



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS PARA USO DEL LABORATORIO DE ENERGÍAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.”

Autores: Carlos Steeven Chipantiza Agualongo

Edwin Mauricio Cholota Moreta

Tutor: Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda

AMBATO- ECUADOR

Marzo - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, Previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS PARA USO DEL LABORATORIO DE ENERGÍAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.**” Elaborado por los señores Carlos Steeven Chipantiza Agualongo con C.I 1805189394 y Edwin Mauricio Cholota Moreta con C.I 1803778099, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluida en su totalidad.

Ambato, Marzo 2022

.....

Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, **Carlos Steeven Chipantiza Agualongo** con C.I 1805189394 y **Edwin Mauricio Cholota Moreta** con C.I 1803778099, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS PARA USO DEL LABORATORIO DE ENERGÍAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”**, así como también las ideas de diseño, criterios, análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2022

Carlos Steeven Chipantiza Agualongo

C.I: 1805189394

AUTOR

Edwin Mauricio Cholota Moreta

C.I:1803778099

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que realice de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los Derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial y se realice respetando nuestros derechos de autor.

Ambato, Marzo 2022



Carlos Steeven Chipantiza Agualongo

C.I: 1805189394

AUTOR



Edwin Mauricio Cholota Moreta

C.I:1803778099

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto de Técnico, realizado por los estudiantes Carlos Steeven Chipantiza Agualongo – Edwin Mauricio Cholota Moreta de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS PARA USO DEL LABORATORIO DE ENERGÍAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.”**

Ambato, Marzo 2022

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna
Miembro Calificador

.....

Ing. Mg. José Luis Yunapanta Velasteguí
Miembro Calificador

AGRADECIMIENTOS

Por la finalización de este trabajo agradezco primero a Dios por haberme cuidado y tenerme en este mundo. A la Universidad Técnica de Ambato, A la facultad de ingeniería Civil y Mecánica, así como a sus docentes quienes fueron el pilar fundamental durante mi formación como profesional. A mi tutor Ing. Mg. Santiago Fabrega por guiarme con su conocimiento en el desarrollo del proyecto.

Carlos Chipantiza

DEDICATORIA

El presente trabajo técnico va dedicado de manera especial a mis padres Ramiro Shipantiza y Rocío Agualongo, quienes con su apoyo permitieron que pueda continuar con mis estudios y alcanzar esta etapa importante en mi vida.

Carlos Shipantiza

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida, y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato, a toda la Facultad de Ingeniería Mecánica, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Mg. Santiago Cabrera, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Mauricio Pholota

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, que me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, permitiendo que logre culminar mi carrera profesional.

A mis hermanas por estar siempre presentes, y ser el pilar fundamental en mi vida y ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Mauricio Pholota

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Justificación	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Fundamentación Teórica.....	3
1.4.1 Generalidades.....	3
1.5 Transferencia de energía	3
1.5.1 Trasferencia por conducción	4
1.6 Trasferencia de calor con Convección.....	5
1.7 Flujo a través de banco de tubos	5
1.8 Tipos intercambiador acuerdo a la norma TEMA	7

1.9	Partes de un intercambiador de calor.....	10
1.10	Análisis Térmico.....	11
1.10.1	Número de Nusselt.....	11
1.10.2	Número de Prandtl	11
1.10.3	Número de Reynolds.....	11
1.10.4	Flujo másico.....	12
1.10.5	Eficiencia térmica.....	13
1.10.6	Definiciones de longitud de tubos.....	14
1.10.7	Número de pasos	17
1.11	Análisis Mecánico.....	17
1.11.1	Diseño de la coraza	18
1.11.2	Diseño de los tubos	20
1.11.3	Diseño de las Tapas.....	22
1.11.4	Diseño de los espejos	23
1.11.5	Barras de soporte.....	25
1.11.6	Placa divisora de paso	25
1.11.7	Deflectores o Baffles	26
1.11.8	Empaques	27
1.12	Mantenimiento de intercambiadores de calor.....	28
1.12.1	Matriz AMFE.....	29
1.12.2	Análisis AMFE	29
CAPÍTULO II.....		32
2	METODOLOGÍA.....	32
2.1	Consideraciones iniciales para el diseño del intercambiador de calor.....	32
2.2	Materiales del intercambiador de calor.....	34
2.3	Métodos	36
2.3.1	Tipos de Investigación	36
2.4	Estudio de alternativas.....	37
2.5	Procedimiento de diseño.....	42
2.5.1	Metodología para el Procesamiento y análisis de la información.....	42

2.5.2	Metodología General de diseño	43
2.5.3	Metodología de cálculos Térmico y Mecánico	44
2.5.4	Metodología para el modelado del intercambiador.....	46
2.5.5	Metodología para la selección del material.....	47
2.5.6	Metodología de montaje y fabricación.....	48
CAPÍTULO III.....		51
3	CÁLCULOS	51
3.1	Diseño térmico.....	51
3.1.1	Flujo másico del agua.....	51
3.1.2	Flujo másico del vapor	51
3.1.3	Área mínima requerida.....	56
3.1.4	Longitud de la tubería de cobre.....	56
3.1.5	Cálculo de velocidad de transferencia de calor real.....	56
3.1.6	Cálculo de la eficiencia térmica	57
3.1.7	Dimensionamiento y materiales del intercambiador.....	58
3.2	Diseño Mecánico	61
3.2.1	Diseño de la Coraza	62
3.2.2	Diseño de los tubos	63
3.2.3	Diseño del espejo	63
3.2.4	Diseño de deflectores	65
3.2.5	Diseño de placa divisora	65
3.3	Selección de Accesorios para la instalación	65
3.3.1	Selección de accesorios para las conexiones	65
3.3.2	Selección de válvulas	66
3.3.3	Selección de empaque	66
3.3.4	Selección de pernos.....	67
3.3.5	Selección de tapa Torisférico.....	67
3.3.6	Selección de CAPS	67
3.3.7	Selección de barra sujetadoras de baffles.....	68
3.3.8	Selección de bridas.....	68

3.4	Resultados de la simulación térmica y mecánica.....	69
3.4.1	Resultados de la simulación térmica.....	69
3.4.2	Simulación mecánica.....	70
3.5	Construcción del prototipo.....	73
3.6	Pruebas básicas de intercambio de calor.....	77
3.7	Recomendaciones operación y puesta en marcha.....	79
3.8	Recomendaciones de Mantenimiento.....	81
3.9	Costos del intercambiador de calor.....	83
CAPÍTULO IV.....		87
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
4.1	Conclusiones.....	87
4.2	Recomendaciones.....	88
Referencias bibliográficas.....		89
Anexos	92	

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1. 1 Correlaciones de Grimson en un banco de tubos.....	6
Tabla 1. 2 Dimensiones recomendadas para el diseño pasos por tubos Ltp	15
Tabla 1. 3 Número de pasos en base al diámetro de coraza.....	17
Tabla 1. 4 Recomendaciones según tema del diámetro de la coraza	19
Tabla 1. 5 Espesores mínimos recomendados ASME espejos.....	23
Tabla 1. 6 Número de barras de soporte	25
Tabla 1. 7 Espesor de placa divisora de paso.....	26
Tabla 1. 8 Espesores mínimos de baffles	27
Tabla 1. 9 Materiales de empaque y Carga máxima permisible	28
Tabla 1. 10 Información necesaria para la matriz	29
Tabla 1. 11 valoración de la frecuencia	30
Tabla 1. 12 Valoración de la detectabilidad de la falla	30
Tabla 1. 13 valoración de la gravedad de la falla.....	31

CAPÍTULO II

Tabla 2. 1 Características Iniciales del vapor y Agua.....	32
Tabla 2. 2 Propiedades del agua a temperatura Promedio	32
Tabla 2. 3 Propiedades del Vapor	33
Tabla 2. 4 Propiedades del Agua.....	33
Tabla 2. 5 Materiales del intercambiador de calor.....	34
Tabla 2. 6 propiedades del Cobre.....	37
Tabla 2. 7 Propiedades del Aluminio.....	38
Tabla 2. 8 Propiedad del Hierro	38
Tabla 2. 9 Criterio de Selección.....	38
Tabla 2. 10 Resultados de la ponderación.....	39
Tabla 2. 11 Tipos de tubos de cobre	39
Tabla 2. 12 Asignación de los fluidos en los tubos.....	40

Tabla 2. 13 Criterio de Selección.....	41
Tabla 2. 14 Resultados de la ponderación.....	41

CAPÍTULO III

Tabla 3. 1 Propiedades y características geométricas del tubo de cobre	53
Tabla 3. 2 Propiedades y características geométricas de la coraza	54
Tabla 3. 3 Propiedades del vapor a la temperatura promedio	55
Tabla 3. 4 Especificaciones de los Materiales	61
Tabla 3. 5 Accesorios para conexiones	65
Tabla 3. 6 Selección de las válvulas del intercambiador	66
Tabla 3. 7 Selección de Brida ANSI.....	68
Tabla 3. 8 Análisis de Resultados Tabla	78
Tabla 3. 9 Costos por materia prima	83
Tabla 3. 10 Costo de accesorios para la instalación.....	84
Tabla 3. 11 Costo de máquinas y herramientas	85
Tabla 3. 12 Costo por mano de obra	85
Tabla 3. 13 Costos por diseño.....	85
Tabla 3. 14 Costos del intercambiador de calor	86

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. 1	Trasferencia de Calor por Conducción.....	4
Figura 1. 2	Asociación de Trasferencia de Calor por Conducción.....	4
Figura 1. 3	Trasferencia de Calor por Convección.....	5
Figura 1. 4	Proceso de convección.....	5
Figura 1. 5	Esquema de un banco de tubos en flujo cruzado.....	6
Figura 1. 6	Intercambiador de Calor de coraza fija.....	7
Figura 1. 7	Intercambiador de calor con tubos en forma de U.....	8
Figura 1. 8	Intercambiador de calor de cabeza flotante tipo AES.....	8
Figura 1. 9	Intercambiador de calor de cabeza flotante tipo AJW.....	9
Figura 1. 10	Tubo de un intercambiador de calor.....	9
Figura 1. 11	Flujo Cruzado.....	9
Figura 1. 12	Intercambiadores de paso simple y múltiple.....	10
Figura 1. 13	Partes de un intercambiador de calor.....	10
Figura 1. 14	Longitud del tubo.....	14
Figura 1. 15	Espacio entre la coraza y el haz de tubos.....	17
Figura 1. 16	Asignación nombre coraza según la norma TEMA.....	18
Figura 1. 17	Distribución básica d los tubos.....	21
Figura 1. 18	Tapas de un intercambiador de coraza y tubos.....	22
Figura 1. 19	Tapas Abombonadas.....	23
Figura 1. 20	Placas de tubos de un intercambiador de calor.....	23
Figura 1. 21	Disposición típica de la placa divisora de paso.....	25
Figura 1. 22	Deflectores de un intercambiador de calor de coraza y tubos.....	26
Figura 1. 23	Porcentaje de baffles segmentados.....	27

CAPÍTULO II

Figura 2. 1	Metodología para el Procesamiento y análisis de la información ...	42
-------------	--------------------------------------------------------------------	----

Figura 2. 2 Metodología de diseño general.....	43
Figura 2. 3 Metodología de cálculos Térmico y Mecánico.....	45
Figura 2. 4 Metodología para el modelado del intercambiador	46
Figura 2. 5 Metodología para la selección del material	47
Figura 2. 6 Metodología de fabricación	49
Figura 2. 7 Prototipo del IC	50

CAPÍTULO III

Figura 3. 1 Distribución de Temperatura	58
Figura 3. 2 Distribución de temperaturas de los fluidos	69
Figura 3. 3 Distribución de temperatura en los tubos y baffles.....	69
Figura 3. 4 Esfuerzos en la coraza	70
Figura 3. 5 Deformaciones en la coraza.....	71
Figura 3. 6 Esfuerzos en la tubería de cobre	71
Figura 3. 7 Deformación en la tubería de cobre.....	72
Figura 3. 8 Tenciones en la estructura	72
Figura 3. 9 Desplazamientos en la estructura	73
Figura 3. 10 Armado de la coraza	74
Figura 3. 11 Armado del cabezal	74
Figura 3. 12 Armado del sistema de tubos.....	75
Figura 3. 13 Equipo completo.....	75
Figura 3. 14 Soldado de tubos de cobre con el espejo	76
Figura 3. 15 Armado de baffles	76
Figura 3. 16 Gráfica Temperatura vs Tiempo (Agua caliente).....	78
Figura 3. 17 Gráfica Temperatura vs Tiempo (Fluido Frío).....	79

RESUMEN

El proyecto técnico se enfocó en el diseño y la construcción de un intercambiador de acuerdo a la bibliografía disponible, además se realizó un análisis de alternativas para la selección de materiales y configuración del sistema de tubos. Se planteó una metodología para el diseño térmico, mecánico, modelado 3D, fabricación y montaje de equipo.

El prototipo está destinado para trabajar con vapor y agua, el primer fluido a 144.83 grados centígrados a presión de 60Psi y flujo másico de 0.2kg/h, mientras que el segundo a 20 grados centígrados con presión de 27PSI y caudal de 5L/min. En base a estos datos se diseñó la parte térmica y mecánica del equipo donde se determinó el área mínima requerido, longitud total de la tubería, el espesor de los distintos materiales y se seleccionó los accesorios para las conexiones de las entradas y salidas de los fluidos de acuerdo a la disponibilidad del mercado dando como resultado una unidad de potencia de 4.85kW y potencia máxima teórica de 43.2 kW con una eficiencia del 11 por ciento.

El modelado 3D y los planos del prototipo se desarrolló en un Software CAD, se construyó el prototipo de acuerdo a las especificaciones del diseño y se realizaron las pruebas básicas de funcionamiento, finalmente se especificó las recomendaciones para el funcionamiento y mantenimiento del equipo.

Palabras claves: Coraza, Baffles, Prototipo, Potencia, Eficiencia térmica, Banco de tubos.

ABSTRACT

The technical project focused on the design and construction of an exchanger according to the available bibliography, in addition to an analysis of alternatives for the selection of materials and configuration of the tube system. A methodology for thermal and mechanical design, 3D modeling, equipment manufacturing and assembly was proposed.

The prototype is intended to work with steam and water, the first fluid at 144.83 degrees Celsius at a pressure of 60 Psi and a mass flow of 0.2kg/h, while the second at 20 degrees Celsius with a pressure of 27 Psi and a flow rate of 5L/min. Based on these data, the thermal and mechanical part of the equipment was designed where the minimum required area, total length of the pipe, the thickness of the different materials were determined and the accessories for the connections of the fluid inlets and outlets were selected. according to market availability resulting in a power unit of 4.85kW and maximum theoretical power of 43.2 kW with an efficiency of 11 percent.

The 3D modeling and the plans of the prototype were developed in a CAD Software, the prototype was built according to the design specifications and the basic performance tests were carried out, finally the recommendations for the operation and maintenance of the equipment were specified.

Keywords: Armor, Baffles, Prototype, Power, Thermal efficiency, Bank of tubes.

Keywords: Shell, baffles, Prototype, Power, Thermal efficiency, Tube bank.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

Carlos Quispe Gómez, en su trabajo de Titulación bajo el tema “Simulación dinámica de un fluido computacional (DFC) y evaluación experimental, en la entrada de jugo de caña de azúcar en un intercambiador de calor de tubos y carcasa”, investigó la eficiencia de la distribución de los tubos de un intercambiador de coraza y tubos con una inclinación de deflectores de 0° y 20°. Con respecto a la sección transversal, considerando que el agua fluía por los tubos y un hidrocarburo liviano por la coraza, demostrando que la configuración con 0° posee el mayor coeficiente de transferencia de calor, debido a que se presenta mayor turbulencia en sistema; además menciona que el uso de Técnicas CFD proporciona grandes ventajas para el diseño, proporcionando información sobre diversos parámetros como la temperatura y la caída de presión. [1]

Para Lasso Carlos, en su trabajo de Titulación realizó el “Diseño de un intercambiador de calor con una capacidad de $31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ para el proceso de enfriamiento de agua hasta 16 °C en la planta SIGMAPLAST”, dando como resultados una tasa normal de transferencia de calor de 236,18 KW, y que con una longitud de los tubos internos de 1 m la eficiencia fue de 54, 51%, y menciona que para obtener una eficiencia optima del proceso es recomendable una buena geometría de los tubos. [2]

Para E. Villalobos, A. López y F. Gómez en su trabajo de titulación con el tema “Diseño y Modelamiento de un Intercambiador de Calor de Tubo y Carcasa bajo la Normativa TEMA Y ASME”, el desarrollo de este proyecto de investigación tuvo como finalidad planificar el tiempo y los pasos necesarios para la realización del diseño y el modelamiento del mismo bajo las normas ya mencionadas anteriormente, los cuales son de mucha importancia para un desempeño optimo del equipo, resaltando la importancia de utilizar estas normas para el diseño y construcción de un intercambiador de calor. [3]

Para Jhon Pacanchique y Carlos Torres en su trabajo de titulación con el tema “Diseño y construcción de un intercambiador de calor de carcasa y tubos para el laboratorio de

transferencia de calor de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja”, menciona que la mejor distribución de los tubos es cuadrada y rotada por su facilidad de limpieza y existe un menor caída de presión en el lado de la coraza, con esta distribución los criterios de diseño considerados se dieron las siguientes resultados: una diferencia de temperatura promedio de 16°C eficiencia al sistema del 77% y en contraflujo de 18°C. una eficiencia del 85%, concluyendo que el diseño es óptimo para el trabajo de laboratorio. [4]

1.2 Justificación

La Ingeniería mecánica es importante en el sector industrial debido a que comprende una gran variedad de disciplinas y áreas de estudio que son de interés en las industrias para plantear propuestas que permitan diseños óptimos que estén encaminados al aprovechamiento energético, para esto la ingeniería recurre al uso de diseño mecánico, transferencia de calor, maquinas térmicas etc. En el sector industrial existen una gran variedad de máquinas térmicas que prácticamente son diseñadas tomando en cuenta los principales mecanismos de transferencia de calor con el propósito de aprovechar la energía térmica de un fluido caliente para elevar la temperatura de otros fluidos con menor temperatura que serán utilizados en otros procesos industriales. [5] [6] [7]

En las industrias las principales maquinas térmicas más empleadas en sus procesos son los intercambiadores de calor, dichos equipos son de gran utilidad cuando se requiere el enfriamiento, condensación y evaporación de fluidos como refrigerantes, agua, gases u otros. Su principal ventaja es que trabajan como maquinas amigables con medio ambiente debido que el calentamiento de los fluidos se da por el aprovechamiento térmico de otro fluido y no mediante la quema de combustible reduciendo de esta manera los gases invernadero y la lluvia acida. [8] [9] [10]

En la actualidad el principal objetivo en las empresas es el aprovechamiento y ahorro energético lo que ha conducido a los ingenieros al diseño de máquinas térmicas con mayor rendimiento térmico, así surge la necesidad de que los estudiantes de ingeniería mecánica posean conocimientos sólidos sobre las distintas maquinas térmicas, pero en especial

sobre los intercambiadores de calor de tubos y coraza ya que estos son los más empleados en procesos industriales petroquímicos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de intercambiador de calor de coraza y tubos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer parámetros de diseño térmicos y mecánicos.
- Selección de materiales y accesorios según la disponibilidad del mercado.
- Diseñar el prototipo de acuerdo con los parámetros establecidos.
- Modelar en 3D el prototipo de intercambiador de calor
- Construir el prototipo de acuerdo con el diseño y los planos.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo construido.
- Especificar recomendaciones de operación y mantenimiento para el intercambiador de calor.

1.4 Fundamentación Teórica

1.4.1 Generalidades

Dentro de la transferencia de calor, los principales equipos son los intercambiadores de calor, las calderas y los condensadores, todos estos equipos están diseñados a base de un estudio de transferencia de calor, que garantice un óptimo funcionamiento de los equipos y su vida útil siendo de mucha importancia para el desarrollo empresarial [11].

Los intercambiadores de calor se pueden clasificar en función del flujo, así se tiene: de flujo paralelo; contraflujo y flujo cruzado. En cuanto a la configuración, existe: de tubo y carcasa, de paso simple, de múltiples pasos.[11]y [14].

1.5 Transferencia de energía

Es el intercambio de energía entre dos cuerpos que se encuentran a diferente temperatura y esta alcanza el equilibrio térmico cuando ambos están a la misma temperatura [10].

Existe tres mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. [8]

1.5.1 Trasterferencia por conducción

Se produce por el contacto directo entre dos cuerpos, pero sin intercambio de partícula o material, en donde el calor fluye desde el cuerpo más caliente hacia el más frío [11].

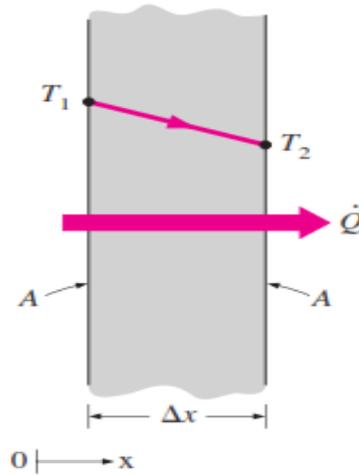


Figura 1. 1 Trasterferencia de Calor por Conducción.

Fuente: [11].

El mecanismo de la conducción en los gases no hay movimiento global de las partículas, pero existe un gradiente de temperatura, donde el gas ocupa todo el espacio de una superficie como se muestra en la figura 1.2. en donde ocurre el choque de las moléculas y se produce la trasterferencia de energía desde las energías más energéticas a las menos energéticas. En los líquidos ocurre casi lo mismo con la diferencia que sus moléculas están menos espaciadas y las interacciones son más fuertes y frecuentes. [11] y [14]

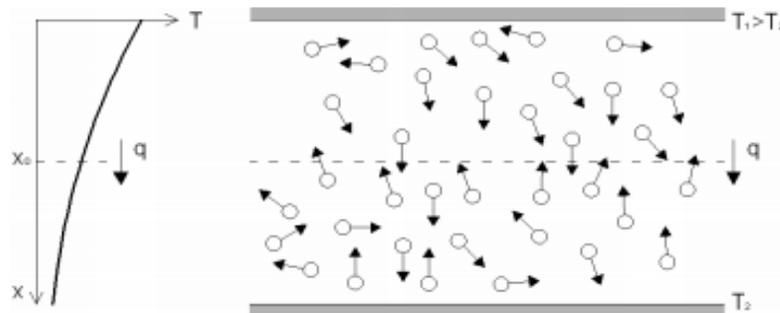


Figura 1. 2 Asociación de Trasterferencia de Calor por Conducción.

Fuente: [8].

1.6 Tráferencia de calor con Convección

Se produce entre un cuerpo o superficie s3lido y el fluido adyacente, el cual puede estar en movimiento o reposo.

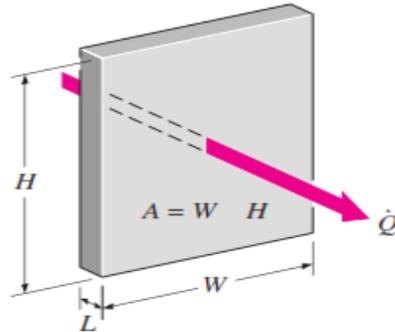


Figura 1. 3 Tráferencia de Calor por Convección.

