



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Estudio del aprovechamiento del Vapor Flash de purgas de superficie para incrementar la temperatura del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa Sociedad Agrícola Virú S. A.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

Bachiller en Ingeniería Mecánica Eléctrica

AUTOR:

Leyva Alcazaba, Jenns Derick (ORCID: 0000-0003-0496-538X)

ASESOR:

Dr. Aranda Gonzalez, Jorge Roger (ORCID: 0000-0002-0307-5900)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes De Mantenimiento

TRUJILLO - PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación:

A mi Dios, que siempre ha estado a mi lado, brindarme la gran oportunidad de mejor y desarrollarme como profesional.

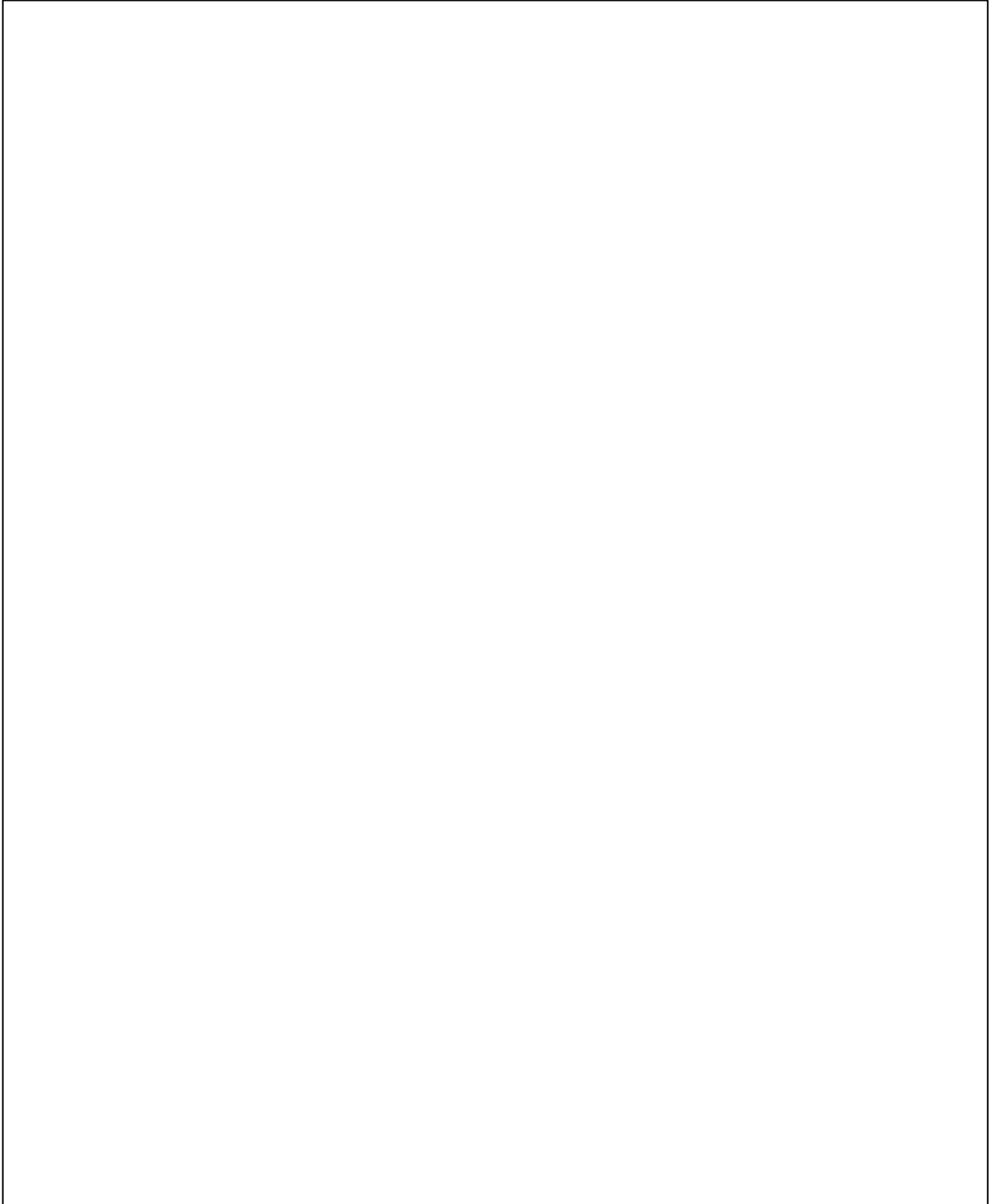
A mi Padre Jorge y Madre Yvong por su enorme apoyo absoluto, por alentarme a continuar creciendo como persona y como profesional, por guiarme con buenos valores y grandes principios a base de sus grandes ejemplos.

A mi esposa Karen e hijos Sebastián y Benjamín, los cuales me dan esa energía extra que necesito para ser mi superación, ellos siempre han estado allí con su paciencia y amor hacia mí y mis estudios.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a mi Dios por brindarme la vida, doy gracias por mi familia grandiosa, a mi esposa Karen y a mis dos hijos Sebastián y Benjamín, ya que ellos son m impulso a superarme en esta vida y en la venidera, a mi extraordinaria madre Yvong por darme los consejo, las fuerzas de luchar mirando siempre hacia adelante, y por su empeño al incentivarme a crecer de manera profesional, a mi admirable Padre Jorge, por estar al tanto de todos mis logros y metas, por sus excelentes y acertados consejos, a mi asesor Jorge Aranda, ya que con su grandes estudios y experiencia, hizo que mis competencias y desarrollo profesionales sean pulidos y de gran aprendizaje , los cuales me están ayudando mucho en mi ámbito laboral y/o profesional, a mis docentes y/o tutores de las diferentes áreas por encaminarme profesionalmente, a la Universidad por brindarme las herramientas, con el fin de lograr cumplir con mis metas, planes y objetivos como estudiante.

Página del jurado



DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL AUTOR

Yo **Jenns Derick Leyva Alcazaba**, alumno de la Facultad / Escuela de posgrado de **ingeniería** y Escuela Profesional de **ingeniería Mecánica Eléctrica** / Programa académico **Formación para adultos** de la Universidad César Vallejo **Trujillo**, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación titulado **“Estudio del aprovechamiento del vapor flash de purgas de superficie para incrementar la temperatura del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa Sociedad Agrícola Virú s.a”**, son:

1. De mi autoría.
2. El presente Trabajo de Investigación / Tesina no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
3. El Trabajo de Investigación / Tesina no ha sido publicado ni presentado anteriormente.
4. Los resultados presentados en el presente Trabajo de Investigación / Tesina son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 04 DE Diciembre DEL 2020.



Jenns Derick Leyva Alcazaba

DNI: 47470051

ÍNDICE

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del jurado.....	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Índice.....	vi
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN:	10
1.1. Realidad Problemática:	10
1.1.1. Identificación de la empresa:	11
1.2. Trabajos Previos:	12
1.3. Teorías Relacionadas al tema:	16
1.4. Formulación al Problema:	37
1.5. Justificación del estudio:	37
1.6. Hipótesis:	38
1.7. Objetivos:	38
1.7.1. Objetivo General:	38
1.7.2. Objetivo Específicos:	38
II. MÉTODO:	40
2.1. Diseño de Investigación:	40
2.2. Variables:	41
2.2.1. Variables dependientes:	41
2.2.2. Variables independientes:	41
2.3. Operacionalización:	42
2.4. Población y muestra:	43
2.4.1. Población:	43
2.4.2. Muestra:	43
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad:	43
2.5.1. Técnicas:	43
2.5.2. Instrumentos:	43
2.6. Métodos de Análisis de datos:	44
III. RESULTADOS:	45
3.1. Condiciones actuales de la Caldero Piro tubular de 800 BHP:	45
a) Cálculo del flujo másico del vapor producido:	47
b) Calculo del flujo másico de la purga de superficie:	47
c) Rendimiento energético de la caldera piro tubular:	47
e) Relación aire combustible en el caldero:	52

f) Calor total:	53
g) Eficiencia de la Caldera:	54
h) Determinación del flujo másico del vapor flash en calderas:	55
i) Selección, dimensiones y materiales del tanque flash:	58
f) Determinación de la temperatura del agua de alimentación con la recuperación del Vapor Flash:	63
g) Dimensionamiento del intercambiador:	64
i) Cálculo de la eficiencia del caldero con nueva temperatura de agua de alimentación:	69
j) Cálculo de calor útil:.....	69
k) cálculo de ahorro de combustible:.....	69
l) Ahorro de combustible en valor monetario:	70
m) Inversión:	71
n) Evaluación costo – Beneficio:	71
ñ) Tiempo de Recupero:.....	72
IV. DISCUSIÓN.....	73
V. CONCLUSIONES.....	74
VI. RECOMENDACIONES.....	74
VII. REFERENCIAS	76
ANEXOS:	78

RESUMEN

Este trabajo de investigación analiza las diferentes circunstancias presentes en la generación de vapor, gasto de combustible, combustible industrial y se enfoca en la proporción y/o cantidad de purga que se realiza en una caldera pirotubular de la planta de fuerza de la compañía Sociedad Agrícola Virú S.A.

El objetivo de este trabajo de investigación es el de diseñar un sistema de purga y reutilizarla en el sistema para reducir el consumo de combustible en la generación de vapor, y destinarlo para el incremento de la temperatura en el agua de reposición (agua de alimentación) que ingresa al caldero con el fin de evaluar económicamente cuanto representa por purgar innecesariamente y el no utilizarla adecuadamente.

El diseño de investigación se desarrolló por el método de la observación de las variables, para ello se empleó instrumentos como manómetros, termómetros, flujómetros, para por de decretar el dispendio o gasto de gas natural, vapor y agua de alimentación. Obteniendo la referencia de operación se aplicó un balance energético, delimitando un resultado de generación de vapor y eficiencia energética. Para determinar a la máquina en la que se piensa invertir, se tuvo que analizar con mucho cuidado las capacidades de estos, para que tenga la suficiente con la que el sistema pueda seguir operando, y resulte eficiente el sistema empleado.

Al finalizar la implantación del proyecto se logra un ahorro de combustible de 3.61 galones por hora, lo que convertido en soles para el 2019 da un ahorro de S/. 83 217.72.

El proyecto es factible debido a los resultados económicos calculados, el VAN tiene un valor de S/. 57 924.16, el cual al ser mayor de 0 soles ya lo vuelve factible, de igual manera el TIR es de 86%, y al ser mayor del 15% evaluado, vuelven al proyecto factible y rentable para ser desarrollado. El ahorro adquirido por diseñar y/o dimensionar este sistema de purga y la utilización de la energía interna facultará lograr un ahorro económico y la minoración del consumo de combustible.

Palabras claves: Caldera pirotubular, flujómetros, balance energético, eficiencia energética, VAN, TIR.

ABSTRACT

This research work analyzes the different circumstances present in the generation of steam, fuel expense, industrial fuel and focuses on the proportion and / or amount of purge that is made in a pirotubular boiler of the power plant of the company Sociedad Agrícola Virú SA.

The objective of this research work is to design a purge system and reuse it in the system to reduce fuel consumption in the generation of steam, and allocate it to increase the temperature in the replacement water (feed water) that enters the cauldron in order to evaluate economically how much it represents by purging unnecessarily and not using it properly.

The research design was developed by the method of observation of the variables, for it was used instruments such as pressure gauges, thermometers, flow meters, to decree the expenditure or expenditure of natural gas, steam and feed water. Obtaining the reference of operation, an energy balance was applied, delimiting a result of steam generation and energy efficiency.

To determine the machine in which you intend to invest, you had to carefully analyze the capabilities of these, so that you have enough with which the system can continue to operate, and the system used is efficient.

At the end of the implementation of the project achieved a fuel savings of 3.61 gallons per hour, which converted into soles for 2019 gives a savings of S /. 83 217.72.

The project is feasible due to the calculated economic results, the NPV has a value of S /. 57 924.16, which, since it is greater than 0 soles, makes it feasible, in the same way, the IRR is 86%, and since it is greater than 15% evaluated, they make the project feasible and profitable to be developed.

The savings achieved by designing and / or dimensioning this purge system and the use of internal energy will enable economic savings and reduced fuel consumption.

Keywords: pirotubular boiler, flow meters, energy balance, energy efficiency, NPV, IRR.

I. INTRODUCCIÓN:

1.1. Realidad Problemática:

La empresa Sociedad Agrícola Virú S.A. es una de las empresas líderes en agro-exportaciones del Perú y está entre las tres principales empresas exportadoras de espárragos, alcachofas y pimientos procesados y en conservas del país. La Empresa comenzó a operar en 1994 como procesadora de espárragos y ha logrado diversificar más su línea de productos (alcachofas, pimientos, salsas) en sus más de 20 años de operaciones comerciales.

La parte esencial de sus procesos está basada en el calor para lograr la cocción o purificación de muchos de sus productos y la generación de energía, solo por mencionar algunas, es aquí donde juegan un papel fundamental en su caldera Piro-tubular de marca CLEAVER BROOKS, ubicadas en la planta de conservas en Virú-La Libertad, ésta caldera viene operando desde octubre del 2017. La gran necesidad de energía, el aumento en los costos de combustibles y problemas ambientales requieren que las industrias se encuentren mejorando de manera continua e implementen y/o elaboren planes de contingencia para minimizar el gasto innecesario de energía.

El vapor flash de purgas de superficie de las calderas pirotubulares, actualmente no son aprovechados por las empresas térmicas, fluido el cual era un producto desechado de la distribución de vapor, con el gran avance tecnológico se ha convertido en un recurso valioso para cualquier industria, más aún para las industrias térmicas, pues posibilita la minoración los de costos de operación en la planta térmica. Esta es la razón por la cual el presente proyecto investigación busca proponer un sistema de recuperación de energía de purgas de superficie para calentar el agua de alimentación de la caldera pirotubular de la empresa Sociedad Agrícola Virú S.A y así poder obtener un beneficio tanto del consumo de combustible y agua de reposición de la caldera.

1.1.1. Identificación de la empresa:



Ilustración 1. Logo de la empresa

La misión de la empresa es “Mantener un crecimiento sostenido en ventas y utilidades con bajos costos, productos de calidad, puntualidad en el servicio, una fuerza laboral motivada y comprometidos con la comunidad y el medio ambiente”

Su visión es ser el productor preferido de alimentos de calidad Premium y marcas reconocidas en el mundo.

La empresa esta predispuesta a invertir continuamente en maquinarias, equipos y tecnología para crear las condiciones ideales de trabajo, capacidad, eficiencia y productividad.

1.2. Trabajos Previos:

Según **(Pérez, 2017)** de la **Universidad Nacional del Santa, Santa – Perú**

En este trabajo de investigación se realiza una estimación del sistema de recuperación de nivel, así como también purgas de fondo y de calderas pirotubulares en la empresa pesquera Austral Group S.A.A. – Coishco, se delimitan los conceptos elementales para decretar en el procedimiento de estudio; adquiriendo como consecuencia y/o conclusión de la estimación, una eficiencia cuantificando las 7 calderas del 85.00%, suscitando un total de flujo de condensado de purgas de 9 617.33 Kg/hr, con una presión de 120 PSI, que produce un flujo de vapor flash de alrededor de 1 206.01 Kg/hr, con una presión de 7.5 PSI.

Este trabajo de investigación nos posibilita comprender la elección de equipos con el propósito de establecer correctamente el procedimiento recuperador de calor mixto de purgas de nivel y de fondo, así como sus costos de mantenimiento e inversión, accediendo al análisis económico del equipo a instaurar, calculándose una tasa interna de retorno (TIR) del 52.5%, con una etapa de retribución de inversión de 23 meses y la relación Costo-Beneficio del plan de 2.68.

En consiguiente, el sistema recuperador de calor mixto ha ayudado a economizar 17632.40 Gal R-500/año, brindando así un favorecimiento en el proceso de obtención de vapor, consiguiendo una mejor eficiencia de la planta y facultando que el presente proyecto sea económicamente provechoso para la empresa.

Según **(Vasquez, 2014)** de la **Universidad Nacional del Callao, Callao – Perú**

La tesis en mención, es una investigación tipo aplicada nivel evaluativo- descriptivo con el fin de evaluar las circunstancias presentes en la actualidad en el consumo de combustible gas natural y la generación de vapor, enfocándose precisamente en la cantidad de purga que se efectúa en la caldera pirotubular con una capacidad de 1000 BHP de la planta de fuerza de la empresa cervecera Ambev- Huachipa. La intención de este trabajo fue proyectar un sistema de purga automática para favorecer la intervención de purga de solidos totales disueltos en base a estimar económicamente cuanto simboliza por purgar innecesariamente.

De igual forma se pretende calcular y/o estimar la energía de la purga que se expende al desagüe con el objeto de utilizarla para el aumento de temperatura del agua de reposición que ingresa al tanque de condensado. El proyecto de investigación se efectuó, utilizando procedimiento de la observación de las variables, a favor de ello se utilizó instrumentos como caudalímetros, flujómetros y termómetros, manómetros para determinar los consumos de vapor, gas natural y agua de alimentación. Recolectando los datos de la operación se efectuó un balance energético, obteniendo así un resultado de eficiencia térmica actual con un valor del 80% y luego se relacionó con la eficiencia térmica empleando un sistema de purga automática con un valor de su eficiencia del 82% de generación de vapor.

El ahorro alcanzado por implementar y esquematizar un sistema de purga automática y la utilización de la energía interna ayudará a obtener un ahorro económico, el cual se verá revelado en la disminución de la adquisición del combustible.

Según **(Tinayo, 2016)** de la **Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo – Perú**

Esta Tesis se origina por la necesidad de contestar el por qué hay pérdida de vapor en el sistema de condensado que a la larga se desvanece en el medio ambiente.

Este proyecto de investigación se suscita con la comprobación de la condición situacional original de la instalación a indagar, registrando y tomando datos imprescindibles, analizando los accesorios y componentes del sistema de condensado, tomando así mediciones iniciales de la media del vapor y de la media del flujo de condensado estimado como extravío (pérdida) al escape de las trampas de vapor de los sistemas y/o equipos de Lavandería, obteniendo como resultado que dichas trampas de vapor alojadas, no están controladas convenientemente en el paso del condensado y están permitiendo dejar pasar vapor, estimado como pérdida. Entonces, después de ejecutar los cálculos correctos y necesarios, tomando en cuenta las definiciones técnicas XIV del fabricante, se ha efectuado la correcta elección del tipo de trampa de vapor, para un correcto registro y/o control del condensado y así poder conservar el vapor, que en un principio cedían el paso

y provocando así pérdidas. La metodología de la investigación, constituye un tipo de investigación tecnológico-experimental, asimismo el diseño de investigación es de un grupo con post prueba y pre prueba.

Como consecuencia, en seguida de la instalación del equipo seleccionado de trampa de vapor llamado “BALDE INVERTIDO”, el cual es el que se eligió como el más adecuado, se le ha efectuado las mediciones los parámetros del flujo de condensado y vapor a la salida, donde se ha disminuido las pérdidas de vapor, de un 151.80 kg/h a un 20.70 kg/h, obteniendo así una gran mejora.

