



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

Diseño y fabricación de un intercambiador de calor para calentamiento de aceites usado en la industria pesquera

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

AUTORES

Enrique Christian CHANG FRANCO

Blanca Merly PERALTA DÍAZ

ASESOR

Héctor Luis VILLACORTA ARÉVALO

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Chang, E. & Peralta, B. (2024). *Diseño y fabricación de un intercambiador de calor para calentamiento de aceites usado en la industria pesquera*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Blanca Merly Peralta Díaz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	77177225
URL de ORCID	-
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Enrique Christian Chang Franco
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74629456
URL de ORCID	-
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Héctor Luis Villacorta Arévalo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06093297
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-1767-0508
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Daniel Florencio Lovera Dávila
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06450640
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Luis Alfredo Orihuela Salazar

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08004136
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Manuel Leonardo Cabrera Sandoval
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07770007
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.4.12. Tecnologías Metalúrgicas Sostenibles
Grupo de investigación	GI-FIGMMG
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Callao Distrito: Callao Avenida: Av. Nestor Gambetta 141 Código Postal: 07046 Latitud: -12.0446667 Longitud: -77.1265533
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2021-Noviembre 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de Materiales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.01 Ingeniería de procesos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02

**UNMSM**

Firmado digitalmente por VEGA
GUILLEN Victor Augusto FAU
20148092282 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 06.12.2024 17:51:24 -05:00

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú - Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

«Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho»

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS MANCOMUNADA PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el miércoles 27, del mes de Noviembre del 2024 siendo las 18:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Dr. DANIEL FLORENCIO, Lovera Dávila
Mg. LUIS ALFREDO, Orihuela Salazar
Ing. MANUEL LEONARDO, Cabrera Sandoval

(PRESIDENTE)
(MIEMBRO)
(MIEMBRO)

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS MANCOMUNADA Titulada: «DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE ACEITES USADO EN LA INDUSTRIA PESQUERA» presentada por Don: ENRIQUE CHRISTIAN CHANG FRANCO, Bachiller en Ingeniería Metalúrgica, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero: **METALÚRGICO**.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

.....SATISFACCIÓN.....

Concluida la Sustentación de Tesis Mancomunada, el Jurado procedió a evaluar y calificar según el reglamento vigente, cuyo resultado fue la nota de:

.....Dieciséis (16) Aprobado con Mención Honrosa.....

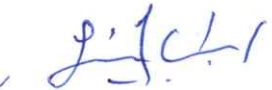
Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis Mancomunada por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALÚRGICO**, a Don: **Enrique Christian Chang Franco**.

Siendo las 19:00 horas, se dió por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (5) Actas Originales de la Sustentación de Tesis Mancomunada.

Lima, 27 de noviembre de 2024


Dr. DANIEL FLORENCIO LOVERA DÁVILA
Presidente


Mg. LUIS ALFREDO ORIHUELA SALAZAR
Miembro


Ing. MANUEL LEONARDO CABRERA SANDOVAL
Miembro


Ing. HECTOR LUIS VILLACORTA ARÉVALO
ASESOR DE TESIS



«Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho»

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS MANCOMUNADA PARA OPTAR TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERA METALÚRGICA**

En el salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el miércoles 27, del mes de Noviembre del 2024 siendo las 18:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Dr. DANIEL FLORENCIO, Lovera Dávila
Mg. LUIS ALFREDO, Orihuela Salazar
Ing. MANUEL LEONARDO, Cabrera Sandoval

(PRESIDENTE)
(MIEMBRO)
(MIEMBRO)

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación de la TESIS MANCOMUNADA Titulada: «DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE ACEITES USADO EN LA INDUSTRIA PESQUERA» presentada por Doña: BLANCA MERLY PERALTA DÍAZ, Bachiller en Ingeniería Metalúrgica, para la obtención del Título Profesional de Ingeniería: METALÚRGICA.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon a la graduanda las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

.....SATISFACCIÓN.....

Concluida la Sustentación de Tesis Mancomunada, el Jurado procedió a evaluar y calificar según el reglamento vigente, cuyo resultado fue la nota de:

Dieciséis (16) Aprobada con Mención Honrosa.

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis Mancomunada por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA METALÚRGICA, a Doña: Blanca Merly Peralta Díaz.

Siendo las 19:00 horas, se dió por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (5) Actas Originales de la Sustentación de Tesis Mancomunada.

Lima, 27 de noviembre de 2024


Dr. DANIEL FLORENCIO LOVERA DÁVILA
Presidente


Mg. LUIS ALFREDO ORIHUELA SALAZAR
Miembro


Ing. MANUEL LEONARDO CABRERA SANDOVAL
Miembro


Ing. HECTOR LUIS VILLACORTA ARÉVALO
ASESOR DE TESIS



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo HÉCTOR LUIS VILLACORTA ARÉVALO en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°001178-2023-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis mancomunada, cuyo título es DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE ACEITES USADO EN LA INDUSTRIA PESQUERA, presentado por el bachiller ENRIQUE CHRISTIAN CHANG FRANCO para optar el título profesional de Ingeniero Metalúrgico CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **10%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 06093297

Ing. HÉCTOR LUIS VILLACORTA ARÉVALO





Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo HÉCTOR LUIS VILLACORTA ARÉVALO en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°001178-2023-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis mancomunada, cuyo título es DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE ACEITES USADO EN LA INDUSTRIA PESQUERA, presentado por la bachiller BLANCA MERLY PERALTA DÍAZ para optar el título profesional de Ingeniera Metalúrgica CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **10%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 06093297

Ing. HÉCTOR LUIS VILLACORTA ARÉVALO



INDICE

DEDICATORIA.....	VIII
AGRADECIMIENTO	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XII
NOMENCLATURA	XIV
GLOSARIO.....	XV
LISTA DE TABLAS.....	XVII
LISTA DE FIGURAS.....	XIX
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2 . 1 . Descripción de la Problemática.....	3
2 . 2 . Problema Fundamental	3
2 . 2 . 1 . Problema General	4
2 . 2 . 2 . Problema específico	4
2 . 3 . Justificación de la Investigación	4
2 . 3 . 1 . Justificación Tecnológica	5
2 . 4 . Objetivos	6

2.4.1.	Objetivos Generales	6
2.4.2.	Objetivos Específicos	7
2.5.	Hipótesis y Variables	7
2.5.1.	Hipótesis General	7
2.5.2.	Hipótesis Específicas	7
2.5.3.	Identificación de Variables	8
➤	Variables independientes	8
➤	Variables Dependientes	8
2.5.4.	Operacionalización de Variables	9
2.6.	Limitaciones	9
CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO		11
3.1.	Antecedentes	11
3.2.	Bases Teóricas	13
3.2.1.	Intercambiadores de Calor	13
3.2.2.	Mecanismos de Transferencia de Calor	13
3.2.2.1.	Conducción.....	14
3.2.2.2.	Convección	14
3.2.2.3.	Radiación.....	15
3.2.3.	Tipos de Intercambiadores	15
3.2.3.1.	Intercambiador de Casco y Tubos	15
3.2.3.2.	Intercambiadores de Placas	17

3.2.3.3.	Intercambiadores de Espiras	18
3.2.4.	Materiales de Fabricación	19
3.2.5.	Aceros al carbono.....	19
3.2.6.	Aceros Inoxidables	21
3.2.7.	Procesos de soldadura.....	22
3.2.7.1.	Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW)	23
3.2.7.2.	Soldadura por Arco con Alambre y Protección Gaseosa (GMAW)	24
3.2.7.3.	Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Protección Gaseosa (GTAW)	24
3.2.7.4.	Soldadura por Arco con Hilo Tubular y Núcleo con Fundente (FCAW)	25
3.2.7.5.	Soldadura por Arco Sumergido (SAW)	25
3.2.7.6.	Soldadura por Arco con Plasma (PAW)	26
3.2.8.	Aceros Inoxidables Austeníticos	26
3.2.9.	Soldabilidad de los Aceros Inoxidables Austeníticos	29
3.2.10.	Corrosión.....	30
3.2.10.1.	Corrosión en los Aceros Inoxidables Austeníticos.....	30
3.2.10.2.	Mecanismo de Protección Contra la Corrosión	31
3.2.10.3.	Corrosión por Cambios Térmicos en los Aceros Inoxidables.....	33
➤	La Sensibilización.....	33
➤	Precipitación de las Fases Intermetálicas.	34
3.2.10.4.	Corrosión en la Soldadura	34
3.2.10.5.	Formas de Corrosión de los Aceros Inoxidables	35
➤	Corrosión General.....	35
➤	Picaduras.	36
➤	Corrosión por Hendiduras.....	36
3.2.10.6.	Corrosión en Entornos Específicos	37

➤ Corrosión Atmosférica:	37
➤ Corrosión en las Aguas:.....	38
3.2.11. Ensayos No Destructivos	40
3.2.11.1. Ensayo por Líquidos Penetrantes	41
➤ Descripción del Método.	42
➤ Ventajas.....	43
3.2.11.2. Prueba de Inspección Hidrostática	43
3.2.12. Simulación Dinámica de Fluidos Computacional	44
3.2.12.1. Solidworks Flow Simulation	45
3.2.13. Normas y Códigos de Aplicación	46
3.2.13.1. ASME Sección VIII	46
➤ ASME Sección VIII-División 1	46
3.2.13.3. ASME Sección V	47
3.3.13.4. ASME B31.1	47
3.2.13.5. AWS D1.6.....	48
3.2.13.6. ASTM	49
3.2.13.7. TEMA.....	49
3.2.14. Sistema de Gestión de Calidad.....	50
3.2.14.1. Plan de Calidad	51
➤ Objetivos del Plan de Calidad.....	51
➤ Alcance.....	51
➤ Materiales.	52
➤ Puntos del Plan de Inspección.....	52
➤ Registro de Procedimiento de Soldadura (WPS).....	53
➤ Registro de Calificación de Soldadores.....	53

➤ Recepción de Materiales.	54
➤ Certificado de Calidad de Materiales.	54
➤ Registro de Recepción de Consumibles.....	54
➤ Control Dimensional.	55
➤ Inspección Visual de Soldadura.....	55

CAPÍTULO IV MARCO METODOLÓGICO 58

4.1. Datos de Diseño.....58

4.2. Diseño y Cálculo de los Intercambiadores 61

4.2.1. Dimensionamiento del intercambiador de calor usando vapor flash a 1.5 bar(g)..... 62

4.2.1.1. Diseño básico de proceso usando el vapor flash. 62

4.2.1.2. Diseño mecánico del intercambiador..... 65

➤ Dimensionamiento de la cantidad de tubos del intercambiador 65

➤ Dimensionamiento del número de pasos del intercambiador 67

Pasos de los tubos. 68

➤ Dimensionamiento del casco del intercambiador. 69

➤ Dimensionamiento de baffles..... 71

➤ Dimensionamiento de las boquillas vapor y condensado..... 73

4.3. Eficiencia Basada en el Balance Energético del Fluido.....75

4.3.1. Fundamento de la Fórmula 75

4.3.2. Cálculo 75

➤ Datos Suministrados: 75

➤ Paso 1: Calor Real Transferido (Q_{real}) 76

➤ Paso 2: Calor Teórico ($Q_{teórico}$)..... 76

➤	Paso 3: Cálculo de la Eficiencia	76
4.4.	Registros del Plan de Calidad	77
4.4.1.	Material es	77
4.4.2.	Puntos del Plan de Inspección	77
4.4.3.	Registro de Procedimiento de Soldadura (WPS)	79
4.4.4.	Registro de Calificación de Soldadores	82
4.4.5.	Recepción de Materiales	83
4.4.6.	Certificado de Calidad de Materiales	84
4.4.7.	Registro de Recepción de Consumibles	85
4.4.8.	Control Dimensional	85
4.4.9.	Inspección visual de soldadura	87
4.4.10.	Ensayos No Destructivos por Líquidos Penetrantes	88
4.4.11.	Inspección Prueba Hidrostática	89
4.5.	Diagrama de flujo	90
CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS		93
5.1.	Diseño y Fabricación del Intercambiador de Casco y Tubos	93
5.2.	Prueba Dinámica de Fluidos	97
5.3.	Pruebas de Control de Calidad	100
5.3.1.	Prueba de tintes penetrantes	100
5.3.2.	Prueba de estanqueidad	101

5.4. Equipos e instrumentación.....	101
➤ Fabricación del Intercambiador	101
➤ Diseño del Intercambiador	102
➤ Prueba de Tintes Penetrantes	102
➤ Prueba de Estanqueidad	102
<i>CAPÍTULO VI EVALUACIÓN ECONÓMICA</i>	<i>104</i>
<i>CONCLUSIONES.....</i>	<i>105</i>
<i>RECOMENDACIONES.....</i>	<i>107</i>
<i>REFERENCIAS</i>	<i>109</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>112</i>
Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura	112
Equivalencias entre normas, composición química y características mecánicas	113
Tabla de dimensiones de brida.....	114
Características de la plancha de acero inoxidable AISI 304	115
Plano de detalles del intercambiador de calor.....	116
Plano de vista frontal del intercambiador de calor	117
Plano de vista lateral del intercambiador de calor.....	118
Plano de vista de planta del intercambiador de calor	119

DEDICATORIA

A Dios, quien con su infinita bondad y guía nos ha iluminado en cada paso de este camino, brindándonos la fortaleza y sabiduría necesarias para enfrentar cada desafío.

A nuestros amados padres y familiares, por ser nuestro apoyo incondicional a lo largo de nuestra vida, enseñándonos que la perseverancia y el trabajo duro son esenciales para alcanzar nuestros sueños. Sin su amor, apoyo y paciencia, este logro no habría sido posible. Gracias por creer en nosotros cuando dudábamos, por acompañarnos en cada momento, y por inspirarnos a continuar hacia nuestras metas.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Ingeniero Héctor Luis Villacorta Arévalo, nuestro asesor, por su invaluable guía y dedicación a lo largo de este proyecto. Su experiencia y compromiso han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación, y sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en nuestra formación.

Asimismo, agradecemos profundamente a los docentes de la Escuela Profesional de Metalurgia, quienes, con su conocimiento y apoyo constante, nos han brindado las herramientas y el respaldo necesarios para alcanzar este objetivo. Su compromiso con la excelencia académica y su vocación de enseñanza han sido una fuente de inspiración y motivación a lo largo de nuestra trayectoria.

RESUMEN

La presente tesis aborda la problemática de diseño y fabricación de un nuevo sistema de calentamiento en la industria pesquera para aceite de pescado. El sistema previo, compuesto por dos coaguladores y un intercambiador de espiras, limitaba la capacidad de procesamiento y no aprovechaba subproductos energéticos internos, lo que motivó la propuesta de un intercambiador de calor de casco y tubos como reemplazo. Este intercambiador, diseñado con un diámetro externo de 609 mm y una longitud de 6683 mm en acero inoxidable AISI 304L, permite aumentar la capacidad de procesamiento de la planta a 200 t/h y emplea vapor flash, un subproducto que no se utilizaba en el sistema anterior, lo cual mejora el aprovechamiento energético y reduce la dependencia de vapor vivo.

Para validar el diseño, se realizaron cálculos basados en las normas técnicas y se complementó con simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) en SOLIDWORKS Flow Simulation, donde se comprobó que el intercambiador eleva la temperatura del aceite de 15°C a 75°C. Con una eficiencia de transferencia de calor del 88.6 %, el intercambiador logra una transferencia térmica óptima y evita la formación de cuellos de botella, preparándose para futuras expansiones de la planta.

Los resultados obtenidos en la fase de fabricación y pruebas de calidad, incluyendo inspección con líquidos penetrantes y prueba de estanqueidad, confirmaron la conformidad del equipo con los estándares de calidad requeridos, verificando que el nuevo diseño no solo optimiza el consumo de vapor, sino que representa una mejora en la eficiencia energética en comparación con el sistema anterior.

Palabras clave: intercambiador de calor, vapor flash, calentamiento de aceites, Solidworks Flow Simulation, diseño de intercambiador, estanqueidad, líquidos penetrantes.

ABSTRACT

This thesis addresses the problem of designing and manufacturing a new heating system in the fish processing industry for fish oil. The previous system, consisting of two coagulators and a spiral heat exchanger, limited processing capacity and did not utilize internal energy byproducts, prompting the proposal of a shell and tube heat exchanger as a replacement. This exchanger, designed with an outer diameter of 609 mm and a length of 6683 mm in stainless steel AISI 304L, increases the plant's processing capacity to 200 t/h and uses flash steam, a byproduct that was not utilized in the previous system, which improves energy utilization and reduces the dependence on live steam.

To validate the design, calculations were performed based on technical standards and supplemented with computational fluid dynamics (CFD) simulations in SOLIDWORKS Flow Simulation, which verified that the exchanger raises the oil temperature from 15°C to 75°C. With a heat transfer efficiency of 88.6%, the exchanger achieves optimal thermal transfer and avoids bottlenecks, preparing for future plant expansions.

The results obtained in the manufacturing phase and quality tests, including liquid penetrant inspection and leak testing, confirmed the compliance of the equipment with required quality standards, verifying that the new design not only optimizes steam consumption but also represents an improvement in energy efficiency compared to the previous system.

Keywords: heat exchanger, flash steam, oil heating, Solidworks Flow Simulation, heat exchanger design, leak tightness, dye penetration.

NOMENCLATURA

Símbolo	Descripción	Unidad
%	Porcentaje	-
L/s	Litros por segundo	Flujo/caudal
lb/TM	Libras por tonelada métrica	Relación de masa
km ²	Kilómetro cuadrado	Área
° C	Grados celsius	-
K	Grados Kelvin	-
m	Metro	Longitud
km	Kilómetro	Longitud
mm	Milímetro	Longitud
in	Pulgada	Longitud
°C	Grados centígrados	Temperatura
mg/km ³	Miligramo por kilómetro cúbico	Concentración
TM	Toneladas métricas	Masa
g/mol	Gramo por mol	Masa molar
g/ml	Gramo por mililitro	Densidad
kJ	Kilojulio	Energía
kJ/s	Kilojulio por segundo	Potencia
kJ/h	Kilojulio por hora	Potencia
W/m ² ·°C	Vatio por metro cuadrado por grado Celsius	Coeficiente de transferencia de calor
lb/pulg ²	Libra por pulgada cuadrada	Presión
t/m ³	Tonelada por metro cúbico	Densidad
m ²	Metro cuadrado	Área
kPa	Kilopascal	Presión
kg/h	Kilogramo por hora	Flujo másico
kJ/kg·K	Kilojulio por kilogramo Kelvin	Capacidad calorífica
m/s	Metro por segundo	Velocidad
bar(g)	Presión Gauge	Presión

GLOSARIO

- **Vapor vivo:** Vapor de agua generado en una caldera y usado en procesos industriales sin reducción de presión ni cambio de propiedades energéticas. Este vapor, a alta temperatura y presión, es eficaz para transferir calor en procesos como la cocción y la esterilización.
- **Vapor flash:** Vapor generado instantáneamente cuando un líquido caliente a alta presión se despresuriza bruscamente. Este proceso permite reutilizar el calor de retorno en sistemas, mejorando la eficiencia energética del sistema.
- **Baffles:** Dispositivos internos en equipos como intercambiadores de calor o tanques que redirigen el flujo de fluidos. Los baffles incrementan la transferencia de calor o la mezcla de materiales, maximizando la eficiencia del equipo.
- **Calderas:** Equipos que generan vapor mediante el calentamiento de agua a través de diversas fuentes de energía. Usadas en procesos como calefacción o generación de electricidad, las calderas operan a altas presiones y requieren estrictos sistemas de control y seguridad.
- **Aceite de pescado:** Producto extraído de tejidos grasos de peces, rico en ácidos grasos esenciales como EPA y DHA. Se emplea en la industria alimentaria, farmacéutica y en la producción de alimentos para animales.

- **Subproducto:** Material secundario generado en un proceso de producción, no como objetivo principal. Los subproductos pueden tener valor comercial y aplicaciones en otros sectores, ayudando a optimizar recursos y a promover la sostenibilidad del proceso.
- **Coaguladores:** Equipos utilizados en plantas pesqueras para facilitar la separación de sólidos y líquidos en el proceso de tratamiento de aguas residuales o en la clarificación de aceites de pescado. Los coaguladores inducen la formación de flóculos mediante la adición de agentes coagulantes, permitiendo que las partículas en suspensión se agrupen y sean fácilmente separadas.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables.....	9
Tabla 2 Tipos de acero al carbono	20
Tabla 3 Datos del Intercambiador.....	58
Tabla 4 Datos Dimensionales	58
Tabla 5 Datos del Producto Almacenado.....	59
Tabla 6 Diseño del Intercambiador.....	59
Tabla 7 Pruebas de Inspección.....	62
Tabla 8 Protección de Superficie	60
Tabla 9 Peso del Intercambiador.....	60
Tabla 10 Materiales del intercambiador	61
Tabla 11 Accesorios del Intercambiador	61
Tabla 12 Tabla de vapores	64
Tabla 13 Coeficientes Típicos de Transferencia de Calor en Función del Tipo de Aplicación ...	64
Tabla 14 Tensiones Admisibles "SE" (en ksi) para Materiales ANSI a Distintas Temperaturas .	64
Tabla 15 Valores del Coeficiente "Y" según Temperatura.....	66
Tabla 16 Norma TEMA de los Espesores de los Baffles.....	72
Tabla 17 Materiales usados con su norma y reglamento de calidad.....	77
Tabla 18 Plan de inspección y ensayo	78
Tabla 19 Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS).....	81
Tabla 20 Dimensiones del Intercambiador de Casco y Tubos.....	93

Tabla 21 Parámetros del Intercambiador de Casco y Tubos.....	95
Tabla 22 Tabla de Resultados 1 de la Prueba de Fluidos	99
Tabla 23 Tabla de Resultados 2 de la Prueba de Fluidos	99
Tabla 24 Estructura de Costos de Instalación de Intercambiadores	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Intercambiador de Calor de Carcasa y Tubos.....	16
Figura 2 Intercambiador de Calor Tipo Placa.....	17
Figura 3 Intercambiador de Calor de Coraza y Tubos en Espiral Plana	18
Figura 4 Gráfica de Transferencia de Calor para Vapor Flash	63
Figura 5 Diseño de Intercambiador de 6 Pasos.....	70
Figura 6 Certificado de Soldador.....	82
Figura 7 Registro de Recepción de Materiales	83
Figura 8 Certificado de Calidad de Materiales	84
Figura 9 Certificado de Recepción de Materiales de Consumibles	85
Figura 10 Registro de Control Dimensional	86
Figura 11 Registro de Inspección de Soldadura	87
Figura 12 Registro de Inspección de Tintes Penetrantes	88
Figura 13 Registro de Prueba de Estanqueidad	89
Figura 14 Sistema de Calentamiento Antiguo	90
Figura 15 Diagrama de flujo propuesto	91
Figura 16 Nuevo Sistema de Calentamiento.....	92
Figura 17 Simulación 1 de la Prueba de Fluidos	98
Figura 18 Simulación 2 de la Prueba de Fluidos	99

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los intercambiadores de calor han adquirido bastante importancia desde comienzos del presente siglo debido a la constante búsqueda de optimizar las fuentes energéticas y reducir el impacto en el medioambiente. Este equipo permite aprovechar de manera más eficiente la energía y reducir costos en comparación a otros equipos convencionales dado que permite recuperar el calor residual generado en diversos procesos.

Los intercambiadores de calor funcionan como conductores de energía térmica dado que uno de los fluidos siempre se encontrará a una temperatura inicial mayor que el otro, por lo que por efectos de conducción el calor pasa a través de una separación metálica desde el fluido más caliente al más frío, por lo que estos equipos pueden utilizarse en múltiples procesos como calentamiento, enfriamiento, condensación y vaporización.

De entre los múltiples tipos de intercambiadores se ha diseñado y fabricado un intercambiador de casco y tubos, siendo este el tipo más utilizado debido a su capacidad para soportar altas presiones y temperaturas.

Entonces en el sistema original donde se usaban 2 coaguladores y un intercambiador de espiras, la planta operaba con una capacidad de procesamiento de 80 t/h. A través de una primera etapa de mejora, se incrementó la capacidad a 110 t/h reemplazando el anterior sistema por un intercambiador de calor de casco y tubos que utiliza vapor vivo proveniente de la zona de calderas de la planta. Para la segunda etapa de ampliación, se ha proyectado aumentar la capacidad de producción a 200 t/h mediante la incorporación de un intercambiador de calor de

casco y tubos que utiliza vapor flash. Este vapor flash es un subproducto generado en procesos clave dentro de la planta, como los sistemas de intercambio de calor, evaporadores, tinas de cocción y otros, donde el cambio de presión convierte el agua o fluido caliente en vapor. Con esta estrategia, se optimiza el aprovechamiento energético ya que se utiliza un subproducto (el vapor flash) que antes se descartaba y se asegura una operación más sostenible.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción de la Problemática

En un esfuerzo por mejorar la producción de aceites en la industria pesquera y conforme a un proceso de mejora continua se buscó aumentar la capacidad de procesamiento de la planta, renovar equipos y mejorar el aprovechamiento energético por lo que se ha decidido cambiar el sistema de calentamiento conformado por dos coaguladores y un intercambiador de espiras por dos intercambiadores de casco y tubos. Uno para el vapor vivo producido por las calderas y otro adicional exclusivo para el vapor flash obtenido de diferentes procesos de la planta, del cual se va a centrar la tesis. De esta manera, se busca obtener un mejor aprovechamiento de la energía disponible.

2.2. Problema Fundamental

La problemática que se abordó fue para desarrollar el proyecto de diseñar y fabricar un intercambiador de calor para calentamiento de aceites usado en la industria pesquera.

Al realizar este nuevo diseño y fabricación del sistema de calentamiento de espumas compuesto por un intercambiador de calor de casco y tubos se espera que este opere calentado por vapor flash (subproducto obtenido de otra operación de calentamiento) para tratar de elevar la temperatura de una carga de 18 m³/h a una presión de 1 bar operando bajo los estándares de calidad establecidos y que sirva para las proyecciones de ampliación de producción de la planta sin formar cuellos de botella en la zona de calentamiento.

2.2.1. Problema General

¿Cómo se puede diseñar y fabricar un intercambiador de calor de casco y tubos para aumentar la capacidad de procesamiento en la zona de calentamiento de aceite de pescado de una planta pesquera, asegurando un aprovechamiento energético eficiente y sostenido?

2.2.2. Problema específico

- ¿Cómo se puede diseñar un intercambiador de calor que cumpla con los requerimientos de aprovechamiento energético en la zona de calentamiento de aceite de pescado?
- ¿Es posible simular y validar mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) que el intercambiador de calor eleve la temperatura del producto de 15°C a 75°C de manera eficiente?
- ¿Representa realmente el nuevo diseño del intercambiador de calor una optimización en el consumo de vapor en comparación con el antiguo sistema de espiras y coaguladores logrando una mejor eficiencia energética?

