001087 kg/m<sup>3</sup>, con lo cual se determina el caudal asociado a cada flujo de condensado.

Tabla 10

*Caudal de condensado unitario por equipo en Secadores rotatubos*

<b>Centro de consumo</b>	<b>Flujo de condensado por equipo Ton/h</b>	<b>Caudal de condensado m<sup>3</sup>/h</b>
Secadores Rotatubos	7,1	7,69

*Nota.* Elaboración propia.

La velocidad recomendada para la conducción de agua en tuberías metálicas es entre 0,5 a 4,5 m/seg. Siendo la velocidad ideal 2,5 m/seg.

Fuente: <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Formuladecalculo.htm>

Se determina el diámetro de la tubería de conducción de condensados para cada equipo:

$$Q = A * v = \frac{\pi * D^2}{4} * v$$

Se toma como ejemplo de cálculo de un secador rotatubos:

$$7,69 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s} = \frac{\pi * D^2}{4} * 2,5 \frac{m}{s}$$

$$D = 0,032 m$$

Para la tubería de succión:

Del catálogo de tuberías TUBERIA DE ACERO AL CARBONO ASTM A53 / A106, se selecciona una tubería de 1 1/4" SCH 40 para presión de 4 bar de las siguientes características:

Diámetro exterior: 42,2 mm.

Espesor: 3,56 mm

Grado A: Hasta 84 kgf/cm<sup>2</sup>

Peso: 3,39 kg/m

<https://www.vemacero.com/Tablas/Superficie.pdf>

$$D_i = 42,2 - (2 * 3,56) = 35,08 mm = 0,0358 m \approx 0,032 m$$

Para la tubería de descarga:

Del catálogo de tuberías TUBERIA DE ACERO AL CARBONO ASTM A53 / A106, se selecciona una tubería de 1 1/4" SCH 40 para presión de 20 bar de las siguientes características:

Diámetro exterior: 42,2 mm.

Espesor: 3,56 mm

Grado A: Hasta 84 kgf/cm<sup>2</sup>

Peso: 3,39 kg/m

<https://www.vemacero.com/Tablas/Superficie.pdf>

$$D_i = 42,2 - (2 * 3,56) = 35,08 mm = 0,0358 m \approx 0,032 m$$

Para la tubería de distribución de los flujos de condensados del área de secadores rotatubos hacia la sala de calderos:

Se determina el diámetro de la tubería de conducción de condensados para un caudal de  $7,69 * 4 = 30,76 m^3/h$ .

$$Q = A * v = \frac{\pi * D^2}{4} * v$$

Se toma como ejemplo de cálculo una cocina:

$$30,76 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s} = \frac{\pi * D^2}{4} * 2,5 \frac{m}{s}$$

$$D = 0,066 m$$

Del catálogo de tuberías TUBERIA DE ACERO AL CARBONO ASTM A53 / A106, se selecciona una tubería de 2 1/2" SCH 40 para presión de 20 bar de las siguientes características:

Diámetro exterior: 73 mm.

Espesor: 5,16 mm

Grado A: Hasta 172 kgf/cm<sup>2</sup>

Peso: 8,63 kg/m

<https://www.vemacero.com/Tablas/Superficie.pdf>

$$Di = 73 - (2 * 5,16) = 62,68 mm = 0,06268 m \approx 0,066 m$$

Se presentan los resultados para cada una de las tuberías de succión y descarga por equipo y tubería principal de condensados.

Tabla 11

*Tuberías de condensados hacia sala de calderos*

Centro de consumo	Caudal de condensado m <sup>3</sup> /h	Tubería de succión (mm)	Tubería de descarga (mm)
Secador Rotatubo 1	7,69	1 1/4"	1 1/4"
Secador Rotatubo 2	7,69	1 1/4"	1 1/4"
Secador Rotatubo 3	7,69	1 1/4"	1 1/4"
Secador Rotatubo 4	7,69	1 1/4"	1 1/4"
Secadores Rotatubos	30,76	--	2 1/2"

*Nota.* Elaboración propia.

- **Determinación de las bombas de condensado presurizado.**

Se presenta el esquema de recuperación de condensados presurizados proveniente del ares de secadores rotatubos. Con las siguientes características:

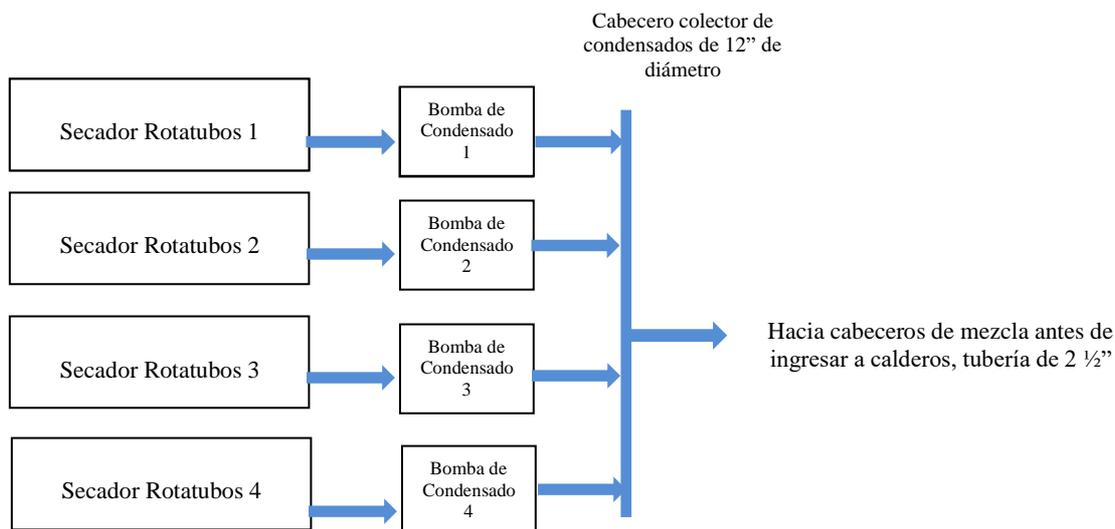
Cada circuito de cada secador rotatubo este compuesto por una tubería de recolección de condensados de 1 ¼” y tubería de descarga de 1 ¼”.

El condensado presurizado impulsado por una comba de condensados se recolecta en un cabecero común para los 4 circuitos, compuesto por un cabecero colector de 8”.

Desde el colector de condensados, el condensado fluye hacia el colector de mezcla ubicado antes de ingreso del agua a los calderos en tubería de 2 ½”, debidamente aislada.

Figura 24

*Esquema de retorno de condensados presurizados.*



*Nota.* Elaboración propia.

La bomba de condensados es la de tipo CP-N. La bomba de condensados CP-N están diseñadas para impulsar condensados de alta temperatura directamente l caldero. Gracias a esta reutilización del condensado caliente, el consumo de combustible para generar vapor se reduce considerablemente. Este sistema emplea una bomba de canal lateral combinada con un eyector. La bomba de chorro garantiza que, incluso con una altura de llenado mínima (mín. 1 m), se pueda bombear el condensado de alta temperatura sin riesgo de cavitación.

No es necesario tener un tanque de condensados de alta presión con control de nivel delante del CP-N. Basta con un pequeño colector de condensados con una válvula de excedente.

Dentro de sus beneficios y características tenemos:

**Conservación de Energía:** Cabezal de llenado corto, bombas tipo eyector recuperan condensado de alta temperatura sin cavitación. Grandes cantidades de calor puede ser reciclado cuando el condensado de alta temperatura es recuperado hacia la caldera.

**Fácil de Operar:** La recuperación de condensado es posible con un mínimo cabezal de llenado de 1 m (3 ft), requiriendo un mínimo de espacio para el equipo. El panel de control es diseñado para operación automática, eliminando la necesidad de operación con válvulas manuales. No requiere un recipiente presurizado, de esta manera no hay necesidad de notificar a las autoridades de regulación para recipientes presurizados.

**Larga Vida de Servicio:** El sistema tipo eyector evita la cavitación y prolonga la vida de la bomba.

En el Anexo 8 se presentan las especificaciones técnicas de la bomba CP-N según las siguientes especificaciones:

Caudal:  $7,69 \text{ m}^3/\text{h} = 271,6 \text{ ft}^3/\text{h}$

Presión: 20 Bar = 650 ft H<sub>2</sub>O

Corresponde:

Potencia = 18,5 kW

Máxima temperatura de operación admisible = 180 °C

Temperatura de operación = 143 °C

Variables eléctricas = 220 V/ 60 Hz/3f

Material de la bomba = Acero con fierro fundido.

Material del Eyector = Acero al carbono, A53 Grado A.

Material de válvula de control de presión = Acero A216 Gr.WCB.

Figura 25  
*Bomba CP-N.*



*Nota.* imagen tomada de [https://www3.tlv.com/global\\_pdf/tac/a-cpn00-hp.pdf](https://www3.tlv.com/global_pdf/tac/a-cpn00-hp.pdf)

- **Determinación del nuevo balance de energía en calderos.**

Flujo de vapor generado a centros de consumo: 79,2 Ton/h

Flujo de vapor generado a calentador de licor de separadoras: 1,63 Ton/h.

Perdidas en la distribución: 3,961 Ton/h

Realizando un balance en el desareador según la figura 19

Condensados recuperados de los Tanque Flash de cocinadores y secadores rotadiscos y desde el calentador del licor de separadoras a 1.5 bar, 50 800 kg/h, valor  $h= 467,1$  kJ/kg  
Agua de reposición 3 961 kg/h a 20 °C y 2 bar (presión de impulso desde tanque de agua blanda), valor de  $h= 84,2$  kJ/kg.

Figura 26

*Balace de energía en el desareador*



*Nota.* Elaboración propia.