Según (Gonzales, 2015) de la **Universidad César Vallejo, Trujillo – Perú**

El presente trabajo, desea definir los parámetros para la dimensión del sistema de Recuperación de Calor desde el condensado de las purgas de calderas pirotubulares con el fin de alcanzar rentabilidad económica y energética. El proyecto en mención se adaptó a las purgas de las calderas pirotubulares de la empresa Pesquera Hayduk S.A., en esta planta se tiene 7 calderas pirotubulares con una potencia entre 1000 BHP y 1300 BHP, respectivamente. Para evaluar el sistema fue importante compilar datos propios de operación de sus calderas mencionadas y la consideración del volumen de condensado purgado que se destina al alcantarillado, también se estimó una sucesión de cálculos y evaluaciones para vaticina el volumen total de vapor flash generado, delimitando la mejor selección. Seguidamente se realizó una búsqueda de facilitadores y/o proveedores de estos sistemas, a lo que se determinó evaluar y/o seleccionar los componentes que participa en la instancia del sistema de recuperación. Por último, se efectúa una sucesión de cálculos energéticos para poder así dimensionar toda la red de las tuberías con su respectivo aislamiento.

Por otro parte, se estableció que después de la instalación del sistema de recuperación, hay un incremento de la eficiencia de 0.727 % a 0.784 % por cada caldera, por otra parte, el combustible decreció en un 0.84% por cada caldera causando un ahorro anual de 224 924.37 Ns, el cual simboliza el 52.3% del dinero gastado por motivo del purgado en calderas.

Con los datos logrados se consiguió el dimensionamiento detallado de los diferentes mecanismos de los equipos y accesorios que se solicitan para la obteniendo e instalación de la misma forma un fuerte resultado energético, ya que se rescata más de la mitad de la energía de las purgas y el retorno de lo invertido en el proyecto es de menos de 3 meses.

Según **(Rebeca Cabrera Pacheco, 2017)**, de la **Revista Avanzada Científica**

En esta investigación científica se realizó la evaluación de un Generador de Vapor piro-tubular de 6 TN, utilizando como bosquejo de investigación el método pasivo.

Se establecieron las cuantificaciones de trabajo y se calculó su eficiencia en un tiempo de trabajo percibido entre dos limpiezas consecuentes con el empleo del software AUDEM, lográndose determinar un modelo estadístico matemático del comportamiento de la eficiencia con respecto al tiempo (software Statgraphics) , el impacto en el medio ambiente de la combustión en ambos estados y el ahorro por decrecimiento en daños ambientales que representa trabajar con el equipo limpio, para ello se determinó además el tiempo óptimo de limpieza y su relación con el costo del combustible.

Según **(GUEVARA, 2017)** de la **Universidad Politécnica Salesiana**

En la presente tesis se seleccionó un sistema de recuperación a partir de criterios establecidos en una matriz de ponderación y un dimensionamiento mecánico y de control según los requerimientos del proceso de mercerizado y lavado (receptores del agua precalentada), al igual que el retorno de condensados, luego se realizó pruebas químicas del agua mezclada para prevenir la contaminación de la tela

Se evaluó los reportes de consumo generados en la planta con el fin de calcular los indicadores de implementación permitiendo la verificación del ahorro generado.

Este proyecto tiene como inversión los materiales de construcción, así como la recuperación de los tanques con mano de obra de la empresa y contratistas externos. El precio final de la implementación será la suma de los costos directos (mano de obra y materiales), y costos indirectos (ingeniería e imprevistos) Palabras claves: diseño, implementación, sistema, energía, purgas, condensados, vapor, calentamiento, procesos.

1.3. Teorías Relacionadas al tema:

Sólidos totales disueltos:

En otros términos, se le conoce como el total de residuo filtrable, se compone principalmente de bicarbonatos, cloruro, sulfato, calcio, carbonatos, potasio, magnesio y sodio, además de materia orgánica y metales, otras sustancias disueltas también figuran una pequeña porción del residuo contenido en el agua. (Lapeña, 1990)

Dureza del agua:

Nombrado así por la alcalinidad que tiene el agua debido a la existencia de pequeñas cantidades de compuestos inorgánicos (tales como el calcio, magnesio, entre otras sales) recogido de rocas y suelos, existentes en regiones en donde en el subsuelo hay calcio y yeso. (Lapeña, 1990)

Trampas de vapor:

Dispositivo que impide automáticamente el paso del vapor de agua en una tubería, pero admite el escape de condensado o aire arrastrado, consiguiendo así óptimas condiciones de presión del vapor y temperatura. (Cruz, 1996)

Agua de alimentación para calderas:

Es el agua que pasa por la purificación y precalentamiento para que luego abastezca a las calderas para generar agua caliente, vapor. (Cruz, 1996)

Petróleo industrial N° 6:

También llamado petróleo bunker C, es el remanente del aceite crudo de la gasolina y combustibles destilados que han sido separados por medio de la destilación.

Partes por millón (ppm):

Llamada así unidad de concentración de uso frecuente en la medición de los niveles de contaminantes en el aire, agua, fluidos corporales, etc.

Vapor saturado:

Vapor cuya temperatura y presión son tales que cualquier compresión de su volumen a temperatura constante hace que se condensan a líquido a una velocidad suficiente para mantener una presión constante.

Vapor sobrecalentado:

Es el vapor calentado a una temperatura la cual excede al del punto de ebullición que corresponde a su presión. En este tipo de vapor no puede estar en contacto con el agua, ni contener agua, además se asimila a un gas perfecto.

Vapor húmedo:

Vapor húmedo es la mezcla de vapor y agua líquida también llamado vapor de dos fases debido a que el vapor contiene gotas de agua que no han cambiado de fase. En vapor húmedo, el agua y el vapor están a la temperatura de saturación. Si se entregara calor adicional al vapor húmedo a una presión establecida, la temperatura seguirá siendo igual hasta que se evapore todo el líquido.

La clasificación de las calderas:

Las calderas de vapor se llegan a clasificar, prestando atención a la posición relativa del agua y de los gases calientes, en piro tubulares y acuotubulares; por la colocación de los tubos, en horizontales, verticales e inclinados; también por la forma de los tubos, de tubos curvados y tubos rectos; por la entorno del prestación que prestan, por ejemplo: en locomóviles, fijas, portátiles y marinas. Además La elección de una caldera para un servicio definido, depende del combustible al cual se disponga, capacidad de producción de vapor requerida, tipo de servicio, permanencia posible de la instalación, así como factores de carácter económico. (W.H. Severns, 2007)

Las Calderas piro tubulares:

En este tipo de calderas los gases con alta temperatura circulan por el interior de los tubos, dichos tubos se hallan rodeados por agua. Las calderas piro tubulares chicas, contiguo con las máquinas de vapor convenientes, han sido trasladadas en su generalidad por los motores de combustión interna en la generación de la energía destinada al accionamiento de grúas portátiles, grupos para extinción de incendios y hormigoneras. Las calderas piro tubulares en su mayoría tienen un hogar completo (se le conoce también como la caja de fuego) restringido por superficies refrigeradas por agua. (W.H. Severns, 2007).

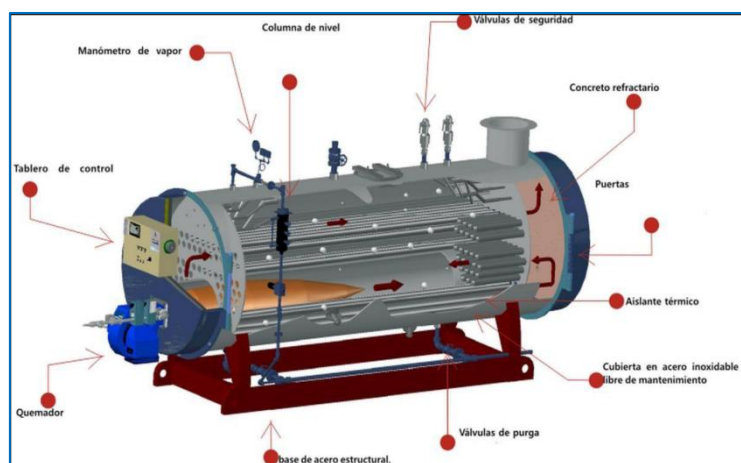


Ilustración 2. Caldero piro tubular

Tanque de vapor flash:

Los tanques flash o tanques de revaporizados son equipos que se alimentan con un condensado a una cierta presión P1 pero que en su interior soportan una presión menor P2 de esa manera al producirse la descarga de dicho condensado en el tanque a P2, se produce una revaporación del condensado rápidamente. Al vapor producido por esta forma se le llama vapor flash (Alfaomega, 1988)



Ilustración 3. Tanque de revaporizado

Vapor flash:

El vapor flash se da lugar cuando se expansionan los condensados en alta temperatura y son expuesto al aire a baja temperatura, y una parte del condensado se convierte en vapor

$$\%F = \frac{(h_f)_1 - (h_f)_2}{(h_{fg})_2} \times 100$$

Ecuación 1. Porcentaje del vapor flash

Dónde:

$\%F$: Porcentaje de vapor flash .

$(h_f)_1$: Entalpia de líquido saturado a la entrada de la trampa de vapor.

$(h_f)_2$: Entalpia de líquido saturado a la salida de la trampa de vapor.

$(h_{fg})_2$: Entalpia de vaporización a la salida de la trampa de vapor.

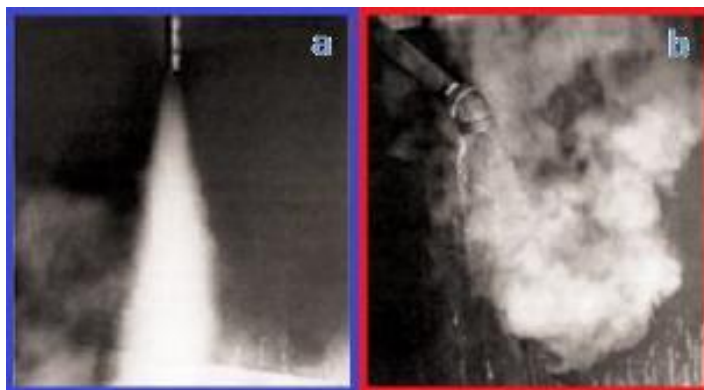


Ilustración 4. Vapor vivo (a) vs vapor flash

Dónde:

$$\dot{m}_{V.F} = \dot{m}_{purgas} \times \frac{\%F}{100}$$

Ecuación 2. Flujo másico de vapor flash

$\dot{m}_{V.F}$: Flujo másico de vapor flash.

\dot{m}_{purgas} : Flujo másico de purgas de las calderas.

$\%F$: Porcentaje de vapor flash.

Purga de caldera:

Durante el proceso de una caldera pirotubular, es necesario la evaporación constante del agua, por lo que el agregado de la misma es indispensable para la reposición, lamentablemente esto genera el aumento de concentración de sólidos en suspensión (STD) y la exigencia de quitar estas STD es continua, para evitar futuros problemas en el funcionamiento correcto de la instalación térmica (Margarita Alba Gonzáles, 1999)

$$\dot{m}_{purgas} = \left(\frac{STD_{agua}}{STD_{cald} - STD_{agua}} \right) \times \dot{m}_V$$

Ecuación 3. Flujo másico de purgas.

Dónde:

\dot{m}_{purgas} : Flujo másico de purgas.

STD_{agua} : Sólidos disueltos totales del agua de alimentación.

STD_{cald} : Sólidos disueltos totales máximos permitidos en el caldero.

\dot{m}_V : Flujo másico de vapor producido por el caldero.

Rendimiento energético:

El rendimiento energético del caldero a parámetros de trabajo como: consumos de combustibles, producción de vapor, presión, temperatura, flujos de purgas, agua, aire, entre otros. (Xavier Elías Castells, 2012)

$$\eta_{cald} = \left(\frac{\dot{m}_V \times (h_V - h_{agua}) + \dot{m}_{purgas} \times (h_f - h_0)}{\dot{Q}_{total}} \right) \times \dot{m}_V$$

Ecuación 4. Rendimiento energético del caldero

Dónde:

η_{calda} : Rendimiento energético del caldero.

\dot{m}_V : Flujo másico de vapor producido por el caldero.

h_V : Entalpia del vapor saturado.

h_{agua} : Entalpia de líquido saturado del agua.

\dot{m}_{purgas} : Flujo másico de purgas.

h_f : Entalpia del líquido saturado de purgas.

h_0 : Entalpia del agua a valor atmosférico.

\dot{Q}_{total} : Potencia calorífica total [kw]

Poder calorífico de combustión:

Es la energía que tiene un combustible, cuya estimación cambia con respecto al contenido de hidrogeno y carbono adquirido gracias a la reacción completa del combustible y en circunstancias específicas, pues la porción de calor no es igual si la combustión se realiza a volumen o presión constante. (Márquez, 2005)

Poder Calorífico Inferior (PCI):

Calor conseguido de la combustión concluida en un kilogramo del combustible sin enfriamiento de los resultados de la combustión, de manera que el vapor de agua incluido no condensa. (Márquez, 2005)

Poder Calorífico superior (PCS):

Calor conseguido de la combustión concluida de un kilogramo de combustible con enfriamiento de los resultados de combustión, de manera que el vapor de agua contenido cambia de fase y se condensa. (Márquez, 2005)

El poder calorífico superior de un combustible líquido se define según la ecuación de Petroperú:

$$PCS = 18320 + 40 \times (^{\circ}API - 10)$$

Ecuación 5. Poder calorífico superior

Dónde:

PCS : Poder Calorífico Superior $\left[\frac{Btu}{lb} \right]$

$^{\circ}API$: Instituto Americano del Petróleo.

Poder Calorífico inferior de un combustible líquido se muestra en la ecuación, la cual viene a continuación:

$$PCI = PCS - 1030$$

Ecuación 6. Poder Calorífico inferior

Dónde:

PCI : Poder calorífico inferior $\left[\frac{Btu}{lb} \right]$

Intercambiador de calor:

Los intercambiadores de calor son mecanismos que ayuda a transferir el calor de un medio a otro de menor nivel térmico. En el caso de la compensación del calor sensible de los gases como resultado de la combustión para precalentar aire de la combustión, el intercambiador será del tipo: gases-gases. (Catelles, 2012)

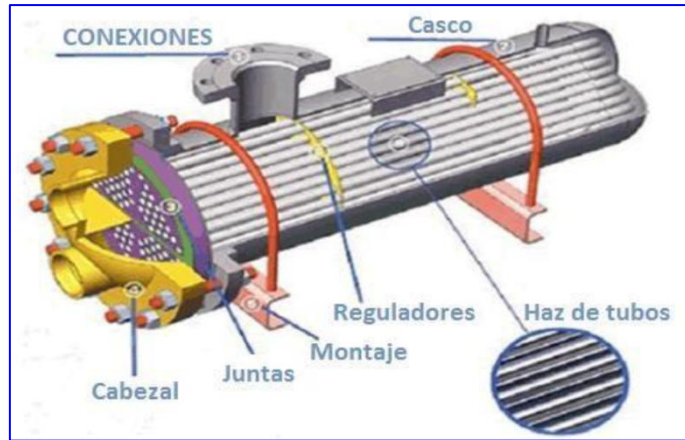


Ilustración 5. Intercambiador de calor de tubos y carcasa.

Velocidad de transferencia de calor:

Para la ecuación de diseño en un intercambiador de calor pide un valor para la tasa de transferencia de calor, \dot{Q}_c , que puede medir a partir del caudal comprendido en uno de los fluidos, su disposición de almacenamiento de calor, y el cambio indispensable de temperatura. Por esta razón se usará la ecuación a continuación. (Catelles, 2012)

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \times C_{p,c} \times (T_{c,o} - T_{c,i})$$

Ecuación 7. Velocidad de transferencia de calor del fluido frio

Dónde:

\dot{Q}_c : Velocidad de transferencia de calor del fluido frio [kw]

\dot{m}_c : Flujo másico del fluido frio $\left[\frac{kg}{s} \right]$

$C_{p,c}$: Calor específico a presión const. a la temp. prom. del fluido frio $\left[\frac{Kj}{Kg \times ^\circ C} \right]$

$T_{c,o}$: Temperatura de salida del fluido frio [°C]

$T_{c,i}$: Temperatura de entrada del fluido frio [°C]

De la misma manera, el fluido con mayor temperatura cede su calor al fluido con menor temperatura y velocidad de transferencia de calor del fluido caliente, \dot{Q}_h , se expresa:

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h \times C_{p,h} \times (T_{h,o} - T_{h,i})$$

Ecuación 8. Velocidad de transferencia de calor del fluido con mayor temperatura

Dónde:

\dot{Q}_h : *Velocidad de transferencia de calor del fluido caliente*

\dot{m}_h : *Flujo másico del fluido caliente* $\left[\frac{kg}{s} \right]$

$C_{p,h}$: *Calor específico a presión constante a la temperatura promedio del fluido caliente*

$T_{h,o}$: *Temperatura de salida del fluido caliente* [°C]

$T_{h,i}$: *Temperatura de entrada del fluido caliente* [°C]

Tipos de intercambiadores de calor basado en su operación:

Los intercambiadores de calor tienen diferentes características, entre los cuales destacan sus modelos, materiales y formas, ya que están diseñados para algún desarrollo específico.

Otra de las características habituales y/o frecuentes que se puede emplear es la trayectoria relativa que existe entre los dos fluidos que circulan en el dispositivo.

Los diferentes tipos de intercambiador: Flujo paralelo, Flujo cruzado y Contraflujo.

a) Flujo paralelo:

A continuación se muestra en la imagen a continuación, hay un flujo el cual es paralelo cuando el flujo interno que pasa por dichos tubos y el flujo que es externo pasan por afuera de los tubos, estos 2 fluidos van hacia una misma dirección o sentido.

En estos tipos de intercambiadores de calor de flujo paralelo son considerados menos eficiente a diferencia de los intercambiadores de calor en contraflujo en términos de transferencia de calor de un fluido con respecto al otro. Sin embargo, existen aplicaciones donde el flujo paralelo tiene sus ventajas con respecto a los demás intercambiadores de calor, así que cuando el límite de la transferencia de calor es recomendado. (Frank P. Incropera, 1999)

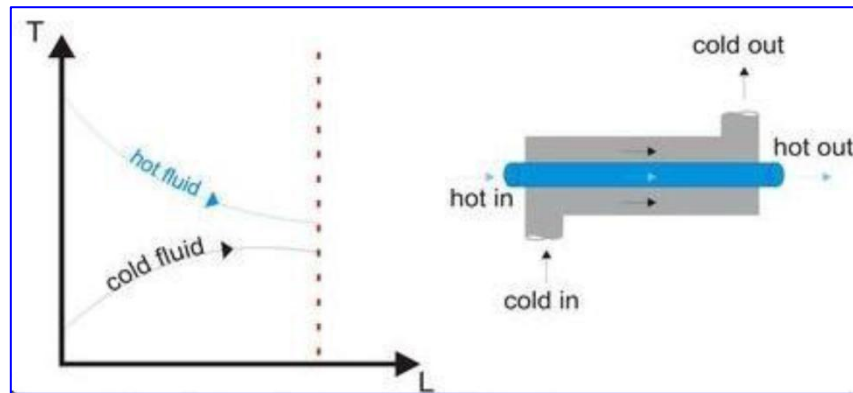


Ilustración 6. Fluidos en flujo paralelo

b) Contraflujo:

En la imagen a continuación, muestra un intercambiador de contraflujo en la cual los dos fluidos circulan paralelos entre sí, pero en distintas direcciones. Este tipo de disposición de flujo permite un aumento mayor de temperatura de ambos fluidos y por lo que es más eficiente. (Frank P. Incropera, 1999)

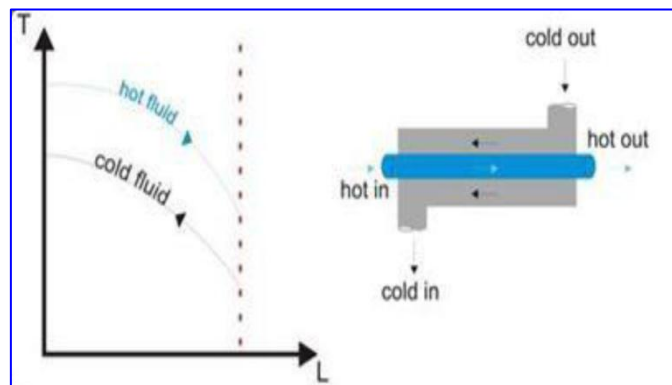


Ilustración 7. Fluidos en contraflujo

c) Flujo cruzado:

En la imagen a continuación, muestra un intercambiador de calor por flujo cruzado, por lo que un fluido circula perpendicular al segundo fluido; es decir, el líquido fluye a través de tubos y el segundo fluido pasa alrededor de los tubos en ángulo de 90°. Estos sistemas son usados mayormente en aplicaciones en las que uno de los fluidos cambia de estado. (Frank P. Incropera, 1999)

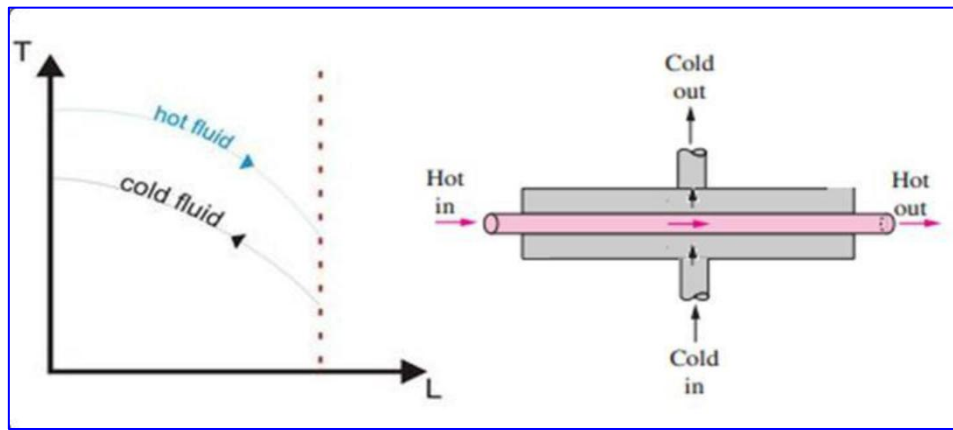


Ilustración 8. Fluidos en flujo cruzado

El balance de la energía en un intercambiador de calor:

El balance de la energía es fundamenta en la ley de la conservación de la energía el cual señala que, la energía no se crea, ni tampoco se destruye, sólo se llega a transformar.

