

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica
Eléctrica y Mecatrónica.



“DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS PARA LA AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA”

Tesis presentada por los Bachilleres:

Flores Chambi, Alfredo Steward

Guzmán Tello, Carlos André

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecánico

Asesor:

Ing. Gordillo Andía, Carlos Alberto

AREQUIPA – PERÚ

2019



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

● “DISEÑO DE UN MODULO DIDACTICO DE INTERCAMBIADOR DE
CALOR DE CORAZA Y TUBOS PÁRA LA AMPLIACION DEL
SISTEMA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS
DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA”

Presentado por el Bachiller:

FLORES CHAMBI ALFREDO STIWARD

GUZMAN TELLO CARLOS ANDRE

Nuestro DICTAMEN es:

APROBADO

● OBSERVACIONES:

Absueltas

Arequipa, 17 de Junio 2019


ING. CARLOS GORDILLO ANDÍA


ING. CAMILO FERNANDEZ BARRIGA

PRESENTACIÓN

Me complace presentar este trabajo de tesis, el cual tiene como título: **Diseño de un módulo didáctico de intercambiador de calor de coraza y tubos para la ampliación del sistema de vapor del laboratorio de termofluidos de la Universidad Católica de Santa María**, ante ustedes señores miembros del jurado, trabajo que nos permitirá obtener el grado académico de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

Esta investigación, está diseñada, planificada y desarrollada por nuestra autoría, con excepción de la sustentación teórica, la cual, hemos tenido que recurrir a bibliografías de diversos autores; en su desarrollo se han tomado en cuenta aspectos metodológicos que están enmarcados en el reglamento de grados y títulos de la Universidad Católica de Santa María en la facultad de Ciencias de Ingeniería Físicas y Formales de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica eléctrica y Mecatrónica.

Sin más nada a que hacer referencia, nos despedimos de ustedes, agradeciendo cada uno de los esfuerzos y tolerancia que han tenido en la revisión y presentación de este trabajo de investigación.

Arequipa, julio del 2019

Alfredo Steward Flores Chambi

Carlos André Guzmán Tello

EPÍGRAFE

“Si tú no construyes tu sueño, alguien va a contratarte para que le ayudes a construir el suyo”.

Dhirubhai Ambani



DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la inspiración y la fuerza para persistir y continuar en el proceso de obtener mi tesis. A mis padres Carlos y Shirley, por darme su confianza, su esfuerzo y apoyo para cumplir mis metas y gracias a ustedes convertirme en lo que soy. A Paula y Gabriela por acompañarme y darme su apoyo moral, para poder seguir adelante hasta cumplir mis metas trazadas. A mi amigo Steward con quien en conjunto empezamos y culminamos este largo camino universitario, por tu esfuerzo y dedicación para lograr cumplir este sueño.

Carlos André Guzmán Tello

Principalmente a Dios quien me brinda vida y salud para poder tener experiencias positivas y negativas que son necesarias para mi desarrollo profesional y poder ser mejor persona. A mis padres José Alfredo y Elizabeth, quiénes en conjunto me enseñan permanentemente siempre a dar lo mejor de mí en toda actividad que realice, en cualquier lugar y frente a cualquier circunstancia adversa en las que me encuentre también que un desarrollo sin valores no sirve de nada, que para trascender en la vida debo ser buena persona y dar sin esperar nada cambio buscando siempre el bien común. A mi hermana María Paz, por enseñarme muchas cosas que solo te puede brindar una hermana menor, puedo asegurar que hay cosas que solo puedes aprender de un niño y que nunca te podría enseñar ni la persona más sabia del mundo. A mis segundos padres Edi y Jady, porque siempre estas pendientes de mí en lo profesional también en el aspecto emocional, por sus sabios consejos y su confianza depositada en mí. A mi leal amigo Carlos Guzmán junto a su hermosa familia, por estar siempre conmigo, por ayudarme en todo momento y por ser compañero mío en esta tesis.

Alfredo Steward Flores Chambi

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, por darme la oportunidad de ser parte de la institución; de la misma manera a nuestros profesores que nos dieron su apoyo y conocimientos a lo largo de nuestra carrera universitaria.

Finalmente quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Humberto Díaz, por su conocimiento colaboración en la elaboración de nuestro proyecto.

Carlos André Guzmán Tello

A mi alma mater, la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, por brindarme el conocimiento científico y de valores mediante mis profesores quienes compartieron sus experiencias vividas como una lección gratuita para que yo no tropiece, a mis compañeros y amigos que conocí durante todo este tiempo y compartimos tantos momentos que los guardo y recuerdo frecuentemente y me hacen feliz.

A mis muchos capacitadores quienes complementaron mi formación y fortalecieron mis conocimientos para poder salir victorioso frente a diferentes competencias.

A todas las personas que conozco y no puedo mencionar puntualmente en la presente, porque me permitieron ser parte de su vida y ellos de la mía, de este modo compartir conversaciones, consejos, críticas, experiencias, alegrías y el resultado de todo esto es ser quien soy actualmente.

Alfredo Stiward Flores Chambi

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se sabe que, en los sistemas mecánicos, sucede que el calor debe ser transferido de un lugar a otro y también de un fluido a otro, para ello, es necesario entrar en contacto con la línea de termo fluidos, ya que, es de vital importancia, así como las demás líneas de la carrera.

Este proyecto se llevó a cabo por el interés de realizar ensayos y prácticas con los diferentes módulos del sistema de vapor, con el objetivo de que el estudiante realice de forma práctica lo aprendido en clases.

Se tiene como principal objetivo mejorar la implementación del laboratorio de termofluidos de la Universidad Católica de Santa María de manera que se puedan realizar los ensayos y prácticas del módulo de intercambiador de calor de coraza y tubos. Para ello, este trabajo se ha desglosado en capítulo presentando cada uno los siguientes aspectos generales:

Capítulo 1 GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN. Abarcando la identificación, descripción y formulación de la realidad problemática, seguidamente de los objetivos que nos conducirán a alcanzar el fin de la investigación, la justificación, hipótesis y variables de la investigación, sus alcances y metodología utilizada.

Capítulo 2 MARCO TEÓRICO. Comprendiendo la sustentación teórica bibliográfica de la investigación; desglosando los antecedentes o estados de arte de la investigación, las bases teóricas, la conceptualización de bases teóricas y finalmente el mapa conceptual a desarrollar.

Capítulo 3 DISEÑO DEL MODULO. Desglosando paso a paso el diseño y desarrollo de la propuesta que se implementó para la ampliación del sistema de vapor de la Universidad Católica de Santa María.

Capítulo 4 PRUEBAS Y RESULTADOS. Comprendiendo los cálculos necesarios para obtener el diseño térmico, hidráulico y mecánico del equipo, complementando las guías de laboratorio destinadas a los estudiantes.

Capítulo 5 COSTOS DEL PROYECTO. Desglosando el costo de cada elemento, accesorio y equipo utilizado para la construcción del proyecto.

Finalizando, con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos respectivos.



RESUMEN

El presente proyecto tiene la finalidad de implementar la instalación de un sistema de vapor en la Universidad Católica de Santa María, partiendo con equipos y módulos (caldera pirotubular, módulo de banco de trampas y módulo de intercambiador de calor de placas) ya existentes y agregando un módulo de intercambiador de calor de coraza y tubos para la ampliación del sistema de vapor.

Se inició definiendo los paramentos y condiciones con las que trabajaría nuestro sistema de vapor, para luego realizar el mantenimiento y conexión de los equipos y módulos anteriormente mencionados.

Se realizó la construcción de un módulo de intercambiador de calor de coraza y tubos. El diseño del equipo se realizó en las siguientes etapas:

- Diseño térmico que sirve para determinar las dimensiones de los tubos y el número de pasos,
- Diseño Mecánico en las que se establecerán los materiales y los espesores que llevarán los componentes del equipo.
- Diseño Hidráulico en donde se calcula la caída de presión en el equipo.

A continuación, se plantearon guías para el desarrollo de las mismas con datos reales y experimentales por parte de los estudiantes de la Universidad Católica de Santa María, de tal manera que se fortalezcan los conocimientos de las materias estudiadas en el laboratorio de termofluidos de la Universidad Católica de Santa María.

Palabras claves: flujo de calor, temperatura, convección, calor específico, intercambiador.

ABSTRACT

This project has the implementation of implementing the installation of a steam system at the Universidad Católica de Santa María, starting with equipment and modules (pirotubular boiler, trap bank module and plate heat exchanger module) An exchanger module of heat of shell and tubes for the expansion of the steam system.

The parameters and conditions with which we work our steam system were defined, to then perform the maintenance and connection of the previous equipment and modules.

The construction of a shell and tube heat exchanger module was carried out. The design of the equipment was carried out in the following stages:

- Thermal design used to determine the dimensions of the tubes and the number of steps,
- Mechanical design in which the materials and thicknesses that the equipment components will carry out will be established.
- Hydraulic Design where the pressure drop in the equipment is calculated.

Next, guides were developed for their development with real and experimental data by the students of the Universidad Católica de Santa María, in such a way that the knowledge of the subjects studied in the thermofluid laboratory of Universidad Católica de Santa María is strengthened.

Keywords: heat flow, temperature, convection, specific heat, exchanger.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3.1. Problema general.....	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6.1. Hipótesis general.....	4
1.6.2. Hipótesis específicas.....	4
CAPÍTULO II.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
2.2. BASES TEÓRICAS.....	9
2.2.1. Intercambiadores de calor.....	9
2.2.1.1. Diferentes tipos de sistemas de intercambiador de calor.....	10
2.2.2. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos.....	12
2.2.2.1. Distribución de Tubos.....	13
2.2.2.2. Partes de un intercambiador de calor de carcasa y tubos.....	15
2.2.2.3. Tipos de Intercambiadores según la Dirección del Flujo.....	19
2.2.3. Funcionamiento de los intercambiadores de calor.....	24
2.2.4. Aplicaciones de los intercambiadores de calor.....	24
2.2.5. Transferencia de calor por conducción.....	25

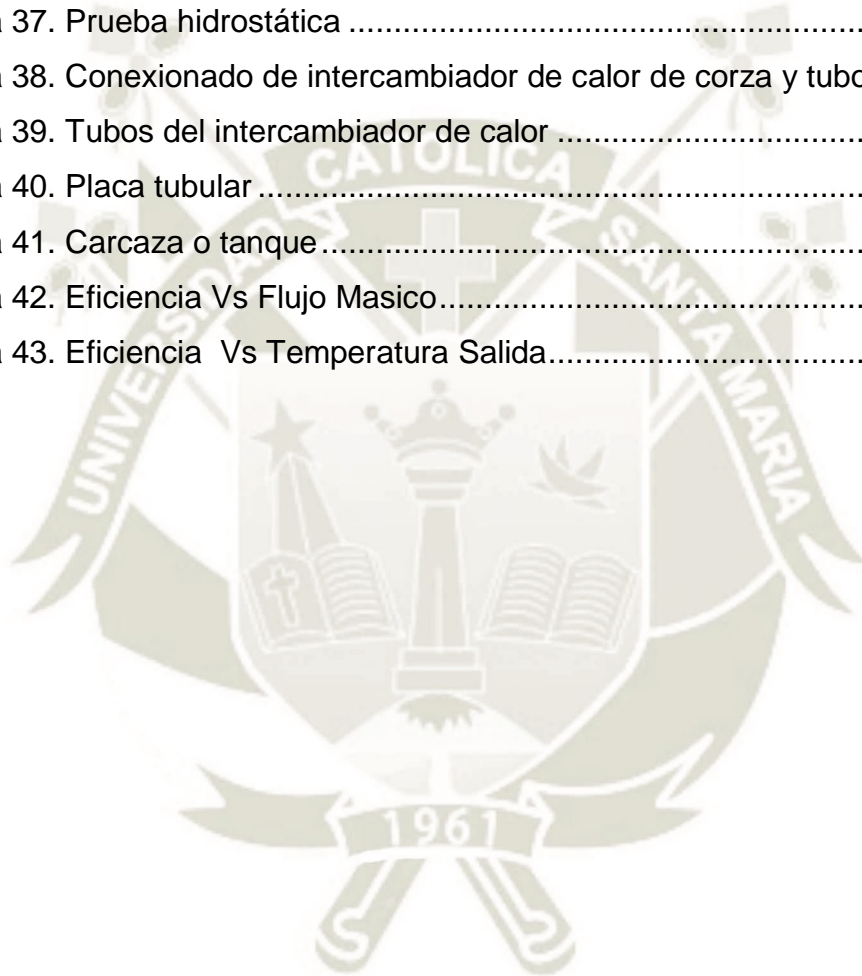
2.2.6. Procesos de conducción.	25
2.2.7. Transferencia de calor por convección.	26
2.2.7.1. Convección natural.....	27
2.2.7.2. Convección forzada.....	27
2.2.8. Propiedades térmicas de los materiales	28
2.2.8.1. Conductividad térmica.....	28
2.2.9. Sistema de generador de vapor	28
2.2.9.1. Calderas.....	28
2.2.9.2. Trampas de balde invertido	38
2.2.9.3. Presostato	38
2.3. CONCEPTUALIZACIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	41
2.4. ESQUEMA CONCEPTUAL.....	43
CAPÍTULO III.....	44
3. DISEÑO DEL MODULO.....	45
3.1. PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA.....	45
3.2. DISEÑO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	45
3.2.1. Diseño térmico	45
3.2.2. Diseño mecánico.....	56
3.2.2.1. Cálculo mecánico para los Tubos.....	57
3.2.2.2. Cálculo mecánico para la coraza.....	58
3.2.2.3. Espejos	59
3.2.2.4. Tapas	59
3.2.3. Diseño hidráulico.....	59
3.3. MATERIALES A UTILIZAR PARA LA AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR	63
3.4. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE VAPOR	63
3.5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VAPOR	74
CAPÍTULO IV.....	76
4. PRUEBAS Y RESULTADOS	77
4.1. PRUEBAS REALIZADAS	77
4.1.1. Operación durante pruebas.....	77
4.1.1.1. Instrucciones de operación.....	77

4.1.1.2. Instrucciones para el mantenimiento	79
4.1.2. Intercambiador de Calor	82
4.1.2.1. Usos del intercambiador.....	82
4.1.2.2. Tubos	83
4.1.2.3. Placa tubular	83
4.1.2.4. Deflectores	84
4.1.2.5. Carcasa o tanque	84
4.1.3. Instrucciones de operación.....	84
4.2. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	86
4.3. PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	86
CAPÍTULO V.....	90
5. COSTOS DEL PROYECTO	91
5.1. COSTOS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS	91
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	97
ANEXOS A: PRÁCTICAS DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS	98
ANEXOS B: FICHAS TÉCNICAS.....	105
ANEXOS C: PLANOS	133

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Intercambiador de calor de carcasa y tubos. La figura muestra los componentes del intercambiador de calor de carcasa y tubos.	12
Figura 2. Placa deflectora de un intercambiador de calor.....	13
Figura 3. Placa deflectora de un intercambiador de calor con ajuste cuadrado. ...	14
Figura 4. Placa deflectora de un intercambiador de calor con ajuste cuadrado girado.....	14
Figura 5. Placa deflectora de un intercambiador de calor con ajuste triangular. ...	15
Figura 6. Intercambiador de calor con dirección de flujo paralelo.....	19
Figura 7. Intercambiador de calor con dirección de contraflujo.....	20
Figura 8. Intercambiador de calor con dirección de flujo cruzado.....	20
Figura 9. Intercambiador de calor con dirección de mezcla bifásica.....	21
Figura 10. Intercambiador de calor con dirección de flujo de un solo paso.....	21
Figura 11. Intercambiador de calor con dirección de flujo de múltiples pasos.	22
Figura 12. Intercambiador de calor regenerativo.....	23
Figura 13. Intercambiador de calor no regenerativo.....	23
Figura 14. Caldera Piro tubular.....	35
Figura 15. Partes de un caldero piro tubular.....	37
Figura 16. Partes de un presostato.....	39
Figura 17. Esquema conceptual para la ampliación del Módulo Didáctico	43
Figura 18. Diseño del intercambiador de coraza y tubos.....	45
Figura 19. Leyenda de los materiales utilizados en la ampliación del sistema de vapor.....	45
Figura 20. Factor de corrección para intercambiadores de coraza y tubos.....	48
Figura 21. Factor de corrección para intercambiadores de coraza y tubos.....	54
Figura 22. Caldera Piro tubular de 7 CV.....	64
Figura 23. Módulo de trampas de vapor.....	64
Figura 24. Módulo de intercambiador de calor de placas	65
Figura 25. Manifold	65
Figura 26. Quemador	66
Figura 27. Instalación de sistema de automatización de caldera.....	67
Figura 28. Instalación de línea de vapor.....	67
Figura 29. Instalación de sistema de vapor	68

Figura 30. Intercambiador de calor de coraza y tubos	69
Figura 31. Perforación de la base para haz de tubos	69
Figura 32. Haz de tubos para línea de vapor y condensado.....	70
Figura 33. Instalación de haz de tubos en base circular	70
Figura 34. Haz de tubos soldados en base circular	71
Figura 35. Instalación de cabezal y haz de tubos para línea de vapor	71
Figura 36. Instalación de intercambiador de calor de coraza y tubos	72
Figura 37. Prueba hidrostática	72
Figura 38. Conexión de intercambiador de calor de corza y tubos.	74
Figura 39. Tubos del intercambiador de calor	83
Figura 40. Placa tubular	83
Figura 41. Carcaza o tanque.....	84
Figura 42. Eficiencia Vs Flujo Masico.....	88
Figura 43. Eficiencia Vs Temperatura Salida.....	89





CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema.

La Universidad Católica de Santa María cuenta con una infraestructura compuesta de equipos y maquinaria para la aplicación de los conocimientos de las diversas carreras que ofrece, en especial la Facultad de Ingeniería Mecánica que cuenta con diversos implementos de excelente calidad que facilitan el estudio para poder llevar todos los conocimientos a la práctica, de tal manera que, en las diferentes líneas de la carrera, se pueda aplicar lo aprendido.

En la ingeniería mecánica se resuelven diversos problemas de la vida cotidiana, soluciones que se dan desde las aulas universitarias, ya que los estudiantes pueden corroborar la teoría con la práctica, esto se puede lograr si se cuenta con los laboratorios necesarios para las diversas prácticas que tienen que hacer los estudiantes de Ingeniería.

Debido a las anteriores mencionadas se han venido desarrollando esfuerzos para diseñar y construir los equipos que conformaran el mencionado laboratorio. De esta forma, se busca contar con elementos pedagógicos que contribuyan a mejorar la calidad de la educación y de la formación del estudiante y para ello, el uso de instrumentación y métodos tecnificados y más específicos contribuyen con este aprendizaje, puesto que tener equipos en buenas condiciones de operación y con unos estándares de calidad muy altos, mejoran los conocimientos de los estudiantes. Por ende, será más fácil realizar prácticas que conlleven a una explicación más útil y lucrativa de la teoría. Es necesario tener controles cuantificables de los recursos a emplear, lo cual garantizará manejos adecuados de la máquina.

1.2. Descripción del problema.

Se hace necesario realizar el diseño de un módulo didáctico de intercambiador de calor de coraza y tubos para el laboratorio de ciencia térmicas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Católica de Santa María, ya que, es muy importante para un ingeniero tener conocimientos tanto teóricos como prácticos, acerca de esta línea, puesto

que la transferencia de calor se encuentra presente en todo lugar y en cualquier momento.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema general.

¿De qué manera se puede diseñar un módulo didáctico de intercambiador de calor de coraza y tubos para la ampliación del sistema de vapor del laboratorio de termofluidos de la Universidad Católica de Santa María?

1.3.2. Problemas específicos.

- ¿Qué rutinas se pueden realizar para obtener los cálculos de un intercambiador de calor de coraza y tubos?
- ¿Cómo será el proceso de ampliación del sistema de vapor de la Universidad Católica de Santa María?
- ¿De qué manera se pueden elaborar cuatro guías para prácticas de laboratorio para el desarrollo del módulo de cálculo a partir de datos reales y experimentales?
- ¿Cuál es la finalidad de ampliar el sistema de vapor de la Universidad Católica de Santa María con la utilización de un intercambiador de calor de coraza y tubos?

1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivo general.

Diseñar un módulo didáctico de intercambiador de calor de coraza y tubos para la ampliación del sistema de vapor del laboratorio de termofluidos de la Universidad Católica de Santa María.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Analizar la rutina para obtener los cálculos de un intercambiador de calor de coraza y tubos.
- Explicar el proceso de ampliación del sistema de vapor de la Universidad Católica de Santa María.

- Elaborar guías para prácticas de laboratorio para el desarrollo del módulo de cálculo a partir de datos reales y experimentales.
- Determinar la finalidad de ampliar el sistema de vapor de la Universidad Católica de Santa María mediante un intercambiador de calor de coraza y tubos.

1.5. Justificación de la investigación.

Esta investigación se justifica ante la necesidad que hay en la Universidad Católica de Santa María de brindar a los estudiantes un laboratorio de termofluidos que este apto para el desarrollo de las prácticas de este módulo, de igual manera, guías de laboratorio que permitan desarrollar prácticas con un contenido adecuado para que, el proceso de enseñanza aprendizaje sea más efectivo y los estudiantes puedan tener un aprendizaje significativo en la carrera.

1.6. Hipótesis de la investigación.

1.6.1. Hipótesis general.

Es probable que, diseñando un módulo didáctico de intercambiador de calor de coraza y tubos se favorezca positivamente el sistema de vapor del laboratorio de termofluidos de la Universidad Católica de Santa María.

1.6.2. Hipótesis específicas.

- Es probable que las rutinas realizadas para obtener los cálculos de un intercambiador de calor de coraza y tubos favorecerán el funcionamiento del sistema de vapor.
- Es probable que el proceso de construcción y ampliación del sistema de vapor de la Universidad Católica de Santa María favorecerá el laboratorio de termofluidos.
- Dado que se realizara la elaboración de guías prácticas del laboratorio para el desarrollo del módulo a partir de datos reales y experimentales permitirá a los estudiantes el desenvolvimiento práctico del módulo.

- Es probable que ampliar el sistema de vapor de la Universidad Católica de Santa María mediante un intercambiador de calor de coraza y tubos será un avance innovador para la Universidad.





CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

En la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, el autor Bach. Oscar García Aranda, en su tesis titulada: **“Propuesta para el mejoramiento de un intercambiador de calor tipo coraza y tubos en U”**, tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico (2011), concluye lo siguiente: Al analizar los resultados, se comprueba la hipótesis de que al modificar mecánicamente la superficie lisa de los tubos, se obtiene otra superficie que desde el punto de vista teórico se pretende que cambie la trayectoria del fluido creando vórtices, lo cual dará lugar a un flujo turbulento tanto al interior (Re alrededor de los 600) y como para el lado exterior de la tubería, entonces de esta manera se beneficiara la transferencia de calor ya que existe un mejor mezclado de cada uno de los fluidos, siendo así, que por un lado uno cede la mayor cantidad de energía y el otro lo recupera, caso contrario a la tubería lisa; esto no quiere decir que en ésta, en alguna condición de funcionamiento del equipo, no exista la turbulencia, sino que se puede presentar en un “ Re ” más bajo como ya se mencionó, así mismo su recomendación más importante: Es pertinente mencionar que tanto los tubos corrugados como el bafle helicoidal implican más tiempo de modelado, maquinado, y ensamble, comparados con el requerido en el modelo tradicional, lo que obviamente repercute en los costos (Solorio Ordaz, 2011, p. 128).

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, el autor Bach. Eleazar Remigio Gonzales Núñez, en su tesis titulada: **“Estudio comparativo de los intercambiadores de calor de coraza-tubos y los de placas planas”**, tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico (2007), concluye lo siguiente: Una vez terminado la instalación del PHE, se debe primero dejar de circular el flujo de fluido (agua turbinada), una vez que este circulando a través de todo el equipo, se procederá a dejar circular el flujo de fluido caliente (agua de enfriamiento del generador), así mismo su recomendación más importante es: El mantenimiento del PHE debe realizarse una vez al año como mínimo, y si se

requiere la parte del equipo, primero se cortara el fluido caliente hasta que éste haya disminuido a 20°C (Gonzales Núñez, 2007, p. 182).

En la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingenierías Físicas y formales, el autor de la tesis Bach. Jorge Luis de León Roque, en su tesis titulada: **“Guía de prácticas de laboratorio en calderas pirotubulares en cuatro pasos para el curso de plantas de vapor”**, tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico (2006), concluye lo siguiente: Las pruebas de laboratorio en calderas pirotubulares de cuatro pasos, sirven para el control o mejoramiento de la eficiencia con una considerable reducción en las emanaciones de gases nocivos al medio ambiente, así mismo su recomendación más importante es: Una vez aprendido los conceptos teóricos en relación a calderas pirotubulares de cuatro pasos, es necesario realizar la parte práctica para lograr así una mejor comprensión y retención de los mismos (De León Roque, 2006, p. 156).

En la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingenierías Físicas, escuela de Ingeniería Química, el autor de la tesis Bach. Francisco José Ronquillo Marroquín, en su tesis titulada: **“Evaluación del sistema de vapor de una industria de bebidas para la reducción de las pérdidas de condensados de vapor”**, tesis para optar el grado académico de Ingeniero Químico (2013), concluye lo siguiente: Los flujos de agua cruda que ingresan al sistema de generación de vapor, así como os de agua de alimentación a las calderas, no representan un comportamiento definido, debido a que no se demanda la misma cantidad de vapor todos los días y la recuperación del vapor instantáneo genera un beneficio monetario anual de Q 115.963,00, el cual puede aumentar ya que al recuperar mayor cantidad de condensado disminuye la cantidad de purgas, así mismo su recomendación más importante es: Instalar un medidor de flujo para llevar el control de la cantidad de condensado que ingresa al tanque de retorno de condensados, para poder realizar balances de masa que no dependan de datos puntuales y trabajar lo más cercano posible al vapor promedio de los ciclos de concentración, 20 ciclos, para evitar daños al equipo y purgas innecesarias (Ronquillo Marroquin, 2013, p. 56).

En la Universidad Nacional Abierta, Área de Ingeniería, el autor de la tesis Bach. Mervis Villanueva Isaba, en su tesis titulada: **“Diagnóstico operacional del sistema de producción de vapor en una planta piloto”**, tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico (2014), concluye lo siguiente: Para mejorar la eficiencia de la caldera, al reducir las pérdidas y contribuir al ahorro de energía se propone revisar el funcionamiento del quemador de manera de lograr una combustión completa, reparar las fugas de combustible, aumentar la temperatura del agua de alimentación, realizar calorifugado de tuberías y tanques y aprovechar el condensado, así mismo su recomendación más importante es: Diseñar y aplicar un plan de mantenimiento integral para el diseño de generación de vapor, donde se incluya un registro de los datos de operación del equipo. Con ello se busca reducir los riesgos de averías, optimizar la calidad del producto y extender la vida útil de los equipos e instrumentos (Villanueva Isaba, 2014, p. 94).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Intercambiadores de calor.

En los sistemas mecánicos, químicos, nucleares y otros, ocurre que el calor debe ser transferido de un lugar a otro, o bien, de un fluido a otro. Los intercambiadores de calor son los dispositivos que permiten realizar dicha tarea. Un entendimiento básico de los componentes mecánicos de los intercambiadores de calor es necesario para comprender cómo estos funcionan y operan para un adecuado desempeño, (Underwood, 1934, p. 189).

Los intercambiadores de calor permiten remover calor de un punto a otro de manera específica en una determinada aplicación; un intercambiador de calor es un componente que permite la transferencia de calor de un fluido (líquido o gas) a otro fluido. Entre las principales razones por las que se utiliza los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes:

- Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.
- Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.

- Llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.
- Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.
- Llevar al punto de ebullición a un fluido mientras se condensa un fluido gaseoso con mayor temperatura. (Jaramillo, 2007, p. 2).

Debe quedar claro que la función de los intercambiadores de calor es la transferencia de calor, donde los fluidos involucrados deben estar a temperaturas diferentes. Se debe tener en mente que el calor sólo se transfiere en una sola dirección, del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura. En los intercambiadores de calor los fluidos utilizados no están en contacto entre ellos, el calor es transferido del fluido con mayor temperatura hacia el de menor temperatura al encontrarse ambos fluidos en contacto térmico con las paredes metálicas que los separan (Jaramillo, 2007, p. 3).

Los intercambiadores de calor en general son dispositivos o sistemas en los que el calor se transfiere de un fluido circulando a otro. Los fluidos pueden ser líquidos o gases y en algunos intercambiadores de calor pueden circular más de dos fluidos; estos dispositivos pueden tener una estructura tubular, de las que quizás los intercambiadores más comunes sean los de doble tubo y los de coraza y tubos o una estructura de placas apiladas. El generador de vapor o caldera, el condensador de vapor enfriado por agua, el calentador de agua caliente de suministro y el generador de aire de la combustión, así como varios otros tipos de equipos son intercambiadores de calor (Frank Kreith, Raj Manglik y Mark Bohn, 2012, p. 485).

2.2.1.1. **Diferentes tipos de sistemas de intercambiador de calor**

Clasificar los sistemas de intercambio de calor puede llevarse a cabo usando muchos criterios diferentes. A la hora de clasificar los distintos tipos de intercambiadores de calor pueden tenerse en cuenta diferentes criterios. Teniendo en cuenta el grado de contacto entre los fluidos, se agrupan en dos tipos diferentes:

- **Intercambiador de calor de contacto directo**

En los intercambiadores de contacto directo la transferencia de calor se produce por medio de una mezcla física de los fluidos que intervienen en el proceso. Un ejemplo de este tipo de intercambiadores son las torres de refrigeración. En este caso el contacto directo se produce entre una corriente de agua caliente (fluido a enfriar) usando aire seco y más frío. (Naturgy, s.f.).

- **Intercambiador de calor de contacto indirecto**

En un intercambiador de tipo indirecto no existe contacto directo entre los fluidos y nunca llegan a mezclarse. Los fluidos están separados por una barrera sólida y pueden también no coincidir en el mismo instante de tiempo.

Los intercambiadores de calor de contacto indirecto pueden ser de varios tipos, siendo los más usados, según su tipología constructiva:

- De tubos concéntricos o doble tubo
- De carcasa y tubos
- De placas

- **Intercambiadores compactos**

Regeneradores

Los equipos de tubos concéntricos son los más sencillos que existen ya que están compuestos por dos tubos concéntricos de diferente diámetro de modo que uno de los fluidos circula por el interior del más pequeño y el otro lo hace por el espacio anular entre ambos tubos. (Naturgy, s.f.).

Los intercambiadores de carcasa y tubos son muy utilizados a nivel industrial y usan una carcasa con multitud de tubos en su interior.

Los equipos de placas están formados por una sucesión de láminas de metal, armadas en un bastidor y separadas por juntas, que se fijan con una coraza de acero. El fluido circula entre estas láminas. (Naturgy, s.f.).

2.2.2. Intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

Este tipo de intercambiador consiste en un conjunto de tubos en un contenedor llamado carcasa. El flujo de fluido dentro de los tubos se le denomina comúnmente flujo interno y aquel que fluye en el interior del contenedor como fluido de carcasa o fluido externo (Frank Kreith, Raj Manglik y Mark Bohn, 2012, p. 485).

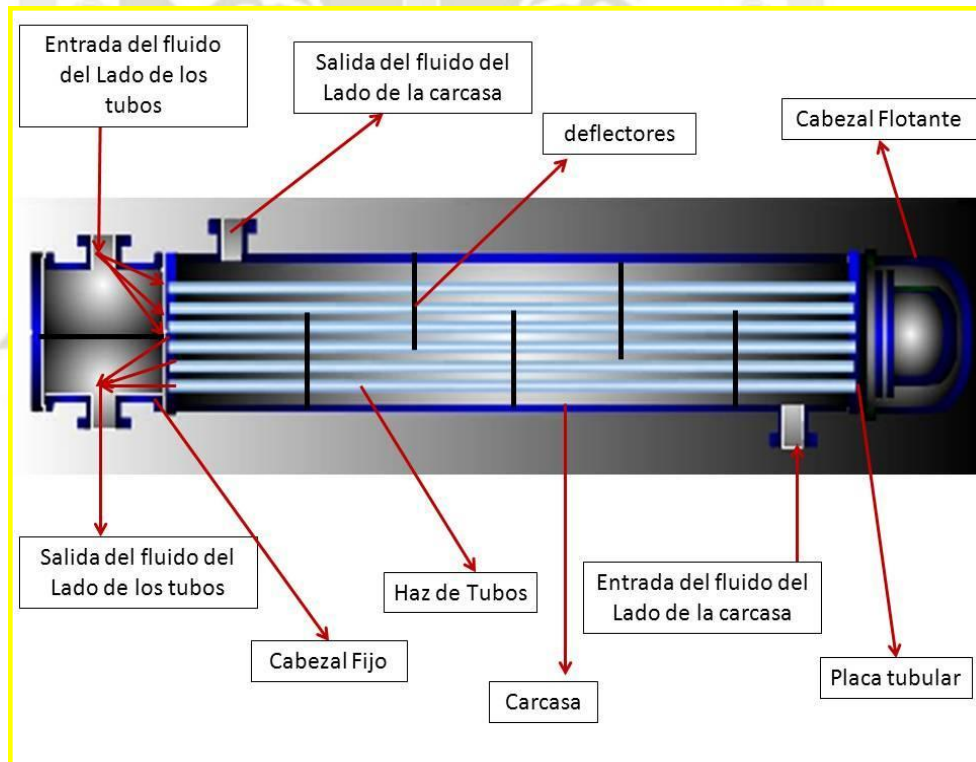


Figura 1. Intercambiador de calor de carcasa y tubos. La figura muestra los componentes del intercambiador de calor de carcasa y tubos.