Fuente: [10]

En la tráferencia de calor por convección, conocer el coeficiente de tráferencia de calor “**h**” es importante, y se define como la velocidad de tráferencia de calor entre la superficie s3lida y un fluido por unidad de superficie, y depende mucho de las propiedades físicas del fluido [6] y [13]

$$H_A = hA(T_A - T)$$

Ec. (1)

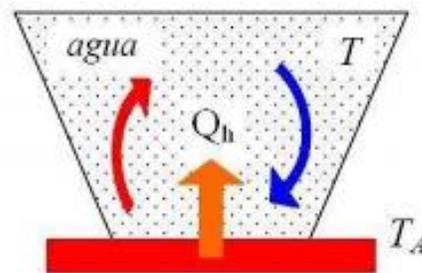


Figura 1. 4 Proceso de convección.

Fuente: [7].

1.7 Flujo a través de banco de tubos

La tráferencia de calor en un banco de tubos de flujo cruzado es muy usada en muchas aplicaciones industriales, donde el fluido circula dentro de los tubos, mientras que un

segundo fluido circula sobre ellos. Los tubos pueden estar de forma escalonada o alineada en la dirección de la velocidad de fluido [10] y [17].

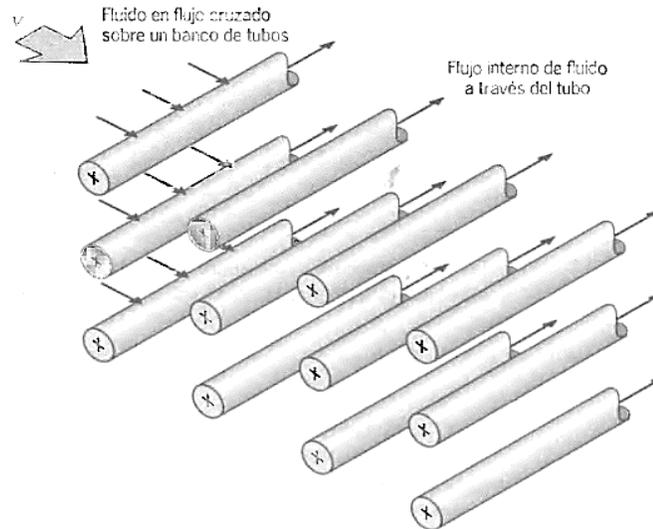


Figura 1. 5 Esquema de un banco de tubos en flujo cruzado

Fuente: [17]

Tabla 1. 1 Correlaciones de Grimson en un banco de tubos

S_L/D	S_T/D							
	1.25		1.5		2.0		3.0	
	C_1	m	C_1	m	C_1	m	C_1	m
Alineado								
1.25	0.348	0.592	0.275	0.608	0.100	0.704	0.0633	0.752
1.50	0.367	0.586	0.250	0.620	0.101	0.702	0.0678	0.744
2.00	0.418	0.570	0.299	0.602	0.229	0.632	0.198	0.648
3.00	0.290	0.601	0.357	0.584	0.374	0.581	0.286	0.608
Escalonado								
0.600	—	—	—	—	—	—	0.213	0.636
0.900	—	—	—	—	0.446	0.571	0.401	0.581
1.000	—	—	0.497	0.558	—	—	—	—
1.125	—	—	—	—	0.478	0.565	0.518	0.560
1.250	0.518	0.556	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
1.500	0.451	0.568	0.460	0.562	0.452	0.568	0.488	0.568
2.000	0.404	0.572	0.416	0.568	0.482	0.556	0.449	0.570
3.000	0.310	0.592	0.356	0.580	0.440	0.562	0.428	0.574

Fuente: [17]

1.8 Tipos intercambiador acuerdo a la norma TEMA

El diseño de un intercambiador, se realiza de acuerdo con los estándares de la norma TEMA (Tubular Exchange Manufacturers Association), que definen tres estándares para la construcción mecánica, los que especifican diseño, fabricación y materiales a utilizar en los intercambiadores de tubo y carcasa, estos son: [15].

Clase R: Aplicada en la industria del petróleo y procesos relacionados.

Clase C: Utilizada en procesos comerciales.

Clase B: Esta es muy utilizada para los procesos químicos.

Existe otra clasificación de acuerdo a su construcción mecánica, y se clasifican en:

- De cabeza fija.
- Tubos en forma de U.
- De cabezal flotante.

De cabezal fija

Su principal característica es que tiene 2 placas de tubos soldadas a la carcasa, los tubos interiores se pueden limpiar mecánicamente después de remover la tapa del canal, y se pueden utilizar para altas presiones o fluidos tóxicos. En la figura 1.6 se puede visualizar este tipo de intercambiador [15] y [20].

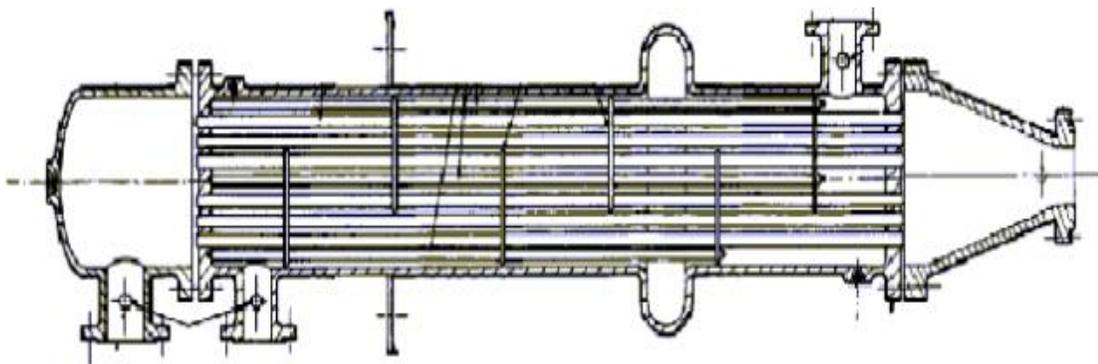


Figura 1. 6 Intercambiador de Calor de coraza fija

Fuente: [15].

Tubos en forma de U

Estos equipos tienen sólo una placa o espejo donde se insertan los tubos en forma de U, el interior de estos se limpia químicamente por su alta complejidad, además es recomendable que por los tubos circulen fluidos limpios, y los fluidos sucios lo hagan por la carcasa. Los tubos en U suelen ser muy usados en aplicaciones donde se manejan altas presiones. En la figura 1.7, se muestra un intercambiador de tubos en forma de U.

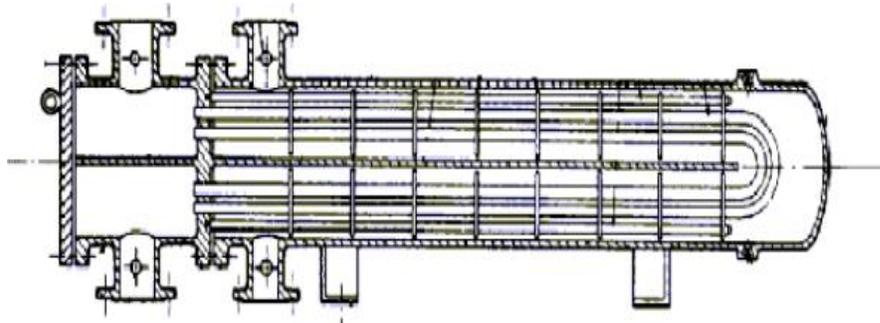


Figura 1. 7 Intercambiador de calor con tubos en forma de U

Fuente: [15]

De cabezal flotante

Se caracterizan por que tienen una hoja de tubos fija, mientras que la otra flota libremente permitiendo el movimiento entre la carcasa y los tubos. [7]

Según la norma TEMA existen cuatro tipos de cabezales flotantes: TEMA S, TEMA T, TEMA W y TEMA P, que sólo difieren en el diseño del cabezal. En Las figuras 1.8, 1.9 y 1.10 se muestran los diferentes tipos de intercambiadores de cabezal flotante. [9]

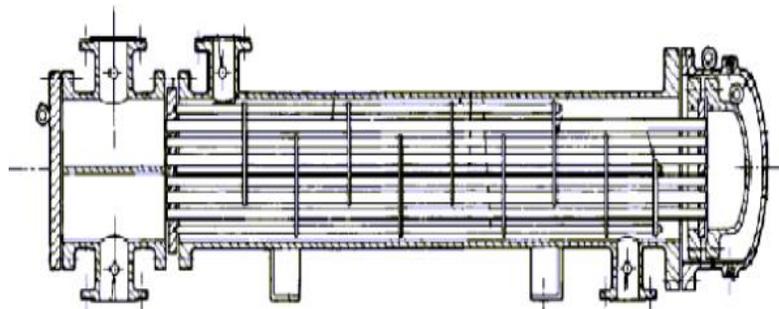


Figura 1. 8 Intercambiador de calor de cabeza flotante tipo AES

Fuente: [15].

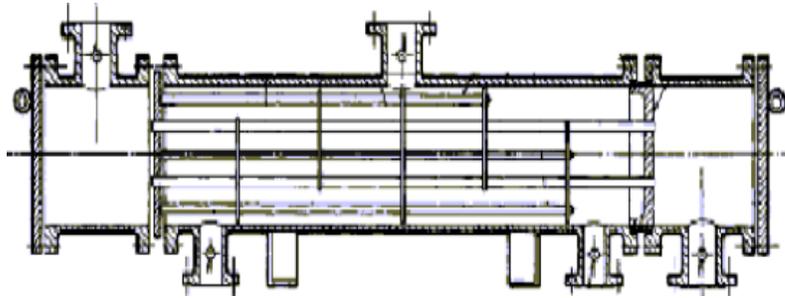


Figura 1. 9 Intercambiador de calor de cabeza flotante tipo AJW

Fuente: [15].



Figura 1. 10 Tubo de un intercambiador de calor

Fuente: [19]

De acuerdo al tipo de flujo

Intercambiadores de calor de Flujo cruzado

Son equipos donde uno de los fluidos fluye en forma perpendicular al otro fluido, es muy común usarlo cuando uno de los fluidos presenta cambio de fase, ya que es importante condensar grandes cantidades de vapor de agua. [11]

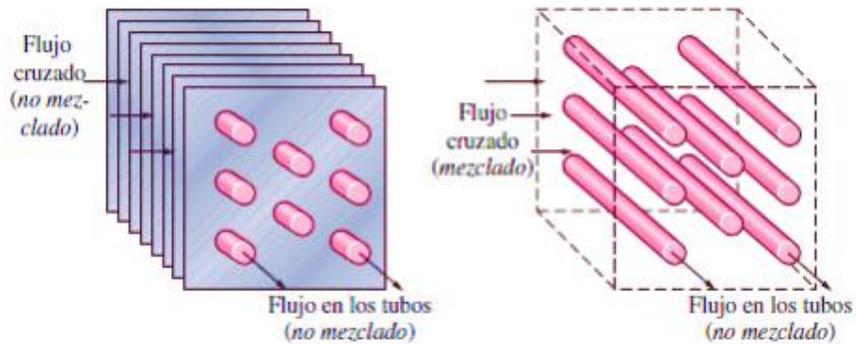


Figura 1. 11 Flujo Cruzado

Fuente: [11].

De paso simple o paso múltiple

Se denomina paso múltiple cuando los fluidos transfieren calor de uno a otro por más de una oportunidad y tienen mejor desempeño y una mayor transferencia de calor a diferencia de los de paso simple; y en caso de ceder calor en una sola ocasión se denomina paso simple. tienen mejor desempeño y una mayor transferencia de calor a diferencia de los de paso simple.

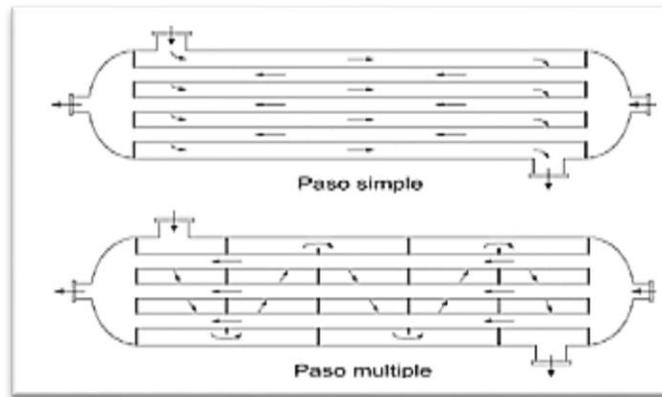


Figura 1. 12 Intercambiadores de paso simple y múltiple

Fuente: [19]

1.9 Partes de un intercambiador de calor

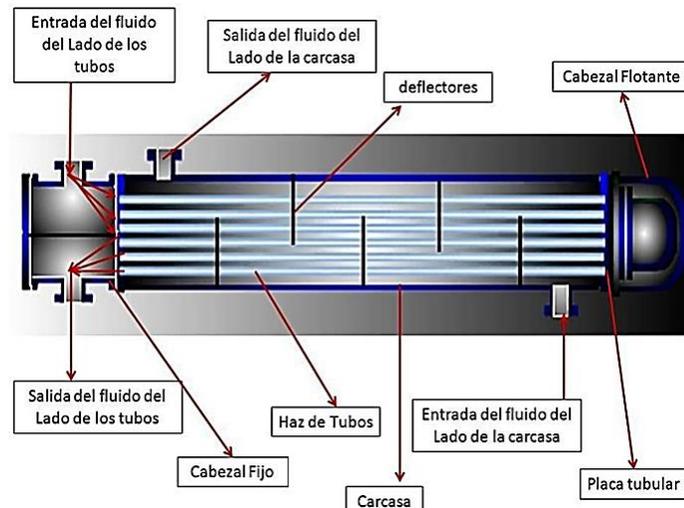


Figura 1. 13 Partes de un intercambiador de calor

Fuente: [7]

1.10 Análisis Térmico

1.10.1 Número de Nusselt

Es un número adimensional, que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie y un fluido, y es un caso particular de la conducción.

$$N_u = 0.023R_e^{\frac{4}{5}}.P_r^{0.4} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

R_e = Número de Reynold

P_r = Número de Prandtl

1.10.2 Número de Prandtl

El número de Prandtl (Pr), se define como un número adimensional que es inversamente proporcional entre la velocidad de difusión de la cantidad de momento y la difusividad térmica, y se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_r = \frac{\text{Difusividad molecular de la cantidad de movimiento}}{\text{Difusividad molecular de calor}} = \frac{u_{cp}}{k} = \frac{v}{\alpha} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

V : es la viscosidad cinemática.

α : es la difusividad térmica.

C_p : es la capacidad calorífica a presión constante.

μ : es la viscosidad dinámica

k : es la conductividad térmica.

1.10.3 Número de Reynolds

Es una cantidad adimensional y nos ayuda a predecir si una condición de flujo es laminar o turbulento[13].

$$R_e = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza viscosa}} = \frac{4 \cdot m_a}{\pi \cdot D_{ti} \cdot \eta} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

\dot{m}_a : Flujo másico del agua

η = es la viscosidad dinámica del fluido.

D: diámetro interno de la tubería

Área mínima de transferencia de calor

Es el área total disponible para los dos fluidos.

$$A_{req} = \frac{Q_a}{U_e * f * \Delta T_m} \quad \text{Ec. (5)}$$

A_Q = Área de transferencia de calor

U = Coeficiente global de transferencia de calor

f = Factor de corrección

ΔT_m = Diferencia de Temperatura

1.10.4 Flujo másico

Se puede definir al flujo másico como una cantidad de masa que fluye sobre un área transversal por unidad de tiempo

$$\dot{m}_a = Q_a * \delta \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico

ρ = Densidad del fluido

Q_a = Caudal

Factor de corrección

$$P = \frac{T_{v2} - T_{v1}}{T_{a1} - T_{v1}} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

P= Factor de corrección

T_{v2} =Temperatura de salida del vapor

T_{v1} = Temperatura entrada del vapor

T_{a1} = Temperatura entrada del agua

Longitud de la tubería de cobre

$$\pi * D_{ti} * L_t = A_{req} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

L_t = Longitud de la tubería

D_{ti} = Diámetro interno del tubo

A_{req} = Área requerida

1.10.5 Eficiencia térmica

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

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

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

Delta de temperatura

Es la diferencia entre la temperatura de entrada y salida del intercambiador de calor, y es importante porque nos permite medir la eficiencia del intercambiador del calor.

$$\Delta T_i = T_{i \text{ salida}} - T_{i \text{ entrada}} \quad \text{Ec. (10)}$$

Velocidad de transferencia de calor

Se define como el producto entre el flujo másico, el calor específico del agua y la diferencia de temperatura del intercambiador de calor.

$$q_i = \dot{m}_i * C_p * \Delta T_i \quad \text{Ec. (11)}$$

Cálculo de velocidad de transferencia de calor real

$$\dot{q}_{\text{real}} = C_a (T_{a,\text{sal}} - T_{a,\text{ent}}) \quad \text{Ec. (12)}$$

Diferencia de temperatura media logarítmica

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad \text{Ec. (13)}$$

Cálculo de la Unidades de transferencia de calor NTU

Es usado en el cálculo de intercambiadores de calor, nos ayuda a determinar las temperaturas finales de los fluidos que circulan por el equipo.

$$NTU = \frac{UA_{\text{req}}}{C_{\text{min}}} \quad \text{Ec. (14)}$$

1.10.6 Definiciones de longitud de tubos

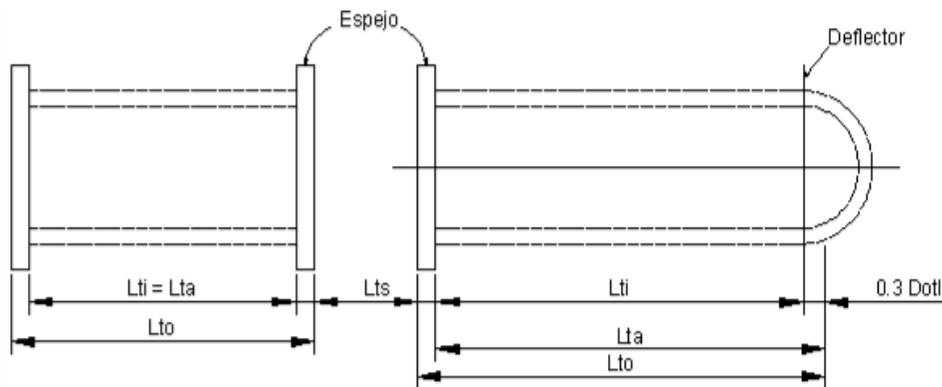


Figura 1. 14 Longitud del tubo

Fuente: [13]

Espacio entre deflectores centrales L_{bc} :

Permite tener una distribución uniforme. Según la norma TEMA la más pequeña separación y aceptable es:

$L_{bc,min} = 0,2D_s$, pero no menor a 50 mm, la separación máxima permisible no debe superar el diámetro de la coraza, además según la norma TEMA este valor depende del material (acero y sus Aleaciones) y aleaciones de cobre y aluminio.

Para D_t (19 – 51)mm

$$L_{bmax} = 52D_t + 532 \text{ (mm)} \tag{Ec. (15)}$$

Para D_t (6 – 19)mm

$$L_{bmax} = 68D_t + 228 \text{ (mm)} \tag{Ec. (16)}$$

Paso de los tubos L_{tp} (mm)

Para determinar el área del flujo de trabajo, la siguiente relación es útil para el diseño:

$$1,25 < L_{tp} / D_t < 1,5$$

Tabla 1. 2 Dimensiones recomendadas para el diseño pasos por tubos L_{tp}

Tube OD		Pitch (L_{tp})		
in	mm	in	mm	Pitch ratio
0.250	6.350	0.312	7.938	1.250
		0.375	9.525	1.500
0.375	0.525	0.500	12.700	1.330
		0.531	13.494	1.420
0.500	12.700	0.625	15.875	1.250
		0.656	16.669	1.310
		0.688	17.462	1.380
0.625	15.875	0.781	19.844	1.250
		0.812	20.638	1.300
		0.875	22.225	1.400
0.750	19.050	0.938	12.812	1.250
		1.000	25.400	1.330
		1.062	26.988	1.420
		1.125	28.575	1.500
1.000	25.400	1.250	31.750	1.250
		1.312	33.338	1.312
		1.375	34.925	1.375
1.250	31.750	1.562	39.688	1.250
1.500	38.100	1.875	47.625	1.250
2.000	50.800	2.500	63.500	1.250

Fuente: [21]

L_{ti} (mm), es la distancia total entre deflectores en los intercambiadores de calor de coraza y tubos en U es la distancia entre el espejo y el ultimo deflector.

$$L_{ts} = 0,5 L D_s \sqrt{\frac{P}{\sigma_{ts}}} \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde:

P: presión de funcionamiento en la carcasa (psi)

σ_{ts} : resistencia admisible del material a temperatura de funcionamiento ($\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$)

L_{ti} = hacer referencia a los tipos de haces, para tubos en U

$$L_{ti} = L_{to} - L_{ts} \quad \text{Ec. (18)}$$

L_{ta} (mm)= Longitud del tubo efectivo, su fórmula se expresa de la siguiente manera para haces de tubos en forma de U

$$L_{ta} = L_{ti} + 0,3 D_{otl} \quad \text{Ec. (21)}$$

La longitud total en tubos en U

$$L_{tt} = L_{ta} + L_{ts} \quad \text{Ec. (19)}$$

Espacio diametral entre la coraza y del deflector

Proporciona un paso para el flujo entre la coraza y el deflector, lo cual afecta la eficiencia de transferencia de calor.

$$L_{sb} = 1,6 + 0,004 D_s \text{ (mm)} \quad \text{Ec. (20)}$$

La norma TEMA por lo general añade un espacio libre de 1,5 mm por lo que la ecuación resulta:

$$L_{sb} = 3,1 + 0,004 D_s \text{ (mm)} \quad \text{Ec. (21)}$$

Espacio entre la coraza y el haz de tubos

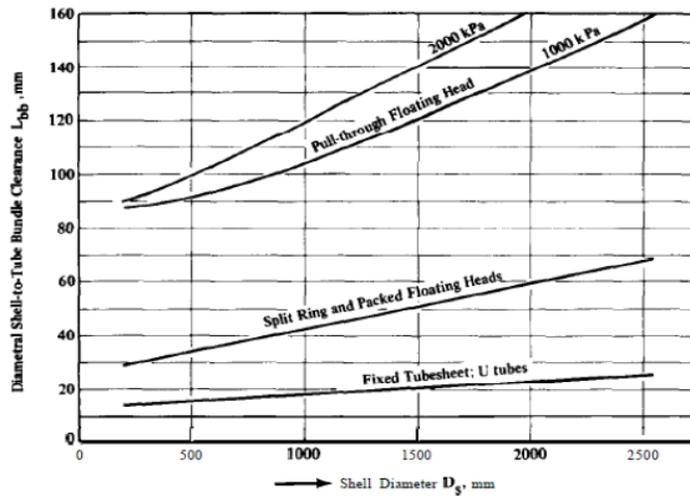


Figura 1. 15 Espacio entre la coraza y el haz de tubos

Fuente: [21]

1.10.7 Número de pasos

En un intercambiador de calor de coraza y tubos en U debe tener un número par de pasos. Al igual que en los intercambiadores de cabeza flotante y anillo de apoyo tipo S y sin contra brida tipo T suelen ser un número par.