2.3. Justificación de la Investigación

La justificación del siguiente proyecto de investigación es que un intercambiador de casco y tubos maneja altas capacidades y puede calentar la espuma a la temperatura deseada para las operaciones posteriores.

Para este proyecto se propone como parte de los procesos internos de mejora y optimización de recursos reemplazar los 02 coaguladores y el intercambiador de espiras por un

intercambiador de casco y tubos ya que se ha identificado que el sistema de calentamiento de espumas existente necesita renovación y posiblemente formaría un cuello de botella con el futuro aumento en la capacidad de procesamiento de la planta. También se busca que cumpla con las condiciones requeridas para actuar de manera eficiente logrando así el calentamiento de la espuma sin perder calidad ni eficiencia en el proceso, y con la mejora del aprovechamiento de un subproducto como es el vapor flash.

2.3.1. Justificación Tecnológica

La justificación tecnológica del siguiente proyecto de investigación sustenta que, el proyecto de diseño y fabricación de un intercambiador de casco y tubos en la industria pesquera se fundamenta en la necesidad de mejorar la capacidad de procesamiento, eficiencia térmica y aprovechamiento de recursos energéticos, como el vapor flash, dentro de la planta. El intercambiador de calor de casco y tubos ha sido seleccionado debido a sus características tecnológicas superiores que lo hacen ideal para este proceso.

Comparado con el sistema anterior de coaguladores e intercambiador de espiras, el nuevo equipo garantiza un control más preciso de la temperatura de salida de la espuma, asegurando la consistencia del proceso y la calidad del producto final (aceite de pescado).

Además, la utilización de materiales como el acero inoxidable AISI 304L y el aislamiento con fibra de vidrio y chapa de aluminio asegura la durabilidad del equipo y su capacidad para resistir la corrosión en un ambiente marino industrial. Esto, combinado con la capacidad del intercambiador para operar de manera eficiente con altos flujos de calor y presiones operativas, justifica su elección como la mejor tecnología disponible para mejorar la operación.

Con una velocidad de espuma recomendada de 1.5 m/s y la densidad del aceite de pescado en torno a 0.85 g/cm³, el intercambiador de casco y tubos permite mantener un flujo turbulento, lo que maximiza la transferencia de calor y minimiza los problemas de incrustaciones. La mejora en el aprovechamiento del vapor flash también es clave, ya que contribuye significativamente a la eficiencia energética de la planta.

Finalmente, el proyecto sigue los estándares de diseño y seguridad establecidos en la ASME Sección VIII, División 1, lo que asegura que el equipo cumpla con todas las normativas internacionales vigentes para la fabricación y operación de intercambiadores de calor, garantizando así un proceso confiable y seguro, adecuado para soportar el futuro aumento de la capacidad de la planta sin sacrificar la calidad del producto o la eficiencia operativa. Para el diseño y análisis del equipo, se emplearon herramientas de software avanzadas como AutoCAD, utilizado para desarrollar los planos y el diseño estructural del intercambiador, asegurando precisión en cada detalle, y SolidWorks, que permitió realizar una simulación de flujo y transferencia de calor para validar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones operativas. Este análisis computacional proporciona una comprensión detallada del rendimiento del intercambiador, optimizando su eficiencia y garantizando que el diseño cumpla con los requisitos técnicos específicos de la planta.

2.4. Objetivos

2.4.1. *Objetivos Generales*

Diseñar y fabricar un intercambiador de calor de casco y tubos para aumentar la capacidad de procesamiento en la zona de calentamiento de aceite de pescado, asegurando un

aprovechamiento eficiente del vapor flash y mejorando la eficiencia energética en comparación con el sistema anterior.

2.4.2. *Objetivos Específicos*

- Diseñar un intercambiador de calor que cumpla con los requerimientos de aprovechamiento energético en la zona de calentamiento de aceite de pescado.
- Realizar una simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) en el programa SOLIDWORKS Flow Simulation para validar si el intercambiador puede elevar la temperatura del aceite de 15°C a 75°C de manera eficiente.
- Comparar el nuevo diseño del intercambiador de calor con el sistema de espiras y coaguladores, evaluando si representa una optimización en el consumo de vapor y una mejora en la eficiencia energética.

2.5. Hipótesis y Variables

2.5.1. *Hipótesis General*

Si se diseña y fabrica un intercambiador de calor de casco y tubos que aproveche eficientemente el vapor flash, entonces se logrará aumentar la capacidad de procesamiento en la planta pesquera, mejorando la eficiencia energética en comparación con el antiguo sistema de espiras y coaguladores.

2.5.2. *Hipótesis Específicas*

- El diseño del intercambiador de calor mejorará el aprovechamiento energético en la zona de calentamiento de aceite de pescado.

- La simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) demostrará que es posible elevar la temperatura de la espuma de 15°C a 75°C de manera eficiente con el diseño del intercambiador propuesto.
- El nuevo diseño del intercambiador de calor optimizará el consumo de vapor en comparación con el sistema de espiras y coaguladores, mejorando la eficiencia energética del proceso.

2.5.3. Identificación de Variables

Se tomarán en cuenta las siguientes variables para el proceso de diseño y fabricación de un intercambiador de calor para calentamiento de aceites usado en la industria pesquera:

➤ Variables independientes

- Flujo de calor requerido.
- Coeficiente de transferencia de calor.
- Presión de operación.

➤ Variables Dependientes

- Temperatura de salida de la espuma.
- Eficiencia de transferencia de calor.
- Presión máxima de operación.

2.5.4. Operacionalización de Variables

La matriz de operacionalización de variables se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición	Dimensión	Indicador
Flujo de calor requerido	Es la energía necesaria para que la espuma alcance la temperatura deseada.	KJ/s	Calculado
Coefficiente de transferencia de calor	Refleja la capacidad del intercambiador para realizar el intercambio de energía de manera eficiente.	W/m ² ·°C	Tablas
Presión de operación	Determina la estabilidad y seguridad del intercambiador durante el funcionamiento.	PSI	Manómetro
Temperatura de salida de la espuma	Es el principal indicador del éxito del proceso, ya que, si no se alcanza la temperatura necesaria, la espuma no será procesada adecuadamente.	°C	Sensor Térmico
Eficiencia de transferencia de calor	Es la relación del calor real absorbido por el fluido en el proceso con el calor teórico que el fluido debería haber absorbido en condiciones ideales.	%	Calculado
Presión máxima de operación	No debe superarse para evitar fallos o riesgos, diseñar el intercambiador para operar por debajo de la presión máxima garantiza un funcionamiento seguro.	PSI	Calculado

2.6. Limitaciones

Los intercambiadores de calor son usados en diferentes sectores del rubro industrial, sin embargo, el presente proyecto está limitado al sector pesquero para procesamiento de aceite de pescado

En la descripción de la problemática se mencionó que se buscaba diseñar dos intercambiadores (uno de vapor vivo y uno de vapor flash), sin embargo, esta tesis se limita al diseño y fabricación del intercambiador para vapor flash

El intercambiador de calor ha sido diseñado para la capacidad de operación de la planta la cual es de 200 t/h con el tiempo de residencia requerido para elevar la temperatura de ingreso de 15°C a 75°C

Las dimensiones e instalación del intercambiador fueron definidos bajo limitaciones del espacio y de montaje para obtener un máximo aprovechamiento de los materiales

En el presente proyecto se han realizado los cálculos para la parte mecánica y estudio de materiales y soldadura para la parte metalúrgica durante la fabricación y montaje, cabe resaltar que el proyecto involucró más disciplinas (eléctrica, civil, instrumentación, seguridad, medio ambiente, etc.) pero el enfoque de la presente tesis radica en las disciplinas metalúrgica y mecánica.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

Los intercambiadores de calor de casco y tubos son equipos fundamentales en los procesos industriales debido a su alta capacidad de transferencia térmica, robustez y flexibilidad en el diseño. Este tipo de intercambiadores, compuesto por un haz de tubos alojados dentro de una carcasa, permite la transferencia de calor entre dos fluidos a través de una superficie sólida, siendo ideal para aplicaciones donde se manejan altas presiones y temperaturas. Este diseño versátil ha permitido su implementación en una amplia gama de industrias, destacando su uso en la industria pesquera, minera y metalúrgica.

En las industrias minera y metalúrgica, los intercambiadores de casco y tubos son esenciales para procesos como la recuperación de calor, el enfriamiento de fluidos de proceso y la condensación de vapores en sistemas de alta presión. Según Costa y Queiroz (2008), la optimización del diseño mediante la reducción del área térmica contribuye a minimizar costos y mejorar la eficiencia operativa, lo que es especialmente relevante en estas industrias donde los costos energéticos son significativos. Además, Ravagnani et al. (2011) proporcionaron un análisis detallado de los parámetros mecánicos involucrados en el diseño de intercambiadores, resaltando cómo el método Bell-Delaware puede ser utilizado para optimizar la transferencia térmica y la caída de presión en configuraciones complejas típicas de estas industrias.

En la industria pesquera, los intercambiadores de calor de casco y tubos desempeñan un papel crítico en la refrigeración y conservación de productos pesqueros. Estas aplicaciones

requieren de diseños específicos que aseguren la transferencia eficiente de calor en sistemas donde las variaciones de temperatura pueden impactar directamente la calidad de los productos. Gawande et al. (2012) desarrollaron un diseño optimizado de un intercambiador de este tipo siguiendo los estándares ASME/TEMA, el cual incluyó pruebas para evaluar el impacto de las vibraciones inducidas por flujo en su desempeño. Este enfoque es clave para garantizar la eficiencia térmica y la durabilidad en entornos donde se maneja agua de mar y otros fluidos corrosivos propios de la industria pesquera.

Más recientemente, Anand y David (2020) realizaron un análisis exhaustivo del diseño y la optimización de intercambiadores de calor de casco y tubos para aplicaciones a bajas temperaturas. Utilizando CFD y modelado en ANSYS, lograron validar configuraciones de diseño que maximizan la transferencia de calor mientras minimizan la caída de presión. Sus resultados confirman que el diseño eficiente puede adaptarse a fluidos específicos y temperaturas inferiores a 250°C, mostrando un gran potencial para procesos industriales especializado.

El diseño y la fabricación de intercambiadores de calor de casco y tubos requieren considerar múltiples factores técnicos, como el tipo de fluido, la presión de operación, la disposición de los tubos y los materiales de construcción, que varían según la industria. En la industria pesquera, la resistencia a la corrosión y la eficiencia en la transferencia térmica son prioridades debido a la interacción con agua de mar y fluidos de refrigeración. En contraste, las industrias minera y metalúrgica exigen intercambiadores capaces de soportar altas presiones y temperaturas, así como adaptarse a las condiciones de fluidos abrasivos.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. *Intercambiadores de Calor*

Un intercambiador de calor es un equipo cuya función es la de transferir energía térmica entre dos fluidos que se encuentren a distinta temperatura. Estos fluidos pueden encontrarse en contacto directo o separados por una barrera.

Los intercambiadores de calor son principalmente utilizados para las siguientes operaciones:

- Enfriar un fluido al utilizar otro fluido de menor temperatura por medio de un contacto indirecto y por difusión
- Elevar la temperatura de un fluido frío por medio de difusión al utilizar un fluido de mayor temperatura, aportando esté energía calórica hasta alcanzar la temperatura deseada.
- Cambiar de estado un fluido por medio del mismo mecanismo de difusión, con lo cual según la temperatura del fluido secundario podremos vaporizar llevando a punto de ebullición al utilizar uno de mayor temperatura o condensar el fluido primario al utilizar uno de inferior temperatura.

3.2.2. *Mecanismos de Transferencia de Calor*

Existen tres distintos procesos por los cuáles se puede transferir calor entre distintos medios, estos son conducción, convección y radiación. “Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio

que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.”. (Çengel y Ghajar, 2011, p.17).

3.2.2.1. Conducción

La definición básica del proceso de conducción sería que el calor fluye desde el fluido de mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura y que esta transferencia de calor se realiza a través de un medio o entre medios diferentes que se encuentren en contacto físico directo. La energía se transmite por comunicación molecular sin desplazamiento apreciable de las moléculas. De acuerdo con Çengel, en su obra "Mecanismos de Transferencia de Calor", se entiende por conducción a la transferencia de energía desde las partículas con mayor energía hacia las adyacentes con menor energía, como resultado de las interacciones entre dichas partículas. Este proceso de transferencia de calor se puede observar en medios sólidos, líquidos o gaseosos, y juega un papel fundamental en diversos procesos industriales y tecnológicos, así como en la vida cotidiana. (Çengel y Ghajar, 2011, p.17).

3.2.2.2. Convección

La convección se basa en la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido, se encuentre éste estático o en movimiento y teniendo como dirección de la transferencia desde el medio con mayor temperatura hacia el de menor temperatura. Çengel definió la convección como: “El modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos”. (Çengel y Ghajar, 2011, p.25).

3.2.2.3. Radiación

Çengel y Ghajar. (2011) definen la radiación a la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas o fotones, como resultado de los cambios en la estructura electrónica de los átomos o moléculas. A diferencia de los procesos de conducción y convección, la transferencia de calor por radiación no depende de la presencia de un medio material intermedio, y puede propagarse a través del vacío. Además, esta forma de transferencia de energía es la más rápida, propagándose a la velocidad de la luz, y es la responsable del transporte de la energía solar desde el Sol hasta la Tierra. Por estas razones, la radiación juega un papel fundamental en numerosos procesos tecnológicos y naturales, y su estudio es clave para comprender una amplia variedad de fenómenos físicos. (p.27)

3.2.3. Tipos de Intercambiadores

Existen varios tipos de intercambiadores de calor, siendo la manera más usual de clasificarlos en cuatro grandes grupos: según su construcción, según su operación, según la trayectoria del flujo y según el tipo de transferencia de calor, siendo la clasificación más usada según su construcción, la cual detallaremos a continuación.

3.2.3.1. Intercambiador de Casco y Tubos

Un intercambiador de casco y tubos es un equipo cilíndrico alargado formado por decenas, a veces centenas de tubos, a través de los cuales transita uno de los fluidos. El otro fluido transita en el espacio libre entre el casco o coraza cilíndrico y el exterior de los tubos interiores, de esa manera ambos fluidos se encuentran separados únicamente por el espesor de

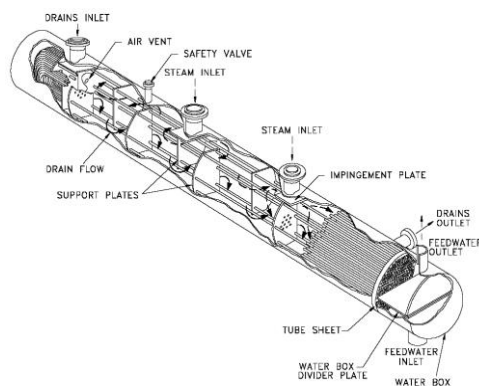
los tubos, actuando estos como una barrera metálica en el cual se da el fenómeno de conducción, transfiriendo el calor desde el fluido de mayor temperatura hacia el de menor temperatura.

Los tubos al interior de la estructura son sostenidos por planchas perforadas denominadas baffles, las cuales se ubican a lo largo de su recorrido y a los extremos se ubican dos planchas perforadas de mayor espesor denominadas espejos, que soportan la presión del fluido interno y evita el contacto entre fluidos a los extremos. Este tipo de intercambiador suele ir con un recubrimiento exterior que actúa como aislante térmico, esto se usa como medida de seguridad debido a que de otro modo la superficie quedaría expuesta al contacto humano y también para garantizar una mejor transferencia de calor ya que la energía térmica se perdería en el ambiente por difusión.

En la siguiente imagen se muestran las partes principales del presente tipo de intercambiador:

Figura 1

Intercambiador de Calor de Carcasa y Tubos



Nota: Adaptado de intercambiadores de calor (p. 3), por O. A. Jaramillo, 2007, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México.

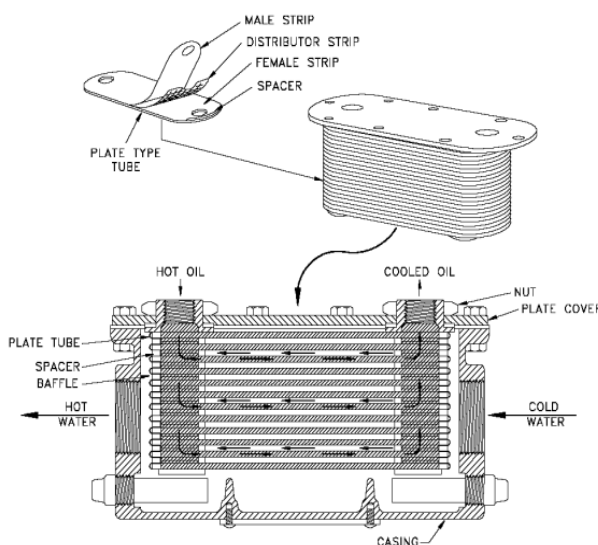
3.2.3.2. *Intercambiadores de Placas*

Este tipo de intercambiador es el segundo más usado luego del de casco y tubos, esto es debido a la facilidad de mantenimiento que brinda. Los intercambiadores de placas consisten en múltiples placas posicionadas en paralelo a través de las cuales transitan los fluidos de manera alternada entre cada placa. Estas placas suelen ser de acero inoxidable y son separadas por frisas o goma sanitaria que es colocada en todo el borde, formando cámaras vacías entre placas y debido a la amplia área superficial de las placas se facilita la transferencia de energía térmica entre fluidos.

En la siguiente imagen se muestran las partes de un intercambiador de placas horizontal.

Figura 2

Intercambiador de Calor Tipo Placa



Nota: Adaptado de intercambiadores de calor (p. 4), por O. A. Jaramillo, 2007, Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México.

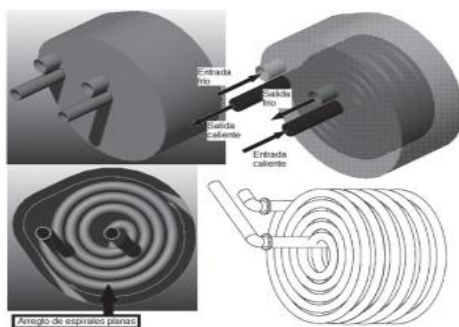
3.2.3.3. *Intercambiadores de Espiras*

Otro tipo de intercambiadores, aunque menos utilizado que los dos anteriores son los intercambiadores de espiras.

Marín et al. (2012), nos dice que en los intercambiadores de calor de espiral se utilizan arreglos compuestos por espirales planas o helicoidales. En el caso de un intercambiador de calor de coraza y tubos en espiral plana, como se muestra en la Figura 3, el fluido caliente fluye desde el centro de la espiral hacia la periferia, mientras que el fluido frío fluye desde la periferia hacia el centro. La transferencia de calor se produce mediante una acción contracorriente, lo que resulta en coeficientes de transferencia de calor altos en ambos lados. Debido a esto, se puede lograr una reducción del 20% o más en la superficie requerida en comparación con los intercambiadores de calor de coraza y tubos rectos. (p. 3).

Figura 3

Intercambiador de Calor de Coraza y Tubos en Espiral Plana



Nota: Adaptado de Intercambiadores de calor de tubo en espiral (p,4), por: A. Martín, J. Gonzalo, H. Zuluaga & D. Andrés, 2012, Revista UIS Ingenierías, vol. 11(2), pp. 203-213 Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Colombia.

3.2.4. *Materiales de Fabricación*

Los intercambiadores de calor pueden ser de dos tipos de materiales, acero inoxidable y acero al carbono. Para poder determinar cuál de los dos materiales usar primero se debe analizar si la materia está destinada a consumo humano, sea éste directo o indirecto (CHD o CHI) o no, y en caso de que este sea el caso se debe determinar con que partes del equipo entrará en contacto la materia y como último parámetro el límite de máximos permisibles para contaminantes en la materia a tratar. Para aclarar esta explicación podemos presentar como ejemplo los calentadores de casco y tubos que son usados en la industria pesquera para elevar la temperatura de aceites o espumas (concentrados de materia) que son destinados a consumo humano, por lo cual se usan tubos de acero inoxidable y carcasa de acero inoxidable; como también existen secadores de casco y tubos por donde fluye producto destinado a consumo humano indirecto, materia de reproceso o donde no hay contacto directo del producto con la carcasa o tubos, por lo que se usan tubos de acero al carbono como alternativa económica, evaluando siempre los límites máximos permisibles para contaminantes en caso de haber contacto.

3.2.5. *Aceros al carbono*

Los aceros al carbono son fundamentalmente una aleación de hierro y carbono con otros metales aleados (manganeso, azufre, fósforo, etc.). Este tipo de acero es el más utilizado en la industria debido a la variedad de propiedades que posee, las cuales son definidas según la composición de sus metales aleados.

Ospina et al. (2007) nos menciona que el carbono es un elemento de aleación de gran importancia en la determinación de las propiedades de las aleaciones. Para obtener aceros al carbono, se establecen tres categorías en función del porcentaje de carbono que contienen: aceros de bajo carbono con un rango de 0.08% a 0.35%, aceros de medio carbono con un rango de 0.35% a 0.50%, y aceros de alto carbono con un porcentaje superior a 0.50%. En estas aleaciones, la cantidad de manganeso no debe exceder del 1.65%, mientras que los contenidos de cobre y silicio deben ser inferiores a 0.60% cada uno. (p.273-274).

Tabla 2

Tipos de acero al carbono

Nombre Común	% C	Usos	Soldabilidad
Acero de bajo carbono	0.15% máximo	Electrodos para soldadura, láminas y chapas	Excelente
Acero suave (mild Steel)	0.15%-0.30%	Perfiles y barras estructurales laminados	Buena
Acero de medio carbono	0.30%-0.5%	Partes de maquinaria	Poca (precalentar y postcalentar)
Acero de alto carbono	0.5%-1.00%	Resortes, troqueles, rieles de ferrocarril	Poca (difícil soldar sino se precalienta y postcalienta adecuadamente)

Nota: Adaptado de Soldabilidad en aceros inoxidables y aceros disímiles (p,274), por: R. Ospina, H. Aguirre & H. Parra, 2007, Scientia Et Technica, XIII (34),273-278.

3.2.6. *Aceros Inoxidables*

Los aceros inoxidables son los aceros al carbono que contengan cromo como componente aleado, a veces complementado con níquel y otros elementos, siendo estos los que gracias a su rápida oxidación generan una capa superficial compacta la cuál protege al acero del oxígeno del medio aislándolo de ataques corrosivos y posibles oxidaciones, siendo este el fenómeno conocido como pasivación del acero, el cuál reduce casi en su totalidad la corrosión según el mantenimiento de la capa de óxidos. Por ello podemos decir que a mayor contenido de cromo mayor capacidad de pasivación del acero.

Analizando la estructura de estos aceros inoxidables podemos identificar cuatro grandes grupos: Ferríticos, Austeníticos, Martensíticos y los endurecidos por precipitación (PH).

Los ferríticos se caracterizan por tener un alto contenido de cromo, entre 16-18% y un bajo contenido de carbono, alrededor de un 0.12%, mientras que los aceros martensíticos tienen mayor contenido de carbono (0.15-0.18%) y menor contenido de cromo (12-15%) siendo su particularidad de los aceros martensíticos son las buenas propiedades mecánicas que alcanzan luego de ser sometidos a tratamientos térmicos. Los aceros austeníticos son aquellos en los que se adiciona níquel como estabilizador de la austenita, lo que permite mayores usos de este acero por lo cuál es el tipo de acero inoxidable más usado en la industria, sin embargo, cuando se desea combinar alta resistencia mecánica y maquinabilidad se utilizan los aceros endurecidos por precipitación los cuales destacan en estas dos propiedades luego de realizarles tratamientos térmicos.

Ospina et al. (2007) escriben que el acero puede ser austenítico, ferrítico, martensítico o endurecido por precipitación, y esto depende del equilibrio entre las cantidades de los

elementos de aleación en el acero, los cuales clasifica en dos grupos: los estabilizadores de ferrita y los estabilizadores de austenita. También nos menciona de los estabilizadores de austenita que estos ayudan a mejorar la retención de la austenita durante el enfriamiento del acero, entre estos estabilizadores están el carbono, el níquel, el nitrógeno y el manganeso. De los estabilizadores de ferrita como el cromo y los formadores de carburos nos menciona que impiden la transformación del acero en austenita durante el calentamiento. (p.274-275).

3.2.7. *Procesos de soldadura*

Jeffus. (2009) nos dice que, en los últimos años, se ha producido un aumento en el número de procesos de soldadura disponibles. Estos procesos se diferencian por cómo aplican el calor, la presión o ambos elementos, y por el tipo de equipo utilizado. Existen alrededor de 67 procesos de soldadura, que incluyen el trabajo de martilleo, presión o rodamiento, para efectuar la coalescencia de la junta de soldadura. Otros métodos implican la fusión del metal y la unión de los bordes. La Figura 4 presenta una lista de varios procesos de soldadura y técnicas similares para su referencia. (p.8).

Entre las técnicas de unión de metales que se han popularizado en los últimos tiempos se encuentran la soldadura con oxiacetileno (OAW), la soldadura con electrodo (SMAW), la soldadura con electrodo de tungsteno (GTAW), la soldadura con gas protector (GMAW), la soldadura con núcleo de fundente (FCAW) y la soldadura fuerte con soplete (TB). Todas ellas consisten en aplicar calor y presión para unir los bordes de los metales. Cada técnica tiene sus propias particularidades en cuanto a los equipos y los métodos utilizados para lograr la unión adecuada.

También nos menciona que el gas de oxiacetileno es comúnmente utilizado en la soldadura, el corte y la soldadura fuerte con gas de oxiacetileno (TB). Además, los procesos que involucran el gas de oxiacetileno (OF) son altamente adaptables y versátiles dentro del campo de la soldadura.

La soldadura por arco es la más utilizada para los aceros inoxidables y como se mostró en el gráfico anterior esta clasificación presenta varios tipos de soldadura, de las cuales las usadas para este tipo de acero son las siguientes:

3.2.7.1. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW)

Es sin duda el método de soldadura más usado a nivel comercial ya que se puede utilizar para un amplio rango de aceros y espesores, siendo aplicado a materiales tan delgados como 1,2 mm y no hay límite superior de espesor.

La especificación ANSI/AWS A5.4-92 provee para cinco tipos diferentes de electrodos revestidos.

La soldadura con electrodo revestido (SMAW) utiliza un electrodo consumible que aporta el material de soldadura fundido a la junta. Durante la soldadura, se crea un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza de trabajo, lo que funde ambos materiales y crea una unión sólida. Para evitar la oxidación y la contaminación del metal fundido, es importante mantener el arco lo más corto posible y ajustar correctamente la corriente y el voltaje. Además, el revestimiento del electrodo proporciona una protección adicional alrededor del charco de soldadura para evitar defectos como grietas y porosidades.