Aplicando un balance general de la energía, se tiene que tomar en cuenta las transferencias de energía mediante las demarcaciones del sistema (Carranza, 1998)

$$\sum \dot{m}_{entrada} \times h_{entrada} = \sum \dot{m}_{salida} \times h_{salida}$$

Ecuación 9. Balance de energía

Dónde:

$\dot{m}_{entrada}$: Flujo másico de entrada al sistema $\left[\frac{kg}{s} \right]$

$h_{entrada}$: Entalpia del fluido de entrada $\left[\frac{Kj}{kg} \right]$

\dot{m}_{salida} : Flujo másico de Salida del sistema $\left[\frac{kg}{s} \right]$

h_{salida} : Entalpia del fluido de salida $\left[\frac{Kj}{kg} \right]$

Calor útil en un intercambiador de calor:

El concepto de este calor “útil”, la transferencia de calor plena utilizada y/o empleada por el líquido frío (baja temperatura) y concedida por el fluido de mayor temperatura y se estipula con la fórmula que viene a continuación:(Carranza, 1998).

$$\dot{Q} = U \times S \times \Delta T_{ml}$$

Ecuación 10 . Calor útil o utilizado en un intercambiador de calor

Dónde:

\dot{Q} : Transferencia de calor útil [W]

U : Coeficiente global de transferencia de calor $\left[\frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right]$

S : Superficie de intercambio de calor [m^2]

ΔT_{ml} : Variación de temperatura media logarítmica [$^\circ C$]

Variables aplicadas en operación de un intercambiador de calor:

a) Coeficiente global en la transferencia de calor:

Esto se logra mediante los coeficientes de convección particulares, así mismo de la resistencia u oposición de la pared de la tubería, obteniendo así: (Cengel, 2011)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{e_{tubo}}{k_{tubo}} + \frac{1}{h_{ext}} + R_{t,c}}$$

Ecuación 11. Coeficiente global de transferencia de calor

Dónde:

U : Coeficiente global de transferencia de calor $\left[\frac{W}{m^2 x ^\circ C} \right]$

h_{int} : Coeficiente de convección $\left[\frac{W}{m^2 x ^\circ C} \right]$

h_{ext} : Coeficiente de convección $\left[\frac{W}{m^2 x ^\circ C} \right]$

e_{tubo} : Espesor de la tubería [m]

k_{tubo} : Conductividad térmica del material de la tubería $\left[\frac{W}{m^2 x ^\circ C} \right]$

$R_{t,c}$: Resistencia térmica de contacto por ensuciamiento $\left[\frac{m^2 x ^\circ C}{W} \right]$

Superficie de transferencia de calor:

En este caso el fluido con mayor temperatura le transmite su calor al fluido con menor temperatura, si hablamos en una tubería, es el área lateral, en otras palabras: (Cengel, 2011)

$$S = \pi x d_{ext} x L_{total}$$

Ecuación 12. Superficie de intercambio de calor

Dónde:

S : Superficie de intercambio de calor [m^2]

d_{ext} : Diámetro exterior de los tubos [m]

L_{total} : Longitud total de los tubos [m]

c) Variación o delta de temperatura media logarítmica:

Conocida como la delta de temperatura que existe en una fase de transferencia de calor está en función de la orientación del flujo de corriente de los fluidos comprometidos en el proceso. Los fluidos primarios y secundarios en un proceso tienen relación con el tipo de flujo que pasa por el intercambio de calor: (Cengel, 2011)

Para flujo paralelo:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,i}) - (T_{h,o} - T_{c,o})}{\ln \left(\frac{T_{h,i} - T_{c,i}}{T_{h,o} - T_{c,o}} \right)}$$

Ecuación 13. Temp. Media logarítmica para flujo paralelo

Para contraflujo:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}} \right)}$$

Ecuación 14. Temp. Media logarítmica para Contraflujo

Para Flujo Cruzado:

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}} \right)}$$

Ecuación 15. Temp. media logarítmica para flujo Cruzado

Dónde:

ΔT_{mi} : Variación de temperatura media logarítmica [$^{\circ}C$].

$T_{c,i}$: Temperatura de entrada del fluido frío [$^{\circ}C$]

$T_{h,o}$: Temperatura de salida del fluido frío [$^{\circ}C$]

$T_{h,i}$: Temperatura de entrada del fluido caliente [$^{\circ}C$]

$T_{c,o}$: Temperatura de salida del fluido caliente [$^{\circ}C$]

Propiedades físicas de los fluidos y números adimensionales para el diseño de un intercambiador de calor:

a) Conductividad térmica:

Capacidad de un material para posibilitar que el flujo de calor se transmita desde su superficie más caliente a través del material hasta su superficie más fría. (Cengel, 2011)

b) Viscosidad:

Cantidad que indica la oposición de un líquido a fluir. Estos fluidos resisten el movimiento relativo de los objetos sumergidos a través de ellos, así como para el movimiento de las capas con diferentes velocidades dentro de ellos. (Cengel, 2011)

Se tienen dos tipos de viscosidad la dinámica y la cinemática y se relacionan por:

$$\frac{1}{\nu} = \frac{\rho}{\mu}$$

Ecuación 16. Relación entre la viscosidad dinámica y cinemática

Dónde

ν : Viscosidad cinemática $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

μ : Viscosidad dinámica [Pa. s]

ρ : Densidad promedio del fluido $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

c) Numero de Prandtl:

Es la correlación del producto del coeficiente de viscosidad y el calor específico a presión constante a la conductividad térmica en el flujo de fluido, también se usa especialmente en análisis de estudio de la transferencia de calor en equipos térmicos. (Cengel, 2011)

Se representa por:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

Ecuación 17. Numero de Prandtl

Dónde:

ν : Viscosidad cinemática $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

α : Difusividad térmica $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

d) Número de Reynolds:

Es un parámetro sin unidad de medida (adimensional) utilizado para definir la naturaleza del flujo de fluido, ya sea turbulento o laminar. (Cengel, 2011)

El número de Reynolds viene dado por:

$$Re = \frac{\rho \times V \times dh}{\mu}$$

Ecuación 18. Número de Reynolds

Dónde:

Re : Número de Reynolds

ρ : Densidad promedio del fluido $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

V : Velocidad del fluido $\left[\frac{m}{s}\right]$

dh : Diámetro hidráulico [m]

μ : Viscosidad cinemática [Pa.s]

e) Número de Nusselt:

El número de Nusselt es la expresión sin unidad de medida (adimensional) del coeficiente de transmisión de calor por convección entre un cuerpo Sólido y un fluido en movimiento. (Cengel, 2011). La ecuación más admisible para un fluido que circula dentro y fuera de una tubería, es la ecuación experimental de Dittus Boelter es decir:

$$Nu = 0.023 \times (Re^{0.8} \times Pr^n)$$

Ecuación 19. Número de Nusselt

Dónde:

Nu : Número de Nusselt.

n : Exponente según las condiciones del fluido, es decir toma el valor de 0,4 si el fluido se calienta y 0,3 si el fluido se enfría.

Re : Número de Reynolds.

Pr : Prandtl.

Dimensionamiento de Tuberías:

Es el dimensionamiento de una tubería para decretar su diámetro interior y número de cedula.
(Frank P. Incropera, 1999)

$$\dot{m}_v = \rho_v \times V_v \times S$$

Ecuación 20. Flujo másico de vapor

Dónde:

\dot{m}_v : Flujo másico de vapor

V_v : Velocidad del vapor

ρ_v : Densidad del vapor

S : área transversal de la tubería de vapor

$$S = \frac{\pi \times (d_{int})^2}{4}$$

Ecuación 21. Área transversal de la tubería

d_{int} : Diámetro interior de la tubería de vapor.

$$d_{int} = \sqrt{\frac{S \times 4}{\pi}}$$

Ecuación 22. Diámetro interior de la tubería

Cálculo del número de cedula (Schedule) de una tubería:

$$Sch = 1000 \left(\frac{P}{S} \right) x N$$

Ecuación 23. Número de cedula

Dónde:

Sch : Número de cedula

P : presión de trabajo.

S: esfuerzo de trabajo.

N: factor de seguridad.

Tiempo de retorno de la inversión:

Análisis que se compara el gasto y los costes financieros asociados a un servicio en relación al valor que este va a aportar a la empresa.

$$PRI = \frac{I.A.F [N.S]}{B.P \left[\frac{N.S}{\text{año}} \right]}$$

Ecuación 24. Periodo de retorno de la inversión

Dónde:

PRI : Periodo del retorno de la inversión [Años]

I.A.F: Inversión en activos fijos [N.S]

B.P : Beneficio del proyecto $\left[\frac{N.S}{\text{año}} \right]$

Valor presente neto:

Valor presente de los flujos en unos futuros de efectivo netos de un proyecto de inversión, es una de las principales formas de calcular una inversión.

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Ecuación 25. Valor presente neto

Dónde:

VPN : Valor actual neto o valor actual neto [N.S]

V_t : Flujos de caja en cada tiempo [N.S]

i : Interés [%].

n : Número de períodos considerados [años].

I_0 : Valor del desembolso inicial de la inversión [N.S].

1.4. Formulación al Problema:

¿De qué manera se puede aprovechar el vapor flash de las purgas de superficie de superficie que se logre incrementar la temperatura del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa Sociedad Agrícola Virú S.A.?

1.5. Justificación del estudio:

Para justificar este estudio se ha escogido ciertos motivos, los cuales se mencionan en breve:

- **Motivo tecnológico:** El uso de un sistema de recuperación de energía de purgas de superficie que permite conocer tecnologías térmicas actuales del uso eficiente y racional del vapor.
- **Motivo económico:** La propuesta de un sistema de recuperación de energía de purgas de superficie para calentar el agua de alimentación de las calderas pirotubulares, reducirá el consumo de combustible y consumo de agua de alimentación, obteniendo ahorros económicos en beneficio de la empresa Sociedad Agrícola Virú S.A.
- **Motivo Institucional:** Estos sistemas de recuperación de energía de purgas de superficie, pueden ser tecnologías que se apliquen a plantas consumidoras de vapor, lo cual hace que estudiantes de la Universidad Cesar Vallejo comprendan, analicen y apliquen sus conocimientos en dichas plantas.
- **Motivo Socio Ambiental:** Se podrá reducir las toneladas año de dióxido de carbono, dióxido de azufre, entre otros, por motivo de la combustión en las calderas pirotubulares. Eliminación de la cantidad de lodo y del vapor flash en purgas que se va a la atmósfera, contribuyendo al medio ambiente.

1.6. Hipótesis:

Si es posible aprovechar el vapor flash procedente de las purgas de superficie de manera que se llegue a lograr un incremento de la temperatura del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa Sociedad Agrícola Virú S.A.

1.7. Objetivos:

1.7.1. Objetivo General:

- Realizar un estudio del aprovechamiento del vapor flash de purgas de superficie para incrementar la temperatura del agua de alimentación de las calderas pirotubulares de la empresa sociedad Agrícola Virú S.A.

1.7.2. Objetivo Específicos:

- Evaluar condiciones existentes de las instalaciones en la empresa.
- Realizar un balance de energía y masa a los procesos de la planta térmica, describir los consumos de vapor, flujo másico de purgas, rendimiento energético, flujo másico de vapor flash y consumo de sal en ablandadores.
- Dimensionar y elegir el tanque de revaporizado, intercambiador de calor para el calentamiento del agua por vapor flash, redes de tuberías y accesorios.
- Determinar el flujo másico de combustible, rendimiento energético, consumo de sal en ablandadores y la reducción de masa de dióxido de carbono y dióxido de azufre evacuado a la atmosfera por las calderas en condiciones de mejora.
- Calcular la rentabilidad en la reducción del consumo de combustible.
- Calcular la inversión de los activos fijos hacia el diseño del sistema de salvación de vapor flash.
- Establecer el periodo de recuperación de la inversión PRI

- Decretar el valor actual neto VAN para el diseño del sistema de recuperación de vapor flash.
- Determinar la tasa interna de retorno TIR hacia el diseño del sistema de recuperación de vapor flash.

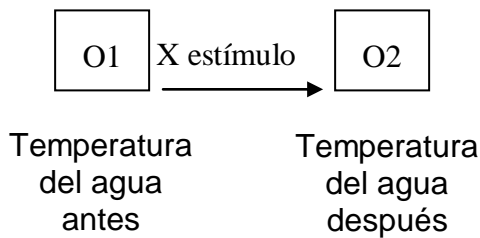
II. MÉTODO:

2.1. Diseño de Investigación:

Pre Experimental. Su grado en el control es minúsculo, relacionándose con un diseño experimental el cual es real, totalmente es provechoso tal como un primer acceso al problema de investigación en la contexto, además del registro mínimo de las diferentes variable independiente, se realiza la tarea con un grupo a la que se le suministra un estímulo para definir su efecto con respecto a la variable dependiente.

Se trata de investigación donde existe una pre-pueba y una post-prueba. Se observará fenómenos y acontecimientos reales, con el fin de evaluarlos, cuestionarlos e iniciar, mediante cálculos y fundamentos la correspondiente pre-implementación.

Diseño de la investigación



G: grupo o muestra

O1, O2: Incremento de la temperatura del agua de alimentación.

X: Estímulo: Aprovechamiento del vapor flash de purgas de superficie.

2.2. Variables:

2.2.1. Variables dependientes:

- Temperatura del agua de alimentación.
- Reducción del flujo másico de combustible.
- Beneficio económico.

2.2.2. Variables independientes:

- Flujo másico del vapor flash.
- Flujo másico del purgas.
- Temperatura actual del agua de alimentación.
- Presión de vapor.
- Flujo másico de vapor.

2.3. Operacionalización:

Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Recuperación de purgas de Superficie.	Es la porción de líquido contaminado no convertida en vapor saturado por sus alto contenido en sólidos disueltos totales	Es el flujo másico de purgas continuas que alimentara a un tanque para recuperar el vapor flash para aumentar la temperatura del agua de suministro de las calderas.	Flujo másico Equipo flash SDT Intercambiador de Calor	Razón [Kg/h]
Temperatura del agua de suministro actual	Es la temperatura del agua de calderas proveniente de la mezcla del agua de reposición y condensado.	Es la temperatura de ingreso al calentador de agua.	Temperatura	[°C] Razón

Tabla 1. Variables Independientes

Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Temperatura del agua de alimentación en mejora	Es la temperatura obtenida del intercambio de calor del vapor flash con el agua de alimentación en condiciones actuales.	Es la temperatura de ingreso a los calderos para obtener una reducción del flujo de combustible.	Temperatura	[°C] Razón
Beneficios en costos de combustible	Egresos captados por la aplicación, es decir mejora de un proyecto.	Es el beneficio económico en ahorro de combustible y agua de pozo.	m ³	Razón [N. S/año]

Tabla 2. Variables dependientes

2.4. Población y muestra:

2.4.1. Población:

- Las calderas pirotubulares con purgas de superficie ubicada en planta de conservas de la empresa Sociedad Agrícola Virú S.A.

2.4.2. Muestra:

- Una caldera pirotubulares y su purga de superficie de la empresa Sociedad Agrícola Virú S.A.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad:

Para el este desenlace del proyecto de investigación, se aplicará técnicas e instrumentos a continuación:

2.5.1. Técnicas:

- Observación directa de los hechos
- Entrevista
- Cálculo termodinámico
- Cálculo hidráulico – mecánico
- Cálculo energético
- Cálculo económico y financiero

2.5.2. Instrumentos:

- Flujómetro
- Termómetros
- Manómetros
- Tablas termodinámicas

2.6. Métodos de Análisis de datos:

- La observación directa de los hechos, realizada por una visita técnica que sirvió para tener un enfoque directo de la realidad problemática, constatando que existen purgas continuas en todas las calderas pirotubulares, desperdiciándose en su totalidad el calor de las purgas a la atmósfera.
- El cálculo termodinámico, para el análisis de balance de masa y energía, en los diversos sistemas de la planta.
- El cálculo hidráulico - mecánico, para establecer el diámetro nominal, número de cédula de tuberías que transportarán el flujo de purgas y flujo de agua.
- El cálculo energético, para comparar rendimientos energéticos y consumos de combustible en las situaciones actuales y de mejora en los equipos de planta, además de dimensionar el método en la recuperación del calor mediante purgas y el calentador de agua.
- El cálculo económico y financiero, para determinar el beneficio, inversión y PRI, que implicará recuperar las purgas para calentar el agua de alimentación, además de determinar la viabilidad del proyecto.