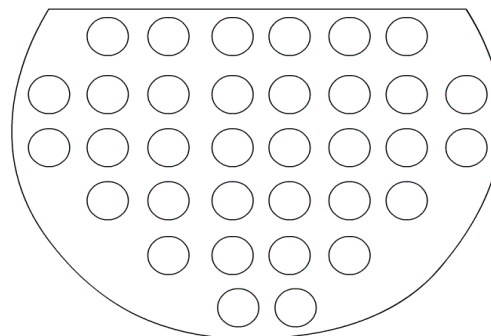
Fuente: t-solucion.com, 2019

En los extremos de los tubos, el fluido interno es separado del fluido externo de la carcasa por la(s) placa(s) del tubo. Los tubos se sujetan o se sueldan a una placa para proporcionar un sello adecuado. En sistemas donde los dos fluidos presentan una gran diferencia entre sus presiones, el líquido con mayor presión se hace circular típicamente a

través de los tubos y el líquido con una presión más baja, se circula del lado de la cáscara. Esto es debido a los costos en materiales, los tubos del intercambiador de calor se pueden fabricar para soportar presiones más altas que la cáscara del cambiador con un costo mucho más bajo. Las placas de soporte mostradas en la figura también actúan como baffles para dirigir el flujo del líquido dentro de la cáscara hacia adelante y hacia atrás a través de los tubos (Jaramillo, 2007, p. 4).

2.2.2.1. Distribución de Tubos

Los tubos que van por dentro de la coraza son colocados mediante una placa deflectora perforada, representada a continuación:



Placa deflectora de un intercambiador de calor

Figura 2. Placa deflectora de un intercambiador de calor.

Fuente: Universidad Politécnica de Catalunya, 2019

Estas placas deflectoras están puestas para generar un flujo cruzado y inducir una mezcla turbulenta en el fluido que va por la coraza, la cual cosa mejora el intercambio por convección. (EPSEM, s.f.)

Los tubos pueden presentar diferentes distribuciones:

- **Ajuste cuadrado.** Esta configuración permite una mejor limpieza de los tubos. También hace que haya una menor caída de presión en el lado de la coraza. (EPSEM, s.f.)

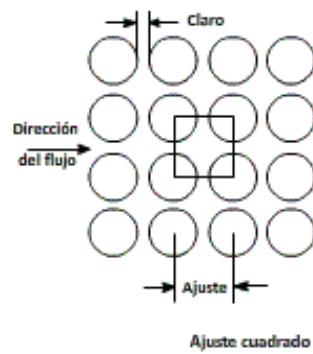


Figura 3. Placa deflectora de un intercambiador de calor con ajuste cuadrado.

Fuente: Universidad Politécnica de Catalunya, 2019

- **Ajuste cuadrado girado.** Las ventajas de esta distribución es la misma que el anterior. (EPSEM, s.f.)

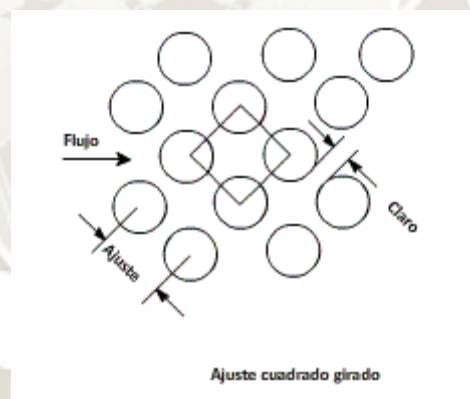


Figura 4. Placa deflectora de un intercambiador de calor con ajuste cuadrado girado.

Fuente: Universidad Politécnica de Catalunya, 2019

- **Ajuste triangular.** Se consigue una mayor superficie de transferencia de calor que con el ajuste cuadrado no se consigue. Si la distancia de centro a centro de los tubos es muy pequeña, no se puede limpiar. (EPSEM, s.f.)

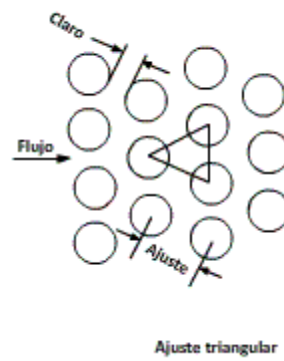


Figura 5. Placa deflectora de un intercambiador de calor con ajuste triangular.

Fuente: Universidad Politécnica de Catalunya, 2019

2.2.2.2. Partes de un intercambiador de calor de carcasa y tubos

Los componentes básicos de este intercambiador son: El haz de tubos (o banco de tubos), carcasa, cabezal fijo, cabezal removible (o trasero), deflectores, y la placa tubular.

- Tubos

Los tubos son los componentes fundamentales, proporcionando la superficie de transferencia de calor entre el fluido que circula por el interior de los tubos, y la carcasa. Los tubos pueden ser completos o soldados y generalmente están hechos de cobre o aleaciones de acero. Otras aleaciones de níquel, titanio o aluminio pueden ser requeridas para aplicaciones específicas.

Los tubos pueden ser desnudos o aletados. Las superficies extendidas se usan cuando uno de los fluidos tiene un coeficiente de transferencia de calor mucho menor que el otro fluido. Los tubos doblemente aletados pueden mejorar aún más la eficiencia. Las aletas proveen de dos a cuatro veces el área de transferencia de calor que proporcionaría el tubo desnudo. La cantidad de pasos por los tubos y por la carcasa dependen de la caída de presión disponible. A mayores velocidades, aumentan los coeficientes de transferencia de calor, pero también las pérdidas por fricción y la erosión en los materiales. Por tanto, si la pérdida

de presión es aceptable, es recomendable tener menos cantidad de tubos, pero de mayor longitud en un área reducida. Generalmente los pasos por los tubos oscilan entre 1 y 8. Los diseños estándares tienen uno, dos o cuatro pasos por los tubos. En múltiples diseños se usan números pares de pasos. Los números de pasos impares no son comunes, y resultan en problemas térmicos y mecánicos en la fabricación y en la operación.

La selección del espaciamiento entre tubos es un equilibrio entre una distancia corta para incrementar el coeficiente de transferencia de calor del lado de la carcasa, y el espacio requerido para la limpieza. En la mayoría de los intercambiadores, la relación entre el espaciamiento entre tubos y el diámetro exterior del tubo varía entre 1,25 y 2. El valor mínimo se restringe a 1.25 porque para valores inferiores, la unión entre el tubo y la placa tubular se hace muy débil, y puede causar filtraciones en las juntas. Para los mismos espaciamientos entre tubos y caudal, los arreglos en orden decrecientes de coeficiente de transferencia de calor y caída de presión son: 30°, 45°, 60° y 90°.

- **Placa tubular**

Los tubos se mantienen en su lugar al ser insertados dentro de agujeros en la placa tubular, fijándose mediante expansión o soldadura. La placa tubular es generalmente una placa de metal sencilla que ha sido taladrada para albergar a los tubos (en el patrón deseado), las empacaduras y los pernos. En el caso de que se requiera una protección extra de las fugas puede utilizarse una doble placa tubular.

El espacio entre las placas tubulares debe estar abierto a la atmósfera para que cualquier fuga pueda ser detectada con rapidez. Para aplicaciones más peligrosas puede usarse una placa tubular triple, sellos gaseosos e incluso un sistema de recirculación de las fugas.

La placa tubular además de sus requerimientos mecánicos debe ser capaz de soportar el ataque corrosivo de ambos fluidos del intercambiador y debe ser compatible electroquímicamente con el material de los tubos. A veces se construyen de acero de bajo carbono cubierto metalúrgicamente por una aleación resistente a la corrosión.

- **Deflectores**

Hay dos tipos de deflectores, transversales y longitudinales. El propósito de los deflectores longitudinales es controlar la dirección general del flujo del lado de la carcasa. Por ejemplo, las carcasas tipo F, G y H tienen deflectores longitudinales. Los deflectores transversales tienen dos funciones, la más importante es la de mantener a los tubos en la posición adecuada durante la operación y evita la vibración producida por los vórtices inducidos por el flujo. En segundo lugar ellos guían al fluido del lado de la carcasa para acercarse en lo posible a las características del flujo cruzado. También tienen la función de hacer que el fluido que circula por la carcasa lo haga con mayor turbulencia para que aumente el coeficiente convectivo (o coeficiente de película) exterior de los tubos, es decir, para que aumente la cantidad de calor transferido.

El tipo de deflector más común es el simple segmentado. El segmento cortado debe ser inferior a la mitad del diámetro para asegurar que deflectores adyacentes se solapen en al menos una fila completa de tubos. Para flujos de líquidos en el lado de la carcasa el corte del deflector generalmente es del 20 a 25 por ciento; para flujos de gas a baja presión de 40 a 45 por ciento, con el objetivo de minimizar la caída de presión.

- **Carcasa y boquillas del lado de la carcasa**

La carcasa es la envolvente del segundo fluido, y las boquillas son los puertos de entrada y salida. La carcasa generalmente es de sección circular y está hecha de una placa de acero conformado en forma cilíndrica y soldado longitudinalmente. Carcasas de pequeños diámetros (hasta 24 pulgadas) pueden ser hechas cortando un tubo del diámetro deseado con la longitud correcta (pipe shells). La forma esférica de la casaca es importante al determinar el diámetro de los reflectores que pueden ser insertados y el efecto de fuga entre el deflector y la casaca. Las carcasas de tubo suelen ser más redondas que la carcasa rolada.

En intercambiadores grandes la carcasa está hecha de acero de bajo carbono siempre que sea posible por razones de economía aunque también pueden usarse otras aleaciones cuando la corrosión o las altas temperaturas así lo requieran.

La boquilla de entrada suele tener una placa justo debajo de ella para evitar que la corriente choque directamente a alta velocidad en el tope del haz de tubos. Ese impacto puede causar erosión, cavitación, y vibraciones. Con el objetivo de colocar esta placa y dejar suficiente espacio libre entre esta y la carcasa para que la caída de presión no sea excesiva puede ser necesario omitir algunos tubos del patrón circular completo.

- **Canales del lado de los tubos y boquillas**

Los canales y las boquillas simplemente dirigen el flujo del fluido del lado de los tubos hacia el interior o exterior de los tubos del intercambiador. Como el fluido del lado de los tubos es generalmente el más corrosivo, estos canales y boquillas suelen ser hechos de materiales aleados (compatibles con la placa tubular). Deben ser revestidos en lugar de aleaciones sólidas.

- **Cubiertas de canal**

Las cubiertas de canal son placas redondas que están atornilladas a los bordes del canal y pueden ser removidos para inspeccionar los tubos sin perturbar el arreglo de los tubos. En pequeños intercambiadores suelen ser usados cabezales con boquillas laterales en lugar de canales y cubiertas de canales. (UNET, 2011)

2.2.2.3. **Tipos de Intercambiadores según la Dirección del Flujo**

- **Flujo Paralelo**

Los dos fluidos caliente y frío entran por el mismo extremo del intercambiador y fluyen en la misma dirección intercambiando calor hasta alcanzar una temperatura próxima la una de la otra, es decir, los fluidos tratan de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos.

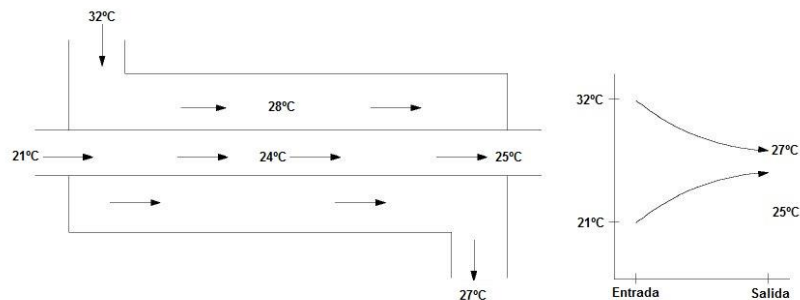


Figura 6. Intercambiador de calor con dirección de flujo paralelo.

Fuente: Intercambiadores de Calor, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019

Nota: El fluido de menor temperatura nunca alcanza la temperatura del fluido más caliente.

- **Contraflujo**

Cada uno de los fluidos entran al intercambiador por diferentes extremos y se presenta el contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección, pero en sentido opuesto. Este tipo de

intercambiador puede presentar una temperatura más alta en el fluido frío y más baja en el fluido caliente una vez realizada la transferencia de calor, por lo que es más eficiente térmicamente si lo comparamos con el flujo paralelo

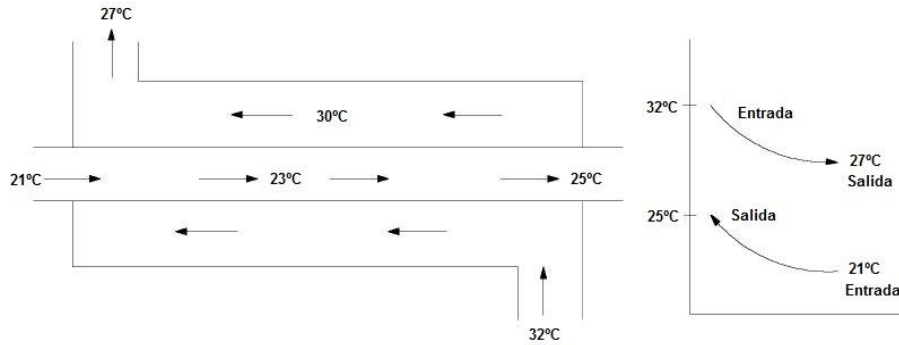


Figura 7. Intercambiador de calor con dirección de contraflujo.

Fuente: Intercambiadores de Calor, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019

- Flujo Cruzado

En el intercambiador que presenta un flujo cruzado, uno de los fluidos fluye de manera perpendicular al otro fluido. Uno de los fluidos pasa a través de los tubos mientras que el otro pasa alrededor de dichos tubos perpendicularmente.

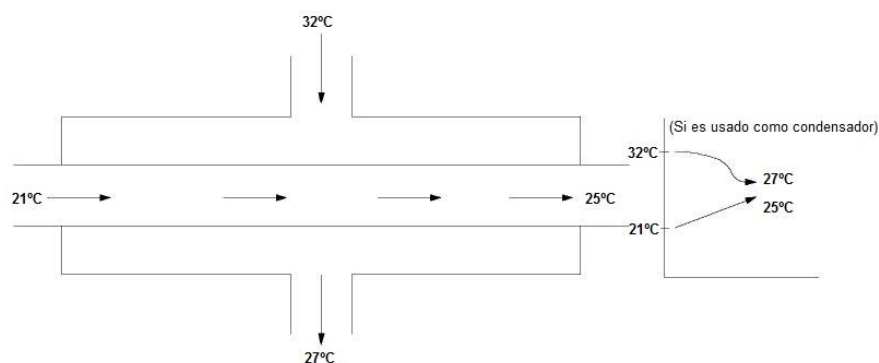


Figura 8. Intercambiador de calor con dirección de flujo cruzado.

Fuente: Intercambiadores de Calor, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019

Este tipo de intercambiadores es comúnmente empleado donde uno de los fluidos presenta un cambio de fase y por tanto una

mezcla bifásica (fase líquida + fase gas) dentro del intercambiador, por ejemplo condensadores de vapor.

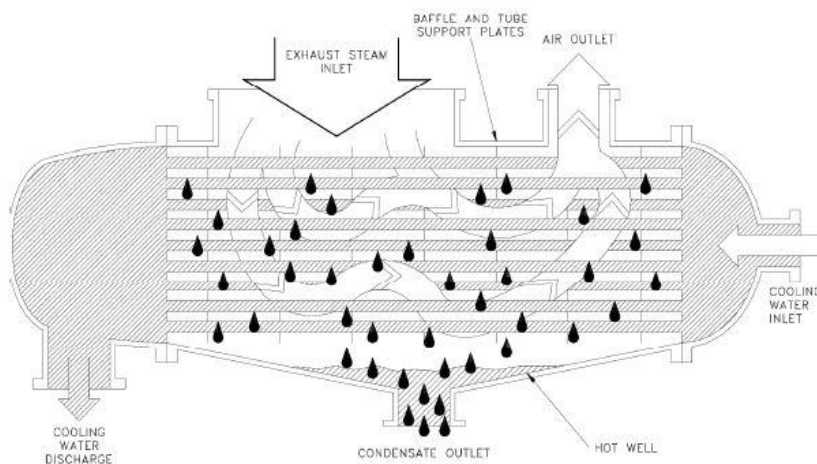


Figura 9. Intercambiador de calor con dirección de mezcla bifásica.

Fuente: Intercambiadores de Calor, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019

- De un Solo Paso (Paso Simple)

Sí el fluido sólo **intercambia calor en una sola vez**, se denomina intercambiador de calor de paso simple o de un solo paso, en ocasiones la transferencia de calor no es lo suficientemente para alcanzar la temperatura deseada por lo que se emplea un método que combina dos o más intercambiadores en serie, esto permite mejorar la eficiencia del proceso de intercambiador de calor ya que los fluidos se hacen pasar varias veces dentro de un intercambiador de paso simple.

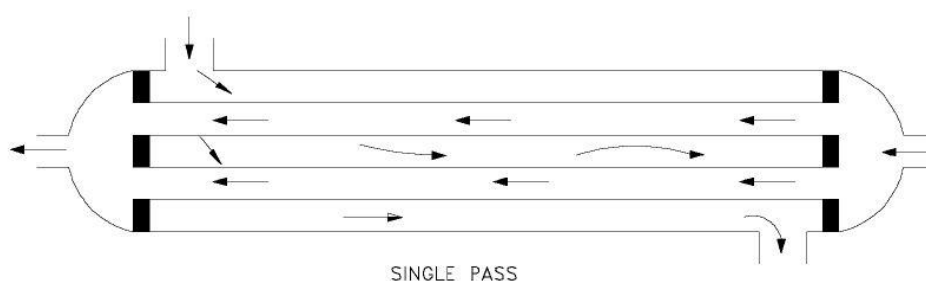


Figura 10. Intercambiador de calor con dirección de flujo de un solo paso.

Fuente: Intercambiadores de Calor, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019

- **De Múltiples Pasos**

Cuando los fluidos del intercambiador **intercambian calor más de una vez**, se denomina intercambiador de múltiple pasos.

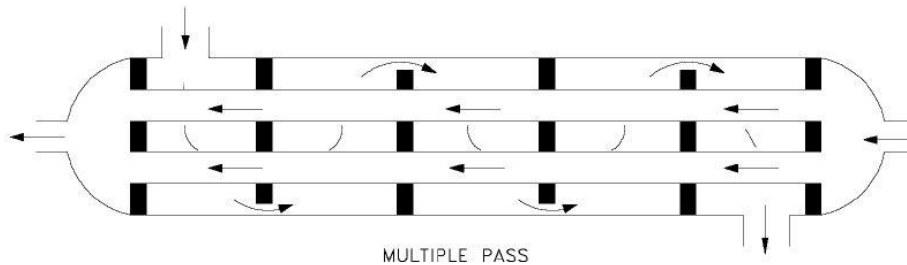


Figura 11. Intercambiador de calor con dirección de flujo de múltiples pasos.

Fuente: Intercambiadores de Calor, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019

Comúnmente el intercambiador de múltiples pasos invierte el sentido del flujo en los tubos al utilizar dobleces en forma de «U» en los extremos, esta configuración de «U», permite al fluido volver a recorrer el interior del intercambiador incrementando el área de transferencia. (Mavainsa, s.f.).

- **Regenerativos y No Regenerativos**

Los intercambiadores de calor también pueden ser clasificados por su carácter regenerativo o no regenerativo:

• **Intercambiador Regenerativo**

Es un intercambiador regenerativo aquel donde **se emplea el mismo fluido** (fluido caliente = fluido frío) como se aprecia en la imagen. El proceso es el siguiente; El fluido caliente atraviesa el intercambiador cediendo calor en él y posteriormente regresa al intercambiador como fluido frío.

Este tipo de intercambiadores se emplean en sistemas de altas temperaturas donde una parte del fluido del sistema se redirige del proceso principal a un proceso secundario, ya que la energía interna de este fluido es aprovechable para otras funciones (por ejemplo calefacción). (Mavainsa, s.f.)

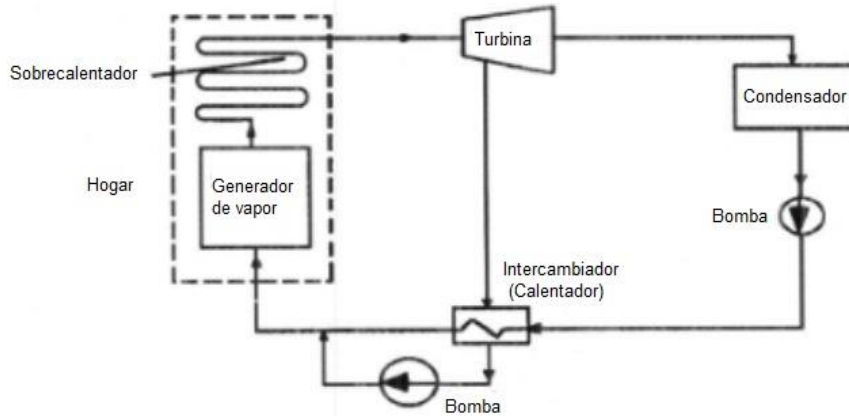


Figura 12. Intercambiador de calor regenerativo.

Fuente: Intercambiadores de Calor, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019

Por ejemplo, este esquema simplificado corresponde al ciclo de vapor de una turbina (**Ciclo Rankine Regenerativo**), en él podemos ver una extracción de vapor de la turbina denominada (sangría) que se redirige hacia un proceso secundario, regenerar o recalentar el agua de alimentación de la caldera, mejorando así la eficiencia del ciclo termodinámico. (Mavainsa, s.f.)

- **Intercambiador No-Regenerativo.**

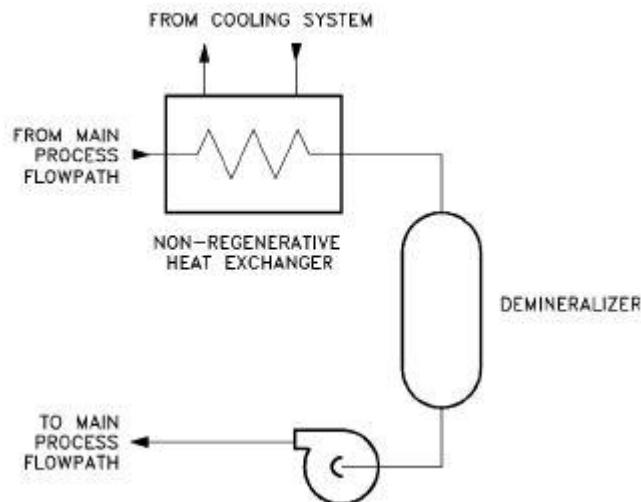


Figura 13. Intercambiador de calor no regenerativo.

Fuente: Intercambiadores de Calor, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019

Nota*: Es importante recordar que **el término «regenerativo/no-regenerativo»** sólo se refiere a «cómo» funciona el intercambiador de calor en un sistema y **no indica el tipo de intercambiador o flujo.**

2.2.3. Funcionamiento de los intercambiadores de calor.

La función general de un intercambiador de calor es transferir calor de un fluido a otro. Los componentes básicos de los intercambiadores se pueden ver como un tubo por donde un flujo de fluido está pasando mientras que otro fluido fluye alrededor de dicho tubo. Existe, por tanto, tres intercambios de calor que necesitan ser descritos:

- Transferencia de calor convectiva del fluido hacia la pared interna del tubo.
- Transferencia de calor conductiva a través de la pared del tubo.
- Transferencia de calor convectiva desde la pared externa del tubo hacia el fluido exterior.

Para desarrollar la metodología para el análisis y diseño de un intercambiador de calor, atendemos primero el problema de transferencia de calor del fluido interno en el tubo hacia el fluido externo en la carcasa (Jaramillo, 2007, p. 9).

2.2.4. Aplicaciones de los intercambiadores de calor.

Los intercambiadores de calor se encuentran en muchos sistemas químicos o mecánicos. Estos sirven, como su nombre lo indica, para ganar calor o expeler calor en determinados procesos. Algunas de las aplicaciones más comunes se encuentran en calentamiento, ventilación, sistemas de acondicionamientos de espacios, radiadores en máquinas de combustión interna, calderas, condensadores, y precalentadores o enfriamiento de fluidos (Jaramillo, 2007, p. 25).

2.2.5. Transferencia de calor por conducción.

La conducción es el mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas, mediante intercambio de energía cinética por choques moleculares, movimiento de electrones libres o vibración de la red cristalina. La conducción se caracteriza porque se dan dentro de los límites de un cuerpo o en la separación entre dos cuerpos. Y porque no se registra desplazamiento apreciable de la materia que lo constituye (Montes Pita, 2015, p. 4).

La Ley de Fourier es una ley empírica que se utiliza para cuantificar la transmisión de calor por conducción: el flujo de calor por unidad de superficie que se transmite por conducción desde un punto P de un material es directamente proporcional al gradiente de temperatura en dicho punto P, en la dirección de la normal, N:

$$q(w/m^2) \propto \frac{dt}{dn} \rightarrow q \left(\frac{W}{m^2} \right) = -k \cdot \frac{dt}{dn}$$

El signo menos indica que el flujo de calor va de la zona de más temperatura a la zona de menos temperatura. La constante de proporcionalidad entre el flujo de calor y el gradiente de temperaturas se denomina conductividad térmica y depende directamente del tipo de material a través del cual se produce la transmisión de calor. La conductividad térmica tiene las siguientes unidades: W/ m/ °C.

La conductividad térmica es una propiedad física del material que expresa “la mayor o menor facilidad que posee un medio para transmitir el calor por conducción”. En medios homogéneos o isótropos, la densidad de flujo de calor y el gradiente de temperatura son vectores colineales, en cada punto del medio y en cada instante, por lo que la conductividad térmica es una magnitud escalar (Montes Pita, 2015, p. 21).

2.2.6. Procesos de conducción.

La conducción es el único mecanismo de transmisión de calor posible en los medios sólidos tales como acero, madera, corcho, plástico, todos estos a temperatura de estado sólido. Cuando en estos cuerpos existe

un gradiente de temperatura, el calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura esto debido al contacto directo entre las moléculas del medio (Montes Pita, 2015, p. 45).

Otro mecanismo de transferencia de calor por conducción es por medio de electrones “libres”. El mecanismo de los electrones libres es importante, principalmente en los sólidos puramente metálicos; la concentración de electrones libres varía considerablemente en las aleaciones y baja mucho en los sólidos no metálicos, es por ello que los metales puros son los mejores conductores de calor (Montes Pita, 2015, p. 45).

La conducción puede aparecer en los sólidos, líquidos y gases. Sin embargo, en el caso de los líquidos y gases que puedan estar en circulación, la conducción se encuentra normalmente en combinaciones con el proceso de convección. Por consiguiente, la conducción pura tiene lugar fundamentalmente en los sólidos opacos, en donde el movimiento de masa se encuentra impedido (Montes Pita, 2015, p. 45).

2.2.7. Transferencia de calor por convección.

“La convección es el mecanismo de transferencia de calor que tiene lugar en el seno de un fluido, debido a la difusión de energía, tanto por el movimiento molecular aleatorio, como por el movimiento global de masa del fluido” (Montes Pita, p. 26).

Cuando un fluido se pone en contacto con una superficie sólida a una temperatura distinta, el proceso resultante de intercambio de energía térmica se denomina transferencia de calor por convección. Hay dos tipos de procesos de convección: convección libre o natural o convección forzada.

Convección Libre o natural: Procede de la diferencia de densidad en el fluido que resulta del contacto con una superficie a diferente temperatura y da lugar a las fuerzas ascensionales.

Convección Forzada: Una fuerza motriz exterior mueve el fluido. Para una u otra forma de transferencia de calor por convección, la cantidad de calor es:

Ley de Newton del enfriamiento

$$q_c + \bar{h}_c A (T_s - T_{f,\infty})$$

Donde:

- H_c : Conductancia conectiva térmica unitaria o coeficiente de transferencia de calor por convección en la interfase líquido-sólido.
- A : área superficial en contacto con el fluido en m^2
- T_s : Temperatura de la superficie, K
- T_f : Temperatura del fluido no perturbado lejos de la superficie transmisora de calor (UNET, 2011, p. 1).

El coeficiente de transferencia de calor por convección depende de la densidad, viscosidad y velocidad del fluido, así como de sus propiedades térmicas (conductividad térmica y calor específico). La resistencia térmica en la transferencia de calor por convección viene dada por:

$$\bar{R}_c = \frac{1}{\bar{h}_c A}$$

La transferencia de calor por convección de un cuerpo comprende el movimiento de un fluido (líquido o gas) en relación con el cuerpo. (UNET, 2011, p. 1).

2.2.7.1. Convección natural.

Ocurre debido a diferencias de densidad en el fluido provocadas por un cuerpo a una temperatura diferente que la del fluido que intercambia calor con él. Estas diferencias de densidad provocan una acción de bombeo del fluido con relación al cuerpo. (UNET, 2011, p. 12).

2.2.7.2. Convección forzada

El flujo de convección forzada puede ser laminar o turbulento, interior o exterior a la tubería e involucrar cambios de fases tales como cuando un fluido está calentándose. Solo se estudiará la situación en la que se tenga un líquido o un gas que fluye en el interior de un tubo en un flujo turbulento (UNET, 2011, p. 13).

2.2.8. Propiedades térmicas de los materiales

2.2.8.1. Conductividad térmica

Es una propiedad física del material que indica la facilidad que tiene dicho material para transmitir calor por conducción, es decir, por movimientos molecular.

Las unidades de la conductividad se pueden deducir a partir de la ecuación de Fourier.

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \frac{dt}{dn} \rightarrow k = \frac{-\dot{Q}/A}{dt/dn} \rightarrow [k] = \frac{W}{m \cdot k} \text{ ó } \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

Se puede emplear indistintamente, en este caso, el K o el C°, ya que está referido a una diferencia de temperatura, y la diferencia de temperaturas es igual expresada en °C o en K, al ser ambos de igual tamaño. (UNET, 2011, p. 13).

La conductividad térmica depende de:

- La homogeneidad del material
- Fase en la que se encuentra: sólido, líquido o gas
- Estructura microscópica del material
- Composición química
- Temperatura y presión

El análisis que se va a hacer a continuación analiza cada uno de los factores anteriormente citados, pero distinguiendo entre materiales homogéneos y no homogéneos. En los primeros la conductividad queda definida por un valor único en todo el material, para unas condiciones dadas; en los segundos, la conductividad es anisótropa o no se puede medir de forma sencilla, por lo que se habla de conductividad térmica aparente (Montes Pita, p. 32).

2.2.9. Sistema de generador de vapor

2.2.9.1. Calderas

Es un dispositivo, utilizado para calentar agua o generar vapor a una presión superior a la atmósfera. Las calderas se componen de un

compartimiento donde se consume o quema el combustible y otro donde el agua se convierte en vapor.

Una caldera es una maquina o instalación, diseña y construida para conducir vapor de agua a elevada presión y temperatura, la hay desde pequeñas instalaciones locales para la producción de vapor para cocción de alimentos, planchado en serie de ropa, tratamientos sépticos de instrumentales y labores similares, con vapor de relativa baja temperatura y presión, hasta enormes instalaciones industriales, utilizadas para la alimentación de turbinas de generación de electricidad y otros procesos industriales donde se requiere calor en grandes cantidades, a altísimas temperaturas y presiones (Hilton, 2000, p. 53).