La norma TEMA en base al diámetro interno de la coraza.

Tabla 1. 3 Número de pasos en base al diámetro de coraza

D_s (mm)	200	400-800	800-1 200	>1 200
$N_{tp,max}$	2	4-6	6-8	8-10

Fuente: [15]

1.11 Análisis Mecánico

El diseño mecánico de los intercambiadores de calor está regido mediante normas y códigos, en nuestro caso vamos a emplear la norma ASME, utilizado para el diseño de

Calderas y recipientes a Presión. Es importante el cálculo de los espesores de la coraza, espejos y el diseño de los tubos.

1.11.1 Diseño de la coraza

Cuerpo cilíndrico de una sola pieza, en su interior contiene los haces de tubos y a través de los cuales transita el fluido que baña el exterior del haz de tubos.

En la figura 1.16 la norma TEMA proporciona la designación de corazas y cabezales como alternativas para el diseño:

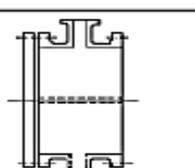
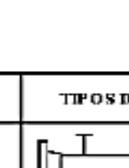
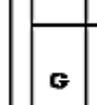
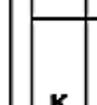
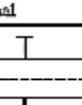
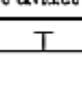
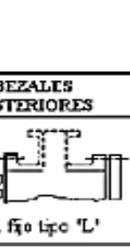
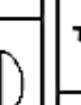
CABEZALES ANTERIORES: ESTACIONARIOS O FLIJS		TIPOS DE CARCAZAS		CABEZALES POSTERIORES	
A	 Canal y tope removibles	E	 Un solo paso	L	 Cabezal fijo tipo 'L'
B	 Tipo sombrero	F	 Dos pasos con deflector longitudinal	M	 Cabezal fijo tipo 'M'
C	 Tapa removible Canal fijo a la placa de tubos	G	 Flujo distribuido	N	 Cabezal fijo tipo 'N'
N	 Tapa removible Canal fijo a la carcasa	H	 Doble flujo distribuido	P	 Flotante interno
D	 Especial para altas presiones	J	 Flujo dividido	S	 Anillos divididos
		K	 Retenedor tipo kettle	T	 Tracción continua
		X	 Flujo cruzado	U	 Tubos en 'U'
				W	 Fijante sellado internamente

Figura 1. 16 Asignación nombre coraza según la norma TEMA

Fuente: [15].

La coraza tipo “E” y la coraza de dos pasos tipo “F”, es más usada cuando existe un cruce de temperaturas y el usuario pretenda lograr una contracorriente entre los fluidos de tubos y coraza. La coraza tipo “G, se utiliza bajo las mismas condiciones y parámetros que la coraza tipo “F”, su mayor aplicación es para la condensación de vapores. En cuanto a la coraza tipo “E”, sus principales ventajas es que el condensado se mantiene por un tiempo más prolongado cuando se encuentra en contacto con los tubos. La coraza tipo “H”, se utiliza para reducir la caída de presión. La coraza tipo “K” se recomienda cuando se requiere generar vapor y, por lo tanto, es importante mantener una parte líquida del fluido y dejar un espacio por encima del nivel del líquido con el fin de que el vapor producido pueda viajar a una velocidad muy baja dando como resultado que las gotas de líquido que arrastra tengan la oportunidad de caer. [20] y [21].

Tabla 1. 4 Recomendaciones según tema del diámetro de la coraza

Nominal Shell Diameter	Minimum Thickness				
	Carbon Steel			Alloy *	
	Pipe	Plate			
6 (152)	SCH. 40			1/8 (3.2)	
8 - 12 (203-305)	SCH. 30			1/8 (3.2)	
13 - 23 (330-584)	SCH. 20	5/16 (7.9)		1/8 (3.2)	
24-29 (610-737)		5/16 (7.9)		3/16 (4.8)	
30-39 (762-991)		3/8 (9.5)		1/4 (6.4)	
40-60 (1016-1524)		7/16 (11.1)		1/4 (6.4)	
61-80 (1549-2032)		1/2 (12.7)		5/16 (7.9)	
81-100 (2057-2540)		1/2 (12.7)		3/8 (9.5)	

*Schedule 5S is permissible for 6 inch (152 mm) and 8 inch (203 mm) shell diameters.

Fuente: [15]

Cálculo de espesor:

Bajo condiciones de presión interna: Se debe calcular el espesor mínimo t_s de la coraza, la cual está sometida a una presión de diseño P_d .

Esfuerzo circunferencial: se da cuando el espesor de la pared no sea mayor a la mitad del radio interno o cuando P no sea mayor a 0.385SE.

$$t_s = \frac{RP_d}{SE-0.6P} \quad \text{Ec. (22)}$$

Esfuerzo longitudinal: Se calcula cuando P no exceda de 1.15SE

$$t_s = \frac{RP_d}{2SE-0.4P} \quad \text{Ec. (23)}$$

Donde:

P_d : Presión interna de diseño (PSI).

R: Radio interno de la coraza (mm).

S: Esfuerzo disponible máximo del material de la coraza (PSI).

E: Se define como la eficiencia de la junta, para este caso $E=1$, tubo sin costura.

1.11.2 Diseño de los tubos

Son los elementos más importantes de un intercambiador, el espesor de estos debe ser seleccionado en base a presión interna y externa, al costo, resistencia corrosión y presión que puede soportar. [2]

Arreglos típicos en un banco de tubos

Un parámetro importante que se debe considerar es el espaciado y el tipo de configuración de los tubos, ya que estos no pueden situarse muy cerca entre sí, esto ocasiona que la estructuralmente del cabezal de tubos se debilite. Entre las configuraciones encontramos: de tipo triangular o cuadrada, a continuación, se muestra las configuraciones recomendadas por la norma TEMA. [15]

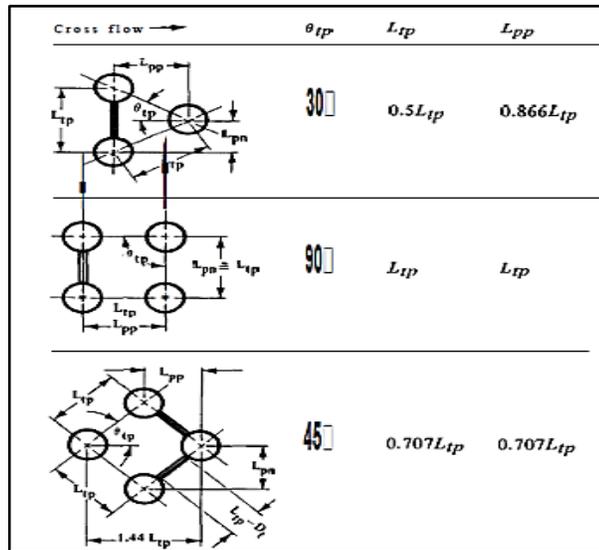


Figura 1. 17 Distribución básica d los tubos

Fuente: [14]

La mejor configuración en cuanto al ángulo de inclinación se sugiere el trabajar con un ángulo de 30° y 60°, los que permiten acomodar un 15% más de tubos que los otros, excepto cuando los tubos requieren de limpieza externa y por medios mecánicos. La norma TEMA aclara que cuando un intercambiador que tiene un factor de ensuciamiento inferiores a 0,00035 m². °C/W recomienda que los tubos tengan un arreglo triangular de 30°. [14]

Longitud: El diámetro y la longitud debe ser coherente, depende mucho del lugar de facilidad de espacio, operación, manipulación, que faciliten su manipulación y limpieza.

Distancia entre tubos: Según la norma TEMA especifica que el paso no debe ser inferior a 1.25D exterior de los mismos; y cuando el intercambiador está sometido a ensuciamiento extremo recomienda un espacio minio de 6.35 mm entre los tubos. [15]

Cálculo de espesor:

Esfuerzo tangencial:

$$t_t = \frac{RP_d}{SE-0.6P} \quad \text{Ec. (24)}$$

Esfuerzo longitudinal

$$t_s = \frac{RP_d}{2SE-0.4P} \quad \text{Ec. (25)}$$

1.11.3 Diseño de las Tapas

Las tapas de un intercambiador de calor es un elemento importante y son empleados en los cabezales, estos van dispuestos en la entrada y salida del intercambiador y tiene por objetivo proporcionar el cierre de los extremos del intercambiador de calor, estos pueden ser de dos tipos, abombadas y planas, estas se utilizan de acuerdo al servicio.

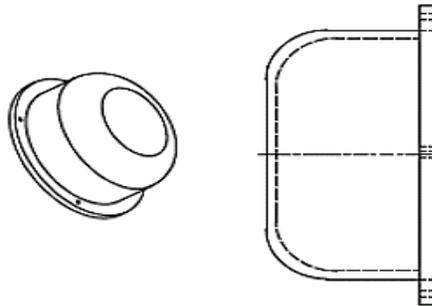


Figura 1. 18 Tapas de un intercambiador de coraza y tubos

Fuente: [14]

En tapa Torisférica, el cálculo de su espesor mínimo se hace mediante la ecuación:

El diseño de tapas se hace se acuerdo a la norma ASME, sección VIII, división I.

$$t_h = \frac{0.885P \times R}{S \times E - 0.1 \times P} \quad \text{Ec. (26)}$$

Donde:

t_h :Espesor de la tapa (mm).

P_d :Presión de diseño en la tapa (PSI).

R: Radio interior del eje mayor de una cabeza elipsoidal (mm).

S: Esfuerzo disponible máximo del material de la tapa (PSI).

E: Eficiencia de la junta.

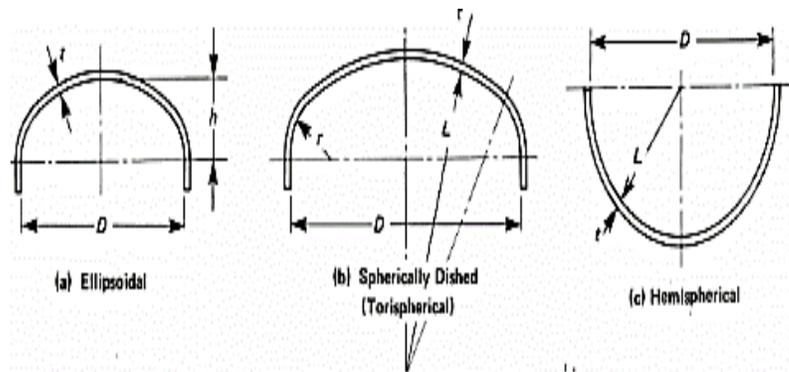


Figura 1. 19 Tapas Abombonadas

Fuente: [9]

1.11.4 Diseño de los espejos

Permiten el soporte de los tubos, figura 1.20, estas placas deben además resistir el ataque corrosivo [14]

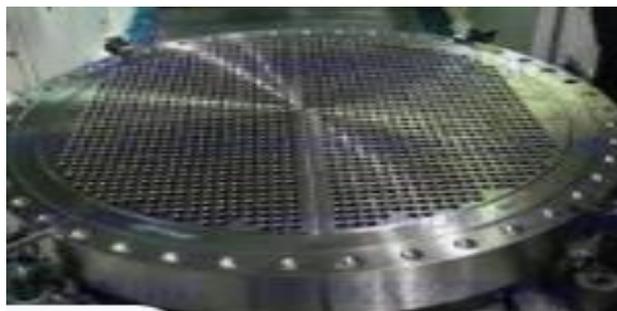


Figura 1. 20 Placas de tubos de un intercambiador de calor

Fuente: [21].

Tabla 1. 5 Espesores mínimos recomendados ASME espejos

Diámetro interior de la coraza	Espesor mínimo
Menores a 42 pulgadas	3/8 pulgadas
De 42 a 54 pulgadas	7/16 pulgadas
De 54 a 72 pulgadas	1/2 pulgadas
Mayores a 72 pulgadas	9/16 pulgadas

Fuente: [5]

Se considera la norma TEMA, la cual recomienda que por ningún motivo los espesores deben ser menores a $\frac{3}{4}$ partes del diámetro exterior de los tubos en intercambiadores B y C y de al menos de igual diámetro interno para intercambiadores en Clase R.

Espesor por flexión

$$t_{ts} = \frac{FG}{3} \sqrt{\frac{P_d}{nS}} \quad \text{Ec. (27)}$$

Cálculo de espesores cortante:

$$t_{ts} = \frac{0.31D_L * P_d}{(1 - \frac{d_t}{P}) S} \quad \text{Ec. (28)}$$

Donde:

t_{ts} : Espesor efectivo del espejo (plg).

D_L : = Diámetro equivalente del espejo (plg).

S = Esfuerzo máximo permisible del material a la temperatura de diseño (lb/plg²)

P = Mayor de las presiones de diseño del lado de tubos o de la coraza (lb/plg²)

F = Valor constante en base al tipo de espejo. El valor de F oscila entre 0.8 y 1.25.

G : Diámetro medio del empaque o la coraza (plg).

η : Constante que depende del tipo de arreglo.

L_{tp} : Paso de tubos (plg).

d_t : Diámetro exterior de tubos (plg).

C : Perímetro de los tubos periféricos del espejo.

A : Superficie del área

1.11.5 Barras de soporte

Permiten que el haz de tubos y los deflectores se encuentren en posición correcta por un número de barras circulares, que en nuestro caso se optó por una varilla metálica circular de 5.5 mm de diámetro que se encuentra soldados en todo el baffle, lo que garantiza la estabilidad y que los baffles se mantengan fijos a la distancia establecida en el diseño.

Tabla 1. 6 Número de barras de soporte

TABLE CB-4.71
TIE ROD STANDARDS
Dimensions Inches (mm)

Nominal Shell Diameter	Tie Rod Diameter	Minimum Number of Tie Rods
6-15 (152-381)	1/4 (6.4)	4
16-27 (406-686)	3/8 (9.5)	6
28-33 (711-838)	1/2 (12.7)	6
34-48 (864-1219)	1/2 (12.7)	8
49-60 (1245-1524)	1/2 (12.7)	10
61-100 (1549-2540)	5/8 (15.9)	12

Fuente: [15]

1.11.6 Placa divisora de paso

Los cabezales de los intercambiadores de calor deben estar provistos de una placa de separación que divide a esta en compartimientos iguales y están soldadas al cabezal.

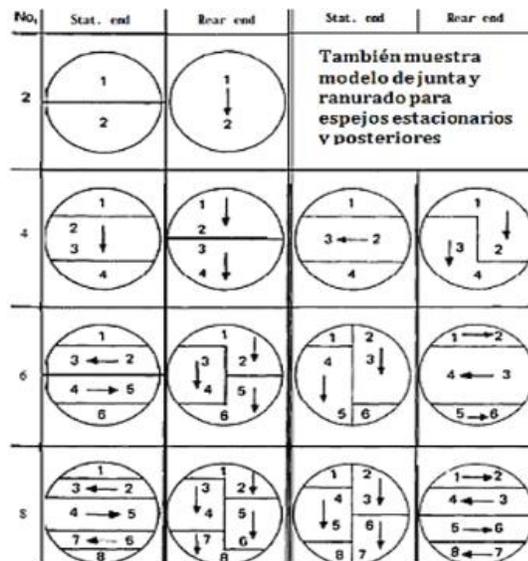


Figura 1. 21 Disposición típica de la placa divisora de paso

Fuente: [7]

Tabla 1. 7 Espesor de placa divisora de paso

NOMINAL PASS PARTITION PLATE THICKNESS
Dimensions are in Inches (mm)

Nominal Size	Carbon Steel	Alloy Material
Less than 24 (610)	3/8 (9.5)	1/4 (6.4)
24 to 60 (610-1524)	1/2 (12.7)	3/8 (9.5)
61 to 100 (1549-2540)	5/8 (15.9)	1/2 (12.7)

Fuente: [15]

1.11.7 Deflectores o Baffles

Los Baffles o visores de paso, común mente tiene un arreglo aleatorio y deben ajustarse de forma precisa en los surcos entre la placa de tubos y el cabezal con el objetivo de minimizar la posibilidad de derrame del líquido entre los deflectores, dando como consecuencia un deterioro en el funcionamiento del intercambiador. Estos baffles pueden ser removibles o soldados [21].

Los baffles deben cumplir las siguientes funciones: dar soporte de los tubos mediante la distancia fijada por el paso a lo largo de intercambiador de calor, y conducen el fluido que circula por la carcasa, esto hace que los fluidos circulen de forma transversal y longitudinal.[11]

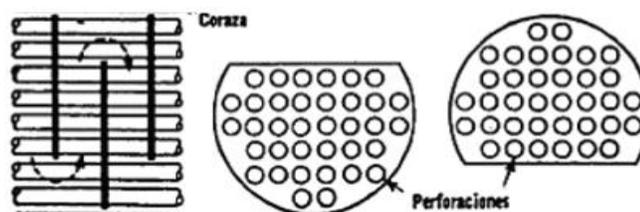


Figura 1. 22 Deflectores de un intercambiador de calor de coraza y tubos

Fuente: [14]

Porcentaje de deflector segmentado Bc (%)

La referencia [23], establece que el corte o ventana para un intercambiador de calor está comprendido entre 15 a 45%. En este proyecto el corte está a 35% lo que nos garantiza un buen funcionamiento del equipo. Además, la separación entre baffles varía entre 0,2 y 1

del diámetro de la carcasa, tener pequeños espacios entre baffles nos garantiza tener buenos coeficientes de transferencia de calor, pero aumenta las perdidas por carga.

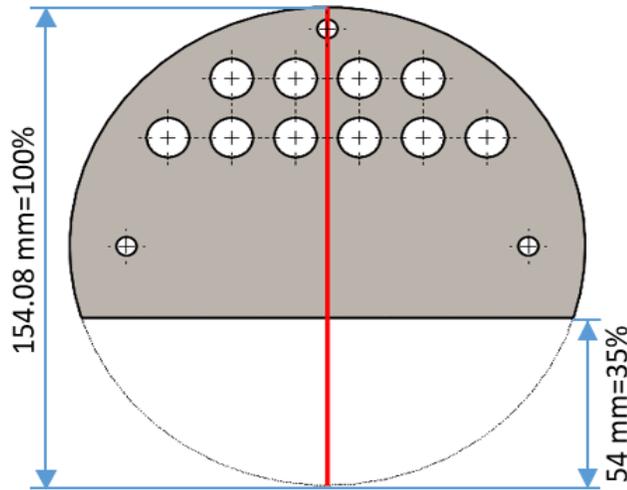


Figura 1. 23 Porcentaje de baffles segmentados

Fuente: [7]

La norma TEMA especifica el espesor mínimo de los baffles, esto está relacionado en función del diámetro y longitud del tubo.

Tabla 1. 8 Espesores mínimos de 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)	5/16 (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 (1549-2540)	3/8 (9.5)	1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	3/4 (19.1)	3/4 (19.1)

Fuente: [15]

1.11.8 Empaques

Los empaques dentro del diseño de los intercambiadores de calor deben tener una buena plasticidad, esto permitirá llenar los espacios huecos existentes, con el fin de evitar cualquier fuga de los líquidos que fluyen en el intercambiador de calor. [7]

Tabla 1. 9 Materiales de empaque y Carga máxima permisible

 MATERIALES DE EMPAQUE Y CARAS DE CONTACTO <small>FACTORES DE EMPAQUE (m) PARA CONDICIONES DE OPERACION Y ESFUERZO MAXIMO DE ASENTAMIENTO DE DISEÑO (Y) ESTA TABLA PROPORCIONA UNA LISTA DE MATERIALES PARA EMPAQUES COMUNJAMENTE USADOS Y LAS CARAS EN CONTACTO CON VALORES DE DISEÑO SUGERIDO PARA (m) Y (Y) QUE HAN SIDO GENERALMENTE PRUBADO EN FORMA SATISFACTORIA. SERVICIO ACTUAL USADO ANCHO EFECTIVO (b) DE SELLO DEL EMPAQUE DE LA TABLA No. 2. LOS VALORES DE ESFUERZO, OTROS DETALLES DADOS EN ESTA TABLA SON SUGERIDOS Y NO OBLIGATORIOS.</small>		NORMAS FIGURA No. III.18					
		MATERIAL DEL EMPAQUE	FACTOR DE EMPAQUE m	ESFUERZO DE Y	FORMA Y TIPO	REFERIDO A LA FORMA DE CARA	TABLA 2 USE COLUMNA
HULE SIN TEJER O UN ALTO PORCENTAJE DE FIBRA ASBESTO	CON DUREZA SHORE MENOR DE 75	0.50	0				
	CON DUREZA SHORE 75 Y MAYOR	1.00	200				
ASBESTO CON UN LIGADO ACEPTABLE PARA LAS CONDICIONES DE OPERACION	1/8 ESPESOR	2.00	1600				
	1/16 ESPESOR	2.75	3700				
	1/32 ESPESOR	3.50	6500				
HULE CON TEJIDO DE ALGODON INSERTADO		1.25	400		1(a,b,c,d) 4,5	II	
HULE CON TEJIDO DE ASBESTO INSERTADO CON O SIN REFUERZO DE ALAMBRE	3 JUEGOS	2.26	2200				
	2 JUEGOS	2.50	2900				
	1 JUEGO	2.75	3700				
FIBRAS VEGETALES		1.75	1100				
METAL DEVANADO ESPIRAL CON ACERO AL CARBON ASBESTO ACERO INOX. O MONEL		2.50	2900				
		3.00	4500				
METAL CORRUGADO CON ASBESTO INSERTADO O METAL CORRUGADO CON ALMA DE ACERO	ALUMINO SUAVE	2.50	2900				1(a,b)
	COBRE SUAVE BRONCE	2.75	3700				
	HIERRO O ACERO SUAVE	3.00	4500				
	MONEL O 4-6 % Cr.	3.25	5500				
	ACEROS INOXIDABLES	3.50	6500				
METAL CORRUGADO CON:	ALUMINO SUAVE	2.75	3700			1(a,b,c,d)	
	COBRE SUAVE BRONCE	3.00	4500				
	HIERRO O ACERO SUAVE	3.25	5500				
	MONEL O 4-6 % Cr.	3.50	6500				
	ACEROS INOXIDABLES	3.75	7800				
METAL PLANO CON ALMA DE ASBESTO	ALUMINO SUAVE	3.25	5500			1(a,b,c,d) 2	
	COBRE SUAVE O BRONCE	3.50	6500				
	HIERRO O ACERO SUAVE	3.75	7800				
	MONEL O 4-6 % Cr.	3.50	6500				
	ACEROS INOXIDABLES	3.75	9000				
METAL RANURADO	ALUMINO SUAVE	3.25	5500			1(a,b,c,d) 2,3	
	COBRE SUAVE O BRONCE	3.50	6500				
	HIERRO O ACERO SUAVE	3.75	7600				
	MONEL O 4-6 % Cr.	3.75	9000				
	ACEROS INOXIDABLES	4.25	10100				
METAL SOLIDO DE PLACA	ALUMINO SUAVE	4.00	8800			1(a,b,c,d) 2,3,4,5	
	COBRE SUAVE O BRONCE	4.75	13000				
	HIERRO O ACERO SUAVE	5.50	18000				
	MONEL O 4-6 % Cr.	6.00	21800				
	ACEROS INOXIDABLES	6.50	26000				
JUNTA REDONDA	HIERRO O ACERO SUAVE	5.50	18000			I 6	
	MONEL O 4-6 % Cr.	6.00	21800				
	ACEROS INOXIDABLES	6.50	26000				

Fuente: [19]

La norma TEMA recomienda que el ancho del empaque debe ser de por lo menos 3/8” para diámetros menores de 23” y de 1/2” para diámetros mayores. [15]

1.12 Mantenimiento de intercambiadores de calor

Es un área de la ingeniería que tiene como propósito principal alargar la vida de los equipos y herramientas para garantizar la disponibilidad durante los procesos de

manufactura. La deficiencia de mantenimiento genera pérdidas materiales, económicas y reducción del rendimiento en los equipos por esta razón es necesario que se enfoque en prevenir y corregir fallas, para esto existe varias herramientas que se emplean en las industrias, una de ellas de la matriz AMFE. [1]

1.12.1 Matriz AMFE

Herramienta creada en la industria aeroespacial la cual está destinada a prevenir los posibles fallos de los componentes de un equipo a partir de la identificación los problemas, causas y los distintos efectos que generan durante la operación. Esta matriz está encaminada a la reducir los paros de la maquinaria por medio de la prevención, además nos permite identificar cuáles son los elementos que poseen mayor riesgo de avería y dar una solución inmediata. [1]

1.12.2 Análisis AMFE

Para el análisis de la matriz es indispensable seguir los siguientes pasos:

1. Identifique que vamos a evaluar, ya que la matriz es aplicable para evaluar un proyecto, producto o proceso de manufactura. Nuestro estudio está enfocado a un producto por lo que es necesario que se identifique cada uno de los componentes que posee el intercambiador, luego se procede a la recolección de la información de acuerdo al orden mostrado en la tabla 1.10. [2]

Tabla 1. 10 Información necesaria para la matriz

Información a recolectar	
Identificación (componente):	Puede ser un ensamble completo o elemento.
Función:	Actividad que cumple el componente.
Modo de fallo:	Forma en la que fallara un componente.
Causa:	acción que genera la falla.
Efecto:	Causa que aparece a partir de una falla.