Aplicando la ecuación de conservación de la energía:

$$(50\,800 * 467,1) + (3\,961 * 84,2) = 54\,761 * 4,18 * T_{fd}$$

Donde  $T_{fd}$  es la temperatura final del agua en el desareador. El desareador está ubicado a una altura de 10,4 m sobre el nivel del suelo.

$$T_{fd} = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Se cuenta en cada línea de suministro de agua, bombas del tipo CDM del tipo multietapa vertical de velocidad variable de la marca CNP de las siguientes características:

Bomba de agua de Caldero 2 Caudal nominal 13,14 m<sup>3</sup>/h Altura de bombeo nominal 240 m.c.a. Tipo CDM/CDMF15

Bomba de agua de Caldero 3 Caudal nominal 16,42 m<sup>3</sup>/h Altura de bombeo nominal 240 m.c.a. Tipo CDM/CDMF15

Bomba de agua de Caldero 4 Caudal nominal 19,70 m<sup>3</sup>/h Altura de bombeo nominal 250 m.c.a. Tipo CDM/CDMF32

Bomba de agua de Caldero 5 Caudal nominal 24,63 m<sup>3</sup>/h Altura de bombeo nominal 250 m.c.a. Tipo CDM/CDMF32

Bomba de agua de Caldero 6 Caudal nominal 24,63 m<sup>3</sup>/h Altura de bombeo nominal 250 m.c.a. Tipo CDM/CDMF32

Con rangos de succión de agua de hasta 120°C, Material acero inoxidable que se adaptan a las condiciones de servicio. (Ver Anexo 9 Nomograma de la Bomba CDM/CDMF)

Figura 27

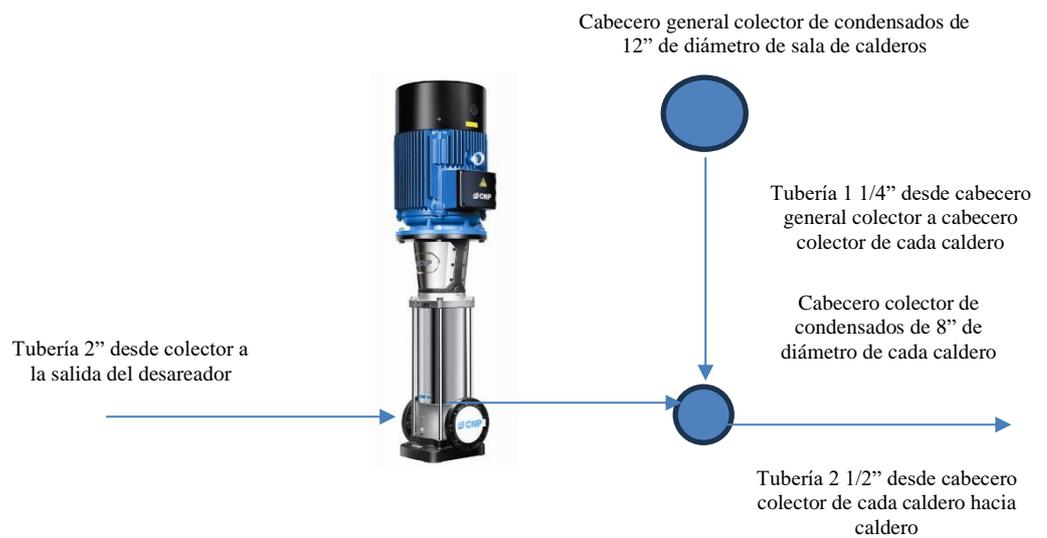
*Bomba multietapa de velocidad variable Marca CNP*



*Nota.* Imagen tomada de CNP PUMP.

Figura 28

*Distribución de condensados y agua de reposición para cada caldero*



*Nota.* Elaboración propia.

Para determinar el valor de la temperatura global de mezcla entre el flujo de condensado presurizado proveniente del área de secadores rotatubos y desde el desareador, se tienen las siguientes condiciones:

Flujo de condensados de 20 bar de presión y 143°C (temperatura de saturación a 4 bar): 28 400 kg/h, con un valor de entalpía de 605 kJ/kg

Flujo de agua proveniente del desareador a 20 bar de presión y 105 °C: 54 761 kg/h, con un valor de entalpía de 443 kJ/kg.

Flujo de agua presurizada saliente a 20 bar: 83 161 kg/h. Con un valor de temperatura de mezcla a determinar.

Aplicando la ecuación de conservación de la energía en el punto de mezcla. (según figura 24)

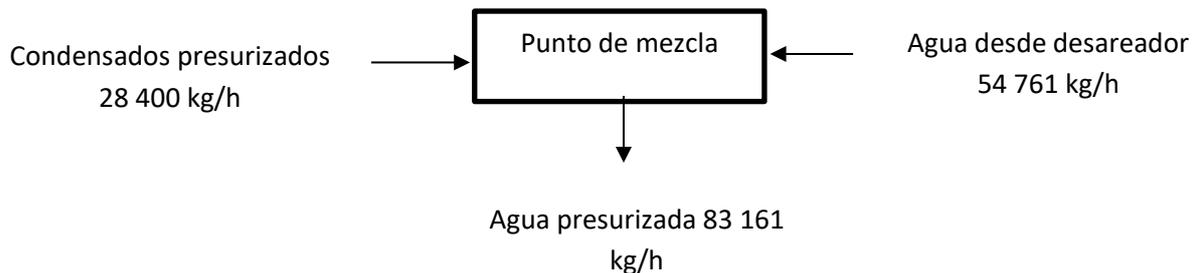
$$(28\ 400 * 605) + (54\ 761 * 443) = 83\ 161 * 4.18 * T_{fm}$$

Donde  $T_{fm}$  es la temperatura final del agua presurizada en el mezclador.

$$T_{fm} = 121\ ^\circ\text{C}$$

Figura 29

*Balance de energía global en cabeceros de mezcla*



*Nota.* Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el grupo de calderos debe generar 83 161 kg/h a una presión de 8 bar desde 121°C a 20 bar de presión con un valor de entalpía de 511 kJ/kg. Se presentan los resultados del nuevo balance de energía en calderos.

Tabla 12  
*Flujo de combustible con propuesta de inyección de condensados presurizados a Calderos*

Parámetro	Caldero 02	Caldero 03	Caldero 04	Caldero 05	Caldero 06
Potencia (BHP)	800	1 000	1 200	1 500	1 500
Eficiencia (%)	86,3%	86,5%	86,5%	86,7%	86,5%
Flujo gas natural operación (m <sup>3</sup> /h)	400	900	1 170	1 527	1 450
Presión de operación (bar)	8	8	8	8	8
Temperatura de agua de alimentación (°C)	121	121	121	121	121
Presión de agua de alimentación	20	20	20	20	20
Poder calorífico GN (kJ/m <sup>3</sup> )	39 710	39 710	39 710	39 710	39 710
Flujo de vapor (kg/h)	6 087	13 727	17 846	23 391	22 116
Flujo de combustible total (m <sup>3</sup> /h)	5 447				

*Nota.* Elaboración propia.

- **Determinación de indicadores de desempeño energético luego de la propuesta de recuperación de condensados presurizados.**

Parámetros para el cálculo para el Indicador Energético Técnico.

Flujo de gas natural de operación: 5 447 m<sup>3</sup>/h (Tabla 12)

Produccion:40,23 Ton de harina/h (Tabla 6)

Según ecuación 5.

$$IET' = \frac{5\,447\, m^3/h}{40,23\, Ton/h} = 135,40\, \frac{m^3}{Ton}$$

Parámetros para el cálculo para el Indicador Energético Económico.

Facturación mensual promedio de gas natural de operación: 5 447 m<sup>3</sup>/h (Anexo 6) S/

1'338 255,00

Produccion:40,23 Ton de harina/h (Tabla 6) para 200 horas/mes de operación.

Según ecuación 6.

$$IEE' = \frac{1'338\,255,00}{40,23 * 200} = 162,32\, \frac{S/}{Ton}$$

Parámetros para el cálculo para el Indicador Energético Ambiental.

Factor de emisiones para el gas natural: 56,1 Ton CO<sub>2</sub>/TJ (Tomado de Tesis de López, 2023)

Horas de operación al mes: 100 h.

Produccion:40,23 Ton de harina/h (Tabla 6)

Según ecuación 7.

$$IEA' = \frac{5\,447\, \frac{m^3}{h} * 39\,710\, \frac{kJ}{m^3} * \frac{1\,TJ}{10^9kJ} * 56,1\, \frac{Ton_{CO_2}}{TJ}}{40,23\, \frac{Ton.\,harina}{h}} = 0,30\, \frac{Ton_{CO_2}}{Ton.\,harina}$$

### 4.3 Benchmarking energético.

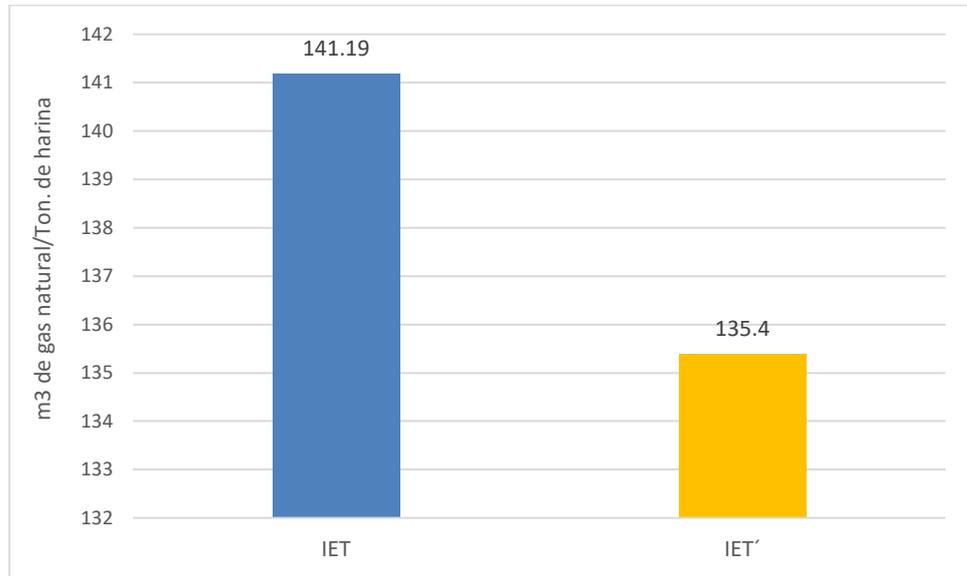
Referente al Indicador de desempeño energético técnico.