Principalmente la caldera es un recipiente cerrado, lleno casi de agua a la cual se aplica calor procedente de alguna fuente, tal como un combustible, electricidad, para hacerla hervir y producir vapores. Como estos vapores están confinados a un espacio cerrado, se incrementará la presión interior y con ello la temperatura de ebullición del agua, pudiéndose alcanzar finalmente muy elevados valores de presión y temperatura. Estos vapores se concentran en la parte superior del recipiente inicialmente vacío, conocido como domo, de donde se extrae vía conductos para ser utilizado en el proceso en cuestión (Hilton, 2000, p. 54).

2.2.9.1.1. Partes de una caldera

2.2.9.1.1.1. Ventilador

Son los encargados de suministrar el aire para la combustión en las calderas de tiro forzado y de sacar los gases desde el hogar hacia la chimenea en las calderas de tiro inducido. Deben tener una capacidad superior en un 15% al flujo a máxima carga para suplir las perdidas por ensuciamiento de la caldera, disminución de la calidad del combustible o desgaste de los mismos ventiladores (Hilton, 2000, p. 55).

2.2.9.1.1.2. Caja de aire

Es la parte por donde se recorre el aire que va del ventilador hacia los quemadores. (Hilton, 2000, p. 55).

2.2.9.1.1.3. Hogar de la caldera

Está constituido por una serie de tubos que forman las llamadas paredes de agua que le dan la forma y encierran la zona radiante de la caldera pues allí el calor es transmitido principalmente por radiación. Según la colocación de los quemadores el hogar de la caldera puede ser: (Hilton, 2000, p. 55).

- QUEMADORES

Son los elementos de la caldera encargados de suministrar y acondicionar el combustible para mezclarlo con el aire y obtener una buena combustión.

Deben producir una llama estable y uniforme de manera que se realice una cierta distribución en el hogar. (Hilton, 2000, p. 56).

Los quemadores de gas son perforados y por sus orificios de gas deben salir a una velocidad mayor que la del aire para asegurar una penetración íntegra del chorro del aire. (Hilton, 2000, p. 55).

En los quemadores de aceite, este debe ser atomizado para aumentar la superficie de contacto con el aire. La atomización se realiza generalmente con vapor, pero se puede utilizar aire también. Aunque el vapor produce una muy buena atomización, presenta como desventaja que causa un mayor contenido de agua en los gases de combustión y disminuye el punto de rocío de los gases, además representa consumo de vapor que no se recupera (Hilton, 2000, p. 55).

- CHIMENEA

Conducto por donde salen los gases de combustión.

2.2.9.1.1.4. Acceso básicos de una caldera

- a. Válvulas de seguridad.
- b. Válvulas de aguja o de purga.
- c. Válvulas de control.
- d. Válvulas de corte.
- e. Indicadores de temperatura.
- f. Indicadores de presión.
- g. Transmisores de flujo.
- h. Transmisores de nivel.
- i. Analizador de oxígeno.
- j. Foto celdas.
- k. Magnetrol. (Cortes)
- l. Mirillas.
- m. Indicadores de nivel. (Hilton, 2000, p. 89).

2.2.9.1.2. Clasificación de las calderas.

2.2.9.1.2.1. Atendiendo a su posición

- Horizontales, la mayor parte de calderos pirotubulares.
- Verticales, por ejemplo, los generadores de vapor recuperadores de calor (Hilton, 2000, p. 59).

2.2.9.1.2.2. Atendiendo a su instalación

- Fija o estacionaria. Están ancladas en un lugar fijo.
- Móviles o portátiles. Se les utiliza para el accionamiento del sistema de propulsión naval o en locomotoras antiguas. En algunos casos son calderas de pequeña capacidad que pueden trasladarse de un lugar a otro, generalmente operan con resistencias eléctricas (Hilton, 2000, p. 59).

2.2.9.1.2.3. Atendiendo la ubicación del hogar

- De hogar interior. La cámara de combustión se encuentra dentro del caldero.
- De hogar exterior. Existe una separación entre la cámara de combustión y la cámara de generador de vapor (Hilton, 2000, p. 59).

2.2.9.1.2.4. En función al fluido de trabajo

- Caldera de vapor: Es aquella caldera en el que el medio de transporte es vapor de agua.
- Caldera de agua caliente: Es aquella caldera cuyo medio de transporte es agua a temperatura inferior a 110 °C.
- Caldera de agua sobrecalentada: Es aquella caldera cuyo medio de transporte es agua a temperatura superior a 110 °C.
- Calderas de fluido térmico: El medio de transporte es fluido térmico (aceites, metales líquidos, dowtherm)
- Calderas de recuperación (GVRC o HRSG): Calderas de vapor utilizadas en las centrales de ciclo combinado, se caracterizan porque tienen doble o triple nivel de presión (Hilton, 2000, p. 65).

2.2.9.1.3. En función al contenido de los tubos

- Calderas pirotubulares: Los gases de la combustión circulan dentro de los tubos.
- Calderas acuotubulares: El agua circula dentro de los tubos (Hilton, 2000, p. 65).

2.2.9.1.3.1. En función a la presión de trabajo

- Calderas de calefacción de baja presión: Calderas de agua caliente hasta 11.25 Bar y hasta 125 °C, y Calderas de vapor hasta 1.5 Bar.
- Calderas de vapor de baja Presión: Hasta 4 a 5 atm.
- Calderas de vapor de Media Presión: Hasta 20 atm.
- Calderas de vapor de Alta presión: 20 atm a presiones críticas

- Calderas supercríticas: Más de 225 atm y 374 °C (Hilton, 2000, p. 66).

2.2.9.1.3.2. Con respecto a su forma de calefacción

- Cilíndrica sencilla de hogar exterior.
- Con tubo hogar (liso o corrugado).
- Con dos tubos hogares (liso o corrugado).
- Con tubos Galloway (calderas horizontales o verticales).
- Con tubos múltiples de humo (igneotubulares o pirotubulares).
- Con tubos múltiples de agua (hidrotubulares o acuotubulares).
- Con tubos múltiples de agua y tubos múltiples de humo (acuopirotubular o mixtas) (Hilton, 2000, p. 66).

2.2.9.1.3.3. Con respecto al volumen de agua que contienen en relación con su superficie de calefacción

Se entiende por superficie de calefacción (SC): La superficie total de planchas y tubos de la caldera que por un lado están en contacto con los gases y por el otro con el agua que se desea calentar. La superficie de calefacción se mide por el lado de los gases (Hilton, 2000, p. 70).

- De gran volumen de agua (más de 150 Ltrs. X m² de superficie de calefacción SC).
- De mediano volumen de agua (entre 70 y 150 Ltrs. X m² de SC).
- De pequeño volumen de agua (menos de 70 Ltrs. X m² de SC).

2.2.9.1.3.4. Según la circulación del agua dentro de una caldera

- Circulación natural: El agua circula por efecto térmico.
- Circulación forzada: El agua se hace circular mediante bombas (Hilton, 2000, p. 70).

2.2.9.1.3.5. Según el tipo de combustible

- De combustible sólido. Utiliza hogares con parrillas o pulverizadores de combustible sólido.
- De combustible líquido.
- De combustible gaseoso (Hilton, 2000, p. 70).

2.2.9.1.4. Tipos de calderas

2.2.9.1.4.1. Calderas Pirotubulares

En los primeros diseños, la caldera era simplemente un casco o tambor con una línea de alimentación y una salida de vapor montado sobre una caja o marco de ladrillos. El combustible era quemado sobre una parrilla debajo del casco y el calor liberado era aplicado directamente a su parte inferior antes de que los gases salieran por la chimenea (Hilton, 2000, p. 70).

Los diseñadores de calderas muy pronto aprendieron que calentar una gran masa de agua en un recipiente era notoriamente ineficiente, que era necesario poner una mayor porción de esa agua en contacto con el calor.

Una manera de lograr esto era dirigir los gases de la combustión dentro del recipiente o casco de la caldera. Este diseño dio origen a las calderas pirotubulares. Este nombre se debe a que en ellas el calor es transferido desde los gases de combustión, que fluye por el interior de los tubos, al agua que los rodea (Hilton, 2000, p. 75).

El combustible es normalmente quemado debajo del casco y los gases son orientados a entrar en los tubos que se hallan en el interior del tambor de agua, haciendo su recorrido en tres o más pasos. El vapor sale por la parte superior del tambor y la entrada de agua esta generalmente 2" por encima de la hueras de tubos más alta (Hilton, 2000, p. 75).

Las altas presiones son una de las mayores limitantes de estas calderas.

La fuerza que se ejerce a lo largo del tambor es dos veces la fuerza que se ejerce alrededor de la circunferencia. De lo anterior se deduce que para altas presiones y mayores capacidades se necesitarían paredes extremadamente gruesas, lo que las hace antieconómicas (Hilton, 2000, p. 110).

Aunque su gran capacidad de almacenamiento de agua de da habilidad para amortiguar el efecto de amplias y repentinas variaciones de carga, este mismo detalle hace que el tiempo requerido para llegar a la presión de operación desde un arranque en frío sea considerablemente más largo que para una caldera acuotubular (Hilton, 2000, p. 110).

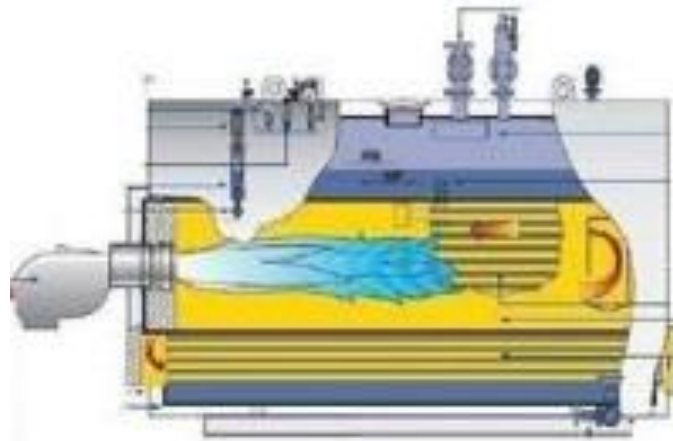


Figura 14. Caldera Pirotubular.

Fuente: ABSORSISTEM, S.L, 2019

Se caracterizan por disponer de tres partes bien definidas:

- Una caja de fuego donde va montado el hogar. Esta caja puede ser de sección rectangular o cilíndrica, es de doble pared, por lo que el hogar queda rodeado de una masa de agua.
- Un cuerpo cilíndrico atravesado, longitudinalmente, por tubos de pequeño diámetro, por cuyo interior circulan los gases calientes.

- Una caja de humos, que es la prolongación del cuerpo cilíndrico, a la cual llegan los gases después de pasar por el haz tubular, para salir hacia la chimenea. Estas calderas trabajan, casi siempre, con tiro forzado, el cual se consigue mediante un chorro de vapor de la misma caldera o utilizando vapor de escape de la máquina. (Absorsistem, s.f.).

Ventajas

- Menor coste inicial, debido a la simplicidad de diseño en comparación con las acuotubulares de igual capacidad.
- Mayor flexibilidad de operación, ya que el gran volumen de agua permite absorber fácilmente las fluctuaciones en la demanda.
- Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son eliminadas por las purgas.
- Facilidad de inspección, reparación y limpieza. (Absorsistem, s.f.).

Desventajas

- Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad.
- Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
- Gran peligro en caso de exposición o ruptura, debido al gran volumen de agua almacenado.
- No son empleadas para altas presiones. (Absorsistem, s.f.).

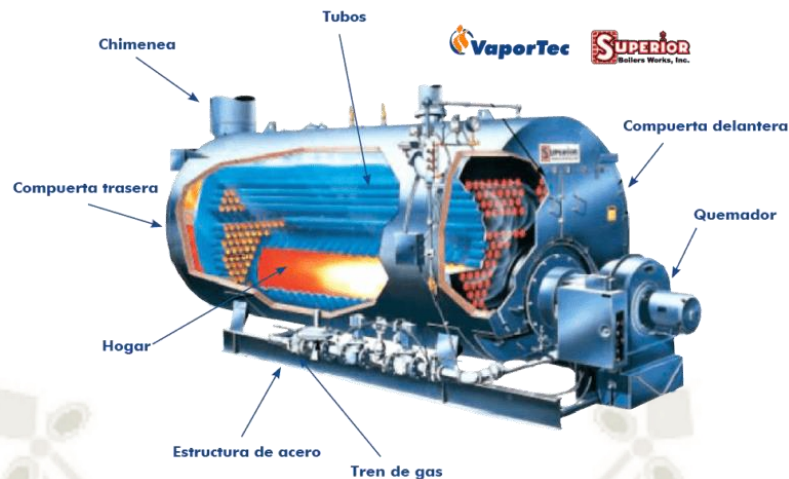


Figura 15. Partes de un caldero pirotubular.

Fuente: Superior Boiler Works, Inc, 2019

2.2.9.1.4.2. Calderas Acuotubular

Las calderas de tubos de agua tuvieron su origen a finales del siglo XVIII, pero el modelo original dista mucho de los diseños de hoy día. Una caldera acuotubular consta básicamente de tambores y de tubos. Los tubos a través de los cuales circula el agua y en los que circula el vapor generado están afuera de los tambores, estos son utilizados solo para almacenar agua y vapor, por lo que pueden ser mucho más pequeños en diámetro que el tambor de una caldera pirotubular y pueden soportar mayores presiones. (Hilton, 2000, p. 110).

2.2.9.1.5. Generador de vapor.

Cuando al agua se le comunica energía calorífica varía su entalpía y su estado físico.

A medida que tiene lugar el calentamiento, la temperatura del fluido aumenta y por lo regular su densidad disminuye. La rapidez de la vaporización depende de la velocidad con la cual se transmite el calor al agua y de su movimiento en el recipiente en donde está confinado.

El vapor así formado, si bien se halla en el estado gaseoso, no sigue enteramente las leyes de los gases perfectos.

La temperatura a la cual se produce la ebullición depende de la pureza del agua y de la presión absoluta ejercida sobre ella. Para el agua pura la temperatura de ebullición tiene un valor determinado para cada presión y es menor a bajas que a altas presiones. (Hilton, 2000, p. 110).

2.2.9.1.5.1. Vapor de agua saturado.

El vapor producido a la temperatura de ebullición correspondiente a su presión (absoluta) se denomina saturado. El vapor saturado puede estar exento completamente de partículas de agua sin vaporizar o puede llevarlas en suspensión. Por esta razón el vapor saturado puede ser seco o húmedo. (Hilton, p. 138).

2.2.9.2. Trampas de balde invertido

Las cuales poseen internamente una cubeta cilíndrica boyante volteada, siendo sus aplicaciones en botas colectoras de líneas de suministro de vapor, equipos de Proceso, cocinas de vapor, cubas calentadas por vapor, máquinas de prensado, precalentadores de aceite, convertidores, serpentines, tambores giratorios, equipos de lavandería, separadores de humedad, secadoras industriales y tanques de almacenamiento. (Vpica, s.f.).

2.2.9.3. Presostato

Un **presostato**, también conocido como **interruptor de presión**, es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido. (Vpica, s.f.).

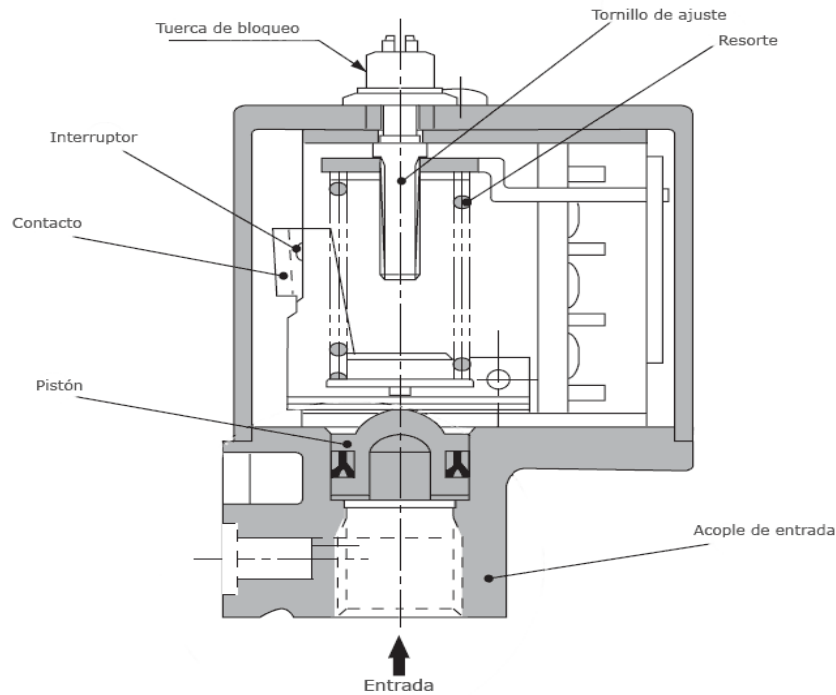


Figura 16. Partes de un presostato.

Fuente: Electronicasi, Madrid – España, 2019

2.2.9.3.1. Operación

El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja, un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan.

Un tornillo permite ajustar la sensibilidad de disparo del presostato al aplicar más o menos fuerza sobre el pistón a través del resorte. Usualmente tienen dos ajustes independientes: la presión de encendido y la presión de apagado.

No deben ser confundidos con los transductores de presión (medidores de presión); mientras estos últimos entregan una señal variable con base al rango de presión, los presostatos entregan una señal apagado/encendido únicamente. (Vpica, s.f.).

2.2.9.3.2. Tipos

Los tipos de presostatos varían dependiendo del rango de presión al que pueden ser ajustados, temperatura de trabajo y

el tipo de fluido que pueden medir. Puede haber varios tipos de presostatos:

- Presostato diferencial: Funciona según un rango de presiones, alta-baja, normalmente ajustable, que hace abrir o cerrar un circuito eléctrico que forma parte del circuito de mando de un elemento de accionamiento eléctrico, comúnmente motores.
- Alta diferencial: Cuando se supera la presión estipulada para el compresor, el rearme puede ser manual o automático.
- Baja diferencial: Cuando la presión baja más de lo estipulado para el compresor, el rearme puede ser manual o automático. (Vpica, s.f.).

2.2.9.3.3. Usos

Los usos son muy variados. Algunos ejemplos:

- La luz roja de falta de presión de aceite de un automóvil está conectada a un presostato
- La bomba de agua está controlada por un presostato en el sistema hidroneumático (hidráulico) de una casa
- Para proteger motores en refrigeración de falta de aceite, se utilizan presostatos diferenciales, cuando la presión de aceite se acerca a la presión del circuito detiene al motor. Al variar constantemente la presión del circuito la única forma de controlar la presión del aceite es compararla con la del circuito en ese momento, de esta manera el presostato actúa por diferencia de presiones y no por una presión fija.
- Para proteger máquinas de refrigeración de altas o bajas presiones. (Vpica, s.f.).

Los presostatos en general no tienen la capacidad para encender directamente el equipo que están controlando y se ayudan con un relevador o contactor eléctrico, no obstante en refrigeración es bastante común observar presostatos que comandan directamente compresores monofásicos sin pasar la potencia por un contactor o

relé. El encendido del aire acondicionado de un coche también va determinado por un presostato de alta cuando está en su funcionamiento completo a plena carga. (Vpica, s.f.).

2.3. Conceptualización de términos básicos.

- **Área de Transferencia:** Es el área o superficie por donde transita el calor debido a un gradiente de temperatura entre el sistema y el entorno.
- **Asme:** American Society of Mechanical Engineers es el conjunto de normas especificaciones, fórmulas de diseño y criterios basados en muchos años de experiencia, todo aplicado al diseño, fabricación, instalación, y recipientes sujetos a presión.
- **Caída de presión:** Es la pérdida de presión de un fluido desde un punto inicial a uno final cuando fluye por una tubería debido a factores como la fricción, accesorios entre otros aspectos operativos.
- **Calor:** Es la energía transferida a través de una frontera de un sistema debido a la diferencia de temperatura entre el sistema y el entorno del sistema, los sistemas no contienen calor, contienen energía, y el calor es una energía en tránsito.
- **Calor Latente:** Es la cantidad de energía necesaria para comunicar en forma de calor a una sustancia que se mantiene a presión constante para que cambie de fase.
- **Calor Sensible:** Es la cantidad de energía necesaria para comunicar en forma de calor a una sustancia que se mantiene a presión constante para que varíe su temperatura sin que haya cambio de fase.
- **Coefficiente de convección:** Es una función de la geometría del sistema, de las propiedades del fluido, de la velocidad del flujo y de la diferencia de temperaturas.
- **Flujo Laminar:** Es un flujo que tiene un movimiento ordenado, en el que las partículas del fluido se mueven en líneas paralelas (capas), sin que se produzca mezcla de la materia entre las distintas capas.
- **Flujo Másico:** Se llama flujo másico a la cantidad de masa que atraviesa una determinada superficie cada segundo y tiene unidades Kg/s, Lb/s.
- **Flujo Turbulento:** Es un flujo que tiene un movimiento caótico, desordenado con mezcla intensiva entre las distintas capas.

- **Haz de Tubos:** Es el elemento formado por un conjunto de tubos, situado en el interior de la coraza y orientado paralelamente a ella.
- **Lado Coraza:** Es llamado de esa forma al conjunto por donde circula el fluido que pasa por interior de los tubos de transferencia.
- **Lado Tubos:** Es llamado de esa forma a los conductos por donde circula el fluido que baña a los tubos de transferencia.
- **Nusselt:** El número de Nusselt (Un) es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre o fluye (por convección) comparada con la transferencia de calor si esta ocurriera solamente por conducción.
- **Prandtl:** El número de Prandtl (Pr) es un número adimensional proporcional al cociente entre la difusividad del momento (viscosidad) y la difusividad térmica.
- **Peligro:** Fuente, situación o acto con potencial de daño en términos de enfermedad o lesión a las personas, o una combinación de estos.
- **Reynolds:** El Reynolds es un número adimensional definida como la relación entre los términos conectivos y los términos viscosos de la ecuación de Navier-Stokes que gobiernan el movimiento de los fluidos.
- **Riesgo:** Es la probabilidad de ocurrencia de un evento que atente contra la integridad física, mental y/o social del sujeto expuesto causando accidente o enfermedad.
- **Seguridad Industrial:** Es la disciplina que se encarga de la conservación de la salud de la empresa (Industria).
- **Tema:** Tubular Exchangers Manufacturers Association es una norma internacional que tiene como finalidad regular los criterios de diseño y fabricación de los intercambiadores de casco y tubos.

2.4. Esquema conceptual

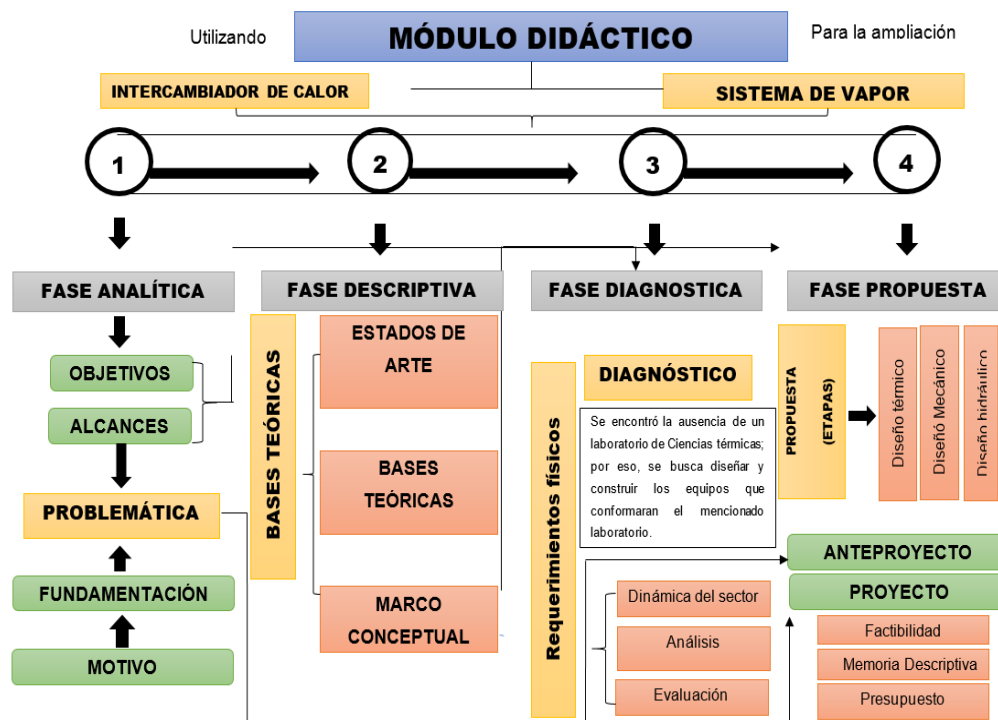


Figura 17. Esquema conceptual para la ampliación del Módulo Didáctico

Fuente: Elaboración Propia



Capítulo III

3. DISEÑO DEL MODULO

3.1. Propuesta de ampliación del sistema de vapor del laboratorio de termofluidos de la Universidad Católica de Santa María.

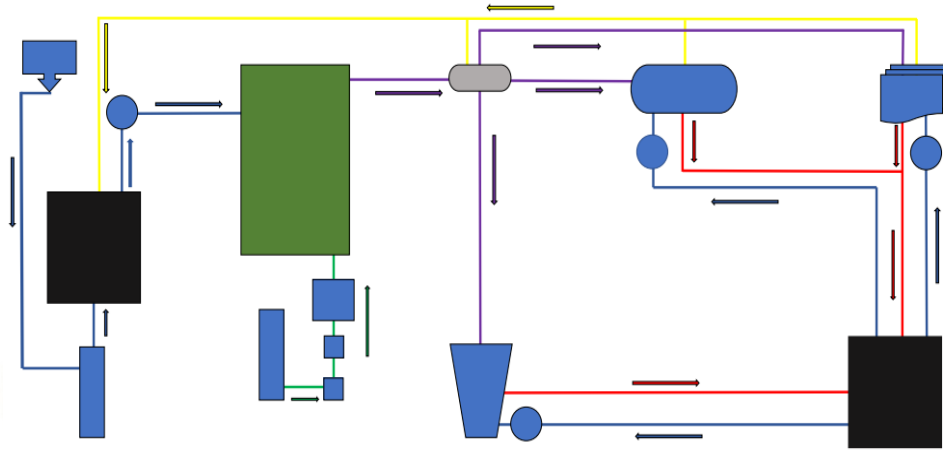


Figura 18. Diseño del intercambiador de coraza y tubos

Fuente: Elaboración por los autores



Figura 19. Leyenda de los materiales utilizados en la ampliación del sistema de vapor.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Diseño de Intercambiador de Calor

3.2.1. Diseño térmico

En tal sección lo que se hace es realizar un análisis termodinámico y de transferencia de calor en el intercambiador de coraza y tubos; es necesario conocer los coeficientes de transferencia de calor "h", para poder calcular la tasa de transferencia de calor gracias a un coeficiente

de transferencia global U ; es necesario tomar en cuenta las dimensiones del diseño, así como factores que puedan interferir en el flujo, como deflectores, espejos, rugosidad, etc.

Para dicho diseño el método a emplear fue el de la diferencia de temperaturas logarítmica (LTDM) el cual es más simple de utilizar para el diseño.

El primer paso es calcular el flujo másico del agua en la coraza:

Para el cálculo se utiliza las propiedades del vapor sacado de tablas a la temperatura de $T_{hs} = 117.5^{\circ}C$.

Para la determinación del flujo de calor requerido es necesario primero conocer el flujo másico del agua tomando en cuenta que esta se toma de una bomba de 0.5 hp se puede determinar la velocidad de la misma según el caudal con:

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{ec1}$$

El flujo de calor requerido es pues así:

$$q_i = m_i \times c_p \times \Delta T \quad \text{ec2}$$

El paso siguiente es determinar el h de la coraza:

Se determina el número de Reynolds según la ecuación:

$$R_{eD} = \frac{4 m_i}{\pi \times D \times \mu_f} \quad \text{ec3}$$

Nótese que los datos como densidad, viscosidad cinemática, número de Prandtl, calor específico, conductividad térmica etc. Son tomados de las tablas a la temperatura media que pasa por la coraza.

Ya calculado el número de Reynolds se procede a calcular el número de Nusselt,

$$N_{uD} = 0.023 \times P_r^{0.4} \times R_{eD}^{0.8} \quad \text{ec4}$$

$P_r^{0.4}$ Para el calentamiento

Con los datos necesarios se puede calcular el coeficiente de convección en la coraza:

$$h_i = \frac{KxNu_D}{D} \quad \text{ec5}$$

De manera similar se determina el h de los tubos:

Se determina el número de Reynolds según la ecuación:

$$R_{eD} = \frac{4m_i}{\pi x D x \mu_f} \quad \text{ec3}$$

Nótese que los datos como densidad, viscosidad cinemática, número de Prandt, calor específico, conductividad térmica etc. Son tomados de las tablas a la temperatura media que pasa por los tubos.