Fuente: [2]

2. Evaluar la frecuencia de fallo, para esto es recomendable partir de datos estadísticos de antiguos mantenimientos, sin embargo, si se cuenta con dicha información será

necesario evaluar de acuerdo a la experiencia, para la valoración de este parámetro se empleará la tabla 1.11. [2]

Tabla 1. 11 valoración de la frecuencia

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos , ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos . Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

Fuente: [2]

3. Valorar la detectabilidad del modo de fallo tomando en cuenta que mientras más difícil sea detectar la falla la valoración tomara un valor alto tal como se muestra en la tabla 1.12. [2]

Tabla 1. 12 Valoración de la detectabilidad de la falla

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente . Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10

Fuente: [2]

4. Evaluar la gravedad del modo de fallo teniendo en cuenta que mientras más severo sea el efecto de la falla del componente mayor será la valoración, para esto se deberá trabajar de acuerdo a la tabla 1.13. [2]

Tabla 1. 13 valoración de la gravedad de la falla

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observaría un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Fuente: [2]

5. Calcular el índice de la prioridad de riesgo (IPR) multiplicando los tres factores valorados anteriormente, si el índice es inferior a 100 no será necesario que se realice una intervención, sin embargo, si sucede lo contrario será necesario aplicar las medidas preventivas.[2]

CAPÍTULO II

2 METODOLOGÍA

Este proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de un intercambiador de coraza y tubos, el cual será una herramienta importante para los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica de Universidad técnica de Ambato.

Para proceder al diseño del intercambiador de calor es importante recopilar todos los datos necesarios. A continuación, se detalla los parámetros iniciales para el diseño:

2.1 Consideraciones iniciales para el diseño del intercambiador de calor

Tabla 2. 1 Características Iniciales del vapor y Agua

Fluido	Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Agua	Temperatura de entrada	T_{a1}	20	$^{\circ}C$
	Temperatura de salida (requerida)	T_{a2}	34	$^{\circ}C$
	Presión de entrada	P_{a1}	27	<i>psi</i>
	Caudal	Q_a	5	<i>l/min</i>
Vapor	Presión de entrada	P_{v1}	60	<i>psi</i>
	Flujo másico	\dot{m}_v	0.2	<i>Kg/h</i>

Fuente: [10]

Tabla 2. 2 Propiedades del agua a temperatura Promedio

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad	Fuente
Temperatura promedio	T_a	27	$^{\circ}C$	Valor calculado
Peso específico	γ	9.776	KN/m^3	Anexo 1
Densidad	δ	996.6	Kg/m^3	
Viscosidad dinámica	η	$8.55 * 10^{-4}$	$Pa * s$	
Viscosidad cinemática	ν	$8.58 * 10^{-7}$	m^2/s	
Conductividad térmica	k_a	0.6102	W/mK	Anexo 2
Calor específico	c_a	4179.2	$J/Kg * K$	
Número de Prandtl	Pr_a	5.852	---	

Fuente: [10]

De acuerdo a las consideraciones planteadas, se tienen las siguientes características del vapor.

Tabla 2. 3 Propiedades del Vapor

Características		Valor	unidad
Volumen Especifico	v_g	14,67	m^3/kg
Entalpia	h_g	2403,1	kJ/kg
Entropía	s_g	8,2287	kJ/kg °K

Fuente: [10]

De acuerdo a las consideraciones planteadas, se tienen las siguientes características del agua.

Tabla 2. 4 Propiedades del Agua

Características		Valor	unidad
Volumen Especifico	v_f	1,0102 $\times 10m^3$	m^3/kg
Entalpia	h_f	173,88	kJ/kg
Entropía	h_g	0,5926	kJ/kg °K

Fuente: [10]

2.2 Materiales del intercambiador de calor

Tabla 2. 5 Materiales del intercambiador de calor

Material	Proveedor	Detalle	Foto
Tubos cédula 40 de 6" para la carcasa Acero A36	Ferre Mas (Quito)	Conducción fluidos y gases.	
Tubos de cobre de 3/8" para el haz de tubos	Ferre Mas (Quito)	Buenos conductores térmicos, resistencia a la corrosión, alta durabilidad.	
Placa de acero de 3 mm A36 para los baffles.	Ferre Mas (Ambato)	Son de composición química simple y es muy fácil de soldar.	
Bridas Slip-on	Ferre Mas (Quito)	Clase 150 lbs	
Asbesto	Calderox Team (Ambato)	Espesor de 2mm	
Pernos, turcas y tornillos	Ferretería solución (Ambato)	Medidas 6 pulgadas	

Boquillas Mecanizadas	Torno (Ambato)	Longitud 3 y 5 cm Diámetro ½ pulgada	
Caps	Ferre Mas	Diámetro 6 pulgadas	
Válvula reguladora de presión	Calderox Team (Ambato)	Permite mantener una presión constante	
Válvula de compuerta	Ferretería Solución (Ambato)	Permite regular el flujo de un fluido canalizado	
Electrodos	Sueldas del valle (Ambato)	6013 y 7018	
Neplos	Ferretería solución	Mediad ½ pulgada	

Válvula de bola	Ferretería solución	De $\frac{1}{4}$ de vuelta, permite la circulación directa en la posición abierta	
Bushing	Ferretería solución	Se utiliza bushing de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ a la salida de las boquillas	

Fuente: [Autores]

2.3 Métodos

2.3.1 Tipos de Investigación

Bibliográfico: La recopilación de datos bibliográficos es importante pues permite obtener información de varias fuentes como son libros, normas, informes, artículos técnicos, los cuales nos proporcionan valiosa información y recomendaciones.

Descriptiva: Se realizó un análisis detallado de los parámetros de diseño, tanto del vapor como del agua a la entrada como de salida, para definir condiciones de operación y dimensiones del intercambiador de calor.

Enfoque:

Cuantitativo: Se manejará valores numéricos para estimar y comprobar datos mediante software, para comparar con los valores calculados teóricamente.

Técnicas

Observación

Esta técnica permite indagar en trabajos realizados anteriormente y catálogos, con el fin de aprovechar la información que será útil.

2.4 Estudio de alternativas

Tiene como objetivo identificar las alternativas más eficientes, mediante la aplicación de criterios de ponderación.

Criterios de selección Tubería

- Conductividad térmica: seleccionar el material adecuado nos ayuda a obtener una alta eficiencia del equipo.
- Disponibilidad en el mercado: facilidad de obtención dentro de la ciudad.
- Costo: menor costo en comparación a otros materiales.
- Entre los materiales que se va a evaluar son cobre, aluminio, hierro las cuales se describen sus características a continuación.

Alternativa I

Cobre

El cobre es un material noble que tiene carteristas como: alta conductividad térmica, resistencia a la corrosión, versatilidad y un aspecto estéticamente agradable, además proporciona ventajas mecánicas importantes en comparación a otros metales como por ejemplo es más maleable y blando.

Tabla 2. 6 propiedades del Cobre

Material	Conductividad Térmica <i>W/m * °C</i>	Densidad <i>g/cm3 a 20°C</i>	Módulo de elasticidad MPas
Cobre (Cu)	400	8,96	41.000

Fuente: [Autores]

Alternativa II

Aluminio

El aluminio es el elemento metálico vas abundante en la corteza terrestre, y a la vez es el más usado dentro de la industria, hoy en día luego de su vida útil es reciclado para nuevos usos.

Tabla 2. 7 Propiedades del Aluminio

Material	Conductividad Térmica <i>W/m * °C</i>	Densidad <i>g/cm3 a 20°C</i>	Módulo de elasticidad MPas
Aluminio (Al)	237	2,70	26,300

Fuente: [Autores]

Alternativa III**Hierro**

Al igual que el aluminio es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, y unos de los elementos más usados dentro de la industria por su facilidad de formar aleaciones con otros materiales; es un metal maleable y blando.

Tabla 2. 8 Propiedad del Hierro

Material	Conductividad Térmica <i>W/m * °C</i>	Densidad <i>g/cm3 a 20°C</i>	Módulo de elasticidad MPas
Hierro (Fe)	82,3	7,87	73000

Fuente: [Autores]

Para seleccionar la mejor alternativa se elige el método factores ponderados.

En la Tabla 2.9 presenta la selección de material para los tubos de valoración de 1-10 puntos para las alternativas, siendo 10 el más factible y 1 el menos viable.

Tabla 2. 9 Criterio de Selección

Factores	Porcentaje	Alternativa I		Alternativa II		Alternativa II	
Conductividad térmica	50	9	4,5	5	2,5	7	3,5
Disponibilidad mercado	30	8	2,4	8	2,4	8	2,4
Costo	20	7	1,4	8	1,6	7	1,4
Total	100		8,3		6,5		7,3

Fuente: [Autores]

Tabla 2. 10 Resultados de la ponderación

Alternativas	Valor
Material para los tubos internos en Cobre	8,3
Material para los tubos internos en Aluminio	6,5
Material para los tubos internos en Hierro	7,3

Fuente: [Autores]

Se optó por una tubería de cobre tipo K por ser un buen conductor de electricidad, es dúctil, resistente a la corrosión y facilita la transferencia de calor, este tubo rígido puede unirse mediante soldadura común o soldadura fuerte con plata o cobre.

Tabla 2. 11 Tipos de tubos de cobre

Código internacional de identificación		Diámetros nominales	Usos y aplicaciones	
Tipo	Color	milímetros (pulg)		
M	Rojo	6 (1/4")	Casas de interés social Casas de interés medio Edificios habitacionales Edificios comerciales	
		10 (3/8")		
		13 (1/2")		19 (3/4")
		25 (1")		32 (1 1/4")
		38 (1 1/2")		51 (2")
		64 (2 1/2")		75 (3")
L	Azul	6 (1/4")	Los mismos que el tipo "M", además de: Instalaciones de gas combustible y medicinal, tomas domiciliarias de agua potable	
		10 (3/8")		
		13 (1/2")		19 (3/4")
		25 (1")		32 (1 1/4")
		38 (1 1/2")		51 (2")
		64 (2 1/2")		75 (3")
K	Verde	6 (1/4")	Los mismos que el tipo "L", además de: Uso industrial donde las presiones y temperaturas de trabajo son severas	
		10 (3/8")		
		13 (1/2")		19 (3/4")
		25 (1")		32 (1 1/4")
		38 (1 1/2")	51 (2")	

Fuente: [8]

Consideraciones generales para la asignación de fluidos

Tabla 2. 12 Asignación de los fluidos en los tubos

Criterios	Asignación
Fluido corrosivo	Por los tubos, para evitar dañar la carcasa
Fluido sucio	La limpieza de los tubos es más fácil
Fluido con Temperatura elevadas	Por los tubos, porque se requiere menor superficie y se reducen costes.
Fluido caliente	Por los tubos para evitar aislar la carcasa
Fluido con mayor Presión	Por los tubos, porque es más fácil aumentar el espesor de los tubos que el de la carcasa.
Fluido con mayor Viscosidad	El fluido más viscoso por la carcasa, ya que generalmente se produce mayor U (coeficiente global de transferencia de calor)
El fluido con menor pérdida de presión	Generalmente va por la carcasa
El fluido a condensar	Se trasporta por la carcasa

Fuente: [8]

Alternativas para la distribución de los tubos

Alternativa 1

Arreglo de los tubos con un ángulo de 30°

Alternativa 2

Arreglo de los tubos con un ángulo de 60°

Alternativa 3

Arreglo de los tubos con un ángulo de 90°

Tabla 2. 13 Criterio de Selección

Factores	Porcentaje	Alternativa I		Alternativa II		Alternativa II	
Coefficiente de transferencia de calor	40	8	3,2	7	2,8	7	2,8
Limpieza	30	6	1,8	8	2,4	9	2,7
Caída de presión	20	8	1,6	7	1,4	7	1,4
Factibilidad de montaje	10	7	0,7	7	0,7	9	0,9
Total	100		7,3		7,3		7,8

Fuente: [Autores]

Tabla 2. 14 Resultados de la ponderación

Alternativas	Valor
Intercambiador de calor con un arreglo de 30°	7,3
Intercambiador de calor con un arreglo de 60°	7,3
Intercambiador de calor con un arreglo de 90°	7,6

Fuente: [Autores]

En base a la ponderación de la tabla 2.14 se optó por trabajar con un arreglo cuadrado, por su facilidad de limpieza y factibilidad de montaje.

2.5 Procedimiento de diseño

2.5.1 Metodología para el Procesamiento y análisis de la información

El prototipo del intercambiador se modelará en un software CAD de acuerdo a las dimensiones establecidas u obtenidas durante la etapa del diseño térmico, Mecánico, posteriormente se construyó de acuerdo a las condiciones de funcionamiento establecidos en los parámetros de diseño.

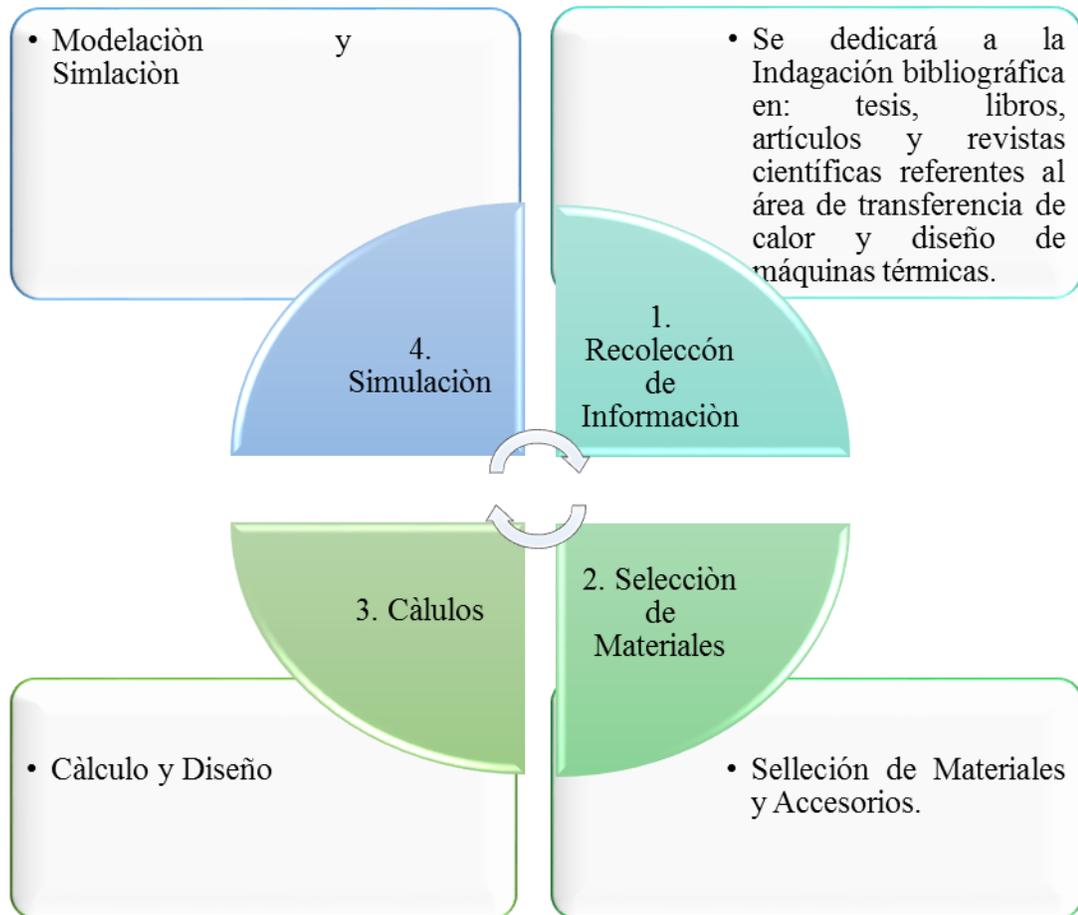


Figura 2. 1 Metodología para el Procesamiento y análisis de la información

Fuente: [Autores]

2.5.2 Metodología General de diseño

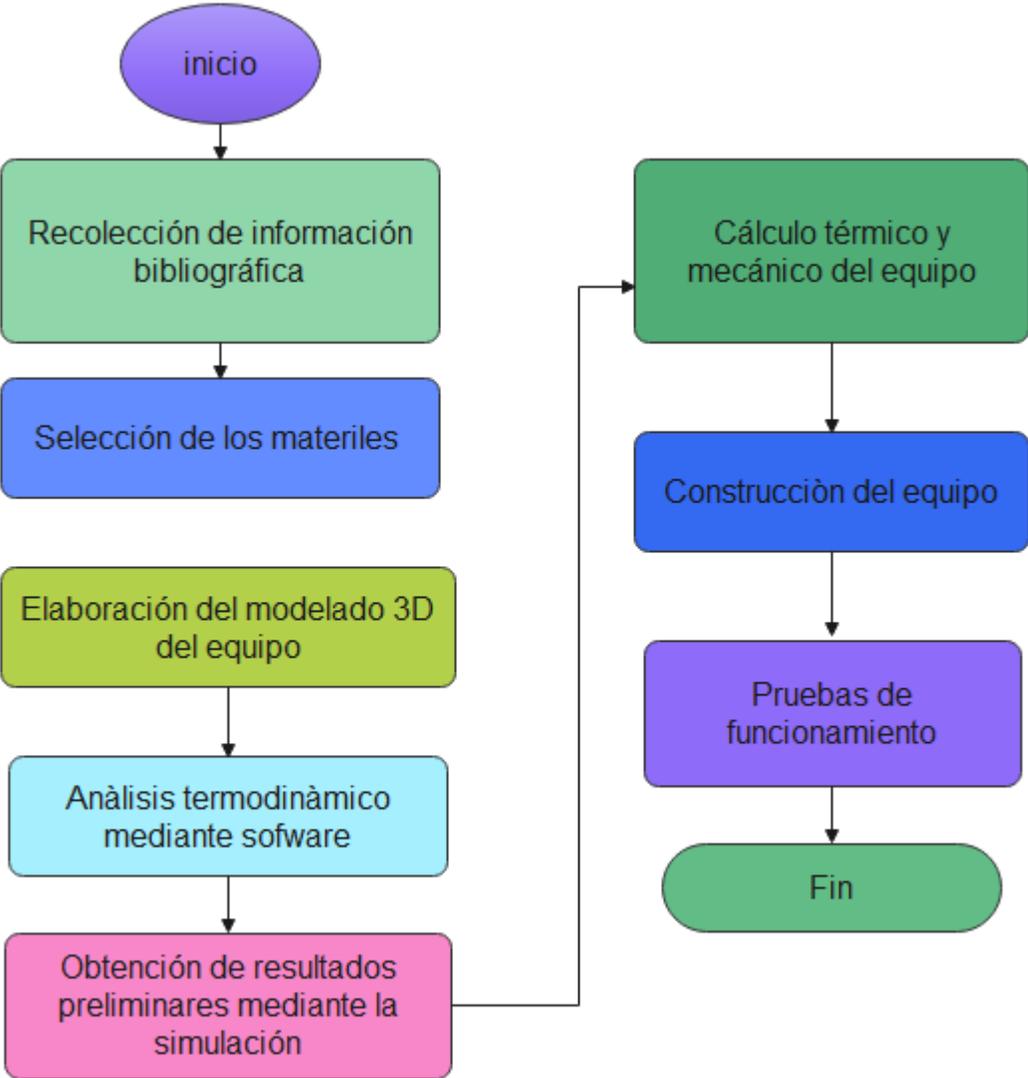
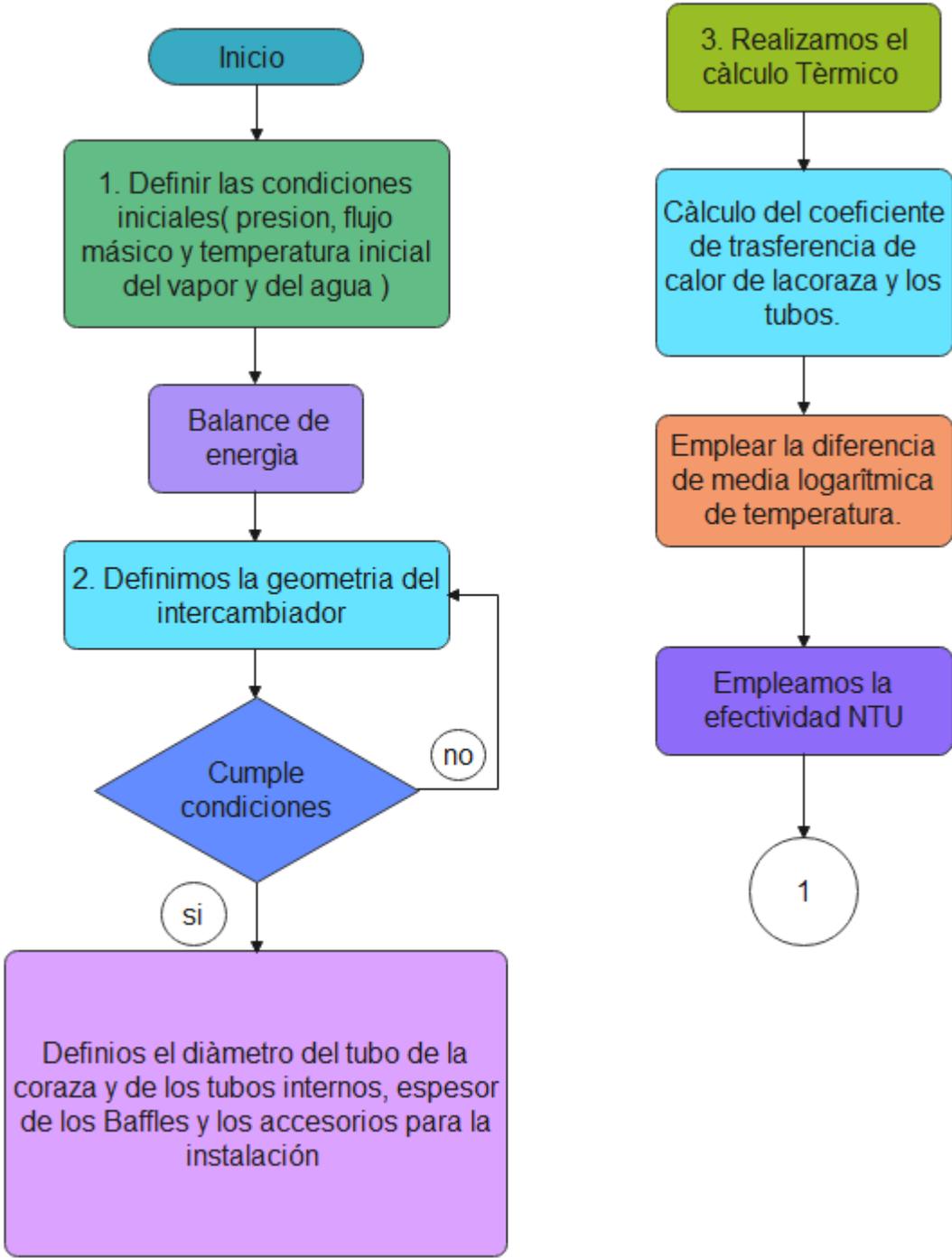