El indicador energético técnico inicial es de 141,19 m<sup>3</sup>de gas natural/Ton de harina, mientras que la instalación del sistema de recuperación de condensados presurizados produce un valor del indicador energético técnico de 135,4 m<sup>3</sup>de gas natural/Ton de

harina, lo que representa una reducción de 5,79 m<sup>3</sup>de gas natural/Ton de harina, lo que representa en términos porcentuales la reducción de 4,1 %.

Figura 30

*Benchmarking entre Indicadores de desempeño energético técnico*



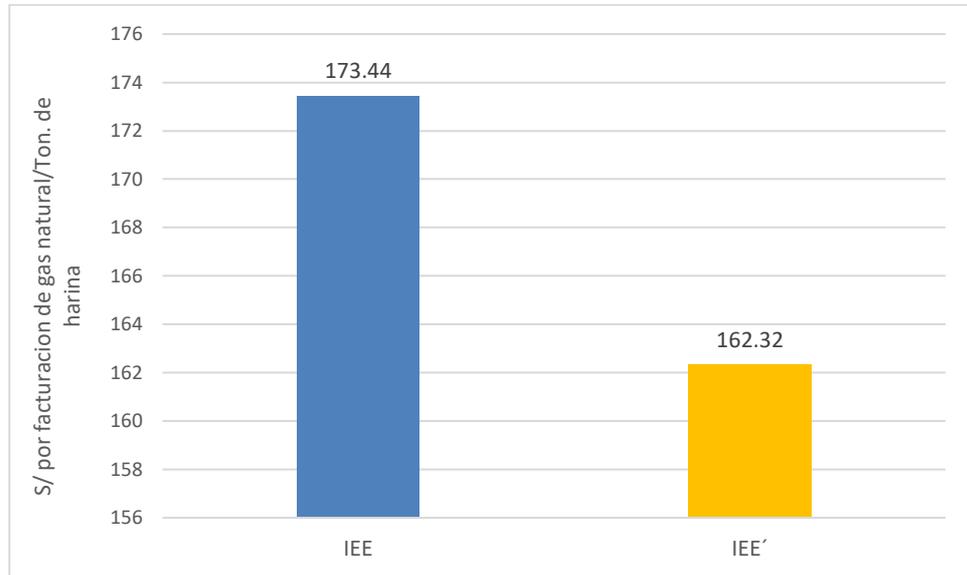
*Nota.* Elaboración propia.

Referente al Indicador de desempeño energético económico.

El indicador energético económico inicial es de 173,44 S/ por consumo de gas natural/Ton de harina, mientras que la instalación del sistema de recuperación de condensados presurizados produce un valor del indicador energético técnico de 162,32 S/ por consumo de gas natural/Ton de harina, lo que representa una reducción de 11,12 S/ por consumo de gas natural/Ton de harina, lo que representa en términos porcentuales la reducción de 6,4 %.

Figura 31

*Benchmarking entre Indicadores de desempeño energético económico*



*Nota.* Elaboración propia.

Referente al Indicador de desempeño energético ambiental.

El indicador energético ambiental inicial es de 0,31 Ton. de CO<sub>2</sub> emitidos/Ton de harina, mientras que la instalación del sistema de recuperación de condensados presurizados produce un valor del indicador energético técnico de 0,30 Ton. de CO<sub>2</sub> emitidos/Ton de harina, lo que representa una reducción de 0,01 Ton. de CO<sub>2</sub> emitidos/Ton de harina, lo que representa en términos porcentuales la reducción de 3,2 %.

Figura 32

*Benchmarking entre Indicadores de desempeño energético ambiental*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.4 Evaluación económica.

- **Premisas de cálculo:**

La evaluación energética se realiza para una producción de 160 Ton/h de capacidad.

Inversión: Según Anexo 10 la Inversión es S/. 685 066,70.

Costos de Operación y mantenimiento (OPEX): Según Anexo 11 es S/ 20 000,00 anuales

Los ingresos totales están referidos a los ahorros obtenidos por la reducción de consumo de gas natural al incrementarse la temperatura del agua de alimentación.

Para un promedio mensual de 200 horas/mes de operación:

Facturación mensual promedio de gas natural de operación: 5 680 m<sup>3</sup>/h (Anexo 5) S/ 1'395 501,00

Facturación mensual promedio de gas natural de operación con recuperación de condensados presurizados: 5 447 m<sup>3</sup>/h (Anexo 6) S/ 1'338 255,00

$$\text{Ahorro mes} = 1'395\,501,00 - 1,338\,255,00 = \text{S/ } 57\,246,00$$

Para una temporada promedio de 6 meses de operación al año:

$$\text{Ahorro anual} = 57\,246,00 * 6 = S/ 343\,476,00$$

Las consideraciones económicas para el cálculo de los indicadores de rentabilidad son los siguientes:

Tasa de Interés del mercado: 12 %.

Periodo de Evaluación del Proyecto: 10 años.

Valor actual neto.

$$\text{VAN} = -\text{Inversion} + \sum_{t=1}^n \frac{\text{Ingresos} - \text{Egresos}}{(1 + i)^n}$$

$$\text{VAN} = -685\,066,76 + \sum_{t=1}^{10} \frac{343\,476,00 - 20\,000,00}{(1 + 0.12)^{10}} = 1'677\,771,76$$

El valor del VAN es S/ 1'677 771,76, el cual es un valor positivo, por lo tanto, la propuesta de implementación es rentable.

Tasa interna de retorno.

$$0 = -\text{Inversion} + \sum_{t=1}^n \frac{\text{Ingresos} - \text{Egresos}}{(1 + \text{TIR})^n}$$

$$0 = -685\,066,76 + \sum_{t=1}^{10} \frac{343\,476,00 - 20\,000,00}{(1 + \text{TIR})^{10}}$$

$$\text{TIR} = 56,99 \%$$

El valor de la tasa interna de retorno igual a 56,99%, superior a la tasa de interés del mercado de 12%, por lo tanto, la propuesta de implementación es rentable.

Periodo de recuperación de la inversión o pay back.

$$\text{Pay back} = \frac{\text{Inversion}}{\text{Ahorros}}$$

$$\text{Pay back} = \frac{685\,066,76}{343\,476,00 - 20\,000,00} = 2,12 = 2 \text{ años , 1 mes y 15 días}$$

#### 4.5 Discusión de resultados.

Con referencia a la investigación de Andrade, F. y Villacrés, J. (2019) consiguieron una recuperación del sistema de condensados para una empresa de alimentos que le permitió un ahorro de combustible entre el 15 a 35 % con referencia al costo de los combustibles, para ello se empleó un sistema vapor flash empleando Diesel Industrial 2. Del mismo modo Gómez, J. (2012) plantea un sistema de recuperación de condensados con un sistema de vapor flash para una empresa de jugos con un ahorro de 20,31%, en el presente informe la empresa ya se cuenta con sistemas de recuperación de condensados para generar vapor, se plantea optimizar más la recuperación con la recuperación de los condensados presurizados desde los secadores rotatubos, obteniendo una agua de alimentación de calderos a una temperatura de 121°C con una reducción de los costos de combustibles de 6,4%.

Del mismo modo Martínez, M. (2009) plantea para una empresa metalúrgica en España la recuperación de Condensados de un proceso de decapado obteniendo en el tanque de agua de alimentación un a temperatura de 100°C, para un proceso previamente filtrado libre de impurezas; en nuestro caso la recuperación de condensados de una sola área permite obtener condensados recuperados desde una temperatura de 140 °C y mezclarse con agua de reposición a calderos obteniéndose una temperatura de 121 °C.

En la tesis de Razelau, A. (2006) se implementó un sistema de recuperación de condensados con una reducción de consumo de combustible de diésel de 8,623.33 gal/año, con una mejora de los indicadores de reducción de agua de 17,085.92 m<sup>3</sup>/año de agua, La inversión necesaria para llevar a cabo el proyecto es de Q203,172.31, con un periodo de retorno de la inversión de 1 año. En la presente investigación se consigue reducir en costos un promedio anual de S/ 343 746,00 y con un pay back de 2 años, 1 mes y 15 días.

En la tesis de López, X. (2023) se propone la optimización del proceso de suministro de agua de calderos incrementándose el valor de la temperatura hasta un valor de 112°C,

para ello se realiza un sistema de precalentamiento del agua incluyendo la óptima de los condensados provenientes de la generación de vapor flash con 2 calentadores ubicados luego del proceso de bombeo desde el desareador con lo cual se consigue 5% de ahorro de combustible y de los indicadores de desempeño energético, de manera similar en el presente estudio se busca optimizar la recuperación de condensados presurizados para mezclarlos con el agua de reposición a los calderos con un valor de temperatura de 121 °C, obteniéndose un ahorro de 6,4% , una mejora del indicador de desempeño económico de 6.4%, mejora del indicador de desempeño energético técnico de 4,1% y del ambiental en 3,2%.

Del mismo modo Ramos, J, & Valle, K. (2019) realizan la instalación de un sistema de recuperación de vapor flash obteniendo un equivalente energético de 217, 08 BHP ahorrándose 239,55 m<sup>3</sup> /h de gas natural, con su respectivo efecto en la disminución de costos por facturación de gas natural y de los gases de efecto invernadero asociados al gas natural. Mientras que en nuestro estudio se opta por mejorar el valor del vapor flash, al recuperarse directamente condensado presurizado con lo cual se consigue un ahorro de 6,4%, una mejora del indicador de desempeño económico de 6.4%, mejora del indicador de desempeño energético técnico de 4,1% y del ambiental en 3,2% y ahorrándose 233 m<sup>3</sup> /h de gas natural.

Por otro lado, Vivanco, K. (2017) en su tesis concluye que al dimensionar el sistema de recuperación de condensando se consigue obtener un ahorro de 381 968.4 m<sup>3</sup> /año de gas natural. Además, el periodo de recuperación de la inversión es 5 meses con una TIR de 286% y un valor del VAN de 837 696 U\$, mientras que para nuestra tesis se obtiene un periodo de recuperación de 2 años, 1 mes y 15 días, una TIR de 56,99% y un VAN de S/. 1'667 711, 76 (438 871 U\$).