3.2.7.2. Soldadura por Arco con Alambre y Protección Gaseosa (GMAW)

Es extensamente usado tanto para espesores delgados y gruesos. Los metales de aporte están clasificados en la especificación ANSI/AWS A5.9.

En el proceso de soldadura GMAW para aceros inoxidable es crucial la selección del gas protector adecuado. El argón es el gas protector más utilizado, pero para obtener una mejor calidad de soldadura y reducir la oxidación de la superficie se pueden emplear mezclas de gases como el argón con oxígeno, dióxido de carbono o helio. La elección de la mezcla de gas dependerá de las características del acero inoxidable y del tipo de soldadura a realizar. Además, es importante asegurarse de que la limpieza de la superficie del metal sea óptima para evitar la presencia de impurezas que puedan afectar la calidad de la soldadura.

3.2.7.3. Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Protección Gaseosa (GTAW)

Es ampliamente usado para soldaduras de aceros inoxidables, especialmente para soldadura de penetración completa en materiales delgados y pase de raíz en espesores gruesos.

El proceso de soldadura GTAW, también conocido como TIG, utiliza corriente continua conectando el electrodo al polo negativo para realizar la soldadura. El electrodo más comúnmente utilizado es el óxido de torio de tungsteno (ANSI/AWS A5.12-EWTh-2), que se prefiere debido a su alta resistencia a la erosión y su larga vida útil. Para proteger la soldadura del contacto con el aire, se utiliza gas de protección, como el argón puro, en una corriente continua con electrodo negativo (DCEN) de polaridad. Además, se pueden emplear mezclas

de argón y helio para soldaduras de piezas de mayor espesor, lo que mejora la eficacia de la soldadura y reduce la porosidad.

3.2.7.4. Soldadura por Arco con Hilo Tubular y Núcleo con Fundente (FCAW)

La soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW) es un proceso de soldadura que utiliza un equipo similar al utilizado en el proceso de soldadura por arco bajo gas protector metálico (GMAW). Una de las principales ventajas de este proceso es que la adición de fundente en el centro del alambre de aportación a menudo permite hacer soldaduras sin necesidad de utilizar un gas de protección externo. Con el tiempo, la introducción de alambres de aportación más pequeños y la eliminación de gas de protección de algunas soldaduras ha aumentado la popularidad del proceso de FCAW. Aunque se requiere limpiar la escoria de las soldaduras después de finalizar, las ventajas del proceso en términos de alta calidad, versatilidad y rapidez superan este requisito.

3.2.7.5. Soldadura por Arco Sumergido (SAW)

El proceso de soldadura por arco sumergido (SAW) es muy utilizado en la industria debido a su alta eficiencia y capacidad para soldar piezas de gran espesor. Este proceso utiliza un arco eléctrico sumergido en una capa de fundente granulado que cubre la soldadura. El fundente protege la soldadura del aire y de la oxidación, además de proporcionar un ambiente reductor para la transferencia de metal. Esto hace que la soldadura SAW sea muy limpia y uniforme. Aunque este proceso requiere un equipo especializado y una preparación previa de

las piezas a soldar, la calidad de las soldaduras y su velocidad de producción son altamente valoradas en la industria.

3.2.7.6. Soldadura por Arco con Plasma (PAW)

Tiene básicamente el mismo funcionamiento que la soldadura TIG ya que crea un arco entre un electrodo de tungsteno no fundible y el material con la diferencia que se obtiene un estado plasmático debido a que a través de la tobera fluye un gas inerte que se calienta debido al arco, generando que este se ionice y de esa manera proteja la soldadura. El beneficio de este tipo de soldadura es que se obtienen uniones de muy buena calidad con la facilidad que permite ser automatizable incluso para piezas de gran tamaño con una menor generación de grietas y deformaciones.

3.2.8. Aceros Inoxidables Austeníticos

Los aceros inoxidable austeníticos son aleaciones metálicas que contienen cromo (Cr) y níquel (Ni) como elementos principales. Estos aceros se caracterizan por su estructura cristalina austenítica, lo que les confiere propiedades excepcionales en términos de resistencia a la corrosión y alta tenacidad. La presencia de cromo en estos aceros forma una capa de óxido de cromo en la superficie, conocida como pasivación, que actúa como una barrera protectora frente a la oxidación y la corrosión. Además, la adición de níquel mejora la resistencia a la corrosión en entornos agresivos, como el agua de mar o soluciones ácidas.

Estos aceros pueden aumentar bastante su resistencia por medio del trabajo en frío lo que les permite obtener una mejorar su dureza, su fuerza y su resistencia a la tensión, haciendo

que el uso de estos aceros sea prácticamente ilimitado. Al estar recocidos son no magnéticos, pero al ser trabajados en frío pueden llegar a ser ligeramente magnéticos.

Tiene una buena resistencia a la corrosión, mejor que la de los aceros martensíticos o ferríticos, pero puede disminuir considerablemente al ser calentado dentro de los 400°C - 900°C ya que el cromo del acero empieza a precipitarse en los límites de grano en forma de carburos, por lo que es en los límites de grano donde puede empezar a producirse la corrosión, sin embargo, con el uso de aleantes estabilizadores como el titanio o el columbio puede evitarse este problema.

Los aceros inoxidable austeníticos se clasifican en dos grandes grupos: la serie 300 y la serie 200. La serie 300 se caracteriza principalmente por el uso de níquel como complemento al cromo y así lograr transformar la ferrita en austenita, a veces complementado con molibdeno para aportar una mejor resistencia a la corrosión; mientras que la serie 200 reduce el contenido de níquel presente en el acero y agrega nitrógeno, sin embargo, debido a que el uso de este en altas cantidades podría generar porosidades y nitruros se optó por añadir manganeso como complemento al nitrógeno, formando ambos la austenita del acero, a veces se incluye otros formadores de austenita como el cobre.

Dentro de la serie 300 los más utilizados son los 304, 304L, 310, 316, 316L y 321:

- **AISI 304:** Posee una buena resistencia a la corrosión y soporta temperaturas hasta los 750°C, ya que en este límite empieza a reducirse su resistencia a la oxidación debido a la formación de carburos. También puede sufrir de fragilidad a temperaturas elevadas si es expuesto por mucho tiempo a ellas cerca a los 650°C-700°C. es principalmente

aplicado en la fabricación de recipientes de almacenamiento sometidos tanto a temperaturas ligeramente elevadas como criogénicos y para recipientes y tuberías de almacenamiento de fluidos corrosivos.

- **AISI 310:** Los aceros 310 tienen mayor contenido de carbono y níquel que los 304, de esta manera logran soportar mayores temperaturas, entre los 800°C y 1150°C por lo que sus aplicaciones más usuales son para la fabricación de piezas de hornos, equipos de refinería, piezas para calderas, etc.
- **AISI 316:** Tiene una composición química comparable al acero 304, aunque se distingue por la inclusión de un contenido de molibdeno que oscila entre el 2% y el 3%. Esta adición de molibdeno le confiere una mayor capacidad de resistencia a la corrosión, particularmente en entornos que presentan una alta presencia de cloruros. Como resultado, se utiliza principalmente en una variedad de aplicaciones, como herrajes marinos, recipientes químicos, infraestructuras portuarias, instrumentación de laboratorio y equipos sumergibles, entre otros.
- **AISI 321:** Forma parte del conjunto de aceros conocidos como estabilizados, debido a su contenido de titanio como elemento de aleación, que supera al menos cinco veces la cantidad de carbono presente. Esta particularidad reduce significativamente su vulnerabilidad a la corrosión intergranular al prevenir la precipitación de carburos durante los procesos de soldadura. Su aplicación principal se encuentra en equipos diseñados para operar de forma continua en un amplio rango de temperaturas, abarcando

desde los 450°C hasta los 850°C. Algunos ejemplos de su uso incluyen revestimientos para chimeneas, componentes de motores de aeronaves, fuelles y equipos de refinación.

La serie L de los aceros poseen menor contenido de carbono a sus pares enteros, aproximadamente 0,03% C para así minimizar la precipitación por carburos mejorando así su soldabilidad.

3.2.9. Soldabilidad de los Aceros Inoxidables Austeníticos

Pere [10] nos dice que, se entiende por soldabilidad la facilidad con la que un metal se puede conformar por soldadura de sus partes, así como la habilidad de la unión soldada para resistir las condiciones de servicio. En particular se considera que los aceros inoxidables austeníticos tienen excelente soldabilidad (p.47).

En la soldadura de aceros inoxidables se emplean diversos métodos, algunos de estos métodos son la soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible y un gas protector; la soldadura MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas), que utiliza un alambre consumible y un gas protector; la soldadura SAW (Submerged Arc Welding), que emplea un arco sumergido en un lecho de fundente granulado; la soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding), que utiliza un electrodo revestido y un flujo protector; la soldadura por plasma, que utiliza un arco de plasma ionizado para fundir los materiales y formar la unión; y la soldadura por resistencia, que une las piezas mediante la aplicación de corriente eléctrica entre electrodos.

La soldadura de aceros inoxidable requiere una protección adecuada debido a su facilidad de oxidación. Se utilizan atmósferas neutras o ligeramente reductoras, escorias o incluso soldadura por vacío para evitar la formación de óxidos refractarios. Sin embargo, el principal desafío es prevenir la precipitación de carburos cerca de la zona de soldadura, lo cual puede sensibilizar el material a la corrosión intergranular. Esto se evita mediante soldadura sin precalentamiento y con bajo aporte de calor, o mediante el uso de aceros austeníticos con bajo contenido de carbono o estabilizados con titanio, niobio o tántalo.

3.2.10. Corrosión

Los aceros inoxidable son propensos a diversos tipos de ataques corrosivo, por lo que el enfoque principal al seleccionar aceros inoxidable radica en evitar la corrosión localizada. Además, las prácticas de diseño, fabricación, acondicionamiento de superficies y mantenimiento pueden afectar significativamente su resistencia a la corrosión. Al elegir un grado de acero inoxidable para una aplicación específica, se deben tener en cuenta varios factores, pero la resistencia a la corrosión siempre es el punto de partida fundamental.

3.2.10.1. Corrosión en los Aceros Inoxidables Austeníticos

La corrosión en los aceros inoxidable austeníticos, como los tipos AISI 304 y 316, es un fenómeno importante para considerar en diversas aplicaciones industriales. Uno de los tipos de corrosión más preocupantes es el agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC), el cual puede ocurrir debido a la presencia de cloruros. Aunque estos aceros tienen una buena resistencia general a la corrosión, la sensibilización es un proceso crítico que puede comprometer su desempeño.

La sensibilización se produce cuando los carburos de cromo se precipitan en los límites de grano, debilitando la resistencia a la corrosión intergranular y favoreciendo el agrietamiento bajo tensión. Para mitigar este problema, se recomienda utilizar grados con mayor contenido de níquel y molibdeno, ya que estos elementos fortalecen la resistencia a la corrosión bajo tensión. Asimismo, la elección de aceros con bajo contenido de carbono y la adición de elementos estabilizadores de carburos, como titanio o niobio, ayudan a prevenir la sensibilización.

3.2.10.2. Mecanismo de Protección Contra la Corrosión

Los aceros inoxidable austeníticos, como el AISI 304 y el AISI 316, poseen mecanismos de protección contra la corrosión basados en la formación de una capa pasiva de óxido en presencia de oxígeno. Esta capa pasiva, compuesta principalmente por óxido de cromo (Cr_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), se forma gracias a reacciones químicas específicas en la superficie del acero inoxidable, con un contenido típico de cromo del 18-20% y níquel del 8-10%. Estos óxidos son altamente estables y resistentes a la corrosión.

La formación de la capa pasiva depende de factores como la concentración de oxígeno, la temperatura y la composición química del acero inoxidable. En condiciones óptimas, la capa pasiva se desarrolla rápidamente, con un espesor de solo unos nanómetros, y se adhiere firmemente al metal base, proporcionando una protección duradera. Además, la capa pasiva tiene la capacidad de autorrepararse en presencia de daños menores, lo cual se debe a la autoregeneración de los óxidos estables.

La presencia de oxígeno es fundamental para la formación y mantenimiento de la capa pasiva. El cromo presente en el acero inoxidable reacciona con el oxígeno para formar Cr_2O_3 , mientras que el hierro forma Fe_2O_3 . Estos óxidos actúan como barreras protectoras que evitan el contacto directo entre el metal y el medio corrosivo, impidiendo así la corrosión. Además, la capa pasiva exhibe propiedades no porosas e insolubles, lo que contribuye a su efectividad como barrera.

Adicionalmente a la capa pasiva, la adición de elementos de aleación juega un papel importante en la protección contra la corrosión en los aceros inoxidables. El cromo, presente en un porcentaje del 18-20%, forma compuestos estables como el óxido de cromo que refuerzan la capa pasiva y proporcionan una mayor protección. El níquel, con un contenido del 8-10%, también contribuye a la resistencia a la corrosión al mejorar la adherencia y la estabilidad de la capa pasiva. Además, la presencia de molibdeno, con un contenido típico del 2-3%, ofrece mayor resistencia a la corrosión bajo tensión en ambientes con cloruros.

Esta región empobrecida en oxígeno actúa como un ánodo en relación con la superficie expuesta y bien aireada, lo que requiere un mayor contenido de aleación en el acero inoxidable para evitar la corrosión en esa región. Por lo tanto, la presencia de oxígeno y una superficie sin obstrucciones son elementos cruciales para mantener la resistencia a la corrosión en los aceros inoxidables.

No es necesario tratar químicamente un acero inoxidable para obtener la película pasiva; la película se forma espontáneamente en presencia de oxígeno. Lo más frecuente es que

la función de la pasivación sea eliminar el hierro libre, los óxidos y otras contaminaciones superficiales.

3.2.10.3. Corrosión por Cambios Térmicos en los Aceros Inoxidables

Estos cambios son los siguientes:

- **La Sensibilización.** La sensibilización, conocida como la formación de carburos en los límites de los granos, es un fenómeno que puede ocurrir en los aceros inoxidable austeníticos cuando se someten a temperaturas entre 425 y 870 °C (800 y 1600 °F) durante un período de tiempo prolongado. La duración de la exposición determina la cantidad de carburos precipitados. Esta precipitación de carburos de cromo en los límites de los granos provoca un agotamiento de cromo en la zona cercana.

Como consecuencia, se crea una capa de bajo contenido de cromo alrededor de cada grano, lo que aumenta la susceptibilidad del acero inoxidable a la corrosión intergranular. Esta corrosión se caracteriza por la disolución de la capa protectora en los límites de los granos. Además, la sensibilización también reduce la resistencia del acero inoxidable a otras formas de corrosión, como la picadura, la corrosión por hendiduras y, especialmente, la corrosión por agrietamiento bajo tensión (SCC).

- ***Precipitación de las Fases Intermetálicas.*** La aparición de fases intermetálicas, como la fase sigma, puede comprometer la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables, incluyendo la corrosión intergranular, la corrosión por picaduras y la corrosión por hendiduras. Estas fases, caracterizadas por su alta concentración de cromo y molibdeno, pueden precipitarse en determinadas condiciones de temperatura y tiempo, alterando las propiedades del acero. El resultado es un aumento en la susceptibilidad del material a diversos tipos de corrosión, incluyendo la temida corrosión por agrietamiento bajo tensión (SCC). Para mantener la integridad y durabilidad del acero inoxidable, es esencial controlar cuidadosamente las condiciones de tratamiento térmico y evitar la formación de estas fases intermetálicas.

3.2.10.4. Corrosión en la Soldadura

Durante la soldadura de los aceros inoxidables, se enfrentan desafíos relacionados con la sensibilización y la formación de fases intermetálicas. La temperatura generada por el proceso de soldadura puede llevar a la sensibilización de los aceros inoxidables, lo que aumenta su susceptibilidad a diversos tipos de corrosión, como la corrosión intergranular, las picaduras, la corrosión por hendiduras y la corrosión bajo tensión (SCC). Estos fenómenos suelen ocurrir en la zona afectada por el calor de la soldadura. Para contrarrestar estos efectos negativos una opción es realizar un recocido en solución después de la soldadura, que consiste en un tratamiento térmico para restaurar la estructura y propiedades del acero inoxidable. Este proceso ayuda a eliminar los carburos precipitados y restablecer la resistencia a la corrosión.

Otra estrategia es optar por aceros inoxidable de bajo contenido de carbono ($<0,03\%$ C) o grados estabilizados. Estos grados contienen elementos estabilizadores de carburos, como titanio (Ti) o niobio (Nb), que se combinan con el carbono en lugar de formar carburos de cromo. Esto evita la sensibilización y la formación de fases intermetálicas, preservando la resistencia a la corrosión del acero inoxidable.

3.2.10.5. Formas de Corrosión de los Aceros Inoxidables

- **Corrosión General.** La corrosión general en los aceros inoxidables implica una disolución uniforme de la superficie del material en un entorno corrosivo. A diferencia de la corrosión localizada, como la corrosión por picaduras o la corrosión intergranular, la corrosión general no se limita a áreas específicas y ocurre de manera homogénea en toda la superficie expuesta.

En algunos casos, la corrosión general puede ser el resultado de un entorno que dificulta o impide la repasivación del acero inoxidable. La repasivación es el proceso en el que se forma nuevamente la capa protectora pasiva en la superficie del acero inoxidable, lo que ayuda a prevenir la corrosión. Sin embargo, en entornos corrosivos agresivos, la repasivación puede ser limitada o incluso evitada debido a factores como la alta concentración de agentes corrosivos, la falta de oxígeno o la presencia de sustancias químicas que interrumpen la formación de la capa pasiva.

- ***Picaduras.*** Es un tipo de corrosión localizada que afecta a los aceros inoxidables, generando pequeñas cavidades o picaduras en la superficie del material. Este fenómeno corrosivo se produce cuando se dan condiciones específicas, como la presencia de un medio corrosivo agresivo, alta concentración de cloruros y la presencia de pequeñas discontinuidades en la superficie del acero inoxidable.

La corrosión por picaduras es especialmente problemática en entornos marinos o industriales, donde los cloruros son comunes. La formación de picaduras puede resultar en una rápida propagación de la corrosión, con pérdida de espesor del material y posibles daños estructurales. Algunos aceros inoxidables son más resistentes a este tipo de corrosión, como los grados con mayor contenido de molibdeno y níquel, debido a su capacidad para formar una capa pasiva más resistente y protectora.

- ***Corrosión por Hendiduras.*** La corrosión por hendiduras es un tipo de corrosión localizada que afecta a los aceros inoxidables, caracterizada por la formación de hendiduras estrechas y profundas en la superficie del material. Este fenómeno ocurre en entornos con presencia de agua o soluciones corrosivas que pueden quedar atrapadas en espacios confinados, como juntas, soldaduras o entre objetos en contacto.

La formación de hendiduras está asociada a reacciones electroquímicas complejas, donde se pueden generar compuestos como cloruros, ácidos y óxidos metálicos. Los aceros inoxidables con bajo contenido de molibdeno, como el AISI 304, son más susceptibles a este tipo de corrosión, ya que el molibdeno ayuda a mejorar la resistencia a la corrosión en medios agresivos.

Para prevenir la corrosión por hendiduras en los aceros inoxidable, se recomienda evitar la acumulación de líquidos corrosivos y minimizar las áreas propensas a la retención de los mismos. Además, es importante seleccionar un grado de acero inoxidable adecuado para el entorno de exposición, como el AISI 316, que contiene un mayor porcentaje de molibdeno (aproximadamente 2-3%), lo que mejora su resistencia a la corrosión en ambientes agresivos.

3.2.10.6. Corrosión en Entornos Específicos

Para la selección de un acero inoxidable hay que tener como principal criterio su resistencia a la corrosión por lo que se debe evaluar los medios a los que se verá expuesto, por ello vamos a analizar la corrosión en los entornos más comunes:

➤ Corrosión Atmosférica:

Los contaminantes atmosféricos más frecuentemente responsables de la oxidación de los aceros inoxidables estructurales son los cloruros y el polvo metálico de hierro. La contaminación por cloruros puede proceder del cloruro de calcio (CaCl_2) utilizado para fabricar el hormigón o de la exposición en lugares marinos o industriales y la contaminación por hierro puede producirse durante la fabricación o el montaje de la estructura. La corrosividad de las diferentes exposiciones atmosféricas puede variar mucho y puede dictar la aplicación de diferentes grados de acero inoxidable. Las atmósferas rurales, no contaminadas por humos industriales o salinas costeras, son extremadamente suaves en términos de corrosividad para el acero inoxidable, incluso en zonas de alta humedad. Los ambientes industriales o marinos pueden ser considerablemente más severos. El acero inoxidable tipo 304 puede proporcionar

una resistencia satisfactoria en muchas aplicaciones marinas, pero a menudo se seleccionan grados más aleados cuando el inoxidable está protegido del lavado por el clima y no se limpia regularmente. En entornos más agresivos, como las atmósferas marinas o muy contaminadas, el acero inoxidable tipo 316 es especialmente útil. El agrietamiento por corrosión bajo tensión debe tenerse en cuenta cuando los aceros inoxidables martensíticos templados por enfriamiento o los grados de endurecimiento por precipitación se utilizan en entornos marinos o en lugares industriales donde hay cloruros.

➤ ***Corrosión en las Aguas:***

Las aguas pueden variar desde el agua extremadamente pura hasta el agua tratada químicamente, pasando por las soluciones de cloruro altamente concentradas, como el agua salobre o el agua de mar, concentradas aún más por el reciclaje. Este contenido de cloruro supone el peligro de picadura o ataque de grietas de los aceros inoxidables. Cuando la aplicación implica un aumento moderado de las temperaturas, incluso de hasta 45 °C (110 °F), y en particular cuando hay transferencia de calor al medio que contiene cloruro, existe la posibilidad de que se produzca una SCC. Es útil considerar el agua con dos niveles generales de contenido de cloruro: el agua dulce, que puede tener niveles de cloruro de hasta aproximadamente 600 ppm, y el agua de mar, que engloba las aguas salobres y gravemente contaminadas.

- ***Corrosión en Agua Dulce.*** El acero inoxidable tipo 304 ha proporcionado un excelente servicio para elementos como piezas de válvulas, vertederos, sujetadores y ejes de bombas en plantas de tratamiento de agua y aguas residuales. El acero

inoxidable 450 a medida se ha utilizado como ejes para grandes válvulas de mariposa en agua potable. El acero inoxidable de tipo 201 se ha utilizado en esteras de revestimiento para reducir la erosión de la costa en agua dulce. El acero inoxidable tipo 316 se ha utilizado como alambre para microfiltros en el tratamiento terciario de aguas residuales y se sugiere para aguas que contienen pequeñas cantidades de cloruro.

- ***Corrosión en Agua de Mar.*** Es un entorno muy corrosivo para muchos materiales. Los aceros inoxidables son más propensos a ser atacados en el agua de mar de baja velocidad en las grietas resultantes del diseño del equipo. La elección del acero inoxidable para el servicio de agua de mar puede depender de si se pueden minimizar o eliminar las condiciones de estancamiento del agua marina. Cuando se espera que los buques de navegación marítima permanezcan inactivos durante largos periodos de tiempo, se consideran materiales para ejes de embarcaciones más resistentes, como el acero inoxidable 22Cr - 13Ni - 5Mn.

Otros factores que deben tenerse en cuenta al aplicar los aceros inoxidables en el agua de mar son la posibilidad de corrosión galvánica si el acero inoxidable va a ser utilizado en contacto con otros metales en el agua de mar, los efectos de la alta velocidad y la temperatura. Los aceros inoxidables suelen mostrar una excelente resistencia a las altas velocidades, al ataque por impacto y a la cavitación en el agua de mar. Además, los aceros inoxidables ofrecen un servicio óptimo en agua de mar aireada, ya que la falta de aireación en un lugar determinado suele provocar el ataque de grietas.

3.2.11. Ensayos No Destructivos

Los ensayos no destructivos (END) son técnicas utilizadas para evaluar la integridad de los materiales sin causar daño permanente a ellos. Estos ensayos son ampliamente aplicados en la industria de los aceros inoxidables para detectar defectos, evaluar la calidad del material y garantizar la seguridad estructural.

Los END se deben aplicar durante diferentes etapas, como la fabricación, la inspección en servicio y el mantenimiento de los aceros inoxidables. Se utilizan para verificar la presencia de defectos internos o superficiales, tales como grietas, inclusiones, porosidad y corrosión.

Durante la fabricación, es importante realizar ensayos no destructivos como la inspección visual y el ensayo de líquidos penetrantes. Estos ensayos ayudan a verificar la calidad de las soldaduras, identificar posibles defectos superficiales o discontinuidades y garantizar la correcta unión de los componentes del intercambiador.

En el presente proyecto, la aplicación exclusiva de la inspección visual y los tintes penetrantes puede ser suficiente. Esto es debido a que el intercambiador de calor está diseñado con materiales que tienen baja probabilidad de desarrollar defectos internos, como tubos de acero inoxidable de alta calidad y soldaduras realizadas por personal calificado. Además, el intercambiador se someterá a condiciones de servicio benignas, sin la presencia de factores de riesgo como altas presiones o temperaturas corrosivas, por lo que los END mencionados pueden ser adecuados.

Para otros casos, en aplicaciones donde la integridad estructural es crítica o se espera una mayor exposición a ambientes corrosivos o de alta presión, se recomienda complementar la inspección visual y los tintes penetrantes con otros END, como radiografía industrial,

ultrasonidos o partículas magnéticas. Estos métodos ofrecen una evaluación más exhaustiva de las posibles discontinuidades internas y superficiales, proporcionando un mayor nivel de confiabilidad y cumpliendo con normas adicionales como la ASME Sección V y ASME Sección VIII-División 1.

3.2.11.1. Ensayo por Líquidos Penetrantes

Los ensayos no destructivos por tintes penetrantes son un método utilizado para detectar defectos superficiales en materiales no porosos. Consisten en aplicar un líquido penetrante sobre la superficie a inspeccionar, permitiendo que penetre en posibles discontinuidades. Posteriormente, se aplica un revelador que hace visible cualquier indicación de defecto.

Normas ampliamente reconocidas, como la ASME Sección V, establecen los requisitos y procedimientos para llevar a cabo ensayos por tintes penetrantes. Estas normas definen los tipos de penetrantes y reveladores permitidos, así como los criterios de aceptación y los procedimientos de limpieza y preparación de las superficies.

El procedimiento típico de los ensayos por tintes penetrantes involucra las siguientes etapas: limpieza y preparación de la superficie, aplicación del penetrante, tiempo de penetración, remoción del exceso de penetrante, aplicación del revelador y observación de las indicaciones de defecto. Se debe prestar especial atención a las instrucciones específicas de la norma aplicable para garantizar la correcta ejecución del ensayo.