III. RESULTADOS:

3.1. Condiciones actuales de la Caldero Piro tubular de 800 BHP:

Gráfico N° 1 Caldero piro tubular 4WI Cleaverbrooks



CALDERO PIROTUBULAR 4WI CLEAVERBROOKS			
Potencia del caldero	Producción de vapor	Presión del Vapor Saturado (BAR Absoluto)	Presión de la purga de superficie (BAR Absoluto)
800 BHP	12 528 KG/H	15 BAR	15 BAR
Temperatura agua de ingreso al caldero	Temperatura de retorno de condensado	Temperatura agua de reposición	Temperatura de los gases residuales
60 °C	90°C	20°C	260 °C
Combustible	Concentración agua de ingreso al caldero	Concentración dentro del caldero	Agua de alimentación
Industrial N°6	350 PPM	2800 PPM	12550 KG/H

Tabla 3. Datos obtenidos del CALDERO PIROTUBULAR 4WI CLEAVERBROOKS
SISTEMA ACTUAL DEL CALDERO

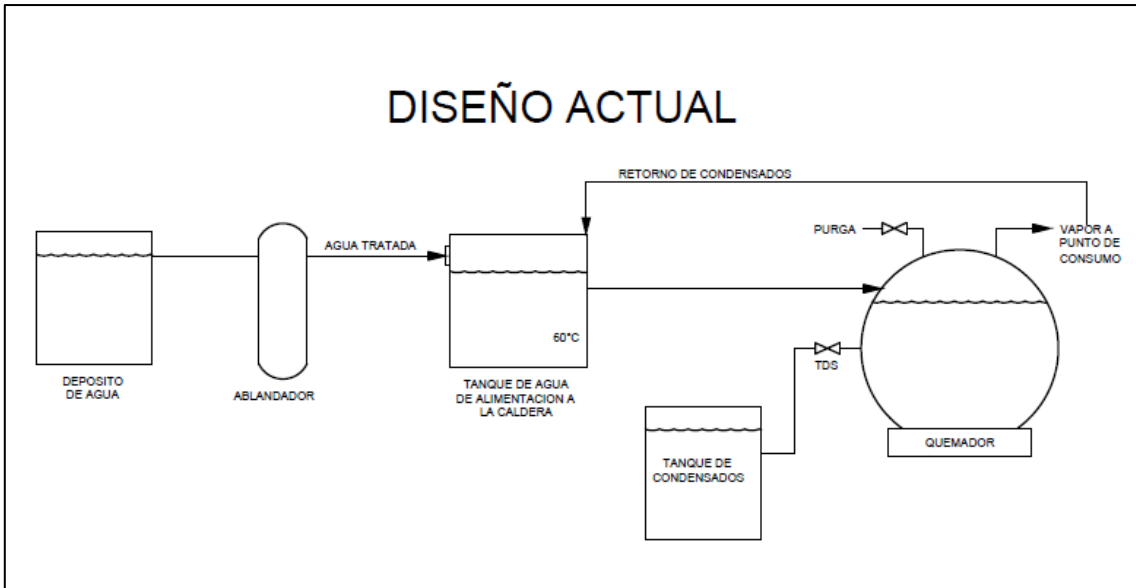


Ilustración 9. Sistema Actual del Caldero - Elaboración Propia

DISEÑO PROPUESTO DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE PURGA

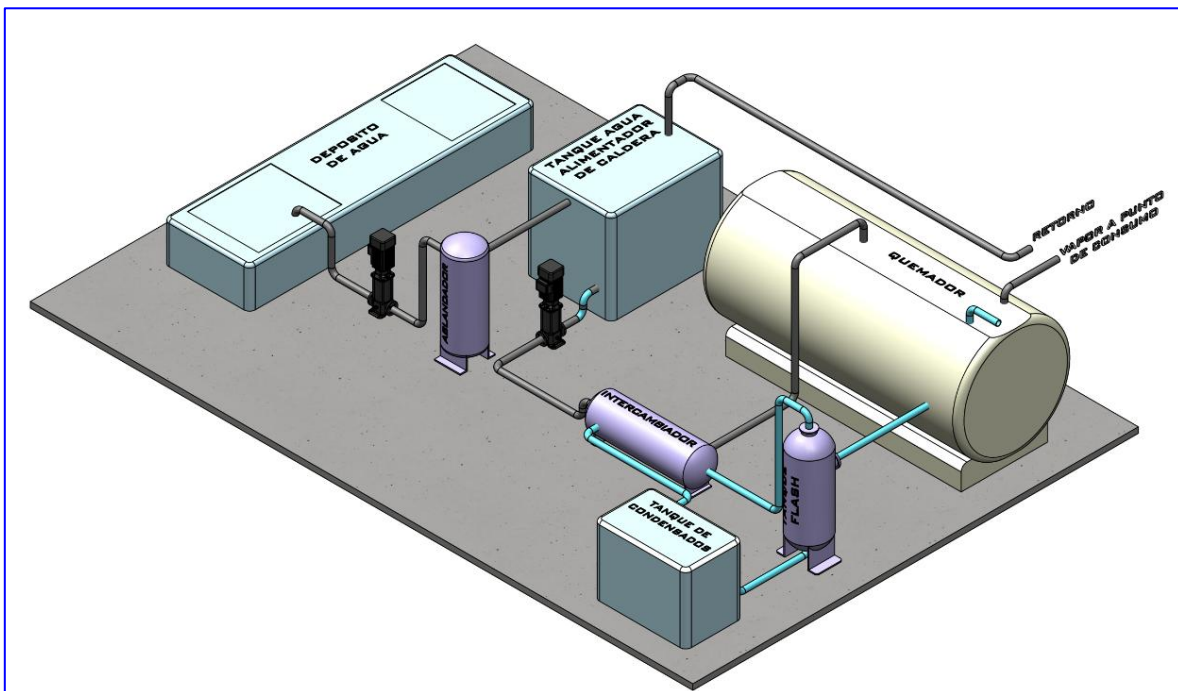


Ilustración 10. Sistema Propuesto del Caldero - Elaboración Propia

a) **Cálculo del flujo másico del vapor producido:**

$$\dot{m}_{vapor} = P_{caldero}[BHP] \times \frac{15.66 \left[\frac{kg}{h} \right]}{1[BHP]} \times \frac{1}{3600} \left[\frac{h}{seg} \right]$$

$$\dot{m}_{vapor} = 800[BHP] \times \frac{15.66 \left[\frac{kg}{h} \right]}{1[BHP]} \times \frac{1}{3600} \left[\frac{h}{seg} \right]$$

$$\dot{m}_{vapor} = 3.48 \left[\frac{kg}{seg} \right]$$

b) **Calculo del flujo másico de la purga de superficie:**

$$\dot{m}_{purgas} = \left(\frac{STD_{agua}}{STD_{cald} - STD_{agua}} \right) \times \dot{m}_v$$

$$\dot{m}_{purgas} = \left(\frac{350}{2800 - 350} \right) \times 3.48$$

$$\dot{m}_{purgas} = 0.497 \left[\frac{kg}{s} \right] \text{ o } 1789.71 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

c) **Rendimiento energético de la caldera pirotubular:**

➤ Potencia térmica de purgas:

ENTALPÍAS DEL LÍQUIDO SATURADO $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$	
Agua a temperatura ambiente (20°C)	Entrada de la purga (15 BAR absoluto)
83.915 $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$	844.55 $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$ (Tabulando)

Tabla 4. Entalpías del líquido saturado

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P_{sat} kPa	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661

Tabla 5. Propiedades Termodinámicas del Agua Saturada - Fuente: Termodinámica - Yunus A. Çengel

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones (conclusión)

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.92	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430

Tabla 6. Propiedades Termodinámicas del Agua Saturada - Fuente: Termodinámica - Yunus A. Çengel

Entonces:

$$\dot{Q}_{purgas} = \dot{m}_{purgas} x (h_{198.3^\circ C} - h_{20^\circ C})$$

$$\dot{Q}_{purgas} = 0.497 \left[\frac{kg}{s} \right] x \left(844.55 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 83.92 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \right)$$

$$\dot{Q}_{purgas} = 378.03 \left[\frac{kJ}{s} \right] \text{ o } [kW]$$

➤ Potencia térmica de útil del caldero Piro-tubular:

ENTALPÍAS $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	
Líquido Saturado	Vapor Saturado
Agua de alimentación (60°C)	Presión de operación (15 BAR absoluto)
251.18 $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	2791.0 $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$ (Tabulando)

Tabla 7. Valor de las Entalpías

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Líqu. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Líqu. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Líqu. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296

Tabla 8. Propiedades Termodinámicas del Agua Saturada - Fuente: Termodinámica - Yunus A. Çengel

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones (conclusión)

Pres., P kPa	Temp. sat., T _{sat} °C	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Líqu. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Líqu. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Líqu. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430

Tabla 9. Propiedades Termodinámicas del Agua Saturada - Fuente: Termodinámica - Yunus A. Çengel

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = \dot{m}_{\text{vapor}} \times (h_{a \text{ 15 bar}} - h_{60^\circ\text{C}})$$

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = 3.48 \left[\frac{kg}{s} \right] \times \left(2791.0 \left[\frac{kJ}{kg} \right] - 251.18 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \right)$$

$$\dot{Q}_{\text{útil}} = 8838.57 \left[\frac{kJ}{s} \right] \text{ o } [kW]$$

d) Poder calorífico del combustible industrial N°6:

PROPIEDADES DEL BUNKER	
Viscosidad SSU a 100° F	3714 a 3805
Gravedad específica	0,950 a 0,953
Grados API	16,9 a 17,4
Punto de inflamación (°F)	285
Poder calorífico superior (Kcal / Kg)	10.900
Contenido de azufre %	1,5
Contenido de vanadio (ppm)	120
Contenido de cenizas %	0,04 a 0,15

Tabla 10. Propiedades aproximadas del Bunker para consumo nacional - Fuente: Industriales y marinas del Ing. Ángel Vargas

$$PCS = 18320 + 40 \times (\text{°API} - 10) \left[\frac{BTU}{Lb} \right]$$

$$PCS = 18320 + 40 \times (16.9 - 10) \left[\frac{BTU}{Lb} \right]$$

$$PCS = 18596 \left[\frac{BTU}{Lb} \right]$$

$$PCI = PCS - 1030 \left[\frac{BTU}{Lb} \right]$$

$$PCI = 18596 - 1030 \left[\frac{BTU}{Lb} \right]$$

$$PCI = 17566 \left[\frac{BTU}{Lb} \right]$$

✓ Convertir de $\left[\frac{BTU}{Lb} \right]$ a $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$:

$$PCI = 17566 \left[\frac{BTU}{Lb} \right] \times \frac{1.055}{1} \left[\frac{kJ}{BTU} \right] \times \frac{1}{0.4536} \left[\frac{Lb}{kg} \right]$$

$$PCI = 40855.67 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

e) Relación aire combustible en el caldero:

Datos:

Datos	
\dot{m}_{cble}	$0.2828 \left[\frac{kg}{s} \right]$
$h_{cble} (65^\circ C)$	$178.75 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$
$h_{aire} (90^\circ C) = [Cp \times T]$	$90.72 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$
$h_{gr} (260^\circ C) = [Cp \times T]$	$269.1 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$ (tabulando)
$\dot{Q}_{\acute{u}til}$	$8838.57 [kW]$
\dot{Q}_{purgas}	$378.03 [kW]$
PCI	$40855.67 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$

Tabla 11. Datos para la relación aire combustible en el caldero

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ C$	Densidad, $\rho, kg/m^3$	Calor específico, $c_p, J/kg \cdot K$	Conductividad térmica, $k, W/m \cdot K$	Difusividad térmica, $\alpha, m^2/s^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, kg/m \cdot s$	Viscosidad cinemática, $\nu, m^2/s$	Número de Prandtl, Pr
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935

**Tabla 12. Tabla 9. Propiedades Termodinámicas del Aire a presión de 1 atm - Fuente:
Termodinámica - Yunus A. Çengel**

$$\frac{R_{aire}}{cble} = \frac{\dot{m}_{cble} \times (PCI + h_{cble} - h_{gr}) - \dot{Q}_{\text{util}} - \dot{Q}_{\text{purgas}}}{\dot{m}_{cble} \times (h_{gr} - h_{aire})} \left[\frac{kg \text{ aire}}{kg \text{ cble}} \right]$$

$$\frac{R_{aire}}{cble} = \frac{0.2828 \times (40855.67 + 178.75 - 269.1) - 8838.57 - 378.03}{0.2828 \times (269.1 - 90.72)} \left[\frac{kg \text{ aire}}{kg \text{ cble}} \right]$$

$$\frac{R_{aire}}{cble} = 45.82 \left[\frac{kg \text{ aire}}{kg \text{ cble}} \right]$$

f) Calor total:

Datos	
\dot{m}_{cble}	0.2828 $\left[\frac{kg}{s} \right]$
$h_{cble} (65^{\circ}C)$	178.75 $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$
$h_{aire} (90^{\circ}C) = [Cp \times T]$	90.72 $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$
R_{aire}	45.82 $\left[\frac{Kg \text{ aire}}{kg \text{ cble}} \right]$
PCI	40855.67 $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$
\dot{Q}_{util}	8838.57 [kW]
\dot{Q}_{purgas}	378.03 [kW]
$h_{aire} (90^{\circ}C) = [Cp \times T]$	90.72 $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

Tabla 13. Datos para el Calor total

$$\dot{Q}_{total} = \dot{m}_{cble} \times \left(PCI + \frac{R_{aire}}{cble} \times h_{aire} \right) [Kw]$$

$$\dot{Q}_{total} = 0.2828 \times (40855.67 + 45.82 \times 90.72) [Kw]$$

$$\dot{Q}_{total} = 12729.52 [Kw]$$

g) Eficiencia de la Caldera:

$$\eta_{cald} = \frac{\dot{Q}_{\acute{u}til} + \dot{Q}_{purgas}}{\dot{Q}_{total}} \times 100$$

$$\eta_{cald} = \frac{8838.57 + 378.03}{12729.52} \times 100$$

$$\eta_{cald} = 72.40 \%$$

h) Determinación del flujo másico del vapor flash en calderas:

Datos		
Entalpía a la entrada de la Purga (15 BAR absoluto)	$(h_f)_1$	844.55 $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
Entalpía del liq. sat. en la salida de la Purga (1 BAR absoluto)	$(h_f)_2$	417.51 $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
Entalpía del vapor. sat. en la salida de la Purga (1 BAR absoluto)	$(h_g)_2$	2675.0 $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

Tabla 14. Datos para el flujo másico del vapor flash

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.02	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430

Tabla 15. Propiedades Termodinámicas del Agua Saturada - Fuente: Termodinámica - Yunus A. Çengel

$$\%F = \frac{(h_f)_1 - (h_f)_2}{(h_g)_2 - (h_f)_2} \times 100$$

$$\%F = \frac{844.55 - 417.51}{2675.0 - 417.51} \times 100$$

$$\%F = 18.91 \%$$

Entonces:

$$\dot{m}_{V.F} = \dot{m}_{purgas} \times \frac{\%F}{100}$$

$$\dot{m}_{V.F} = 0.497 \times \frac{18.91 \%}{100}$$

$$\dot{m}_{V.F} = 0.0940 \left[\frac{kg}{s} \right] \text{ o } 338.46 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

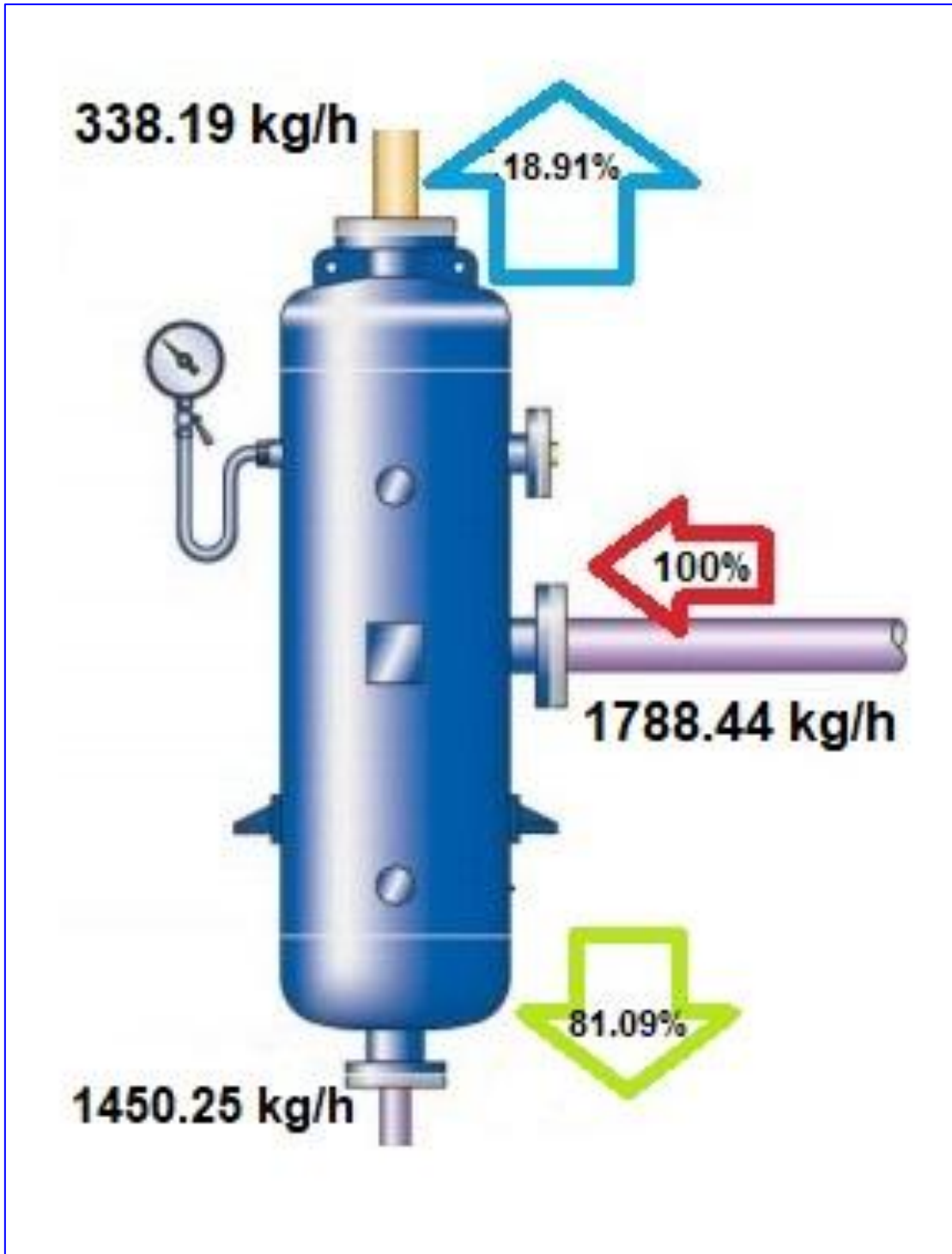


Tabla 16. Flujo másico de vapor Flash

i) Selección, dimensiones y materiales del tanque flash:

➤ Selección:

- Para ello se debe conocer la presión de revaporizado (BAR) la cual es inversamente proporcional a al porcentaje del mismo.