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones.

- Se realizó un balance de energía en planta determinándose que para una producción de 40,23 Ton de harina/h, se tiene un consumo de 5 680 m<sup>3</sup>/h de gas natural para generar 83 161 kg/h de vapor saturado con un Indicador de desempeño técnico de 141,19 m<sup>3</sup>/Ton. de harina, un indicador de desempeño energético económico de 173,44 Soles/Ton, de harina producida y un indicador de desempeño energético ambiental de 0,31 Ton CO<sub>2</sub> emitidos / Ton, de harina producida.
- Se dimensiona el sistema de recuperación de condensados presurizados desde el área de secadores rotatubos, a través de bombas de condensados CP-N impulsándose los condensados en un total de 28 400 kg/h desde 4 a 20 bar de presión, los cuales se mezclan en los 5 puntos de suministro de agua de cada caldero n hasta un valor de temperatura de 121°C.
- Se realizó un balance de energía en el sistema de generación de vapor con recuperación de condensados presurizados, obteniéndose un consumo de gas natural de 5 447 m<sup>3</sup>/h de gas natural para generar 83 161 kg/h de vapor saturado.
- Se determinó la mejora de los indicadores de desempeño energético con los siguientes valores, el indicador de desempeño económico mejora en 6.4%, el indicador de desempeño energético técnico de 4,1% y el indicador de desempeño energético ambiental en 3,2%. Con lo cual se supera el valor propuesto de 3,0% en la hipótesis.
- Realizar una evaluación económica de la propuesta de implementación del sistema de recuperación de condensados presurizados, obteniéndose un periodo de recuperación de 2 años, 1 mes y 15 días, una TIR de 56,99% y un VAN de S/. 1´667 711, 76 (438 871 U\$).

## **Recomendaciones**

- Los proyectos de optimización y uso eficiente tienen por finalidad la mejora del desempeño energético por lo tanto está pendiente aún por comprobar si incrementando el flujo masico de condensado presurizado de las otras áreas se consiguen resultados favorables o desfavorables.
- Si bien es cierto se consiguió una mejora en los indicadores de desempeño energético técnico, económico ya ambiental, se puede obtener mejores resultados si se realiza un afinamiento de la combustión mejorando el rendimiento de los calderos hasta un valor de 87%, con lo cual se pue obtener un adicional de reducción de gas natural.
- Un trabajo pendiente es la reducción de las perdidas en la red de transporte de vapor desde el área de calderos a las zonas de consumo (cocinas y secadores), estas pérdidas son de 3 961 kg/h, revisando las trampas de vapor o los puntos de formación de condensados, o verificar el alineamiento de la red de tuberías, con la finalidad de reducir las pérdidas, con lo cual se podría tener un incremento pequeño de la mejora de los indicadores de desempeño.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Andrade, F. & Villacrés, J. (2019) Ahorro energético en el sistema recuperador de condensados de una planta industrial de Guayaquil. Artículo Científico. Escuela Superior Tecnológica del Litoral. Ecuador. Disponible en:  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/121/1/203.pdf>

AYVAZ (2023). Bombas de Condensado ACOP. Web de empresa AYVAZ. Disponible en:  
<https://www.ayvaz.com/productos/178-Bombas-de-Condensado-ACOP.html>

Barreto, F. & Castillo, F. (2014). Optimización de los indicadores de productividad de la empresa pesquera Ribaudó s.a. mediante el uso de gas natural licuado en el área de calderos. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del Santa en Perú. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/1924/27240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Borja, J. (2011). Mejoramiento en la red de recuperación de condensados en la línea uno de vulcanización de la compañía Michelin Colombia. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánica. Universidad Autónoma del Occidente. Colombia. Disponible en:  
<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/3246/TME00999.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bussiness School (2023). Valor actual neto: qué es y cómo calcularlo. Universidad de Barcelona. Disponible en.  
<https://bmfschool.com/2023/01/10/valor-actual-neto-que-es-y-como-calcularlo/>

Cequeira, J. & Fontana, L., (2019). Termodinámico. Apunte Didáctico. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. Disponible en:

[https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos\\_digitales/F8\\_TERMODINMI  
CA\\_Parte1.pdf](https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/F8_TERMODINMI_CA_Parte1.pdf)

Chucuya R. (2017). Ahorro de energía primaria mediante precalentamiento del aire y agua en una unidad de generación de vapor. Artículo Científico publicado en la Revista INGNOSIS. Universidad Cesar Vallejo. Disponible en: <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/INGnosis/article/view/2049/1735>

Corpus, C. & Meza, D. Influencia de la presión de operación en las características de diseño de un caldero pirotubular de 2 ton/hora de vapor saturado. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del Santa en Perú. Disponible en: <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2652>

Delgado y asociados (2017). Calderas. Colquimaquinas. Perú. Disponible: <http://www.delgadoyasociados.net/images/Distral%202019.pdf>

Delgado, J. (2019). Efecto de los parámetros de funcionamiento en el dimensionamiento del sistema bombeo de agua a 3960 m.s.n.m en una zona rural en Puno. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del Santa en Perú. Disponible en: [https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3274/47129.pdf?s  
equence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3274/47129.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Fernández, J. (2023). Tasa interna de retorno (TIR): ¿Qué es y cómo se calcula? Sage Advice. Disponible en: [https://www.sage.com/es-es/blog/tasa-interna-de-retorno-tir-que-es-y-como-se-  
calcula/](https://www.sage.com/es-es/blog/tasa-interna-de-retorno-tir-que-es-y-como-se-calcula/)

González, H. (2021). CÓMO MEJORAR EL DESEMPEÑO ENERGÉTICO EN 4 PASOS. México. Disponible en: [https://calidadgestion.wordpress.com/2021/03/01/como-mejorar-el-desempeno-  
energetico-en-4-pasos/](https://calidadgestion.wordpress.com/2021/03/01/como-mejorar-el-desempeno-energetico-en-4-pasos/)

Guevara. R. (2023) Manual de Auditorías Energéticas. Universidad Nacional del Santa. Perú. 85 p.

<https://es.scribd.com/document/444924463/manual-AUDITORIAS-ENERGETICAS>

Guzmán, N. (2023). El desempeño energético según la norma ISO 50001:2018. Integra. Disponible en:

<https://blog.consultoresdesistemasdegestion.es/el-desempeno-energetico-segun-la-norma-iso-500012018/>

Huamancayo, C. (2017). Análisis de un caldero pirotubular de 300 BHP, usando combustibles diesel y GLP, para mejorar la eficiencia, en la empresa AGROMANTARO S.A.C. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional del Centro. Huancayo. Perú. Disponible en:

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1572/TESIS%20CRISTIAN%20NEWTON%20HUAMANCAYO%20INGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Junta de Castilla y León. (2010). Manual técnico de diseño y cálculo de redes de vapor eficiencia energética en redes de vapor. Ente Regional de Energía de Castilla y León. España. Disponible en:

<file:///C:/Users/HP%20250/Downloads/Manual+Redes+de+Vapor,0.pdf>

López, X. (2023). Incremento de Temperatura de Suministro de agua de Calderos mediante un Sistema Óptimo de Recuperación de Calor. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del Santa en Perú. Disponible en:

<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/4319/52788.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Martínez, M. (2009). Sistema de Recuperación de Condensados de una Línea de Decapado de Bobinas Laminadas en Caliente. Tesis de Maestría. Universidad de Valencia. Disponible en:  
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11306/Memoria\\_final.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/11306/Memoria_final.pdf?sequence=1)
- Mezquita, R. (2023) ¿Qué es Payback y cómo calcular el de tu empresa? Blog Rockcontent. Disponible en:  
<https://rockcontent.com/es/blog/payback/>
- Ramos, J. & Valle, K. (2019). Influencia de un sistema de vapor flash en el área de secado para la reducción del consumo de combustible en la planta de harina Copeinca Chancay, 2019. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía de la Universidad Nacional del Santa en Perú. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3552>
- Pérez, L. (2023) La Importancia del Agua de Alimentación en Calderas: Parámetros de Control y Purgas. Blog de LinkedIn. Disponible en:  
<https://www.linkedin.com/pulse/la-importancia-del-agua-de-alimentaci%C3%B3n-en-calderas-par%C3%A1metros-perez/?originalSubdomain=es>
- Razelau, A. (2006) Diseño de un sistema de recuperación de condensado para disminuir el consumo de diesel y agua de alimentación de una caldera de una planta industrial. Tesis de Ingeniero Químico. Universidad del Valle de Guatemala. Disponible en:  
<https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/1588>
- Quezada, B. (2020) Arreglo del suministro de energía para optimizar la línea base energética en empresa Isadora S.A.C. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del Santa en Perú. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3378>

Spirax Sarco. (2018) Recuperación de Condensados. Brasil. Disponible en:

<https://www.spiraxsarco.com/global/es-PE/blog/recuperacion-de-condensados>

Spirax Sarco. (2021). Retorno de Condensado y Cuándo Usar Bombas de Condensado.

Brasil. Disponible en:

<https://www.tlv.com/es-mx/steam-info/steam-theory/condensate-recovery/types-of-condensate-recovery>

Termodinámica (2017). Recuperación de condensados. Ingeniería Termodinámica.

Perú. Disponible en:

<https://www.termodinamica.com.pe/2017/04/24/recuperacion-de-condensado/>

Valverde, J. (2017). Plan de gestión energética en el sistema de vapor saturado en

curtiembre cuenca, basado en auditoria térmica y normas peruanas, para aumentar eficiencia y reducir costos de generación de vapor. Tesis para título de

Ingeniero Mecánico Eléctrico. Universidad Cesar Vallejo. Perú. Disponible en:

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/26458/valverde\\_a\\_j.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/26458/valverde_a_j.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Velayos, V. (2020). Valor actual neto (VAN). Economipedia. México. Disponible en:

<https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

Vivanco, K. (2017). Diseño de un sistema de recuperación de condensado para generar

un ahorro de energía térmica en las calderas de la empresa LAIVE. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía en la Universidad Nacional del Callao en

Perú. Disponible en:

[http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6762/TESIS\\_PR\\_EGRADO\\_VIVANCO\\_FIME\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6762/TESIS_PR_EGRADO_VIVANCO_FIME_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Yépez, J. (2018). Evaluación de la recuperación de condensados en una planta dual de

producción para la empresa hojalata y laminados s.a. HOLASA. Tesis para optar el título de Ingeniero Electromecánico. Universidad Tecnológico Metropolitano.