Ya calculado el número de Reynolds se procede a calcular el número de Nusselt,

$$N_{uD} = 0.023xP_r^{0.3}xR_{eD}^{0.8} \quad \text{ec6}$$

$P_r^{0.3}$ Para el enfriamiento

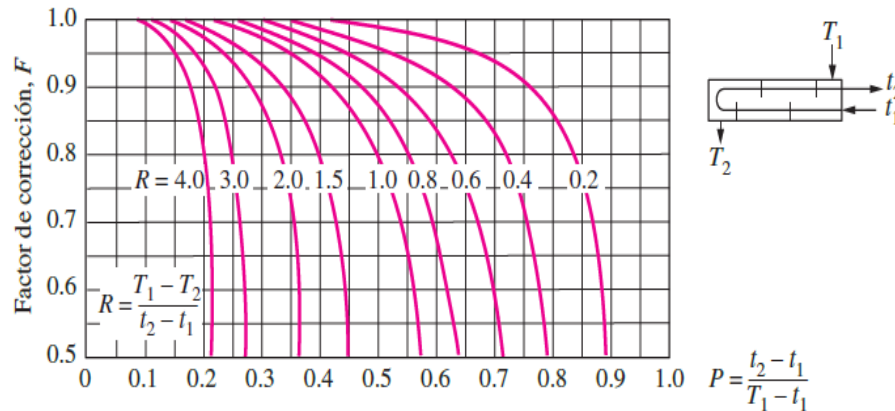
Con los datos necesarios se puede calcular el coeficiente de convección en los tubos:

$$h_i = \frac{KxNu_D}{D} \quad \text{ec5}$$

El factor de corrección para intercambiadores de coraza y tubos se obtiene:

$$R = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{T_{co} - T_{ci}} \quad \text{ec6}$$

$$P = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ci}} \quad \text{ec7}$$



a) Un paso por la coraza y 2, 4, 6, etc. (cualquier múltiplo de 2) pasos por los tubos

Figura 20. Factor de corrección para intercambiadores de coraza y tubos

Fuente: Yunus A. Cengel

Con los coeficientes de convección se determinados se procede al cálculo del coeficiente de calor global del intercambiador:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \quad \text{ec8}$$

A continuación, el cálculo de la diferencia media logarítmica de temperaturas según.

$$LTDM = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}} \quad \text{ec9}$$

Se calcula la longitud de los tubos para la transferencia calórica deseada:

$$L = \frac{q_i}{N_t \pi x D x F x U x LTDM} \quad \text{ec10}$$

Por último, se hace el recalcu de la longitud de los tubos tomando en cuenta el número de pasos y el área superficial:

DATOS NECESARIOS PARA LOS CÁLCULOS:

NÚMERO DE TUBOS Y DISPOSICIÓN:

Diámetro de la coraza:	$D_s = 39cm$
Diámetro interno de los tubos:	$D_{ti} = 21.34mm$
Diámetro externo de los tubos:	$D_{te} = 23.45mm$
Espesor del tubo:	$e = 2.11mm$
Conductividad térmica del tubo:	$K = 15.1W / m^{\circ}c$
Paso en el arreglo de los tubos:	$L_p = 5cm$

Longitud efectiva promedio de los tubos según el arreglo para la transferencia de calor: $L_e = 47.3cm$

Número de pasos en los tubos:	$N_p = 2$
Número total de tubos:	$N_{tt} = 15$
Número de arreglo de tubos:	$N_{at} = 6$

TEMPERATURAS:

Temperatura de entrada del agua a los tubos:

$$T_{co} = 17^{\circ}c$$

Temperatura de salida del agua en los tubos:

$$T_{ci} = 37^{\circ}c$$

Temperatura promedio del agua:

$$T_{cs} = 27^{\circ}c$$

Temperatura de entrada de vapor

$$T_{hi} = 125^{\circ}c$$

Temperatura de salida de vapor

$$T_{ho} = 110^{\circ}c$$

Propiedades del fluido en la coraza temperatura $T_s = 27^{\circ}c$

Diámetro de la llave: $1'' = 0.0254m$

Área de la boquilla: $5.067 \times 10^{-4} m^2$

Cálculo de la velocidad de vapor en los tubos:

Caudal aproximado de la llave de un grifo común: $40 \frac{l}{min}$ ó $6.67 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{6.67 m^3/s}{5.067 m^2}$$

$$v = 1.32 m/s$$

CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR:

Propiedades del agua a $T_s = 27^\circ c$

Densidad del agua

$$\rho_i = 996.59 kg/m^3$$

Calor específico:

$$c_p = 4179 J/Kg.^{\circ}c$$

Número de Prandt:

$$P_r = 5.83$$

Conductividad térmica:

$$K_i = 0.613 W/mK$$

Viscosidad cinemática:

$$u_i = 855 \times 10^{-6} N.s/m^2$$

Flujo másico:

$$\dot{m}_i = \rho_i \cdot v \cdot A$$

$$\dot{m} = 996.59 kg/m^3 \times 1.32 m/s \times 5.067 \times 10^{-4} m^2$$

$$\dot{m} = 0.67 \text{ kg/s}$$

Flujo de calor:

$$q_i = \dot{m}_i \times c_p \times \Delta T$$

$$q_i = 0.67 \text{ kg/s} \times 4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times 20^\circ\text{C}$$

$$q_i = 55998.6 \text{ W}$$

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN EN EL TANQUE

$$T_s = 27^\circ\text{C} :$$

Determinación del número de Reynolds:

$$\dot{m} = 0.67 \text{ kg/s}$$

$$D = 0.0254 \text{ m}$$

$$u_l = 855 \times 10^{-6} \text{ N.s/m}^2$$

$$R_{eD} = \frac{4 \dot{m}_i}{\pi \times D \times \mu_f}$$

$$R_{eD} = \frac{4 \times 0.67 \text{ kg/s}}{\pi \times 0.0254 \text{ m} \times 855 \times 10^{-6} \text{ N.s/m}^2}$$

$$R_{eD} = 39281.23$$

Número de Nusselt:

$$P_r = 5.83$$

$$N_{uD} = 0.023 \times P_r^{0.4} \times R_{eD}^{0.8}$$

$$N_{uD} = 0.023 \times 5.83^{0.4} \times 39281.23^{0.8}$$

$$N_{uD} = 220.47$$

Cálculo del coeficiente de convección en los tubos:

$$h_i = \frac{K \times N_{uD}}{D}$$

$$h_i = \frac{0.613W/mK \times 220.47}{0.39m}$$

$$h_i = 346.53W/m^2K$$

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN EN LOS TUBOS

$$T_s = 117.5^\circ c :$$

Propiedades del vapor saturado a $T_s = 117.5^\circ c$:

Calor específico:

$$c_p = 2104J/Kg.^{\circ}c$$

Número de Prandt:

$$P_r = 1.013$$

Conductividad térmica:

$$K_l = 26.3 \times 10^{-3} W/mK$$

Viscosidad cinemática:

$$u_l = 12.69 \times 10^{-6} N.s/m^2$$

Determinación del número de Reynolds:

$$q_i = \dot{m}_v \times c_p \times \Delta T$$

$$q_i = 55998.6W$$

$$\dot{m}_v = \frac{q}{c_p \times \Delta T}$$

$$\dot{m}_v = \frac{55998.6W}{2.104 Kj/Kg^{\circ}c \times 15^{\circ}c}$$

$$\dot{m} = 1.774 kg/s$$

$$D = 0.02134m$$

$$u_v = 12.69 \times 10^{-6} N.s/m^2$$

$$R_{eD} = \frac{4m_i}{\pi x D x \mu_f}$$

$$R_{eD} = \frac{4x1.774kg/s}{\pi x 0.02134m x 12.69x10^{-6} N.s/m^2}$$

$$R_{eD} = 8340799.79$$

Número de Nusselt:

$$P_r = 1.013$$

$$N_{uD} = 0.023xP_r^{0.3} xR_{eD}^{0.8}$$

$$N_{uD} = 0.023x1.013^{0.3} x8340799.79^{0.8}$$

$$N_{uD} = 7950.18$$

Cálculo del coeficiente de convección en los tubos:

$$h_i = \frac{KxN_{uD}}{D}$$

$$h_i = \frac{26.3x10^{-3} W/mK x 7950.18}{0.02134m}$$

$$h_i = 9798.02W/m^2K$$

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{346.53W/m^2\text{ }^\circ c} + \frac{1}{9798.02W/m^2\text{ }^\circ c}}$$

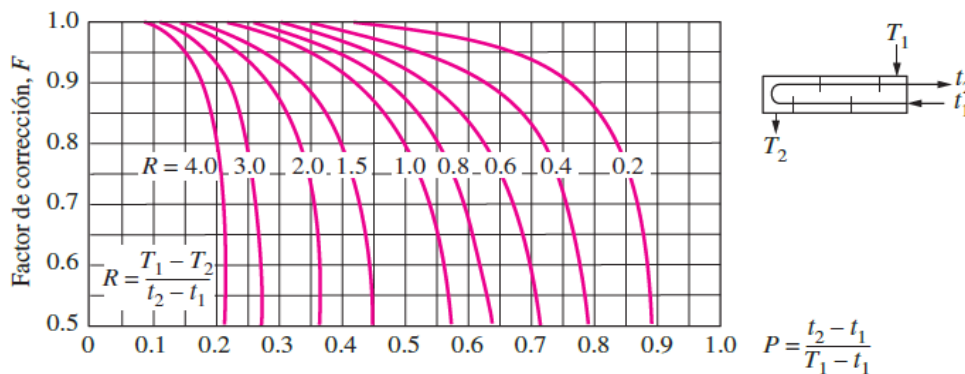
$$U = 334.69W/m^2\text{ }^\circ c$$

El factor de corrección para intercambiadores de coraza y tubos se obtiene:

$$R = \frac{125 - 110}{37 - 17} = 0.75$$

$$P = \frac{37 - 17}{125 - 17} = 0.19$$

$$F \cong 1$$



a) Un paso por la coraza y 2, 4, 6, etc. (cualquier múltiplo de 2) pasos por los tubos

Figura 21. Factor de corrección para intercambiadores de coraza y tubos

Fuente: Yunus A. Cengel

DIFERENCIA MEDIA LOGARÍTMICA DE TEMPERATURAS:

T_{hi} y T_{ho} temperatura de entrada y de salida del fluido caliente, entregado por la caldera $125^{\circ}c$ y $110^{\circ}c$

$$T_{ci} = 17^{\circ}c$$

$$T_{co} = 37^{\circ}c$$

$$LTDM = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})}}$$

$$LTDM = \frac{(125 - 37) - (110 - 17)}{\ln \frac{(125 - 37)}{(110 - 17)}}$$

$$LTDM = 90.48^{\circ} c$$

Longitud de un solo tubo:

$$L = \frac{q_i}{N_u \times \pi \times D \times U \times LTDM}$$

$$L = \frac{55998.6W}{15 \times \pi \times 0.02134m \times 334.69W/m^2 \cdot ^{\circ}c \times 90.48^{\circ}c \times 1}$$

$$L = 1.84m$$

Cálculo de la longitud de los tubos tomando en cuenta el número de pasos:

$$\frac{L}{M} = \frac{1.84}{2} = 0.92m$$

La longitud media de los tubos es de 92 cm aproximadamente, en el arreglo del intercambiador se puede notar que los tubos tienen una longitud de 88 cm, por lo que se concluye que el diseño térmico es correcto.

Nota:

Algunas consideraciones a tomar en cuenta en el diseño de este intercambiador incluyen la toma de la longitud más larga de los tubos para un análisis mejor del flujo de calor; tanto deflector, espejos y demás geometría no se consideró ya que por la coraza transcurre el fluido líquido, y debido al diámetro de la misma se puede suponer un flujo laminar que abarca toda la estructura. Los cambios pequeños en la geometría del intercambiador hacen que este varíe un poco los parámetros como temperatura del fluido y flujo másico, con lo que se podría hacer la comparación para un análisis más profundo con las guías de laboratorio.

3.2.2. Diseño mecánico

Para los presentes cálculos se utilizará el siguiente código ASME que es el más acorde al diseño de intercambiadores del tipo: coraza y tubos.

ASME Boiler and Pressure Vessels Code (Código para Calderas y Recipientes a Presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

Los siguientes códigos se aplicarán teniendo en cuenta un criterio analítico para la interpretación adecuada en el diseño del mismo y de ser necesario se utilizarán los factores de corrección necesarios a fin de lograr los resultados esperados.

También existen las normas “TEMA” (Standard of Tubular Exchangers Manufactures Association) cuya finalidad es regular los criterios de diseño y todos estos criterios regularan el diseño y fabricación del presente intercambiadores de calor.

Un intercambiador de calor de coraza y tubos es un arreglo de elementos (coraza, placas y tubos), los cuales están ensamblados para su correcto funcionamiento. Y se debe analizar por separado cada uno de ellos a fin de poder analizar los efectos de las fuerzas, tensiones y deformaciones a que se encuentran sometidos.

Se tomará como premisa un arreglo específico para el intercambiador de calor de coraza y tubos y en función de este arreglo se realizarán los cálculos de cada uno de los elementos para iniciar el diseño del mismo. Uno de los principales cálculos se refiere a determinar el espesor de los componentes, ya que el espesor de estos está directamente relacionado con el esfuerzo que es capaz de soportar.

La geometría de estos es otro factor importante a tomar en cuenta a la hora de realizar el diseño, se debe buscar una geometría adecuada a fin de maximizar las áreas de contacto para tener una mayor eficiencia, otro punto a tomar en cuenta en tanto a la geometría se refiere a los espacios para los componentes y minimizar estos a fin de no elevar los costos y sea poco rentable.

Dentro de estos cálculos también se debe tomar en cuenta la forma de ensamblaje, es decir determinar el tipo de unión entre cada uno de los componentes, es decir, determinar si serán soldados, empernados, etc. Además, se recomienda que se realicen las pruebas necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes, además de su funcionamiento en conjunto.

A continuación, se realizarán los cálculos y se mostrarán los criterios de selección de cada uno de los componentes del intercambiador de coraza y tubos.

3.2.2.1. Cálculo mecánico para los Tubos

El arreglo de los tubos forma la parte más importante de este diseño ya que varias de sus características se describen directamente sobre la eficiencia del intercambiador de calor.

Tanto el diámetro como la longitud de los tubos deben calcularse de forma adecuada porque como se mencionó anteriormente depende de estas que se obtengan los resultados esperados, sin olvidar que el espesor de estos juega también un papel trascendental dentro de las características de este proyecto.

El espesor de los tubos ya fue determinado con anterioridad dentro de los cálculos térmicos.

Por lo que en esta sección se comprobará el valor obtenido anteriormente para determinar si este cumple con las especificaciones necesarias para soportar las presiones internas a las cuales será sometido.

De acuerdo a:

ASME Boiler and Pressure Vessels Code (Código para Calderas y Recipientes a Presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

Sección VIII, UG-31, **Ec. (2.115)**

El mínimo espesor requerido está determinado en ASME sección VIII, UG-31, **Ec. (2.115)**

$$T=PR/ (SE-0.6P)$$

P: Presión interna de diseño.

R: Radio interno de los tubos.

S: Esfuerzo disponible máximo del material de los tubos.

E: Eficiencia de la junta. E = 1, para tubo sin costura.

Al realizar los cálculos:

$$T= 3.420*10.56/(49*1-0.6-5.83)$$

$$T= 2.05\text{mm}$$

El cual se encuentra por debajo del valor $e=2.11\text{mm}$ que es espesor que se va a utilizar por tanto es un valor aceptable, el cual se encuentra dentro del rango permisible.

3.2.2.2. **Cálculo mecánico para la coraza**

La definición del elemento en cuestión se encuentra detallada dentro del capítulo del marco teórico debido a los esfuerzos a los que es sometida la coraza se debe contar con un espesor cilíndrico (t) mayor al requerido sin contar con el requerimiento de espesor por efecto de la corrosión, el cual debe ser de un valor mayor entre los calculados debido a esfuerzos longitudinales y esfuerzos circunferenciales obtenidos con las fórmulas establecidas en ASME sección VIII UG-27, en términos de las dimensiones internas del recipiente.

El Esfuerzo circunferencial (junta longitudinal). Cuando P no excede de 0.385 S.E.

$$T=PR/ (SE-0.6P)$$

El Esfuerzos longitudinales (junta circunferencial). Cuando P no excede de 1.25 S.E.

$$T=PR/ (2SE-0.4P)$$

Donde:

P: Presión interna de diseño.

R: Radio interno de la coraza.

S: Esfuerzo disponible máximo del material de la coraza.

E: Eficiencia de la junta, para tubo sin costura $E = 1$.

Al espesor determinado le sumamos 3 mm, por efecto de la corrosión. El canal también es una coraza cilíndrica por lo tanto deberá calcularse su espesor, si es menor que el espesor de la coraza, admitir el espesor de la coraza.

3.2.2.3. Espejos

El presente diseño no ha considerado espejos debido a las dimensiones del intercambiador, además sin hacer uso de estos se logró obtener un flujo turbulento y un área de transferencia de calor aceptable para el diseño.

3.2.2.4. Tapas

En la parte posterior no presenta costuras es por eso que no se considera en los cálculos mecánicos para esta sección en la tapa frontal se calculara el número de pernos necesarios.

De acuerdo a la presión de trabajo

$$P=40\text{psi}$$

$$F=8\text{lb}$$

$$P=f \cdot A$$

$$40=8\text{lb} \cdot A$$

$$A= 5\text{pulg}^2$$

Se consideran 8 pernos de 5/8 pulgadas. Los cuales cumplen con la exigencia de la presión.

3.2.3. Diseño hidráulico

Para este diseño se tomó en consideración la caída de presión, así como la velocidad del vapor y su flujo másico el rango permitido no debe exceder la velocidad de 30m/s y la caída de presión no debe exceder el 10% ; estos parámetros deberán ser calculados en el accesorio (entrada

y salida del vapor) ya que es aquí donde se podría producir la falla más crítica.

Primero se calcula el flujo másico en la conexión a la salida del vapor:

$$\dot{m}_v = \frac{q_i}{h_2 - h_1} \quad \text{ec1}$$

Luego el área en el accesorio:

$$A_a = \pi r^2 \quad \text{ec2}$$

Y con estos datos procedemos a calcular la velocidad de salida del vapor procurando que no exceda el rango permitido:

$$V_v = \frac{\dot{m}_v}{A_a \rho_v 3600} \quad \text{ec3}$$

A continuación, se calcula la caída de presión en el accesorio:

$$DP = \frac{53.954 \times \dot{m}_v}{\rho_v (d_{ai} \times 10^5)} \quad \text{ec4}$$

Y por último el porcentaje de caída de presión total procurando que este no exceda el 10%

$$DT = \frac{DP \times L_a}{30.48} \quad \text{ec5}$$

Si en caso alguno de los cálculos excediera el máximo permisible, se debe recalcular con un nuevo accesorio.

DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO:

Flujo de calor: $q_i = 55998.6W$

Entalpía de saturación de vapor a la presión de 40psi

$$h_{sat} = 2706.7 \text{ kJ/kg}$$

Diámetro exterior del accesorio: $d_{ae} = 23.45mm$

Espesor del accesorio: $e = 2.11mm$

Diámetro interior del accesorio: $d_{ai} = 21.34mm$

Longitud del tubo: $L_a = 1.8m$

Cálculo de la velocidad de salida de vapor:

Conexión a la salida del vapor:

$$\dot{m}_v = \frac{q_i}{h_2 - h_1}$$

$$m_v = \frac{q_i}{h_{sat}}$$

$$m_v = \frac{20059.2W}{2706.7 kJ/kg}$$

$$\dot{m}_v = 0.00741 kg/s$$

$$m_v = 26.68 kg/h$$

Datos del accesorio de paso de vapor al tanque:

$$d_{ae} = 23.45mm$$

$$e = 2.11mm$$

$$d_{ai} = 21.34mm$$

$$A_a = \pi r^2$$

$$A_a = \pi x \left(\frac{0.02134m}{2} \right)^2$$

$$A_a = 0.00036m^2$$

Cálculo de la velocidad de salida de vapor:

$$V_v = \frac{\dot{m}_v}{A_a \rho_v 3600}$$

$$V_v = \frac{26.68 \text{ kg/h}}{0.00036 \text{ m}^2 \times 1.3085 \text{ kg/m}^3 \times 3600}$$

$$V_v = 15.73 \text{ m/s}$$

Al ser esta velocidad menor a la máxima permisible, se concluye que el diámetro no debe ser recalculado.

CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN LA CONEXIÓN DE SALIDA DEL VAPOR:

$$DP = \frac{53.954 \times m_v}{\rho_v (d_{ai} \times 10^5)}$$

$$DP = \frac{53,954 \times 26.68 \text{ kg/h}}{1.3085 \text{ kg/m}^3 (0.02134 \text{ m} \times 10^5)}$$

$$DP = 0.52$$

$$DT = \frac{DP \times L_a}{30.48}$$

$$DT = \frac{0.52 \times 1.8}{30.48}$$

$$DT = 0.0307$$

$$\% \text{ presion} = \frac{DT}{P}$$

$$\% \text{ presion} = \frac{0.0307}{40} \times 100$$

$$\% \text{ presion} = 0.076\%$$

Al ser un porcentaje de caída de presión tan bajo, no es necesario hacer el cálculo nuevamente.

3.3. Materiales a utilizar para la ampliación del sistema de vapor

- **Caldera:** Se utilizó una caldera de una presión máxima de 75 psig, con una potencia de 6.8 BHP, la cual utiliza combustible gaseoso como el propano, GLP o gas natural.
- **Intercambiador de placas:** Se utilizó un intercambiador de calor de placas paralelas Alfa Laval de la serie M10. Con una presión de 40 PSI.
- **Banco de pruebas de trampas:** se utilizó un banco de trampas con un rango de presiones de 10PSI a 30 PSI.

3.4. Instalación del sistema de vapor

A continuación se relata el proceso de instalación con fotografías de cada etapa importante.

Primero se identificaron los equipos, módulos y elementos principales, estos se encontraban en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María.

Los elementos se mencionaran a continuación:

- Caldera Piro-tubular de 7 CV.
- Módulo de trampas de vapor.
- Módulo de intercambiador de calor de placas.
- Manifold.
- Quemador.
- Tanque rotoplas.
- Balón de gas.
- Ablandador.



Figura 22. Caldera Pirotubular de 7 CV

Fuente: Elaboración Propia



Figura 23. Módulo de trampas de vapor

Fuente: Elaboración Propia



Figura 24. Módulo de intercambiador de calor de placas

Fuente: Elaboración Propia



Figura 25. Manifold

Fuente: Elaboración Propia



Figura 26. Quemador

Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó la inspección y distribución del área otorgada por la Universidad Católica de Santa María para el montaje del sistema de vapor.

Se realizó el mantenimiento e inspección del quemador, posteriormente se adicionaron dos válvulas solenoides en paralelo en la entrada del mismo. Finalmente, se realizó la instalación del quemador en la caldera.

Se realizó el ensamble de la columna de agua junto con un manómetro y un presostato para su posterior montaje en la caldera. La unión de dichos equipos y accesorios se realizó mediante niples y tuberías.

Se realizó la instalación del tablero de control en la caldera. Posteriormente se realizó el cableado y conexionado con la bomba de 1/2 HP, el presostato y la columna de agua.

Se realizó el conexionado del manifold con la caldera mediante tubería de acero SCH 40 de 3/4". Se realizó la instalación de una manguera resistente al calor para la salida del manifold el cual se dirige al tanque rotoplas, la salida del manifold cuenta con una válvula de bola y una trampa dinámica.

Se realizó el conexionado del manifold con los tres módulos del sistema de vapor mediante tubería de acero SCH 40 de 3/4". El manifold cuenta con un termómetro y válvulas para la entrada y salida del vapor.



Figura 27. Instalación de sistema de automatización de caldera

Fuente: Elaboración Propia



Figura 28. Instalación de línea de vapor

Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó la instalación de la línea de alimentación de agua, se conectó una manguera desde la red de agua del laboratorio de termofuidos de la Universidad Católica de Santa María hacia el ablandador.

Se realizó la instalación desde el ablandador hacia el tanque rotoplas mediante tubería hidro 3 de 3/4". Finalmente se instaló una tubería de hidro 3 de 1" desde el tanque rotoplas hacia la bomba de 1/2 HP de la caldera.

Se realizó la instalación de la línea de gas haciendo uso de una manguera de gas, la cual conecta el balón de GLP hacia un regulador de GLP de primera etapa el cual está conectado al regulador de GLP de segunda etapa y a su vez al quemador.

Se realizó la instalación de la línea de alimentación de agua de los módulos de sistema de vapor haciendo uso de tuberías hidro 3 de 1", codos, tees y válvulas de bolas. La línea tiene un recorrido desde el tanque rotoplas hacia las bombas de 1/2 HP de cada módulo.

Se realizó la instalación de la línea de descarga de agua de los módulos de sistema de vapor haciendo uso de tuberías hidro 3 de 3/4", codos, tees y válvulas de bolas. La línea tiene un recorrido desde los módulos hacia el tanque rotoplas.



Figura 29. Instalación de sistema de vapor

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Construcción del intercambiador de calor de coraza y tubos

A continuación se relata el proceso de construcción con fotografías de cada etapa importante.

Nuestro módulo de intercambiador de coraza y tubos se divide en 3 partes importantes:

- Coraza.
- Haz de tubos.
- Cabezal separador de vapor y condensado.

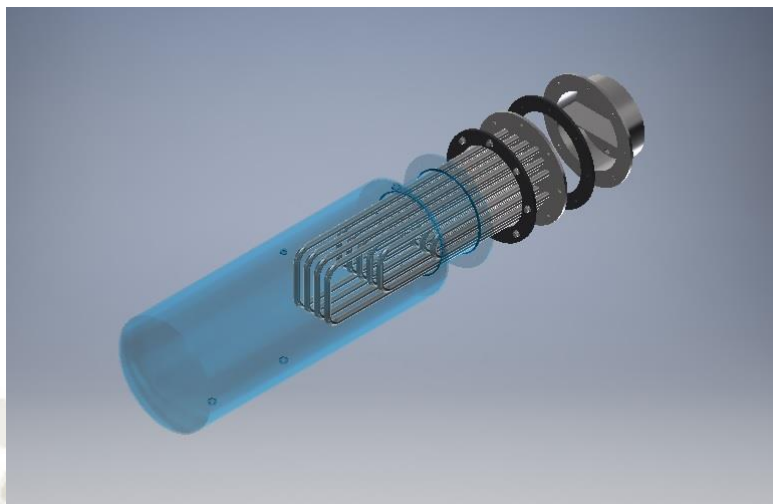


Figura 30. Intercambiador de calor de coraza y tubos

Fuente: Elaboración Propia

Primero se armó la coraza rolando la plancha y soldándola longitudinal y circunferencialmente. Posteriormente se realizaron perforaciones y se les soldaron niples para el ingreso, salida y purga del agua además se realizó un hueco adicional para la instalación de un manómetro para monitorear la presión del tanque. Posteriormente se realizó el trazo y perforación de los agujeros en la base circular con perforaciones para la instalación del haz de tubos.



Figura 31. Perforación de la base para haz de tubos

Fuente: Elaboración Propia

Luego, Se realizó el doblado de los tubos para las dos primeras filas y para la tercera fila se realizó el soldeo de codos con tuberías rectas para obtener las líneas de vapor y condensado del intercambiador.



Figura 32. Haz de tubos para línea de vapor y condensado

Fuente: Elaboración Propia

Después se colocó el haz de tubos en la brida con una base circular para el posterior soldeo de los mismos.



Figura 33. Instalación de haz de tubos en base circular

Fuente: Elaboración Propia



Figura 34. Haz de tubos soldados en base circular

Fuente: Elaboración Propia

Después se instaló el haz de tubos con su base circular al cabezal separador de vapor y condensado, el cual anteriormente también fue rolado y soldado longitudinal y circunferencialmente junto a una tapa que contaba con dos niples uno para la entrada de vapor que proviene del manifold y el otro para la salida del condensado hacia el tanque de recepción de condensados.

Entre las uniones bridadas se colocó un empaque de neopreno para asegurar el sellado de las uniones.



Figura 35. Instalación de cabezal y haz de tubos para línea de vapor

Fuente: Elaboración Propia

Después se realizó la unión de la coraza con la tapa y el haz de tubos de la línea de vapor colocando en el medio de las uniones bridadas un empaque de neopreno, se colocaron pernos y volandas los cuales fueron ajustados haciendo uso de llaves mixtas.



Figura 36. Instalación de intercambiador de calor de coraza y tubos

Fuente: Elaboración Propia

Cuando se culminó con el montaje de todos los elementos del intercambiador se procedió a realizar la prueba hidrostática que consistió en llenar el intercambiador de calor de coraza y tubos con agua y presurizar hasta 130 psi.



Figura 37. Prueba hidrostática

Fuente: Elaboración Propia

Una vez terminadas las pruebas hidrostáticas se procedió a realizar el pintado del módulo con pintura epóxica.

Una vez que el equipo se ubicó en el laboratorio de Termofluidos de la Universidad Católica de Santa María se procedió a realizar el conexionado de todos los accesorios y líneas de trabajo del equipo.

Se realizó la conexión de la línea de vapor de 3/4" de cedula 40 proveniente del manifold hacia zona de vapor del cabezal separador de vapor y condensado del equipo.

Se realizó la conexión de la línea de descarga de condensado 1/2" de cedula 40 que se conecta con una válvula de bola de 1/2" la que se conecta a una trampa de balde invertido de 1/2" que se conecta a una línea de manguera resistente al calor de 1/2" que descarga en el tanque de almacenamiento de condensados y agua de red.

Se realizó la instalación de una bomba periférica de 1/2 hp con protección térmica incorporada la cual se conecta mediante una línea de succión de 1" de Hidro 3 al tanque de almacenamiento y descarga de agua.

Se realizó la conexión de la bomba con la línea de alimentación de 1" de tubería galvanizada en la que se encuentra un termostato de inox para visualizar la temperatura con la que el agua ingresa a nuestro equipo.

Se realizó la conexión de la línea de descarga de agua del módulo con una tubería galvanizada de 1" la que se conecta a un termómetro de inox para visualizar la temperatura con la que sale el agua de nuestro equipo esta línea se conecta mediante un reductor a una línea de 3/4" de Hidro 3 que se dirige hacia el tanque de almacenamiento y descarga de agua.

Se realizó la instalación de un manómetro en la parte superior de la coraza para visualizar la presión con la que trabaja la coraza de nuestro módulo.

Todos los accesorios y líneas de trabajo fueron instalados con teflón y formador de empaquetadura para su correcta hermetización.



Figura 38. Conexión de intercambiador de calor de corza y tubos.

Fuente: Elaboración Propia

3.5. Funcionamiento del sistema de vapor

El tanque rotoplas sirve para almacenar agua y recepcionar el condensado del intercambiador de calor de placas, intercambiador de calor de coraza y tubos y del manifold.

El agua es tomada de la red doméstica, la cual pasa por un filtro (ablandador) seguidamente va al tanque rotoplas. La bomba alimenta a la caldera con el agua previamente ablandada del tanque rotoplas.

La caldera trabaja con un balón de GLP de 100 libras que tiene una presión de 100 psi inicialmente, seguidamente pasa por un regulador de primera etapa que reduce la presión a 8 psi. Finalmente, pasa por un regulador de segunda etapa que reduce la presión de 1/2 psi, presión con la que trabaja el quemador de la caldera.

La caldera cuenta con una columna de nivel de agua McDonnell, la cual controla a través del tablero eléctrico al quemador y a la bomba de abastecimiento. Cuenta con dos switch diferenciados que al bajar el nivel del agua se prende enciende la bomba, la que se encargara de proveer el agua a la caldera.

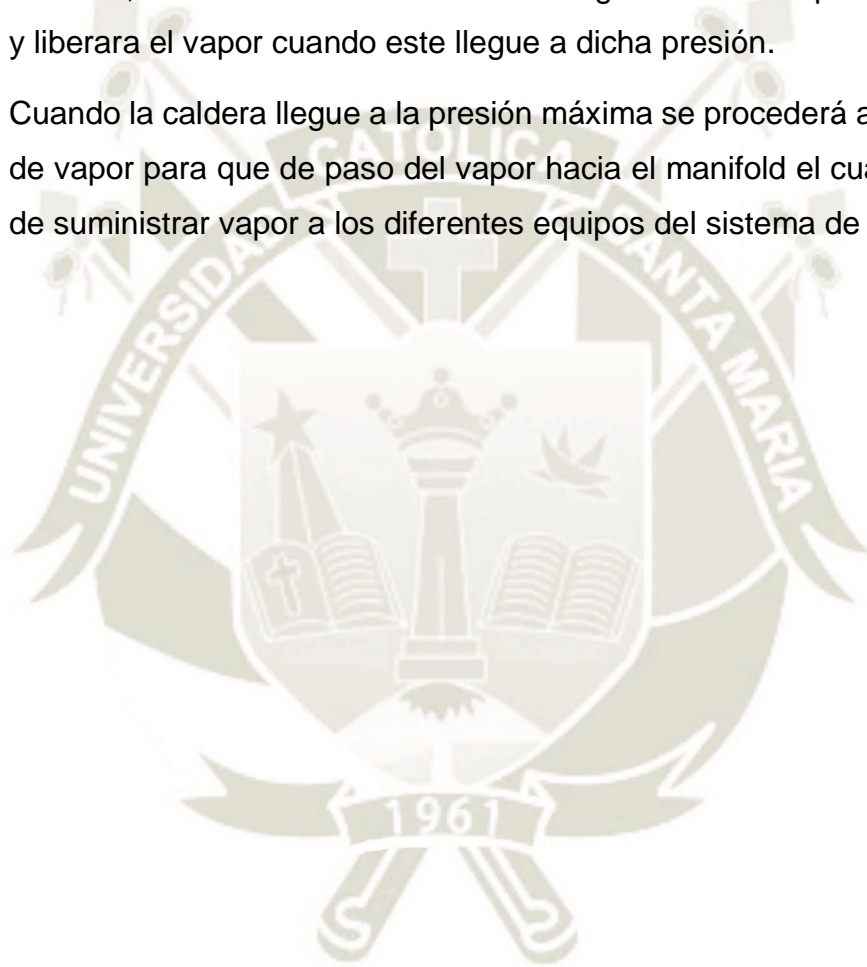
En caso el nivel del agua disminuya, la columna de nivel de agua McDonnell apagará inmediatamente el quemador y encenderá la bomba para que abastezca de agua a la caldera.

La caldera también cuenta con un presostato para el control de la presión del sistema, el presostato está seteado a una presión de trabajo de 40 psi y un diferencial de más menos 8.

Lo que significa que cuando la caldera se encuentre a una presión de 40 psi la columna de nivel de agua McDonnell apagará el quemador y volverá a encender el mismo cuando la presión haya llegado a 32 psi.

Además, se cuenta con una válvula de seguridad de 100 psi la cual se abrirá y liberará el vapor cuando este llegue a dicha presión.

Cuando la caldera llegue a la presión máxima se procederá a abrir la válvula de vapor para que de paso del vapor hacia el manifold el cual se encargará de suministrar vapor a los diferentes equipos del sistema de vapor.





Capítulo IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Pruebas realizadas

4.1.1. Operación durante pruebas

4.1.1.1. Instrucciones de operación

Cada vez que se encienda la caldera, debe prestarse una especial atención esto con el fin de asegurarse de que no existan pérdidas de gas (combustible) en la sala en que se encuentra instalada la misma; si ello sucediera, deberán cerrarse todas las llaves de gas y avisar en forma inmediata al personal autorizado. (No encender ningún interruptor eléctrico en caso sea caldera a gas). Las instrucciones de encendido del quemador se encuentran adosadas al mismo (Bastilla, Cuadrado, & Reyes, 2011, 180).

Si se notara la existencia de pérdida de agua en la caldera o en las cañerías que la conforman deberá procederse al apagado de la misma y solicitar la presencia del Servicio Autorizado.

Antes de poner en servicio el quemador es necesario observar las siguientes recomendaciones.