➤ **Descripción del Método.** Actualmente la técnica de LP se puede resumir en los siguientes pasos:

- Preparación de la superficie: Se realiza una limpieza exhaustiva de la superficie a inspeccionar para asegurar que esté libre de cualquier contaminante que pueda interferir con la penetración del líquido.
- Aplicación del penetrante: Se aplica el líquido penetrante sobre la superficie, asegurándose de cubrir toda el área a inspeccionar. El penetrante utilizado puede ser de base agua o solvente, y debe cumplir con las especificaciones de las normas aplicables, como la ASME Sección V.
- Tiempo de penetración: Se permite que el penetrante permanezca en contacto con la superficie durante un tiempo determinado, según las recomendaciones del fabricante o las especificaciones de la norma. Durante este tiempo, el penetrante se infiltrará en cualquier discontinuidad presente en la superficie.
- Remoción del exceso de penetrante: Una vez finalizado el tiempo de penetración, se remueve el exceso de penetrante de la superficie mediante un proceso de lavado o limpieza cuidadosa. Es importante asegurarse de eliminar todo el exceso de penetrante sin afectar las indicaciones de defecto.
- Aplicación del revelador: Después de la remoción del exceso de penetrante, se aplica el revelador sobre la superficie. El revelador puede ser en forma de polvo seco, líquido o en aerosol. Su función es absorber el penetrante que permanece dentro de las discontinuidades, creando una indicación visible de los defectos.

- Observación de las indicaciones de defecto: Finalmente, se realiza una inspección visual de la superficie tratada para detectar cualquier indicación de defecto revelada por el revelador. Estas indicaciones pueden ser grietas, porosidades u otras discontinuidades superficiales.

➤ ***Ventajas.***

- Relativamente simple de aplicar y controlar.
- Aplicable a materiales metálicos y no metálicos.
- No requiere costosos equipos

➤ ***Desventajas.***

- Sólo detecta discontinuidades abiertas a la superficie.
- No para materiales porosos.
- Difícil en superficies muy rugosas o posas.

3.2.11.2. Prueba de Inspección Hidrostática

La inspección hidrostática es un procedimiento clave para evaluar la estanqueidad de intercambiadores de calor de casco y tubos, realizado según la ASME Sección VIII, División 1. Este método implica llenar el intercambiador con agua y aplicar presión hidrostática para detectar fugas.

Durante la prueba, es esencial monitorear la presión del agua; cualquier disminución puede señalar la existencia de fugas. También se recomienda una inspección visual para identificar signos de fuga, como manchas de agua o burbujas de aire.

Para garantizar la efectividad de la prueba, el intercambiador debe estar completamente lleno de agua, evitando la trampa de aire en el sistema, y no se debe exceder el límite de presión máxima permitido, asegurando así la seguridad y el cumplimiento normativo.

3.2.12. Simulación Dinámica de Fluidos Computacional

La simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés) es una herramienta esencial en la ingeniería para analizar y predecir el comportamiento de los fluidos en sistemas complejos. Es generalmente usado para modelar y simular el flujo de fluidos, motivo por el cual lo utilizamos en nuestro intercambiador de calor de casco y tubos.

El proceso de simulación de CFD implica la discretización del dominio en una malla computacional, donde se resuelven las ecuaciones fundamentales de conservación de masa, momento y energía mediante métodos numéricos. Estas ecuaciones se adaptan al flujo de fluidos, considerando propiedades físicas como viscosidad, densidad y conductividad térmica.

En la simulación de CFD, se aplican condiciones de contorno y se establecen parámetros iniciales para representar con precisión el entorno de trabajo del intercambiador de calor. Luego, se lleva a cabo la solución numérica iterativa para obtener resultados detallados sobre la distribución de velocidades, temperaturas y presiones en el sistema.

La simulación de CFD permite evaluar diferentes escenarios de diseño y operación según los inputs que se brinden, como variaciones en la geometría del intercambiador, cambios en las condiciones de entrada o ajustes en los materiales utilizados. Esto permite optimizar la eficiencia del intercambiador, reducir las pérdidas de calor y mejorar el rendimiento global del sistema.

3.2.12.1. Solidworks Flow Simulation

SolidWorks Flow Simulation es una potente herramienta de simulación computacional de dinámica de fluidos (CFD) utilizada en diversos campos de la ingeniería, incluyendo el diseño y análisis de intercambiadores de calor de casco y tubos.

Las principales aplicaciones de SolidWorks Flow Simulation en el contexto del intercambiador de calor incluyen el estudio del flujo de fluidos, la transferencia de calor y la optimización del diseño. Con este software, es posible simular y analizar el comportamiento del flujo de fluidos dentro del intercambiador, así como evaluar la eficiencia térmica y la distribución de temperaturas.

Para configurar un análisis de Flow Simulation en SolidWorks, se deben definir las propiedades del fluido, las condiciones de contorno, las geometrías y las hipótesis de diseño. Se pueden establecer parámetros como la velocidad y la temperatura del fluido de entrada, las propiedades termofísicas, la resistencia al flujo y las características geométricas del intercambiador.

Una vez configurado el análisis, SolidWorks Flow Simulation utiliza el método de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones fundamentales de la dinámica de fluidos. El software proporciona resultados detallados, como perfiles de velocidad, distribuciones de temperatura, coeficientes de transferencia de calor y pérdidas de presión.

Las ventajas de utilizar SolidWorks Flow Simulation incluyen la capacidad de realizar simulaciones rápidas y precisas, la integración con el entorno de diseño de SolidWorks, la posibilidad de explorar diferentes configuraciones de diseño y la optimización de la eficiencia térmica.

En el caso específico del intercambiador de calor de casco y tubos, SolidWorks Flow Simulation permitió evaluar el rendimiento térmico, identificar áreas con baja transferencia de calor o alta pérdida de presión, y realizar mejoras en el diseño para optimizar la eficiencia del intercambiador, aparte de usarse para corroborar los cálculos realizados en el diseño.

3.2.13. Normas y Códigos de Aplicación

Las normas utilizadas en este proyecto de tesis fueron las siguientes:

3.2.13.1. ASME Sección VIII

La ASME Sección VIII es una norma técnica desarrollada por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) que establece los requisitos para el diseño, fabricación, inspección, pruebas y certificación de recipientes a presión y calderas. Esta norma se aplica a una amplia gama de industrias, incluyendo la química, petroquímica, energética, farmacéutica y alimentaria, entre otras. La Sección VIII de ASME está dividida en tres divisiones que se enfocan en diferentes tipos de recipientes a presión, incluyendo recipientes de alta presión, recipientes de baja presión y calderas. Esta norma es ampliamente utilizada en todo el mundo y es reconocida como una referencia técnica en la industria de recipientes a presión y calderas.

➤ *ASME Sección VIII-División 1*

La ASME Sección VIII, División 1 es una subcategoría dentro de la norma ASME que se centra en los requisitos para el diseño y fabricación de recipientes a presión de baja y media presión. Es la división más utilizada debido a su enfoque en la mayoría de los recipientes

industriales comunes que operan a presiones moderadas. Esta sección cubre aspectos clave como los materiales permitidos, los cálculos de espesores de pared, la inspección de soldaduras, y las pruebas de presión, como la prueba hidrostática. Los recipientes fabricados bajo esta norma deben someterse a inspecciones rigurosas y cumplir con los requisitos establecidos para garantizar su seguridad en operación, siendo altamente aplicable en la construcción de intercambiadores de calor que manejan fluidos a presión.

3.2.13.3. ASME Sección V

La norma ASME Sección V es fundamental en la fabricación de intercambiadores de calor de casco y tubos, ya que establece los procedimientos para realizar ensayos no destructivos (END). Estos ensayos, que incluyen radiografía, ultrasonido, partículas magnéticas y líquidos penetrantes, son esenciales para detectar discontinuidades y garantizar la integridad estructural del equipo. La implementación comienza con un plan de pruebas que se adapta a las características del intercambiador, y debe ser llevado a cabo por personal calificado. Al aplicar estos métodos se logra incrementar la seguridad, asegurar la calidad del producto y reducir costos operativos a largo plazo al identificar defectos potenciales en etapas tempranas del proceso de fabricación.

3.3.13.4. ASME B31.1

La ASME B31.1 es una norma técnica desarrollada por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) que establece los requisitos para el diseño, fabricación, inspección, pruebas y operación de sistemas de tuberías de potencia. Esta norma es aplicable a tuberías que transportan fluidos a alta presión y temperatura, como vapor, agua caliente, aceites térmicos y otros

fluidos empleados en la generación de energía y sistemas de calefacción en instalaciones industriales. La ASME B31.1 es ampliamente utilizada en plantas de energía, instalaciones petroquímicas, plantas de procesamiento y en sistemas de calefacción industrial, entre otros.

Esta norma establece criterios rigurosos para garantizar la seguridad y eficiencia de los sistemas de tuberías en condiciones extremas de operación. Abarca aspectos como el cálculo de espesores de tuberías, selección de materiales adecuados, procesos de fabricación, procedimientos de soldadura, inspección de soldaduras, pruebas de presión y mantenimiento de los sistemas de tuberías.

3.2.13.5. AWS D1.6

La norma AWS D1.6 es un código de soldadura desarrollado por la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) que establece los requisitos para la soldadura de acero inoxidable en estructuras y componentes de construcción. Esta norma se aplica a una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la construcción de edificios, puentes, tanques de almacenamiento, tuberías y equipos de procesamiento como los intercambiadores de calor. La AWS D1.6 establece requisitos específicos para la preparación de las juntas de soldadura, los procedimientos de soldadura, los criterios de aceptación y las pruebas de inspección. Además, esta norma también incluye requisitos para la calificación de soldadores y la certificación de empresas de soldadura. La AWS D1.6 es ampliamente utilizada en la industria de la construcción y es reconocida como una referencia técnica para la soldadura de acero inoxidable.

3.2.13.6. ASTM

Conocida por sus siglas ASTM (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) es una organización internacional que desarrolla y publica normas técnicas para materiales, productos, sistemas y servicios. Estas normas están destinadas a garantizar la calidad y seguridad de los productos y servicios en una amplia gama de industrias, incluyendo la construcción, la ingeniería civil, la energía, la electrónica y la fabricación. Las normas ASTM se utilizan para establecer requisitos de desempeño, pruebas y especificaciones de materiales, productos y sistemas. Estas normas también se utilizan para guiar la investigación y el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías.

3.2.13.7. TEMA

La norma TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) es una referencia clave en el diseño y fabricación de intercambiadores de calor de casco y tubos. Esta norma proporciona directrices y criterios técnicos para garantizar un rendimiento eficiente y seguro de estos equipos en diversas aplicaciones industriales.

La norma TEMA establece los estándares para el diseño, la construcción, la inspección y el ensayo de intercambiadores de calor de casco y tubos. Específicamente para el caso de un intercambiador de calor de casco y tubos de acero inoxidable AISI 304L, la norma TEMA ofrece orientación sobre los siguientes aspectos:

Diseño del casco: La norma TEMA proporciona criterios para dimensionar el casco del intercambiador, incluyendo el diámetro, la longitud y la ubicación de las conexiones de entrada y salida.

Diseño de los tubos: Se establecen pautas para la selección del diámetro, el espesor y el espaciado de los tubos internos del intercambiador. Además, se indican los métodos para el soporte y la fijación adecuada de los tubos dentro del casco.

Configuración de los fluidos: La norma TEMA considera la disposición de los fluidos dentro del intercambiador, como el aceite de pescado y el vapor de agua en este caso. Proporciona recomendaciones sobre el flujo, la velocidad y las condiciones de temperatura para maximizar la transferencia de calor.

Inspección y ensayo: La norma TEMA establece los requisitos para la inspección visual, las pruebas de fugas y los ensayos no destructivos, con el objetivo de asegurar la integridad estructural y la eficiencia del intercambiador.

La aplicación de la norma TEMA garantiza que el intercambiador de calor de casco y tubos cumpla con los estándares de calidad y rendimiento exigidos en la industria. Permite diseñar un equipo eficiente, confiable y seguro, adaptado a las condiciones de operación específicas y al tipo de fluidos utilizados.

3.2.14. Sistema de Gestión de Calidad

El sistema de gestión de calidad establecido para el desarrollo del proyecto identifica los procesos para su aplicación y establece su secuencia e interacción bajo los criterios y métodos requeridos para asegurar la eficacia de su operación y control, asegura la disponibilidad de recursos, realiza su seguimiento, medición y análisis e implementa las acciones necesarias para alcanzar los resultados planificados y la mejora continua.

Con base en este sistema de gestión de calidad se elaboró el plan de calidad siguiente.

3.2.14.1. Plan de Calidad

En el Plan de Calidad se muestra las secuencias de los procesos que están relacionados con la calidad de acuerdo con el sistema de gestión de calidad aplicable a las especificaciones técnicas del proyecto de construcción del intercambiador.

En el plan de calidad se describen las actividades, las inspecciones, los documentos aplicables del proyecto y las responsabilidades del personal.

- **Objetivos del Plan de Calidad.** Establecer los criterios, lineamientos para prestar servicios en la gestión de calidad del proyecto, para orientar sus actividades en la prevención y mantenimiento correspondientemente.

Definir las actividades involucradas en la prevención, mantenimiento y control del proyecto para asegurar la calidad correspondiente a los servicios prestados, para que estén plenamente identificadas, organizadas y controladas asegurando su trazabilidad.

- **Alcance.** Para el cumplimiento del plan de calidad se especifica términos y condiciones establecidas, para que ambas partes que comparten documentos y responsabilidades realicen sus actividades sin perjuicio o limitaciones.

a) Se debe dar revisión, verificación y análisis de todos los documentos suministrados por ambas partes que modifiquen, adicionen o complementen el proyecto.

b) La empresa está autorizada a impartir instrucción, órdenes y recomendaciones a la empresa cliente con el fin de salvaguardar la calidad del proyecto designado, la empresa cliente está libre de acogerse o no a estas órdenes, instrucción o recomendaciones suministradas.

c) Ambas partes no pueden exonerarse de sus obligaciones o responsabilidades en la gestión de calidad, mantenimiento y control del proyecto, salvo previa notificación y autorización escrita.

d) El proyecto está regido por todas las normas, reglamentos y metodologías técnicos para garantizar la calidad del proyecto.

e) La empresa termina su gestión en el aseguramiento de la calidad, cuando la empresa cliente firma el acta de conformidad y no se ha ocurrido ningún imprevisto en los próximos 30 días calendario firmado el acta.

f) La empresa esta exonerada del mantenimiento y control del proyecto una vez concluido y firmado el acta de conformidad, salvo que se halla establecido en el contrato u orden de servicio.

- **Materiales.** La parte de materiales del plan de calidad se enfoca en asegurar que los materiales utilizados en la fabricación del intercambiador de calor sean de alta calidad y cumplan con los estándares necesarios para garantizar su durabilidad y eficiencia.
- **Puntos del Plan de Inspección.** La parte de puntos de inspección es fundamental para asegurar que cada etapa del proceso de fabricación cumpla con los criterios de calidad establecidos y dejar un registro de que las mismas se han realizado correctamente en los trabajos de fabricación del intercambiador. Los puntos de inspección se definen como los puntos críticos en el proceso de fabricación donde se realiza una evaluación para asegurar que el intercambiador de calor se está fabricando de acuerdo con los estándares de calidad requeridos. El plan de puntos de inspección incluye las distintas etapas de

trabajo, la documentación de referencia, las principales características a inspeccionar, el método de inspección y los criterios de aceptación.

- **Registro de Procedimiento de Soldadura (WPS).** El WPS es el procedimiento de soldadura calificado y escrito, elaborado para proveer las directrices para efectuar los procesos de soldadura de producción de acuerdo con los requerimientos del Código AWS D1.6. El WPS puede ser usado para proveer orientación al soldador para asegurar su cumplimiento.

Se preparó el WPS precalificado utilizando el proceso GTAW por ser el más ampliamente usado para soldaduras de aceros inoxidable, especialmente para soldadura de penetración completa en materiales delgados y pase de raíz en espesores gruesos y porque aporta energía localizada con mínimas deformaciones.

- **Registro de Calificación de Soldadores.** Este registro se enfoca en garantizar que los soldadores que participaron en la fabricación del intercambiador de calor poseían las habilidades y conocimientos necesarios para realizar su trabajo de manera efectiva y cumplir con los estándares de calidad requeridos. El registro de calificación de los soldadores implica la realización de pruebas de soldadura en la que se evalúan las habilidades del soldador y se verifica que cumple con los requisitos y estándares de soldadura establecidos por las normas y especificaciones aplicables. Además, este registro debe pasar por una actualización periódica para garantizar que se cumplan los requisitos de calificación en todo momento.

- **Recepción de Materiales.** Este registro se enfoca en garantizar que los materiales recibidos para la fabricación del intercambiador de calor cumplan con los requisitos y especificaciones establecidos, y se verifiquen adecuadamente antes de su uso en el proceso de fabricación. El registro de recepción de los materiales incluye las especificaciones del material, la fecha de recepción, el proveedor y los resultados de cualquier prueba o inspección realizada.
- **Certificado de Calidad de Materiales.** Estos certificados proporcionan información importante sobre la calidad de los materiales utilizados en la fabricación del intercambiador de calor y garantizan que los materiales cumplan con los requisitos y especificaciones establecidos por las normas y especificaciones aplicables. Los certificados de calidad de los materiales incluyen detalles sobre las pruebas y ensayos realizados en los materiales, y los resultados de las mismas. También se incluyen detalles sobre el número de lote del material, el proveedor y las especificaciones técnicas. Además, estos certificados deben ser emitidos por un laboratorio o entidad acreditada que tenga experiencia en la evaluación de los materiales y suministrados por el proveedor.
- **Registro de Recepción de Consumibles.** Este registro se enfoca en garantizar que los consumibles recibidos para la fabricación del intercambiador de calor cumplan con los requisitos y especificaciones establecidos, y se verifiquen adecuadamente antes de su uso. Los consumibles más utilizados en el proceso GTAW incluyen los electrodos de tungsteno, los gases de protección y los materiales de aporte utilizados en la soldadura.

El registro de recepción de los consumibles incluye la documentación detallada de cada consumible recibido, incluyendo el número de lote, las especificaciones del consumible, la fecha de recepción, el proveedor y los resultados de cualquier prueba o inspección realizada.

- **Control Dimensional.** Este control se enfoca en verificar las dimensiones críticas de las piezas y componentes del intercambiador de calor, asegurándose de que cumplan con las especificaciones establecidas en los dibujos técnicos y planos de fabricación. El control dimensional implica la realización de mediciones precisas y verificaciones visuales para detectar cualquier desviación o problema en las dimensiones, además, se lleva a cabo una inspección visual para verificar que el intercambiador no tenga deformaciones, torsiones, agrietamientos u otros defectos que puedan afectar su funcionamiento. Una vez se establecieron las medidas reales estas se compararon con las nominales presentadas al cliente en los planos de diseño. Una vez realizada la comparación se evaluó si la variación era aceptable o no.
- **Inspección Visual de Soldadura.** La inspección visual se enfoca en verificar la calidad y la integridad de las soldaduras, asegurándose de que cumplan con los estándares y requisitos especificados en los planos de fabricación y las normas aplicables. Durante la inspección visual, se buscan posibles defectos en la soldadura, como porosidad, grietas, inclusión de escoria o falta de penetración. Si se encuentra alguna anomalía en la

soldadura, se toman medidas correctivas inmediatas para garantizar que la soldadura cumpla con los estándares de calidad requeridos.

Cabe mencionar que las pruebas a la soldadura requeridas por el cliente eran solo dos, inspección visual y ensayo no destructivo por líquidos penetrantes.

- **Ensayos No Destructivos por Líquidos Penetrantes.** Este ensayo se utiliza para detectar posibles discontinuidades superficiales en piezas y componentes metálicos, como grietas, poros, fisuras, inclusiones y otros defectos, que podrían afectar la calidad y la funcionalidad del intercambiador de calor.

Después de llevar a cabo el ensayo no destructivo por líquidos penetrantes, se registró la información relevante, como la fecha del ensayo, la ubicación de la pieza inspeccionada, el tipo de defecto encontrado y las medidas tomadas para resolver cualquier problema detectado.

- **Inspección Prueba Hidrostática.** Esta prueba se realiza para asegurar que el intercambiador de calor sea capaz de soportar la presión operativa para la que ha sido diseñado y garantizar que no tenga fugas de fluido.

Durante la prueba, se llenó el intercambiador de calor con agua y se aumenta gradualmente la presión interna hasta alcanzar la presión operativa. Luego, se mantuvo la presión durante un período de tiempo específico mientras se inspeccionaba visualmente el intercambiador de calor para detectar cualquier signo de fugas.

El registro de la prueba hidrostática incluye información sobre la presión de prueba, el tiempo de mantenimiento de la presión, el resultado de la inspección visual, y cualquier otra observación o información relevante.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. Datos de Diseño

A continuación, se muestran las tablas con la información de los datos de diseño del intercambiador.

Tabla 3

Datos del Intercambiador

Equipo	Intercambiador de casco y tubos
Año de fabricación	2020
Código de diseño	ASME SECCIÓN VIII, DIVISIÓN 1
Especificaciones suplementarias	ASME Code for Pressure Vessels, sección VIII, división 1
Cliente	Reservado
Localización	Callao

Tabla 4

Datos Dimensionales

Diámetro interno	597 mm
Diámetro externo	609 mm
Largo total	6683 mm
Flujo volumétrico del intercambiador	22 m ³ /h
Área de transferencia del calor	41.08 m ²

Tabla 5*Datos del Producto Almacenado*

Material almacenado	Espuma (materia procesada), vapor y condensado de agua
Presión de fluido	1.5 bar

Tabla 6*Diseño del Intercambiador*

Diseño de tapas	Tapas bombeadas con bisagras
Purgas	4 purgas en las tapas (1 lado)
Conexiones	1 conexión bridada de ingreso de vapor
	1 conexión bridada de salida de vapor (condensado)
	1 conexión de ingreso de espuma
	1 conexión de salida de espuma
Espesor de las tapas	6 mm
Espesor del casco	6 mm
Diámetro de tubos	1 1/2"

Tabla 7*Pruebas de Inspección*

Prueba hidrostática	
Aplicación	Comprobar la estanqueidad de un intercambiador de calor
Duración de prueba hidrostática	24 horas
Medición de asentamientos	No aplica
Norma	ASME Secc. VIII-División 1
Prueba de líquidos penetrantes	
Aplicación	Aplicado a la inspección de soldadura
Norma	ASME Secc. V

Tabla 8*Protección de Superficie*

Interior del intercambiador	NO
Exterior del intercambiador	SI
Tipo de protección	Enchaquetado de aislamiento térmico
Material de aislamiento	Lana de vidrio/Plancha de 0.5 mm
Tapas del intercambiador	NO

Tabla 9*Peso del Intercambiador*

Peso del intercambiador lleno	Peso de los fluidos + intercambiador vacío
Peso del intercambiador vacío	2132 kg

Tabla 10*Materiales del intercambiador*

Componente	Material/Espesor
Tubo 1.1/2" x 6m x 1.5mm	304L / 1.5mm
Plancha de 5'x10'	304L/6.0mm
Plancha de 4'x8'	304L/6.0mm
Plancha de 4'x8'	304L/12.0mm
Plancha de 4'x8'	304L/19.5mm
Pernos de 2 1/2" x 3/4" inox	---
Unión roscada 1 1/2" inox	---
Tapones de 1 1/2" inox	---
Brida 6"	304L/35.00mm
Brida 2"	304L/24.00mm
Brida de 2 1/2"	304L/27.00mm
Brida de 4"	304L/32.00mm

Tabla 11*Accesorios del Intercambiador*

Oreja de izaje	NO
Aislamiento	SI
Sistema de detección de fugas	NO
Sistema de medición automatizado	SI

4.2. Diseño y Cálculo de los Intercambiadores

Se tiene la siguiente información como datos iniciales de diseño:

- 1.5 t/h de vapor flash a 1.5 bar(g) y 0.5 bar(g) en la línea de condensado
- Flujo masico de la espuma 18 t/h
- Temperatura teórica de ingreso de la espuma 15°C

- Temperatura teórica de salida de la espuma 75°C
- Flujo de calor requerido teórico 4,445,400 (KJ/h)
- Coeficiente total de transferencia de calor 1,254 (KJ/h.m². °C)
- Calor específico de la espuma Cp. 3.89 KJ/Kg.°K

4.2.1. Dimensionamiento del intercambiador de calor usando vapor flash a 1.5 bar(g)

Para el diseño de intercambiadores de calor hay que considerar dos etapas bien definidas: el diseño básico o de proceso y el diseño mecánico.