Colombia. Disponible en:

[https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/1642/Rep\\_Itm\\_p\\_r\\_e\\_Yepes.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/1642/Rep_Itm_p_r_e_Yepes.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Yutzil, A. (2019). El Desempeño Energético en ISO 50001:2018. Newsletter DQS. México. Disponible en:

<https://www.dqsglobal.com/es-mx/aprenda/blog/el-desempeno-energetico-en-iso-50001-2018>

Zavala, R. (2021) Diseño de redes de vapor para suministrar a las áreas de servicios del hospital ESSALUD II de Moquegua, beneficiándose del paso del gasoducto andino del sur. Tesis para optar el título de Ingeniero mecánico eléctrico. Universidad Católica de Santa María. Perú. Disponible en:

<file:///C:/Users/HP%20250/Downloads/4K.0400.IM.pdf>

## **VII. ANEXOS.**

ANEXO 1: Determinación del flujo de vapor consumido por cocinadores.

ANEXO 2: Determinación del flujo de vapor consumido por secadores rotadiscos.

ANEXO 3: Determinación del flujo de vapor consumido por secadores rotatubos.

ANEXO 4: Balance de energía Área de calentamiento de fluidos.

ANEXO 5: Facturación mensual promedio de gas natural

ANEXO 6: Facturación mensual promedio de gas natural con recuperación de condensados presurizados.

ANEXO 7: Especificaciones técnicas de tuberías de acero sin costura

ANEXO 8: Especificaciones de Bomba de condensados CP-N

ANEXO 9: Nomograma de Bomba de suministro de agua CDM-CDMF Marca CPN condensados CP-N

ANEXO 10: Metrado de presupuesto de la Inversión de sistema de recuperación de condensados presurizados.

ANEXO 11: Costos de Operación y mantenimiento (OPEX):

ANEXO 1: Determinación del flujo de vapor consumido por cocinadores.

Se tiene las propiedades fisicoquímicas de la materia prima.

Etapa	% Humedad	% Grasa	% Solidos
Entrada a cocinas	72	6	22

Se toma referencia el procedimiento de cálculo de la tesis de López Santander (2023)

$$C_{e} = 0.32 * \%Solidos + 0.5 * \%Grasa + 1.0 * \%Humedad$$

$$C_{e} = 0.32 * 0,22 + 0.5 * 0,06 + 1.0 * 0,72 = 0,82 \frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C}$$

Aplicando el balance de energía en el área de cocción donde:

$$m_{MP} = 160 \text{ Toneladas/h}$$

$$C_{e_{MP}} = 0,82 \text{ kcal/kg } ^\circ C$$

$$T_f = 95 \text{ } ^\circ C$$

$$T_i = 20 \text{ } ^\circ C$$

La potencia térmica suministrada para cocinar la materia prima  $\dot{Q}_{cmp}$  es:

$$\dot{Q}_{cmp} = 160\,000 * 0,82 * (95 - 20) * 4,18 = 41'131\,200 \text{ kJ/h}$$

Se considera un porcentaje adicional por pérdidas de 5,0%.

Por lo tanto:

$$\dot{Q}_c = 41'131\,200 * \left( \frac{100}{100 - 5,0} \right) = 43'296\,000 \text{ kJ/h}$$

El flujo masico para el área de cocción es:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_v * (h_g - h_f)_{presion\ servicio}$$

$$h_f = 604,7 \text{ kJ/kg (liquido saturado a 4 bar)}$$

$$h_g = 2\,737,6 \text{ kJ/kg (vapor saturado a 4 bar)}$$

$$\dot{m}_{v1} = \frac{43'296\ 000}{(2\ 737,6 - 604,7)} = 20\ 400 \frac{kg}{h} = 20,4\ Ton/h$$

Luego el flujo masico unitario requerido por cada uno de los cocinadores es de

$$\dot{m}_{v1\ por\ cocinador} = \frac{20,4\ Ton/h}{4} = 5,1\ Ton/h$$

ANEXO 2: Determinación del flujo de vapor consumido por secadores rotadiscos.

Para un flujo masico de 82,22 Ton/h de mix entrante (Según Tabla 5)

Flujo masico de scrap 62,03 Ton/h de scrap saliente (Según Tabla 5)

Flujo de agua evaporada extraída es 20,19 kg de agua evaporada (Según Tabla 5)

Se tiene las propiedades fisicoquímicas del scrap.

Etapa	% Humedad	% Grasa	% Solidos
Mix	55,0	3,0	42,0
Scrap	40,3	4,3	55,4

$$C_e = 0.68 * \%Solidos + 0.5 * \%Grasa + 1.0 * \%Humedad$$

$$C_e = 0.68 * 0,42 + 0.5 * 0,03 + 1.0 * 0,55 = 0,85 \frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C}$$

Aplicando el balance de energía en el área de secado con secadores rotadiscos.

El flujo de calor suministrada a los secadores rotatubos para el calentamiento del mix del proceso de secado desde 50 a 100°C:

$$\dot{m}_m = 82,22 \text{ Ton/h}$$

$$C_{e_m} = 0,85 \text{ kcal/kg } ^\circ C$$

$$T_f = 100 \text{ } ^\circ C$$

$$T_i = 50 \text{ } ^\circ C$$

$$\dot{Q}_{m1} = 82\,220 * 0,85 * 4,18 * (100 - 50) = 14'606\,383 \text{ kJ/h}$$

El flujo de calor suministrado para el cambio de fase del agua contenida en el mix es:

$$\dot{m}_w = 20,19 \text{ Ton/h}$$

$$h_f = 406,5 \text{ kJ/kg (liquido saturado a 1 bar)}$$

$$h_g = 2\,695,4 \text{ kJ/kg (vapor saturado a 1 bar)}$$

$$\dot{Q}_{m2} = 20\,190 * (2\,695,4 - 406,5) = 46'212\,891 \text{ kJ/h}$$

El flujo total requerido es:

$$\dot{Q}_{mt'} = 14'606\,383 + 46'212\,891 = 60'819\,274 \text{ kJ/kg}$$

Se considera un porcentaje adicional de 5% por perdidas, según la tesis de Robles y Valera,2022.

$$\dot{Q}_{mt} = 60'819\,274 * \left( \frac{100}{100 - 5} \right) = 64'020\,288 \text{ kJ/h}$$

El flujo masico para el área de secadores rotadiscos es:

$$\dot{Q}_{mt} = \dot{m}_{v2} * (h_g - h_f)_{presion\ servicio}$$

$$h_f = 642,1 \text{ kJ/kg (liquido saturado a 5 bar)}$$

$$h_g = 2\,747,5 \text{ kJ/kg (vapor saturado a 5 bar)}$$

$$\dot{m}_{v2} = \frac{64'020\,288}{(2\,747,5 - 642,1)} = 30\,407 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 30,4 \text{ Ton/h}$$

ANEXO 3: Determinación del flujo de vapor consumido por secadores rotatubos.

Para un flujo masico de scrap de 62,03 Ton/h de mix entrante (Según Tabla 5)

Flujo masico de harina 40,23 Ton/h saliente (Según Tabla 5)

Flujo de agua evaporada retirada es 21,8 Ton. de agua evaporada (Según Tabla 5)

Se tiene las propiedades fisicoquímicas.

Etapa	% Humedad	% Grasa	% Solidos
Scrap	40,3	4,3	55,4
Harina	8,0	6,6	85,4

$$C_{e_s} = 0.68 * \%Solidos + 0.5 * \%Grasa + 1.0 * \%Humedad$$

$$C_{e_s} = 0.68 * 0,554 + 0.5 * 0,043 + 1.0 * 0,403 = 0,80 \frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C}$$

Aplicando las ecuaciones para el balance de energía en el área de secado.

El flujo de calor suministrado a los secadores rotatubos para el calentamiento del scrap del proceso de secado tiene en cuenta los siguientes parámetros:

$$\dot{m}_s = 62,03 \text{ Ton/h}$$

$$C_{e_s} = 0,80 \text{ kcal/kg } ^\circ C$$

$$T_f = 100 \text{ } ^\circ C$$

$$T_i = 67 \text{ } ^\circ C$$

$$\dot{Q}_{s1} = 62\ 030 * 0,80 * 4,18 * (100 - 67) = 6'845\ 135 \text{ kJ/h}$$

El flujo de calor suministrado para el cambio de fase de porcentaje del agua contenida en el scrap es:

$$\dot{m}_w = 21\ 800 \text{ kg/h}$$

$$h_f = 406,5 \text{ kJ/kg (liquido saturado a 1 bar)}$$

$$h_g = 2\ 695,4 \text{ kJ/kg (vapor saturado a 1 bar)}$$

$$\dot{Q}_{s2} = 21\ 800 * (2\ 695,4 - 406,5) = 49'898\ 020 \text{ kJ/h}$$

Luego la potencia térmica necesaria que requieren los secadores rotadiscos es:

$$\dot{Q}_{st'} = 6'845\,135 + 49'898\,020 = 56'743\,155 \text{ kJ/kg}$$

Se considera un porcentaje adicional por 5% por perdidas.

$$\dot{Q}_{st} = 56'743\,155 * \left( \frac{100}{100 - 5} \right) = 59'729\,636 \text{ kJ/h}$$

El flujo masico para el área de cocción es:

$$\dot{Q}_{st} = \dot{m}_{v3} * (h_g - h_f)_{presion\ servicio}$$

$h_f = 642,1 \text{ kJ/kg}$  (liquido saturado a 5 bar)

$h_g = 2\,747,5 \text{ kJ/kg}$  (vapor saturado a 5 bar)

$$\dot{m}_{v3} = \frac{59'729\,636}{(2\,747,5 - 642,1)} = 28\,368 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 28,4 \text{ Ton/h}$$

ANEXO 4: Balance de energía Área de calentamiento de fluidos.

a. Calentamiento de licor de prensa.