Presión en los purgadores bar r	Presión de revaporizado bar r													
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10
	%													
25	24,5	22,6	21,2	20,0	18,9	18,0	17,2	15,7	14,4	13,3	12,2	11,3	10,4	9,5
24	24,1	22,2	20,7	19,5	18,5	17,6	16,7	15,3	14,0	12,8	11,8	10,8	9,9	9,0
23	23,6	21,7	20,3	19,1	18,0	17,1	16,3	14,8	13,5	12,3	11,3	10,3	9,4	8,5
22	23,2	21,3	19,8	18,6	17,6	16,6	15,8	14,3	13,0	11,8	10,8	9,8	8,9	8,0
21	22,7	20,8	19,3	18,1	17,1	16,1	15,3	13,8	12,5	11,3	10,3	9,3	8,4	7,5
20	22,2	20,3	18,8	17,6	16,6	15,6	14,8	13,3	12,0	10,8	9,7	8,7	7,8	6,9
19	21,7	19,8	18,3	17,1	16,0	15,1	14,2	12,7	11,4	10,2	9,2	8,2	7,2	6,4
18	21,2	19,3	17,8	16,6	15,5	14,5	13,7	12,2	10,8	9,7	8,6	7,6	6,7	5,8
17	20,6	18,7	17,2	16,0	14,9	14,0	13,1	11,6	10,3	9,1	8,0	7,0	6,1	5,2
16	20,1	18,2	16,7	15,4	14,3	13,4	12,5	11,0	9,7	8,5	7,4	6,4	5,4	4,5
15	19,5	17,6	16,1	14,8	13,7	12,8	11,9	10,4	9,0	7,8	6,7	5,7	4,8	3,9
14	18,9	16,9	15,4	14,2	13,1	12,1	11,2	9,7	8,4	7,1	6,0	5,0	4,1	3,2
13	18,2	16,3	14,8	13,5	12,4	11,4	10,6	9,0	7,6	6,4	5,3	4,3	3,3	2,4
12	17,5	15,6	14,1	12,8	11,7	10,7	9,8	8,3	6,9	5,7	4,6	3,5	2,6	1,7
11	16,8	14,8	13,3	12,0	10,9	10,0	9,1	7,5	6,1	4,9	3,8	2,7	1,8	0,9
10	16,1	14,1	12,5	11,3	10,1	9,2	8,3	6,7	5,3	4,1	2,9	1,9	0,9	-
9	15,2	13,2	11,7	10,4	9,3	8,3	7,4	5,8	4,4	3,2	2,0	1,0	-	-
8	14,4	12,3	10,8	9,5	8,4	7,4	6,5	4,9	3,5	2,2	1,1	-	-	-
7	13,4	11,4	9,8	8,5	7,4	6,4	5,4	3,8	2,4	1,2	-	-	-	-
6	12,3	10,3	8,7	7,4	6,3	5,2	4,3	2,7	1,3	-	-	-	-	-
5	11,2	9,1	7,5	6,2	5,0	4,0	3,1	1,4	-	-	-	-	-	-
4	9,8	7,7	6,1	4,8	3,6	2,6	1,7	-	-	-	-	-	-	-
3	8,3	6,2	4,5	3,2	2,0	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-
2	6,3	4,2	2,6	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3,8	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FactorLP =	1,673	1,149	0,881	0,714	0,603	0,522	0,405	0,374	0,315	0,272	0,240	0,215	0,194	0,177

Tabla 17. Selección de la presión de revaporizado

- Se escogerá una presión de revaporizado de “0 bar“, con el fin de obtener un porcentaje mayor de revaporizado para hacer un mejor uso del mismo en un intercambiador de calor que más adelante presentaremos.

Datos:	
Presión de Revaporizado:	0 bar
\dot{m}_{purgas} :	1789.71 $\left[\frac{kg}{s}\right]$
Presión de la purga	15 bar

Tabla 18. Datos para la selección del tanque flash

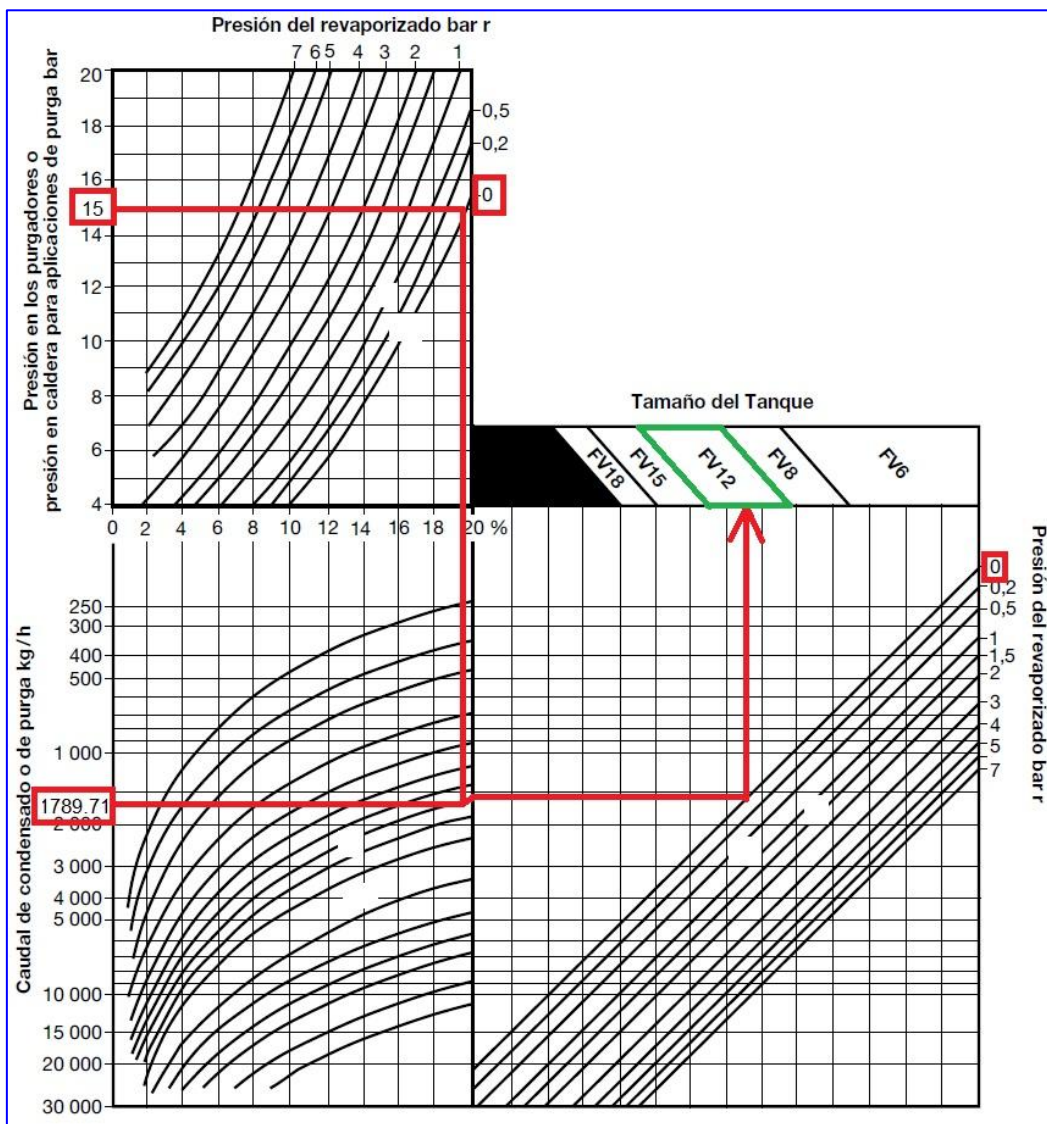


Tabla 19. Selección del tanque flash

- **Explicación:**

La caldera pirotubular de 800 BHP tiene una presión en la purga de 15 BAR y condensa 1789.71 kg/h de vapor. Revaporizado para recuperar a 0bar.

1. Desde la presión de la purga (15 BAR) delinear una horizontal direccionándolo hasta la presión del revaporizado (0 BAR).
2. Bajar verticalmente hasta la ubicación del caudal de condensado (1789.41 kg/h).
3. Continuar con la curva ubicándolo hacia la derecha hasta cortar la línea de presión del revaporizado (0 BAR)
4. Subir hacia el tamaño del tanque. Seleccionar el tanque de revaporizado, en conclusión se requiere un **FV12**.

- Datos obtenidos por la selección del **tanque flash FV12**:

Datos:	
Factor LP	1.673
Factor de Velocidad	243
% de revaporizado	19.5

Tabla 20. Datos obtenidos por la selección del Tanque Flash

- Se sabe (según fuente Spirax Sarco):

Total de revaporizado = % Revaporizado x Carga de condensado

$$Total\ de\ revaporizado = 19.5\% \times 1789.71 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

$$Total\ de\ revaporizado = 348.99 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

Volumento Total = Total de revaporizado x Factor LP

$$\text{Volumento Total} = 348.99 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \times 1.673$$

$$\text{Volumento Total} = 583.87 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

$$\text{Velocidad de paso} = \frac{\text{Volumento Total}}{\text{Factor de velocidad}}$$

$$\text{Velocidad de paso} = \frac{583.87 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{243}$$

$$\text{Velocidad de paso} = 2.4 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Nota: Dimensionar a velocidad de paso de 3 m/s o inferior. (fuente Spirax Sarco)

➤ **Dimensiones:**

Dimensiones/ peso (aproximados) en pulgadas, mm y kg					
	FV6	FV8	FV12	FV15	FV18
A	168	219	324	406	457
B	104	210	262	303	329
C	370	413	418	390	514
D	620	663	668	640	764
E	1225	1391	1400	1275	1521
F	230	281	411	492	544
G	2"	DN80	DN100	DN150	DN150
H	2"	2"	2"	DN80	DN80
J	2"	DN80	DN100	DN150	DN150
K	½"	½"	½"	½"	½"
L	¾"	1"	1½"	1½"	2"
M	2"	2"	2"	2"	2"
Peso	45	76	130	150	193

Tabla 21. Dimensiones y peso del tanque flash FV 12

➤ **Materiales:**

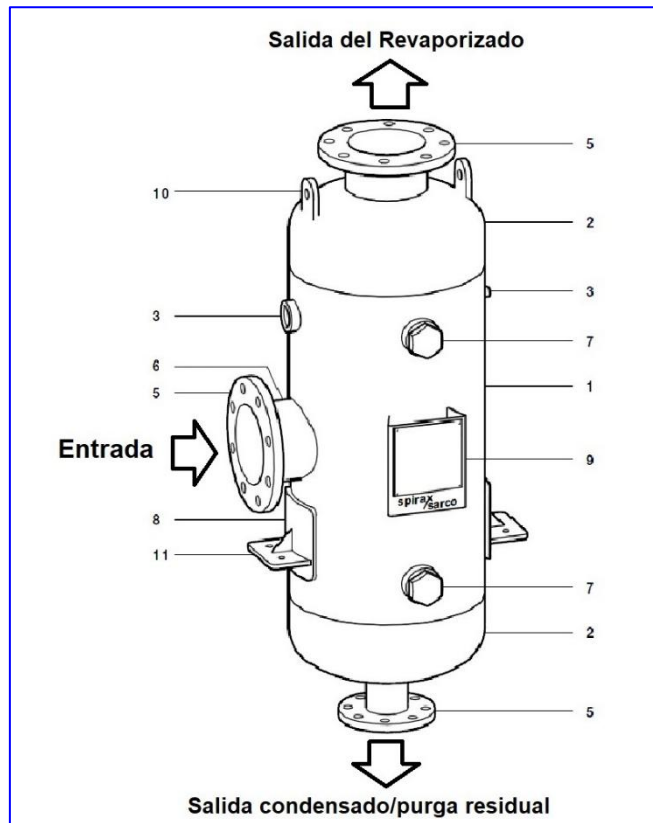


Ilustración 11. Partes del tanque flash

Materiales			
No.	Parte	Material	
1	Carcasa central	ASTM A106B	Máx. C. 0,25%
2	Extremos	ASTM A234 WPB	Máx. C. 0,25%
3	Conexión - manómetro	ASTM A105N	Máx. C. 0,25%
4	Conexión - válvula de seguridad	ASTM A105N	Máx. C. 0,25%
5	Conexión - con bridas	ASTM A516-70	Máx. C. 0,25%
6	Conexión - tubo	ASTM A106B	Máx. C. 0,25%
7	Tapón	ASTM A105N	Máx. C. 0,25%
8	Placa soporte	ASTM A516-60	Máx. C. 0,25%
9	Soporte placa características	BS EN 10028-2 P265GH	Máx. C. 0,25%
10	Orejas de izaje	ASTM A516-60	Máx. C. 0,21%
11	Pies soporte	BS EN 10025 S275	

Tabla 22. Partes y Materiales del Tanque flash FV 12

f) Determinación de la temperatura del agua de alimentación con la recuperación del Vapor Flash:

➤ Se obtendrán datos a 1 atm = 100 Kpa, ya que no conocemos la temperatura de salida.

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg		Entalpía, kJ/kg		Entropía, kJ/kg · K				
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Vapor sat., s_g			
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545

Tabla 23. Propiedades Termodinámicas del Agua Saturada - Fuente: Termodinámica - Yunus A. Çengel

Datos:		
1 atm = 100 kPa	h_f	417.51 $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
	h_g	2675.0 $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
$CP_{60^\circ C}$		4.185 $\left[\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}\right]$
$\dot{m}_{vapor\ flash}$		0.094 $\left[\frac{kg}{s}\right]$
$\dot{m}_{vapor\ o\ agua}$		3.48 $\left[\frac{kg}{seg}\right]$
(Aislante de lana mineral) η_{calent}		95%

Tabla 24. Datos para hallar la temperatura del agua de alimentación

$$\sum \dot{m}_{entrada} \times h_{entrada} = \sum \dot{m}_{salida} \times h_{salida}$$

$$\dot{m}_{agua} \times CP_{agua} \times (T_{agua 2} - T_{agua 1}) = \dot{m}_{vf} \times (h_g - h_f) \times \eta_{calent}$$

$$T_{agua 2} = \frac{\dot{m}_{vf} \times (h_g - h_f) \times \eta_{calent}}{\dot{m}_{agua} \times CP_{agua}} + T_{agua 1}$$

$$T_{agua 2} = \frac{0.094 \times (2675.0 - 417.51) \times 0.95}{3.48 \times 4.185} + 60$$

$$T_{agua 2} = 73.84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

g) Dimensionamiento del intercambiador:

➤ **Temperatura media del agua en el calentador:**

$$T_{media \text{ del agua}} = \frac{T_{entrada} + T_{salida}}{2}$$

$$T_{media \text{ del agua}} = \frac{60 + 73.84}{2}$$

$$T_{media \text{ del agua}} = 66.92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

➤ **Propiedades del agua a 66.92 °C:**

Densidad ρ	Viscosidad Dinámica μ	Viscosidad Cinemática ν	Conductividad térmica k	Número de Prandtl
$979.6 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	$422.2 \times 10^{-6} \left(\frac{Pa \cdot s}{s} \right)$	$4.309 \times 10^{-7} \left(\frac{m^2}{s} \right)$	$0.6607 \left(\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$	2.675

Tabla 25. Propiedades del agua a 66.92 °C

- **Número de tubos de agua en el intercambiador de calor:**

$$N_{tubos} = 40$$

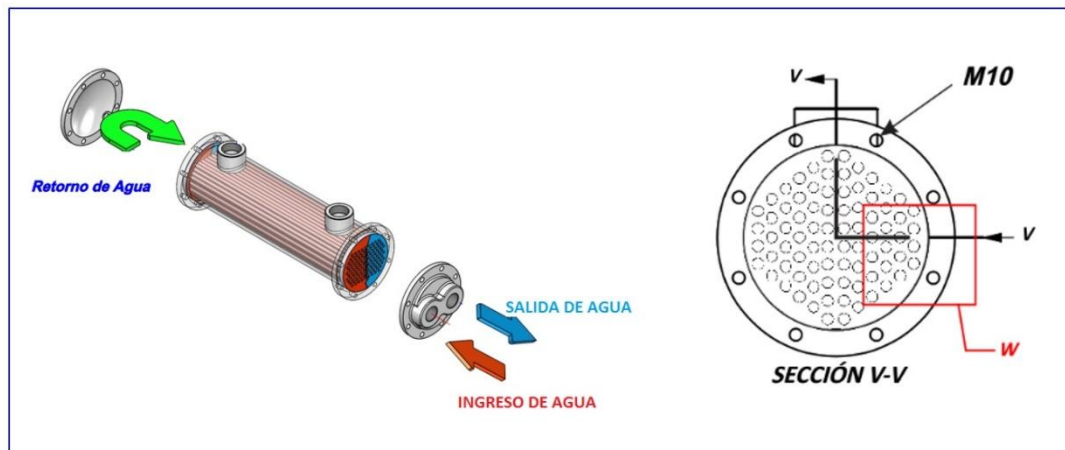


Ilustración 12. Número totales de tubos en el intercambiador de calor

- **Flujo másico de agua por cada tubo:**

$$\dot{m}_{agua \text{ por cada tubo}} = \frac{\dot{m}_{agua}}{N_{tubos}}$$

$$\dot{m}_{\text{agua por cada tubo}} = \frac{3.48 \left[\frac{kg}{seg} \right]}{40}$$

$$\dot{m}_{\text{agua por cada tubo}} = 0.087 \left[\frac{kg}{seg} \right]$$

➤ **Velocidad recomendada:**

Velocidades usualmente permitidas para ductos y sistemas de tuberías

Servicio/Aplicación	Velocidad (fpm)
Ductos de corrientes forzadas	2500 – 3500
Flujos de corrientes inducidas	2000 – 3000
Chimeneas y pilas	2000
Líneas de agua	250-600
Líneas de vapor de alta presión	10000
Líneas de vapor de baja presión	12000 – 15500
Líneas de vapor de vacío	25000
Líneas de aire comprimido	2000
Líneas de vapor refrigerante	
Alta presión	1000 – 3000
Baja presión	2000 – 5000
Refrigerante líquido	200
Brine lines	400
Ductos de ventilación	1200 – 3000
Registered grills	500

Tabla 26. Velocidad de agua en los tubos - Fuente: “Velocidades Sugeridas para fluidos en tuberías” Tomado de Ludwig, E., “Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants. Vol. 1”, Gulf Publishing Company, USA (1965).