- a) Las tuercas de cierre de la puerta frontal se deben encontrar ajustadas, logrando con ello una perfecta estanquidad.
- b) Comprobar que el nivel de agua de la caldera sea el correcto.
- c) Cuando se proceda a encender el quemador, deberá colocarse la llave de encendido en la posición "ON". El ventilador comenzará a funcionar, realizando un barrido en el hogar de la caldera que durar de 8 a 10 segundos; luego se abrirá automáticamente la válvula solenoide y se producirá el encendido por medio de la chispa de una bujía, proveniente de un transformador.
- d) En caso que durante el intento de encendido del quemador no aparezca la llama o no puede ser verificado el control electrónico, este pasara a "bloqueo por seguridad" luego de 3 segundos. Desde la apertura de la válvula solenoide. En este caso se cerrará automáticamente las válvulas solenoides. Debiéndose oprimir el botón de reset del control electrónico, para reiniciar el encendido.

- e) Si el quemador no encendiera, este no deberá forzarse o tratar de encenderse por otros medios que no sean los indicados en las instrucciones, debido a que ello estaría provocado por un desperfecto que deberá solucionar el Service Autorizado.
- f) La válvula de descarga (purga de fondo) de la caldera deberá abrirse una vez por día, de 3 a 4 segundos con la caldera en funcionamiento y con la presión de vapor correspondiente a la normal de trabajo, a los efectos de realizar la limpieza de fondo y eliminar todos los sedimentos.
- g) La válvula de drenaje (columna de nivel) del equipo de encendido de la electrobomba y de corte del quemador por falta de agua, deberá abrirse una vez por día, con el objeto de eliminar los lodos y sedimentos que se depositan en el mencionado equipo, y simultáneamente controlar el buen funcionamiento del mismo, pues deberá ponerse en funcionamiento la electro bomba de inyección de agua a la caldera, cuando descienda el nivel de agua de equipo, como consecuencia del drenaje que está realizando.
- h) Al comprobar que al descender el nivel de agua en el equipo la electro bomba se pone en funcionamiento, entonces deberá procederse al apagado eléctrico de la misma y continuar con el drenado del equipo hasta que se produzca la detención de la marcha del quemador.
- i) Es importante controlar en forma periódica que la presión del vapor que originan el apagado y encendido del quemador sean la mismas a través del tiempo, debido a ello indicará normal funcionamiento de los presostatos.
- j) Las válvulas de seguridad deberán ser controladas una vez cada siete días. Se procederá a abrirlas manualmente observando que permitan una correcta salida de vapor. Esta operación además contribuirá a mantener limpia las mencionadas válvulas.

IMPORTANTE:

Si por fallas en los equipos, la caldera se quedara sin nivel de agua, no deberá agregarse agua, sin dejar antes enfriar un mínimo de 10

horas. Tener especial cuidado luego de realizarse cortes de agua o luz programados o no programados.

4.1.1.2. Instrucciones para el mantenimiento

Es muy importante que usted no olvide que un apropiado y buen mantenimiento de la caldera prolongara su vida útil.

Ante cualquier duda consultar con el servicio autorizado. Sin este mantenimiento, la caldera quedara fuera de garantía.

Una vez al año realizar las siguientes inspecciones:

- a) Control del sistema de combustión.
- b) Control de los presostatos.
- c) Control del equipo de encendido de la electrobomba y de corte del quemador por falta de agua.
- d) Verificación del buen funcionamiento de la electrobomba de inyección de agua.
- e) Control de la válvula de seguridad.
- f) Verificación del sistema eléctrico.
- g) Verificación de la temperatura de salida de los gases de combustión.
- h) Análisis químico de los gases de combustión.
- i) Análisis del agua de alimentación de la caldera
- j) Verificación del estado del material aislante y refractario de la puerta de la caldera.

Detallamos a continuación los cuidados y trabajos que deberán realizarse:

- El control del sistema de combustión consiste en realizar una revisión de todos y cada uno de los elementos que componen el quemador y el sistema de seguridad de detección de la llama.

- Verificar que el sistema de aire se encuentre trabajando dentro de los parámetros establecidos, ya que si la proporción de mezcla aire-gas no es la correcta se estaría consumiendo más combustible de lo normal, o como consecuencia de una llama pobre, se traduciría en un bajo rendimiento de la caldera.
- El sistema de supervisión de llama en el quemador juega un papel muy importante, este es el que no permite que salga gas del quemador sin que sea correctamente encendido, evitando con ello accidentes. Todos los elementos que componen el mencionado sistema deberán ser revisados y controlados con especial cuidado, reemplazando aquellas piezas que se encuentren defectuosas.
- Los presostatos son dispositivos que controlan la presión de vapor de la caldera, apagando o encendiendo el quemador. El mantenimiento de estos consiste en verificar que siga manteniendo la calibración de fábrica (diferencial entre la conexión y desconexión), caso contrario deberán ser reemplazados.
- La electrobomba de inyección a la caldera es un componente importante, debiendo con ello prestarse atención, tanto en la operación de la caldera como en el mantenimiento preventivo y correctivo. Una vez cada tres meses se verificará que no existan ruidos anormales en el conjunto eléctrico-bomba ya que sean provenientes de roces y/o desgastes de los rodamientos. De existir los mismos deberán reemplazarse o subsanar la causa.
- La bomba inyectora nunca deberá hacerse funcionar sin agua, esto aceleraría su desgaste prematuro. También deberá verificarse cada tres meses que no existan pérdidas de agua en la bomba propiamente dicha y en los accesorios que conforman el conjunto. De existir perdidas tendrán que eliminarse, ya sea reemplazando las piezas desgastadas o realizando los trabajos que fueren necesarios.
- El control y limpieza del equipo de encendido del electro bomba y de corte del quemador (columna de nivel) por falta de agua debe realizarse con especial cuidado, debido a que en él se depositan lodos

y suciedad que deben ser eliminados. Deberá controlarse que la puesta en marcha de la electro bomba y apagado del quemador se produzcan correctamente, reemplazando aquellas piezas que se encuentren defectuosas.

- La válvula de seguridad no son elementos que puedan o deban ser reparados, cuando las mismas no funcionen correctamente deberán ser reemplazadas.
- El sistema eléctrico tiene que mantener a través del tiempo la misma aislación y conductividad eléctrica, como también la resistencia mecánica de los caños y cajas protectoras de los cables. Los empalmes y dispositivos eléctricos deberán ser controlados en sus uniones, verificando que no existan cables sueltos o humedad, consecuencia esta de condensación.
- La temperatura de salida de los gases de combustión debe ser controlada, pues una elevada temperatura indicaría que no se produce una correcta transferencia de calor, reflejándose en un bajo rendimiento y un exceso de consumo de gas.
- Los gases de combustión tienen que ser analizados químicamente, mediante equipos apropiados a efecto de determinar las proporciones de monóxido de carbono que se están liberando en la atmósfera.
- El material refractario y aislante existente en la puerta de la caldera deberá ser controlada por lo menos una vez al año, reparando de ser necesario las partes que se encuentren dañadas.
- Las impurezas del agua pueden causar la formación de lodo o depósitos, incrustaciones, corrosión o “picaduras” y cristalización, una clase de descomposición que hace que se vuelva quebradizo el metal de la caldera. Las corrosiones o picaduras se deben a que el material del caldero se disuelva en el agua contenida en la misma. La herrumbre o se une con oxígeno e hidrógeno o con oxígeno solamente formando compuestos relativamente estables. Recomendamos consultar con empresas especializadas a efecto de utilizar el agua apropiada en su caldero.

4.1.2. Intercambiador de Calor

El intercambiador de calor es un dispositivo cuya función es transferir el calor de un fluido a otro de menor temperatura. La transferencia de calor se produce a través de tubos o placas, que favorezcan el intercambio entre fluidos sin que estos se mezclen.

4.1.2.1. Usos del intercambiador.

- Intercambiador de Calor: Dispositivo que realiza una doble función; calentar un fluido y enfriar otro (Se utiliza vapor o agua, para calentar, el aportante pierde su temperatura y dependiendo del fluido su estado).
- Condensador: Dispositivo que tiene como objetivo condensar vapor o mezcla de vapores (se utiliza agua u otros fluidos para condensar el vapor).
- Enfriador: El objetivo de un enfriador como su propio nombre indica es disminuir la temperatura del fluido por medio de otro (se utiliza aire, agua, aceite).
- Calentador: Dispositivo enfocado a aportar calor sensible (sin cambio de fase) a un fluido (utilizamos agua).
- Vaporizador: El objetivo de un vaporizador es vaporizar parte de un líquido. (Utilizamos vapor recalentado para vaporizar otro elemento).

Los intercambiadores de calor de carcasa y tubos están compuestos por tubos cilíndricos, montados dentro de una carcasa también cilíndrica. Un fluido circula por dentro de los tubos, y el otro por el exterior (fluido del lado de la carcasa). Son el tipo de intercambiadores de calor más usado en la industria.

Los componentes básicos de este intercambiador son: El haz de tubos (o banco de tubos), carcasa, cabezal fijo, deflectores, y la placa tubular o placa porta tubos.

4.1.2.2. Tubos

Los tubos son los componentes fundamentales, proporcionando la superficie de transferencia de calor entre el fluido que circula por el interior de los tubos, y el fluido que circula por el exterior (carcasa). Los tubos pueden ser completos o soldados y generalmente están hechos de cobre o aleaciones de acero. Otras aleaciones de níquel, titanio o aluminio pueden ser requeridas para aplicaciones específicas.



Figura 39. Tubos del intercambiador de calor

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.3. Placa tubular

Los tubos se mantienen en su lugar al ser insertados dentro de agujeros en la placa tubular, fijándose mediante expansión o soldadura. La placa tubular es generalmente una placa de metal sencilla, taladrada para albergar a los tubos (en el patrón deseado), se utiliza empaquetaduras y los pernos para sellar al equipo de fugas.



Figura 40. Placa tubular

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.4. Deflectores

Hay dos tipos de deflectores, transversales y longitudinales. El propósito de los deflectores longitudinales es controlar la dirección general del flujo del lado de la carcasa. (En nuestro caso no los hemos utilizado).

4.1.2.5. Carcasa o tanque

La carcasa (tanque) es la envolvente del segundo fluido, y la toma o coplas son los puertos de entrada y salida. La carcasa generalmente es de sección circular y está hecha de una placa de acero conformado en forma cilíndrica y soldado longitudinalmente.

En intercambiadores grandes la carcasa está hecha de acero de bajo carbono siempre que sea posible por razones de economía, aunque también pueden usarse otras aleaciones cuando la corrosión o las altas temperaturas así lo requieran.



Figura 41. Carcaza o tanque

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3. Instrucciones de operación

Cada vez que se encienda el intercambiador de calor, deberá prestarse especial atención a que no existan fugas de agua en la sala en que se encuentra instalado el equipo; si ello sucediera, deberán cerrarse todas las llaves y detectar la misma. O avisar en forma inmediata al service autorizado

Antes de poner en servicio el equipo es necesario observar las siguientes recomendaciones.

- a) Las tuercas de cierre de la brida del cabecero se deben encontrar ajustadas, logrando con ello una perfecta estanquidad.
- b) Comprobar que el nivel de agua en el tanque de uso diario sea el correcto.
- c) Cuando se proceda a encender el equipo, la electrobomba empezara a recircular el agua del tanque de uso diario.
- d) Deberá verificarse que el agua recircule entre el equipo y el tanque de agua.
- e) En caso que durante el intento de encendido no recircule el agua se deberá apagar el equipo y cebar la bomba de agua.
- f) Si la bomba de agua no encendiera, esta no deberá forzarse o tratar de encenderse por otros medios que no sean los indicados en las instrucciones, debido a que ello estaría provocado por un desperfecto que deberá solucionar el servicio autorizado.
- g) Abrir la válvula de vapor en el cabecero, lentamente, luego deberá abrir la válvula que alimenta vapor al intercambiador.
- h) Verificar que la trampa de vapor envíe condensado al tanque de alimentación de la caldera.
- i) Es importante controlar en forma periódica que la presión del vapor y la temperatura del agua.

IMPORTANTE:

Utilizar EPP, Tener cuidado con las tuberías de vapor.

Una vez al año realizar:

- a) Verificar que no existan fugas de agua
- b) Control de los termómetros
- c) Control del sistema de encendido de la electrobomba
- d) Verificación del buen funcionamiento de la electrobomba de agua.
- e) Purgar el tanque o carcasa
- f) Verificación del perfecto funcionamiento de la trampa de vapor.

4.2. Discusión de los resultados obtenidos

En el diseño térmico se puede concluir que la longitud media de los tubos asumida debería ser de para que el intercambiador funcione con los parámetros de flujo másico, temperatura y presión asumidos. La geometría de diseño de la longitud media de los tubos es de 50 cm, lo que cumple con lo calculado con el método LTDM.

El diseño hidráulico tomó como referencia la velocidad que puede soportar el accesorio (entrada de flujo másico de vapor), ya que, este está hecho del mismo material del tanque y es por donde se esperaría una falla crítica; la velocidad calculada para el diámetro interno del accesorio es menor que la velocidad crítica de por lo que el accesorio cumple con este requerimiento; en cuanto a la caída de presión, esta se estima sea menor al en el cálculo se estima una caída de presión de que es mucho menor, por lo que concluimos que no es necesario recalcular.

En cuanto al diseño mecánico se tomaron en cuenta las recomendaciones de la ASME para el espesor mínimo requerido nos indica que el valor sea menor a $e=2.11\text{mm}$, el calculado tomando en cuenta el material es de $T=2.05\text{mm}$ que se halla dentro del rango permisible. En dicho diseño también se toma en cuenta el número de pernos en las tapas que soporten la presión en la coraza $P=40\text{psi}$, Se consideran 8 pernos de 5/8pulg que van acorde con el diseño.

4.3. Pruebas Experimentales

Procedimiento

- Abriremos el paso al vapor, aperturando la llave de salida de vapor del mafifold.
- Pondremos en funcionamiento la bomba de 1/2 HP el cual hara circular agua fría por los tubos del intercambiador de calor.
- El intercambiador trabajara con una temperatura del vapor a 125°C y con una presión de 40psi.

Elaboración De Las Guías

- Guía: eficiencia del intercambiador de calor de coraza y tubos.

Con los obtenidos de las pruebas a una presión de 40 psi se calcula la eficiencia que posee el intercambiador de calor. A continuación se presenta el desarrollo del cálculo con valores obtenidos a 0.667 kg/s de caudal de agua.

$$\text{Agua: } T_{ent \text{ de agua}} = 17^{\circ}C \qquad T_{sal \text{ de agua}} = 37^{\circ}C$$

$$\text{Vapor: } T_{ent \text{ de vapor}} = 125^{\circ}C$$

Las propiedades del agua a Temperatura promedio (27°C)

$$\text{Densidad del agua: } \rho = 996.59 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Calor específico: } 4179 \text{ J/kg}^{\circ}C$$

$$\text{Flujo másico: } \dot{m}_a = 0.667 \text{ kg/s}$$

- La efectividad o eficiencia del intercambiador se obtiene a partir de la ecuación.

$$\eta = \frac{\text{Velocidad de transf de calor real}}{\text{Velocidad max posible de transf de calor}} = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}}$$

- Calculamos la velocidad de transferencia de calor real utilizando los datos de fluido frio, es decir el agua.

$$\dot{Q} = C_f(T_{sal \text{ del agua}} - T_{ent \text{ del agua}})$$

$$C_f = \dot{m}_f c_{p_f} = M a c_{p_f} = 4178 * 0.667$$

$$C_f = 2786.7 \text{ W}/^{\circ}C$$

$$\dot{Q} = 2786.7(37 - 17) = 55734 \text{ W}$$

- Calculamos la velocidad máxima posible de transferencia de calor.

$$\dot{Q}_{max} = C_{min}(T_{ent \text{ de vapor}} - T_{ent \text{ de agua}})$$

La razón de capacidad calórica mínima $C_{min} = C_f$ ya que el fluido caliente es un vapor de condensación.

$$\dot{Q}_{max} = 2786.7(125 - 17) = 300963.6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{55734}{300963.6} = 0.2$$

$$\eta = 20\%$$

Tabla 1. Eficiencia del intercambiador de coraza y tubos

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
T_{ent} de agua (°C)	17	17	18	17	18
T_{sal} de agua (°C)	37	34	35	36	33
T_{ent} de vapor (°C)	125	124	125	123	124
Q(lt/s)	0.543	0.594	0.612	0.651	0.667
ρ (kg/m ³)	996.59	996.59	998.62	996.59	998.62
Ma(kg/s)	0.54	0.59	0.61	0.65	0.66
C_p (J/kg°C)	4179	4179	4180.39	4179	4180.39
$C_f = C_{min}$ (J/s°C)	2256.66	2465.61	2550.03	2716.35	2759.05
\dot{Q} (W)	45133.2	41915.37	43350.51	51610.65	41385.75
\dot{Q}_{max} (W)	243719.3	263820.3	272853.3	287933.1	292459.3
η (%)	18	16	16	18	14

Fuente: Elaboración Propia

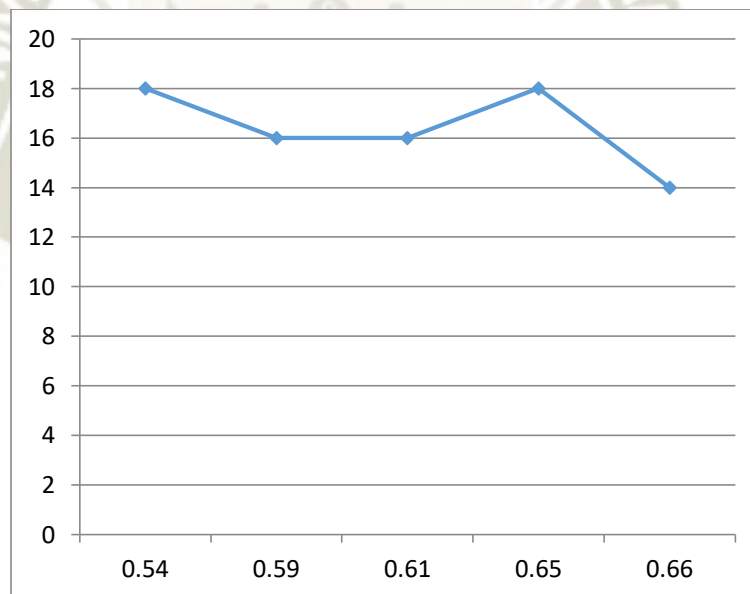


Figura 42. Eficiencia Vs Flujo Masico

Fuente: Elaboración Propia

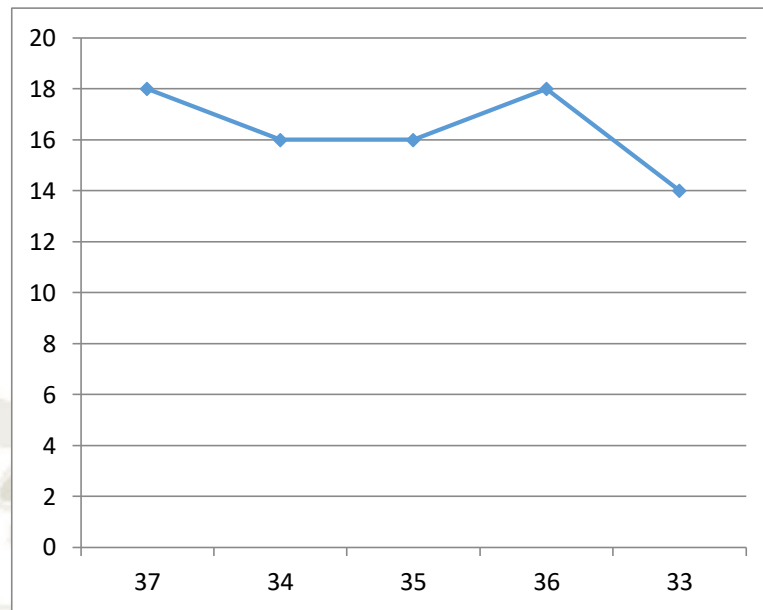


Figura 43. Eficiencia Vs Temperatura Salida

Fuente: Elaboración Propia



Capítulo V

5. COSTOS DEL PROYECTO

5.1. Costos de los materiales utilizados

Tabla 2. Costos de los materiales utilizados.

ACCESORIOS LABORATORIO UCSM				
N°	MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	COLUMNA DE NIVEL	1.00	2770.00	2770.00
2	VÁLVULA DE SEGURIDAD	1.00	640.00	640.00
3	VÁLVULAS SOLENOIDES	2.00	400.00	800.00
4	REGULADOR DE GLP 1RA ETAPA	1.00	125.00	125.00
5	REGULADOR DE GLP 2RA ETAPA	1.00	195.00	195.00
6	MANGUERA DE GAS	1.00	40.00	40.00
7	TABLERO ELÉCTRICO	1.00	340.00	340.00
8	TRAMPAS DE VAPOR	3.00	398.00	1194.00
9	VÁLVULAS DE INOX 3/4"	4.00	50.00	200.00
10	VÁLVULAS DE 3/4"	4.00	35.00	140.00
11	TUBERÍAS DE SCH-40 3/4"	3.00	60.00	180.00
12	TUBERÍAS DE H3 1"	3.00	40.00	120.00
13	ELECTROBOMBAS DE AGUA 0.5 HP	2.00	190.00	380.00
14	MANGUERAS DE CONDENSADO	1.00	200.00	200.00
15	BASE PARA MANIFULL	1.00	80.00	80.00
16	TERMÓMETROS	3.00	98.00	294.00
17	VÁLVULA DE BOLA GLP (QUEMADOR)	1.00	60.00	60.00
18	PRESOSTATO CALDERA	1.00	510.00	510.00
19	MANÓMETRO CALDERA	1.00	78.00	78.00
20	ABRAZADERAS UNISTRUD	10.00	5.00	50.00
21	RIEL PARA UNISTRUD	1.00	45.00	45.00
22	MANGUERA PARA PURGA	1.00	42.00	42.00
23	MANÓMETRO INOX	1.00	60.00	60.00
24	CABLE FILAMENTO #18 MTRS	20.00	4.00	80.00
25	CABLE VULCANIZADO # 18 MTRS	12.00	3.800	45.60
26	FUNDA CORRUGADA MTRS	12.00	6.00	72.00
27	CHICOTE POOL	1.00	42.00	42.00
28	MANÓMETRO GLP	1.00	28.00	28.00
29	NIPLES DE SCH-40 DE 1"	12.00	6.00	72.00
30	NIPLES DE SCH-40 DE 3/4"	6.00	4.50	27.00
31	NIPLES DE SCH-40 DE 1/2"	6.00	3.80	22.80
32	CODOS CIFUNSA 3/4"	12.00	12.00	144.00
33	UNIVERSALES CIFUNSA 3/4"	5.00	18.00	90.00
34	CODOS IPS 1"	12.00	4.80	57.60
35	UNIVERSALES IPS 1"	7.00	12.00	84.00
36	ACCESORIOS GALVANIZADO 1"	6.00	10.00	60.00
37	NIPLES GALVANIZADO 1"	7.00	5.50	38.50
38	TEES IPS 1"	7.00	10.00	70.00
	TOTAL			9476.50

En la Tabla 1, mostramos los costos de los materiales que usaremos para el presente trabajo de investigación. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Costos del intercambiador de calor de coraza y tubos

INTERCAMBIADOR DE CORAZA Y TUBOS				
N°	MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO S/	TOTAL S/
1	PLANCHA A 36 (120X240)	1.00	304.00	304.00
2	TUBOS INOX	4.00	180.00	720.00
3	DISCOS 3/8" (CABECERO)	3.00	40.00	120.00
4	SOLDADURA INOX (KG)	2.00	75.00	150.00
5	BASE (ÁNGULO)	2.00	42.00	84.00
6	EMPAQUES NEOPRENE 1/4"	2.00	80.00	160.00
7	VÁLVULAS	3.00	45.00	135.00
8	TRAMPA DE VAPOR 1/2"	1.00	398.00	398.00
9	ELECTROBOMBAS DE AGUA 0.5 HP	1.00	190.00	190.00
10	TERMÓMETRO	1.00	98.00	98.00
11	MANÓMETRO	1.00	60.00	60.00
12	CUCHILLA Y CAJA	1.00	30.00	30.00
13	PINTURA	1.00	50.00	50.00
	TOTAL			2499.00

En la Tabla 2, mostramos los costos del intercambiador de calor de coraza y tubos.

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

- El intercambiador de calor de coraza y tubos tiene a bien cumplir una rutina de trabajo a diferentes condiciones, cuyas pruebas experimentales nos darán un mayor alcance de conocimientos en los resultados esperados.
- Las guías presentadas consideran una experiencia a partir del inicio del equipo (intercambiador de calor) considerando factores de operación y de seguridad del orden totalmente prácticos, por lo que será una fuente de apoyo en áreas de termodinámica, el cual constituye un factor importante en la adquisición de conocimientos.
- El diseño y la selección de material en la construcción del intercambiador de calor está basado inicialmente en la parte experimental ya planteados, lo cual ayudará a visualizar al estudiante sobre las dimensiones que tendrá el intercambiador de calor de coraza y tubos.
- La idea concebida en el diseño y construcción del intercambiador de calor es que de alguna manera se realice un escalamiento de una etapa de laboratorio a una etapa de pilotaje, donde se puedan realizar mediciones termodinámicas deseadas.
- El presente proyecto de tesis se realiza con la finalidad de ampliar el sistema de vapor de la Universidad Católica de Santa María mediante un intercambiador de calor de coraza y tubos.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable la actualización e innovación de las guías de laboratorio en un periodo de un año, teniendo como objetivo principal el poder afianzar los conocimientos en clase adquiridos para las áreas de ciencias térmicas como son: transferencia de calor, termodinámica y plantas térmicas, lo que llevará a una mejora continua en los procedimientos establecidos.
- El diseño del intercambiador de calor de coraza y tubos se realizó con fines didácticos, por lo cual el uso al cual debe de estar debe de ser estrictamente para las aulas de laboratorio de la Universidad Católica de Santa María, asimismo, la operación del módulo debe de ser acompañado por el encargado del laboratorio.
- Es necesario tener pleno conocimiento del uso que se debe de realizar y emplear en el arreglo de la tubería, considerando la angulosidad y la cantidad de tubos internos con los que contara el equipo.
- De acuerdo a las cuatro guías formuladas en la presente investigación, una vez el equipo se encuentre instalado en el laboratorio de termofluidos, se recomienda la elaboración de las mismas, ya que afianzaran los conocimientos aprendidos en clase.
- Para un mayor aprovechamiento de las guías y uso del módulo se puede realizar la automatización del mismo, haciendo uso de un termostato y una válvula solenoide.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

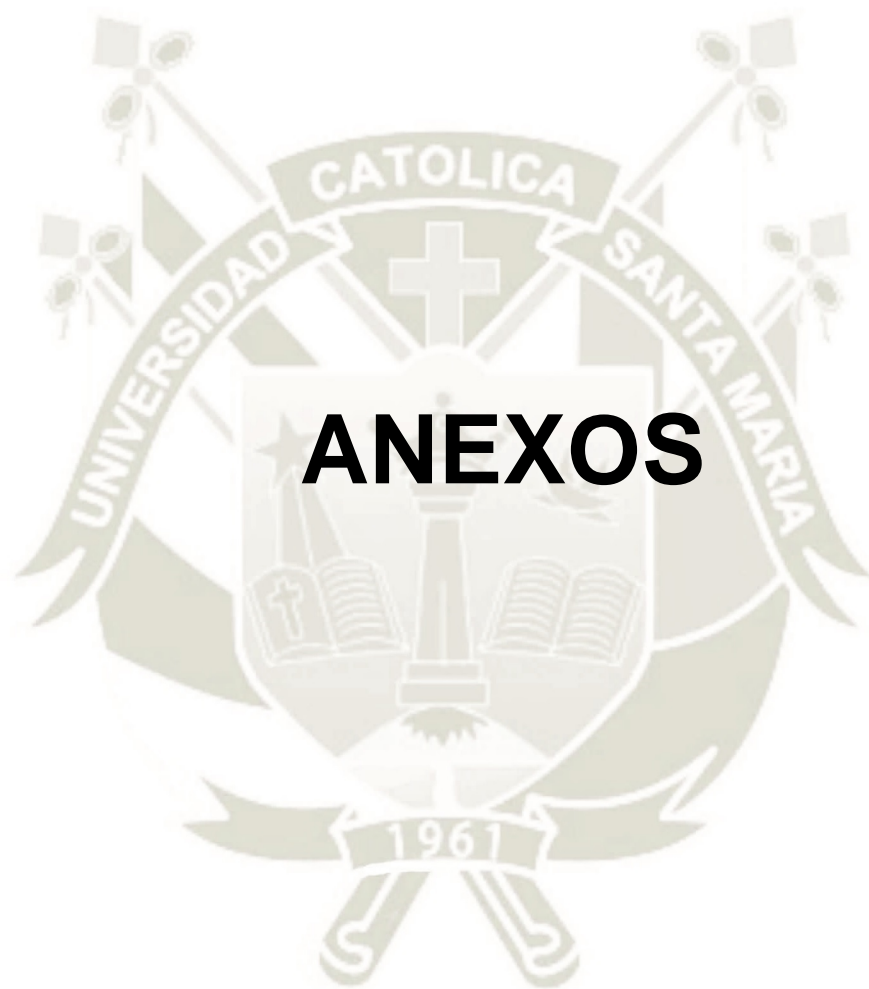
- De León Roque, J. L. (2006). *Guía prácticas de laboratorio en calderas pirotubulares de cuatro pasos para el cursos de plantas de vapor*. Guatemala.
- Frank Kreith, Raj Manglik y Mark Bohn. (2012). *Principios de transferencia de calor*. 7ma Edición. México: Cengage Learning.
- Gonzales Núñez, E. (2007). *Estudio comparativo de los Intercambiadores de calor de Coraza-tubos y los Placas Planas*. Lima.
- Goode Hatt, W. (2000). *Métodos de investigación Social*. Mexico: Editorial F. Trillas S.A.
- Hernandez Sampieri, R. (2005). *Metodología de la Investigación Científica*. Mexico: Mundo Perú S.A.C.
- Jaramillo, O. A. (2007). *Intercambiadores de calor*. México: Investigación Energía.
- Kreith, F., Manglik, R. M., & Bohn, M. S. (2014). *PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR*. Brasil: Editec S.A.
- L. Montt, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. Mexico: Pearson Educación.
- Montes Pita, M. (2015). *TEORIA Y PROBLEMAS DE TRANSMISIÓN DE CALOR*. Edición digital.
- P.A. HILTON. (2000). Manual de mantenimiento del modulo generador de vapor.
- Ronquillo Marroquin, F. (2013). *Evaluación del sistema de vapor de una industria de bebidas para la reducción de las perdidas de condensados de vapor*. Guatemala.
- Solorio Ordaz, F. (2011). *Propuesta para el mejoramiento de un intercambiador de calor tipo coraza y tubos en U*. Mexico.
- Underwood, A. J. (1934). INTERCAMBIADORES DE CALOR. En A. J. Underwood, *The Calculation of Mean Temperature Difference in Multipass Heat Exchangers* (págs, 20,145—158.). technol.

UNET. (2011). Transferencia de Calor. *UNET*, 14.

Vara Horna, A. (2015). *7 Pasos para elaborar una Tesis*. Ecuador: Empresa Editora Macro EIRL.

Villanueva Isaba, M. (2014). *Diagnostico Operacional del sistema de producción de vapor en una planta piloto*. Argentina.





ANEXOS



**ANEXOS A:
PRÁCTICAS DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS**

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales



PRÁCTICA DE INTERCAMBIADOR DE CALOR



GUIA DE PRACTICAS DEL MODULO DE INTERCAMBIADOR DE CORAZA Y TUBOS

I. PASOS PARA ENCENDER EL SISTEMA DE VAPOR

1. Inspeccionar el nivel del tanque, en caso el nivel del agua se encuentre bajo abrir la llave de la línea. Cuando el tanque se encuentre con un nivel de agua apropiado se procederá a abrir la válvula de ingreso de agua al tanque.



2. Aperturar la llave del balón de GLP y evitar mover la posición de la llave del quemador.



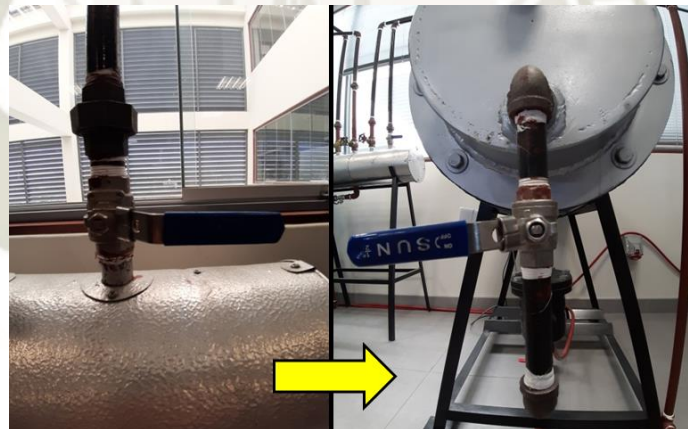
3. Girar el interruptor del quemador y de la bomba hacia la derecha y monitorear hasta que el MANOMETRO se encuentre en 40 psi.