Presión de servicio = 1,5 bar

Flujo masico de licor de prensa = 105 000 kg/h (Según Tabla 5)

Etapa	% Humedad	% Grasa	% Solidos
Licor de prensa	84,0	7,0	9,0

$$C_e = 0.32 * \%Solidos + 0.5 * \%Grasa + 1.0 * \%Humedad$$

$$C_e = 0.32 * 0,09 + 0.5 * 0,07 + 1.0 * 0,84 = 0,90 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C}$$

Aplicando el balance de energía en el área de calentamiento

El flujo de energía suministrada al calentador de licor de prensa tiene en cuenta los siguientes parámetros:

$$\dot{m}_{lp} = 105\,000 \text{ kg/h}$$

$$C_{e_s} = 0,90 \text{ kcal/kg } ^\circ C$$

$$T_f = 80 \text{ } ^\circ C \text{ salida del calentador de licor de prensa.}$$

$$T_i = 70 \text{ } ^\circ C \text{ entrada al calentador de licor de prensa.}$$

$$\dot{Q}_{lp} = 105\,000 * 0,90 * 4,18 * (80 - 70) = 3'950\,100,0 \text{ kJ/h}$$

El flujo masico requerido para el área de calentamiento de licor de prensa es:

$$\dot{Q}_{lp} = \dot{m}_v * (h_g - h_f)_{presion\ servicio}$$

$$h_f = 467,1 \text{ kJ/kg (liquido saturado a 1,5 bar)}$$

$$h_g = 2\,693,4 \text{ kJ/kg (vapor saturado a 1,5 bar)}$$

$$\dot{m}_v = \frac{3'950\,100}{(2\,693,4 - 467,1)} = 1\,774 \frac{kg}{h} = 1,78 \text{ Ton/h}$$

b. Calentamiento de licor de separadoras.

Presión de servicio = 1,5 bar

Flujo masico de licor de separadora= 95 550 kg/h (Según Tabla 5)

Etapa	% Humedad	% Grasa	% Solidos
Licor de separadoras	82,0	12,0	6,0

$$C_e = 0.32 * \%Solidos + 0.5 * \%Grasa + 1.0 * \%Humedad$$

$$C_e = 0,32 * 0,06 + 0,5 * 0,12 + 1,0 * 0,82 = 0,90 \frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C}$$

El flujo de calor suministrado al calentador de licor de separadoras tiene en cuenta los siguientes parámetros:

$$\dot{m}_{ls} = 95\,550 \text{ kg/h}$$

$$C_{e_{ls}} = 0,90 \text{ kcal/kg } ^\circ C$$

$$T_f = 80 \text{ } ^\circ C \text{ salida del calentador de licor de separadoras}$$

$$T_i = 70 \text{ } ^\circ C \text{ entrada al calentador de licor de separadoras}$$

$$\dot{Q}_{lp} = 95\,550 * 0,90 * 4,18 * (80 - 70) = 3'594\,591 \text{ kJ/h}$$

El flujo masico para el área de calentamiento de licor de prensa es:

$$\dot{Q}_{lp} = \dot{m}_v * (h_g - h_f)_{presion\ servicio}$$

$$h_f = 467,1 \text{ kJ/kg (liquido saturado a 1,5 bar)}$$

$$h_g = 2\,693,4 \text{ kJ/kg (vapor saturado a 1,5 bar)}$$

$$\dot{m}_v = \frac{3'594\,591}{(2\,693,4 - 467,1)} = 1\,614 \frac{kg}{h} = 1,62 \text{ Ton/h}$$

c. Calentamiento de sanguaza.

Presión de servicio = 1,5 bar

Flujo masico de sanguaza = 10 000 kg/h

Etapa	% Humedad	% Grasa	% Solidos
Licor de separadoras	95,0	4,0	1,0

$$C_{e} = 0.32 * \%Solidos + 0.5 * \%Grasa + 1.0 * \%Humedad$$

$$C_{e} = 0,32 * 0,01 + 0,5 * 0,04 + 1,0 * 0,95 = 0,97 \frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C}$$

El flujo de energía térmica suministrada al calentador de sanguaza tiene en cuenta los siguientes parámetros:

$$\dot{m}_{sg} = 10\,000 \text{ kg/h}$$

$$C_{e_{sg}} = 0,97 \text{ kcal/kg } ^\circ C$$

$$T_f = 80 \text{ } ^\circ C \text{ salida del calentador de sanguaza}$$

$$T_i = 20 \text{ } ^\circ C \text{ entrada al calentador de sanguaza}$$

$$\dot{Q}_{sg} = 10\,000 * 0,97 * 4,18 * (80 - 20) = 2'432\,760 \text{ kJ/h}$$

El flujo masico para el área de calentamiento de licor de sanguaza es:

$$\dot{Q}_{sg} = \dot{m}_v * (h_g - h_f)_{presion\ servicio}$$

$$h_f = 467,1 \text{ kJ/kg (liquido saturado a 1,5 bar)}$$

$$h_g = 2\,693,4 \text{ kJ/kg (vapor saturado a 1,5 bar)}$$

$$\dot{m}_v = \frac{2'432\,760}{(2\,693,4 - 467,1)} = 1\,092 \frac{kg}{h} = 1,10 \text{ Ton/h}$$

ANEXO 5: Facturación mensual promedio de gas natural

Consumo por hora de operación: 5 680 m<sup>3</sup>/h

Horas de operación diaria: 20 horas.

Horas día/mes de operación: 10 días.

Consumo de gas natural mes: 1'136 000 m<sup>3</sup>/mes

Produccion:40,23 Ton de harina/h (Tabla 5)

Figura

Tarifas de gas natural Empresa Calidda enero 2024



**Aplicable por el servicio de enero de 2024**  
(Conforme lo dispuesto por las Resoluciones Osinergrm N° 054-2016-OS/CD, N° 079-2022-OS/CD y N° 138-2022-OS/CD)

**EMPRESA: GAS NATURAL DE LIMA Y CALLAO S.A.**

**1. PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL:**

Categoría Tarifaria	Rango de Consumo	PRECIO MEDIO DE GAS y COSTO MEDIO DE TRANSPORTE (1)			TARIFAS ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (3)			
		Precio Medio del Gas Natural (2)	Costo Medio del Transporte del Gas Natural (2)		Costo Fijo de Comercialización (2)		Costo Fijo de Distribución (2)	Costo Variable de Distribución (2)
			Transporte del Gas	Recargos FISE (4)	Comercialización Fijo (CF)		Distribución Fijo (DF)	Distribución Variable (DV)
					S/./mes	S/./(Sm <sup>3</sup> /día)		
S/./m <sup>3</sup>	S/./m <sup>3</sup>	S/./mes	S/./(Sm <sup>3</sup> /día)	S/./(Sm <sup>3</sup> /día)	S/./Sm <sup>3</sup>			
A1 (Sin P. Promoc)	0 - 30	0.55249505			2.3752			0.79449936
A1 (Con P. Promoc.) (5)	0 - 30	0.19581062			2.3752			0.79449936
A2 (Sin P. Promoc)	31 - 300	0.55249505			7.6675			0.61377222
A2 (Con P. Promoc.) (5)	31 - 300	0.19581062			7.6675			0.61377222
B	301 - 17,500	0.55249505			90.3594			0.45847455
IP (6)	(*)	0.55249505	0.21826543	0.00841787		0.1018	0.8317	0.21578844
C	17,501 - 300,000	0.55249505				0.1018	0.8317	0.21578844
GNV	(*)	0.55249505				0.0855	0.7009	0.18823700
D	300,001 - 900,000	0.55249505				0.0719	0.5898	0.15559556
E	Mayor a 900,000	0.55249505				0.5085	3.4500	0.13014550
GE	(*)	0.30133912				0.3619	2.5025	0.09414185

(\*) Independiente del Consumo

1. Conforme lo dispuesto por la Resolución Osinergrm N° 054-2016-OS/CD y sus modificatorias.  
 2. Tipo de Cambio S/. 3.8462, según lo dispuesto en el artículo 35 de la Resolución Osinergrm N° 054-2016-OS/CD y modificatorias.  
 3. Conforme lo dispuesto por la Resolución Osinergrm N° 079-2022-OS/CD, modificada por Resolución N° 138-2022-OS/CD.  
 4. Recargo FISE vigente desde el 10 de Junio de 2012, según Ley N° 29852 y Reglamento Aprobado D.S. N° 021-2012-EM  
 5. Descuento de 62.76% sobre precio de gas natural en boca de pozo, a 100,000 primeros clientes, hasta consumo máximo de 1,500 m<sup>3</sup>  
 6. Instituciones Públicas (IP): Hospitales, centro de salud, instituciones educativas, entre otros.  
 7. Publicación de los componentes del costo del pliego tarifario, según el artículo 21° de la RCD N° 054-2016-OS/CD y modificatorias.  
 Los Cargos no incluyen IGV (18%).

**Factores de actualización (PPI, IAC, IPE e IPM) (7)**

Componente de TU	Valor (Unidades)	Vigencia
Factor PPI	248.517	
Factor IAC	383.476	De Noviembre 2023
Factor IPE	174.624	a Enero 2024
Factor IPM	134.411413	

Nota. Información obtenida de OSINERGMIN

Le corresponde a la Empresa una categoría E.

Se presentan los siguientes cargos a facturar:

Costo unitario Precio medio del gas natural = 0,5524 S/. /m<sup>3</sup>

Costo unitario Recargo FISE = 0,0084 S/. /m<sup>3</sup>

Costo unitario transporte del gas= 0,2182 S/. /m<sup>3</sup>

Costo unitario distribución variable = 0,1301 S/. /m<sup>3</sup>

Costo fijo de comercialización= 0,5084 S/. /m<sup>3</sup>/día

Costo fijo de distribución= 3,4500 S/. /m<sup>3</sup>/día

Por costos variables:

$$CV = (0,5524 + 0,0084 + 0,2182 + 0,1301) * 1'136\ 000 = S/ 1'032\ 737,00$$

Por costos fijos:

$$CF = (0,5084 + 3,4500) * \frac{1'136\ 000}{30} = S/ 149891$$

Costo mensual:

$$CM = (1'032\ 737 + 149\ 891) * 1.18 = S/ 1'395501$$

ANEXO 6: Facturación mensual promedio de gas natural con recuperación de condensados presurizados.