Figura 2. 2 Metodología de diseño general

Fuente: [Autores]

2.5.3 Metodología de cálculos Térmico y Mecánico



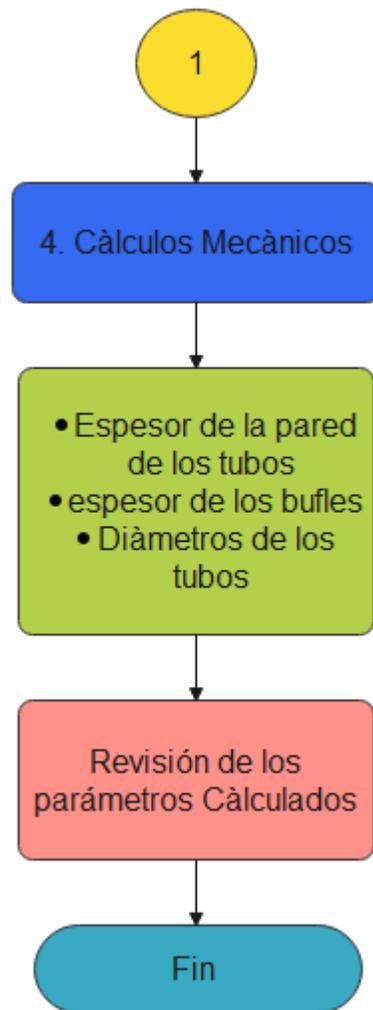


Figura 2. 3 Metodología de càlculos Térmico y Mecánico

Fuente: [Autores]

El diseño térmico y mecánico permite definir el cálculo de las variables y de los parámetros en el diseño de los intercambiadores de calor como es la temperatura, flujo másico, flujo de calor y la capacidad térmica.

2.5.4 Metodología para el modelado del intercambiador

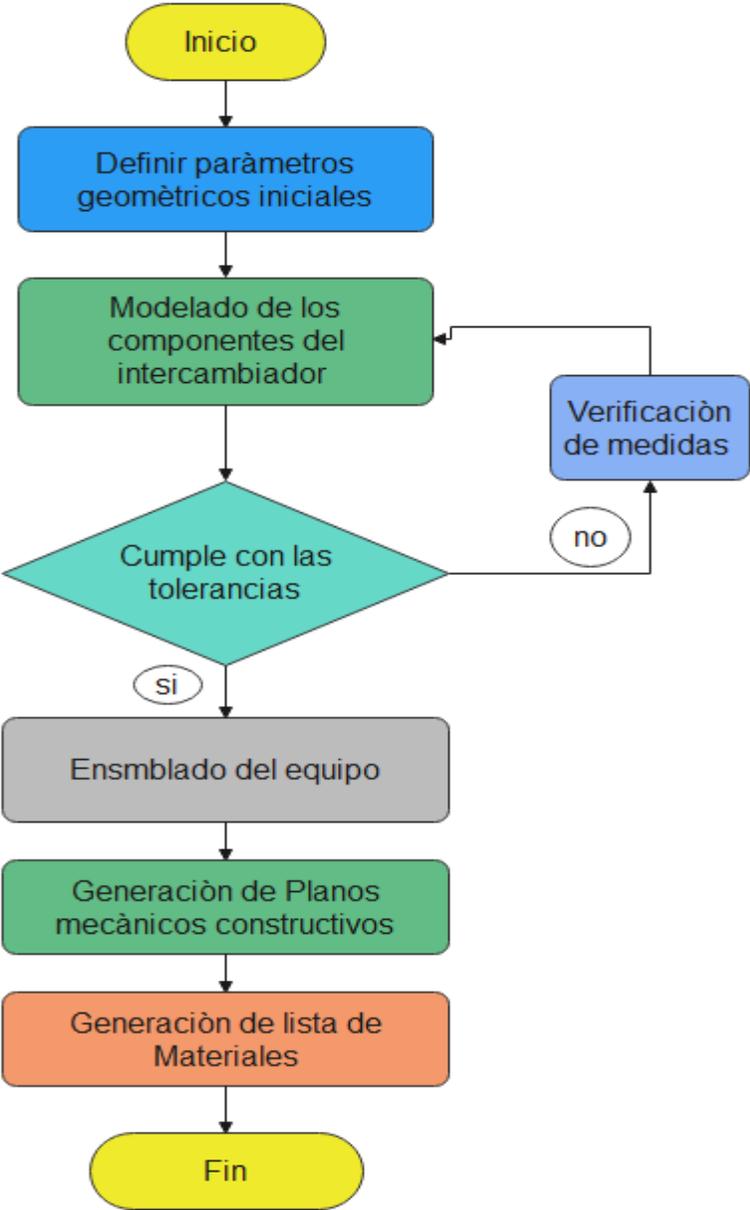


Figura 2. 4 Metodología para el modelado del intercambiador

Fuente: [Autores]

2.5.5 Metodología para la selección del material

Para obtener una buena transferencia de calor se debe optar del mejor material, estos materiales se pueden evaluar mediante un análisis de alternativas considerando los siguientes factores:

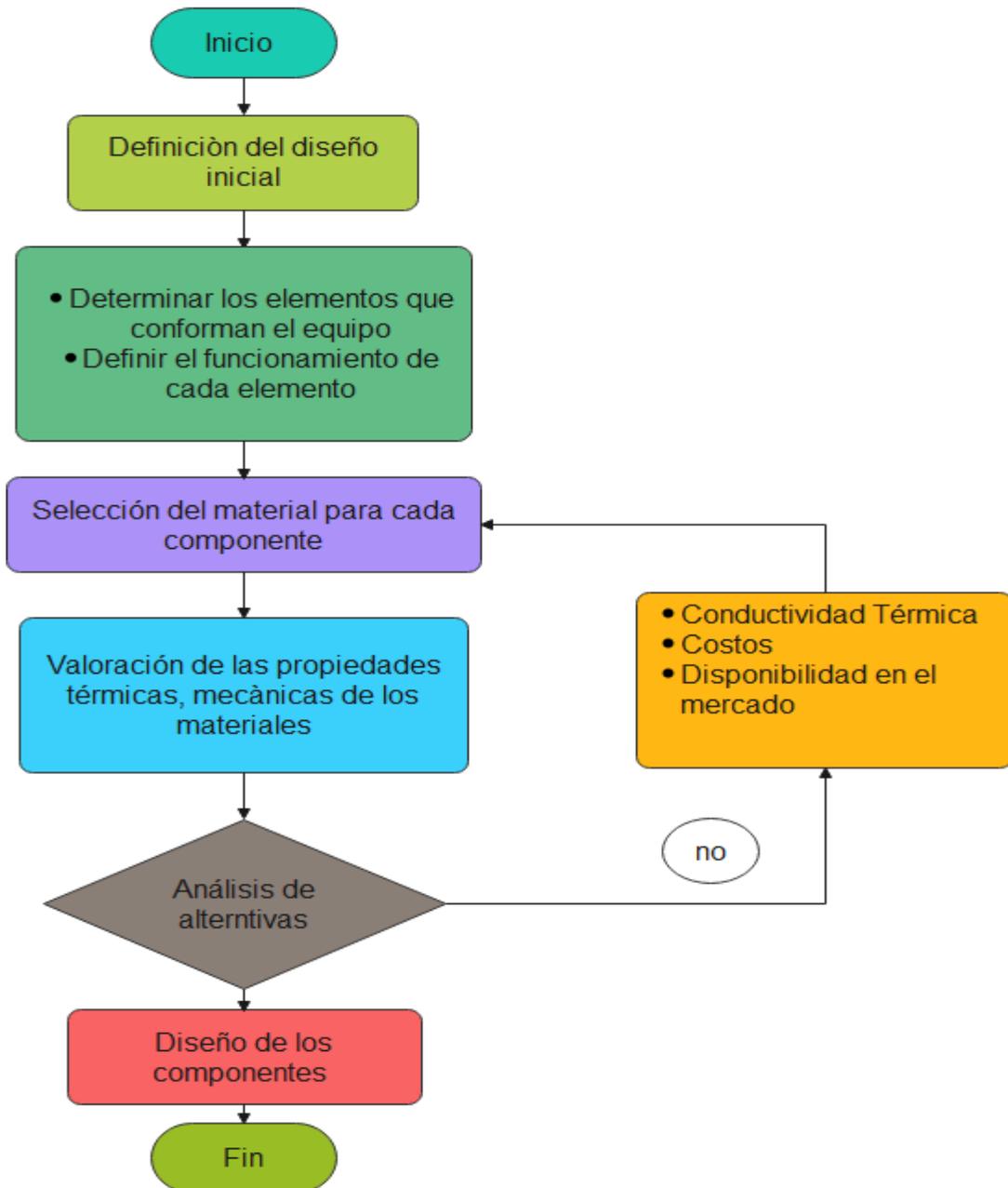
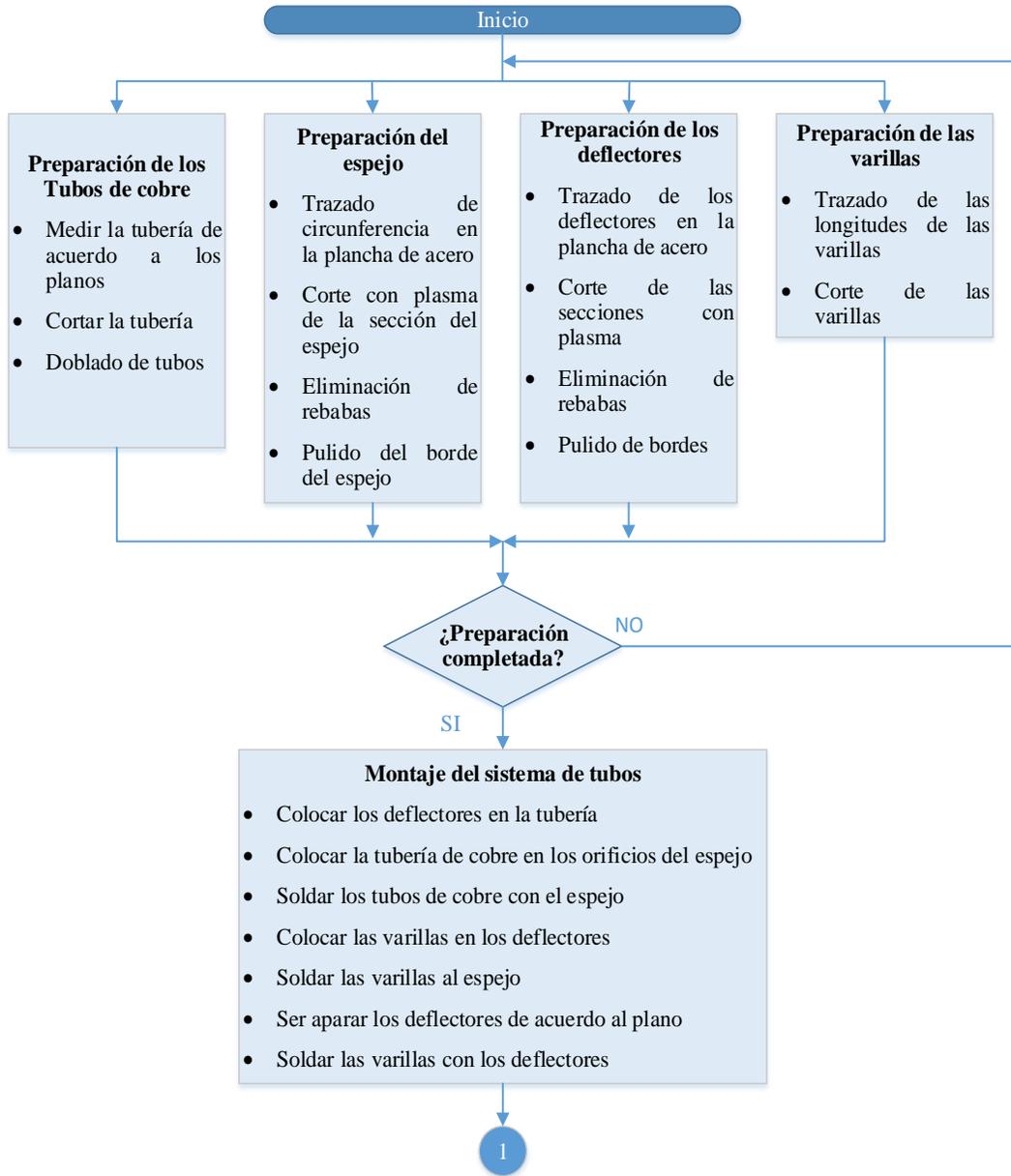


Figura 2. 5 Metodología para la selección del material

Fuente: [Autores]

2.5.6 Metodología de montaje y fabricación

El prototipo se construirá con los materiales seleccionados durante el diseño respetando el orden cronológico establecido en la figura con el propósito reducir algún error de construcción o montaje de los elementos mecánicos durante este ciclo.



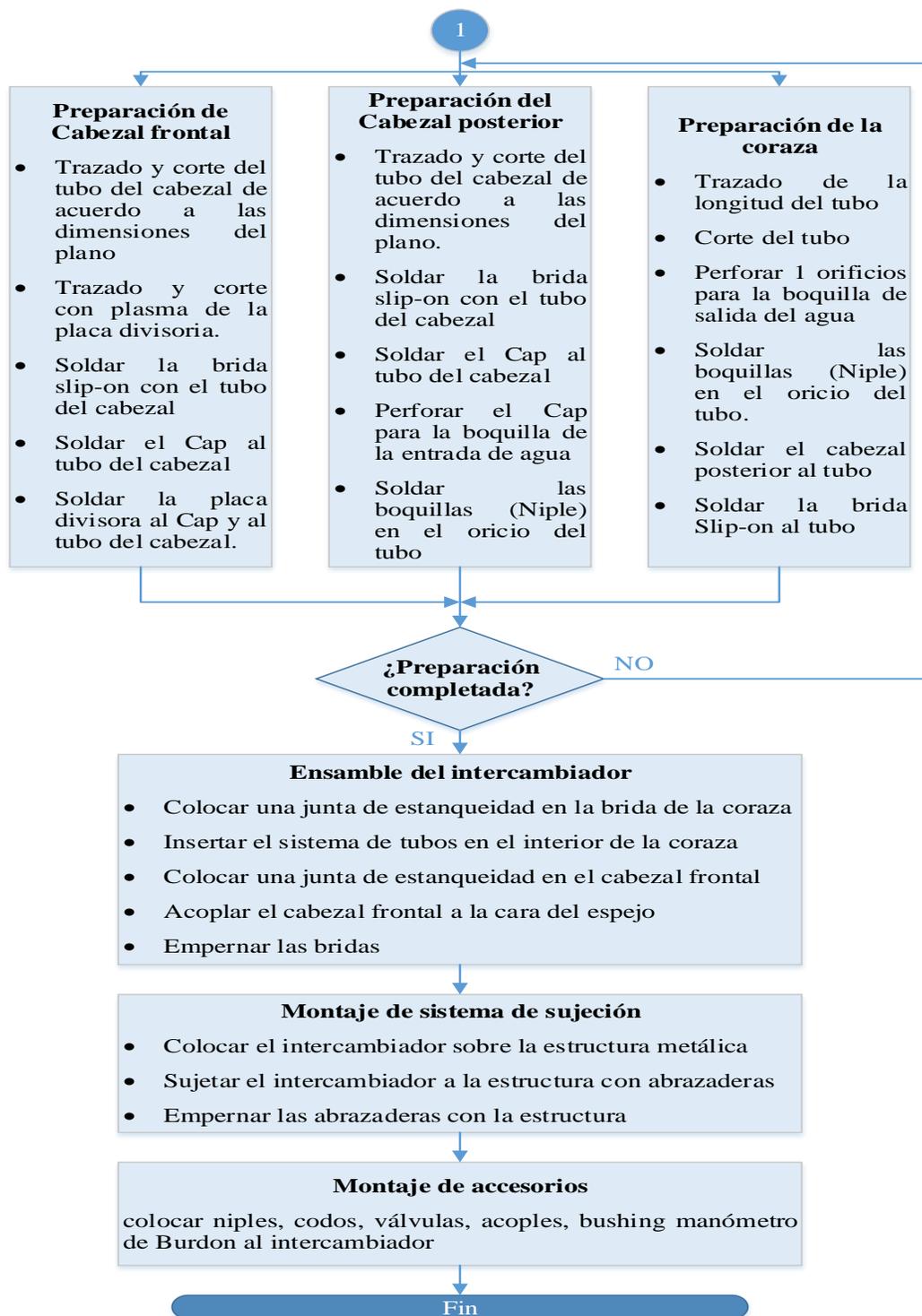


Figura 2. 6 Metodología de fabricación

Fuente: [Autores]

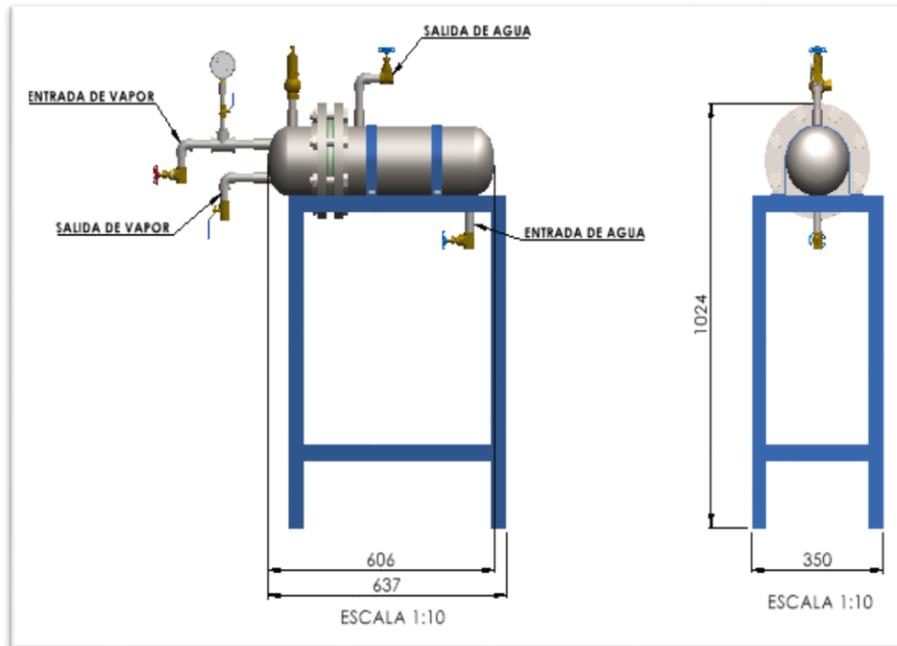


Figura 2. 7 Prototipo del IC

Fuente: [Autores]

CAPÍTULO III

3 CÁLCULOS

3.1 Diseño térmico

3.1.1 Flujo másico del agua

$$\dot{m}_a = Q_a * \delta$$

$$\dot{m}_a = 5 \frac{l}{min} * 996.6 \frac{Kg}{m^3} * \frac{1 m^3}{1000 l} * \frac{1 min}{60 s}$$

$$\dot{m}_a = 0.083 \frac{Kg}{s}$$

3.1.2 Flujo másico del vapor

$$\dot{m}_v = 0.2 \frac{Kg}{h} * \frac{1 h}{3600 s}$$

$$\dot{m}_v = 0.000056 \frac{Kg}{s}$$

Flujo de calor útil requerido

$$q_a = \dot{m}_a * c_a * (T_{a2} - T_{a1})$$

$$q_a = 0.083 \frac{Kg}{s} * 4179.2 \frac{J}{Kg * K} * (34 - 20)^\circ C$$

$$q_a = 4856.23 \frac{J}{s}$$

Temperatura de entrada del vapor: el vapor ingresa al intercambiador como saturado; por lo tanto, la temperatura va a ser igual a la temperatura de saturación a la presión dada.

$$T_{v1} = T_{sat@60psi}$$

$$T_{v1} = 292.69 \text{ }^\circ F \quad (\text{Anexo 3})$$

$$T_{v1} = \frac{5}{9}(292.69 - 32)$$

$$T_{v1} = 144.83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Entalpía de entrada del vapor

$$h_{v1} = h_{g@60psi}$$

$$h_{v1} = 1177.8 \frac{BTU}{lbm} \quad (\text{Anexo 3})$$

Entalpía de entrada y salida del agua: ingresa y sale teóricamente como líquido saturado, por lo tanto:

$$h_{a1} = h_{f@20^\circ\text{C}}$$

$$h_{a1} = 83.915 \frac{KJ}{Kg} * \frac{1 BTU}{1.055 KJ} * \frac{1 Kg}{2.2 lbm}$$

$$h_{a1} = 36.15 \frac{BTU}{lbm}$$

$$h_{a2} = h_{f@34^\circ\text{C}}$$

$$h_{a2} = 142.46 \frac{KJ}{Kg} * \frac{1 BTU}{1.055 KJ} * \frac{1 Kg}{2.2 lbm}$$

$$h_{a2} = 61.38 \frac{BTU}{lbm}$$

Temperatura de salida del vapor

$$\dot{m}_v(h_{v1} - h_{v2}) = \dot{m}_a(h_{a1} - h_{a2})$$

$$h_{v2} = h_{v1} - \frac{\dot{m}_a(h_{a1} - h_{a2})}{\dot{m}_v}$$

$$h_{v2} = 1177.8 \frac{BTU}{lbm} - \frac{0.083 \frac{Kg}{s} (36.15 - 61.38) \frac{BTU}{lbm}}{0.00143 \frac{Kg}{s}}$$

$$h_{v2} = 2642.2 \frac{BTU}{lbm}$$

$$\therefore T_{v2} = 79.52 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{Anexo 4})$$