4.2.1.1. Diseño básico de proceso usando el vapor flash.

- Cálculo del flujo de calor requerido:

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_s - T_i)$$

Donde:

- Q: Flujo de calor requerido para conseguir un incremento de temperatura (KJ/s)
- $\dot{m}$: Flujo másico de espuma 18,000.00 (Kg/h)
- Cp: Calor específico de la espuma 3.89 (KJ/Kg.°K)
- Ti: Temperatura de ingreso 15 (°C) 288°K
- Ts: Temperatura de salida 75 (°C) 348°K

$$Q = \frac{18000 \times 3.89 \times (348 - 288)}{3600} = 1167 \frac{Kj}{s}$$

- Cálculo del área de transferencia de calor:

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

Donde:

Q: Flujo de calor requerido para conseguir un incremento de temperatura 1,167 (KJ/s) (Kw)

U: Coeficiente total de transferencia de calor 400 (W.m². °C)

ΔT_m : Diferencia de temperatura media logarítmica (°C)

$$\Delta T_m = \frac{\theta_A - \theta_B}{\ln\left(\frac{\theta_A}{\theta_B}\right)} = \frac{105.2 - 45.2}{\ln\left(\frac{105.2}{45.2}\right)} = 71.02$$

Figura 4

Gráfica de Transferencia de Calor para Vapor Flash

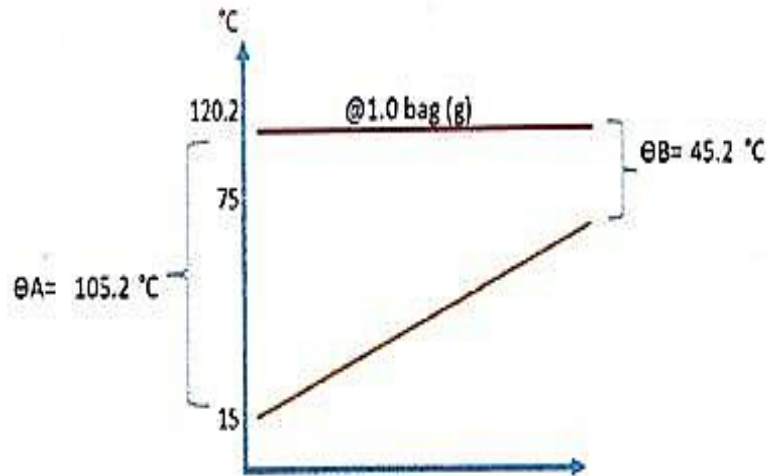


Tabla 12

Tabla de vapores

TABLE I Thermodynamic Properties of Water in Saturated Liquid and Vapor States as Calculated from the IAPWS-95 Formulation

<i>t</i> (°C)	Pressure MPa	Volume, cm ³ /g			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/(kg·K)			<i>t</i> (°C)
		<i>v_L</i>	Δv	<i>v_V</i>	<i>h_L</i>	Δh	<i>h_V</i>	<i>s_L</i>	Δs	<i>s_V</i>	
0.01	0.000 612	1.0002	205 990	205 991	0.00	2500.9	2500.9	0.0000	9.1555	9.1555	0.01
5	0.000 873	1.0001	147 010	147 011	21.02	2489.0	2510.1	0.0763	8.9486	9.0248	5
10	0.001 228	1.0003	106 302	106 303	42.02	2477.2	2519.2	0.1511	8.7487	8.8998	10
15	0.001 706	1.0009	77 874	77 875	62.98	2465.4	2528.3	0.2245	8.5558	8.7803	15
20	0.002 339	1.0018	57 756	57 757	83.91	2453.5	2537.4	0.2965	8.3695	8.6660	20
25	0.003 170	1.0030	43 336	43 337	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1894	8.5566	25
30	0.004 247	1.0044	32 877	32 878	125.73	2429.8	2555.5	0.4368	8.0152	8.4520	30
35	0.005 629	1.0060	25 204	25 205	146.63	2417.9	2564.5	0.5051	7.8466	8.3517	35
40	0.007 385	1.0079	19 514	19 515	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6831	8.2555	40
45	0.009 595	1.0099	15 251	15 252	188.43	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633	45
50	0.012 352	1.0121	12 026	12 027	209.3	2381.9	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748	50
60	0.019 946	1.0171	7666.2	7667.2	251.2	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9081	60
70	0.031 201	1.0228	5038.5	5039.5	293.1	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540	70
80	0.047 414	1.0291	3404.1	3405.2	335.0	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111	80
90	0.070 182	1.0360	2358.0	2359.1	377.0	2282.5	2659.5	1.1929	6.2853	7.4781	90
100	0.101 42	1.0435	1670.7	1671.8	419.2	2256.4	2675.6	1.3072	6.0469	7.3541	100
110	0.143 38	1.0516	1208.2	1209.3	461.4	2229.6	2691.1	1.4188	5.8193	7.2381	110
120	0.198 67	1.0603	890.15	891.21	503.8	2202.1	2705.9	1.5279	5.6012	7.1291	120
130	0.270 28	1.0697	666.93	668.00	546.4	2173.7	2720.1	1.6346	5.3918	7.0264	130
140	0.361 54	1.0798	507.37	508.45	589.2	2144.3	2733.4	1.7392	5.1901	6.9293	140

Nota: adaptado de "Steam Tables" de Keenan y Keyes o la IAPWS (International Association for the Properties of Water and Steam).

Tabla 13

Coefficientes Típicos de Transferencia de Calor en Función del Tipo de Aplicación

INTERCAMBIADORES TUBULARES		
FLUIDO CALIENTE	FLUIDO FRIO	U: (W.m ² . °C)
• Gases	Salmuera	15-250
• Vapor	agua	1500-4000
• Vapor	solventes orgánicos	500-1000
• Vapor	aceites ligeros	300-900
• Vapor	aceites pesados	60-450
• Vapor	gases	30-300
• Dowtherm	aceites pesados	50-300
• Dowtherm	gases	20-200
• Gases de combustión	vapor	30-100
• Caldero	vapores de hidrocarburos	30-100

A: Área de transferencia de calor (m^2)

$$A = \frac{Q}{U \times \Delta T_m} = \frac{1,167 \times 1000}{400 \times 71.02} = 41.08 m^2$$

Entonces el intercambiador tendrá un área de transferencia de 41.08 m^2 .

4.2.1.2. Diseño mecánico del intercambiador

A continuación, se muestran los cálculos para el dimensionamiento de los tubos, baffles, casco, espejos y tapas

➤ Dimensionamiento de la cantidad de tubos del intercambiador

Para el intercambiador se usará tubos de acero inoxidable C304L A249 (OD) 1.1/2" x 1.5 mm x 6.0 m de longitud.

$$\text{Área de cada tubo} = 0.0381 \times 3.1416 \times 6.0 = 0.718 m^2$$

$$\text{cantidad de tubos} = \frac{41.08}{0.718} = 57.21 \approx 60 \text{ tubos} +$$

Cálculo del espesor de la tubería según el apartado 2 de la norma ASME B31.1:

$$tm = 0.5 \frac{P \cdot Do}{(SE + P \cdot y)}$$

Donde:

- tm: espesor mínimo de pared (mm).
- P: presión de diseño (kPa)
- Do: diámetro exterior (mm).

SE: tensión admisible del material, debida a la presión interna (kPa).

La tabla siguiente recoge las tensiones admisibles para distintas temperaturas de diseño de los materiales utilizados en la aplicación.

Tabla 14

Tensiones Admisibles "SE" (en ksi) para Materiales ANSI a Distintas Temperaturas

1 ksi=1.000 psi; 1 psi = 6.9 kPa

Material/°C	-20.9 to 27.78	93.33	148.89	204.44	260.00	315.56	343.33	371.11	398.89	426.67	454.44	482.22	510	537.78	565.56	593.33
Material/°F	-20 to 100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
A 106 A	12	12	12	12	12	12	12	11.7	10.7	9	---	---	---	---	---	---
A 106 B	15	15	15	15	15	15	15	14.4	13	10.8	---	---	---	---	---	---
A 335 Gr P11	15	15	15	15	15	15	15	15	14.8	14.4	14	13.6	9.3	6.3	4.2	2.8
A 312 TP 316 L	15.7	13.3	11.9	10.8	10	9.4	9.2	9	8.8	8.6	8.4	---	---	---	---	---

Nota: Norma ASME B31.1, apéndices

- Y: coeficiente que depende del material y la temperatura de diseño, según la Tabla 15:

Tabla 15

Valores del Coeficiente "Y" según Temperatura

Material/OC	482	510	538	566	593	621	649	677	Material
Ac. Ferrítico 1	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
Ac. Austenítico 2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	A 312 TP 316 L
Otros metales dúctiles	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	A106 A, A106
Hierro colado	0,4	--	--	--	--	--	--	--	

Nota: Norma ASME B31.1, pág. 20, Tabla 104.1.2(A)

- t_m : espesor mínimo de pared (mm).

- P: 1.5 X 1.3 Bar = 195 kPa. (se agregó un 30% como factor de seguridad a la presión)
- Do: 38.1 mm.
- SE: 11.9 ksi * 6894.76 kPa/ksi = 82,162.84 kPa
- Y: 1 a 138°C

$$tm = 0.5 \frac{195 \times 38.1}{(82,162.84 + 195 \times 1)} = 0.045 mm$$

Se utilizó la tubería de espesor 1.5 mm siendo esta superior al mínimo requerido

➤ ***Dimensionamiento del número de pasos del intercambiador***

El flujo masico que pasa por el intercambiador será 18t/h con una densidad de 0.85 t/m³ tendremos =22m³/h de flujo volumétrico.

La velocidad recomendada para la espuma en la tubería: 1.5 - 2.5 m/s

- Q: Flujo volumétrico (m³/h)
- Q= V x A
- A: área mínima por cada paso

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{22}{1.5 \times 3600} = 4074 \times 10^{-3} m^2$$

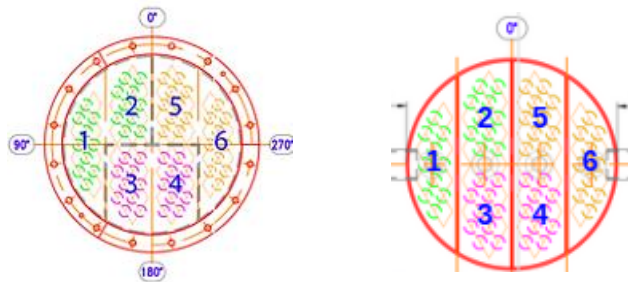
- A1: área de cada tubo

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.1416 \times 0.0381^2}{4} = 1.14 \times 10^{-3} m^2$$

El intercambiador será de 6 pasos. Cada paso estará conformado por un paquete de 10 tubos, el área transversal de los 10 tubos = 1.14 x 10⁻² m² >> 4.074 x 10⁻³ m².

Figura 5

Diseño de Intercambiador de 6 Pasos



Velocidad del fluido por los tubos:

$$V = \frac{Q}{A_1} = \frac{2.2}{1.14 \times 10^{-3} \times 3600} = \frac{0.54 \text{ m}}{\text{s}}$$

Se usa 2.2 m³/h de flujo volumétrico ya que el flujo total es 22m³/h y son 10 tubos por paso

La distribución de los tubos será triangular ya que por la carcasa circulará fluido que no genera ensuciamiento (Vapor).

Pasos de los tubos. El espaciado entre los centros de los tubos es de 1.25 veces el diámetro de los tubos

➤ **Diámetro de la boquilla de ingreso y salida de espuma.**

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 22}{1.5 \times \pi \times 3600}} \times 1000 = 72 \text{ mm} \approx 3 \text{ pulg}$$

➤ **Dimensionamiento del casco del intercambiador.**

El casco del intercambiador se dimensiona como un recipiente a presión.

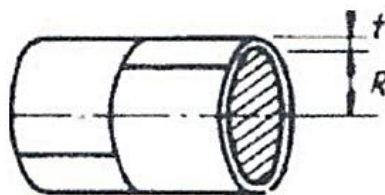
- **Cálculo de espesores y presión máxima de operación.**

A continuación, se presenta el cálculo del espesor de pared necesario y la presión máxima de trabajo permitida para los diseños de casco cilíndrico y cabeza elipsoidal. Las fórmulas proporcionadas son específicas para la costura longitudinal, ya que suele ser la más relevante en estos casos.

Para calcular el espesor requerido y la presión máxima de operación permitida del casco usaremos la expresión:

$$P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$$

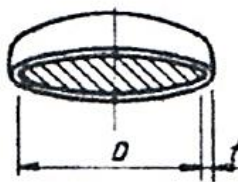
$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$



La presión máxima de operación y el espesor para la cabeza del casco se calcularon según lo siguiente

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$$

$$P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}$$



Donde:

- P_o : Presión de operación (lb/pulg²)
- P : Presión de diseño (lb/pulg²)
- S : Esfuerzo de fluencia admisible del material (lb/pulg²)
- R : Radio interior del casco (pulg)
- t : Espesor de pared del casco requerido (pulg)
- E : Eficiencia de la junta del casco y la cabeza
- O : Diámetro interior del casco (pulg)
- CA : Margen por corrosión 0.1pulg

En base a la presión dada de 1.5 bar(g) se realizan dos cálculos para saber que presión de diseño usar en la formula, en la primera operación se calcula el 110% de la presión inicial en psi y en la segunda se añaden 30 psi a la presión inicial, una vez obtenidos ambos cálculos se reemplaza en la formula el resultado mayor de ambos.

- $P_o = 1.5 \text{ bar} = 1.5 \times 14.5 = 21.75 \text{ lb/pulg}^2$
- $P_1 = 1.1 \times 21.75 = 23.93 \text{ lb/pulg}^2$
- $P_2 = 21.75 + 30 = 51.75 \text{ lb/pulg}^2$ (**Esta es la presión de diseño mayor**)
- $S = 11,900 \text{ lb/pulg}^2$ plancha de acero inoxidable C 304
- $E = 0.85$
- $R = 300/25.4 = 11.81 \text{ pulg}$
- $D = 11.81 \times 2 = 23.62 \text{ pulg}$
- $CA = 0.1 \text{ pulg}$

Espesor requerido del casco:

$$t = \frac{51.75 \times 11.81}{11900 \times 0.85 + 0.6 \times 51.75} + 0.1 = 0.16 \text{ pulg} \approx 4 \text{ mm}$$

Se usará plancha de 6mm = 0.236pulg

Presión máxima de operación del casco:

$$P_{max} = \frac{11900 \times 0.85 \times 0.236}{11.81 + 0.6 \times 0.236} = \frac{0.19974 \text{ lb}}{\text{pulg}^2}$$

Espesor requerido de la cabeza elipsoidal:

$$t = \frac{51.75 \times 23.62}{2 \times 11900 \times 0.85 - 0.2 \times 51.75} + 0.1 = 0.16 \text{ pulg} \approx 4 \text{ mm}$$

Se usará plancha de 6mm = 0.236pulg

Presión máxima de operación de la cabeza elipsoidal:

$$P_{max} = 2 \times 11900 \times 0.85 \times 0.236 / (23.62 + 0.2 \times 0.236) = 201.73 \text{ lb/Pulg}$$

➤ **Dimensionamiento de baffles**

Los agujeros de los baffles deberán ser de un diámetro superior en 1/32" al diámetro exterior de los tubos.

Los espesores de los baffles serán conforme a la norma TEMA para nuestro caso el diámetro de la carcasa es de 600 mm y el espaciamiento de baffles 36 pulgadas. Los baffles también son de plancha inoxidable C304.

Tabla 16

Norma TEMA de los Espesores de los Baffles

Nominal Shell ID	Plate Thickness									
	Unsupported tube length between central baffles. End spaces between tubesheets and baffles are not a consideration									
	24 (610) and Under		Over 24 (610) to 36 (914) Inclusive		Over 36 (914) to 48 (1219) Inclusive		Over 48 (1219) to 60 (1524) Inclusive		Over 60 (1524)	
6-14 (152-356)	1/8	(3.2)	3/16	(4.8)	1/4	(6.4)	3/8	(9.5)	3/8	(9.5)
15-28 (381-711)	3/16	(4.8)	1/4	(6.4)	3/8	(9.5)	3/8	(9.5)	1/2	(12.7)
29-38 (737-965)	1/4	(6.4)	3/8	(7.5)	3/8	(9.5)	1/2	(12.7)	5/8	(15.9)
39-60 (991-1524)	1/4	(6.4)	3/8	(9.5)	1/2	(12.7)	5/8	(15.9)	5/8	(15.9)
61-100 (1549-2500)	3/8	(9.5)	1/2	(12.7)	5/8	(15.9)	3/4	(19.1)	3/4	(19.1)

➤ *Espejo porta tubo.*

Para el cálculo del espesor de la placa espejo portatubo se usará la siguiente expresión:

$$t = FG \sqrt{\frac{0.25 P}{s}}$$

Donde:

- t: Espesor del espejo (pulg)
- F: 1.0 para cabezales fijos
- G: Diámetro de la línea de centro de la empaquetadura (pulg)
- P: Presión de diseño (psi) 1.5 Bar (g) x 1.3 = 1.95 Bar (g) = 28.28 (psi)
- S: Fatiga admisible (13750 psi)

$$t = 1 \times 25 \sqrt{\frac{0.25 \times 28.28}{13750}} = 0.5668 \text{ pulg}$$

Se usó plancha inoxidable 304L de 22 mm de espesor siendo esta superior al mínimo requerido

➤ ***Dimensionamiento de las boquillas vapor y condensado***

Para el dimensionamiento de las boquillas de vapor y condensado se deberá calcular el flujo másico de vapor con la siguiente expresión:

$$m = \frac{Q}{hfg}$$

Donde:

Q: Flujo de calor requerido para conseguir un incremento de temperatura 1,167 (Kj/s)

hfg: Entalpía de vaporización (Kj/kg) la presión del vapor.

- ***Cálculo de boquillas de vapor y condensado 1.5 bar(g)***

Boquilla de vapor:

- Q: Flujo de calor requerido para conseguir un incremento de temperatura 1,167 (Kj/s)
- hfg: Entalpía de evaporación 2181.2 (Kj/kg) a 1.5 Bar (g)
- T: Temperatura de vapor 127.4 °C 1.5 Bar (g)
- Vg: Volumen específico de vapor 0.72 m³/kg a 1.5 Bar (g)
- m: Flujo másico del vapor (kg/h)
- Vel: Velocidad recomendada del vapor 20 - 40

$$m = \frac{Q}{hfg} = \frac{1167 \times 3600}{2181.2} = 1926 \frac{kg}{h}$$

V: Flujo volumétrico de vapor (m³/h)

$$V = m \times Vg = 1926 \times 0.72 = 1386.78 \frac{m^3}{h}$$

D: Diámetro de la boquilla ingreso de vapor

$$D = \sqrt{\frac{4V}{vel. \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1386.78}{30 \times \pi \times 3600}} = 0.127m \approx 5.03 pulg$$

Se usó tubería inoxidable 304L SCH 40 de 6"

Boquilla de condensado:

- m: Flujo masico del vapor 1926 (kg/h)
- P1: Presión en el lado vapor a 1.5 Bar (g)
- hf1: Entalpia especifica de vapor 535.3 (kj/kg) a 1.5 Bar (g)
- P2: Presión en el condensado 0.5 Bar (g)
- hf2: Entalpía especifica de vapor 467.1 (kj/kg) a 0.5 Bar (g)
- hfg2: Entalpia de evaporación 2226 (Kj/kg) a 0.5 Bar (g)
- Vg2: Volumen especifico de vapor 1.16 m3/kg a 0.5 Bar (g)
- Vel: Velocidad recomendada del vapor 20 - 40 mis
- %Flash: Porcentaje de vapor flash

$$\%Flash = \frac{hf1 - hf2}{hfg2} = \frac{535.3 - 467.1}{2226} = 3.06\%$$

- mFlash: Flujo masico del vapor flash (kg/h)

$$mFlash = \%Flash \times m = 3.06\% \times 1926 = 59 \frac{Kg}{h}$$

- VFlash: Flujo volumétrico de vapor flash (m3/h)

$$VFlash = mFlash \times Vg2 = 59 \times 1.16 = 68.4 \frac{m^3}{h}$$

- d: diámetro de la boquilla salida de condensado

$$D = \sqrt{\frac{4Vflash}{vel.\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 68.4}{20\pi \times 3600}} = 0.034m \approx 1.36pulg$$

Se uso tubería inoxidable 304L SCH40 de 2.1/2" siendo esta mayor al mínimo requerido.

4.3. Eficiencia Basada en el Balance Energético del Fluido

4.3.1. Fundamento de la Fórmula

La eficiencia energética del fluido se calcula al comparar el calor real absorbido por el fluido en el proceso con el calor teórico que el fluido debería haber absorbido en condiciones ideales. En este caso, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\eta_{fluido} = \frac{Q_{real}}{Q_{teórico}} \times 100$$

Donde:

- η_{fluido} es la eficiencia basada en el balance energético del fluido.
- Q_{real} es el calor real transferido al fluido durante el proceso.
- $Q_{teórico}$ es el calor teórico que el fluido debería haber absorbido según las condiciones de diseño.

4.3.2. Cálculo

➤ Datos Suministrados:

- Flujo másico de la espuma: 18 toneladas/hora (equivalente a 18,000 kg/h).
- Temperatura de ingreso de la espuma: 20.2°C.
- Temperatura de salida de la espuma: 76.45°C.
- Calor específico de la espuma (C_p): 3.89 kJ/kg·K.

- Flujo de calor requerido: 4,445,400 kJ/h.

➤ **Paso 1: Calor Real Transferido (Q_{real})**

El calor real transferido se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_{real} = m' \times C_p \times \Delta T$$

Donde:

- m' es el flujo másico del fluido (18,000 kg/h).
- C_p es el calor específico del fluido (3.89 kJ/kg·K).
- ΔT es la diferencia de temperatura entre la entrada y salida del fluido (76.45°C–20.2°C=56.25°C).

$$Q_{real} = 18000 \times 3.89 \times 56.25$$

$$Q_{real} = 3,938,625 \text{ kJ/h}$$

➤ **Paso 2: Calor Teórico ($Q_{teórico}$)**

El valor de $Q_{teórico}$ corresponde al flujo de calor requerido, que ya fue estimado en 4,445,400 kJ/h.

➤ **Paso 3: Cálculo de la Eficiencia**

Sustituyendo los valores en la fórmula de la eficiencia:

$$\eta = \frac{3,938,625}{4,445,400} \times 100$$

$$\eta \approx 88.6\%$$

Este valor de eficiencia indica que el sistema logra aproximadamente el 88.6% de la transferencia de calor teóricamente requerida. Esto refleja un nivel de eficiencia. Este valor

refleja que el sistema es capaz de transferir una proporción significativa de la energía teóricamente disponible al fluido procesado, lo que indica un rendimiento eficiente para un intercambiador de calor de casco y tubos.

4.4. Registros del Plan de Calidad

4.4.1. Materiales

Los materiales tienen que ser de acuerdo con su norma y reglamento de calidad, la cual se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 17

Materiales usados con su norma y reglamento de calidad

Material	Norma/Reglamento
Tubo 6.0 m x 1.1/2" sch10	A56/ASTM A106/API 5L G. B
Plancha de 5' x 10' x 1/4"	AISI 304L
Plancha de 4' x 8' x 1/4"	AISI 304L
Plancha de 4' x 8' x 1/2"	AISI 304L
Plancha de 3/4" de 4'x8'	AISI 304L
Pernos de 2 1/2" x 3/4" inox	DIN 408
Unión roscada 1 1/2" inox	DIN 939
Tapones de 1 1/2"	AISI 304
Brida 6"	ANSI 304
Brida 2"	ANSI 304
Brida de 2 1/2"	ANSI 304
Brida de 4"	ANSI 304

4.4.2. Puntos del Plan de Inspección

El plan de inspección tiene como objetivo establecer las actividades que queremos controlar y dejar un registro de que las mismas se han realizado correctamente en los trabajos de fabricación del intercambiador.

Presentamos a continuación los PPI elaborados para el Proyecto.

Tabla 18

Plan de inspección y ensayo

Actividad n°.	Etapas del Trabajo	Documentación de Referencia	Característica Inspeccionar	Método de Inspección	Frecuencia	Criterios de Aceptación
1.1	Calificación de Procedimientos de soldadura	• Base de datos WPS y PQR • Planos aprobados para Fabricación • AWS D1.6 Ed.2017	• Procesos de soldadura aplicables • Detalles de juntas • Variables esenciales	• Visual • Revisión Documental • Medición directa con instrumentos aplicables	• Previo al inicio del soldeo	• Según AWS D1.6 Ed.2017
1.2	Calificación de soldadores	• Base de datos soldadores calificados • AWS D1.6 Ed.2017	• Posiciones calificadas • Rango de espesores Calificados • Variables esenciales • Rango de diámetros calificados	• Visual • Revisión Documental • Medición directa con instrumentos aplicables	• Al ingreso de un nuevo soldador al proyecto • Previo al inicio del soldeo	• Cumplimiento de especificaciones y normativa aplicable
1.3	Calibración de Equipos y Herramientas de Medición	• Listado de certificados de herramientas de medición	• Según procedimiento T-TA-PT-01	• Revisión Documental • Inspección Visual	• Según procedimiento	• Cumplimiento de especificaciones y normativa aplicable
2.1	Recepción de materiales	• Listado de materiales • Órdenes de compra • Certificados de Calidad	• Estado físico del suministro • Dimensiones	• Visual • Medición directa, con vernier y cinta métrica	• Cada vez que ingresa material	• Según normas ASTM A36

Actividad n°.	Etapas del Trabajo	Documentación de Referencia	Característica Inspeccionar	Método de Inspección	Frecuencia	Criterios de Aceptación
2.2	Recepción de soldadura	- Listado de materiales - Órdenes de compra - Certificados de Calidad	- Cumplimiento de especificaciones técnicas - Estado físico del suministro	- Visual - Revisión documental	Cada vez que ingresa material	- Según normas AWS A5.20 y otras aplicables - Según hoja técnica del fabricante
3	Armado	Planos aprobados para fabricación	- Principales medidas funcionales - Materiales Correctos - Limpieza de Juntas de Soldadura	- Visual - Medición directa	100%	- De acuerdo con planos aprobados para fabricación - Tolerancias dimensionales según DIN 8570 precisión Media
3.1	Soldeo	- Planos aprobados para fabricación - WPS aplicable - Calificación de soldador	- Metal base y de aporte - Parámetros de soldeo	- Visual - Revisión documental - Medición directa con instrumentos aplicables	Verificación aleatoria de parámetros	Según WPS aplicable
4.1	Inspección visual	Según AWS D1.6 Ed. 2017	- Acabados - Discontinuidades - Cumplimiento de procedimiento	- Visual - Medición directa	100% de juntas soldadas - Antes, durante y después del soldeo	Según AWS D1.6 Ed. 2017
5.1	Liberación final	Registros de inspección completos	- Cumplimiento del Plan de Puntos de Inspección - Dossier de Calidad completo	- Visual - Revisión documental	Al finalizar el proyecto	Registros de inspección completos

4.4.3. Registro de Procedimiento de Soldadura (WPS)

Un Registro de Procedimiento de Soldadura (WPS, por sus siglas en inglés) es un documento esencial en la industria de la soldadura. Este registro describe detalladamente los parámetros y procedimientos utilizados durante la soldadura de un material específico. Incluye información sobre el tipo de soldadura, el metal base, el material de aporte, las técnicas de

preparación y limpieza, los parámetros de soldadura (como corriente, voltaje, velocidad, etc.) y las pruebas de calidad requeridas.

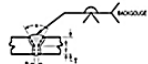
El objetivo principal del WPS es asegurar la calidad y la consistencia de las soldaduras en un proceso de fabricación. Proporciona una guía detallada para los soldadores, especificando las condiciones óptimas para realizar la soldadura de manera segura y eficiente. Además, el WPS también es utilizado como referencia para la certificación de soldadores y la inspección de soldaduras.

El contenido del WPS se basa en normas y estándares internacionales, como los establecidos por la American Welding Society (AWS), que define los requisitos y directrices para la preparación del documento. Además, el WPS debe ser aprobado y firmado por un ingeniero o especialista en soldadura antes de su implementación.

Se preparó el WPS precalificado utilizando el proceso GTAW por ser el más ampliamente usado para soldaduras de aceros inoxidable, especialmente para soldadura de penetración completa en materiales delgados y pase de raíz en espesores gruesos y porque aporta energía localizada con mínimas deformaciones.