Consumo por hora de operación: 5 447 m<sup>3</sup>/h

Horas de operación diaria: 20 horas.

Horas día/mes de operación: 10 días.

Consumo de gas natural mes: 1'089 400 m<sup>3</sup>/mes

Produccion:40,23 Ton de harina/h (Tabla 5)

Figura

Tarifas de gas natural Empresa Calidda Enero 2024



**Aplicable por el servicio de enero de 2024**  
(Conforme lo dispuesto por las Resoluciones Osinergrmin N° 054-2016-OS/CD, N° 079-2022-OS/CD y N° 138-2022-OS/CD)

**EMPRESA: GAS NATURAL DE LIMA Y CALLAO S.A.**

**1. PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL:**

Categoría Tarifaria	Rango de Consumo	PRECIO MEDIO DE GAS y COSTO MEDIO DE TRANSPORTE (1)			TARIFAS ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (3)			
		Precio Medio del Gas Natural (2)	Costo Medio del Transporte del Gas Natural (2)		Costo Fijo de Comercialización (2)		Costo Fijo de Distribución (2)	Costo Variable de Distribución (2)
			Transporte del Gas	Recargos FISE (4)	Comercialización Fijo (CF)		Distribución Fijo (DF)	Distribución Variable (DV)
	Sm3/Cliente-mes	S/./m3	S/./m3	S/./m3	S/./mes	S/./(Sm3/día)	S/./(Sm3/día)	S/./Sm3
A1 (Sin P. Promoc)	0 - 30	0.55249505			2.3752			0.79449936
A1 (Con P. Promoc.) (5)	0 - 30	0.19581062			2.3752			0.79449936
A2 (Sin P. Promoc)	31 - 300	0.55249505			7.6675			0.61377222
A2 (Con P. Promoc.) (5)	31 - 300	0.19581062			7.6675			0.61377222
B	301 - 17,500	0.55249505			90.3594			0.45847455
IP (6)	(*)	0.55249505	0.21826543	0.00841787		0.1018	0.8317	0.21578844
C	17,501 - 300,000	0.55249505				0.1018	0.8317	0.21578844
GNV	(*)	0.55249505				0.0855	0.7009	0.18823700
D	300,001 - 900,000	0.55249505				0.0719	0.5898	0.15559556
E	Mayor a 900,000	0.55249505				0.5085	3.4500	0.13014550
GE	(*)	0.30133912				0.3619	2.5025	0.09414185

(\*) Independiente del Consumo

1. Conforme lo dispuesto por la Resolución Osinergrmin N° 054-2016-OS/CD y sus modificatorias.  
2. Tipo de Cambio S/. 3.8462, según lo dispuesto en el artículo 35 de la Resolución Osinergrmin N° 054-2016-OS/CD y modificatorias.  
3. Conforme lo dispuesto por la Resolución Osinergrmin N° 079-2022-OS/CD, modificada por Resolución N° 138-2022-OS/CD.  
4. Recargo FISE vigente desde el 10 de Junio de 2012, según Ley N° 29852 y Reglamento Aprobado D.S. N° 021-2012-EM  
5. Descuento de 62.76% sobre precio de gas natural en boca de pozo, a 100,000 primeros clientes, hasta consumo máximo de 1,500 m<sup>3</sup>  
6. Instituciones Públicas (IP): Hospitales, centro de salud, instituciones educativas, entre otros.  
7. Publicación de los componentes del costo del pliego tarifario, según el artículo 21° de la RCD N° 054-2016-OS/CD y modificatorias. Los Cargos no incluyen IGV (18%).

Factores de actualización (PPI, IAC, IPE e IPM) (7)		
Componente de TU	Valor (Unidades)	Vigencia
Factor PPI	248.517	
Factor IAC	383.476	De Noviembre 2023
Factor IPE	174.624	a Enero 2024
Factor IPM	134.411413	

Nota. Información obtenida de OSINERGMIN

Le corresponde a la Empresa una categoría E.

Se presentan los siguientes cargos a facturar:

Costo unitario Precio medio del gas natural = 0,5524 S/. /m<sup>3</sup>

Costo unitario Recargo FISE = 0,0084 S/. /m<sup>3</sup>

Costo unitario transporte del gas = 0,2182 S/. /m<sup>3</sup>

Costo unitario distribución variable = 0,1301 S/. /m<sup>3</sup>

Costo fijo de comercialización= 0,5084 S/. /m<sup>3</sup>/día

Costo fijo de distribución= 3,4500 S/. /m<sup>3</sup>/día

Por costos variables:

$$CV = (0,5524 + 0,0084 + 0,2182 + 0,1301) * 1'089\ 400 = S/ 990\ 373,00$$

Por costos fijos:

$$CF = (0,5084 + 3,4500) * \frac{1'089\ 400}{30} = S/ 143742$$

Costo mensual:

$$CM = (990\ 373 + 143\ 742) * 1.18 = S/ 1'338255,00$$

ANEXO 7: Especificaciones técnicas de tuberías de acero sin costura

Figura

Tuberías de acero al carbono-VEMACERO



TUBERÍA DE ACERO AL CARBONO  
API 5L / ASTM A53 / A106

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm <sup>2</sup>	psi	Kg/cm <sup>2</sup>
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	700	49	700	49
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	850	60	850	60
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	700	49	700	49
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20	850	60	850	60
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	700	49	700	49
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	850	60	850	60
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39	1200	84	1300	91
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47	1800	127	1900	134
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	1200	84	1300	91
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41	1800	127	1900	134
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44	2300	162	2500	176
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	2500	176	2500	176
2-1/2	65	2.875	73	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	2500	176	2500	176
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41	2500	176	2500	176
				0.375	9.52	-	160	-	-	2500	176	2500	176
				0.552	14.02	XXS	-	-	-	2500	176	2500	176
3	80	3.500	88.9	0.125	3.18	-	-	4.51	6.72	1290	91	1500	105
				0.156	3.96	-	-	5.57	8.29	1600	112	1870	131
				0.188	4.78	-	-	6.65	9.92	1930	136	2260	159
				0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	2220	156	2500	176
				0.250	6.35	-	-	8.68	12.93	2500	176	2500	176
				0.281	7.14	-	-	9.66	14.40	2500	176	2500	176
				0.300	7.62	XS	80	10.25	15.27	2500	176	2500	176
4	100	4.500	114.3	0.125	3.18	-	-	5.84	8.71	1000	70	1170	82
				0.156	3.96	-	-	7.24	10.78	1250	88	1460	103
				0.188	4.78	-	-	8.66	12.91	1500	105	1750	123
				0.219	5.56	-	-	10.01	14.91	1750	123	2040	143
				0.237	6.02	STD	40	10.79	16.07	1900	134	2210	155
				0.250	6.35	-	-	11.35	16.90	2000	141	2330	164
				0.281	7.14	-	-	12.66	18.87	2250	158	2620	184
				0.312	7.92	-	-	13.98	20.78	2500	176	2800	197
				0.337	8.56	XS	80	14.98	22.32	2700	190	2800	197
				0.438	11.13	-	120	19.00	28.32	2800	197	2800	197
				0.531	13.49	-	160	22.51	33.54	2800	197	2800	197
0.674	17.12	XXS	-	27.54	41.03	2800	197	2800	197				
5	125	5.563	141.3	0.188	4.78	-	-	10.79	16.09	1220	86	1420	100
				0.219	5.56	-	-	12.50	18.61	1420	100	1650	116
				0.258	6.55	STD	40	14.62	21.77	1670	117	1950	137
				0.281	7.14	-	-	15.85	23.62	1820	128	2120	149
				0.312	7.92	-	-	17.50	26.05	2020	142	2360	166
				0.344	8.74	-	-	19.17	28.57	2230	157	2600	183

Nota. Información obtenida de <https://www.vemacero.com/Tablas/Superficie.pdf>

## ANEXO 8: Especificaciones de Bomba de condensados CP-N

Figura

*Bombas de recuperación de condensados CP-N*

SDS A2400-00



# CONDENSATE RECOVERY PUMP

## MODEL CP-N

**LOW NPSHr PUMP WITH HIGH DISCHARGE HEAD AND HIGH INLET TEMPERATURE CAPABILITY**

**Benefits**

Ejector type pumps deliver reliable and economical high temperature condensate recovery.

1. Ability to return condensate generated in steam equipment directly to the boiler lowers radiant losses and provides maximum energy gain.
2. Eliminates need for a separate condensate recovery tank, thus lowers installation costs.
3. Low NPSHr pumps do not require high fill head, thereby enabling usage in virtually all applications near grade level.
4. High temperature condensate return up to 355 °F minimizes the operating costs normally associated with heating and deseration of colder boiler feed water.
5. Pumps high temperature condensate at high discharge pressures without cavitation thus solving many severe service application requirements.
6. High discharge capacities avert the need for multiple pumps.
7. Pump provides continuous operation without cavitation in low NPSHa installations.



**CAUTION** DO NOT DISASSEMBLE OR REMOVE THIS PRODUCT WHILE IT IS UNDER PRESSURE. Allow internal pressure of the product to equal atmospheric pressure and its surface to cool to room temperature before disassembling or removing. Failure to do so could cause burns or other injury. READ INSTRUCTION MANUAL CAREFULLY.