Diferencia de temperatura media logarítmica

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$\Delta T_m = \frac{(T_{v1} - T_{a1}) - (T_{v2} - T_{a2})}{\ln\left(\frac{T_{v1} - T_{a1}}{T_{v2} - T_{a2}}\right)}$$

$$\Delta T_m = \frac{(144.83 - 20) - (79.52 - 34)}{\ln\left(\frac{144.83 - 20}{79.52 - 34}\right)}$$

$$\Delta T_m = 78.62 \text{ K}$$

Tabla 3. 1 Propiedades y características geométricas del tubo de cobre

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad	Fuente
Conductividad térmica	k_t	364	W/mK	
Diámetro nominal	D_t	3/8	<i>pul</i>	Prediseño
Tipo	K			Anexo 6
Diámetro externo	D_{te}	12.7	mm	Anexo 8
Espesor de pared	e_t	1.245	mm	
Diámetro interno	D_{ti}	10.21	mm	

Fuente: [10]

Tabla 3. 2 Propiedades y características geométricas de la coraza

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad	Fuente
Diámetro nominal	D_c	6	<i>pulg</i>	Prediseño
Diámetro externo	D_{ce}	168.3	mm	Anexo 7
Espesor de pared	e_c	7.11	mm	
Diámetro interno	D_{ci}	154.1	mm	
Área de flujo	A	1.864 $* 10^{-2}$	m^2	

Fuente: [Autores]

Coefficiente de convección del agua

$$Re_a = \frac{4 * \dot{m}_a}{\pi * D_{ti} * \eta}$$

$$Re_a = \frac{4 * 0.083 \frac{Kg}{s}}{\pi * (0.01021 m) * (8.55 * 10^{-4} Pa * s)}$$

$$Re_a = 12105.88 \quad (\text{Flujo turbulento})$$

$$Nu_a = 0.023 * Re_a^{\frac{4}{5}} * Pr_a^{0.4}$$

$$Nu_a = 0.023 * (12105.88)^{\frac{4}{5}} * (5.852)^{0.4}$$

$$Nu_a = 86.11$$

$$h_a = \frac{Nu * k_a}{D_{ti}}$$

$$h_a = \frac{86.11 * 0.6102 W/mK}{0.01021 m}$$

$$h_a = 5146.36 \frac{W}{m^2K}$$

Tabla 3. 3 Propiedades del vapor a la temperatura promedio

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad	Fuente
Temperatura promedio	T_v	112.175	$^{\circ}C$	Valor Calc.
Coefficiente de convección	h_t	358.17	W/m^2K	Anexo 10
Densidad	ρ_v	0.89	Kg/m^3	Anexo 2
Viscosidad dinámica	η_v	$1.269 * 10^{-5}$	$Pa * s$	
Conductividad térmica	k_v	0.0265	W/mK	
Número de Prandtl	Pr_v	1	---	
Calor específico	Cp_v	2081.66	$J/Kg * K$	

Fuente: [10]

Factor de corrección

$$P = \frac{T_{v2} - T_{v1}}{T_{a1} - T_{v1}} = \frac{79.52 - 144.83}{20 - 144.83} = 0.52$$

$$R = \frac{T_{a1} - T_{a2}}{T_{v2} - T_{v1}} = \frac{20 - 34}{79.52 - 144.83} = 0.21$$

$$f = 0.9 \quad (\text{Anexo 9})$$

Coefficiente global de transferencia de calor

$$U_e = \frac{1}{\frac{1}{h_a} + \frac{e_t}{k_t} \left(\frac{2r_{te}}{r_{te} + r_{ti}} \right) + \left(\frac{1}{h_t} \right) \frac{r_{te}}{r_{ti}}}$$

$$U_e = \frac{1}{\frac{1}{5146.36} + \frac{0.001245}{364} \left(\frac{2 \left(\frac{12.7}{2} \right)}{\frac{12.7}{2} + \frac{10.21}{2}} \right) + \left(\frac{1}{358.17} \right) \frac{\frac{12.7}{2}}{\frac{10.21}{2}}}$$

$$U_e = 272.41 \frac{W}{m^2K}$$

3.1.3 Área mínima requerida

$$q_a = U_e * A_{req} * f * \Delta T_m$$

$$A_{req} = \frac{q_a}{U_e * f * \Delta T_m}$$

$$A_{req} = \frac{4856.23 \frac{J}{s}}{272.41 \frac{W}{m^2 K} * 0.9 * 78.62 K}$$

$$A_{req} = 0.279 m^2$$

3.1.4 Longitud de la tubería de cobre

$$\pi * D_{ti} * L_t = A_{req}$$

$$L_t \geq \frac{A_{req}}{\pi * D_{ti}}$$

$$L_t \geq \frac{0.279 m^2}{\pi * 0.01021 m}$$

$$L_t \geq 7.85 m$$

Para el diseño debemos trabajar con valores enteros, por lo que el valor más próximo a trabajar es:

$$L_t \geq 8m$$

3.1.5 Cálculo de velocidad de transferencia de calor real

$$\dot{Q} = C_a(T_{a,ent} - T_{a,sal}) = C_v(T_{v,sal} - T_{v,ent})$$

$$C_a = \dot{m}_a * C_{p_a}$$

$$C_a = \dot{m}_a * C_{p_a}$$

$$C_a = 0.083 \frac{Kg}{s} * 4179.2 \frac{J}{Kg * K}$$

$$C_a = 346.87 \frac{W}{^\circ K}$$

$$C_v = \dot{m}_v * C_{p_v}$$

$$C_v = 0.000056 \frac{Kg}{s} * 2081.66 \frac{W}{K}$$

$$C_v = 0.116 \frac{W}{^\circ K}$$

$$C_{min} = 0.116 \frac{W}{^\circ K}$$

$$\dot{q}_{real} = C_a (T_{a,sal} - T_{a,ent})$$

$$\dot{q}_{real} = 346.87 \frac{W}{^\circ K} (307.15 - 293.15)^\circ K$$

$$\dot{q}_{real} = 4856.18W$$

Cálculo de la velocidad máxima posible de transferencia de calor

La razón de capacidad calórica mínima $C_{min} = C$ agua ya que el fluido caliente es un vapor de condensación $C_v \rightarrow \infty$.

$$\dot{q}_{max} = C_{min} (T_{v,ent} - T_{a,ent})$$

$$\dot{q}_{max} = 346.87 \frac{W}{^\circ K} (417.98 - 293.15)^\circ K$$

$$\dot{q}_{max} = 43299.78W$$

3.1.6 Cálculo de la eficiencia térmica

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\text{velocidad de transferencia de calor real}}{\text{velocidad max posible de transferencia de calor}}$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{q}_{real}}{\dot{q}_{max}} = \frac{4856.18W}{43299.78W} * 100\%$$

$$\varepsilon = 11 \%$$

Cálculo de la Unidades de transferencia de calor NTU

$$NTU = \frac{UA_{req}}{C_{min}}$$

$$NTU = \frac{272.41 \frac{W}{m^2K} * 0.2519 m^2}{346.87 \frac{W}{K}}$$

$$NTU = 0.2$$

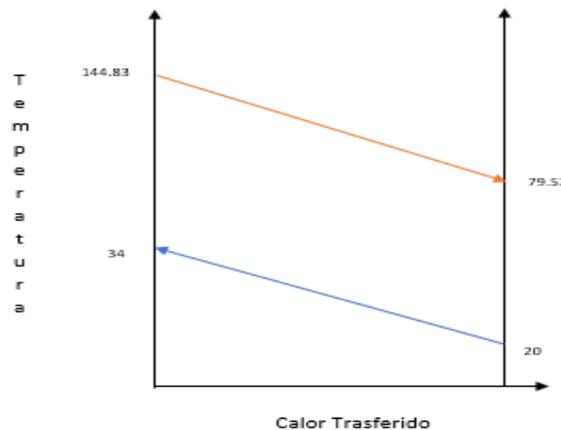


Figura 3. 1 Distribución de Temperatura

Fuente: [Autores]

3.1.7 Dimensionamiento y materiales del intercambiador

Material de la coraza: Se utilizó tubería de acero ASTM A53 de 6" cedula 40 sin costura, según recomendación Norma TEMA, tabla 1.4

Material de los tubos: El material para el tubo es tubería de cobre de 3/8 sin costura, que pueden resistir presiones de hasta 300lb/ plg².

Diámetro externo de la coraza $D_s = 168.3 \text{ mm}$

Diámetro interno de la coraza $D_{si} = 154.1 \text{ mm}$

Espesor del tubo de la coraza $t_s = 7.11 \text{ mm}$

Diámetro externo de los tubos $D_t = 12.7 \text{ mm}$

Diámetro interno de los tubos $D_{ti} = 10.21 \text{ mm}$

Espesor del tubo de cobre tipo K $t_{tc} = 1.245 \text{ mm}$

Paso en el arreglo de los tubos

$$L_{tp} = 1.5D_t$$

$$L_{tp} = 19.05 \text{ mm}$$

Porcentaje del deflector segmentado Bc (%)

Según la referencia [23], Establece que el corte o ventana para un intercambiador de calor está comprendido entre 15 a 45%.

En base a esta referencia, se optó por tomar un Bc (%) mínimo requerido para el diseño del intercambiador, de Bc=35%, ya que se encuentra en el rango recomendado y permite un diseño adecuado del equipo.

Espacio entre diámetro exterior de haz de tubos y el diámetro de la coraza

$$L_{bb} = 16 \text{ mm}$$

Base a la figura 1.15

$$D_{otl} = D_{si} - L_{bb} = 154,1 - 16 \text{ (mm)}$$

$$D_{otl} = 138.1 \text{ mm}$$

$$D_{ctl} = D_{otl} - D_t = 138.1 - 12.7 \text{ (mm)}$$

$$D_{ctl} = 125.4 \text{ mm}$$

Espacio entre deflectores

Según la referencia [23], la separación entre deflectores varía entre $B = 0.3-0.5 D_i$

B= Espaciado entre deflectores

$$D_i = \text{Diámetro interno de la coraza}$$

$$B = 0,5 \times 154.1$$

$$B = 77.05 \text{ mm}$$

Número de baffles

$$N_b = \frac{L_{ti}}{L_{bc}} - 1$$

$$L_{ti} = L_{to} - L_{ts}$$

L_{to} = longitud total del tubo

L_{ts} = espesor del espejo

$$L_{ti} = 330 - 9 \text{ (mm)}$$

$$L_{ti} = 321 \text{ mm}$$

$$N_b = \frac{330}{70} - 1$$

$$N_b = 3,7$$

$$N_b = 4 \text{ baffles}$$

Número de pasos por los tubos

En base a la referencia tabla 1.3, que considera un número de pases igual a 2 para diámetros de coraza mayores a 200 mm.

$$N_{tp} = 2$$

Espacio entre el diámetro de coraza y el haz de tubos

$$L_{bb} = D_s - D_{ctl}$$

$$L_{bb} = 168.3 - 125.4$$

$$L_{bb} = 42.9 \text{ mm}$$

Espacio entre el deflector y el diámetro de la coraza

$$L_{sb} = 1.6 + 0.004D_s$$

$$L_{sb} = 1.6 + 0.004(168.3)$$

$$L_{sb} = 2.27 \text{ mm}$$

Número total de tubos

$$N_t = \frac{L_t}{N_p \times L_c}$$

Donde:

L_t : Longitud total tubos

L_c : longitud de la coraza

$$N_t = \frac{8 \text{ m}}{2 \times 0.43 \text{ m}}$$

$$N_t = 9.3$$

Por ser un intercambiador de tubos U la norma TEMA especifica que deben ser pares, por lo que el valor más cercano es:

$$N_t = 10 \text{ tubos}$$

3.2 Diseño Mecánico

Tabla 3. 4 Especificaciones de los Materiales

Elemento	Forma	Especificación	Esfuerzo Fluencia
Coraza	Tubo	ASTM A53	Anexo 13
Tapas	Caps	ASTM A234	Anexo 18
Tubos	Tubo-Cu	Cobre tipo K	Anexo 2
Espejo	Placa	ASTM A36	Anexo 16
Deflector	placa	ASTM A36	Anexo 16
Empaque		Asbesto	Norma Tema

Fuente: [Autores]

3.2.1 Diseño de la Coraza

El valor del espesor de la coraza es muy importante dentro del diseño por el efecto de la corrosión, y es el mayor valor calculado debido a esfuerzos longitudinales y circunferenciales, la norma TEMA recomienda tubos de cedula 30 y cedula 40 como mínimo y según la norma ASME, se plantea las siguientes ecuaciones:

Esfuerzo Circunferencial el valor de P no debe exceder de 0.3 S. E

$$t_1 = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

Esfuerzo longitudinal: cuando P no excede de 1.25 S. E

$$t_2 = \frac{PR}{2SE + 0.4P}$$

Donde:

P: Presión de diseño.

R: Radio interno de la coraza.

S: Esfuerzo disponible máximo del material la coraza.

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

$$t_1 = \frac{27 \text{ psi} * 77,05 \text{ mm}}{15000 - 0.6 * 27 \text{ psi}} = 0,138 \text{ mm}$$

$$t_2 = \frac{27 \text{ psi} * 77,05 \text{ mm}}{2(15000) + 0.4 * 27 \text{ psi}} = 0.069 \text{ mm}$$

Tomamos el valor mayor entre el esfuerzo longitudinal y el esfuerzo circunferencial y de acuerdo a la norma ASME nos recomienda sumar 3 mm por efecto de la corrosión y tenemos un espesor de la coraza de:

$$t = 3,14 \text{ mm}$$

De acuerdo a los cálculos se obtuvo un espesor de 3.14 mm, sin embargo, para cualquier tipo de intercambiador de calor la Norma TEMA nos recomienda utilizar cedula 40 para

intercambiador de calor más pequeño con diámetro de corazas de diámetro de 6”, se optó por un espesor mínimo de 7,11mm que designa la cedula 40.

3.2.2 Diseño de los tubos

Esfuerzo Circunferencial

$$t_1 = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

$$t_1 = \frac{60psi * 5.10mm}{13901.867psi - 0.6 * 60psi} = 0.022 \text{ mm}$$

Esfuerzo longitudinal:

$$t_2 = \frac{60psi * 5.10mm}{2(13901.867) + 0.4 * 60psi} = 0.011mm$$

$$t = 0.022mm$$

El espesor calculado mínimo es de 0.022mm, sin embargo, de acuerdo a la disponibilidad del mercado se selección un espesor de 1.24 mm que corresponde a una tubería de cobre normalizada tipo K de 3/8”.

3.2.3 Diseño del espejo

Cálculo del espesor por flexión:

$$T_1 = \frac{FG}{3} \sqrt{\frac{P}{nS}}$$

Cálculo del espesor por cortante:

$$T_2 = \frac{0.31D_L}{\left(1 - \frac{d_0}{P}\right)} \left(\frac{P}{S}\right)$$

Cuando $\frac{P}{S} < 1.6 \left(1 - \frac{d_0}{P}\right)$, no se onsidera el esfuerzo por cortante

$$n = 1 - \frac{0.785}{\left(\frac{P}{d_0}\right)^2} = 1 \quad \text{Para arreglos cuadrados}$$

$$n = 1 - \frac{0.907}{\left(\frac{P}{d_0}\right)^2} \quad \text{Para arreglos triangulares}$$

Donde:

T: Espesor efectivo del espejo

S: Esfuerzo máximo permisible del material

P: presión de diseño

F: Factor que depende del tipo de espejo, F varía entre 0.8 y 1.25

G: Diámetro medio del empaque y la coraza

n: constante que depende del tipo de arreglo

D_L : Diámetro equivalente del espejo

p: paso de los tubos

$$T_1 = \frac{FG}{3} \sqrt{\frac{P}{nS}}$$

$$T_1 = \frac{1.02(154.1 \text{ mm})}{3} \sqrt{\frac{60 \text{ psi}}{1 * 23200}}$$

$$T_1 = 2.66 \text{ mm}$$

$$T_2 = \frac{0.31 D_L}{\left(1 - \frac{d_0}{P}\right)} \left(\frac{P}{S}\right)$$

Cuando $\frac{P}{S} < 1.6 \left(1 - \frac{d_0}{P}\right)$, no se considera el esfuerzo por cortante

$$\frac{60 \text{ psi}}{16708.35} < 1.6 \left(1 - \frac{5.1 \text{ mm}}{2}\right)$$

Para los valores obtenidos, se verifica: $0.0035 < 3.84$; por tanto, no se considera esfuerzo cortante

Se obtuvo un espesor mínimo de 2,66 mm para flexión, pero de acuerdo a la tabla 1.5 de la norma ASME sección VIII, nos recomienda un espesor mínimo de 9 mm y de acuerdo a TEMA, no se debe trabajar con espesores para espejos que sean menores a $\frac{3}{4}$ del diámetro exterior de los tubos que para nuestro caso corresponde a 9.52 mm, por lo que se seleccionó un espesor normalizado de 10mm; ya que este valor se adapta a las sugerencias de norma y TEMA.

3.2.4 Diseño de deflectores

Los espesores de los deflectores recomendados por TEMA se pueden obtener en función del diámetro de la coraza.

Según la tabla 1.8 recomendada por TEMA los espesores recomendados para los baffles para corazas de 6-14 pulgadas mínimo deben ser de 1/8", por lo que se escogió un espesor normalizado de 1/8" que se encuentra comercialmente.

3.2.5 Diseño de placa divisora

Los espesores de las placas recomendados por TEMA se pueden observar en la tabla 1.7 en donde especifica que el espesor mínimo sea de 3/8 plg. por lo que se optó por un espesor normalizado de 10mm por disponibilidad del mercado.

3.3 Selección de Accesorios para la instalación

3.3.1 Selección de accesorios para las conexiones

Los accesorios se seleccionan en hierro, cada uno de ellos son de SCH 40 de Clase 150 debido a que la presión de trabajo no excederá los 60 PSI, en la tabla se muestra una lista detallada de los accesorios.

Tabla 3. 5 Accesorios para conexiones

Accesorios para tubería	
Accesorio	Cantidad
Niple HN 1/2x3 " clase 150 (Sin costura)	5
Niple Hn 1/4x2" clase 150 (Sin costura)	2
Niple NH 1/2X2" clase 150 (Sin costura)	3

Tee HN 1/2 SCH 40	1
Bushing HN 1/2 a 1/4 " clase 150	1
Unión HN 1/4" clase 150	1

Fuente: Autores

3.3.2 Selección de válvulas

Las válvulas descritas en la tabla 3.6 se seleccionan tomando en cuenta que estas sean mayores o iguales a la clase 125 para garantizar que soporten la presión de trabajo más crítica, la cual es de 60 PSI de acuerdo a la disponibilidad del mercado, en la tabla se describen los criterios de selección de cada una de ellas.

Tabla 3. 6 Selección de las válvulas del intercambiador

Válvulas necesarias			
Tipo de válvula	Cantidad	Ubicación	Criterio de selección
Válvula de globo de ½"	1	<ul style="list-style-type: none"> Entrada del vapor 	Control de la cantidad de fluido.
Válvula de bola de ½"	1	<ul style="list-style-type: none"> Salida del vapor 	Apertura y cierre rápido para desalojar el condensado.
Válvula de bola de ¼"	1	<ul style="list-style-type: none"> Paso de vapor al manómetro 	Apertura y cierre rápido para paso del fluido al manómetro.
Válvula de compuerta ½"	2	<ul style="list-style-type: none"> Entada de agua Salida de agua 	Apertura y cierre total.
Válvula de seguridad ½"	1	<ul style="list-style-type: none"> Cabezal 	Control de la sobrepresión.

Fuente: Autores

3.3.3 Selección de empaque

Considerando las recomendaciones de la tabla 1. 9, donde se especifica el material que se puede usar como juntas de estanqueidad se seleccionó un empaque el Asbesto de 1/8" de espesor debido a que es muy resistente a altas temperaturas.

3.3.4 Selección de pernos

La norma TEMA recomienda que el diámetro mínimo de pernos debe ser de ½” para intercambiadores tipo C.

Para el montaje de nuestro intercambiador de calor se escogió pernos de ¾” de pulgada, para evitar el exceso de holgura entre los pernos y las bridas.

3.3.5 Selección de tapa Torisférico

El diseño de tapas se hace se acuerdo a la norma ASME, sección VIII, división I.

$$t = \frac{0.885P \times R}{S \times E - 0.1 \times P}$$

P: Presión interna de diseño (psi)

R: Radio interior de la tapa (mm)

S: Esfuerzo máximo permisible del material (psi)

E: Eficiencia de la junta

$$t = \frac{(0.885)(60 \text{ psi} * 77,05 \text{ mm})}{(16708.347) - 0.1 * 60\text{psi}}$$

$$t = 0.244 \text{ mm}$$

Le sumamos 3 mm por efecto de la corrosión y tenemos un espesor de la coraza de:

$$t = 3,24 \text{ mm}$$

3.3.6 Selección de CAPS

De acuerdo al cálculo el espesor mínimo requerido es de 3.24 mm, pero por motivos de disponibilidad en el mercado, se trabajó con accesorios comerciales en este caso dos CAP ASTMA53 de 6” normalizado de cedula 40, para mantener la uniformidad entre el espesor de la coraza.

3.3.7 Selección de barra sujetadoras de baffles

La norma TEMA recomienda utilizar de 4-12 barras para diámetros de coraza de 6 a 15 pulgadas con un diámetro mínimo ¼ plg.

De acuerdo a la recomendación de la tabla 1.6, se seleccionó 4 varillas de ¼ de plg.

3.3.8 Selección de bridas

Mediante catálogo se escoge bridas ANSI Slip- On grado 150 de 6" debido a que estos son los más aptos para trabajar con vapor, además son de fácil montaje, en este caso se eligió de grado 150 ya que las presiones más críticas de trabajo son de 60 psi.