Tabla 19

Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS)

Especificaciones de Procedimiento de Soldadura (WPS)									
AWS D1.6-2017									
Diseño de junta usado				Tipo:		Manual: ☒		S. Automática: ☐	
Tipo: a tope/filete						Máquina: ☐		Automático: ☐	
Simple: ☒		Doble: ☐		Posición					
Backing:		Si ☐ No ☒		Posición: vertical/horizontal					
Material del Backing:				Progresión vertical: ascendente					
Apertura de raíz:		Tolerancia(mm):		Características eléctricas					
Cateto mínimo(f):		Tolerancia(mm):		Modo de transferencia GMAW:					
Ángulo bisel(α):		Tolerancia(mm):							
Backgoing:		Si ☐ No ☒		Cortocircuito		Globular ☐ Spray ☐			
Método:				Corriente:		AC		CCEP: ☒ CCEN: ☐	
Metal base						Pulsado		Otro:	
Especificación de material:		AISI 304L		Electrodo de tungsteno (GTAW): si					
Espesor:		6 mm		Tamaño: 1/16"					
Diámetro(tubo):		-		Tipo: punta gris					
Metal de aporte				Técnica					
Especificación AWS:		ER 308L		Arrastre u oscilación: oscilación					
Clasificación AWS:		A5.9		Múltiple o simple pasada (por lado): simple					
Proveedor:		ESAB		Número de electrodos: -					
Protección				Espaciado de electrodos: -					
Fundente:		-		Gas:		-		Longitudinal: -	
Gas-composición: -				Ángulo: -					
Electrodo-flux(clase): -				Distancia de contacto del tubo a la pieza de trabajo: -					
Flujo promedio: -				forjado: -					
Tamaño de la tobera del gas: -				Limpieza entre pasadas: esmerilado					
Precalentamiento				Técnica					
Temperatura de precalentamiento mínima: -				Rango de temperatura: -					
Temperatura de precalentamiento entre las pasadas: -				Tiempo: -					
Procedimiento de soldadura									
Pases	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Velocidad (cm/min)	Detalle de la junta	
		Clase	Diámetro	Tipo y polaridad	Amperaje (a)				
1-n	GTAW	A5.9	1/16"	continua, positivo	60-90	20-24 v	10-14 cm		

4.4.4. Registro de Calificación de Soldadores

Se Calificó a un soldador con el WPS elaborado para el proyecto con identificación WPS-M&F-049.

Para obtener la calificación en concordancia al código AWS D1.6, el soldador tuvo que demostrar su habilidad para soldar de acuerdo con el WPS elaborado.

Figura 6

Certificado de Soldador

		REGISTRO DE CALIFICACION DE SOLDADOR	
		De acuerdo al código ASME - Sección IX-Ed.2017	
		WPQR-SOLDEXA	
		HOJA:	1 de 1
		EMISION:	19/5/2019
		REVISION:	1

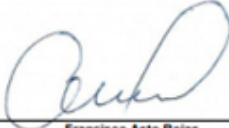
REGISTRO DE CALIFICACION DE SOLDADOR (WPQ)			
Nombre del Soldador:	KIYOSHI VIGO TREBEJO	No. Estampa:	KVT89
		DNI:	72924589
Identificación de WPS seguido por el soldador:	WPS-CTSOL-16	Evalúo en:	☒ Prueba ☐ Soldadura Producción
Especificación de metal base:	A270	Espesor:	7.11 mm
Variables de soldadura		Valor Usado en la Calificación	Rango Calificado
Proceso de Soldadura:		GTAW // SMAW	GTAW // SMAW
Tipo usado (manual, semiautomático):		Manual	---
Respaldo(metal, soldadura, soldadura doble):		Sin respaldo	Con o Sin respaldo
() Plancha (X) Tubería (ingrese diámetro, si es tubería):		168.28 mm	73.0 mm a ilimitado
Metal Base No. P o S a No. P o S		P No 1 a P No 1	P No 1 a P No 1
Especificación metal aporte (SFA)		5.18 //5.1	---
Clasificación metal aporte		E316L	---
Metal de aporte No. F:		F6 sin respaldo F4 con respaldo	F6 sin respaldo F1,F2,F3,F4 con respaldo
Inserto Consumible: (GTAW o PAW):		---	---
Tipo de aporte (GTAW o PAW):		Sólido	Sólido
Espesor depositado por cada proceso:		2.5 mm F6 4.61 mm F4	Hasta 5.0 mm de F6 Hasta 9.22 mm de F4
Posición calificada:		6G Fija	Ranura: Todas Filete: Todas
Progresión vertical (ascendente/descendente):		Ascendente	Ascendente
Tipo de gas:		Argón 99%	Gas Inerte
Tipo de Corriente y Polaridad:		DCEN (E70S-6) // CDEP (E7018)	DCEN (E70S-6)
RESULTADOS			
Resultado de Inspección Visual:		ACEPTABLE	
Resultados de Prueba de Doble:		ACEPTABLE	
() Lado		(X) Cara y Raíz Transversal	() Cara y Raíz Longitudinal
() Tubería, Resistencia a la corrosión		() Plancha, resistencia a la corrosión	
() Tubería, Prueba de ataque químico		() Plancha, Prueba de ataque químico	
Tipo / Estampa	Resultado	Tipo / Estampa	Resultado
KVT89-DTC1	Aceptado	KVT89-DTR1	Aceptado
KVT89-DTC2	Aceptado	KVT89-DTR2	Aceptado
Resultado de examen radiográfico alternativo:			
Soldadura de filete: Prueba de fractura:		Longitud y porcentaje de defectos:	
Macro ataque:		Concavidad/Convexidad:	
Tamaño de filete:		Concavidad/Convexidad:	
Otras Pruebas:			
Película o muestras evaluadas por:		Compañía:	
Pruebas Mecánicas conducidas por:		Prueba de Laboratorio No:	
Inspeccionado por:		261-16	
Inspeccionado por: CWI Alan Chumplitz			
Nosotros certificamos que los datos registrados son correctos y que las probetas fueron preparadas, soldadas y probadas de acuerdo a los requerimientos del Código ASME Sección IX - Ed. 2015.			
Fabricante o Contratista:		Fecha:	
SOLDEX S.A		07/07/2018	

4.4.5. Recepción de Materiales

Se presenta el registro detallado de la recepción de materiales utilizados para la fabricación del intercambiador

Figura 7

Registro de Recepción de Materiales

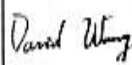
		SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD					Fecha:		10/10/2020
		REGISTRO DE RECEPCION DE MATERIALES					Versión:		01
							Página:		01 de 01
PROYECTO		PR-INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE ESPUMA					OT		
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO Y/O EQUIPO		CÓDIGO DEL EQUIPO		PROCEDIMIENTO		FECHA		REGISTRO	
INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CASCO Y TUBO						25/09/20		01	
ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	FECHA INGRESO	ORDEN DE COMPRA	N° GUIA	PROVEEDOR	RESULTADO		
1	TUBO 1.1/2" x 6M SCH10	AISI-304	25/09/2020	-	013-073055	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
2	PLANCHA DE 5' x 10' x 1/4"	AISI-304	25/09/2020	-	002-364331	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
3	PLANCHA DE 4' x 8' x 1/4"	AISI-304	25/09/2020	-	006-121830	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
4	PLANCHA DE 4' x 8' x 1/4"	AISI-304	25/09/2020	-	002-364331	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
5	PLANCHA DE 1/4" DE 4'X8'	AISI-304	25/09/2020	-	006-121870	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
6	PERNOS DE 2 1/2" x 1/2" INOX	-	25/09/2020	-	012-0003479	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
7	UNION ROSCADA 1 1/2" INOX	-	25/09/2020	-	002-364113	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
8	TAPONES DE 1 1/2"	ANSI-304	25/09/2020	-	002-354113	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
9	BRIDA 6"	ANSI-304	25/09/2020		002-354113	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
10	BRIDA 2"	ANSI-304	25/09/2020		002-354113	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
11	BRIDA DE 2 1/2"	ANSI-304	25/09/2020		002-354113	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
12	BRIDA DE 4"	ANSI-304	25/09/2020		002-354113	POLIMETALES S.A.	CONFORME		
OBSERVACIONES:									
APROBACIÓN FINAL									
 Francisco Asto Rojas Departamento de Control de Calidad			 SOLUCIONES INDUSTRIALES M & P S. de C.V. MANUEL VALLADARES GERENTE GENERAL Manuel Valladares Gerente General						
Supervisión - Cliente									

4.4.6. Certificado de Calidad de Materiales

Se presenta los certificados de calidad de los materiales utilizados para la fabricación del intercambiador

Figura 8

Certificado de Calidad de Materiales

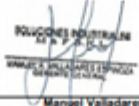
 源昌鋼鐵股份有限公司 YUEN CHANG STAINLESS STEEL CO., LTD.		檢驗證明書 INSPECTION CERTIFICATE 刊印日期 ISSUE DATE: 2020/02/12		高雄市中區中正路235號13F 13F, No. 235 Jungong 4th Road, Chianjin Chiou, Kaohsiung, Taiwan TEL: 886-7-9695858 FAX: 886-7-9685768 http://www.yuenchang.com.tw														
客戶名稱 Customer	Polimetales S.A.C. Av. Argentina 2787 - Lima - Peru RUC: 20100456495																	
商品描述 Desc. Of Goods	Prime Hot Rolled Stainless Steel Sheets 304L/316L No.1 Finish Silt Edge Without Paper Interleaved 316L No.1 Finish Mill Edge Without Paper Interleaved																	
項目 Item	鋼卷編號 Coil No.	爐號 Heat No.	鋼種 Steel Grade	表面 Finish	產品尺寸 Thickness x Width x Length(MM)	淨重 Net Weight (KGS)												
AF010	CAGM0511-044	BSK002-ABJ	304L	NO.1	7.94 x 1500 x 6000	1.130												
AF011	CAGM0511-046	BSK002-ABJ	304L	NO.1	7.94 x 1500 x 6000	564												
	CAGM0511-047	BSK002-ABJ	304L	NO.1	7.94 x 1500 x 6000	1.697												
AF001	CAMD0068-018	BTAD03-AAH	304L	NO.1	9.52 x 1219 x 2438	2.213												
AF002	CAMD0068-019	BTAD03-AAH	304L	NO.1	9.52 x 1219 x 2438	2.211												
AF003	CAMD0068-020	BTAD03-AAH	304L	NO.1	9.52 x 1219 x 2438	2.001												
AF004	CAMD0068-021	BTAD03-AAH	304L	NO.1	9.52 x 1219 x 2438	2.207												
AF005	CAMD0068-025	BTAD03-AAH	304L	NO.1	9.52 x 1219 x 2438	2.213												
化學成分 Chemical Composition (%)						機械性質 Mechanical Properties												
Item	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	Cu	Mo	Others	T.S N/MM ²	Y.S(0.2%) N/MM ²	Elong (%)	HB	HRB	HRBW	HV
AF010	0.015	0.450	1.530	0.028	0.0010	18.200	8.000	0.050				653	298	56.0	170.0			
AF011	0.015	0.450	1.530	0.028	0.0010	18.200	8.000	0.050				653	298	56.0	170.0			
	0.015	0.450	1.530	0.028	0.0010	18.200	8.000	0.050				653	298	56.0	170.0			
AF001	0.026	0.500	1.540	0.026	0.0010	18.100	8.000	0.050				670	277					
AF002	0.026	0.500	1.540	0.026	0.0010	18.100	8.000	0.050				670	277					
AF003	0.026	0.500	1.540	0.026	0.0010	18.100	8.000	0.050				670	277					
AF004	0.026	0.500	1.540	0.026	0.0010	18.100	8.000	0.050				670	277					
AF005	0.026	0.500	1.540	0.026	0.0010	18.100	8.000	0.050				670	277					
茲證明本表所列產品，均係材料規格製造及試驗，並符合規格之要求。 We hereby certify that the products described herein have been manufactured and tested with satisfactory results in accordance with the requirement of the above material specification.												QC Manager (e) ISO 9001 						
本產品無輻射污染，並且不含汞。The material described above is free from radiation contamination and mercury. 本證明書符合EN10204/Type 3.1認證。Inspection certificate in accordance with EN10204/Type 3.1. 本表所列產品均符合ASTM A240規範要求。All the above products conform to the requirements specified in ASTM A240.																		

4.4.7. Registro de Recepción de Consumibles

Se presenta el registro de recepción de los materiales utilizados para la fabricación del intercambiador.

Figura 9

Certificado de Recepción de Materiales de Consumibles

		SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD				Fecha: 16/10/2020	
		REGISTRO DE RECEPCION DE MATERIALES DE APORTE Y CONSUMIBLES				Versión: 01 Página: 01 de 01	
PROYECTO		PR-INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE ESPUMA				OT	
DESCRIPCION DEL ELEMENTO Y/O EQUIPO		CODIGO DEL EQUIPO		PROCEDIMIENTO	FECHA	REGISTRO	
INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CASCO Y TUBO				----	25/09/20	01	
ITEM	DESCRIPCION	MATERIAL	FECHA INGRESO	ORDEN DE COMPRA	N° GUIA	PROVEEDOR	RESULTADO
1	DISCO DE CORTE 7"	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
2	DISCO DE CORTE 1.8"x 4 1/2"	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
3	DISCO POLIFAN 4 1/2"	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
4	APORTE INOX 3/32"	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
5	TUNGSTENO 3/32" x 7"	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
6	TENAZA PARA TIERRA	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
7	TOBERMA CERAMICO N°5	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
8	DISCO DEBASTE 4 1/2"	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
9	DISCO POLIFAN 7"	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
10	DISCO 1.8" x 1/2"	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
11	BROCA 1 1/2" COBALTADO	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
12	BROCA 3/4"	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
13	BROCA HS 39mm	---	25/09/2020	---	---	---	CONFORME
OBSERVACIONES:							
APROBACIÓN FINAL							
 Francisco Asto Rojas Departamento de Control de Calidad		 MANUEL VALLADARES Gerente General		 Supervisión - Cliente			

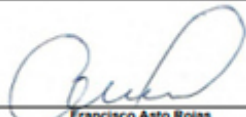
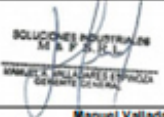
4.4.8. Control Dimensional

El control dimensional se realizó con la finalidad de verificar las medidas del intercambiador estableciendo las medidas reales y poder así compararlas con las nominales

presentadas al cliente en los planos de diseño. Una vez realizada la comparación se evaluó si la variación era aceptable o no.

Figura 10

Registro de Control Dimensional

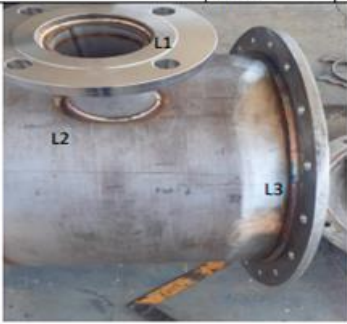
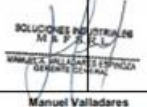
		SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD		
		REGISTRO DE CONTROL DIMENSIONAL		
		Fecha	21/11/2020	
		Versión	01	
		Página	01 de 02	
PROYECTO:	PR-INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE ESPUMA		OT	
DESCRIPCION DEL ELEMENTO Y/O EQUIPO:	CODIGO DEL EQUIPO	FECHA	REGISTRO	
INTERCAMBIADOR DE C. TUBOS		21/10/2020	-	
				
Ítem	Nominal (mm)	Real (mm)	Variación (mm)	Resultado
L1	6357	6383	26	CONFORME
L2	250	200	50	CONFORME
				CONFORME
OBSERVACIONES:				
Estándar de referencia iso 2768-1 Clase Media / ISO 13920 Clase A Wincha 8m (WN-1) - PIE DE REY 8 - 200 mm (CU01).				
APROBACIÓN FINAL				
 Francisco Asto Rojas Departamento de Control de Calidad		 SOLUCIONES INDUSTRIALES M A P S I S L MANUEL VALLADARES GERENTE GENERAL Manuel Valladares Gerente de Operaciones		Supervisión -Cliente

4.4.9. Inspección visual de soldadura

Las pruebas a la soldadura requeridas por el cliente eran inspección visual y ensayo no destructivo por líquidos penetrantes. Se presenta a continuación el reporte propio elaborado para la inspección visual de la soldadura en el cual se buscaba presentar si los cordones presentaban algún defecto superficial (poros, fisuras).

Figura 11

Registro de Inspección de Soldadura

SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD												
REGISTRO DE INSPECCION DE SOLDADURA										Emisión	21/11/2020	
										Versión	01	
										Página	01 de 03	
PROYECTO: PR-INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE ESPUMA						PLANO DE REFERENCIA:		---				
EQUIPO: INTERCAMBIADOR DE CALOR						ESTANDAR DE REFERENCIA:		AWS D1.6 Ed 2017				
CODIGO DEL EQUIPO:						FECHA:		21/10/2020		REGISTRO: --		
												
Código	Proceso de soldadura	Tipo de Junta		WPS	Posición	Evaluación		Resultado		Defecto	Inspección	Fecha de Inspección
		A tope	Filete			Parcial	Total	Reparar	Aceptado			
L1	GTAW	--	X	044	6G	---	X	---	X	---	OK	21/10/20
L2	GTAW	--	X	044	6G	---	X	---	X	---	OK	21/10/20
L3	GTAW	--	X	044	6G	---	X	---	X	---	OK	21/10/20
LEYENDA DE DEFECTOS: FC: Falta de Fusion Metal Base / Soldadura FI: Fisura CR: Cráter CP: Dimensión del Cordón (Soldadura de Filete) FL: Falta de Limpieza EO: Escoriación BR: Sobremonta PA: Porosidad Asistida PL: Porosidad Admida PN: Porosidad Anidada												
OBSERVACIONES:												
INSTRUMENTOS UTILIZADOS:												
BRIDGECAM GAGE (MS01)		FILLET WELD GAGE		V-WAC GAGE		Otros: _____						
 Francisco Ato Representante de Control de Calidad				 SOLUCIONES INDUSTRIALES MANUEL VALLADARES (Firma) GERENTE GENERAL Manuel Valladares Gerente de Operaciones				Inspección - Cliente				

4.4.10. Ensayos No Destructivos por Líquidos Penetrantes

Como parte de las pruebas solicitadas por el cliente se realizaron los ensayos no destructivos por líquidos penetrantes el cual se basa en la aplicación de tintes en el cordón de soldadura en el pase de raíz para determinar la existencia de defectos superficiales y determinar su aprobación o reparación.

Figura 12

Registro de Inspección de Tintes Penetrantes

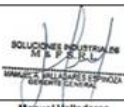
SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD											
REGISTRO DE INSPECCIÓN DE TINTES PENETRANTES										Emisión	21/11/20
										Versión	01
										Página	01 de 03
PROYECTO: PR - INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE ESPUMA						PLANO DE REFERENCIA:		---			
EQUIPO: INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS						PROCEDIMIENTO:					
PRODUCTOS DE INSPECCIÓN: Penetrante P101S - A Removedor penetrante al tinte C101 - A Revelador D101 - A						FECHA: 21/10/20		REGISTRO:		01	
L1						L2					
Código	Tipo de Junta		WPS	Posición	Evaluación		Resultado		Defecto	Inspección	Fecha de Inspección
	A tope	Flete			Parcial	Total	Reparar	Aceptado			
L1	--	X	044	6G	-----	X	-----	X	-----	OK	21/10/20
L2	--	X	044	6G	-----	X	-----	X	-----	OK	21/10/20
LEYENDA DE DEFECTOS:											
TU Falta de Puntón Metal Base / Soladura						ED Soldadura					
PI Fricción						DE Soldadura					
CR Cráter						PA Porosidad Asolada					
OP Demarcación del Cable (Soldadura de Flete)						PL Porosidad Alasada					
FL Falta de Llenado						PN Porosidad Anidada					
OBSERVACIONES:											
											
Francisco Asto Rojas				Manuel Valladares							
Departamento de Control de Calidad				Gerente de Operaciones				supervisión - Cliente			

4.4.11. Inspección Prueba Hidrostática

Para determinar la estanqueidad del intercambiador se realizó una prueba hidrostática llenando el intercambiador con agua por medio de una bomba, siendo el intercambiador previamente sellado con sus tapas tanto en los extremos como sus conexiones. La presión requerida para la prueba era de 10 bar o 147 psi. A continuación, se presenta el reporte de la prueba con mayor detalle

Figura 13

Registro de Prueba de Estanqueidad

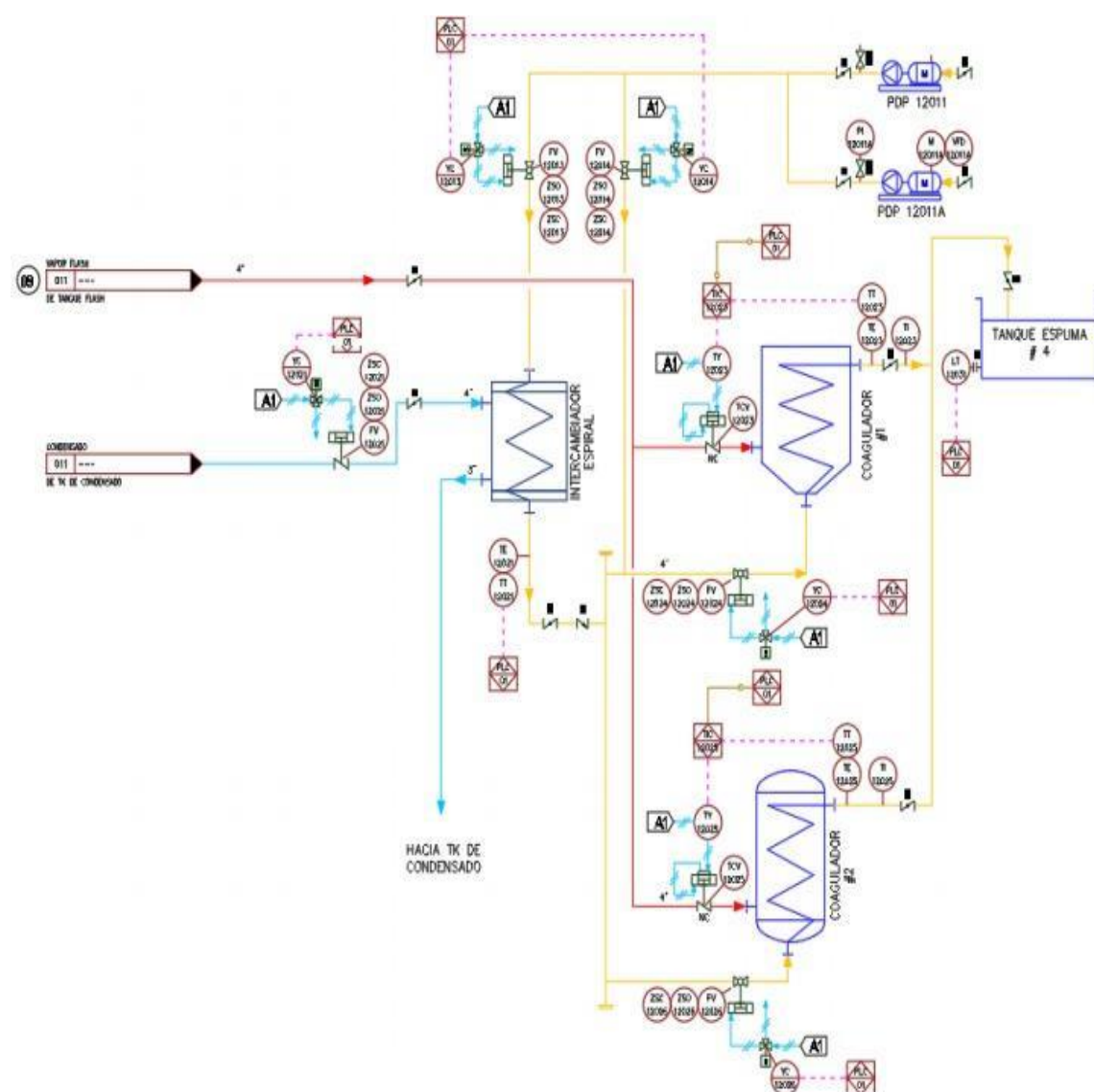
		SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD		Emisión		21/11/20		
		REGISTRO DE PRUEBA DE ESTANQUEIDAD		Versión		01		
				Página		01 de 03		
PROYECTO: PR - INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE ESPUMA		PLANO DE REFERENCIA:		---				
EQUIPO: INTERCAMBIADOR DE CASCO Y TUBOS		PROCEDIMIENTO:						
PRODUCTOS DE INSPECCIÓN: Intercambiador de casco y tubos		FECHA: 22/10/20		REGISTRO: 01				
								
		L1		L2				
Código	Tiempo	Evaluación		Resultado		Defecto	Inspección	Fecha de Inspección
		Parcial	Total	Reparar	Aceptado			
L1	24 horas	-----	X	-----	X	-----	OK	22/10/20
L2	24 horas	-----	X	-----	X	-----	OK	22/10/20
LEYENDA DE DEFECTOS:								
FD: Falta de Fusión Metal Base / Soldadura				SD: Sacavación				
PI: Presura				SP: Sacromonta				
CR: Cráter				PA: Porosidad Asada				
OP: Obstrucción del Cuello (Soldadura de Fiebre)				PL: Porosidad Aliviada				
VL: Falta de Llenado				PS: Porosidad Asada				
OBSERVACIONES:								
								
Francisco Asto Rojas		Manuel Valladares						
Departamento de Control de Calidad		Gerente de Operaciones		supervisión - Cliente				

4.5. Diagrama de flujo

El diagrama del sistema de calentamiento antiguo se presenta en la siguiente figura:

Figura 14

Sistema de Calentamiento Antiguo



El diagrama de flujo propuesto se presenta en la siguiente figura:

Figura 15

Diagrama de flujo propuesto

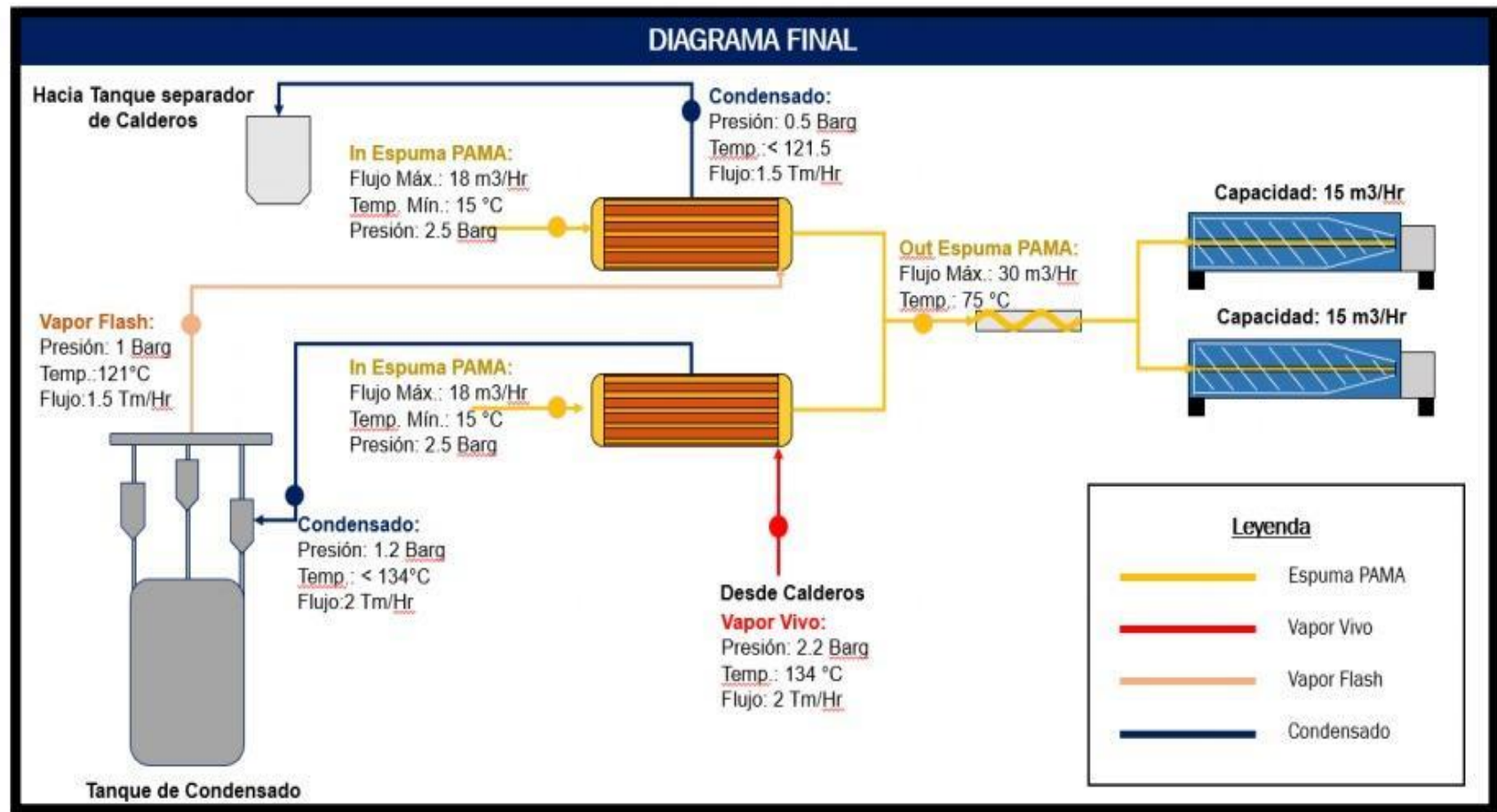
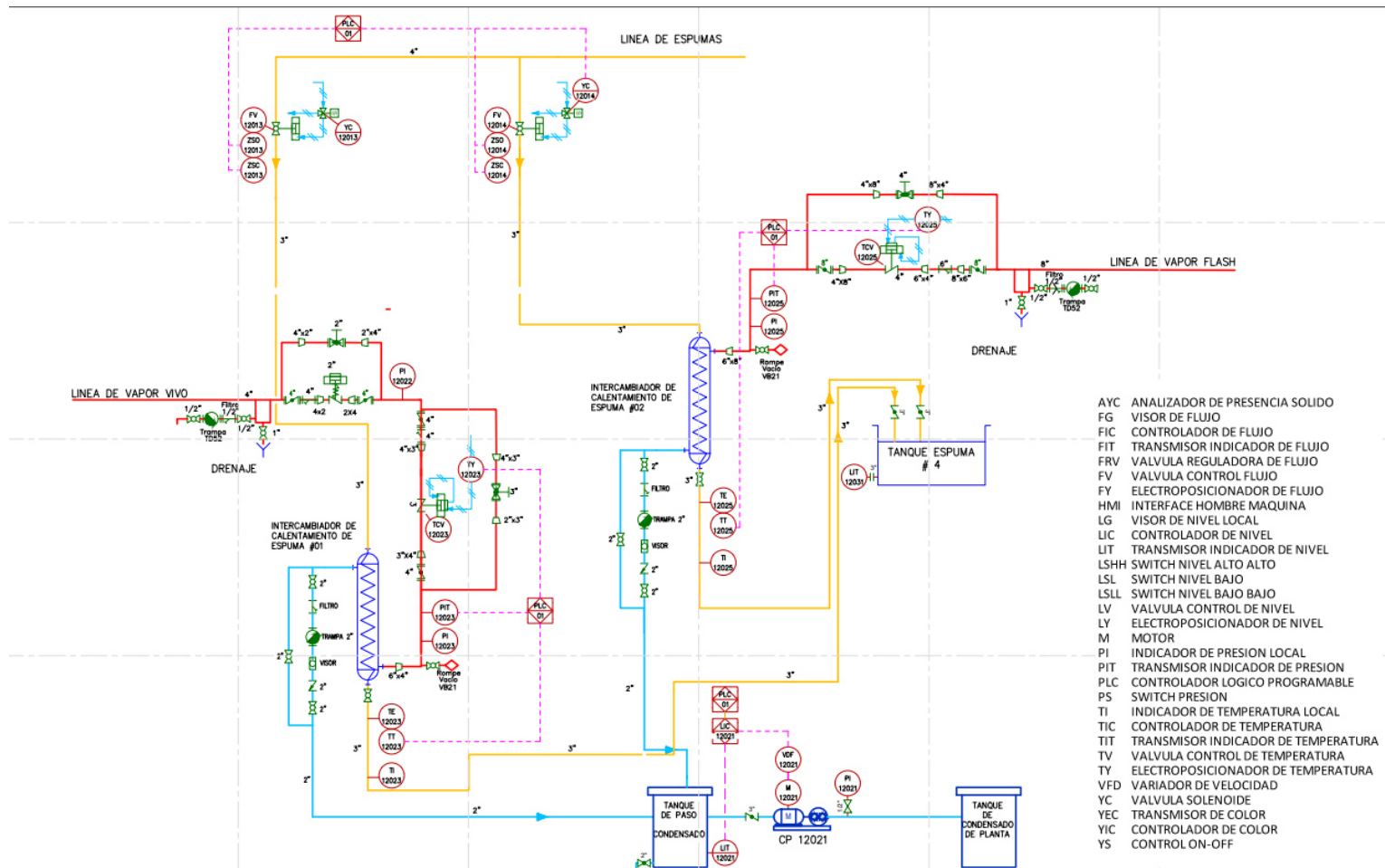


Figura 16*Nuevo Sistema de Calentamiento*

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Diseño y Fabricación del Intercambiador de Casco y Tubos

En base a los cálculos realizados y normas aplicadas, se utilizaron las siguientes medidas (Tabla 18) para la fabricación del intercambiador de casco y tubos.

Tabla 20

Dimensiones del Intercambiador de Casco y Tubos

Descripción	Valor	Unidades
Largo del intercambiador	6683	mm
Diámetro externo del intercambiador	609	mm
Diámetro interno del intercambiador	597	mm
Espesor del casco	6	mm
Diámetro de la conexión de entrada de vapor	6	in
Diámetro de la conexión de salida de condensado	2.5	in
Diámetro de la conexión de entrada de líquido	3	in
Diámetro de la conexión de salida de líquido	3	in
Diámetro de la conexión de limpieza	1.5	in
Diámetro exterior del tubo	1.5	in
Espesor de la tubería	1.5	mm
Área transversal de los tubos	1.14×10^{-2}	m ²
Número total de conexiones	5	uds
Número de tubos	60	uds
Número de pasos del intercambiador	6	uds
Cantidad de Baffles	5	uds
Espesor de los Baffles	6.4	mm
Cantidad de espejos porta tubos	2	uds
Espesor de los espejos porta tubos	22	mm

- Con un diámetro de 609 mm, una longitud de 6683 mm, un espesor de casco de 6 mm y hecho de acero inoxidable AISI 304L, este intercambiador de calor asegura la robustez del equipo frente a las demandas del proceso industrial. Este espesor fue seleccionado para superar el mínimo necesario, lo que añade seguridad estructural, previene posibles deformaciones y permite un rendimiento confiable bajo condiciones de operación con vapor a presión, pudiendo así llegar a elevar la temperatura hasta los 75°C requeridos para los procesos posteriores y cumplir con el objetivo de aumentar la capacidad de producción a 200 t/h.
- Se seleccionó una tubería con espesor de 1.5 mm, valor superior al espesor mínimo calculado de 0.045 mm necesario para soportar la presión interna del sistema. Este espesor adicional no solo garantiza la resistencia de la tubería bajo condiciones de presión y temperatura propias del proceso, sino que también añade un margen de seguridad para posibles fluctuaciones en la presión operativa, asegurando la durabilidad y confiabilidad del equipo en ambientes industriales.
- La elección de 60 tubos y 6 pasos se alinea con el cálculo del área de transferencia requerida, que garantiza la transferencia térmica adecuada entre el vapor y la espuma. Esta configuración de tubos, acompañada de un diámetro de 1.5 pulgadas asegura un rendimiento óptimo en el intercambiador.

- Las conexiones de entrada de vapor y salida de condensado, de 6 pulgadas y 2.5 pulgadas respectivamente, fueron elegidas para asegurar un flujo estable y controlado, manteniendo la presión adecuada dentro del intercambiador. Esta selección facilita un suministro de vapor constante y una eficiente evacuación del condensado
- La incorporación de 5 baffles con un espesor de 6.4 mm fue calculada y comprobada para inducir turbulencia en el flujo de vapor en el lado del casco, lo que mejora significativamente la transferencia de calor. Este diseño permite un contacto uniforme del vapor con los tubos, asegurando una transferencia térmica más eficiente y minimizando zonas de baja eficiencia en el equipo, resultado clave para lograr los objetivos térmicos establecidos en el proceso.

También se muestran los siguientes parámetros que han influido en el proceso de diseño y fabricación del intercambiador:

Tabla 21

Parámetros del Intercambiador de Casco y Tubos

Descripción	Valor	Unidades
Flujo de calor requerido	1167	kJ/s
Coefficiente de transferencia de calor	400	W/m ² ·°C
Presión de Operación	21.75	lb/pulg ²
Temperatura de salida	75	°C
Eficiencia de transferencia de calor	88.6	%
Presión máxima de operación	51.75	lb/pulg ²
Flujo másico de espuma	18000	kg/h

Descripción	Valor	Unidades
Calor específico de la espuma	3.89	kJ/kg·K
Temperatura de ingreso	15	°C
Área de transferencia	41.08	m ²
Presión de diseño	195	kPa
SE (Tensión admisible del material)	82162.84	kPa
Densidad de la espuma	0.85	t/m ³
Velocidad recomendada para la espuma	1.5 - 2.5	m/s
Flujo másico del vapor	1926	kg/h
Entalpía de evaporación a 1.5 bar(g)	2181.2	kJ/kg
Temperatura del vapor	127.4	°C
Velocidad recomendada del vapor	20 - 40	m/s

- La presión máxima de operación establecida en 51.75 lb/pulg² y la presión de diseño (operación) de 21.75 lb/pulg² indican que el intercambiador cuenta con un margen de seguridad que permite tolerar fluctuaciones en la presión del vapor sin comprometer la integridad estructural del casco. Esto asegura que el intercambiador pueda operar de manera confiable en condiciones de carga y temperatura variables, minimizando el riesgo de fallos bajo condiciones normales de operación.
- Con un flujo de calor requerido de 1167 kJ/s y un área de transferencia de 41.08 m², el intercambiador parece estar diseñado para satisfacer las demandas de transferencia térmica de manera eficiente. Además, la eficiencia de transferencia de calor del 88.6% confirma que el equipo está optimizado para minimizar las pérdidas térmicas, garantizando un alto nivel de aprovechamiento energético en el proceso.

- La relación entre el flujo másico de vapor (1926 kg/h) y la entalpía de evaporación (2181.2 kJ/kg) sugiere un diseño eficiente que optimiza el consumo de vapor al proporcionar la cantidad de energía suficiente para mantener la temperatura de salida de la espuma en 75 °C. Esto asegura una transferencia de energía adecuada para cumplir con los requerimientos del proceso de calentamiento sin desperdiciar vapor.
- La temperatura de ingreso de la espuma de 15 °C y la temperatura de salida de 75 °C cumplen con el objetivo de elevar la temperatura de la espuma de manera efectiva en un solo paso. Esto confirma que el diseño del intercambiador logra un aumento de temperatura adecuado dentro de los límites de eficiencia establecidos, aprovechando al máximo la transferencia térmica entre el vapor y la espuma.
- La densidad de la espuma (0.85 t/m³) es coherente con el flujo másico de 18,000 kg/h, lo que sugiere que el intercambiador está diseñado para manejar este tipo de fluido sin problemas de sobrepresión ni de caída de presión significativa. Este aspecto es esencial para garantizar un flujo uniforme y controlado a lo largo del sistema.

5.2. Prueba Dinámica de Fluidos

Se utilizó el software de fluidos Solidworks, siendo este del cual se reportarán los datos obtenidos. Vale agregar que este tipo de software nos permitió realizar una simulación para poder verificar si los cálculos realizados para la fabricación eran correctos.

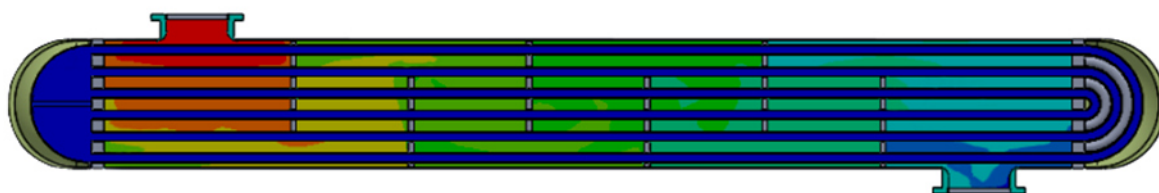
En el CFD (Computational Fluid Dynamics) se ingresaron las condiciones para realizar la simulación, siendo estas:

- Tipos de fluidos
- Tipo de material del intercambiador
- Presiones y temperaturas de trabajo
- Velocidades de flujo
- Selección de precisión

Una vez ingresadas las condiciones se inició la simulación tras la cual se obtuvo los esquemas para ambos tipos de fluidos en los cuales se muestran los cambios de temperatura por zonas, el siguiente esquema es para el cambio de temperaturas en el vapor hasta su salida como condensado, vale resaltar que el software crea el mismo modelo de intercambiador para cualquier simulación ya que no muestra la cantidad de pasos o recorridos del fluido, por lo que lo representativo está en los cambios térmicos, las zonas de calor y los resultados obtenidos:

Figura 17

Simulación 1 de la Prueba de Fluidos



Adjunto a este esquema se mostraron los siguientes resultados:

Tabla 22

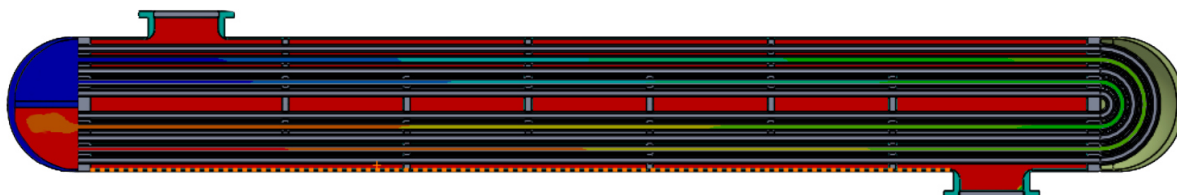
Tabla de Resultados 1 de la Prueba de Fluidos

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m ²]
Density (Fluid) [kg/m ³]	928.9	980.3	954.6	953.5	0.0086
Specific Heat (Cp) [J/(kg*K)]	4182.1	4185.5	4183.8	4182.2	0.0086
Temperature (Fluid) [°C]	20.2	123.2	71.7	75.3	0.0086

Como se puede observar por la pérdida de calor en el vapor la transferencia de calor se da exitosamente. Ahora se muestra el esquema de transferencia de calor del concentrado de pescado.

Figura 18

Simulación 2 de la Prueba de Fluidos



Y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 23

Tabla de Resultados 2 de la Prueba de Fluidos

Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m ²]
Density (Fluid) [kg/m ³]	922.3	937.8	930.05	929.1	0.0054
Specific Heat (Cp) [J/(kg*K)]	2.48	2.69	2.59	2.57	0.0054
Temperature (Fluid) [°C]	73.6	79.3	76.45	76.2	0.0054

De la tabla se puede ver la variación en la temperatura del aceite de pescado durante el proceso de calentamiento, el cual alcanzó un valor final aproximado de 76°C luego de realizar 6 recorridos a toda la longitud del intercambiador, ligeramente superior a los 75°C esperados, esto puede haberse dado al prolongado tiempo de residencia del fluido dentro del intercambiador, sin embargo, logra la finalidad de elevar la temperatura del aceite de pescado a un valor mayor a los 75°C.

5.3. Pruebas de Control de Calidad

Se realizó dos tipos de pruebas para el control de calidad de las piezas del intercambiador, siendo estas, el ensayo de tintes penetrantes y la prueba de estanqueidad.

5.3.1. Prueba de tintes penetrantes

Se realizó el ensayo de tintes penetrantes según lo establecido en el código ASME Sección V, Artículo 6 para revisar la calidad de soldadura durante la fabricación del intercambiador, pero principalmente inspeccionar los complementos del intercambiador, siendo estos las conexiones de ingreso y salida de fluidos, los baffles internos, los espejos y las tapas.

La evaluación de las discontinuidades se basó en el tamaño de las indicaciones según se indicó en el protocolo de inspección de tintes penetrantes y como resultado no se encontró discontinuidades significativas, es decir, no hubo presencia de indicaciones redondeadas o indicaciones lineales, lo cual se puede corroborar en el reporte de evaluación de discontinuidades y durante la prueba de estanqueidad ya que no se encontró fugas y se detalla

más adelante. Como conclusión del ensayo de tintes penetrantes se reportó que la soldadura aplicada en la fabricación de los intercambiadores fue óptima.

5.3.2. Prueba de estanqueidad

Se realizó posterior a la prueba de tintes penetrantes empezando por trasladar el intercambiador a la zona de evaluación donde se verificó todos los empaques y accesorios y se marcaron los puntos de referencia, se colocaron bridas ciegas en las conexiones y se prosiguió a realizar el llenado.

La presión fue controlada por un manómetro estándar, una vez se llegó a los 14 bar se dejó por 24 horas para luego revisar los exteriores del intercambiador y detectar alguna fuga y también revisar la presión del manómetro en caso haya habido una pérdida.

El intercambiador no presentó ninguna fuga y por ende no hubo pérdida de presión alguna.

5.4. Equipos e instrumentación

➤ Fabricación del Intercambiador

- Intercambiador de calor de casco y tubos
- Equipo de corte plasm
- Equipo para soldadura GTAW
- Equipo para soldadura SMAW
- Bomba de válvula manual
- Balón de argón

- Torno y Fresa
- Roladora
- Compresora de aire
- Pulidoras
- Esmeriles
- Prensa hidráulica

➤ ***Diseño del Intercambiador***

- SOLIDWORKS Flow Simulation
- Autocad
- Excel

➤ ***Prueba de Tintes Penetrantes***

- Penetrante removible por solvente CANTESTCO P101S-A
- Limpiador al solvente CANTESTCO C101
- Revelador CANTESTCO D101
- Paños de microfibra

➤ ***Prueba de Estanqueidad***

- Bomba de agua manual
- Manguera de suministro de agua Ø 1" y conexiones NPT
- Abrazaderas inoxidables Ø 1"

- Manómetro de silicona StabiliZR de 2.5" x 1/4" NPT PFQ807ZRR1
- Conexión para manómetro de 1/4"

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tabla 24

Estructura de Costos de Instalación de Intercambiadores

ESTRUCTURA DE COSTOS DETALLADA - PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO: IN-IC_ESPUMAS		FECHA: 06-Oct-20		DISCIPLINA: 99-GERENCIA/GENERALES	
		REV.: B		NIVEL: INSTALACIÓN Y MONTAJE	
ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE RUBRO	CANTIDAD	HORAS HOMBRE	TARIFA VENTA	TOTAL VENTA
1	INGENIERIA	ent	hh	US\$/hh	US\$
1.1	90-GENERAL				
1.1.1	GERENTE DE PROYECTO	01	21.0 hh	S/. 45.00 /hh	S/945.00
1.1.2	JEFE DE PROYECTO A	01	28.0 hh	S/. 36.00 /hh	S/1,008.00
1.1.3	CONTROL DE PROYECTO A	01	28.0 hh	S/. 27.00 /hh	S/756.00
Subtotal		03 Ent.	77.0 hh	S/. 108.00 /hh	S/2,709.00
1.2	05-MECANICA				
1.2.1	INGENIERO SENIOR	01	15.0 hh	S/. 32.00 /hh	S/480.00
1.2.2	INGENIERO DE PROYECTO A	01	15.0 hh	S/. 25.00 /hh	S/375.00
1.2.3	PROYECTISTA A	01	24.0 hh	S/. 25.00 /hh	S/600.00
1.2.4	DIBUJANTE A	01	9.0 hh	S/. 18.00 /hh	S/162.00
Subtotal		04 Ent.	63.0 hh	S/. 100.00 /hh	S/1,617.00
1.3	07-ELECTRICIDAD				
1.2.1	INGENIERO SENIOR	01	9.0 hh	S/. 32.00 /hh	S/288.00
1.2.2	INGENIERO DE PROYECTO A	01	9.0 hh	S/. 25.00 /hh	S/225.00
Subtotal		02 Ent.	18.0 hh	S/. 57.00 /hh	S/513.00
SUB-TOTAL INGENIERIA					S/4,839.00
2	CAMPO	ent	hh	S/. /hh	S/.
2.1	90-GENERAL				
2.1.1	OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES				S/1,885.33
2.1.2	SUMINISTRO Y FABRICACION DE MATERIALES				S/162,329.12
2.1.3	INSTALACION Y MONTAJE				S/39,378.02
2.1.4	OTROS				S/5,471.27
Subtotal					S/209,063.75
2.2	SUPERVISION				
2.2.1	SUPERVISOR A	01	128.0 hh	S/20.00	S/2,560.00
Subtotal					S/2,560.00
2.3	COSTOS OPERATIVOS				
2.3.1	TRANSPORTE DE PERSONAL (HUACHO-CALLAO-HUACHO)				S/600.00
2.3.2	SEGUROS, INDUCCIONES Y EPP				S/1,422.00
2.3.3	ALIMENTACION, HOSPEDAJE, OTROS				S/1,920.00
2.3.4	ALQUILER DE EQUIPOS, CONSUMIBLES, TRASLADO EQUIPOS Y OTROS				S/2,500.00
2.3.5	PROTOCOLO DE SEGURIDAD COVID				S/150.00
Subtotal					S/6,442.00
SUB-TOTAL CAMPO					S/218,065.75
TOTAL DE PROPUESTA POR U.O. CALLAO					S/222,904.75

CONCLUSIONES

- Se diseñó y fabricó un intercambiador de calor de casco y tubos con un diámetro externo de 609 mm y una longitud de 6683 mm, empleando acero inoxidable AISI 304L, lo cual asegura resistencia a la corrosión y durabilidad en la industria pesquera. Este diseño permite aumentar la capacidad de procesamiento en la planta de aceite de pescado a 200t/h.
- El uso de vapor flash como fuente de calor, con una presión de operación de 21.75 lb/pulg² y un flujo másico de 1926 kg/h, garantiza una transferencia térmica eficiente, aparte el nuevo intercambiador utiliza vapor flash el cual es un subproducto que antes no era aprovechado, lo cual representa una mejora en el aprovechamiento energético de la planta en comparación con el sistema de espiras y coaguladores que utilizaba el vapor vivo.
- Los resultados obtenidos, tanto en simulaciones de CFD como en la fabricación final, confirman que se ha logrado un aprovechamiento óptimo de la energía, con un aumento en la capacidad de procesamiento sin formación de cuellos de botella. El intercambiador alcanzó una temperatura final del aceite de 76.45°C en promedio, superando el objetivo inicial de 75°C, mientras que la eficiencia del proceso de transferencia de calor se calculó en un 88.6%, respaldada por la reducción de la temperatura del vapor flash de 123.2°C a 73.6°C, lo que refleja un aprovechamiento efectivo del calor disponible para la transferencia térmica.
- En comparación con el sistema anterior de espiras y coaguladores reflejó una mejora sustancial en la capacidad de procesamiento, incrementando a 200 t/h la producción total gracias al diseño de este nuevo intercambiador de calor. Adicionalmente, el uso de vapor flash en sustitución del vapor vivo que empleaba el sistema previo contribuye a la

optimización del consumo de energía, lo que representa una reducción de costos operativos y un avance en la eficiencia energética del proceso de calentamiento en la planta.

RECOMENDACIONES

- Existe espacio para mejorar la eficiencia, ya que un sistema con una eficiencia cercana al 90% sería óptimo. Ajustes en las condiciones operativas del vapor, la optimización de la superficie de intercambio térmico y la reducción de pérdidas térmicas podrían acercar el rendimiento del sistema a dicho valor.
- Con el objetivo de garantizar una operación continua y evitar cuellos de botella, se recomienda realizar simulaciones periódicas y análisis de CFD bajo diferentes condiciones de carga. Esto permitirá predecir el rendimiento del intercambiador y anticipar cualquier necesidad de mantenimiento o ajuste en el sistema, especialmente en casos donde la temperatura del aceite podría requerir ajustes para mantener el rango óptimo de operación.
- Dado que el uso de vapor flash ha optimizado la eficiencia energética en comparación con el vapor vivo, sería beneficioso explorar la implementación de un sistema de recuperación de calor residual. Este sistema podría capturar el calor residual del vapor flash antes de ser descargado, y reutilizarlo en otros procesos dentro de la planta, lo cual incrementaría aún más el ahorro energético y reduciría los costos operativos en general.
- Se recomienda analizar la viabilidad de un diseño modular en el intercambiador de calor que permita incrementar su capacidad sin necesidad de rediseñar completamente el sistema. Esto podría implicar la implementación de elementos de expansión en puntos estratégicos, como conexiones de entrada y salida que permitan aumentar el flujo másico de manera controlada, o bien la incorporación de módulos adicionales en serie o paralelo (como con el intercambiador de vapor vivo de 110 t/h). Este tipo de diseño anticipa posibles aumentos

en la demanda y proporciona flexibilidad para ajustarse a las necesidades futuras de la planta, optimizando la inversión inicial.

- Se recomienda llevar a cabo un análisis de ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) para evaluar de manera integral el impacto ambiental del uso de vapor flash en comparación con el vapor vivo. Este estudio debería incluir factores como la reducción de consumo de energía primaria, disminución de emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, así como una evaluación del ahorro energético en función de la reutilización del vapor flash. La documentación de estos beneficios puede formar parte de los reportes de sostenibilidad de la planta, alineándose con las metas de reducción de huella de carbono y promoviendo una imagen de responsabilidad ambiental para la empresa.