Entonces:

$$V_{\text{agua}} = 300 \text{ fpm} = 1.524 \frac{m}{s}$$

➤ **Cálculo de diámetros de los tubos:**

Se sabe que:

$$\dot{m}_{por\ tubo} = \rho_{agua\ a\ 60^{\circ}C} \times V_{agua} \times S_{trans}$$

$$S_{trans} = \frac{\dot{m}_{por\ tubo}}{\rho_{agua\ a\ 60^{\circ}C} \times V_{agua}}$$

$$S_{trans} = \frac{0.087 \left[\frac{kg}{seg} \right]}{979.6 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times 1.524 \frac{m}{s}}$$

$$S_{trans} = 5.8278 \times 10^{-5} m^2$$

Entonces:

$$S_{trans} = \frac{\pi \times (d_{int})^2}{4}$$

$$d_{int} = \sqrt{\frac{S_{trans} \times 4}{\pi}}$$

$$d_{int} = \sqrt{\frac{5.8278 \times 10^{-5} m^2 \times 4}{\pi}}$$

$$d_{int} = 8.614\ mm = 0.34\ pulgadas$$

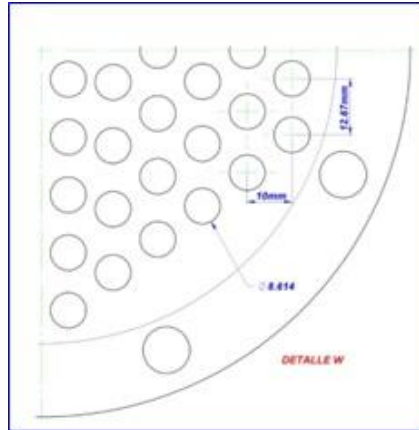


Ilustración 13. Diámetros de los tubos

Conclusión:

Normalizando el diámetro de la tubería, ASTM A-53, Grado A, al Sí, cédula 40.

$$\text{Diámetro nominal} = \frac{1}{4} \text{ pulg}$$

$$\text{Diámetro interior} = 0.34 \text{ pulg (8.614 mm)}$$

$$\text{Diámetro exterior} = 0.54 \text{ pulg (13.716 mm)}$$

$$\text{Espesor de la tubería} = 0.09 \text{ pulg (2.286 mm)}$$

Dimensiones Exteriores del Intercambiador de Calor:

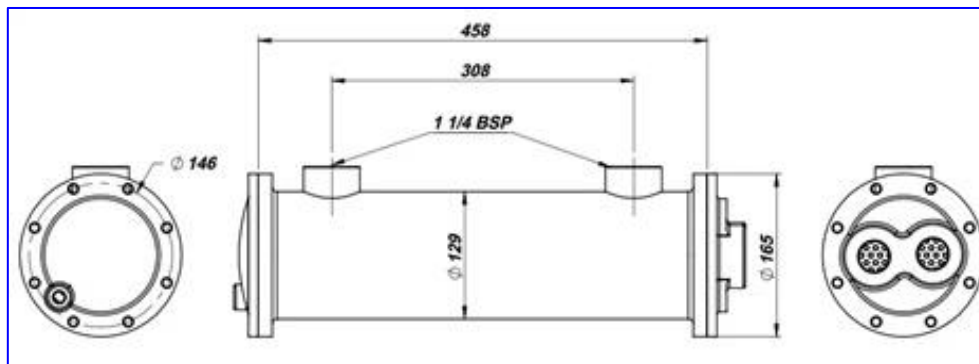


Ilustración 14. Dimensiones Exteriores del Intercambiador de Calor

i) Cálculo de la eficiencia del caldero con nueva temperatura de agua de alimentación:

j) Cálculo de calor útil:

Tabulamos la entalpia del agua de $T^{\circ}=73.84$

Tenemos:

$$T^{\circ}69.10=289.23$$

$$T^{\circ}75.87 = 317.58$$

$$T^{\circ}73.84 = X$$

$$\frac{317.58 - X}{75.87 - 73.84} = \frac{317.58 - 289.23}{75.87 - 69.10}$$

$$\frac{317.58 - X}{2.03} = \frac{28.35}{6.77}$$

$$T^{\circ}73.84 = 309.07$$

$$M_{\text{vapor}} = 12528$$

$$H_{\text{agua } 60^{\circ}\text{C}}=251.1$$

$$H_{\text{agua } 71.745^{\circ}\text{C}}= 309.07$$

$$Q_{\text{util}}= 12528/3600*(309.07-251.1) \text{ KJ/KG}$$

$$Q_{\text{util}}= 201.7356 \text{ Kw}$$

k) cálculo de ahorro de combustible:

$$Q_{\text{util}} = 201.7356 \text{ kw}$$

$$\text{PCI} = 40855.67$$

$$H_{\text{combustible } 60^{\circ}\text{C}} = 178.75 \text{ KJ/KG}$$

$$R_{\text{aire/combustible}} = 41.828$$

$$H_{\text{aire}} = 90.72$$

$$N_{\text{caldero}} = 74.01 \%$$

Reemplazando:

$$= \frac{Q_{util}}{\left(PCI + hc_{ble} + \frac{R_{aire}}{c_{ble}} * h_{aire}\right) * n_{cald.}}$$

$$= \frac{201.7356}{(40855.67 + 178.75 + 41.828 * 90.72) * 74.01\%}$$

$$\Delta mc_{combustible} = 201.7356 / 33180.19 = 0.00608 \text{ Kg/s} = (0.00608 * 3600) \text{ kg/h} = 21.88 \text{ Kg/h}$$

$$\Delta mc_{combustible} = 21.88 \text{ Kg/h} / (3.7854 * 0.95)$$

$$\Delta mc_{combustible} = \mathbf{6.084 \text{ gal/h}}$$

Caldero	Masa del consumo de comb. Actual	Masa del consumo del combustible propuesto
800 BHP-4WI-Cleaverbrooks	1018.08 KG/H	996.2 KG/H

Tabla 27. Comparativo entre consumo del combustible Actual y Propuesto

1) Ahorro de combustible en valor monetario:

$$\Delta \text{ Combustible total} = -6.084 \text{ gal/h}$$

$$\text{Ahorro de combustible} = 6.084 \text{ gal/h} * (\$/5.02) * (340 \text{ DIAS PROY.} * 12 \text{ H})$$

$$\text{Ahorro de combustible} = 6.084 \text{ gal/h} * (\$/5.02) * (4080 \text{ H})$$

$$\text{Ahorro de combustible/AÑO 2019} = \mathbf{\$/ 124 610.0544 / AÑO}$$

m) **Inversión:**

DETALLE DE INVERSIÓN	COSTO (\$)
TANQUE DE REVAPORIZADO INCLUYE INTERCAMBIADOR DE CALOR	\$ 5,500.00
ACCESORIOS PARA INSTALACION DEL SISTEMA DE RECUPERACION DE PURGA, INCLUYE TUBERIAS	\$ 10,000.00
MANO DE OBRA PARA INSTALACION DEL SISTEMA	\$ 5,000.00
TOTAL DE INVERSION	\$ 20,500.00

Tabla 28. Detalle de inversión

n) **Evaluación costo – Beneficio:**

Consideraciones:

Consideramos un lapso de 1 años.

Una tasa de: 15%

Tipo de cambio: 3.35

AÑO 0	-68675.00
AÑO 1	124 610.05
TIR	81%
VAN (tasa 15%)	S/. 57,924.16
TIEMPO DE RECUPERO	7 meses y 18 días

Tabla 29. Evaluación Costo – Beneficio

ñ) **Tiempo de Recupero:**

El Valor Actual de S/. 124,610.05 a una tasa del 15% es =S/. 108,356.52

Supera al monto inicial de la inversión, por lo tanto:

$68675/108356.52 = 7.60$ meses = **7 meses y 18 días.**

- El proyecto es factible, ya que el VAN >0

- El proyecto es factible ya que el TIR >15%

IV. DISCUSIÓN

1. Se tomaron en cuenta las condiciones actuales de la empresa Sociedad Agrícola Virú S.A. en la que se encontraba las máquinas utilizadas durante el proceso de producción, los cuales actualmente presentan serios problemas de eficiencia y ahorro.
2. Para el balance de masa y energía se tomaron valores constantes promedios, tales como: presión del vapor 9.62bar, temperatura del aire 90°C, temperatura del combustible 65°C, temperatura de gases residuales 265°C, temperatura ambiental 20°C, temperatura del agua 60°C, sólidos totales disueltos 450ppm y trabajando con los flujos máxicos nominales de cada caldero pirotubular. De este análisis se obtuvo en los resultados, un beneficio tanto en consumos de combustible y disminución de consumo de agua de reposición, además del incremento de la eficiencia en calderas y la disminución de contaminantes.
3. Los resultados obtenidos demuestran que nuestra hipótesis queda contrastada y se apoya a seguir investigando el cómo se puede lograr un mejor aprovechamiento de las purgas de superficie en los calderos. A si mismo Se logró el Objetivo de incrementar la temperatura de agua de alimentación de una temperatura de 60 °C a 71.745 °C que representado en un valor económico de ahorro de combustible hace viable el proyecto de inversión.
4. Para el análisis de la inversión, se trabajó con valores referenciales. Para el análisis financiero se trabajó con una tasa promedio del 15%, según la superintendencia de banca. Se determinó el costo total del proyecto es de \$20,500 con un retorno de inversión de 7 meses y 18 días. En comparación con otros trabajos de investigación el retorno de la inversión se encuentra entre el rango promedio, que puede llegar a ser mayor dependiendo del nivel de la inversión.
5. Se ha registrado una mejora de eficiencia en el Caldero en el cual inicialmente se tenía una eficiencia de 74.01 % y con la recuperación de calor de purga esta ha aumentado a 78.18 %. Desde nuestro punto de vista se puede diseñar nuevos sistemas de recuperación de purga de superficie los cuales pueden lograr utilizar a mayor

porcentaje la purga de superficie. En base a otros trabajos ya realizados se ha logrado mejorar la eficiencia del caldero a un nivel mucho mayor cercano a 82% por la presencia de controles automáticos, los cuales tienen ya un nivel de inversión mucho mayor al propuesto en nuestra investigación.

V. CONCLUSIONES

1. Para determinar a la máquina en la que se piensa invertir, se tuvo que analizar con mucho cuidado las capacidades de estos, para que tenga la suficiente con la que el sistema pueda seguir operando, y resulte eficiente el sistema empleado.
2. Al finalizar la implantación del proyecto se logra un ahorro de combustible de 3.61 galones por hora, lo que convertido en soles para el 2019 da un ahorro de S/. 83 217.72.
3. El proyecto es factible debido a los resultados económicos calculados, el VAN tiene un valor de S/. 57 924.16, el cual al ser mayor de 0 soles ya lo vuelve factible, de igual manera el TIR es de 86%, y al ser mayor del 15% evaluado, vuelven al proyecto factible y rentable para ser desarrollado.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se aconseja hacer una inversión en todos los equipos y materiales solicitados para así poder obtener el beneficio especificado y un buen retorno operacional tal y como se calculó en el análisis económico.
2. Es aconsejable establecer un programa de mantenimiento preventivo y predictivo a la nueva tecnología a implementar con el fin de obtener una buena eficiencia de operación y los resultados sean tal y como se están considerando.

3. Es recomendable capacitar al personal para la operación de la nueva tecnología adquirida para que así sea más eficiente el uso de las horas hombre y no se pierdan en el tiempo de aprendizaje.
4. El uso de un esquema de Gantt delimitado aplicado en las diferentes tareas o actividades de montaje del sistema lo largo de un tiempo total determinado ayudará a que se pueda hacer un seguimiento y control adecuado.
5. Se recomienda realizar una evaluación o proponer a la empresa con cambio de combustible. Así mismo, seguir evaluando constantemente a las máquinas, para ver si se puede seguir con las mejoras continuas dentro del proceso productivo.
6. Se recomienda realizar un mantenimiento los sistemas de ablandamiento de agua de pozo ya que de ello se puede evitar el aumento de sólidos disueltos en el agua.

VII. REFERENCIAS

- 1 ACHS, “Aguas de alimentación de calderas”.
<http://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/agua-de-alimentacion-de-calderas.pdf>, fecha de consulta: 21/11/2018.
- 2 BARGARAN VASQUEZ, L. A. (2014). *Diseño de un Sistema de purga automática de fondo y superficie para ahorro y disponibilidad térmica en una caldera pirotubular de 1000 BHP*. Universidad Nacional del Callao, Tesis de grado, Callao – Perú.
- 3 BOHÓRQUEZ R. (2013). *Auditoría Energética al circuito de vapor y condensado de una planta de café liofilizado*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil – Ecuador.
- 4 CABRERA PACHECO, R. Y VIZCÓN TOLEDO, R. (2007). *Evaluación termo económica de un generador de vapor pirotubular*. Revista Avanzada Científica Vol. 10 No. 3, La Habana – Cuba.
- 5 CENGEL Y., GHAJAR A. (2006). *Transferencia de calor y masa*. Mc Graw-Hill Interamericana, México DF – México.
- 6 CONSULTORA DE AGUAS, “Calidad recomendada para agua de calderas”.
http://www.cdaguas.com.ar/pdf/aguas/10_Calidad_recomendada.pdf, fecha de consulta: 21/11/2018.
- 7 CUSTODIO RODRÍGUEZ, J. C. y SOLÍS PÉREZ, E. P. (2017). *Evaluación del Sistema de recuperación de purgas de fondo y de nivel de las calderas pirotubulares en la empresa pesquera Austral Group S.A.A. – Coishco*. Universidad Nacional del Santa, Tesis de grado, Santa - Perú.
- 8 MORAN M. y SHAPIRO H. (1976). *Fundamentos de Termodinámica Técnica*. REVERTÉ S.A., Barcelona – España.
- 9 PAREDES GONZALES, G. V. (2015). *Dimensionamiento de un Sistema de recuperación de calor a partir del condensado de purgas de caldera pirotubular de 1000 BHP en planta pesquera*. Universidad César Vallejo, Tesis de grado, Trujillo – Perú.
- 10 SAENZ TINTAYO, P. (2016). *Mejoramiento del Sistema Condensado para reducir pérdidas de vapor en el área de lavandería del Hospital Nacional ESSALUD*

Huancayo. Universidad Nacional del Centro del Perú, Tesis de grado, Huancayo – Perú.

- 11 SPIRAX SARCO, “Recuperación de calor por purgas de caldera”.
http://www.spiraxsarco.com/global/ar/Products/Documents/Recuperaci%C3%B3n_de_calor_de_purgas_de_caldera-Cat%C3%A1logos.pdf, fecha de consulta: 16/11/2018

ANEXOS:

Anexo 1:

TABLA												
Agua saturada. Tabla de temperaturas												
Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líquido, sat., v _f	Vapor, sat., v _g	Líquido, sat., u _f	Evaporación, u _{fg}	Vapor, sat., u _g	Líquido, sat., h _f	Evaporación, h _{fg}	Vapor, sat., h _g	Líquido, sat., s _f	Evaporación, s _{fg}	Vapor, sat., s _g
0,01	0,6117	0,001000	206,00	0,000	2374,9	2374,9	0,001	2500,9	2500,9	0,0000	9,1556	9,1556
5	0,8725	0,001000	147,03	21,019	2360,8	2381,8	21,020	2489,1	2510,1	0,0763	8,9487	9,0249
10	1,2281	0,001000	106,32	42,020	2346,6	2388,7	42,022	2477,2	2519,2	0,1511	8,7488	8,8999
15	1,7057	0,001001	77,885	62,980	2332,5	2395,5	62,982	2465,4	2528,3	0,2245	8,5559	8,7803
20	2,3392	0,001002	57,762	83,913	2318,4	2402,3	83,915	2453,5	2537,4	0,2965	8,3696	8,6661
25	3,1698	0,001003	43,340	104,83	2304,3	2409,1	104,83	2441,7	2546,5	0,3672	8,1895	8,5567
30	4,2469	0,001004	32,879	125,73	2290,2	2415,9	125,74	2429,8	2555,6	0,4368	8,0152	8,4520
35	5,6291	0,001006	25,205	146,63	2276,0	2422,7	146,64	2417,9	2564,6	0,5051	7,8466	8,3517
40	7,3851	0,001008	19,515	167,53	2261,9	2429,4	167,53	2406,0	2573,5	0,5724	7,6832	8,2556
45	9,5953	0,001010	15,251	188,43	2247,7	2436,1	188,44	2394,0	2582,4	0,6386	7,5247	8,1633
50	12,352	0,001012	12,026	209,33	2233,4	2442,7	209,34	2382,0	2591,3	0,7038	7,3710	8,0748
55	15,763	0,001015	9,5639	230,24	2219,1	2449,3	230,26	2369,8	2600,1	0,7680	7,2218	7,9898
60	19,947	0,001017	7,6670	251,16	2204,7	2455,9	251,18	2357,7	2608,8	0,8313	7,0769	7,9082
65	25,043	0,001020	6,1935	272,09	2190,3	2462,4	272,12	2345,4	2617,5	0,8937	6,9360	7,8296
70	31,202	0,001023	5,0396	293,04	2175,8	2468,9	293,07	2333,0	2626,1	0,9551	6,7989	7,7540
75	38,597	0,001026	4,1291	313,99	2161,3	2475,3	314,03	2320,6	2634,6	1,0158	6,6655	7,6812
80	47,416	0,001029	3,4053	334,97	2146,6	2481,6	335,02	2308,0	2643,0	1,0756	6,5355	7,6111
85	57,868	0,001032	2,8261	355,96	2131,9	2487,8	356,02	2295,3	2651,4	1,1346	6,4089	7,5435
90	70,183	0,001036	2,3593	376,97	2117,0	2494,0	377,04	2282,5	2659,6	1,1929	6,2853	7,4782
95	84,609	0,001040	1,9808	398,00	2102,0	2500,1	398,09	2269,6	2667,6	1,2504	6,1647	7,4151
100	101,42	0,001043	1,6720	419,06	2087,0	2506,0	419,17	2256,4	2675,6	1,3072	6,0470	7,3542
105	120,90	0,001047	1,4186	440,15	2071,8	2511,9	440,28	2243,1	2683,4	1,3634	5,9319	7,2952
110	143,38	0,001052	1,2094	461,27	2056,4	2517,7	461,42	2229,7	2691,1	1,4188	5,8193	7,2382
115	169,18	0,001056	1,0360	482,42	2040,9	2523,3	482,59	2216,0	2698,6	1,4737	5,7092	7,1829
120	198,67	0,001060	0,89133	503,60	2025,3	2528,9	503,81	2202,1	2706,0	1,5279	5,6013	7,1292
125	232,23	0,001065	0,77012	524,83	2009,5	2534,3	525,07	2188,1	2713,1	1,5816	5,4956	7,0771
130	270,28	0,001070	0,66808	546,10	1993,4	2539,5	546,38	2173,7	2720,1	1,6346	5,3919	7,0265
135	313,22	0,001075	0,58179	567,41	1977,3	2544,7	567,75	2159,1	2726,9	1,6872	5,2901	6,9773
140	361,53	0,001080	0,50850	588,77	1960,9	2549,6	589,16	2144,3	2733,5	1,7392	5,1901	6,9294
145	415,68	0,001085	0,44600	610,19	1944,2	2554,4	610,64	2129,2	2739,8	1,7908	5,0919	6,8827
150	476,16	0,001091	0,39248	631,66	1927,4	2559,1	632,18	2113,8	2745,9	1,8418	4,9953	6,8371
155	543,49	0,001096	0,34648	653,19	1910,3	2563,5	653,79	2098,0	2751,8	1,8924	4,9002	6,7927
160	618,23	0,001102	0,30680	674,79	1893,0	2567,8	675,47	2082,0	2757,5	1,9426	4,8066	6,7492
165	700,93	0,001108	0,27244	696,46	1875,4	2571,9	697,24	2065,6	2762,8	1,9923	4,7143	6,7067
170	792,18	0,001114	0,24260	718,20	1857,5	2575,7	719,08	2048,8	2767,9	2,0417	4,6233	6,6650
175	892,60	0,001121	0,21659	740,02	1839,4	2579,4	741,02	2031,7	2772,7	2,0906	4,5335	6,6242
180	1002,8	0,001127	0,19384	761,92	1820,9	2582,8	763,05	2014,2	2777,2	2,1392	4,4448	6,5841
185	1123,5	0,001134	0,17390	783,91	1802,1	2586,0	785,19	1996,2	2781,4	2,1875	4,3572	6,5447
190	1255,2	0,001141	0,15636	806,00	1783,0	2589,0	807,43	1977,9	2785,3	2,2355	4,2705	6,5059
195	1398,8	0,001149	0,14089	828,18	1763,6	2591,7	829,78	1959,0	2788,8	2,2831	4,1847	6,4678
200	1554,9	0,001157	0,12721	850,46	1743,7	2594,2	852,26	1939,8	2792,0	2,3305	4,0997	6,4302

Tabla 30. Agua Saturada - Tabla de Temperaturas

Anexo 2:

TABLA												
Agua saturada. Tabla de presiones												
Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101,325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

Tabla 31. Agua Saturada - Tabla de Presiones

Anexo 3:

TABLA													
Propiedades del agua saturada													
Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0,01	0,6113	999,8	0,0048	2 501	4 217	1 854	0,561	0,0171	1,792 × 10 ⁻³	0,922 × 10 ⁻⁵	13,5	1,00	-0,068 × 10 ⁻³
5	0,8721	999,9	0,0068	2 490	4 205	1 857	0,571	0,0173	1,519 × 10 ⁻³	0,934 × 10 ⁻⁵	11,2	1,00	0,015 × 10 ⁻³
10	1,2276	999,7	0,0094	2 478	4 194	1 862	0,580	0,0176	1,307 × 10 ⁻³	0,946 × 10 ⁻⁵	9,45	1,00	0,733 × 10 ⁻³
15	1,7051	999,1	0,0128	2 466	4 186	1 863	0,589	0,0179	1,138 × 10 ⁻³	0,959 × 10 ⁻⁵	8,09	1,00	0,138 × 10 ⁻³
20	2,339	998,0	0,0173	2 454	4 182	1 867	0,598	0,0182	1,002 × 10 ⁻³	0,973 × 10 ⁻⁵	7,01	1,00	0,195 × 10 ⁻³
25	3,169	997,0	0,0231	2 442	4 180	1 870	0,607	0,0186	0,891 × 10 ⁻³	0,987 × 10 ⁻⁵	6,14	1,00	0,247 × 10 ⁻³
30	4,246	996,0	0,0304	2 431	4 178	1 875	0,615	0,0189	0,798 × 10 ⁻³	1,001 × 10 ⁻⁵	5,42	1,00	0,294 × 10 ⁻³
35	5,628	994,0	0,0397	2 419	4 178	1 880	0,623	0,0192	0,720 × 10 ⁻³	1,016 × 10 ⁻⁵	4,83	1,00	0,337 × 10 ⁻³
40	7,384	992,1	0,0512	2 407	4 179	1 885	0,631	0,0196	0,653 × 10 ⁻³	1,031 × 10 ⁻⁵	4,32	1,00	0,377 × 10 ⁻³
45	9,593	990,1	0,0655	2 395	4 180	1 892	0,637	0,0200	0,596 × 10 ⁻³	1,046 × 10 ⁻⁵	3,91	1,00	0,415 × 10 ⁻³
50	12,35	988,1	0,0831	2 383	4 181	1 900	0,644	0,0204	0,547 × 10 ⁻³	1,062 × 10 ⁻⁵	3,55	1,00	0,451 × 10 ⁻³
55	15,76	985,2	0,1045	2 371	4 183	1 908	0,649	0,0208	0,504 × 10 ⁻³	1,077 × 10 ⁻⁵	3,25	1,00	0,484 × 10 ⁻³
60	19,94	983,3	0,1304	2 359	4 185	1 916	0,654	0,0212	0,467 × 10 ⁻³	1,093 × 10 ⁻⁵	2,99	1,00	0,517 × 10 ⁻³
65	25,03	980,4	0,1614	2 346	4 187	1 926	0,659	0,0216	0,433 × 10 ⁻³	1,110 × 10 ⁻⁵	2,75	1,00	0,548 × 10 ⁻³
70	31,19	977,5	0,1983	2 334	4 190	1 936	0,663	0,0221	0,404 × 10 ⁻³	1,126 × 10 ⁻⁵	2,55	1,00	0,578 × 10 ⁻³
75	38,58	974,7	0,2421	2 321	4 193	1 948	0,667	0,0225	0,378 × 10 ⁻³	1,142 × 10 ⁻⁵	2,38	1,00	0,607 × 10 ⁻³
80	47,39	971,8	0,2935	2 309	4 197	1 962	0,670	0,0230	0,355 × 10 ⁻³	1,159 × 10 ⁻⁵	2,22	1,00	0,653 × 10 ⁻³
85	57,83	968,1	0,3536	2 296	4 201	1 977	0,673	0,0235	0,333 × 10 ⁻³	1,176 × 10 ⁻⁵	2,08	1,00	0,670 × 10 ⁻³
90	70,14	965,3	0,4235	2 283	4 206	1 993	0,675	0,0240	0,315 × 10 ⁻³	1,193 × 10 ⁻⁵	1,96	1,00	0,702 × 10 ⁻³
95	84,55	961,5	0,5045	2 270	4 212	2 010	0,677	0,0246	0,297 × 10 ⁻³	1,210 × 10 ⁻⁵	1,85	1,00	0,716 × 10 ⁻³
100	101,33	957,9	0,5978	2 257	4 217	2 029	0,679	0,0251	0,282 × 10 ⁻³	1,227 × 10 ⁻⁵	1,75	1,00	0,750 × 10 ⁻³
110	143,27	950,6	0,8263	2 230	4 229	2 071	0,682	0,0262	0,255 × 10 ⁻³	1,261 × 10 ⁻⁵	1,58	1,00	0,798 × 10 ⁻³
120	198,53	943,4	1,121	2 203	4 244	2 120	0,683	0,0275	0,232 × 10 ⁻³	1,296 × 10 ⁻⁵	1,44	1,00	0,858 × 10 ⁻³
130	270,1	934,6	1,496	2 174	4 263	2 177	0,684	0,0288	0,213 × 10 ⁻³	1,330 × 10 ⁻⁵	1,33	1,01	0,913 × 10 ⁻³
140	361,3	921,7	1,965	2 145	4 286	2 244	0,683	0,0301	0,197 × 10 ⁻³	1,365 × 10 ⁻⁵	1,24	1,02	0,970 × 10 ⁻³
150	475,8	916,6	2,546	2 114	4 311	2 314	0,682	0,0316	0,183 × 10 ⁻³	1,399 × 10 ⁻⁵	1,16	1,02	1,025 × 10 ⁻³
160	617,8	907,4	3,256	2 083	4 340	2 420	0,680	0,0331	0,170 × 10 ⁻³	1,434 × 10 ⁻⁵	1,09	1,05	1,145 × 10 ⁻³
170	791,7	897,7	4,119	2 050	4 370	2 490	0,677	0,0347	0,160 × 10 ⁻³	1,468 × 10 ⁻⁵	1,03	1,05	1,178 × 10 ⁻³
180	1 002,1	887,3	5,153	2 015	4 410	2 590	0,673	0,0364	0,150 × 10 ⁻³	1,502 × 10 ⁻⁵	0,983	1,07	1,210 × 10 ⁻³
190	1 254,4	876,4	6,388	1 979	4 460	2 710	0,669	0,0382	0,142 × 10 ⁻³	1,537 × 10 ⁻⁵	0,947	1,09	1,280 × 10 ⁻³
200	1 553,8	864,3	7,852	1 941	4 500	2 840	0,663	0,0401	0,134 × 10 ⁻³	1,571 × 10 ⁻⁵	0,910	1,11	1,350 × 10 ⁻³
220	2 318	840,3	11,60	1 859	4 610	3 110	0,650	0,0442	0,122 × 10 ⁻³	1,641 × 10 ⁻⁵	0,865	1,15	1,520 × 10 ⁻³
240	3 344	813,7	16,73	1 767	4 760	3 520	0,632	0,0487	0,111 × 10 ⁻³	1,712 × 10 ⁻⁵	0,836	1,24	1,720 × 10 ⁻³
260	4 688	783,7	23,69	1 663	4 970	4 070	0,609	0,0540	0,102 × 10 ⁻³	1,788 × 10 ⁻⁵	0,832	1,35	2,000 × 10 ⁻³
280	6 412	750,8	33,15	1 544	5 280	4 835	0,581	0,0605	0,094 × 10 ⁻³	1,870 × 10 ⁻⁵	0,854	1,49	2,380 × 10 ⁻³
300	8 581	713,8	46,15	1 405	5 750	5 980	0,548	0,0695	0,086 × 10 ⁻³	1,965 × 10 ⁻⁵	0,902	1,69	2,950 × 10 ⁻³
320	11 274	667,1	64,57	1 239	6 540	7 900	0,509	0,0836	0,078 × 10 ⁻³	2,084 × 10 ⁻⁵	1,00	1,97	—
340	14 586	610,5	92,62	1 028	8 240	11 870	0,469	0,110	0,070 × 10 ⁻³	2,255 × 10 ⁻⁵	1,23	2,43	—
360	18 651	528,3	144,0	720	14 690	25 800	0,427	0,178	0,060 × 10 ⁻³	2,571 × 10 ⁻⁵	2,06	3,73	—
374,14	22 090	317,0	317,0	0	∞	∞	∞	∞	0,043 × 10 ⁻³	4,313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Tabla 32. Propiedades del Agua Saturada

Anexo 4:

Tabla: Propiedades del aire seco a presión atmosférica							
T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
-150	2.867	0.9825	8.636	3.013	11.71	4.157	0.7246
-100	2.039	0.9656	11.9	5.835	15.82	8.034	0.7263
-90	1.927	0.9753	12.49	6.482	16.62	8.842	0.733
-80	1.828	0.9835	13.07	7.153	17.42	9.692	0.7381
-70	1.738	0.9901	13.64	7.85	18.22	10.59	0.7414
-60	1.656	0.9952	14.2	8.572	19.01	11.53	0.7433
-50	1.582	0.999	14.74	9.317	19.79	12.52	0.744
-40	1.514	1.002	15.27	10.08	20.57	13.56	0.7436
-30	1.452	1.004	15.79	10.88	21.34	14.65	0.7425
-20	1.394	1.005	16.3	11.69	22.11	15.78	0.7408
-10	1.341	1.006	16.8	12.52	22.88	16.96	0.7387
0	1.292	1.006	17.29	13.38	23.64	18.17	0.7362
5	1.269	1.006	17.54	13.82	24.01	18.8	0.735
10	1.247	1.006	17.78	14.26	24.39	19.44	0.7336
15	1.225	1.007	18.02	14.71	24.76	20.08	0.7323
20	1.204	1.007	18.25	15.16	25.14	20.74	0.7309
25	1.184	1.007	18.49	15.61	25.51	21.4	0.7296
30	1.164	1.007	18.72	16.08	25.88	22.08	0.7282
35	1.146	1.007	18.95	16.54	26.25	22.76	0.7268
40	1.117	1.007	19.18	17.02	26.62	23.45	0.7255
45	1.11	1.007	19.41	17.49	26.99	24.16	0.7241
50	1.092	1.007	19.63	17.97	27.35	24.87	0.7228
55	1.076	1.007	19.86	18.46	27.72	25.59	0.7215
60	1.06	1.007	20.08	18.95	28.08	26.31	0.7202
65	1.044	1.007	20.3	19.45	28.45	27.05	0.719
70	1.029	1.007	20.52	19.95	28.81	27.79	0.7177
75	1.014	1.008	20.74	20.45	29.17	28.55	0.7166
80	0.9996	1.008	20.96	20.97	29.53	29.31	0.7154
85	0.9857	1.008	21.17	21.48	29.88	30.07	0.7143
90	0.9721	1.008	21.39	22	30.24	30.85	0.7132
95	0.9589	1.009	21.6	22.52	30.6	31.63	0.7121
100	0.946	1.009	21.81	23.05	30.95	32.42	0.7111
110	0.9213	1.01	22.23	24.12	31.65	34.02	0.7092
120	0.8979	1.011	22.64	25.21	32.35	35.64	0.7073
130	0.8756	1.012	23.05	26.32	33.05	37.3	0.7057
140	0.8544	1.013	23.45	27.44	33.74	38.98	0.7041
150	0.8343	1.014	23.85	28.59	34.43	40.68	0.7027
160	0.815	1.016	24.24	29.74	35.11	42.4	0.7014
170	0.7966	1.017	24.63	30.92	35.79	44.15	0.7003
180	0.779	1.019	25.01	32.11	36.46	45.92	0.6992
190	0.7622	1.021	25.39	33.32	37.13	47.71	0.6983
200	0.7461	1.023	25.77	34.54	37.79	49.53	0.6974
210	0.7306	1.025	26.14	35.78	38.45	51.36	0.6967
220	0.7158	1.027	26.51	37.04	39.1	53.21	0.696
230	0.7016	1.029	26.88	38.31	39.75	55.08	0.6955
240	0.6879	1.031	27.24	39.6	40.4	56.97	0.695
250	0.6748	1.033	27.6	40.9	41.04	58.88	0.6946
260	0.6621	1.035	27.95	42.22	41.67	60.81	0.6942
270	0.6499	1.037	28.3	43.55	42.31	62.75	0.694
280	0.6382	1.04	28.65	44.9	42.93	64.72	0.6938
290	0.6269	1.042	29	46.26	43.56	66.69	0.6936
300	0.6159	1.044	29.34	47.64	44.18	68.69	0.6935

Tabla 33. Propiedades del Aire Seco a Presión Atmosférica

Anexo 5:

Tabla: Propiedades del agua líquida a presión atmosférica

T (°C)	ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	$\beta \cdot 10^3$ (1/K)	Pr
0.001	1005	4.213	1766	1.757	567.2	0.1339	-0.08021	13.12
5	1004	4.201	1506	1.500	574.8	0.1363	0.01135	11.00
10	1003	4.191	1300	1.297	583.0	0.1387	0.08744	9.348
15	1001	4.184	1135	1.134	591.4	0.1412	0.1523	8.033
20	999.5	4.180	1001	1.001	599.8	0.1436	0.209	6.975
25	997.9	4.176	890.1	0.8920	608.0	0.1459	0.2594	6.114
30	996.2	4.175	797.6	0.8007	616.0	0.1481	0.3051	5.406
35	994.3	4.174	719.6	0.7238	623.6	0.1503	0.347	4.817
40	992.4	4.174	653.3	0.6583	630.7	0.1523	0.3859	4.323
45	990.3	4.175	596.3	0.6022	637.4	0.1542	0.4225	3.906
50	988.1	4.177	547.1	0.5537	643.6	0.1559	0.4572	3.551
55	985.7	4.179	504.2	0.5115	649.3	0.1576	0.4903	3.245
60	983.2	4.182	466.6	0.4746	654.4	0.1592	0.5221	2.981
65	980.6	4.184	433.5	0.4420	659.1	0.1606	0.5528	2.752
70	977.9	4.188	404.1	0.4132	663.2	0.1620	0.5827	2.551
75	975.0	4.191	378.0	0.3877	666.9	0.1632	0.6118	2.375
80	971.9	4.195	354.6	0.3648	670.2	0.1644	0.6402	2.219
85	968.8	4.199	333.6	0.3443	673.0	0.1654	0.6682	2.081
90	965.5	4.204	314.6	0.3259	675.5	0.1664	0.6958	1.958
95	962.1	4.209	297.5	0.3092	677.5	0.1673	0.723	1.848
100	958.5	4.214	281.9	0.2941	679.3	0.1682	0.7501	1.749

Fuente: S.A. Klein y F.L. Alvarado, "Engineering Equation Solver Software (EES)", Academia Versión 6.271 (20-07-2001).

Tabla 34. Propiedades del Agua a Presión Atmosférica


Anexo 6:

Propiedades físicas y químicas del Bunker C (Fuel Oil) para el periodo 2010 y su especificación.					
Propiedad	Promedio	Mínimo	Máximo	Limite de Especificación	Método
Densidad a 15 °C	936,6	913,6	988,9	Reportar	ASTM D-1298
Fracción de volumen agua y sedimento	0,13%	0,03%	1,00%	Máximo 2,00 %	ASTM D-1796
Temperatura de inflamación	110,9 °C	82,0 °C	132,0 °C	Mínimo 60,0 °C	ASTM D-93
Fracción de masa de azufre	1,10%	0,76%	2,03%	Máximo 3,00 %	ASTM D-4294
Viscosidad a 50 °C	80,84 SSF ***	33,00 SSF ***	183,00 SSF ***	Máximo 300 SSF	ASTM D-88
Fracción de masa residuo carbon conradson	7,68%	3,44%	12,75%	Máximo 20,00 %	ASTM D-4530
Fracción de masa de ceniza	0,02%	0,00%	0,07%	Máximo 0,20 %	ASTM D-482
Punto de Fluidez	19,46 °C	0,00 °C	30,00 °C	Máximo 30,0 °C	ASTM D-97

Fuente: Departamento de Control de Calidad de RECOPE

Tabla 35. Propiedades Físicas y Químicas del Bunker

Anexo 7:



Cert. No. LRQ 0963008
ISO 9001

spirax/sarco

TI-P404-03
AB Issue 8

Tanque de revaporizado Tipo FV

Descripción
El tanque de revaporizado Spirax Sarco Tipo FV está diseñado y construido según ASME VIII DIV 1 2004 + ADD06. De diseño de drenaje libre esencial en purga de calderas.

Aplicaciones
Estos tanques son particularmente adecuados para los sistemas de recuperación de calor de las purgas de caldera donde la eficiente separación del revaporizado de la purga es esencial para prevenir la contaminación del tanque de alimentación de caldera y/o las superficies de transferencia de calor. Igualmente adecuados para recuperar revaporizado de los condensados.

Principales características:

- Diseñado y construido cumpliendo con la Normativa Europea de Equipos a Presión 97/23/EC.
- Velocidad baja de separación para producir vapor seco.
- Drenaje libre.

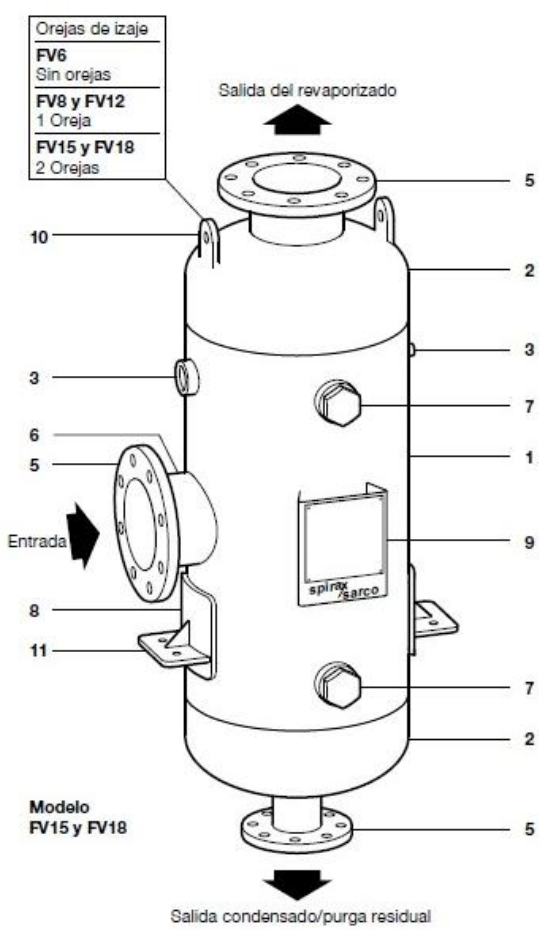
Tamaños y conexiones
Conexiones disponibles como estándar:
Conexiones roscadas BS 21 cónica.
Conexiones con bridas de acuerdo con EN 1092 PN16.
Nota: Los recipientes están disponibles con bridas de acuerdo con BS 1560 Clase 150 o 300, o roscadas NPT.

Condiciones límite

Condiciones máximas de diseño 14 bar r a 198°C (temperatura de saturación del vapor).	
Temperatura mínima de diseño (de trabajo)	-10°C

Prueba hidráulica de acuerdo con la Normativa Europea de Equipos a Presión 97/23/EC.

Nota: Estos recipientes pueden soportar condiciones de vacío.



Materiales

No.	Parte	Material	
1	Carcasa central	ASTM A106B	Máx. C. 0,25%
2	Extremos	ASTM A234 WPB	Máx. C. 0,25%
3	Conexión - manómetro	ASTM A105N	Máx. C. 0,25%
4	Conexión - válvula de seguridad	ASTM A105N	Máx. C. 0,25%
5	Conexión - con bridas	ASTM A516-70	Máx. C. 0,25%
6	Conexión - tubo	ASTM A106B	Máx. C. 0,25%
7	Tapón	ASTM A105N	Máx. C. 0,25%
8	Placa soporte	ASTM A516-60	Máx. C. 0,25%
9	Soporte placa características	BS EN 10028-2 P265GH	Máx. C. 0,25%
10	Orejas de izaje	ASTM A516-60	Máx. C. 0,21%
11	Pies soporte	BS EN 10025 S275	

Tabla 36. Materiales del Tanque Flash - Fuente: SpiraxSarco

Anexo 8:

Dimensionado

Usar el gráfico para la selección del tamaño de tanque adecuado. Es necesario conocer la presión en los purgadores o de la caldera en el caso de recuperación de calor, la presión del revaporizado (deseada o existente) y el caudal de condensado o purga.