**Specifications**

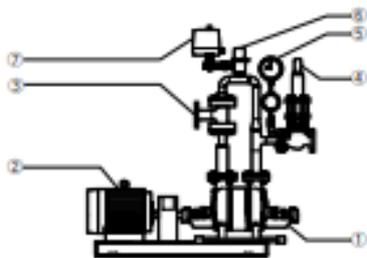
Model	CP-N
Maximum Operating Temperature (°F)	355
Motor Power Source (V)	240/480 3 phase
Frequency (Hz)	60
Programmable Controller Power Source (V)	100/200
Shaft Seal	Mechanical
Pump Discharge Head (ft)	145-655
Pump Discharge Capacity (gpm)	105-530

Note: For NEMA/UL standards, contact TLV

**CAUTION** To avoid abnormal operation, accidents or serious injury, DO NOT use this product outside of the specification range. Local regulations may restrict the use of this product to below the conditions quoted.

No.	Description	Material*	AGT/AGI**	3G
1	Pump Unit	Steel/Cast Iron	---	---
2	Motor	---	---	---
3	Ejector	Carbon Steel	A307/A1A	STPG07
4	Pressure Control Valve	Cast Steel	A216 GrWC6	---
5	Pressure Switch	---	---	---
6	Water Level Detector	Carbon Steel	A518/25	S25C
7	Air Release Valve	Stainless Steel	A351 GrCF8	S25C13

\* Material may change according type of CPN \*\* Equivalent



Copyright © TLV

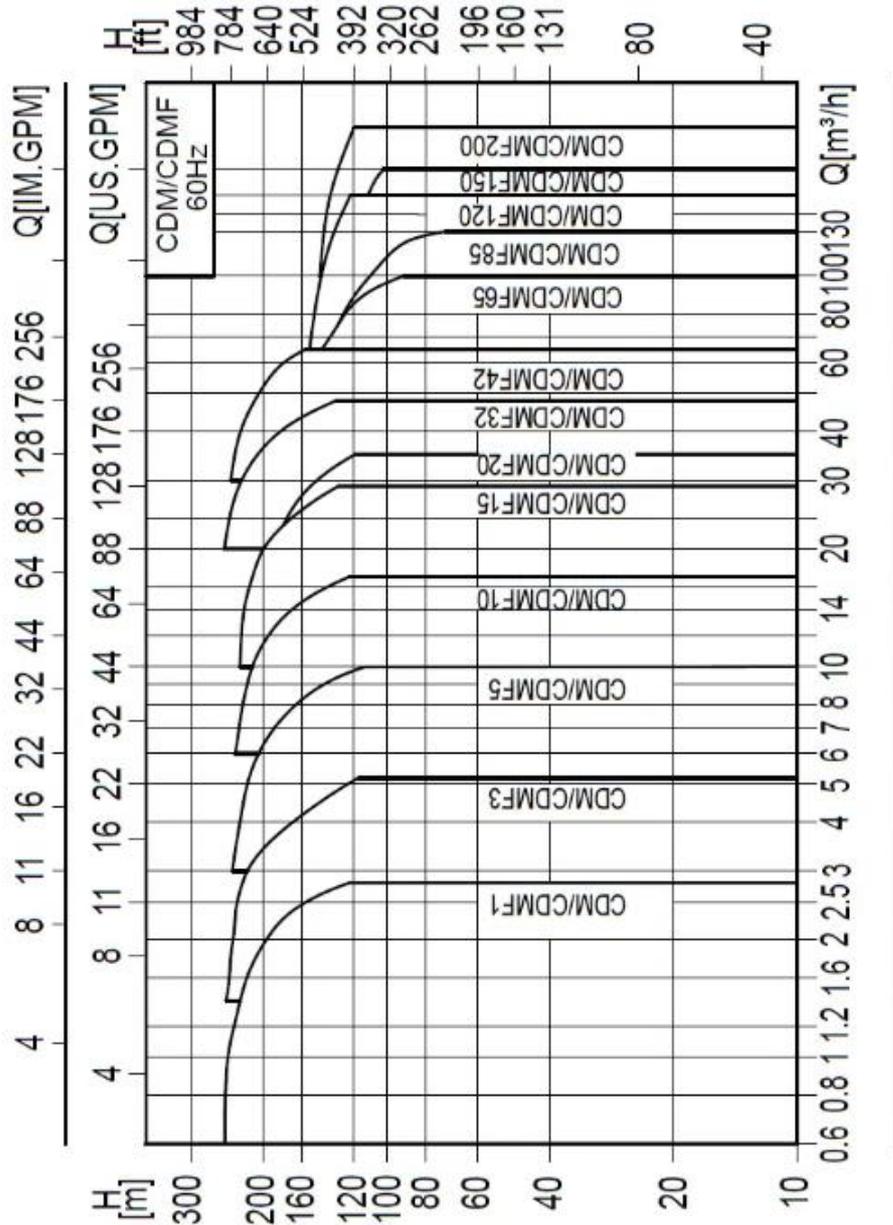
Nota. Información de Empresa TLV



ANEXO 9: Nomograma de Bomba de suministro de agua CDM-CDMF Marca CPN condensados CP-N

Figura

Nomograma de Combas CDM-CDMF



Nota. Información de Empresa TLV

ANEXO 10: Metrado de presupuesto de la Inversión CAPEX de sistema de recuperación de condensados presurizados.

Figura  
*Medrado de Inversión CAPEX*

Item	Descripción	Und.	Medrado	P.U (S/.)	Subtotal(S/.)
<b>1</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				5000,00
<b>1,01</b>	Trazo y replanteo topografico	und	1	500,00	500,00
<b>1,02</b>	Adecuacion del terreno	und	1	1000,00	1000,00
<b>1,03</b>	Transporte de materiales	glb	1	3,500,00	3500,00
<b>2</b>	<b>SUMINISTRO DE EQUIPOS</b>				492100,00
<b>2,01</b>	Bombas de agua CP-N	und	4	36000,00	144000,00
<b>2,02</b>	Bomba de agua CDM	und	5	32000,00	160000,00
<b>2,03</b>	Tuberias ASTM A53 / A106 SCH 40 1 1/4"x 4 m	und	6	250,00	1500,00
<b>2,04</b>	Tuberias ASTM A53 / A106 SCH 40 2 1/2"x 4 m	und	40	410,00	16400,00
<b>2,05</b>	Valvuleria	glb	12	950,00	11400,00
<b>2,06</b>	Soportes	glb	1	8000,00	8000,00
<b>2,07</b>	Uniones mecanicas	glb	1	12000,00	12000,00
<b>2,08</b>	Cabeceros SCH 40 de 8"x2000 mm	unid	6	10000,00	60000,00
<b>2,09</b>	Cabeceros SCH 40 de 12"x2400 mm	unid	2	16000,00	32000,00
<b>2,10</b>	Instrumentacion para control de presion y temperatura	glb	6	7800,00	46800,00
<b>3</b>	<b>MONTAJE DE RED DE AGUA PRESURIZADA</b>				30900,00
<b>3,01</b>	Adecuacion del terreno	cjto	1	200,00	200,00
<b>3,02</b>	Cimentacion	cjto	1	3,500,00	3500,00
<b>3,03</b>	Montaje de red	cjto	1	8,000,00	8000,00
<b>3,04</b>	Ensamble de uniones	cjto	1	3,000,00	3000,00
<b>3,05</b>	Forrado de tuberias con lana de vidrio	cjto	1	12,000,00	12000,00
<b>3,06</b>	Acabados	cjto	1	4,200,00	4200,00
<b>4</b>	<b>MONTAJE DE RED DE ALIMENTACION A CALDEROS</b>				14100,00
<b>4,01</b>	Colocacion de bases para red de tuberias	cjto	1	1000,00	1000,00
<b>4,02</b>	Montaje de tuberias	cjto	1	4800,00	4800,00
<b>4,03</b>	Forrado de tuberias con lana de vidrio	cjto	1	5000,00	5000,00
<b>4,04</b>	Acoplamiento hacia equipos	cjto	1	1500,00	1500,00
<b>4,05</b>	Acabados	cjto	1	1800,00	1800,00
<b>5</b>	<b>PRUEBAS Y ENSAYOS</b>				7500,00
<b>5,01</b>	Prueba hidrostatica	und	1	2000,00	2000,00
<b>5,02</b>	Pruebas de flujo de condensado y vapor	und	1	2000,00	2000,00
<b>5,03</b>	Protocolo de ensayos no destructivos	und	1	3500,00	3500,00
<b>6</b>	<b>SUBTOTAL ACTIVIDADES</b>				30965,00
<b>6,01</b>	Supervision externa	und	1	10000,0	10000,00
<b>6,02</b>	Gastos generales 5%	und	1	37325,0	20965,00
<b>7</b>	<b>SUBTOTAL OBRA</b>				580565,00
<b>8</b>	<b>IGV</b>				104501,7
<b>9</b>	<b>TOTAL</b>				685066,70

*Nota.* Elaboración propia.

ANEXO 11: Costos de Operación y mantenimiento (OPEX):

Figura

*Costos de Operación y mantenimiento anual*

Item	Descripción	Und.	Metrado	P.U (S/.)	Subtotal(S/.)
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES MENSUALES</b>				8640,00
<b>1,01</b>	Revision de tableros electricos de bombas	und	9	40,00	4320,00
<b>1,02</b>	Ajuste de bombas de condensados	und	4	40,00	1920,00
<b>1,03</b>	Lubricacion	glb	1	150,00	1800,00
<b>1,04</b>	Ajuste de bombas de calderos	und	5	40,00	2400,00
<b>2</b>	<b>ACTIVIDADES TRIMESTRALES</b>				6000,00
<b>2,01</b>	Analisis vibracional de bombas y motores	und	1	600,00	2400,00
<b>2,02</b>	Analisis termografico de red de tuberias	und	1	600,00	2400,00
<b>2,03</b>	Revision externa de recubrimientos	glb	1	150,00	600,00
<b>2,04</b>	Revsion de valvulas	glb	1	150,00	600,00
<b>3</b>	<b>ACTIVIDADES ANUALES</b>				2310,00
<b>3,01</b>	Cambio de rodamiento motores y bombas	cjto	1	1350,00	1350,00
<b>3,02</b>	Revision interna de motores	cjto	1	960,00	960,00
<b>SUBTOTAL(S/)</b>					16950,00
<b>TOTAL(S/)</b>					20000,00

*Nota.* Elaboración propia.