Tabla 3. 7 Selección de Brida ANSI

ANSI B 16.5 - Clase 150 lb							
Diam. Nom. pulg.	D1 mm.	D2 mm.	D3 mm.	D4 mm.	L1 mm.	R1 mm.	Nº perno
1/2	22,9	60,3	88,9	15,9	11,1	3,2	4
3/4	28,2	69,8	98,4	15,9	12,7	3,2	4
1	35,05	79,4	107,9	15,9	14,3	3,2	4
1.1/4	43,7	88,9	117,5	15,9	15,9	4,8	4
1.1/2	50	98,4	127	15,9	17,5	6,35	4
2	62,5	120,6	152,4	19	19	7,9	4
2.1/2	75,4	139,7	177,8	19	22,2	7,9	4
3	91,4	152,4	190,5	19	23,8	9,5	4
4	116,8	190,5	228,6	19	23,8	11,1	8
6	171,45	241,3	279,4	22,2	25,4	12,7	8
8	222,25	298,4	342,9	22,2	28,6	12,7	8
10	277,4	361,9	406,4	25,4	30,2	12,7	12
12	328,2	431,8	482,6	25,4	31,8	12,7	12

Fuente: [22]

3.4 Resultados de la simulación térmica y mecánica

3.4.1 Resultados de la simulación térmica

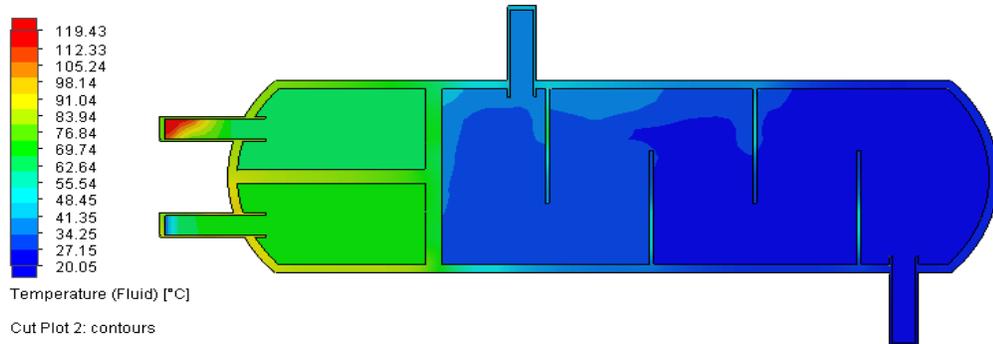


Figura 3. 2 Distribución de temperaturas de los fluidos

Fuente: [Autores]

La figura 3.2 muestra la distribución de temperaturas para el vapor-agua, en este caso se puede apreciar que el vapor inicialmente estaba a 145° y como resultado a la salida da una temperatura de 77.34°C lo que indica que perdió energía por efectos de los mecanismos de transferencia de calor, sin embargo, con el agua fría sucedió todo lo contrario ya que ingreso a 20°C y salió a 33.79°C lo que indica que aprovechó la energía cedida por del vapor. Desacuerdo a los cálculos teóricos realizados el vapor sale 79.52°C y comparando con el dato obtenido en la simulación se puede apreciar que existe un pequeño margen de error del 3% lo cual es aceptable.

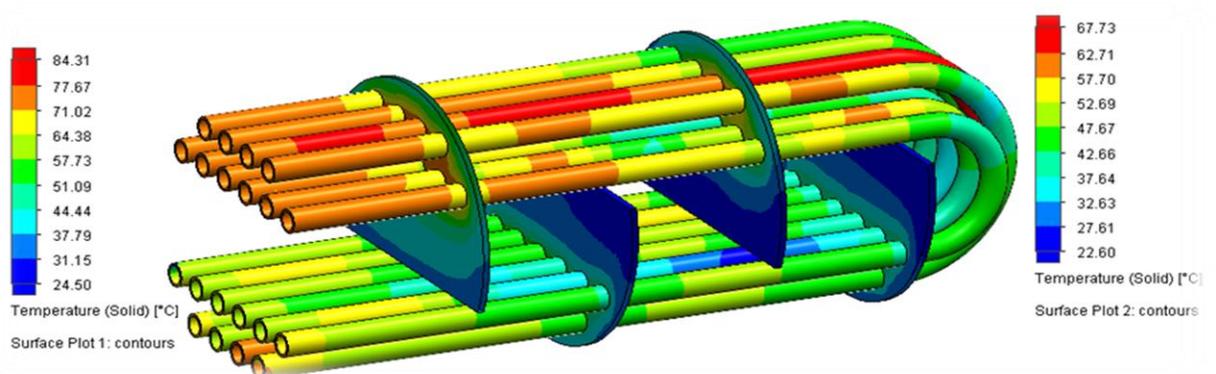


Figura 3. 3 Distribución de temperatura en los tubos y bafles

Fuente: [Autores]

Con relación a la figura 3.3 se puede ver que los tubos de cobre que están en la entrada del vapor alcanzan una temperatura máxima promedio de 74°C y a la salida se reduce a una temperatura mínima promedio de 60°C, según la bibliografía los tubos de cobre rígido tipo K pueden trabajar hasta 875 °C lo que nos indica que la distribución de temperatura se encuentra en el rango aceptable de trabajo. La distribución de temperatura en los bafles muestra que la temperatura máxima se da en el primer baffle ya que justo en la separación entre los tubos del nivel uno y dos se alcanza una temperatura de 65°C mientras que el cuarto es el que menor exposición tiene ya que la temperatura máxima que alcanza es de 50°C.

3.4.2 Simulación mecánica

Análisis de la coraza

Para este análisis se procedió a implicar la geometría del intercambiador con el propósito de optimizar el recurso computación, para este caso se evaluó con la presión del fluido que represente la más crítica que es la del vapor (60PSI) en el cabezal.

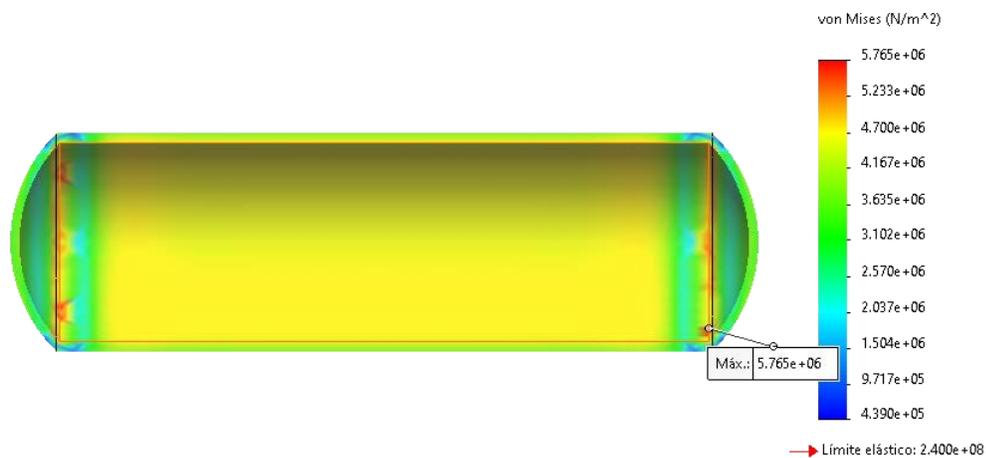


Figura 3. 4 Esfuerzos en la coraza

Fuente: [Autores]

La coraza de 6" de espesor de 7.11 mm presenta un esfuerzo máximo es de 5.76 Mpa, esto se da principalmente en la zona de concentración de esfuerzos, sin embargo, el acero ASTM A53 posee un límite elástico de 240 Mpa por lo que la coraza puede soportar la presión de 67 PSI sin ningún problema.

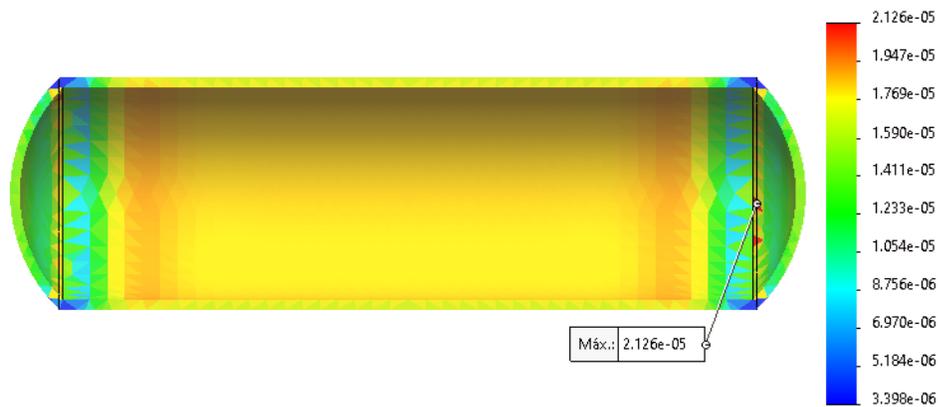


Figura 3.5 Deformaciones en la coraza

Fuente: [Autores]

El desplazamiento equivalente es de $2e-3$ mm y se da en los extremos de la coraza, el cual es muy bajo e indica que no está expuesta a deformaciones extremas por lo que no existe ningún problema durante el trabajo con los fluidos.

Anlisis de los tubos de cobre

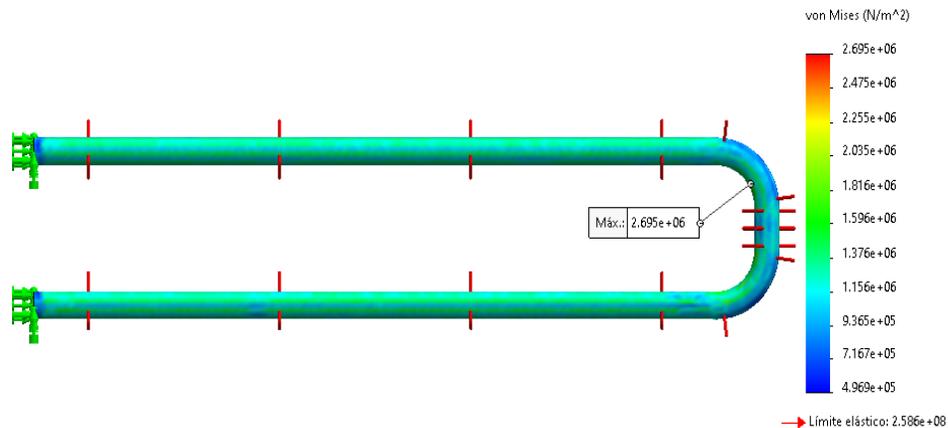


Figura 3.6 Esfuerzos en la tubería de cobre

Fuente: [Autores]

La figura 3.6 indica que la tubería de 3/8” con espesor de 1.24 mm al someterse a una presión interna de 60 PSI de vapor alcanza un esfuerzo máximo de Von Mises de 2.69 Mpa sin sobrepasar el límite elástico lo que indica que el espesor de la tubería fue seleccionado correctamente.

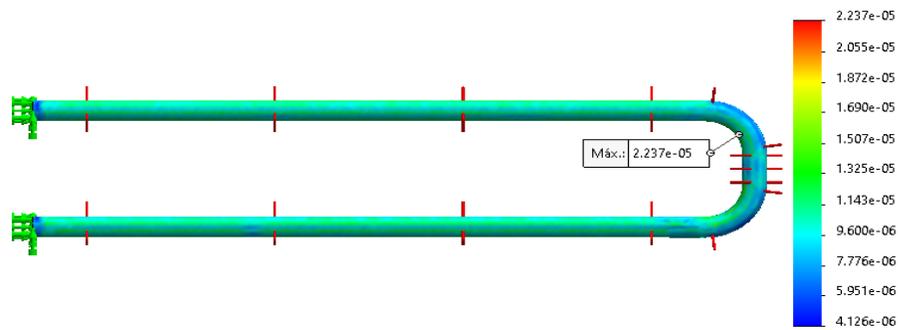


Figura 3. 7 Deformación en la tubería de cobre

Fuente: [Autores]

La deformación global máxima que sufre el elemento al estar expuesto a la presión de 60 PSI es de 2.23×10^{-5} mm, en este caso el valor es extremadamente pequeño por lo que las deformaciones son despreciables y no dan origen a la deformación permanente.

Análisis de la estructura

Se considera un escenario crítico en el que la estructura tiene que soportar la masa total del equipo 55.3 kg cuando se encuentra lleno de agua (0.01 m^3), esto da como resultado una fuerza de 639.71N y es la que ingresa en la simulación.

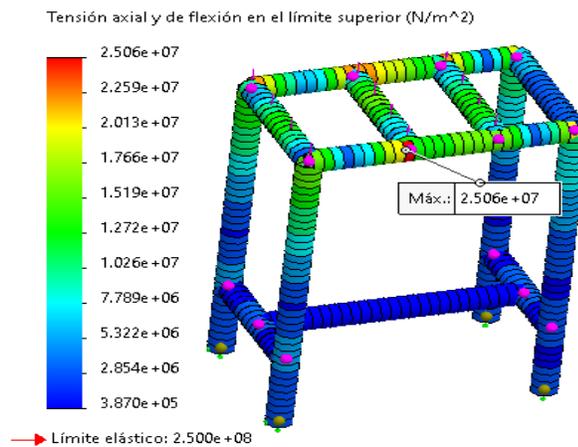


Figura 3. 8 Tenciones en la estructura

Fuente: [Autores]

La fuerza de 214 N que ejerce el intercambiador cargado completamente de agua sobre la estructura genera una tensión máxima de 25Mpa, este valor se encuentra por debajo del

módulo de elasticidad del acero ASTM-A36 (250Mpa) lo que indica que la estructura puede soportar dicha carga.

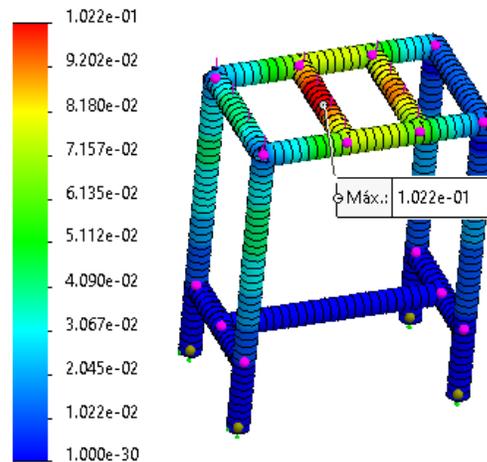


Figura 3. 9 Desplazamientos en la estructura

Fuente: [Autores]

La fuerza de 214.54N que soporta la estructura sufre un desplazamiento resultante máximo de 0.1mm, esto se presenta porque las deformaciones son prácticamente despreciables, esto indica que la estructura no tiene posibilidad de que se deforme permanentemente cuanto se encuentre en funcionamiento.

3.5 Construcción del prototipo

De acuerdo a los procedimientos señalados en el capítulo 2, se construyó el prototipo según los resultados de diseño, y cumpliendo las siguientes recomendaciones técnicas:

- Soldar el espejo con los tubos con varillas de bronce con Cu de 56 a 60%, o varillas de plata con un porcentaje de 40 a 50%, además utilizar Bórax como fundente, esto para garantizar adherencia de la soldadura.
- Roscar los extremos de los tubos de cobre y llene la tubería con arena, después selle con tapones hembra y finalmente haga un precalentamiento de la región a doblar para evitar el rechupe de la tubería de cobre al momento de doblarla.
- Cortar la tubería de 6" SCH 40 con una guillotina y rectificar el corte en un torno para garantizar que sea completamente recto.

- Crear plantillas para el espejo y baffles en escala 1:1 y pegar sobre la superficie de las planchas de metal, esto servirá como guía durante el corte con plasma además permitirá identificar los puntos para la perforación de los agujeros, esto para garantizar la alineación de los agujeros al momento de ensamblar los tubos de cobre.

Obteniendo de esta forma los siguientes elementos mecánicos que se muestran en las fotografías:



Figura 3. 10 Armado de la coraza

Fuente: [Autores]



Figura 3. 11 Armado del cabezal

Fuente: [Autores]



Figura 3. 12 Armado del sistema de tubos

Fuente: [Autores]



Figura 3. 13 Equipo completo

Fuente: [Autores]



Figura 3. 14 Soldado de tubos de cobre con el espejo

Fuente: [Autores]



Figura 3. 15 Armado de bafles

Fuente: Autores

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA HOJA TÉCNICA DEL EQUIPO			
Elaborado: Autores		Fecha: 22-12-2021		Versión: 2021	
Nombre del Equipo:		Intercambiador de Calor de coraza y Tubos			
Descripción física:		El intercambiador de calor está constituido por una coraza de material ASTM A53 de 6" y de tubos de cobre tipo K de 3/8"; está sentada sobre una base sólida de materia acero A36 proporción un rendimiento del 40%, está diseñado para que se conduce agua fría por la coraza y vapor por los tubos.			
Modelo: BEU2021		Marca: INTERU21		Fluidos: Vapor-Agua	
Características del agua			Características del vapor		
Presión:	27 PSI		Presión:	60 PSI	
Temperatura:	20 °C		Temperatura:	144.83 °C	
Caudal:	5 L/min		Flujo másico:	0.2 kg/h	
Especificaciones técnicas			Grafica		
Eficiencia:	11 %				
Potencia:	3.18 kW				
Longitud:	57 cm				
Ancho:	35 cm				
Precauciones:					
<ul style="list-style-type: none"> • Usar equipo de protección personal para su manipulación. • Por ningún motivo superar presiones y temperaturas de diseño. • Para realizar el mantenimiento, el equipo debe estar apagado. • Realizar un mantenimiento del equipo en forma periódica para evitar taponamiento las válvulas de entrada y salida de los fluidos. 					

3.6 Pruebas básicas de intercambio de calor

Para las pruebas de funcionamiento se utilizó agua como fluido único, esta es una prueba de arranque en frío a diferentes temperaturas en la cual se espera que el sistema alcance el equilibrio, para la entrada de los tubos se utilizó agua caliente a 60°C, mientras que para la entrada de la coraza se utilizó aguade a 10°C, y al cabo de 15 minutos se alcanzó el estado estable aproximadamente; y el fluido frío se calentó 16°C y el fluido caliente se

enfrió 31°C. Las mediciones en las salidas de los fluidos se tomaron cada 3 minutos con la ayuda de un termómetro y se obtuvieron los datos que se muestran en la tabla 3.8

Tabla 3. 8 Análisis de Resultados Tabla

Tiempos (min)	Agua caliente		Agua Fría	
	Entrada °C	Salida °C	Entrada °C	Salida °C
0	60		10	10
3	60	34	10	22
6	60	30,1	10	26
9	60	30	10	27
12	60	30	10	27
15	60	29	10	26

Fuente: [Autores]

Interpretación de resultados:

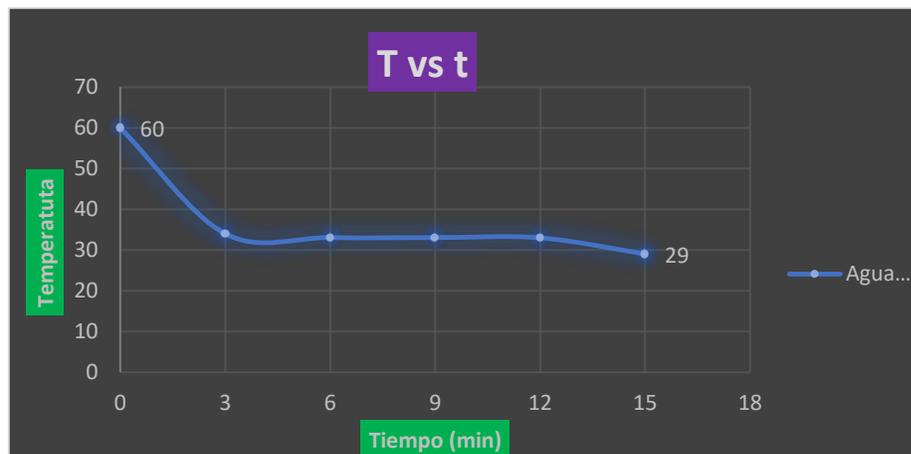


Figura 3. 16 Gráfica Temperatura vs Tiempo (Agua caliente)

Fuente: [Autores]

La Figura 3.16 muestra el comportamiento real del agua caliente desde que entró hasta que salió de la coraza, alcanzando a los 15 minutos una temperatura de salida de 29°C.



Figura 3. 17 Gráfica Temperatura vs Tiempo (Fluido Frío)

Fuente: [Autores]

Según la figura 3.17 nos muestra el cambio de temperatura en los tubos, inicialmente ingresó agua fría a 10°C y debido al efecto de transferencia de calor fue aumentando la temperatura hasta alcanzar una temperatura de 26°C a los 15 minutos.

3.7 Recomendaciones operación y puesta en marcha

Principio de funcionamiento de un intercambiador de calor.

Un intercambiador de calor es un equipo que trabaja a presión, pero sin combustión, este equipo posee dos cámaras de presión de forma independiente (coraza y tubos). Por las dos cámaras fluyen dos fluidos; en nuestro caso agua y vapor de tal forma que cuando se produce una diferencia de temperatura entre ellos; el calor es intercambiado, pero sin que los fluidos se mezclen.

El diseño del equipo es de tal forma que los fluidos (agua-vapor) fluyan en contra flujo, a través de tubos en forma de U en el interior de la carcasa, que a la vez están sujetas mediante los baffles y los espejos.

Los tubos de cobre están totalmente soldados con los espejos mediante soldadura de bronce y a la vez la carcasa esta empernada con el cabezal mediante una brida.

Puesta en marcha del equipo.

Comprueba lo siguiente antes de la puesta en marcha del intercambiador de calor:

- Las conexiones de las tuberías estén en perfecto estado y se encuentre debidamente sujetas.
- Las tuberías del intercambiador se encuentren limpias y purgadas.
- Verificar factores de riesgo que afecten la presión interna del intercambiador de calor, provocando golpe de ariete o cambios de presión y que afecten los resultados.
- Comprobar que las válvulas entre los tanques de almacenamiento y el intercambiador de calor estén cerradas.
- Comprobar siempre que los pernos de las bridas estén correctamente ajustados.

Parada o fin de proceso

- Cerrar lentamente las válvulas de entrada
- Drenar y ventilar en intercambiador de calor
- Cerrar las válvulas de salida

Recomendaciones

- Se recomienda para ampliar la vida útil del intercambiador de calor, a continuaciones se hace algunas recomendaciones que los estudiantes deben tener mucho en cuenta:
- Antes de poner en funcionamiento el intercambiador de calor, conviene consultar los planos del intercambiador, ya que nos ayudan a la identificación de instrucciones especiales.
- Las válvulas deben abrirse de forma gradual, ya que si lo hacemos de forma brusca las válvulas pueden estar sometidas a un choque térmico, esto causa fatiga de los materiales.
- Es importante no superar nunca las presiones o temperaturas de diseño. Estos parámetros no pueden ser mayores o inferiores al rango de temperatura del diseño; esto puede acabar con la vida del equipo.
- Por ningún motivo se debe tocar equipo en funcionamiento sin una protección, ya que la temperatura es elevada y puede provocar quemaduras.

- Es importante que para realizar el mantenimiento el equipo debe estar completamente apagado, purgar el fluido del interior, esto ayudara a evitar cualquier accidente.
- Realizar el mantenimiento del equipo de forma periódica para evitar ensuciamiento y bloqueos en la sección de intercambio de calor.
- Utilizar equipos de protección personal para la manipulación del intercambiador de calor, con el fin de evitar algún accidente que ponga en riesgo la integridad de la persona.

3.8 Recomendaciones de Mantenimiento

La eficiencia de los intercambiadores se ve afectada a partir de 1.15 mm (1/16”) de acumulación de residuos (lodos) e incrustaciones lo que produce el 12% de la perdida de eficiencia llegando alcanzar hasta el 40%, esto demuestra que la falta de mantenimiento es la principal causa de la deficiencia térmica dando como resultado la presencia de oxidación, picaduras, reducción de la vida útil del equipo, por tal motivo es indispensable que se lleve un mantenimiento periódico con la finalidad de garantizar su funcionamiento y su disponibilidad. [3]

Para implementar las recomendaciones de mantenimiento del intercambiador de calor se desarrolló una matriz MAFE la cual nos permitió identificar los modos de fallos de los distintos elementos para identificar las causa y efectos que se presentan durante su etapa funcional, de acuerdo con la matriz los tubos de cobre son los componentes de mayor prioridad para el mantenimiento ya que presentaron un IPR 240 siendo propensos a fallar por picaduras, en segundo lugar la prioridad recae en los accesorios ya que se encuentran con IPR de 112 a 168 debido a que están expuestos a los distintos efectos de corrosión y finalmente las válvulas quedan en tercer lugar como prioridad para el mantenimiento ya que su IPR se encuentra en 112 siendo la erosión su principal modo de fallo debido a que están expuestos a cavitación, de acuerdo a este análisis se procede a dar las recomendaciones generales a tomar en cuenta para prevenir el deterioro del equipo.