Ejemplo 1: (líneas continuas)

Una sala de calderas trabajando a 12 bar r tiene un caudal de purga de TDS de 2500 kg/h (3 calderas a 833 kg/h cada una). El revaporizado de la purga se añadirá a un sistema de baja presión de 1 bar r.

1. Desde la presión de caldera trazar una horizontal hasta la presión del revaporizado - **A**
2. Bajar verticalmente hasta el caudal de purga en kg/h - **B**
3. Seguir la curva hacia la derecha hasta cortar la línea de presión del revaporizado - **C**
4. Subir hasta el tamaño del tanque. Seleccionar el tanque de revaporizado - en este caso se requiere un **FV8**.

Ejemplo 1: (líneas discontinuas)

Una planta trabaja con vapor a 11 bar y condensa 4000 kg/h de vapor. Revaporizado para recuperar a 0,5 bar r.

1. Desde la presión en los purgadores trazar una horizontal hasta la presión del revaporizado - **A1**
2. Bajar verticalmente hasta el caudal de condensado en kg/h - **B1**
3. Seguir la curva hacia la derecha hasta cortar la línea de presión del revaporizado - **C1**
4. Subir hasta el tamaño del tanque. Seleccionar el tanque de revaporizado - en este caso se requiere un **FV12**.

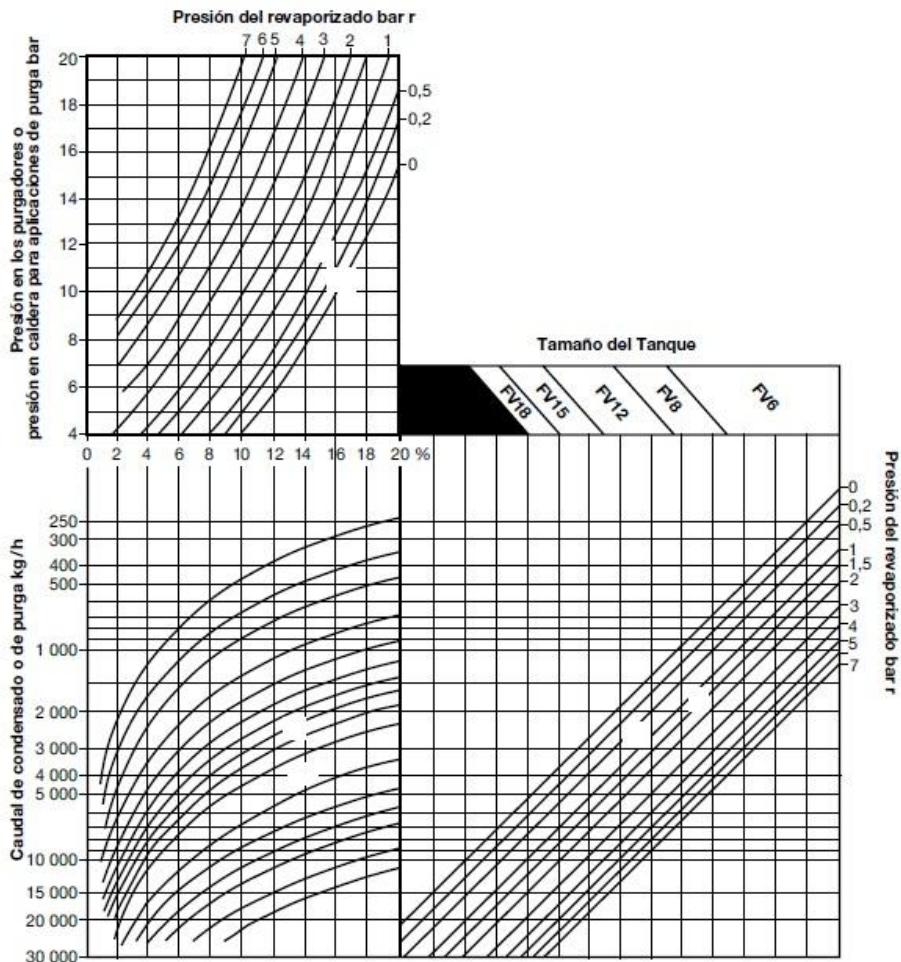


Tabla 37. Gráfico de la Selección del Tanque Flash - Fuente SpiraxSarco

Anexo 9:

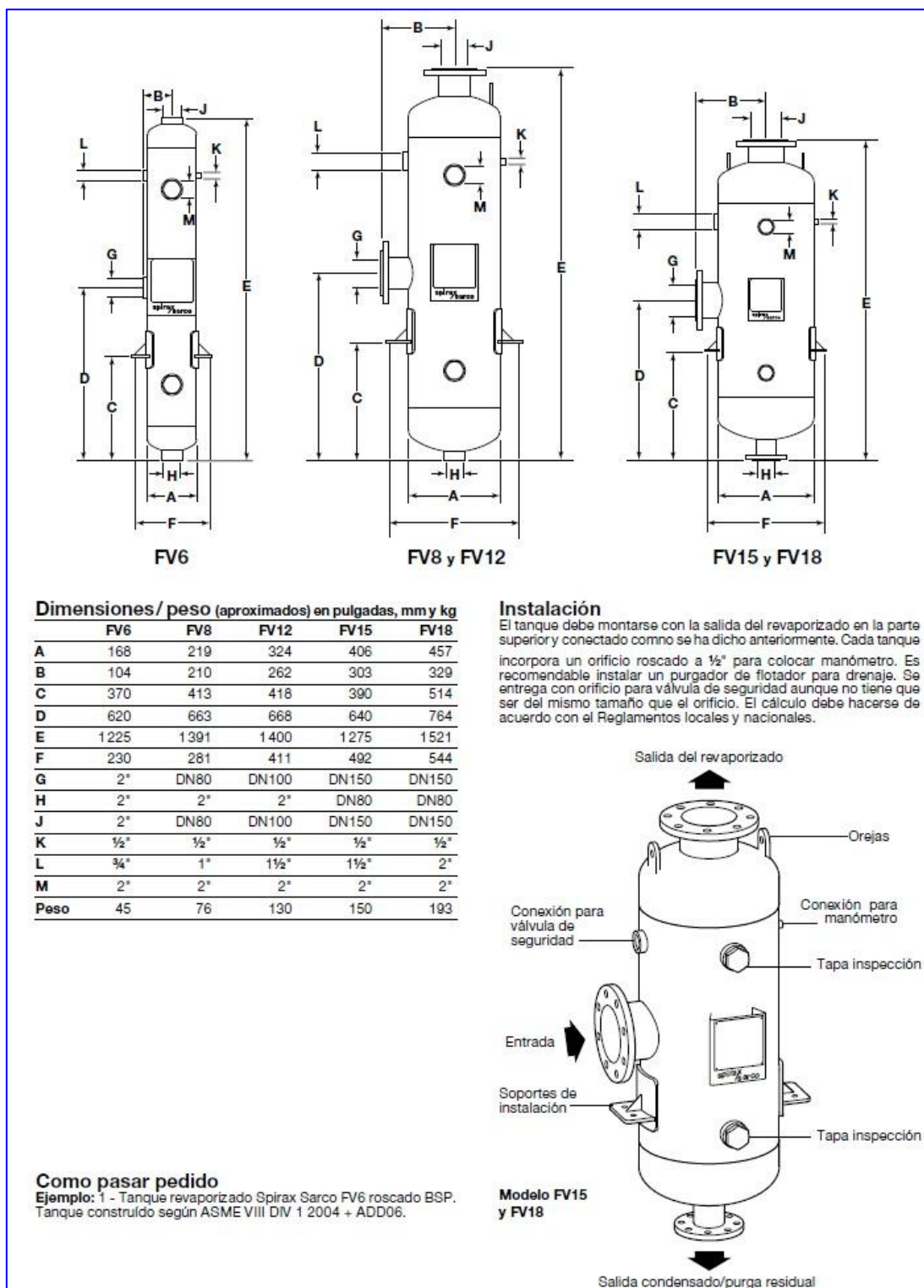


Tabla 38. Dimensiones del Tanque Flash - Fuente SpiraxSarco

Anexo 10:



Dimensionado de tanques de revaporizado

Presión en los purgadores bar r	Presión de revaporizado bar r													
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10
	%													
	de revaporizado													
25	24,5	22,6	21,2	20,0	18,9	18,0	17,2	15,7	14,4	13,3	12,2	11,3	10,4	9,5
24	24,1	22,2	20,7	19,5	18,5	17,6	16,7	15,3	14,0	12,8	11,8	10,8	9,9	9,0
23	23,6	21,7	20,3	19,1	18,0	17,1	16,3	14,8	13,5	12,3	11,3	10,3	9,4	8,5
22	23,2	21,3	19,8	18,6	17,6	16,6	15,8	14,3	13,0	11,8	10,8	9,8	8,9	8,0
21	22,7	20,8	19,3	18,1	17,1	16,1	15,3	13,8	12,5	11,3	10,3	9,3	8,4	7,5
20	22,2	20,3	18,8	17,6	16,6	15,6	14,8	13,3	12,0	10,8	9,7	8,7	7,8	6,9
19	21,7	19,8	18,3	17,1	16,0	15,1	14,2	12,7	11,4	10,2	9,2	8,2	7,2	6,4
18	21,2	19,3	17,8	16,6	15,5	14,5	13,7	12,2	10,8	9,7	8,6	7,6	6,7	5,8
17	20,6	18,7	17,2	16,0	14,9	14,0	13,1	11,6	10,3	9,1	8,0	7,0	6,1	5,2
16	20,1	18,2	16,7	15,4	14,3	13,4	12,5	11,0	9,7	8,5	7,4	6,4	5,4	4,5
15	19,5	17,6	16,1	14,8	13,7	12,8	11,9	10,4	9,0	7,8	6,7	5,7	4,8	3,9
14	18,9	16,9	15,4	14,2	13,1	12,1	11,2	9,7	8,4	7,1	6,0	5,0	4,1	3,2
13	18,2	16,3	14,8	13,5	12,4	11,4	10,6	9,0	7,6	6,4	5,3	4,3	3,3	2,4
12	17,5	15,6	14,1	12,8	11,7	10,7	9,8	8,3	6,9	5,7	4,6	3,5	2,6	1,7
11	16,8	14,8	13,3	12,0	10,9	10,0	9,1	7,5	6,1	4,9	3,8	2,7	1,8	0,9
10	16,1	14,1	12,5	11,3	10,1	9,2	8,3	6,7	5,3	4,1	2,9	1,9	0,9	-
9	15,2	13,2	11,7	10,4	9,3	8,3	7,4	5,8	4,4	3,2	2,0	1,0	-	-
8	14,4	12,3	10,8	9,5	8,4	7,4	6,5	4,9	3,5	2,2	1,1	-	-	-
7	13,4	11,4	9,8	8,5	7,4	6,4	5,4	3,8	2,4	1,2	-	-	-	-
6	12,3	10,3	8,7	7,4	6,3	5,2	4,3	2,7	1,3	-	-	-	-	-
5	11,2	9,1	7,5	6,2	5,0	4,0	3,1	1,4	-	-	-	-	-	-
4	9,8	7,7	6,1	4,8	3,6	2,6	1,7	-	-	-	-	-	-	-
3	8,3	6,2	4,5	3,2	2,0	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-
2	6,3	4,2	2,6	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3,8	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Factor LP =	1,673	1,149	0,881	0,714	0,603	0,522	0,405	0,374	0,315	0,272	0,240	0,215	0,194	0,177

Presión en purgadores	Presión revaporizado	% revaporizado	Carga de condensado	=	Caudal de revaporizado	Total caudal revaporizado
20 bar r	2 bar r	16.6 %	X 1000 kg/h	=	166 kg/h	
10 bar r	2 bar r	10.1 %	X 2000 kg/h	=	202 kg/h	
6 bar r	2 bar r	6.3%	X 4000 kg/h	=	252 kg/h	620 kg/h

Total revaporizado	Factor LP	=	Volumen total	÷	Factor de velocidad	=	* Velocidad	Escoger < 3 m/s
620 kg/h	0,603	=	374 m³/h	÷	67	=	5,6 m/s	FV6
					138	=	2,7 m/s	FV8 ✓
					243	=	1,6 m/s	FV12
					385	=	1,0 m/s	FV15
					560	=	0,7 m/s	FV18

* Nota: Dimensionar a velocidad de paso de 3 m/s o inferior.

Tabla 39: Selección del Porcentaje del Revaporizado - Fuente SpiraxSarco

Anexo 11:

Tabla: Correlaciones conv. forzada, flujo interno, conducto circular

Conducto circular				
Nº	Correlación	Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
18	$x_{ent,t} \approx 0.0575 D Re_D Pr$	Laminar, Región de entrada térmica		
19	$f = 64/Re_D$	Laminar, complet. desarrollado		
20	$f = 0.316 Re_D^{-1/4}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D \leq 2 \cdot 10^4$		
21	$f = 0.184 Re_D^{-1/5}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D > 2 \cdot 10^4$		
22	$f = (0.790 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $3000 \leq Re_D \leq 5 \cdot 10^5$		Petukhov
23	$Nu_D = 3.66$	Laminar, completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
24	$Nu_D = 4.36$	Laminar, completamente desarrollado, q_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
25	$\overline{Nu}_D = 3.66 + \frac{0.0668(D/L)Re_D Pr}{1 + 0.04[(D/L)Re_D Pr]^{2/3}}$	Laminar, entrada térmica con perfil de velocidad completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \gg 1$ o zona inicial sin transferencia de calor	Tª media masa	Hausen
26	$\overline{Nu}_D = 1.86 \left(\frac{Re_D Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Laminar, ent. térmica e hidrodinámica, T_s cte, $0.48 \leq Pr < 16700$, $[\frac{Re_D Pr}{L/D}]^{1/3} (\mu/\mu_s)^{0.14} \geq 2$, $0.0044 < (\mu/\mu_s) < 9.75$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
27	$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$	Turbulento, complet. desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.6 \leq Pr < 160$, $(L/D) > 10$, $n = 0.4$ para $T_s > T_m$, $n = 0.3$ para $T_s < T_m$	Tª media masa	Dittus-Boelter
28	$Nu_D = 0.027 Re_D^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Turbulento, completamente desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.7 \leq Pr < 16700$, $(L/D) > 10$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
29	$Nu_D = \frac{(f/8)Re_D - 1000}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}$	Turbulento, completamente desarrollado, $3000 < Re_D < 5 \cdot 10^6$, $0.5 \leq Pr < 2000$, $(L/D) > 10$, f : Corr. 19 a 22 ó Ábaco de Moody (Gráfica 6.11)	Tª media masa	Gnielinski
30	$Nu_D = 4.82 + 0.0185(Re_D Pr)^{0.827}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, q_s' uniforme, $3600 < Re_D < 9.05 \cdot 10^5$, $10^2 < Pe_D < 10^4$	Tª media masa	Skupinski
31	$Nu_D = 5.0 + 0.025 Pe_D^{0.8}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, T_s uniforme, $Pe_D > 100$	Tª media masa	Seban y Shimazaki

- La temperatura media de masa es la media aritmética de las temperaturas de masa T_m .
- Para las correlaciones (26) y (28) las propiedades se evalúan a la temperatura media de masa, salvo μ_s que se evalúa a la temperatura superficial
- Las correlaciones (27) a (31) pueden utilizarse para calcular Nu local y medio.
- Las correlaciones para transferencia de masa pueden obtenerse sustituyendo en las correlaciones anteriores Nu y Pr por Sh y Sc respectivamente.

Tabla 40. Correlaciones de Convección Forzada para el flujo interno y en conducto circular

Anexo 12:

Tabla: Correlaciones conv. forzada, flujo externo, conducto circular, flujo perpendicular

Conducto circular, flujo perpendicular				
Nº	Correlación	Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
11	$\overline{Nu}_D = C Re_D^n Pr^{1/3}$ (Tabla 6.2.1)	Medio, $0.4 < Re_D < 4 \cdot 10^5$, $0.7 \leq Pr$	Tª media de película	Hilpert
12	$\overline{Nu}_D = C Re_D^n Pr^n (Pr/Pr_s)^{1/4}$ (Tabla 6.2.2)	Medio, $1 < Re_D < 10^6$, $0.7 < Pr \leq 500$, $n = 0.37(Pr \leq 10)$, $n = 0.36(Pr > 10)$	T_s , menos Pr_s a T_s	Zhukauskas
13	$\overline{Nu}_D = 0.3 + \frac{0.62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 + (0.4/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$	Medio, $Re_D Pr > 0.2$	Tª media de película	Churchill y Berstein

- La temperatura media de película es la media aritmética de las temperaturas de película.
- Para la correlación (12) las propiedades se evalúan a la temperatura exterior del fluido, salvo Pr_s que se evalúa a la temperatura superficial
- Las correlaciones para transferencia de masa pueden obtenerse sustituyendo en las correlaciones anteriores Nu y Pr por Sh y Sc respectivamente.

Tabla 41. Correlaciones de Convección Forzada para el flujo externo en conducto circular y flujo perpendicular

Anexo 13:

Tabla: Coeficientes correlación de Hilpert (11)

Re_D	C	m
0.4 - 4	0.989	0.330
4 - 40	0.911	0.385
40 - 4000	0.683	0.466
4000 - 40000	0.193	0.618
40000 - 400000	0.027	0.805

Tabla 42. Coeficientes de correlación de Hilpert

Anexo 14:

Tabla: Coeficientes correlación de Zhukauskas (12)

Re_D	C	m
1 - 40	0.75	0.4
40 - 1000	0.51	0.5
$10^3 - 2 \cdot 10^5$	0.26	0.6
$2 \cdot 10^5 - 10^6$	0.076	0.7

Tabla 43. Coeficientes de correlación de Zhukauskas

Anexo 15:

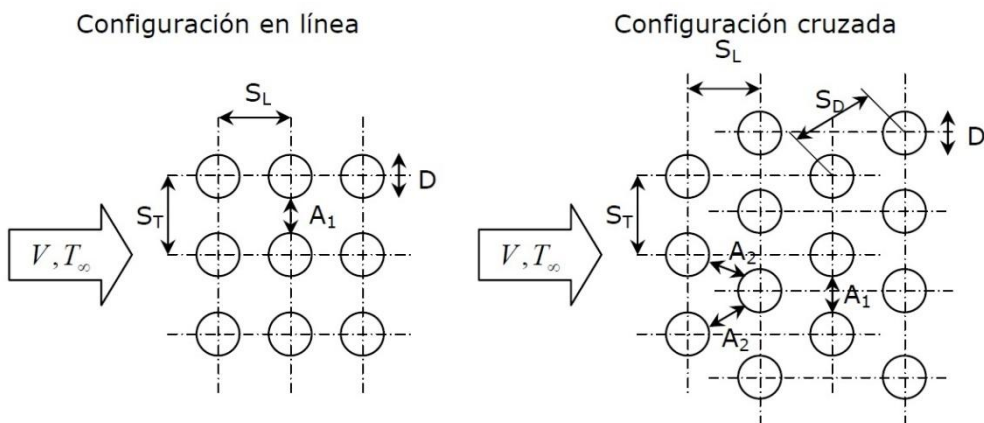


Tabla: Coeficiente C_2 de la correlación de Grimison (16)

N (nº filas)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
En línea	0.64	0.80	0.87	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99
Cruzada	0.68	0.75	0.83	0.89	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99

Tabla: Coeficiente C_2 de la correlación de Zhukauskas (17)

N (nº filas)	1	2	3	4	5	7	10	13	16
En línea	0.70	0.80	0.86	0.90	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99
Cruzada	0.64	0.76	0.84	0.89	0.92	0.95	0.97	0.98	0.99

Tabla 44 y 45: Coeficientes C_2 de las correlaciones