REFERENCIAS

1. 3D Printing Industry. (2022, January 3). Engineers use 3D printing technology to boost heat exchanger performance by 2000% [Blog post]. <https://3dprintingindustry.com/news/engineers-use-3d-printing-technology-to-boost-heat-exchanger-performance-by-2000-196500/>
2. Anand, R., & David, S. (2020). Design and analysis of shell and tube heat exchanger for low temperature applications using CFD. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/912/4/042056>
3. Almaguer, P. (2015). Sustitución de las sustancias limpiadora y reveladora para realizar la inspección con líquidos penetrantes. *Ciencias Holguín*, 21(2), 1–12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181538815005>
4. ASM International. (1987). *Metals handbook: Corrosion* (9th ed., Vol. 13). ASM International.
5. Cao, H., Chen, G., & Yuan, Q. (2009). Testing and design of a microchannel heat exchanger with multiple plates. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(9), 4535–4541. <https://doi.org/10.1021/ie801419r>
6. Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones* (4ª ed.). McGraw Hill.

7. Costa, A., & Queiroz, E. M. (2008). Design optimization of shell-and-tube heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 28(17–18), 1798–1805.
<https://consensus.app/papers/design-optimization-shell-and-tube-heat-exchangers-costa/3d4feae460e8510594af7e6708013d8c/>
8. Covarrubias Gordillo, C. A. (2019). *Modulación de la conductividad térmica en nanocompuestos de polipropileno con nanopartículas de carbono (PP/CNPs) para su uso en sistemas intercambiadores de calor* [Master's thesis, Centro de Investigación en Química Aplicada].
<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/597/1/Tesis%20DTP%20Carlos%20Andres%20Covarrubias%2022%20abril%202019.pdf>
9. Gawande, S., Wankhede, S. D., Yerrawar, R. N., Sonawane, V. J., & Ubarhande, U. B. (2012). Design and development of shell & tube heat exchanger for beverage. *Modern Mechanical Engineering*, 2(4), 121–125. <https://consensus.app/papers/design-development-shell-tube-heat-exchanger-beverage-gawande/4585025e430e5f5c9b3aefd15c9be090/>
10. Jaramillo, O. A. (2007). *Intercambiadores de calor*. Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México.
11. Jeffus, J. (2009). *Soldadura. Principios y aplicaciones* (4ª ed.). Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión. <https://books.google.com>

12. Marín, A., Gonzalo, J., Zuluaga, H., & Andrés, D. (2012). Intercambiadores de calor de tubo en espiral. *Revista UIS Ingenierías*, 11(2), 203–213.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553756872006>
13. Ospina, R., Aguirre, H., & Parra, H. (2007). Soldabilidad en aceros inoxidables y aceros disimiles. *Scientia Et Technica*, 13(34), 273–278.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84934046>
14. Pere, M. S. (1990). *Metales resistentes a la corrosión*. Marcombo.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YOGsVVd5sUoC&oi=fnd&pg=PA5&dq=metales+resistentes+a+la+corrosi%C3%B3n&ots=1cTzZ9W91F&sig=ZkEPtzCeesu1B2PuZsRVAe1hw74#v=onepage&q=metales%20resistentes%20a%20la%20corrosi%C3%B3n&f=false>
15. Ravagnani, M., Silva, A. P., & Caballero, J. (2011). Optimal shell and tube heat exchangers design. *InTechOpen*. <https://consensus.app/papers/optimal-shell-tube-heat-exchangers-design-ravagnani/76fa286886295743bf40e0da300a499b/>

ANEXOS

*Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura***Varillas de Acero Inoxidable, Acero Baja Aleación y Bronce Fosfórico**

Las varillas de aluminio, las varillas de aporte para soldar aceros inoxidables, acero dulce y bronce fosfórico son envasadas en cajas de 10 kg y se fabrican en las siguientes medidas: 1,6 - 2,4 - 3,2 - 4,0 mm en 915 mm de largo.

Aleaciones INDURA	AWS	Composición Química (típica)	Aplicaciones Generales
ACERO INOXIDABLE			
2209	ER-2209	C : 0,002% Mn : 1,33% Si : 0,46% S : 0,001% P : 0,020% Cr : 23,32% Ni : 8,15% Mo : 3,15% Cu : 0,10% N : 0,150%	Varilla para soldar aceros inoxidables dúplex con proceso TIG. Resistente a la corrosión intergranular y por pitting. Presenta ventajas en soldadura de aceros inoxidables del tipo austeno-ferrítico como 18Cr/8Ni/Mo (3RE60), 22Cr/5Ni/3Mo (2205) y 23 Cr/4Ni (2304). Posee buena resistencia a la corrosión bajo tensión, especialmente en ambientes que contienen H ₂ S. Los parámetros de soldadura para soldar con proceso TIG son dependientes en gran parte del espesor del material y de la aplicación de soldadura. Para evitar la fusión del electrodo de tungsteno se deberá usar electrodo negativo y un gas de protección inerte, tal como argón o helio.
308	ER 308	C : 0,005% Mn : 1,85% Si : 0,44% S : 0,001% P : 0,02% Cr : 19,9% Ni : 9,29% Cu : 0,09%	Varilla para soldar aceros inoxidables con proceso TIG. Composición nominal 19% cromo y 9% níquel. Usada frecuentemente para soldar metales base de composiciones similares. Apropia para temperaturas de servicio hasta 750°C. La composición química de la varilla ER-308H es la misma que la de la varilla ER-308 excepto que el contenido de carbono ha sido restringido al rango superior del aceptado para la varilla ER-308. El contenido de carbono de 0,04 a 0,08% proporciona más alta resistencia. Aplicaciones típicas se encuentran en soldadura de metales base tipo 304H, 308H y sus derivados.
308L	ER-308L	C : 0,02% Mn : 1,9% Si : 0,38% S : 0,01% P : 0,02% Cr : 19,8% Ni : 9,8%	Acero inoxidable Tipo: 308L-304L-308-321-347. Equipos de procesos y almacenamiento de productos alimenticios y químicos. Bombas, intercambiadores de calor.
309L	ER-309L	C : 0,01% Mn : 1,6% Si : 0,42% S : 0,002% P : 0,021% Cr : 23,05% Ni : 13,7%	La composición de esta clasificación es la misma que la de la varilla ER-309, excepto por el contenido de carbono. El bajo contenido de carbono en el metal de aporte (0,03 máximo), disminuye la posibilidad de precipitación de carburos y así incrementa la resistencia a la corrosión intergranular sin el uso de estabilizadores tales como columbio y titanio. Estas aleaciones bajo carbono pueden sin embargo no ser tan resistentes a alta temperatura como las aleaciones estabilizadas con columbio o la ER-309.

Equivalencias entre normas, composición química y características mecánicas

Equivalencias entre normas Standard equivalences

AISI	DIN W.Nr.	SIS	AFNOR	EN EURO NORMA	EN 10088	UNE
201	1.4372	—	Z 12 CM N 18-07 Az	X 12 CrMnNiN 17-7-5	1.4372	
205						
301	1.4310	2331	Z 12 CN 17-07	X 12 CrNi 17-7	1.4310	F-3517
303	1.4305	2346	Z 8 CNF 18-09	X 8 CrNiS 18-9	1.4305	F-3508
304	1.4301	2332	Z 6 CN 18-09	X 5CrNi 18-10	1.4301	F-3504
304L	1.4306	2352	Z 2 CN 18-10	X 2 CrNi 19-11	1.4306	F-3503
304H	1.4948	—	Z 6 CN 18-11	X 6 CrNi 18-11	—	
304L	1.4307		Z 3 CN 18-10	X 2 CrNi 18-9	1.4307	
304LN	1.4311	2371	Z 3 CN 18-10 Az	X 2 CrNiN 18-10	1.4311	F-3541
309	1.4828	—	Z 17 CNS 20-12	X 15 CrNiSi 20-12	1.4828	F-3312
309S	1.4833	—	Z 15 CN 23-13	X 12 CrNi 23-13	1.4833	
310S	1.4845	2361	Z 8 CN 25-20	X 8 CrNi 25-21	1.4845	
314	1.4841	—	Z 15 CNS 25-20	X 15 CrNiSi 25-21	1.4841	F-3310
316	1.4401	2347	Z 7 CND 17-11-02	X 5 CrNiMo 17-12-2	1.4401	F-3534
316L	1.4404	2348	Z 3 CND 17-11-02	X 2 CrNiMo 17-12-2	1.4404	F-3533
316LN	1.4406		Z 3 CND 17-11-02	X 2 CrNiMoN 17-11-2	1.4406	F-3543
316Ti	1.4571	2350	Z 6 CNDT 17-12	X 6 CrNiMoTi 17-12-2	1.4571	F-3535
317L	1.4438	2367	Z 3 CND 19-15-04	X 2 CrNiMo 18-15-4	1.4438	F-3539
321	1.4541	2337	Z 6 CNT 18-10	X 6 CrNiTi 18-10	1.4541	F-3523
321H	—	—	Z 6 CNT 18-12	X 12 CrNiTi 18-9	—	
329	1.4460	2324	Z 5 CND 27-05 Az	X 3 CrNiMoN 27-5-2		F-3309
347	1.4550	2338	Z 6 CNb 18-10	X 6 CrNiNb 18-10	1.4550	F-3524
403/410S	1.4000	2301	Z 8 C 12	X 6 Cr 13	1.4000	F-3110
410	1.4006	2302	Z 10 C 13	X 12 Cr 13	1.4006	F-3401
416	1.4005	2380	Z 11 CF 13	X 12 CrS 13	1.4005	F-3411
420	1.4021	2303	Z 20 C 13	X 20 Cr 13	1.4021	F-3402
420F	14028	2304	Z 30 C 13	X 30 Cr 13	14028	F-3403

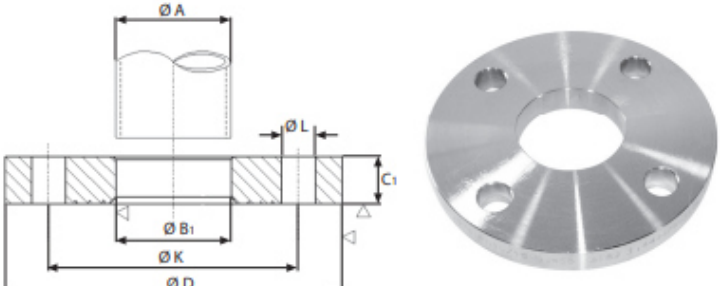
Composición química Chemical composition

ASTM AISI	%C	%Mn MAX	%P MAX	%S MAX	%SI MAX	%Cr	%Ni	%Mo	%otros elementos
201	0.15 máx	5.50 / 7.50	0.060	0.030	1.00	16.00 / 18.00	3.50 / 5.50	—	N 0.25 max
205	0.12 / 0.25	14 / 15.5	0.06	0.03	1	16.00 / 18.00	1 / 1.75	—	N-3.20 / N-0.40
301	0.15 max	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00 / 18.00	6.00 / 8.00	—	N 0.10 max
303	0.15 max	2.00	0.20	0.15 min	1.00	17.50 / 19.50	8.00 / 10.00	0.60 max	—
304	0.08 max	2.00	0.045	0.030	0.75	17.50 / 19.50	8.00 / 10.50	—	N 0.10 max
304L	0.030 max	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00 / 20.00	8.00 / 12.50	—	N 0.10 max
304H	0.04 / 0.10	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00 / 20.00	8.00 / 10.50	—	—
304L	0.030 max	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00 / 20.00	8.00 / 12	—	N 0.10
304LN	0.030 max	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00 / 20.00	8.00 / 12	—	N 0.10 - 0.16
309	0.20 max	2.00	0.045	0.030	1.00	22.00 / 24.00	12.00 / 15.00	—	—
309S	0.08 max	2.00	0.045	0.030	0.75	22.00 / 24.00	12.00 / 15.00	—	—
310S	0.08 máx	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00 / 26.00	19.00 / 22.00	—	—
314	0.25 max	2.00	0.045	0.030	1.50 / 3.00	23.00 / 26.00	19.00 / 22.00	—	—
316	0.08 max	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00 / 18.00	10.00 / 14.00	2.00 / 3.00	N 0.10 max
316L	0.030 max	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00 / 18.00	10.00 / 14.00	2.00 / 3.00	N 0.10 max
316LN	0.030 max	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00 / 18.00	10.00 / 14.00	2.00 / 3.00	N 0.10 - 0.16
316Ti	0.08 max	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00 / 18.00	10.00 / 14.00	2.00 / 3.00	N 0.10
317L	0.030 max	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00 / 20.00	11.00 / 15.00	3.00 / 4.00	N 0.10
321	0.08 max	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00 / 19.00	9.00 / 12.00	—	N 0.10 Ti 5(C+N)min 0.70 max
321H	0.04 / 0.10	2.00	0.040	0.030	0.75	17.00 / 19.00	9.00 / 12.00	—	Ti 4x(C+N)min 0.70 max
329	0.08	1.00	0.040	0.030	0.75	23.00 / 28.00	2.50 / 5.00	1.00 / 2.00	—
347	0.08 máx	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00 / 19.00	9.00 / 13.00	—	Cb - Nb 10 x C ≤ 1
403/410S	0.08 max	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50 / 13.50	0.60	—	—
410	0.08 - 0.15	1.50	0.040	0.030	1.00	11.50 / 13.50	0.75	—	—
416	0.15 max	1.50	0.045	0.015 / 0.35	1.00	12.00 / 14.00	—	0.60 max	—
420	0.15 - 0.25	1.00	0.040	0.030	1.00	12.00 / 14.00	—	—	—
420F	0.26-0.35	1.50	0.040	0.030	1.00	12.00 / 14.00	—	—	—

Características mecánicas Mechanical properties

Resistencia la Tracción Tensile Strength - Rm			Límite Elástico Yield Point Rp 0.2%		Alargamiento Elongation E= 50mm	DUREZA HR _B Max	DUREZA HB Brinell Max	ASTM AISI
Kg/mm ²	N/mm ²	x	Kg/mm ²	N/mm ²	A% Min			
50 - 85	515	950	30	260	40	95	217	201
75 - 85	750	870	21	205	35	95	217	205
52 - 95	515	950	21	205	40	95	217	301
52 - 70	500	700	21	190	35	90	230	303
50 - 75	515	750	21	205	40	92	201	304
50 - 65	485	680	18	170	40	92	201	304L
50 - 75	515	740	21	205	40	92	201	304H
50 - 70	500	670	25	200	40	92	201	304L
50 - 75	515	740	21	205	40	92	217	304LN
50 - 75	515	750	25	205	30	95	217	309
50 - 75	515	750	21	205	40	95	217	309S
50 - 75	515	700	21	205	40	95	217	310S
50 - 75	550	750	25	230	30	95	223	314
50 - 75	515	735	21	205	40	95	217	316
50 - 70	485	680	18	170	40	95	217	316L
50 - 80	515	780	21	205	40	95	217	316LN
50 - 70	515	690	21	205	40	95	217	316Ti
52 - 75	515	700	21	205	40	95	217	317L
50 - 75	515	720	21	205	40	95	217	321
50 - 75	515	750	21	205	40	95	217	321H
60 - 80	590	780	45	440	15		269	329
55 - 75	440	740	21	205	40	92	201	347
45 - 60	415	600	24	205	22	90	183	403/410S
45 - 88	450	850	21	205	20	96	217	410
45 - 74	440	850	24	237	20	98	262	416
55 - 77	450	950	33	205	12	95	225	420
80 - 100	800	1000	60	650	10		280	420F

Tabla de dimensiones de brida



EN 1092-1-01 PN10
Tubo ISO

DIN 2576 - PN10
Acero Inoxidable 1.4307 / A-304L
Acero Inoxidable 1.4404 / A-316L
Tipo A (cara plana)

Código		DN	Tubo A	Brida				Tornillo			Peso kg/u.	
AISI 304L	AISI 316L			B1	D	C1	K	Cant.	Rosca	L		
322BP1015	324BP1015	PN10 = PN16 = PN25 = PN40	15	21,3	22,0	95	14	65	4	M12	14	0,67
322BP1020	324BP1020		20	26,9	27,5	105	16	75	4	M12	14	0,94
322BP1025	324BP1025		25	33,7	34,5	115	16	85	4	M12	14	1,11
322BP1032	324BP1032		32	42,4	43,5	140	(16) 18	100	4	M16	18	1,82
322BP1040	324BP1040		40	48,3	49,5	150	(16) 18	110	4	M16	18	2,05
322BP1050	324BP1050		50	60,3	61,5	165	(18) 20	125	4	M16	18	2,73
322BP1065	324BP1065	PN10 = PN 16	65	76,1	77,5	185	(18) 20	145	(4) 8	M16	18	3,16
322BP1080	324BP1080		80	88,9	90,5	200	20	160	8	M16	18	3,60
322BP1100	324BP1100		100	114,3	116,0	220	(20) 22	180	8	M16	18	4,39
322BP1125	324BP1125		125	139,7	141,5	250	22	210	8	M16	18	5,48
322BP1150	324BP1150		150	168,3	170,5	285	(22) 24	240	8	M20	22	7,14
322BP1200	324BP1200	PN 10	200	219,1	221,5	340	24	295	8	M20	22	9,27
322BP1250	324BP1250		250	273,0	276,5	395	26	350	12	M20	22	11,80
322BP1300	324BP1300		300	323,9	327,5	445	26	400	12	M20	22	13,60
322BP1350	324BP1350		350	355,6	359,5	505	30	460	16	M20	22	20,40
322BP1400	324BP1400		400	406,4	411,0	565	32	515	16	M24	26	27,50
322BP1450	324BP1450		450	457,0	462,3	615	36	565	20	M24	26	33,60
322BP1500	324BP1500		500	508,0	513,5	670	38	620	20	M24	26	40,20
322BP1600	324BP1600		600	610,0	616,5	780	(40) 42	725	20	M27	30	54,50

(*) Medidas entre paréntesis según norma DIN 2576 PN10

BRIDAS PN10 ESPESOR REDUCIDO

322BP1700	324BP1700	PN 10	700	711,0	716,0	895	42 (50)	840	24	M27	30	66,00
322BP1800	324BP1800		800	813,0	818,0	1015	44 (56)	950	24	M30	33	91,00
	324BP1900		900	914	920,0	1115	48 (62)	1050	28	M30	33	108,00
	324BP1000		1000	1016	1022,0	1230	50 (70)	1160	28	M33	36	133,50

Características de la plancha de acero inoxidable AISI 304

Plancha de Acero Inoxidable AISI 304

Terminaciones: 2B, N°1 y N°4

■ **Estado de Suministro General**
Laminado.

■ **Características**

Acero inoxidable austenítico, aleado con Cromo y Níquel y bajo contenido de Carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No es templable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío (ejemplo: doblado o cilindrado).

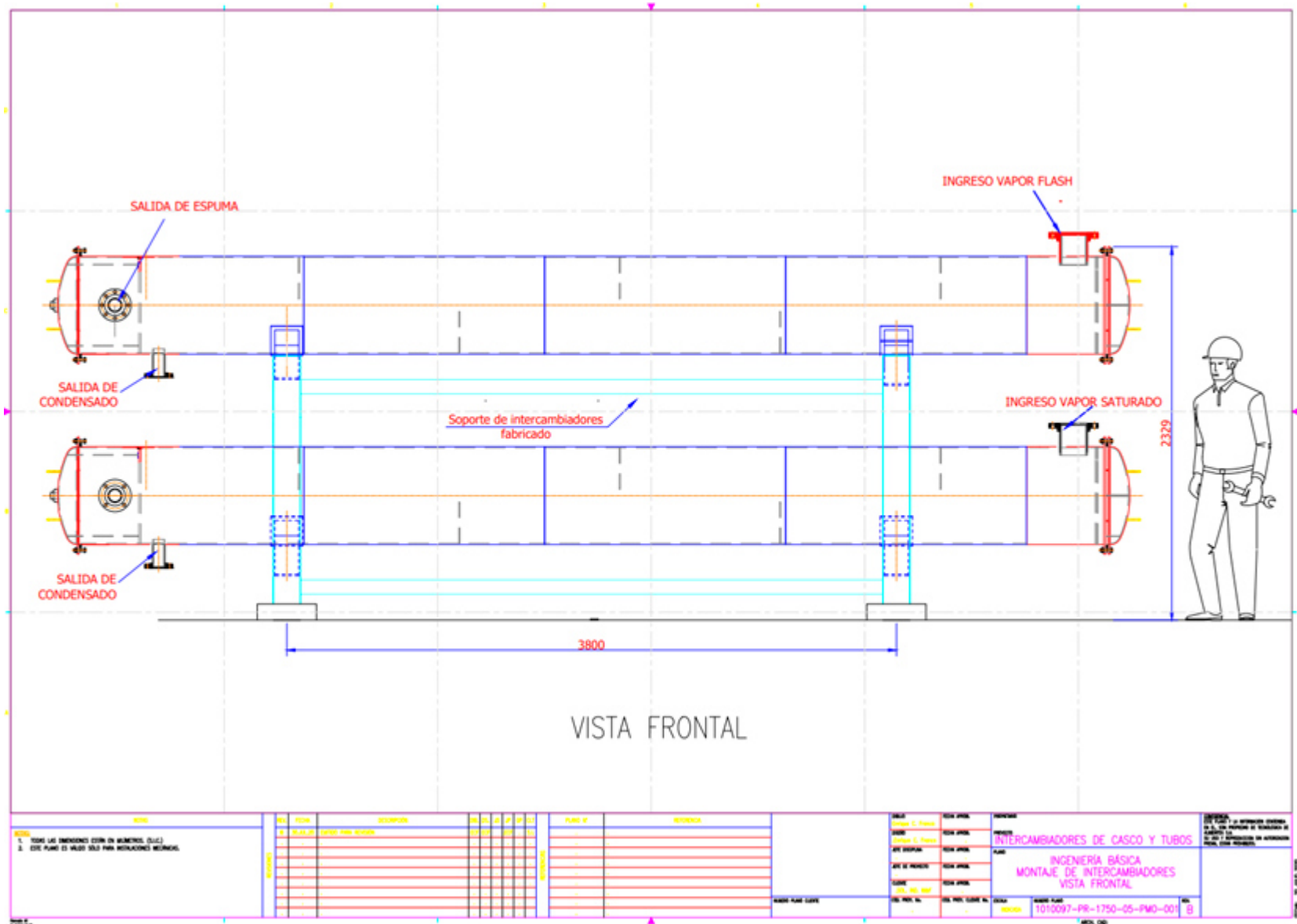


■ **Aplicación**

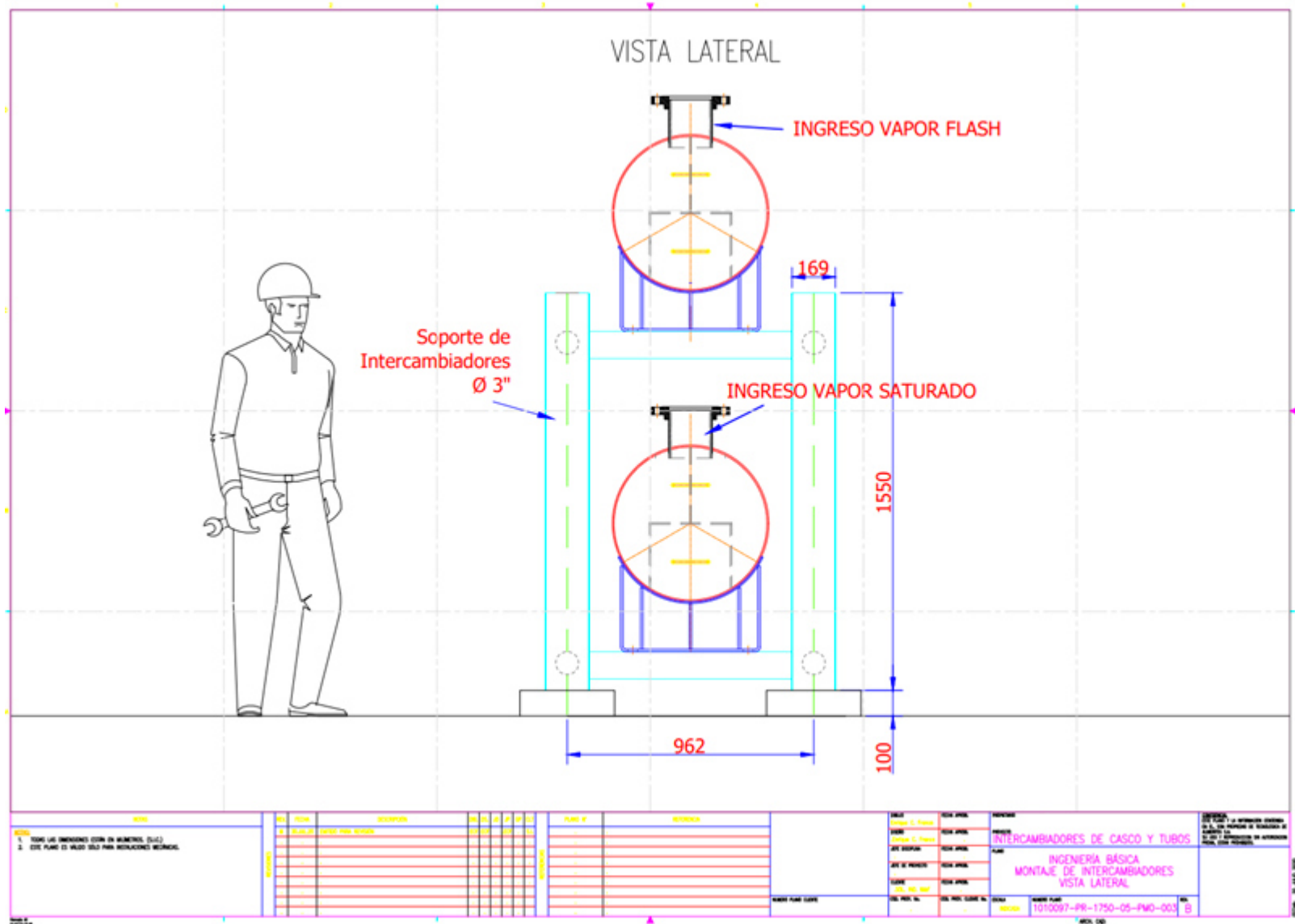
Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, se utiliza ampliamente en la industria alimenticia, vitivinícola, frutícola, acuícola, minera y construcción. Algunos usos son la fabricación de estructuras y/o contenedores para las industrias procesadoras de leche, cerveza, vino y alimentos, revestimientos, lavaplatos, mesones para alimentos, bandas transportadoras, cabinas telefónicas, fachadas de edificios, ascensores, casetas de peaje, muebles de cocina y quincallería.

Composición Química							
AISI	% C (máx.)	% Mn (máx.)	% Si (máx.)	% Cr	% Ni	% P (máx.)	% S (máx.)
304	0,07	2,00	0,75	17,5 - 19,5	8,00 - 10,50	0,045	0,03
304L	0,03	2,00	0,75	17,5 - 19,5	8,00 - 12,00	0,045	0,03

Propiedades Mecánicas				
AISI	Esfuerzo Fluencia (min.)	Esfuerzo Tracción (min.)	Elongación (min.)	Dureza (máx)
	MPa	MPa	%	Brinell (HB)
304	205	515	40	201
304L	170	485	40	201



Plano de vista lateral del intercambiador de calor



[illegible]