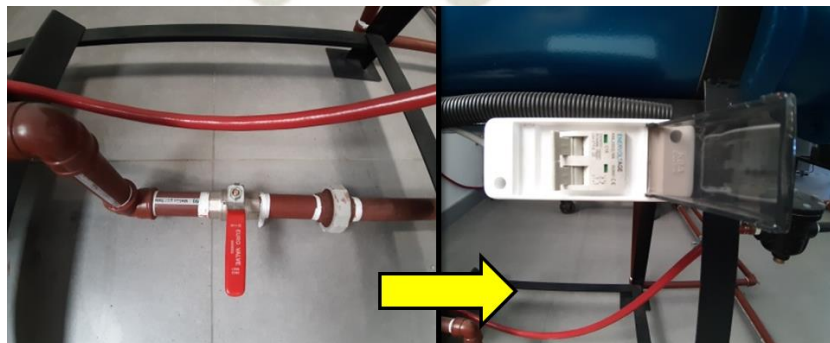
4. Abrir la válvula de entrada de vapor al manifold y la válvula de salida de condensado.



5. Abrir la válvula de alimentación de vapor del módulo del intercambiador de calor y la válvula de salida de condensado del módulo.

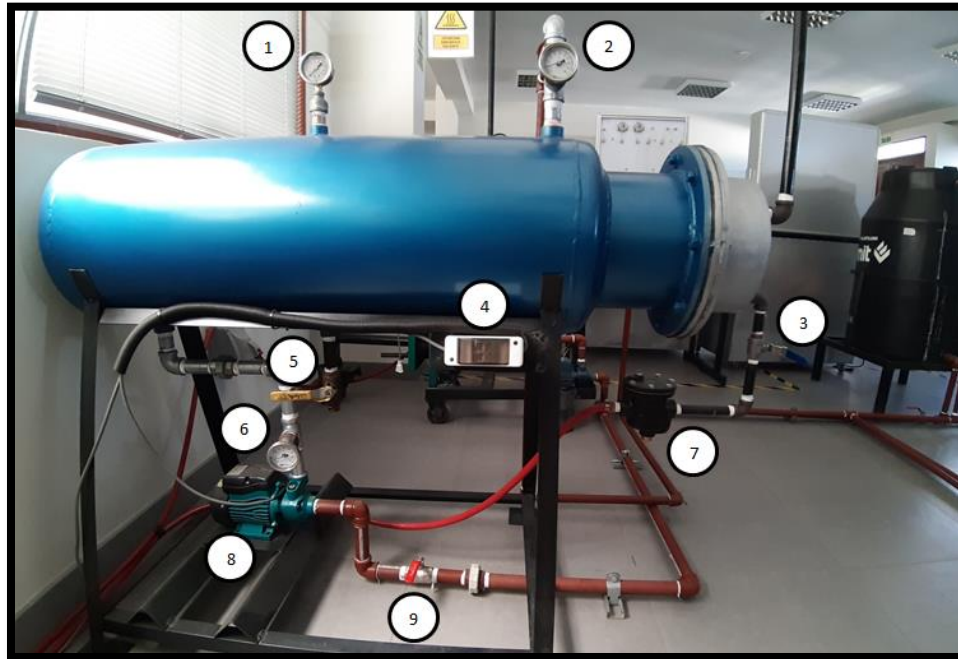


6. Abrir la válvula de ingreso de agua y prender la electrobomba de forma manual accionando el interruptor de encendido.



II. DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS

Se desarrolló en el módulo del intercambiador de calor del sistema de vapor del laboratorio de Termofluidos de la Universidad Católica de Santa María.



Modulo: Intercambiador de calor de coraza y tubos

III. ACCESORIOS Y EQUIPOS

1. Manómetro.
2. Termómetro de salida de agua.
3. Válvula de condensado.
4. Interruptor de encendido y apagado de electrobomba.
5. Válvula de purga de agua.
6. Termómetro de entrada de agua.
7. Trampa de vapor de balde invertido.
8. Electrobomba de 0.5 HP.
9. Válvula de entrada de agua.

IV. INTERCAMBIADOR DE CORAZA Y TUBOS

1. Objetivos.
 - Realizar el reconocimiento físico del intercambiador de calor y sus componentes.
 - Familiarizar al alumno con la técnica de medida de temperatura en flujos y medición de caudales.
 - Aplicar balances de energías al intercambiador de calor.

- Analizar los efectos de funcionamiento en el intercambiador con caudales diferentes en los fluidos.
 - Calcular las velocidades de transferencia de calor.
 - Calcular la eficiencia del intercambiador.
2. Marco teórico
- Estos dispositivos, realizan el proceso de intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a diferentes temperaturas, los cuales se encuentran separados por una pared. En todo proceso industrial existen corrientes frías que se necesitan calentar y corrientes calientes que es necesario enfriar; generalmente esto ocurre en grandes procesos industriales.
 - El equipo utilizado para esta práctica es un intercambiador de calor tipo coraza y tubos; de un paso por los tubos y otro por la coraza.
3. Balance de energías
- La transferencia de calor relaciona diferentes variables como temperaturas de entrada y salida de los fluidos, flujo de circulación, coeficiente global de transferencia de calor y el área de intercambio.
 - Las energías cedidas o ganadas según el caso por los dos flujos, pueden de la siguiente manera:

$$\dot{Q} = \dot{m}_v C_{p,v} (T_{v,ent} - T_{a,sal}) = \dot{m}_a C_{p,a} (T_{a,sal} - T_{v,ent})$$

Los subíndices indican:

v: fluido caliente

a: fluido frío

ent: entrada al intercambiador

sal: salida del intercambiador

- Se debe considerar despreciables la transferencia de calor entre el intercambiador y sus alrededores, energía potencial y cinética de los fluidos, además se considera a los fluidos sin cambio de fase con sus calores específicos constantes.
4. Eficiencia de un intercambiador
- La eficiencia de un intercambiador es un parámetro que mide el desempeño del intercambiador en funcionamiento.
 - La eficiencia de un intercambiador es un cociente entre, Velocidad de transferencia de calor real y Velocidad máxima de transferencia de calor.

$$\eta = \frac{\text{Velocidad de transf de calor real}}{\text{Velocidad max posible de transf de calor}} = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}}$$

Dónde:

η = Eficiencia

\dot{Q} = Velocidad de transferencia de calor real.

\dot{Q}_{max} = Velocidad máxima de transferencia de calor.

5. Desarrollo de la práctica

5.1. Tabla de datos

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
$T_{ent \text{ de agua}} (^{\circ}\text{C})$					
$T_{sal \text{ de agua}} (^{\circ}\text{C})$					
$T_{ent \text{ de vapor}} (^{\circ}\text{C})$					
$Q(\text{lt/s})$					
$\rho(\text{kg/m}^3)$					
$Ma(\text{kg/s})$					
$C_{p_a}(\text{J/kg}^{\circ}\text{C})$					
$C_f = C_{min}(\text{J/s}^{\circ}\text{C})$					

5.2 Análisis de resultados

- Calculo de la velocidad de transferencia de calor real.
- Calculo de la velocidad máxima de transferencia de calor.

Desarrollo:

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
$\dot{Q}(\text{W})$					
$\dot{Q}_{max}(\text{W})$					

$$\dot{Q} = C_f(T_{sal \text{ del agua}} - T_{ent \text{ del agua}})(1)$$

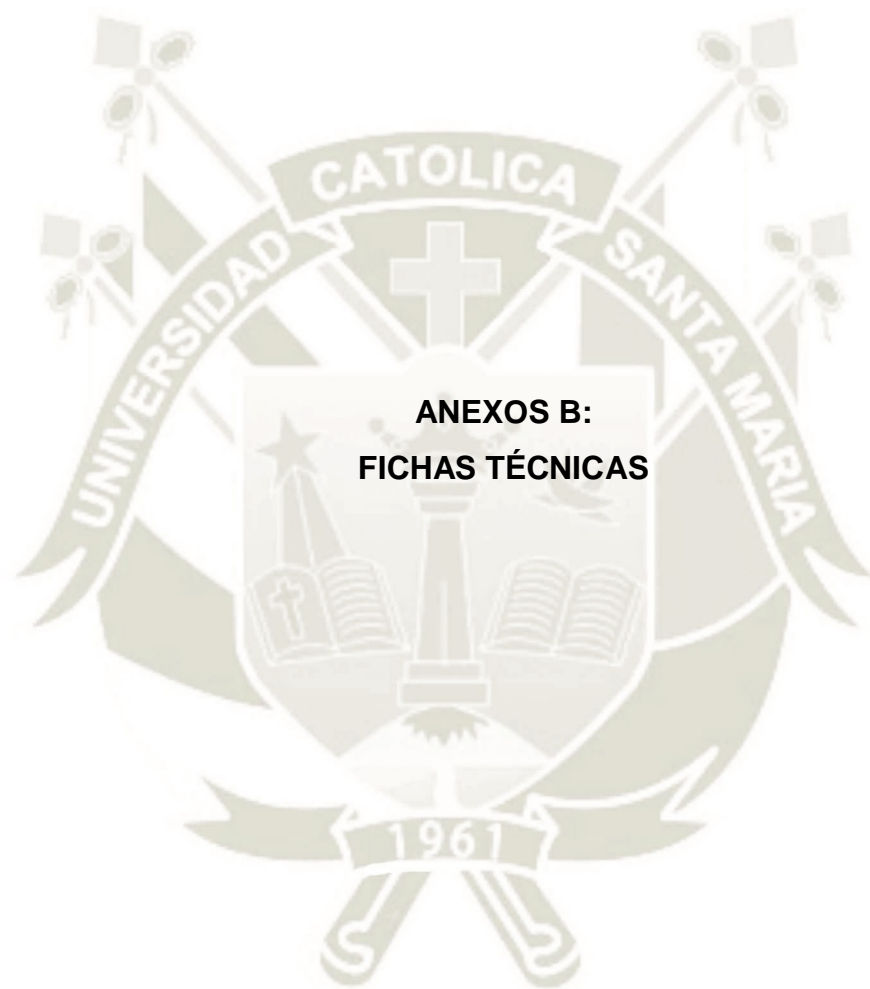
$$\dot{Q}_{max} = C_{min}(T_{ent \text{ de vapor}} - T_{ent \text{ de agua}})(2)$$

- Calcular la eficiencia del intercambiador

Desarrollo:

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
$\eta(\%)$					

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}}(1)$$





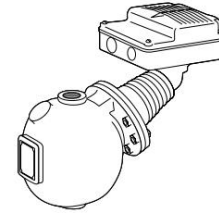
McDonnell & Miller
a xylem brand

INSTRUCTION MANUAL
MM-217K

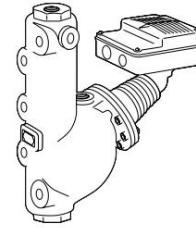
Series 150S and 157S
(Snap Switch, All Models except 157S-RB-P)
Low Water Cut-Off/Pump Controllers
For Steam Boilers and Other Level Control Applications

Typical Applications:

- Primary or secondary pump controller/
low water fuel cut-off
for steam boilers
- Motorized valve controller
- Low water cut-off
- High water cut-off
- Alarm actuator



Series 150S



Series 157S



⚠ WARNING	
	<ul style="list-style-type: none"> • Before using this product read and understand instructions. • Save these instructions for future reference.
	<ul style="list-style-type: none"> • All work must be performed by qualified personnel trained in the proper application, installation, and maintenance of plumbing, steam, and electrical equipment and/or systems in accordance with all applicable codes and ordinances.
	<ul style="list-style-type: none"> • To prevent serious burns, the boiler must be cooled to 80°F (27°C) and the pressure must be 0 psi (0 bar) before servicing. • To prevent electrical shock, turn off the electrical power before making electrical connections. • This low water cut-off must be installed in series with all other limit and operating controls installed on the boiler. After installation, check for proper operation of all of the limit and operating controls, before leaving the site.
	<ul style="list-style-type: none"> • We recommend that secondary (redundant) Low Water Cut-Off controls be installed on all steam boilers with heat input greater than 400,000 BTU/hour or operating above 15 psi of steam pressure. At least two controls should be connected in series with the burner control circuit to provide safety redundancy protection should the boiler experience a low water condition. Moreover, at each annual outage, the low water cut-offs should be dismantled, inspected, cleaned, and checked for proper calibration and performance. • To prevent serious personal injury from steam blow down, connect a drain pipe to the control opening to avoid exposure to steam discharge.
	<ul style="list-style-type: none"> • To prevent a fire, do not use this low water cut-off to switch currents over 7.4A, 1/3 Hp at 120 VAC or 3.7A, 1/3 Hp at 240 VAC, unless a starter or relay is used in conjunction with it. • California Proposition 65 warning! This product contains chemicals known to the state of California to cause cancer and birth defects or other reproductive harm. • Previous controls should never be installed on a new system. Always install new controls on a new boiler or system.
Failure to follow this warning could cause property damage, personal injury or death.	

CAUTION:

- A more frequent replacement interval may be necessary based on the condition of the unit at time of inspection. McDonnell & Miller's warranty is one (1) year from date of installation or two (2) years from the date of manufacture.

OPERATION

Maximum Pressure: 150 psi (10.5 kg/cm²)

Electrical Ratings

Voltage	Pump Circuit Rating (Amperes)		Pilot Duty
	Full Load	Locked Rotor	
120 VAC	7.4	44.4	345 VA at 120 or 240 VAC
240 VAC	3.7	22.2	

Alarm Circuit Rating	
Voltage	Amps
120 VAC	1
240 VAC	1/2

Motor Horsepower	
Voltage	Hp
120 VAC	1/3
240 VAC	1/3

Enclosure rating: NEMA 1 General Purpose

Settings and Differential Pressures

Values are ± 1/8" (3.2mm).

Series 150S, 157S

Pressure	Setting	Approximate Distance Above Cast Line In. (mm)	Differential In. (mm)
0 psi (0 kg/cm²)	Pump Off	15/16 (24)	5/16 (8)
	Pump On	5/8 (16)	
	Burner On	5/8 (16)	3/8 (16)
	Burner Off	1/4 (6.4)	
150 psi (10.5 kg/cm²)	Pump Off	13/8 (41)	3/4 (19)
	Pump On	5/8 (16)	
	Burner On	7/8 (22)	7/8 (22)
	Burner Off	0 (0)	

150 psi (10.5 kg/cm²) Levels

Model 150S-MD, and 157S-MD

Pressure	Setting	Approximate Distance Above Cast Line In. (mm)	Differential In. (mm)
0 psi (0 kg/cm²)	Pump Off	15/16 (24)	3/8 (16)
	Pump On	9/16 (14)	
	Burner Off	0 (0)	N/A
150 psi (10.5 kg/cm²)	Pump Off	17/16 (37)	3/4 (19)
	Pump On	11/16 (17)	
	Burner Off	- 3/8 (-16)	N/A

150 psi (10.5 kg/cm²) Levels

Settings and Differential Pressures (continued)

Values are $\pm 1/8"$ (3.2mm).

Model 158S			
Pressure	Setting	Approximate Distance Above Cast Line In. (mm)	Differential In. (mm)
0 psi (0 kg/cm²)	Motorized Valve Closed	15/16 (24)	5/16 (8)
	Motorized Valve Open	5/8 (16)	
	Burner On	5/8 (16)	3/8 (16)
	Burner Off	1/4 (6.4)	
150 psi (10.5 kg/cm²)	Motorized Valve Closed	13/8 (41)	3/4 (19)
	Motorized Valve Open	5/8 (16)	
	Burner On	7/8 (22)	7/8 (22)
	Burner Off	0 (0)	

150 psi (10.5 kg/cm²) Levels

NOTE: Due to the slower operation of some motorized valves, complete valve opening or closing will occur at slightly different levels than indicated above.

Model 158S-MD			
Pressure	Setting	Approximate Distance Above Cast Line In. (mm)	Differential In. (mm)
0 psi (0 kg/cm²)	Pump Off	15/16 (24)	3/8 (16)
	Pump On	9/16 (14)	
	Burner Off	0 (0)	N/A
150 psi (10.5 kg/cm²)	Pump Off	17/16 (37)	3/4 (19)
	Pump On	11/16 (17)	
	Burner Off	- 3/8 (-16)	N/A

150 psi (10.5 kg/cm²) Levels

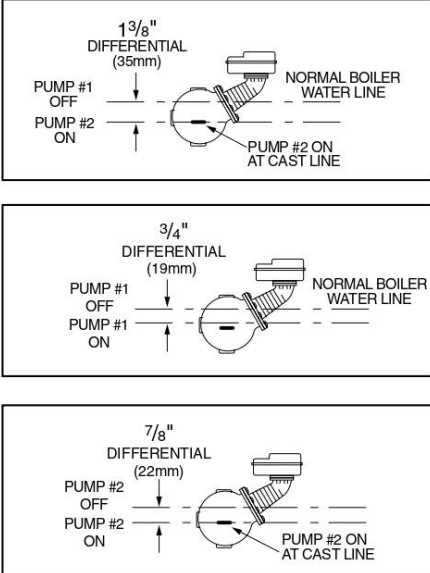
NOTE: Due to the slower operation of some motorized valves, complete valve opening or closing will occur at slightly different levels than indicated above.

Settings and Differential Pressures (continued)

Values are $\pm 1/8"$ (3.2mm).

Model 159S			
Pressure	Setting	Approximate Distance Above Cast Line In. (mm)	Differential In. (mm)
0 psi (0 kg/cm²)	Pump #1 Off	15/16 (24)	5/16 (8)
	Pump #1 On	5/8 (16)	
	Pump #2 Off	5/8 (16)	3/8 (16)
	Pump #2 On	1/4 (6.4)	
150 psi (10.5 kg/cm²)	Pump #1 Off	13/8 (41)	3/4 (19)
	Pump #1 On	5/8 (16)	
	Pump #2 Off	7/8 (22)	7/8 (22)
	Pump #2 On	0 (0)	

150 psi (10.5 kg/cm²) Levels



The diagrams illustrate the differential pressure levels for Pump #1 and Pump #2 at 150 psi (10.5 kg/cm²). Each diagram shows a cross-section of a boiler with a normal boiler water line and a cast line. The differential pressure is indicated by a vertical line between the pump setting and the normal boiler water line.

- Diagram 1:** Pump #1 OFF and Pump #2 ON. The differential pressure is 1 3/8" (35mm).
- Diagram 2:** Pump #1 OFF and Pump #1 ON. The differential pressure is 3/4" (19mm).
- Diagram 3:** Pump #2 OFF and Pump #2 ON. The differential pressure is 7/8" (22mm).

INSTALLATION

TOOLS NEEDED:

Two (2) pipe wrenches, one (1) flathead screw driver, and pipe sealing compound.

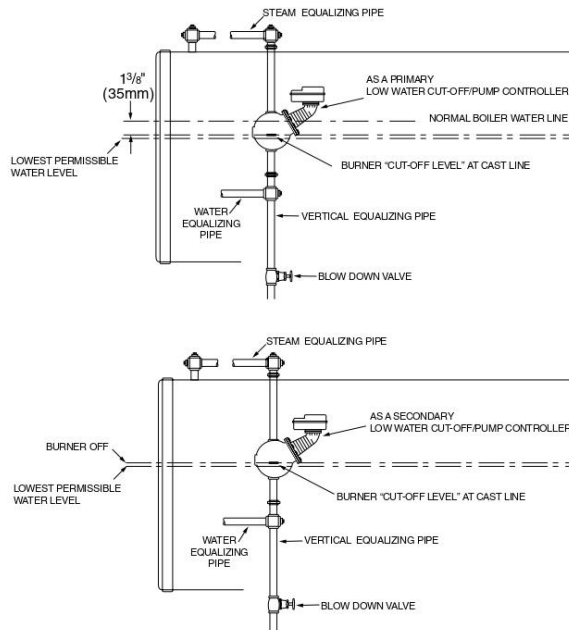
IMPORTANT: Follow the boiler manufacturer's instructions along with all applicable codes and ordinances for piping, blow down valve and water gauge glass requirements.

STEP 1 - Determine the Elevation at Which the Low Water Cut-Off/Pump Controller Must be Installed

If the control will be the **primary low water fuel cut-off**, size the steam (top) and water (bottom) equalizing pipe lengths so that the horizontal cast line on the body is **1 3/8" (35mm) below the boiler's normal water level, but not lower than the lowest, safe permissible water level, as determined by the boiler manufacturer.**

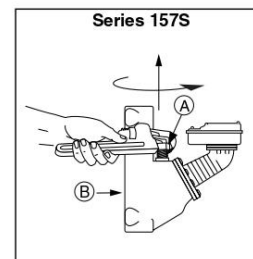
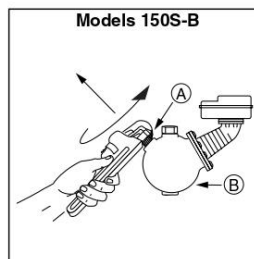
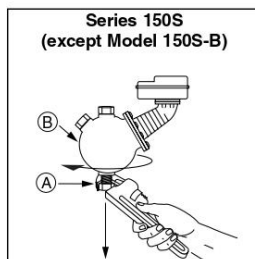
OR

If the control will be the **secondary low water fuel cut-off**, size the steam (top) and water (bottom) equalizing pipe lengths so that the horizontal cast line on the body is **at or above, the lowest, safe permissible water level, as determined by the boiler manufacturer.**



STEP 2 - Installing the Low Water Cut-Off

- a. Using a pipe wrench, unscrew the plastic float blocking plug (A) from the low water cut-off body (B).



b. For Model 150S-B and Series 157S
(For all other models, proceed to Step 3).

Screw the $\frac{3}{4}$ " NPT steel plug (C) (provided) in tapping (A).

CAUTION

The plug must be reinstalled before control is shipped installed on the boiler, and removed when boiler is installed after shipment. Failure to follow this caution may damage float and operating mechanism.

Models 150S-B

Series 157S

c. Mount and pipe the low water cut-off (D) on a vertical equalizing pipe (E) at the required elevation level, as determined in Step 1.

Install a full ported blow down valve (G) directly below the lower cross of the water equalizing pipe (F).

Note: 1" NPT tapings are provided, with the exception of some 157 and 157S models which are $1\frac{1}{4}$ " NPT.

STEP 3 - Installing a Water Gauge Glass (Required on all steam boilers)

a. Install a water column (H) (not included with product) for all models except Series 157S (with integral water column).

b. Install a water gauge glass (J).
Note: Gauge glass and tri-cocks not included with product.

Series 157S

All Other Models

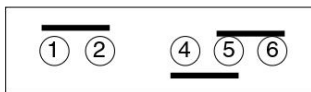
STEP 4 - Electrical Wiring

⚠ WARNING	
	<ul style="list-style-type: none"> To prevent a fire, do not use this product to switch currents over 7.4A, 1/3 Hp at 120 VAC or 3.7A, 1/3 Hp at 240 VAC, unless a starter or relay is used in conjunction with it. To prevent electrical shock, turn off the electrical power before making electrical connections. This low water cut-off must be installed in series with all other limit and operating controls installed on the boiler. After installation, check for proper operation of all of the limit and operating controls, before leaving the site.
	<ul style="list-style-type: none"> Modification of the switch assembly before or after installation could cause damage to the boiler and/or boiler system. <p>Failure to follow this warning could cause electrical shock, an explosion and/or a fire, which could result in property damage, personal injury or death.</p>

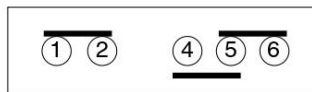
Switch Operation

For all Models except 158S and 159S

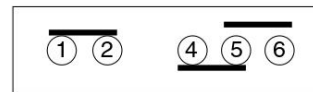
Boiler feed pump off,
burner on, alarm off.



Boiler feed pump on,
burner on, alarm off.

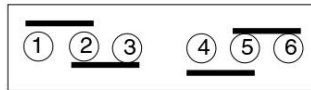


Boiler feed pump on,
burner off, alarm on.

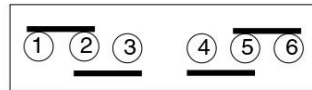


For Model 158S

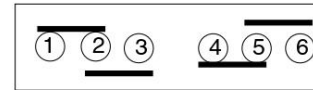
Motorized valve closed,
burner on, alarm off.



Motorized valve open,
burner on, alarm off.



Motorized valve open,
burner off, alarm on.



For Model 159S

Pump #1 off,
pump #2 off.



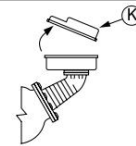
Pump #1 on,
pump #2 off.



Pump #1 on,
pump #2 on.



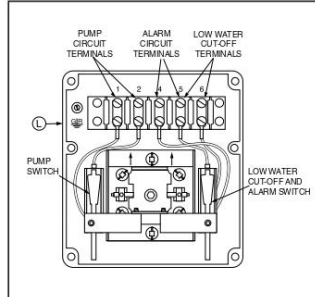
- a. Using a flathead screwdriver, remove the junction box cover (K).



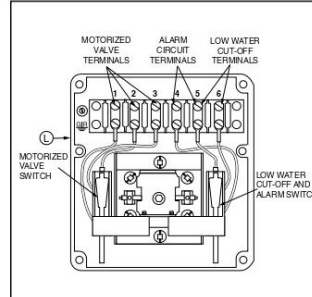
b. Following the appropriate wiring diagram, (refer to page 9) based on your application requirements, and using BX armored cable or Thinwall electrical metal tubing connector fittings, make electrical connections to the junction box (L).

IMPORTANT: There must be a minimum space of 1/2" (13mm) between connector fittings and electrical live metal parts.

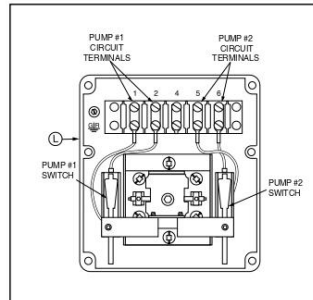
Snap Switches (Series 150S and 157S)



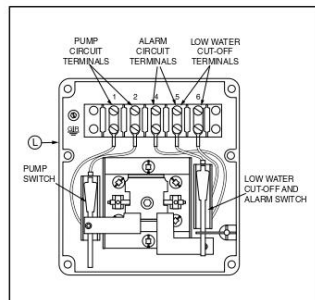
**Automatic Reset
(All models except 158S and 159S)**



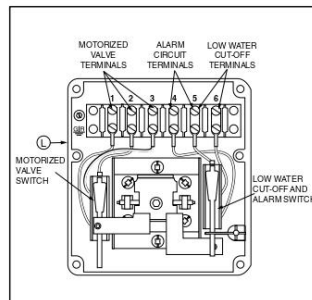
**Automatic Reset
Model 158S**



**Automatic Reset
Model 159S**



**Manual Reset
(All models except 158S)**



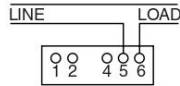
**Manual Reset
Model 158S-M**

WIRING DIAGRAMS

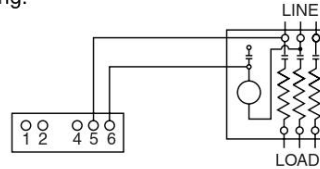
For Motorized Valves, refer to the valve manufacturer's wiring instructions.

Low Water Cut-Off Only

1. Main Line Switch - For burner circuits within the switch's electrical rating.
2. Pilot Switch - To holding coil of a starter when the burner circuit exceeds the switch's electrical rating.



OR

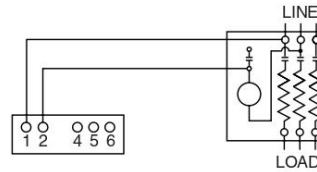


Pump Control Only

1. Install a starter or relay in pump control circuit, as shown, to prevent damage to snap switch and help insure proper switch/control operation. Failure to do so may shorten the life of the switch when actual amperage exceeds switch rating.

NOTE: For Model 159S, use terminals 5 and 6 from starter or relay for pump # 2.

2. Connect wires from holding coil of pump starter or relay to terminals 1 and 2 as shown.

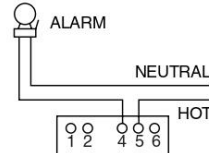


NOTE: To help insure most effective operation, balance boiler feed pump(s) to deliver required water feeder rate to match boiler steaming requirements.

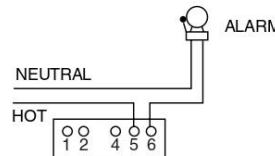
Alarm Circuit Only

1. Low Water Alarm

2. High Water Alarm



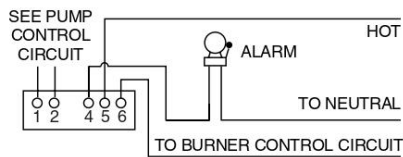
OR



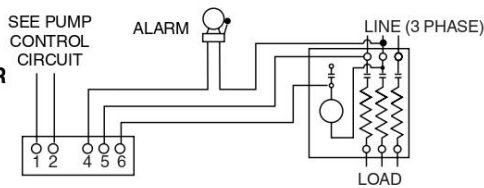
Combination Pump Control, Low Water Cut-Off and Alarm

1. Main Line Switch - For burner circuits within the switch's electrical rating.

2. Pilot Switch - To holding coil of a starter when the burner circuit exceeds the switch's electrical rating.

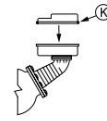


OR



6. Re-attach the junction box cover (K).

Note:
Cover must be installed correctly as shown

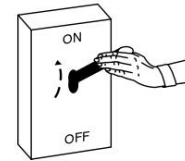


STEP 5 - Testing

This control is factory calibrated for specific applications. The following testing procedure is only meant to serve as a verification of proper operating sequence. Dimensions provided are typical for a boiler not being fired and/or not at pressure. Actual operating ranges are shown on page 2 in the "Operation" section.

IMPORTANT: Follow the boiler manufacturer's start-up and operating instructions along with all applicable codes and ordinances. **Note:** Water levels stated below are only for 150 psi (10.5 kg/cm²) operation.

- a. Turn on the electric power to the boiler. With the boiler empty the pump should go on and the burner must remain off.



WARNING

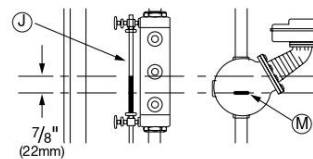


If the burner comes on, immediately turn the boiler off and make the necessary corrections.

Failure to follow this warning could cause an explosion or fire and result in property damage, personal injury or death.

- b. The boiler should begin to fill with water. Watch the gauge glass (J) until the water level reaches approximately $\frac{7}{8}$ " (22mm) above the horizontal cast line (M) on the low water cut-off.

IMPORTANT: If water does not start filling the boiler, immediately turn off the the boiler and make the necessary corrections.

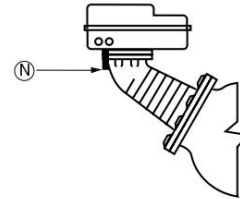


c. For automatic reset models only. When the water level reaches approximately $\frac{7}{8}$ " (22mm) above the horizontal cast line (lower for MD models) the burner should come on (pump #2 should shut off with Model 159S).

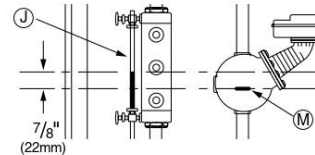
OR

For manual reset models only. When the water level reaches approximately $\frac{7}{8}$ " (22mm) above the horizontal cast line press the reset button (N). The burner should then come on.

Snap Switch Models



d. Continue watching the gauge glass (J) to see that the water continues to rise to approximately $1\frac{3}{8}$ " (35mm) ($1\frac{7}{16}$ " (37mm) for MD models) above the horizontal cast line (M). The pump should shut off (the motorized valve should close with Models 158 and 158S, or with Models 159 and 159S, pump #1 should shut off).



CAUTION



To prevent serious personal injury from steam pipe blow down, connect a pipe to avoid exposure to steam discharge.

Failure to follow this caution could cause personal injury.

e. Blow down the control when the water in the boiler is at its normal level and the burner is on. Follow Blow Down Procedure found in Maintenance Section on the last page of these instructions.

INSTALLATION COMPLETE

MAINTENANCE

SCHEDULE:

Blow down control as follows when boiler is in operation.

- Daily if operating pressure is above 15 psi.
- Weekly if operating pressure is below 15 psi.

NOTE

More frequent blow-down may be necessary due to dirty boiler water and/or local codes.

- Remove head assembly and inspect water side components annually. Replace head assembly if any of the internal components are worn, corroded or damaged or if control no longer operates properly.
- Inspect the float chamber and equalizing piping annually. Remove all sediment and debris.

NOTE

The control may need to be inspected and cleaned more frequently on systems where there is the potential of excessive scale or sludge build-up. This includes systems:

- With high raw water make-up
- With no condensate return
- With untreated boiler water
- Where significant changes have been made to the boiler-water chemical treatment process
- With oil in the boiler water

Replace head mechanism every 5 years.

More frequent replacement may be required when severe conditions exist.

Replacement parts are available from your local authorized McDonnell & Miller Distributor.

The use of parts or components other than those manufactured by McDonnell & Miller will void all warranties and may affect the units compliance with listings or regulating agencies.

xylem
Let's Solve Water

Xylem Inc.
8200 N. Austin Avenue
Morton Grove, Illinois 60053
Phone: (847) 966-3700
Fax: (847) 965-8379
www.xyleminc.com/brands/mcdonnellmiller

McDonnell & Miller is a trademark of Xylem Inc. or one of its subsidiaries.
© 2013 Xylem Inc. MM-217K July 2013 Part No. 210341

BLOW DOWN PROCEDURE:

CAUTION	
	To prevent serious personal injury from steam pipe blow down, connect a drain pipe to the control opening to avoid exposure to steam discharge.
	Failure to follow this caution could cause personal injury.

When blowing down a control at pressure, the blow down valves should be opened slowly. The piping needs to be warmed up and stagnant water in the drain piping needs to be pushed out. Suddenly opening a blow down valve causes steam to condense, which can create water hammer.

Damage to components can occur when water hammer occurs due to improper blow down piping. For these reasons, McDonnell & Miller recommends a dual valve blow-down system for each control.

Blow down the control when the water in the boiler is at its normal level and the burner is on.

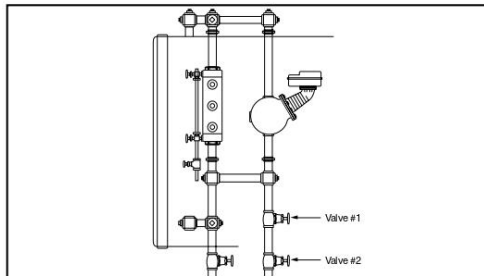
NOTE: Refer to page 2 for switch operating points.

- Open upper valve (#1)
- Slowly open the lower valve (#2)
- Water in the sight glass should lower.
- As the water in the sight glass lowers, the pump should turn on.
- As the water continues to lower in the sight glass, the burner should turn off.
- Slowly close the lower valve (#2).
- Close the upper valve (#1)
- The water level in the sight glass should rise, first turning on the burner and then turning off the pump.

NOTE: On manual reset models, the reset button will need to be pressed after the water level has been restored before the burner will operate.

NOTE

If this sequence of operation does not occur as described, immediately close all the valves, turn off the boiler and correct the problem. Inspection/cleaning of the float mechanism may be required to determine why the control was not working properly. Retest the control after the problem has been identified and corrected.



Honeywell

L404F,T,V PressureTrol® Controllers

PRODUCT DATA



FEATURES

- Models available in a series of control ranges, and pressure scales in kPa and psi.
- All models automatically reset and have an adjustable differential.
- Models have snap switch to open or close a circuit on a pressure rise.
- Case has a clear plastic cover so setpoints can be observed.
- 1/4 inch—18 NPT connection for pipe on diaphragm assembly.
- Ground screw terminal.

L404F:

- Controllers may be used with steam, air, or noncombustible gases, or fluids noncorrosive to the pressure sensing element.

L404T:

- High pressure limits, break a circuit on oil pressure rise above setpoint.

L404V:

- Low pressure limits, makes a circuit on oil pressure rise above setpoint.

APPLICATION

L404F PressureTrol® Controllers provide operating control with automatic limit protection for pressure systems of up to 2070 kPa, or 300 psi.

L404T,V PressureTrol® Controllers are for use on oil burner systems for pressures up to 1035 kPa or 150 psi.

Contents

Application	1
Features	1
Specifications	2
Ordering Information	2
Installation	3
Settings and Adjustments	6
Checkout	6



71-2429-3

L404F,T,V PRESSURETROL® CONTROLLERS

SPECIFICATIONS

Model:

L404F,T,V PressureTrol® Controllers. See Table 1.

Table 1. Models with kPa—psi.

Model Number	Operating Ranges		Subtractive Differential ^a		Maximum Diaphragm pressure	
	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi
L404F1060	15 to 100	2 to 15	15 to 40	2 to 6	170	25
L404F1078	35 to 350	5 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85
L404F1094	140 to 2070	20 to 300	140 to 345	20 to 50	2410	350 ^b
L404F1102	70 to 1035	10 to 150	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404F1219 ^c	15 to 100	2 to 15	15 to 40	2 to 6	170	25
L404F1243 ^c	35 to 350	5 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85
L404F1227 ^c	70 to 1035	10 to 150	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404F1235 ^c	140 to 2070	20 to 300	140 to 345	20 to 50	2410	350 ^b
L404F1300 ^c	415 to 1240	60 to 180	40 fixed	6.0 Fixed	1550	225
L404F1326	0 to 100	0 to 15	15 to 40	2 to 6	170	25
L404F1334	0 to 350	0 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85
L404F1342	35 to 1000	5 to 145	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404F1359	70 to 2000	10 to 290	140 to 345	20 to 50	2410	350 ^b
L404F1367	7 to 55	1 to 8	5 to 14	0.75 to 2	170	25
L404F1375 ^d	35 to 350	5 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85
L404F1383 ^d	70 to 1035	10 to 150	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404F1391 ^d	140 to 2070	20 to 300	140 to 345	20 to 50	2410	350 ^b
L404F1409 ^d	15 to 100	2 to 15	15 to 40	2 to 6	170	25
L404T1055	35 to 350	5 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85
L404T1063	70 to 1035	10 to 150	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404V1087 ^d	70 to 1035	10 to 150	70 to 150	10 to 22	1550	225
L404V1095 ^d	35 to 350	5 to 50	40 to 100	6 to 14	590	85

^a Nominal at midscale operating range.

^b Brass bellows instead of stainless steel diaphragm.

^c Models with 1/4-19 BSPT thread instead of 1/4-18 NPT thread.

^d Make-on-rise models with terminal B omitted for miswiring compliance.

ORDERING INFORMATION

When purchasing replacement and modernization products from your TRADELINE® wholesaler or distributor, refer to the TRADELINE® Catalog or price sheets for complete ordering number.

If you have additional questions, need further information, or would like to comment on our products or services, please write or phone:

1. Your local Honeywell Automation and Control Products Sales Office (check white pages of your phone directory).
2. Honeywell Customer Care
1885 Douglas Drive North
Minneapolis, Minnesota 55422-4386

In Canada—Honeywell Limited/Honeywell Limitée, 35 Dynamic Drive, Scarborough, Ontario M1V 4Z9.

International Sales and Service Offices in all principal cities of the world. Manufacturing in Australia, Canada, Finland, France, Germany, Japan, Mexico, Netherlands, Spain, Taiwan, United Kingdom, U.S.A.

L404F,T,V PRESSURETROL® CONTROLLERS

Table 2. Conversion Table.

Operating Range Conversions			Subtractive Differential Conversions		
kg/cm ²	kPa	psi	kg/cm ²	kPa	psi
0.1 to 1.05	15 to 100	2 to 15	0.15 to 0.4	15 to 40	2 to 6
0.4 to 3.5	35 to 350	5 to 50	0.4 to 1.0	40 to 100	6 to 14
0.7 to 10.0	70 to 1035	10 to 150	0.7 to 1.6	70 to 150	10 to 22
1.5 to 20.0	140 to 2070	20 to 300	1.5 to 3.5	150 to 300	20 to 50

Table 3. Switch Ratings (Amperes).

Switch State	120 Vac	240 Vac
Full Load	8.0	5.1
Locked Rotor	48.0	30.6

Pressure Sensing Element: Stainless steel diaphragm (140 to 2070 kPa models) has brass bellows.

Maximum Ambient Temperature: 66°C (150°F). Also, refer to note under Mounting.

Adjustment Means: Screws on top of control case. Scales are marked in psi or kPa.

Mounting Means: 1/4 inch-18 NPT connection on diaphragm assembly; or surface mounts using holes in back of case.

Dimensions: See Fig. 1.

Switching Action: Snap switch breaks R-B (closes R-W) on pressure rise. Make-on-rise devices omit terminal B.

Grounding Means: Ground screw terminal marked with a circled ground symbol.

Accessories:

14026 Steam Trap (118023 for BSPT models).
33312B Knurled Knob—fits on top of adjusting screws.
129564 Range Stop—range stop screw, Part No. 107194, and wrench, Part No. 23466, to limit setpoint range.

Approvals:

Underwriters Laboratories Inc. Listed: file no. MP466, vol. 10, guide no. MBPR.
Canadian Standard Association certified: file no. LR1620, guide no. 400E-0.

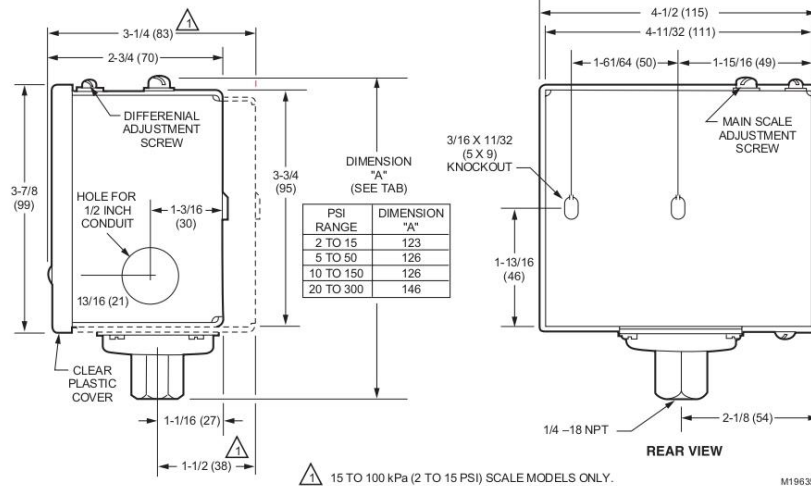


Fig. 1. L404F,T,V approximate dimensions in inches (millimeters in parentheses).

INSTALLATION

When Installing This Product...

1. Read these instructions carefully. Failure to follow them could damage the product or cause a hazardous condition.
2. Check on the ratings given in the instructions and marked on the product to make sure the product is suitable for your application.
3. Installer must be a trained, experienced service technician.

L404F,T,V PRESSURETROL® CONTROLLERS

- After installation is complete, check out the product operation as provided in these instructions.

IMPORTANT

When making pipe connections, use pipe dope sparingly to seal the joints; any excess dope may clog the small hole in the fitting and prevent the controller from operating properly.

Location and Mounting (L404F)

Locate the L404F where the ambient temperature will not exceed 66°C (150°F). The L404F can be mounted near the pressure gauge, at a remote location, in a fitting provided by the boiler manufacturer, or in a special mounting on low water cutoffs. The L404F should always be mounted above the water line in steam boiler applications.

NOTE: For accurate operation, supplemental heat should be added to installations where temperatures fall below -29°C (-20°F).

A steam trap must be connected between the L404F and the boiler (see Fig. 2) to prevent boiler scale and corrosive vapors from attacking the elbows or diaphragm.

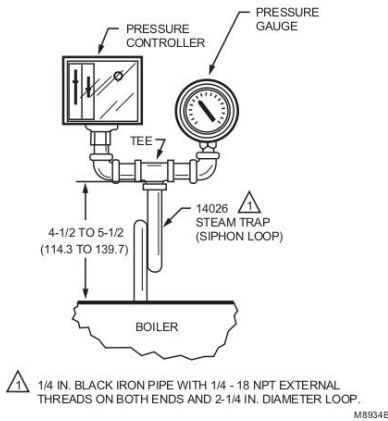


Fig. 2. Steam trap mounting.

Pressure Gauge Mounting

To mount beside a pressure gauge, remove the gauge, and install in its place the steam trap with a tee on top. Mount the PressureTrol® unit and pressure gauge on the side of the tee by means of nipples and elbows (see Fig. 2).

Remote Mounting

Excessive vibration at the boiler may affect the operation of the L404F. In these cases, the L404F should be remotely located, subject to the following:

- All piping must be suitable and properly pitched to drain all condensation back to the boiler.
- The remote mounting must be solid.
- A steam trap must be used at one end of the piping.

Boiler Mounting

If it is not convenient to mount the L404F adjacent to the pressure gauge, install a steam trap at the location recommended by the boiler manufacturer, then screw the device directly to the steam trap.

Location and Mounting (L404T,V)

Location

NOTE: For most accurate operation, supplemental heat should be added to installations where the temperature falls below -20°F (-29°C). These controllers can be mounted at any location in the oil supply line, depending on the application. Typical locations are shown in Fig. 3. The low oil pressure controller should be located upstream from the safety shutoff valve(s). In a downstream location, there would be zero pressure when the burner is not running and the safety shutoff valve(s) is (are) closed. This could prevent startup or require manual reset every time the burner is started. The high oil pressure controller should be located as near to the burner as possible.

Mounting

Mount the oil pressure controller directly on the main pipe. Insert a tee in the pipe line, and connect a pipe nipple of appropriate size to the tee (see Fig. 4). Screw the hexagonal fitting (1/4-18 NPT internal thread) of the pressure controller to the pipe nipple. To avoid leaks and damage to the case, use a parallel jaw wrench on the hexagonal fitting close to the pipe nipple. Do not tighten the pressure controller by hand by holding the case.

Make all pipe connections in accordance with approved standards. Use only a small amount of pipe compound to seal the connection joints. Excess pipe compound may clog the orifice in the pipe fitting and prevent the controller from operating properly.

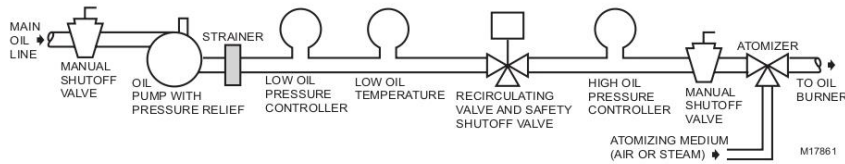


Fig. 3. Typical locations of pressure controllers in an oil burner system.

L404F,T,V PRESSURETROL® CONTROLLERS

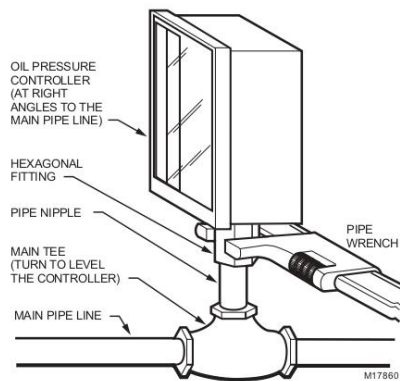


Fig. 4. Mounting an oil pressure controller directly on the main pipe.

Using with Preheated Oil

When used with preheated oil, a siphon loop (part number 14026) must always be connected between the controller and the main pipe (see Fig. 5) to provide thermal buffering.

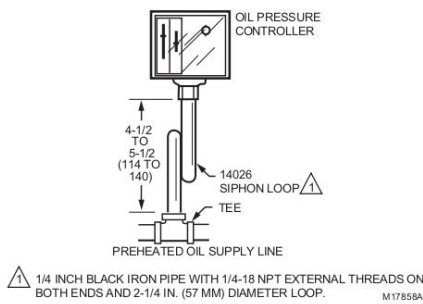


Fig. 5. Mounting of a siphon loop, with approximate dimensions in in. (mm).

WIRING

⚠ WARNING

Electrical Shock Hazard.
Can cause severe injury, death or property damage.
Disconnect the power supply before beginning wiring.
More than one power supply disconnect may be required.

All wiring must comply with applicable codes and ordinances. All models have terminals (on the MicroSwitch® snap-acting switch) inside the cover and knockouts for conduit and cable. Refer to manufacturer installation and wiring instructions, if available, and to typical hookups shown in Fig. 6 to 10.

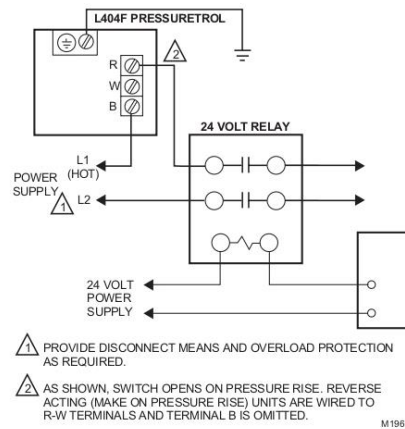


Fig. 6. L404F in low voltage relay circuit.

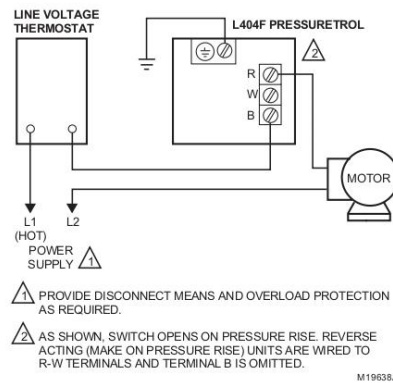


Fig. 7. L404F in a typical 2-wire control circuit.

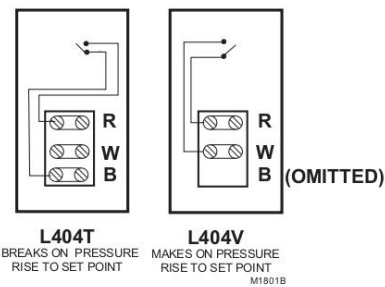


Fig. 8. L404T,V terminal blocks and internal schematics.

L404F,T,V PRESSURETROL® CONTROLLERS

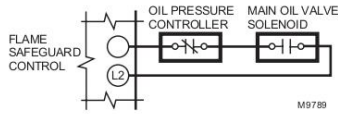


Fig. 9. Hookup of an oil pressure controller used on a single burner system with an integral oil pump.

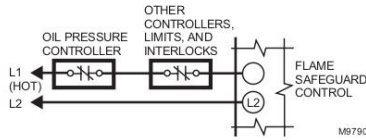


Fig. 10. Hookup of an oil pressure controller used on a single burner or multiburner system with an external oil pump.

SETTINGS AND ADJUSTMENTS

When the pressure at the control rises above the L404 setpoint, a circuit opens between the R-B terminals. During a pressure fall, R-B will close at the setpoint pressure minus the switch differential.

For example, if a controller is set to differential **B** (see Fig.11) with a controller setpoint of **A**, R-B will open when the pressure rises to **A**. Then during a pressure fall, the R-B terminals will close when the pressure drops to **C** (**A** minus differential **B**).

For make on rise applications, the switch is wired to R-W terminals. The R-W circuit will close on pressure rise to the setpoint. R-W will open again on a pressure drop past the switch differential.

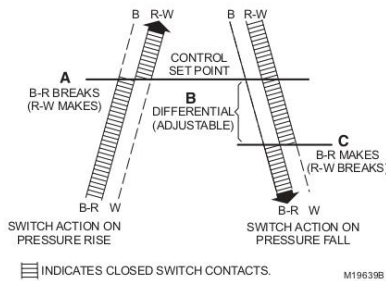


Fig. 11. Operation of switch on pressure rise and fall.

Setpoint Adjustment

Turn the pressure adjusting screw on the top of the controller (Fig. 12) to adjust the setpoint. Turn the differential adjusting screw to the desired pressure difference between switch opening and switch closing.

NOTE: When the main scale setting is at the lower end of the operating range, the differential range will be less than the differential setting by approximately 20 percent.

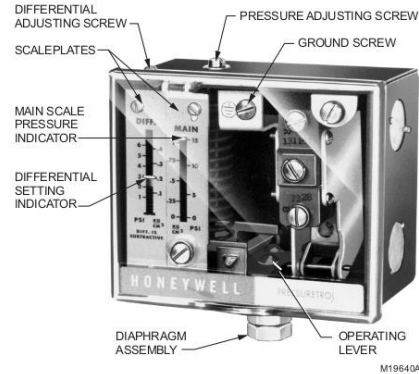


Fig. 12. view of L404 PressureTrol® Controller.

Scaleplate Adjustment

The L404F,T,V has been carefully calibrated during manufacture and should not require recalibration.

However, if recalibration is necessary, remove the cover and loosen the setscrews which hold the scaleplate. Adjust the plate up or down, as required, to bring the device into calibration. Tighten the setscrews securely and replace the cover.

CHECKOUT

After the controller has been installed, wired and adjusted, it should be tested with the system in operation. First, allow the system to stabilize. Then, observe the operation of the controller while raising and lowering its setpoint. Pressure should increase when the setpoint is raised and decrease when the setpoint is lowered.

Also, check the make and break points of the controller. If they do not agree with a separate, accurately calibrated pressure gauge, a slight adjustment of the scaleplate(s) may be necessary.

Use accurate pressure testing equipment when checking out the controller. Do not rely on inexpensive gauges. The controllers are carefully calibrated at the factory.



Serie VSGR

Válvula de Seguridad Roscada



Válvula De Seguridad Roscada
Serie VSGR



Contenido

☯ Aplicación.....	2
☯ Serie VSGR - Ventajas.....	2
Calidad.....	2
☯ Dimensiones.....	3
☯ Capacidad de Descarga.....	3
☯ Tabla de Resortes.....	4
☯ Materiales de Construcción.....	5
☯ Instalación.....	5
☯ Código de Pedido.....	6
☯ Software de Dimensionamiento.....	6
☯ Productos TECVAL.....	7

Válvula De Seguridad Roscada
Serie VSGR

Aplicación

La línea de Válvulas de Seguridad es empleada para la protección de diversos sistemas, entre estos recipientes que contienen vapor, aire, o gases no peligrosos.

Cuando se produce un aumento de presión interna en el sistema que supera la presión de calibración de la Válvula de Seguridad, se genera un desbalance de fuerzas que ocasiona el levantamiento del disco permitiendo la salida del fluido para el alivio de presión.

Serie VSGR - Ventajas

Resortes diseñados y fabricados en TECVAL con tratamiento térmico para evitar fatigas por cambios de temperatura, garantizando precisión repetitiva en las presiones de apertura y cierre

Tornillos de fijación retienen los anillos de calibración en las posiciones prefijadas con los bancos de prueba TECVAL.

Conector incorpora en una sola pieza de alta resistencia el asiento de la Válvula lapeado con planitud ópticamente verificada y la boquilla que garantiza el flujo de la Válvula para cada presión de disparo.

Sellos de seguridad colocados en fabrica individualmente a todas las Válvulas, garantizan la presión de calibración.

Discos mecanizados con alta precisión, tienen sellos lapeados hasta obtener la planitud verificada ópticamente, garantiza el sellado hermético metal-metal, para brindar una larga vida útil a la Válvula.

Anillos de calibración con geometría precisa, son colocados en la posición óptima respecto al disco y el asiento para cumplir con las exigencias del código ASME I, sobre apertura y cierre de Válvulas de seguridad para calderas.

Calidad

Pruebas individuales son realizadas a cada válvula para asegurar su correcta calibración. Certificados de prueba son entregados y registrados en el sistema de administración de activos de TECVAL para una adecuada trazabilidad.



Válvula De Seguridad Roscada
Serie VSGR

Dimensiones

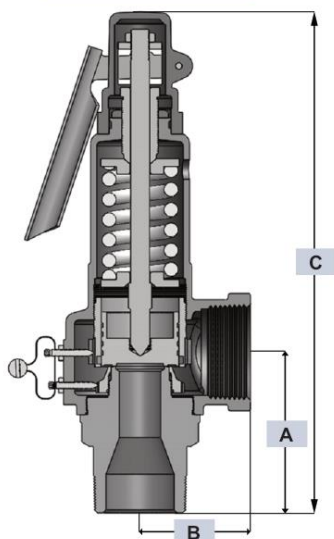


Tabla 1

Conexión		Dimensiones			Designación	Boquilla		Peso kg
Entrada	Salida	A (mm)	B (mm)	C (mm)		Área de Boquilla		
						in ²	cm ²	
1/2"	3/4"	58	44	195.5	D	0.12	0.78	0.76
3/4"	3/4"	58	44	195.5	D	0.12	0.78	0.95
3/4"	1"	68.5	47	228.5	E	0.21	1.39	1.62
1"	1"	68.5	47	228.5	E	0.21	1.39	1.64
1"	1 1/4"	70	52.5	246	F	0.03	2.18	2.33
1 1/4"	1 1/4"	70	52.5	246	F	0.03	2.18	2.43
1 1/4"	1 1/2"	77.5	61.5	273.5	G	0.55	3.57	2.93
1 1/2"	1 1/2"	77.5	61.5	273.5	G	0.55	3.57	2.95
1 1/2"	2"	104	71.5	324	H	0.86	5.56	3.75
2"	2"	104	74.5	324	H	0.86	5.56	5.48
2"	2 1/2"	115	88	354	J	1.28	8.30	7.5
2 1/2"	2 1/2"	115	88	354	J	1.28	8.30	7.75

Capacidad de Descarga

Capacidad de descarga para vapor saturado (lb / hr).

Tabla 2

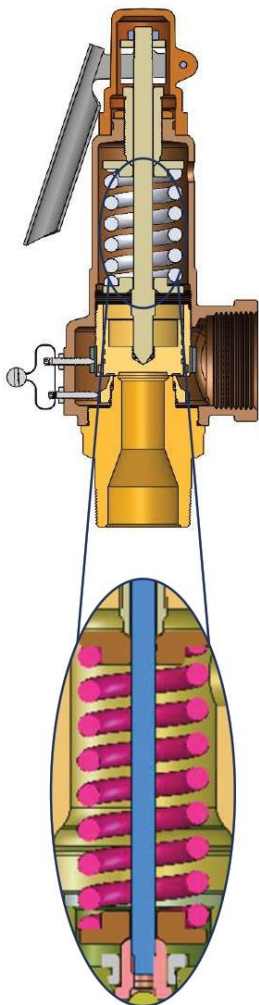
Presión psi	Designación de orificio y área (pulg.)					
	D	E	F	G	H	J
	0.121	0.216	0.338	0.554	0.863	1.287
10	151	270	422	692	1078	1607
30	276	492	770	1262	1966	2932
60	462	825	1292	2117	3298	4918
90	649	1159	1813	2972	4630	6905
120	836	1492	2335	3827	5962	8892
150	1023	1826	2857	4683	7294	10878
180	1210	2159	3379	5538	8627	12865
210	1396	2493	3900	6393	9959	14851
240	1583	2826	4422	7248	11291	16838
270	1770	3159	4944	8103	12623	18825
300	1957	3493	5466	8958	13955	20811
330	2143	3826	5987	9814	15287	22798

Presión psi	Designación de orificio y área (pulg.)					
	D	E	F	G	H	J
	0.121	0.216	0.338	0.554	0.863	1.287
360	2330	4160	6509	10669	16619	24785
390	2517	4493	7031	11524	17951	26771
420	2704	4826	7553	12379	19284	28758
450	2891	5160	8074	13234	20616	30744
480	3077	5493	8596	14089	21948	32731
510	3264	5827	9118	14945	23280	34718
540	3451	6160	9640	15800	24612	36704
570	3638	6494	10161	16655	25944	38691
600	3824	6827	10683	17510	27276	40678
630	4011	7160	11205	18365	28609	42664
660	4198	7494	11726	19220	29941	44651
690	4385	7827	12248	20075	31273	46637
720	4571	8161	12770	20931	32605	48624

Lb/hr de otros gases		Gas	FV
$\text{Lb/hr del gas} = \frac{\text{Lb/hr de vapor sat.}}{F_v \times \sqrt{\frac{T + 460}{460}}}$		Aire	.61
		Argon	.49
		Co2	.51
		Nitrogeno	.62

Válvula De Seguridad Roscada Serie VSGR

Tabla de Resortes



Boquilla D		
Rango de Presión		Código
Mínimo	Máximo	
4	6	SPR00000
6	8	SPR00005
9	13	SPR00010
13	19	SPR00015
19	23	SPR00020
23	26	SPR00025
26	33	SPR00030
33	37	SPR00035
37	44	SPR00040
41	50	SPR00045
50	65	SPR00050
62	75	SPR00055
68	82	SPR00060
82	98	SPR00065
90	110	SPR00070
110	135	SPR00075
135	165	SPR00080
155	180	SPR00085
180	218	SPR00090
202	243	SPR00095
228	250	SPR00100
238	275	SPR00105

Boquilla E		
Rango de Presión		Código
Mínimo	Máximo	
4	6	SPR00125
6	8	SPR00122
8	15	SPR00120
15	20	SPR00130
18	25	SPR00135
25	32	SPR00140
32	38	SPR00145
36	40	SPR00121
39	47	SPR00155
47	58	SPR00160
58	70	SPR00165
70	84	SPR00175
76	91	SPR00180
85	102	SPR00170
95	115	SPR00185
115	139	SPR00190
139	166	SPR00195
166	188	SPR00200
188	215	SPR00205
215	256	SPR00210
234	260	SPR00215

Boquilla F		
Rango de Presión		Código
Mínimo	Máximo	
4	8	SPR00219
8	12	SPR00220
12	20	SPR00225
20	24	SPR00230
24	30	SPR00235
30	36	SPR00240
34	40	SPR00245
40	48	SPR00247
48	58	SPR00250
58	70	SPR00255
66	75	SPR00260
75	89	SPR00265
78	94	SPR00270
83	100	SPR00275
100	129	SPR00280
123	145	SPR00289
134	160	SPR00285
150	190	SPR00290
175	200	SPR00295
200	220	SPR00300
220	250	SPR00305

Boquilla G		
Rango de Presión		Código
Mínimo	Máximo	
4	6	SPR00320
6	8	SPR00392
8	11	SPR00325
11	15	SPR00330
15	20	SPR00335
20	25	SPR00340
25	32	SPR00345
32	35	SPR00350
35	40	SPR00355
40	50	SPR00360
50	62	SPR00365
60	75	SPR00370
75	94	SPR00375
87	106	SPR00380
106	130	SPR00385
127	155	SPR00395
140	160	SPR00396
155	175	SPR00390
175	210	SPR00400
210	240	SPR00410
230	260	SPR00405

Boquilla H		
Rango de Presión		Código
Mínimo	Máximo	
4	6	SPR00416
6	8	SPR00415
8	10	SPR00420
10	12	SPR00430
12	15	SPR00425
15	20	SPR00445
20	25	SPR00435
40	48	SPR00455
48	60	SPR00460
58	68	SPR00465
68	80	SPR00470
75	90	SPR00475
76	90	SPR00477
90	105	SPR00480
100	120	SPR00485
120	130	SPR00490
130	140	SPR00494
140	170	SPR00495
170	185	SPR00500
185	210	SPR00505
210	240	SPR00506
240	260	SPR00510

Boquilla J		
Rango de Presión		Código
Mínimo	Máximo	
4	6	SPR00588
6	8	SPR00589
8	12	SPR00525
12	17	SPR00520
17	22	SPR00530
22	28	SPR00535
28	35	SPR00540
35	40	SPR00545
40	50	SPR00550
50	60	SPR00560
56	68	SPR00565
68	84	SPR00570
74	95	SPR00575
95	125	SPR00580
125	133	SPR00585
133	140	SPR00555
135	160	SPR00590
150	175	SPR00595
175	200	SPR00600
200	230	SPR00615
205	245	SPR00605
245	280	SPR00610

Válvula De Seguridad Roscada
Serie VSGR

Materiales de Construcción

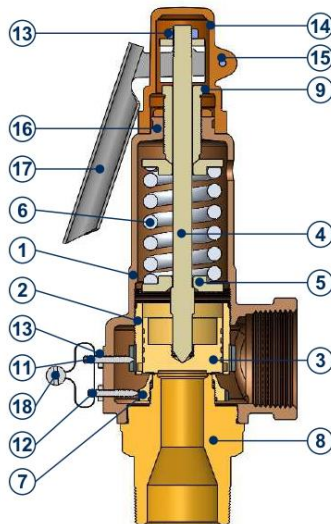


Tabla 3

Referencias	Presión Máxima de Operación
VSGR	250 PSI
VSGR-I	300 PSI
VSGR-IA	750 PSI

Tabla 4

Descripción	VSGR-I	VSGR-IA
Cuerpo	Hierro Ductil ASTM A-536	Acero al Carbono
Conector	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable
Tapón	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable
Guía del Tapón	Latón Forjado	Acero Inoxidable
Regulador	Latón Forjado	Acero Inoxidable
Vástago	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable
Pivote	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable

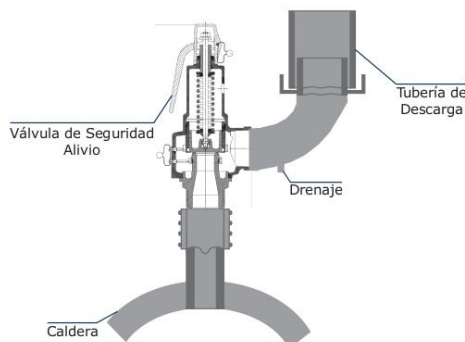
VSGR

Item	Cant.	Descripción	Material
1	1	Cuerpo*	Bronce Fundido
2	1	Guía del Tapon	Latón Forjado
3	1	Tapón	Bronce / AISI 304
4	1	Vástago Pivote	Bronce
5	2	Roldana	Latón
6	1	Resorte	Acero
7	1	Regulador	Latón Forjado
8	1	Conector	Bronce Fundido
9	1	Tornillo de Comp	Latón
10	1	Tuerca Torn. Comp	Latón
11	1	Tornillo Fij. Guía	Acero Inoxidable
12	1	Tornillo Fij. Reg	Acero Inoxidable
13	2	Tuerca 3/16" 24H ZN	Acero Inoxidable
14	1	Caperuza	Bronce Fundido
15	1	Pasador de Caperuza	Acero
16	2	Tornillo B.S.C	Acero
17	1	Palanca	Acero
18	2	Sello de Seguridad	Plomo

* Cuerpo de válvulas de tamaño superior a 2" en Hierro Ductil.

Instalación

A continuación se presenta una instalación típica de una Válvula de Seguridad, Serie VSGR TECVAL.



Recomendaciones de instalación y mantenimiento

- Asegúrese que el recipiente o la línea no contenga partículas, siempre instale verticalmente.
- No tapone los orificios de descarga o desfogue.
- No cuelgue la tubería de descarga sobre la conexión de la Válvula.
- No viole los sellos de seguridad, de lo contrario perderá la garantía de fábrica.

Válvula De Seguridad Roscada Serie VSGR

Código de Pedido

Para identificar la Válvula utilice la siguiente guía:

VSGR — **200 H** — **50** — **PSI**

Serie

Referencia
VSGR
VSGR-I
VSGR-IA

Tamaño Válvula

Entrada	Salida	Boquilla	Código
1/2"	3/4"	D	050D
3/4"	3/4"	D	075D
3/4"	1"	E	075E
1"	1"	E	100E
1"	1 1/4"	F	100F
1 1/4"	1 1/4"	F	125F
1 1/4"	1 1/2"	G	125G
1 1/2"	1 1/2"	G	150G
1 1/2"	2"	H	150H
2"	2"	H	200H
2"	2 1/2"	J	200J
2 1/2"	2 1/2"	J	250J

Set de Presión

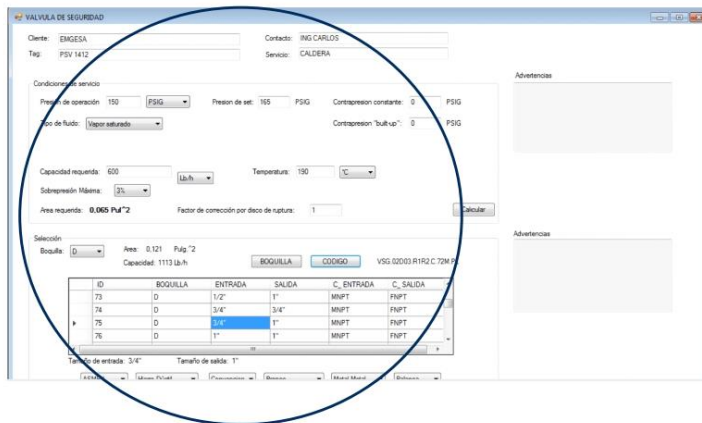
Unidades de Set
PSI
BAR
Kg / Cm2

Referencias	Presión Máxima de Operación
VSGR	250 PSI
VSGR-I	300 PSI
VSGR-IA	750 PSI

Guías para la selección

- Caldera de menos de 100 BHP deben tener por lo menos una Válvula de Seguridad.
- Calderas de más de 100 BHP deben tener por lo menos dos Válvulas de Seguridad.
- Para estaciones reductoras la capacidad de la Válvula de Seguridad debe ser igual o superior a la capacidad máxima de paso a través de la Válvula Reguladora.
- Siempre escoja la presión de apertura por lo menos un 10% por encima de la presión de operación y no menos de 5 PSI en los casos de presiones por debajo de los 50 PSI.

Software de Dimensionamiento



El software de dimensionamiento TECVAL asegura una adecuada selección acorde con la presión, temperatura, flujo y otros.



UNITED BRASS WORKS, INC
714 S. Main St., Randleman, N.C. 27317
Phone: 800/334-3035 Fax: 800/498-4696 www.ubw.com



Model 849 1/2" Steam Trap



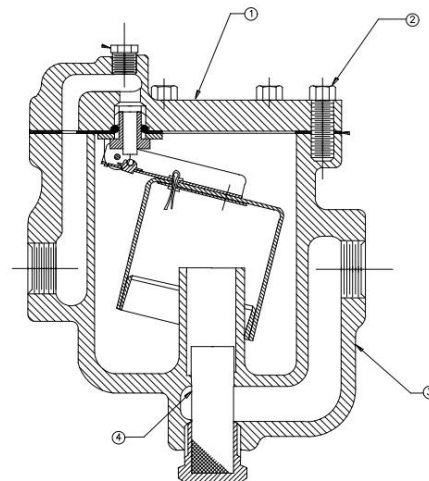
150WSP Body Rating
Operating Range 5 – 50PSI
Ductile Iron Construction
Stainless Steel Ball & Seat

E-Coated inside & out
for Corrosion Resistance

Replacement cover assembly Model 850AL

MATERIAL LIST

NO.	DESCRIPTION	MATERIAL
1	Cover Assembly	Ductile Iron
2	Cap Screw	Plated Steel
3	Body	Ductile Iron
4	Strainer	Stainless Steel



Model	PSI	5	10	20	30	40	50
849A 3/4"	Pounds Condensate Per Hour	383	461	566	629	681	765



UNITED BRASS WORKS, INC.
714 S. Main St. Randleman, N.C. 27317
Tel: 800-334-3035 Fax: 800-498-4696 www.ubw.com



Model 850 ½” Steam Trap



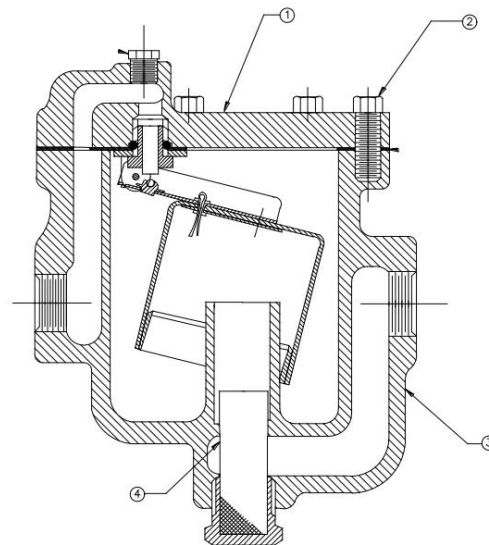
150WSP Body Rating
Operating Range 50 – 125PSI
Ductile Iron Construction
Stainless Steel Ball & Seat

E-Coated Inside & Out For Corrosion Resistance.

Replacement cover assembly Model 850F.

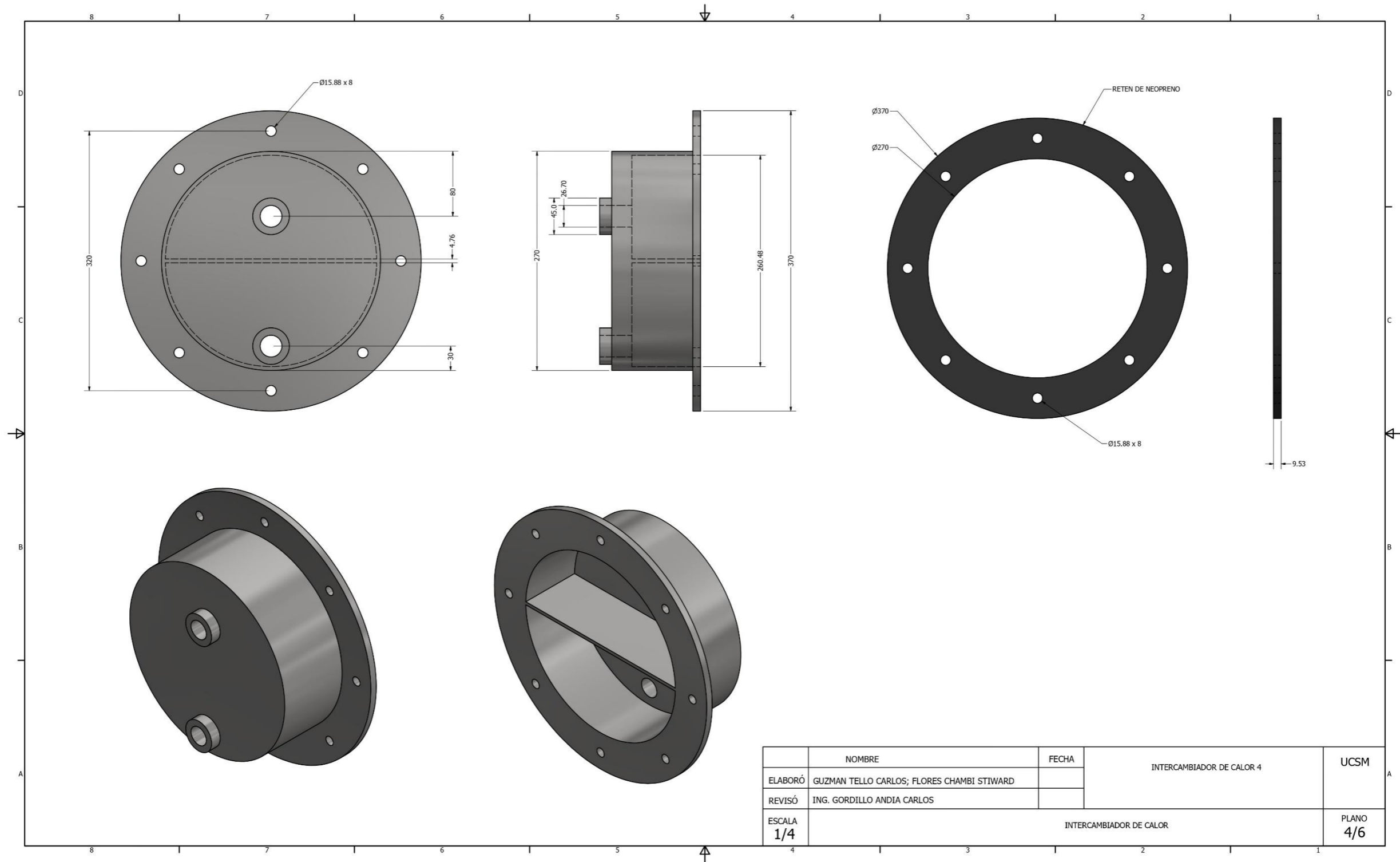
MATERIAL LIST

NO.	DESCRIPTION	MATERIAL
1	Cover Assembly	Ductile Iron
2	Cap Screw	Plated Steel
3	Body	Ductile Iron
4	Strainer	Stainless Steel

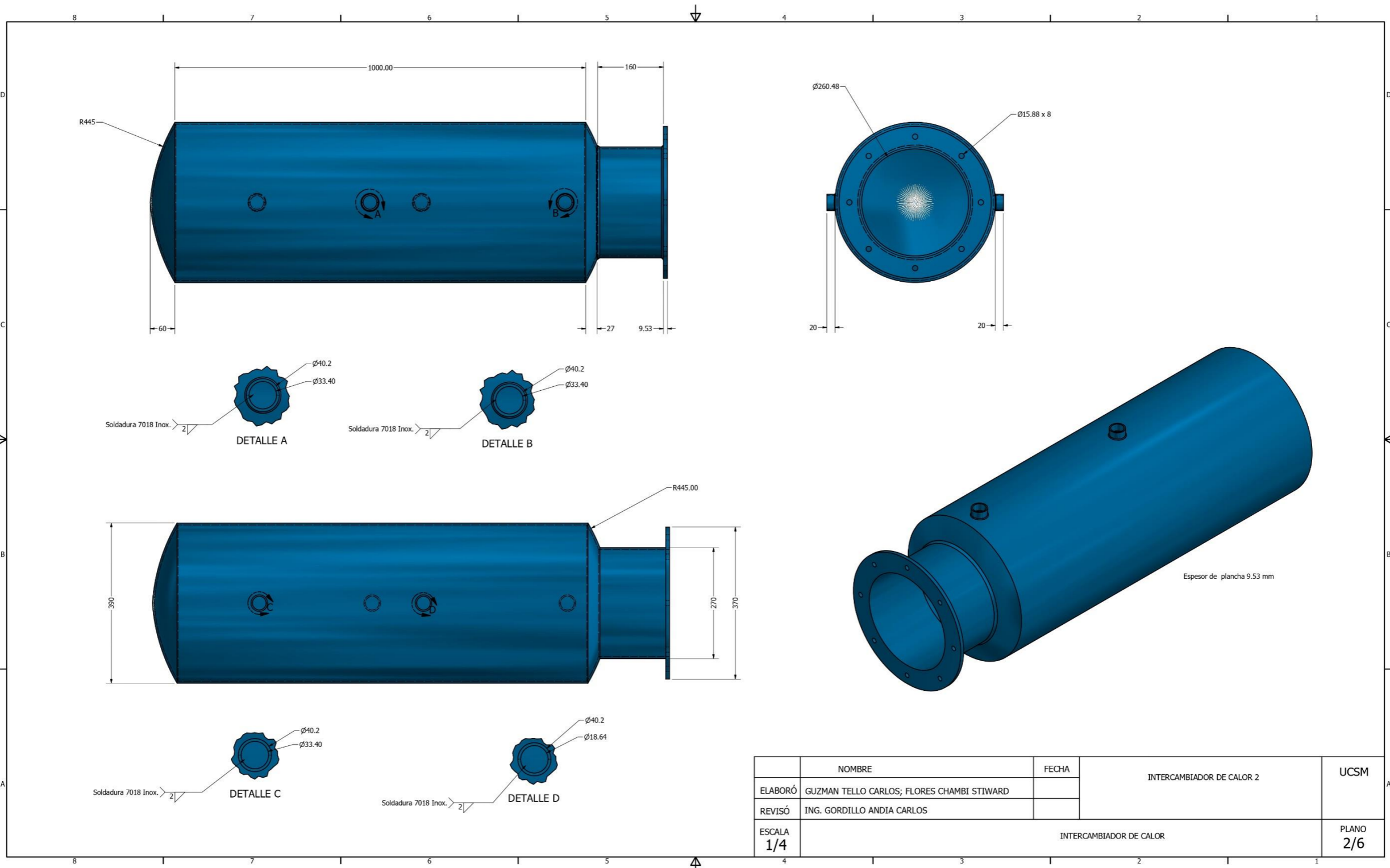


Model	PSI	60	80	100	125
850 ½”	Pounds Condensate Per Hour	384	416	466	496

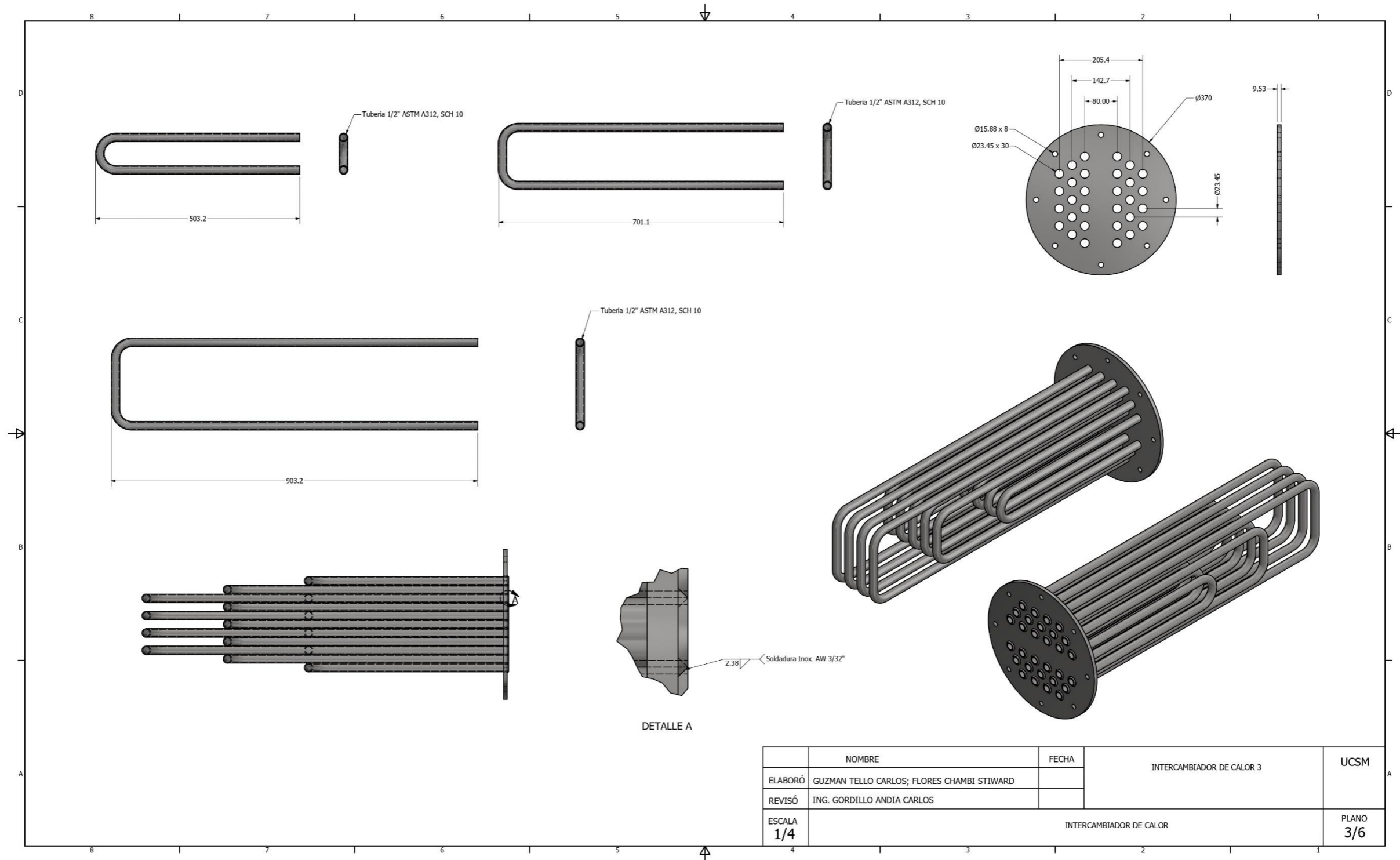




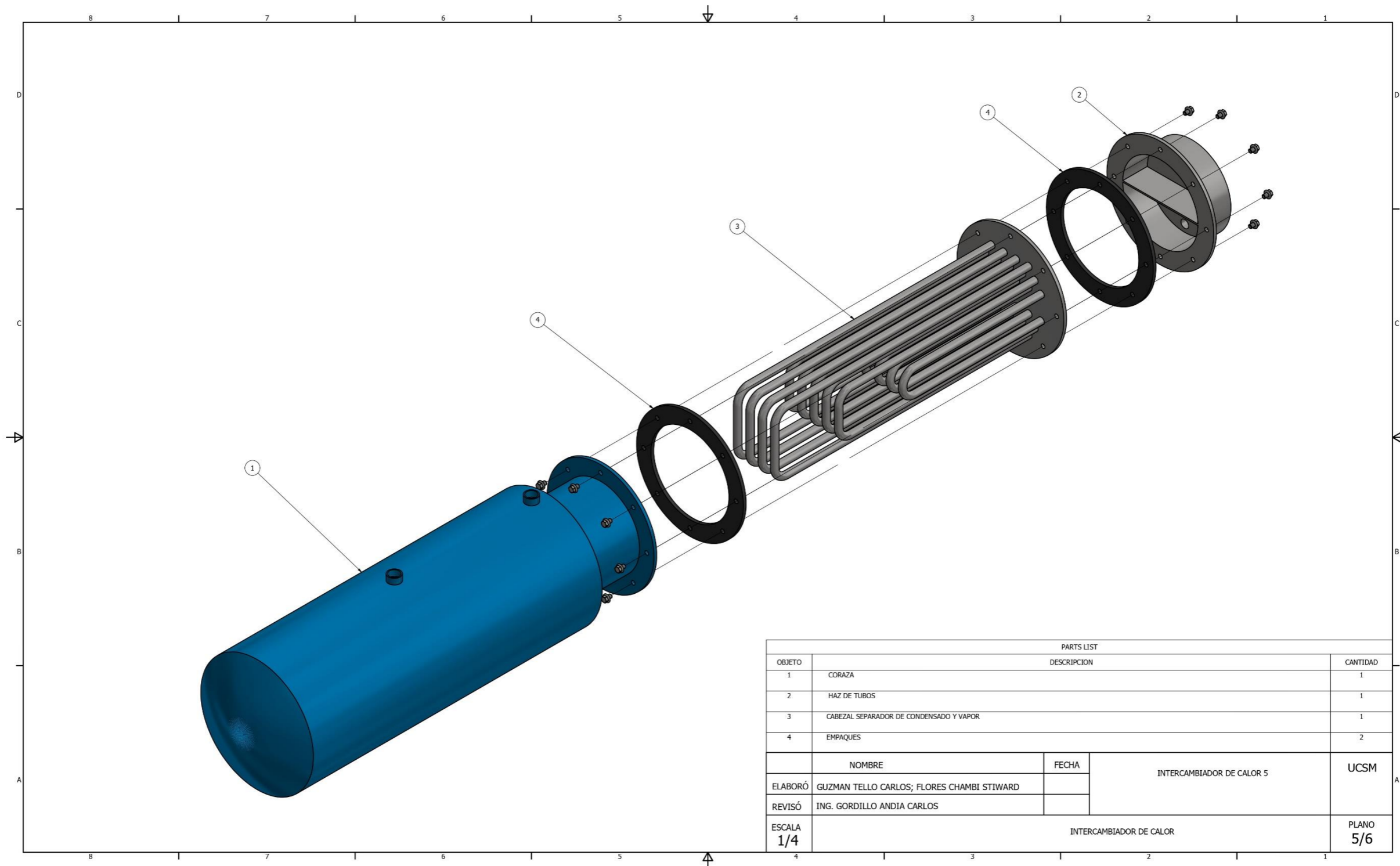
	NOMBRE	FECHA	INTERCAMBIADOR DE CALOR 4	UCSM
ELABORÓ	GUZMAN TELLO CARLOS; FLORES CHAMBI STIWARD			
REVISÓ	ING. GORDILLO ANDIA CARLOS			
ESCALA	INTERCAMBIADOR DE CALOR			PLANO
1/4				4/6



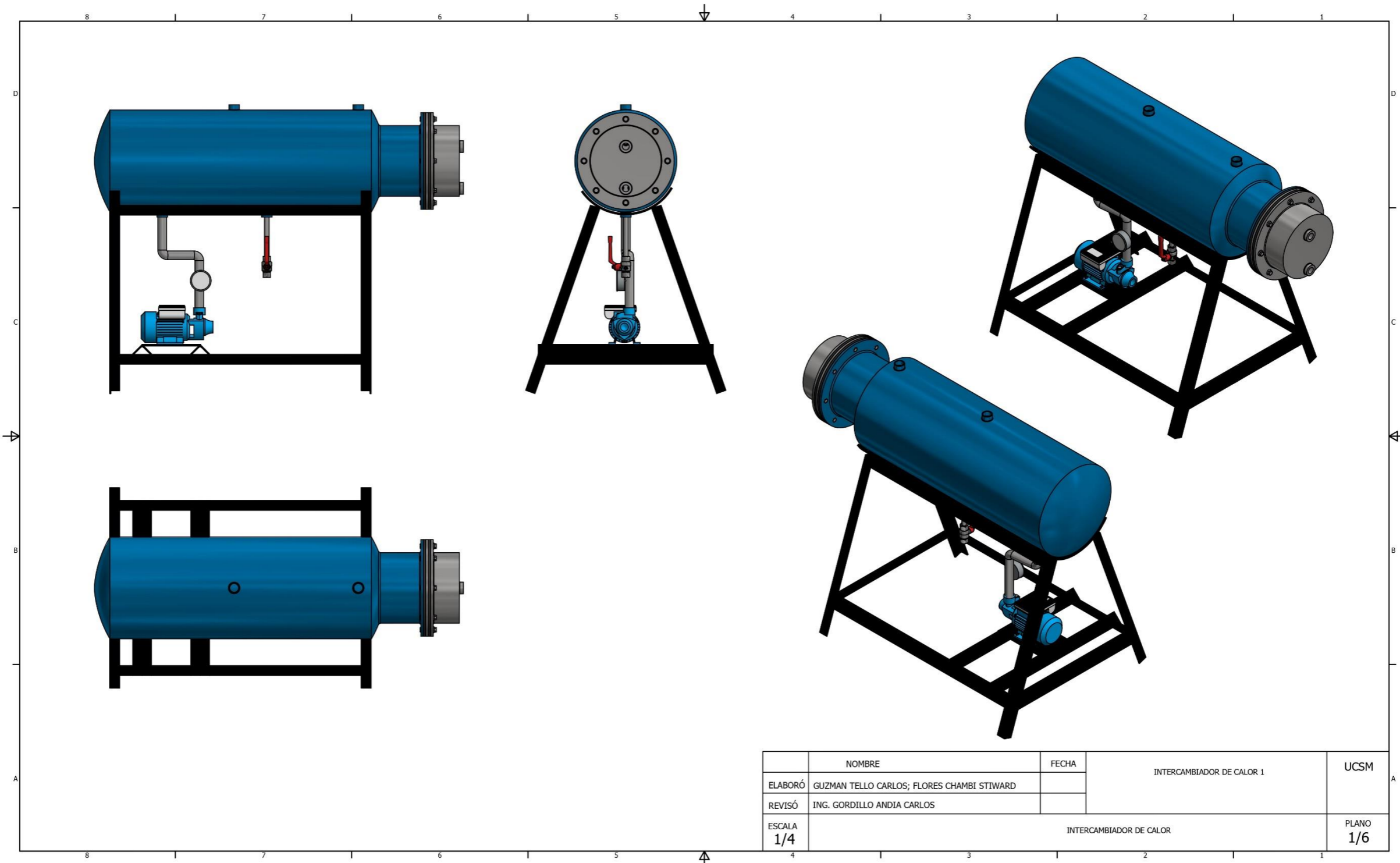
	NOMBRE	FECHA	INTERCAMBIADOR DE CALOR 2	UCSM
ELABORÓ	GUZMAN TELLO CARLOS; FLORES CHAMBI STIWARD			
REVISÓ	ING. GORDILLO ANDIA CARLOS			
ESCALA 1/4	INTERCAMBIADOR DE CALOR			PLANO 2/6



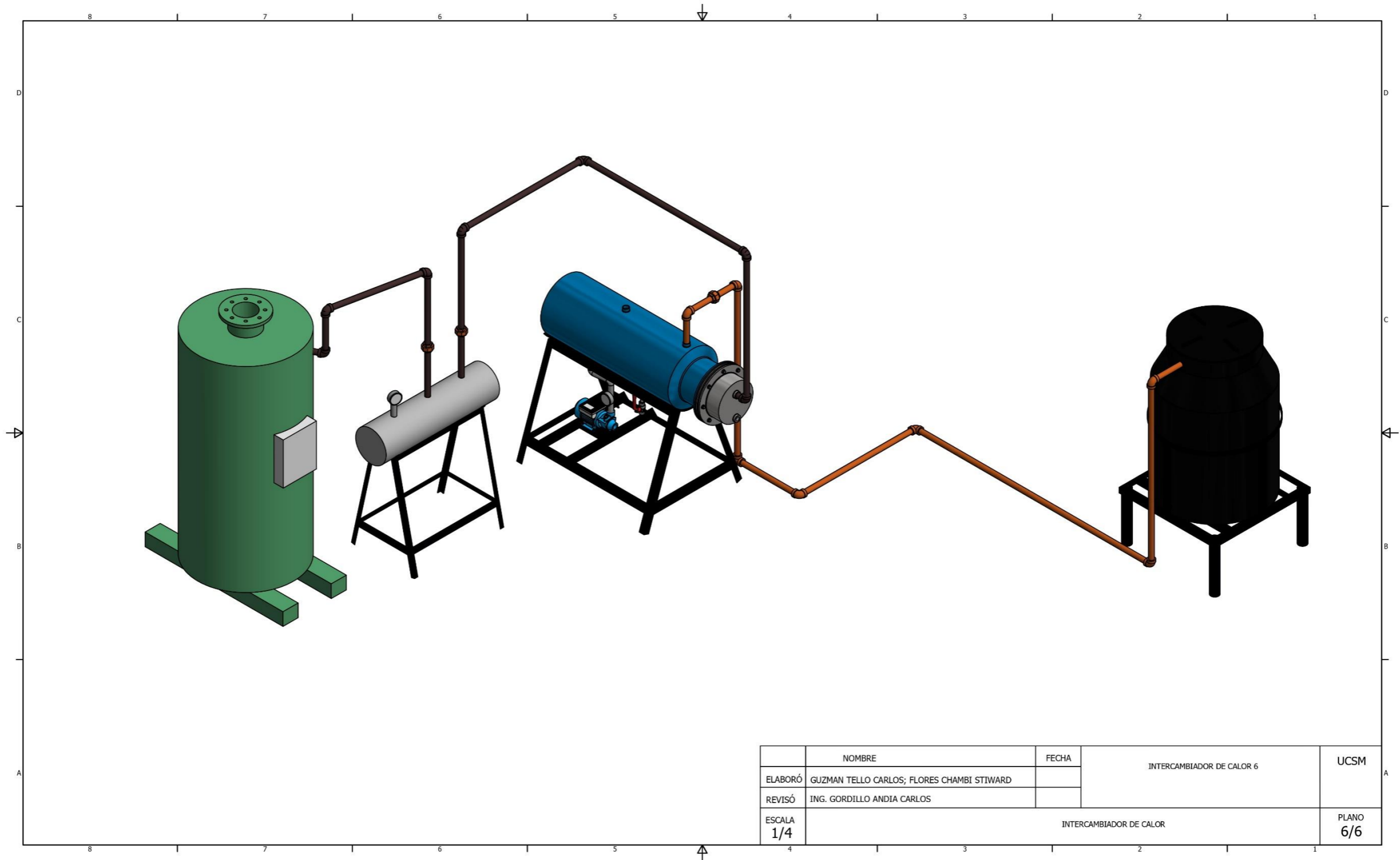
NOMBRE		FECHA	INTERCAMBIADOR DE CALOR 3	UCSM
ELABORÓ	GUZMAN TELLO CARLOS; FLORES CHAMBI STIWARD			
REVISÓ	ING. GORDILLO ANDIA CARLOS			
ESCALA 1/4	INTERCAMBIADOR DE CALOR			PLANO 3/6



PARTS LIST			
OBJETO	DESCRIPCION		CANTIDAD
1	CORAZA		1
2	HAZ DE TUBOS		1
3	CABEZAL SEPARADOR DE CONDENSADO Y VAPOR		1
4	EMPAQUES		2
	NOMBRE	FECHA	
ELABORÓ	GUZMAN TELLO CARLOS; FLORES CHAMBI STIWARD		INTERCAMBIADOR DE CALOR 5
REVISÓ	ING. GORDILLO ANDIA CARLOS		UCSM
ESCALA	INTERCAMBIADOR DE CALOR		PLANO
1/4			5/6



	NOMBRE	FECHA	INTERCAMBIADOR DE CALOR 1	UCSM
ELABORÓ	GUZMAN TELLO CARLOS; FLORES CHAMBI STIWARD			
REVISÓ	ING. GORDILLO ANDIA CARLOS			
ESCALA 1/4	INTERCAMBIADOR DE CALOR			PLANO 1/6



	NOMBRE	FECHA	INTERCAMBIADOR DE CALOR 6	UCSM
ELABORÓ	GUZMAN TELLO CARLOS; FLORES CHAMBI STIWARD			
REVISÓ	ING. GORDILLO ANDIA CARLOS			
ESCALA 1/4	INTERCAMBIADOR DE CALOR			PLANO 6/6