Recomendaciones generales después del uso del equipo

- Limpiar la coraza y tubos introduciendo chorro de agua o aire a alta presión por las entradas de los fluidos.
- Despresurizar la coraza y el cabezal
- Abrir las válvulas de salida y entradas para vaciar los fluidos
- Conectar las entradas de los fluidos a una fuente de aire comprimido para purgar completamente los fluidos.
- Verificar que la temperatura del intercambiador sea menor a 50°C y retirar el cabezal desajustando los tornillos de forma cruzada.
- Asegúrese de secar los tubos y las paredes internas del cabezal y de la coraza con aire.
- Retire los posibles residuos de las caras internas de la coraza y cabezal con un poco de guaype.
- Aplique WD40 en los baffles, espejo, cabezal, coraza y accesorios para mantener las superficies libres de corrosión. [3]

Recomendaciones generales para el mantenimiento preventivo

- Cuando el intercambiador se encuentre con alguna de las entradas de fluido abiertas al ambiente es indispensable que se sellen con tapones para prevenir la introducción de suciedad u objetos extraños al interior.
- En el caso de que los fluidos de trabajo se encuentren contaminados con suciedad se debe utilizar filtros en la tubería para prevenir la acumulación de minerales o residuos.
- Inspeccionar el interior de los tubos con la ayuda de un baroscopio para verificar el estado de las paredes internas. [3]

3.9 Costos del intercambiador de calor

Tabla 3. 9 Costos por materia prima

Materiales	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Tubo ASTM A53, 6"SCH 40 L= 45 cm acero al carbono (sin costura)	1	\$ 60	\$ 60
Tubo de cobre Rígido tipo K 3/8" L=6m	2	\$ 38	\$ 76
Bridas Slip-on grado 150 Acero Negro	2	\$ 26,48	\$ 52,96
Caps (Tapón Hembra soldable) 6" acero Negro	2	\$ 22	\$ 44
Varilla lisa ASTM A36 6mx6mm	2	\$ 2,10	\$ 4,20
Platina de 30mmx3mm	1	\$ 8,33	\$ 8,33
Pedazo de plancha de acero ASTM A36 de 1/2" 17x17cm	1	\$ 7	\$ 7
Pedazo de plancha de acero ASTM A36 de 37x37cmx 3mm	1	\$ 5,50	\$ 5,50
Pedazo de plancha de acero ASTM A36 1/2" 21x21 cm	1	\$ 9	\$ 9
Asbesto 22x22cmx3mm	2	\$ 25	\$ 50
Recubrimiento Anticorrosivo de alta temperatura 1litro	1	\$ 12,55	\$ 12,55
Wype	2	0,25	\$ 0,50
Tiñer (1Lt)	2	\$ 2	\$ 4
Borax	1	\$ 2,50	\$ 2,50
Electrodo 7810 1Kilo	1	\$ 3,40	\$ 3,40
Electrodo 6013 1/2 libra	1	\$ 1,80	\$ 1,80
Pintura Anticorrosiva (1Lt)	1	\$ 12,55	\$ 12,55
Pintura Epoxi (0.5 Lt)	1	\$ 3,89	\$ 3,89
Abrazaderas 1/2"	2	\$ 2	\$ 4
Lija de Agua	3	\$ 0,60	\$ 1,80
Pernos 3/4 x4"	8	\$ 1,09	\$ 8,72
Tuercas 3/4"	8	\$ 0,30	\$ 2,40
Rodelas planas 3/4"	8	\$ 0,30	\$ 2,40
Pernos M10x25mmm	4	\$ 0,40	\$ 1,60

Tuercas M10	4	\$ 0,20	\$ 0,80
Boquillas 1/2" L= 5 cm	5	\$ 4,90	\$ 4,90
Cono matriz	1	\$ 0,25	\$ 0,25
sub total			\$ 385

Fuente: [Autores]

Tabla 3. 10 Costo de accesorios para la instalación

Materiales	Unidad	Precio unitario	Total
Niple HN 1/2x3 " clase 3000 (Sin costura)	5	\$ 0,70	\$ 3,50
Niple Hn 1/4x2"clase 3000 (Sin costura)	2	\$ 0,97	\$ 1,94
Niple NH 1/2X2" clase 3000 (Sin costura)	3	\$ 0,34	\$ 1,02
Tee HN 1/2 SCH 40	1	\$ 0,99	\$ 0,99
Bushing HN 1/2 a 1/4 " (Grado 150)	1	\$ 0,85	\$ 0,85
Unión HN 1/4"	1	\$ 1,10	\$ 1,10
Manómetro 1/4"x90 Psi	1	\$ 19,50	\$ 19,50
Codo HN 1/2"x90° (Grado 150)	3	\$ 0,78	\$ 2,34
Válvula de globo 1/2" (Grado 150)	1	\$ 20	\$ 20
Válvula de esfera 1/2" (Grado 150)	1	\$ 3,25	\$ 3,25
Válvula de bola 1/4 plg (Grado 150)	1	\$ 3,95	\$ 3,95
Válvula de compuerta 1/2" (Grado 150)	3	\$ 15,65	\$ 46,95
Válvula de alivio	1	\$ 60	\$ 60
Teflón	1	\$ 0,75	\$ 0,75
manguera negra de agua (6m)	6	\$ 0,60	\$ 3,60
Neplo plásticos de agua caliente 1/2X2"	4	\$ 0,45	\$ 1,80
Abrazaderas 1/2"	6	\$ 0,25	\$ 1,50
Estructura soporte	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Adaptadores de tanque de 1/2"	2	\$ 2	\$ 4
Sub Total			\$ 227,04

Fuente: [Autores]

Tabla 3. 11 Costo de máquinas y herramientas

Proceso de operación	Hora de trabajo	Costo/hora	Costo total
Doblado de los tubos de cobre	10	\$ 10	\$ 100
Cortada del tubo coraza	3	\$ 3	\$ 9
Cortada de las placas para los baffles	3	\$ 3	\$ 9
Cortada de la placa para la división coraza	1	\$ 3	\$ 3
Cortada de la placa para el espejo	1	\$ 3	\$ 3
Perforado del espejo	1	\$ 5	\$ 5
Perforado de los caps	1	\$ 5	\$ 5
Torneado boquillas	4	\$ 4,00	\$ 16
Soldadora eléctrica	8	\$ 10	\$ 80
Compresor (pintura)	3	\$ 10	\$ 30
Sub total			\$ 260

Fuente: [Autores]

Tabla 3. 12 Costo por mano de obra

Proceso de operación	Hora de trabajo	Costo/hora	Costo total
Tornero	10	\$ 4,50	\$ 45,00
Soldador	8	\$ 4,50	\$ 36,00
Ayudante operador de equipos	10	\$ 3	\$ 30,00
Pintor	2	\$ 4,00	\$ 8,00
Sub total			\$ 119,00

Fuente: [Autores]

Tabla 3. 13 Costos por diseño

Descripción	Valor
Costo por diseño	\$ 200
Costo por realización de pruebas	\$ 150
Sub Total	\$ 350,00

Fuente: [Autores]

Tabla 3. 14 Costos del intercambiador de calor

Descripción	Valor
Costos materiales	\$ 612,09
Costo de mano de obra	\$ 729,00

Fuente: [Autores]

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los parámetros de diseño térmico están dados por los fluidos de trabajo, en este caso el vapor a 145°C y con flujo másico de 0.000056 kg/s, mientras que el agua a temperatura de entrada de 20°C con un flujo másico de 0.083kg/s, además se asumió la temperatura de salida del agua a 34°C, sin embargo para el diseño mecánico se tomó en cuenta la presión mas más critica que es la del vapor a 60psi y una longitud máxima de 60 cm para el intercambiador debido a la poca disponibilidad de espacio en el laboratorio de energías.
- Los espesores de los materiales para la construcción de la coraza y el cabeza se seleccionaron de acuerdo a los productos normalizados en el mercado, el tubo y los CAPS son de SCH 40 que corresponde a 7.11mm de espesor, la placa divisora de 10mm y lo bafles de 3mm, mientras que los accesorios, así como niples, uniones, codos y válvulas se seleccionó de clase 150 en SCH 40.
- El intercambiador de calor se diseñó para que los fluidos trabajen en flujo cruzado, en este caso el vapor que sale del Calderín entra por el cabezal a 145°C, mientras que el agua entra por la coraza a 20°C, siendo bombeada a 27 psi a un caudal de $\frac{1}{\text{min}}$.
- El equipo se modeló en 3D tomando en cuenta sus espesores y características comerciales, la longitud total de intercambiador es de 60.6 cm, la longitud del cabezal se dimensiono de 19.7 cm, mientras que la de la coraza se dimensionó de 42.9 cm tomando en cuenta que la separación del primer bafle con respecto al espejo sea de 80 mm y la separación entre bafles de 77 mm de acuerdo a lo determinado en los cálculos, la boquilla se dimensionó 3 de 4cm y 2 de 5cm.
- Se construyó un prototipo de intercambiador de 60.6 cm de longitud con un tubo de 6" SCH 40 en acero ASTM A53, la tubería de cobre tipo K de 3/8", las boquillas

de 1 1/4" SCH 40 en ASTM A53 mientras que el espejo, baffles y la placa divisora en acero ASTM A36 de acuerdo a los espesores detallados en los planos.

- Se realizaron pruebas de funcionamiento básicas de intercambio de calor, utilizando agua como fluido único a diferentes temperaturas y con caudales similares (0.027L/s), por los tubos circulo agua caliente a 60°C y por la coraza agua fría a 10°C de tal manera que luego de 15 minutos el agua caliente salió a 29°C y el agua fría a 26°C.
- Es necesario realizar una inspección general del equipo antes del funcionamiento para evitar algún tipo de imprevisto, además de acuerdo con el análisis de la matriz AMFE el equipo requiere tomar acciones preventivas para la gestión del espejo, baffles accesorios y válvulas ya que estos tienen índice prioridad de riesgo mayor a 100 lo cual se debe a que están sujetos a efectos corrosión y erosión por lo que es necesario que se aplique un recubrimiento epoxi y colocar filtros en las entradas para evitar el paso de impurezas para prevenir el desgaste prematuro de los elementos.

4.2 Recomendaciones

- Ejecutar la metodología de construcción y montaje, considerando aspectos técnicos de tolerancias, ajustes y deformaciones, para evitar la desalineación de los elementos y posibles fugas.
- Investigar el problema de convección de fluidos al interior y exterior de banco de tubos aplicando técnicas de simulación por elementos finitos y CFD.
- Incluir sensores electrónicos para control y automatización que permitan determinar parámetros de funcionamiento y facilitar la operación del equipo.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias bibliográficas

- [1] C. Quispe Gómez, "Simulación en dinámica de fluido computacional (DFC) y evaluación experimental, en la entrada de jugo de caña de azúcar en un intercambiador de calor de tubos y carcasa", Puno-Perú: Universidad Nacional del Antiplano, 2017.
- [2] L. Lasso Ortega, "Diseño y construcción de un intercambiador de calor de coraza y tubos para el proceso de enfriamiento de agua hasta 167°C en la planta SIGMAPLAST", Quito: Universidad Politécnica Salencia Sede Quito, 2021.
- [3] F. Gómez Daza, "Diseño y Modelamiento de un Intercambiador de Calor de Tubo y Carcasa bajo la Normativa TEMA Y ASME", Universidad Tecnológica de Santander, 2017.
- [4] Castro, C. Torres; Ramírez, J. Pacanchique, "Diseño y construcción de un intercambiador de calor de carcasa y tubos para el laboratorio de transferencia de calor de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja", Trunja: Universidad Antonio Nariño, 2020.
- [5] R. Arcentale, «"UCE.EDU.EC",» 2015. [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3781/1/T-UCE-0017-105.pdf>. [Último acceso: 28 Abril 2021].
- [6] A. Model, "How to energy recovery ventilation works simple science can help you archive indoor", Canada, 2006.
- [7] Budynas, Richard G., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", Octava ed., Mexico: Mc Graw Hill, 2008.
- [8] B. Reyes, J. Moya, O. Cruz, «"Impacto ecológico de los Intercambiadores",» Santa Clara, 2014.

- [9] C. Ranganayakulu and K. N. Seetheramu, "Compact Heat Exchangers", USA: Jhon Wiley & Sons. Ltd, First Edition, 2018.
- [10] Cengel, Yunus A., "Trasferencia de calor y masa", Mexico; D.F.: MnGraw-Hill Interamericana, 2007.
- [11] Cengel, Yunus A., "Transferencia de calor y masa", Mexico: McGraw-Hill, 2011.
- [12] Días Guevara, Sergio Andres; Vega Patiño, Germán Eduardo, "Diseño y construcción de un intercambiador de placas paralelas para el laboratorio de transferencia de calor", Boyaca Colombia: Universidad Pedagogica y Tecnologica de Colombia, 2017.
- [13] J.P.Holman, "Trasferencia de Calor", México: CONTINENTAL S.A DE C.V MÉXICO, 1999.
- [14] M.J Montes Pita, "Teoría y Problemas de Trasmision de Calor", vol. 1, Madrid, 2015.
- [15] TEMA, "Standars oh the Tubular Exchnger MAnufactures Association", Flexible Shell Elements, 2007., 2018, p. 2.
- [16] K. Ramesh, P. Dusan, "Fundamental of Heat Exchanger Design", Canada,pg 60, 2003.
- [17] P. Incropera, "Fundamentos de la Trasferencia de Calor", Cuarta edi.: Prentice Hali. Mexico 1999.
- [18] J.M. Marin, S. Guillén, «"Materiales",» de Diseño y cálculo de intercambiadores de calor monofásicos, España, 2013, p. 15.
- [19] N. Durango, A. Bula, «"Clasificación de los intercambiadores de calor",» de Diseño de sistemas termofluidos, Colombia, 2016, p. 37.
- [20] Manufactura Assiciation, "Standars of the Tublar Exchanger", New York: pg.5, 1968.
- [21] Mukherjje, R., «"Effectively Design Shell and Tube Heat Exchangers"» Chemical Engineering Progress, p. pg. 4.

- [22] Grupo Almesa , «Catalogo Técnico,» 2015. [En línea]. Available:
http://www.almesa.com/wp-content/uploads/CATALOGO_TECNICO_ISO9001.pdf.
- [23] E. Arones Medina, Tráferencia de calor, Perú, p. 117.

Anexos

Anexo 1 Propiedades del Agua a Temperatura Promedio

TABLA A.1 Unidades del SI [101 kPa (abs)]				
Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Anexo 2 Propiedades del agua saturada

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Anexo 3 Agua saturada – Tabla de presiones

TABLA A-5E

Agua saturada. Tabla de presiones

Pres., P psia	Temp. sat., T _{sat} °F	Volumen específico, ft ³ /lbm		Energía interna, Btu/lbm			Entalpía, Btu/lbm			Entropía, Btu/lbm · R		
		Liq. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Liq. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Liq. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Liq. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
1	101.69	0.01614	333.49	69.72	973.99	1043.7	69.72	1035.7	1105.4	0.13262	1.84495	1.9776
2	126.02	0.01623	173.71	94.02	957.45	1051.5	94.02	1021.7	1115.8	0.17499	1.74444	1.9194
3	141.41	0.01630	118.70	109.39	946.90	1056.3	109.40	1012.8	1122.2	0.20090	1.68489	1.8858
4	152.91	0.01636	90.629	120.89	938.97	1059.9	120.90	1006.0	1126.9	0.21985	1.64225	1.8621
5	162.18	0.01641	73.525	130.17	932.53	1062.7	130.18	1000.5	1130.7	0.23488	1.60894	1.8438
6	170.00	0.01645	61.982	138.00	927.08	1065.1	138.02	995.88	1133.9	0.24739	1.58155	1.8289
8	182.81	0.01652	47.347	150.83	918.08	1068.9	150.86	988.15	1139.0	0.26757	1.53800	1.8056
10	193.16	0.01659	38.425	161.22	910.75	1072.0	161.25	981.82	1143.1	0.28362	1.50391	1.7875
14.696	211.95	0.01671	26.805	180.12	897.27	1077.4	180.16	970.12	1150.3	0.31215	1.44441	1.7566
15	212.99	0.01672	26.297	181.16	896.52	1077.7	181.21	969.47	1150.7	0.31370	1.44441	1.7549
20	227.92	0.01683	20.093	196.21	885.63	1081.8	196.27	959.93	1156.2	0.33582	1.39606	1.7319
25	240.03	0.01692	16.307	208.45	876.67	1085.1	208.52	952.03	1160.6	0.35347	1.36060	1.7141
30	250.30	0.01700	13.749	218.84	868.98	1087.8	218.93	945.21	1164.1	0.36821	1.33132	1.6995
35	259.25	0.01708	11.901	227.92	862.19	1090.1	228.03	939.16	1167.2	0.38093	1.30632	1.6872
40	267.22	0.01715	10.501	236.02	856.09	1092.1	236.14	933.69	1169.8	0.39213	1.28448	1.6766
45	274.41	0.01721	9.4028	243.34	850.52	1093.9	243.49	928.68	1172.2	0.40216	1.26506	1.6672
50	280.99	0.01727	8.5175	250.05	845.39	1095.4	250.21	924.03	1174.2	0.41125	1.24756	1.6588
55	287.05	0.01732	7.7882	256.25	840.61	1096.9	256.42	919.70	1176.1	0.41958	1.23162	1.6512
60	292.69	0.01738	7.1766	262.01	836.13	1098.1	262.20	915.61	1177.8	0.42728	1.21697	1.6442
65	297.95	0.01743	6.6560	267.41	831.90	1099.3	267.62	911.75	1179.4	0.43443	1.20341	1.6378
70	302.91	0.01748	6.2075	272.50	827.90	1100.4	272.72	908.08	1180.8	0.44112	1.19078	1.6319
75	307.59	0.01752	5.8167	277.31	824.09	1101.4	277.55	904.58	1182.1	0.44741	1.17895	1.6264
80	312.02	0.01757	5.4733	281.87	820.45	1102.3	282.13	901.22	1183.4	0.45335	1.16783	1.6212
85	316.24	0.01761	5.1689	286.22	816.97	1103.2	286.50	898.00	1184.5	0.45897	1.15732	1.6163
90	320.26	0.01765	4.8972	290.38	813.62	1104.0	290.67	894.89	1185.6	0.46431	1.14737	1.6117
95	324.11	0.01770	4.6532	294.36	810.40	1104.8	294.67	891.89	1186.6	0.46941	1.13791	1.6073
100	327.81	0.01774	4.4327	298.19	807.29	1105.5	298.51	888.99	1187.5	0.47427	1.12888	1.6032
110	334.77	0.01781	4.0410	305.41	801.37	1106.8	305.78	883.44	1189.2	0.48341	1.11201	1.5954
120	341.25	0.01789	3.7289	312.16	795.79	1107.9	312.55	878.20	1190.8	0.49187	1.09646	1.5883
130	347.32	0.01796	3.4557	318.48	790.51	1109.0	318.92	873.21	1192.1	0.49974	1.08204	1.5818
140	353.03	0.01802	3.2202	324.45	785.49	1109.9	324.92	868.45	1193.4	0.50711	1.06858	1.5757
150	358.42	0.01809	3.0150	330.11	780.69	1110.8	330.61	863.88	1194.5	0.51405	1.05595	1.5700
160	363.54	0.01815	2.8347	335.49	776.10	1111.6	336.02	859.49	1195.5	0.52061	1.04405	1.5647
170	368.41	0.01821	2.6749	340.62	771.68	1112.3	341.19	855.25	1196.4	0.52682	1.03279	1.5596
180	373.07	0.01827	2.5322	345.53	767.42	1113.0	346.14	851.16	1197.3	0.53274	1.02210	1.5548
190	377.52	0.01833	2.4040	350.24	763.31	1113.6	350.89	847.19	1198.1	0.53839	1.01191	1.5503
200	381.80	0.01839	2.2882	354.78	759.32	1114.1	355.46	843.33	1198.8	0.54379	1.00219	1.5460
250	400.97	0.01865	1.8440	375.23	741.02	1116.3	376.09	825.47	1201.6	0.56784	0.95912	1.5270
300	417.35	0.01890	1.5435	392.89	724.77	1117.7	393.94	809.41	1203.3	0.58818	0.92289	1.5111
350	431.74	0.01912	1.3263	408.55	709.98	1118.5	409.79	794.65	1204.4	0.60590	0.89143	1.4973
400	444.62	0.01934	1.1617	422.70	696.31	1119.0	424.13	780.87	1205.0	0.62168	0.86350	1.4852
450	456.31	0.01955	1.0324	435.67	683.52	1119.2	437.30	767.86	1205.2	0.63595	0.83828	1.4742
500	467.04	0.01975	0.92819	447.68	671.42	1119.1	449.51	755.48	1205.0	0.64900	0.81521	1.4642
550	476.97	0.01995	0.84228	458.90	659.91	1118.8	460.93	743.60	1204.5	0.66107	0.79388	1.4550
600	486.24	0.02014	0.77020	469.46	648.88	1118.3	471.70	732.15	1203.9	0.67231	0.77400	1.4463

Anexo 4 Agua saturada – Tabla de temperaturas

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Volumen específico, m ³ /kg			Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
	Pres. sat., P _{sat} kPa	Liq. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Liq. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Liq. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Liq. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
	0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.615	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

Anexo 5 Propiedades técnicas del cobre

TUBO DE COBRE RÍGIDO Y RECOCIDO PARA APLICACIONES DE AGUA SANITARIA, GAS, CALEFACCIÓN Y ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Tubo de cobre rígido y recocido para aplicaciones de conducción de agua sanitaria, gas, calefacción y energía solar térmica, certificado en todas sus aplicaciones por AENOR. Además nuestros tubos disponen de la declaración CE .

Es el tubo de cobre elegido por los profesionales para una instalación sanitaria porque ofrece la máxima seguridad y durabilidad.

La Farga garantiza 50 años de tranquilidad con la instalación de nuestros tubos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Norma: UNE-EN 1057

Composición química: CuDHP (Cu+Ag) > 99,90%

P: 0,015% / 0,04%

Estado: duro, semiduro y recocido

Resistente a las altas temperaturas, temperatura de fusión 1083°C

Alta conductividad térmica: $\lambda = 364 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (20°C)

Coefficiente de expansión mínimo: 0,0168 mm/m°C

GAMA ROLLOS

Dimensión (mm)	Presión de trabajo (bar)	Presión de rotura (kg/cm ²)	Longitud rollos (m)	Metros / Palet
8 x 1	122	611	25/50	1200
10 x 1	96	478	25/50	1200
12 x 1	79	393	25/50	900
14 x 1	67	333	25/50	800
15 x 1	62	310	25/50	800
16 x 1	58	290	25/50	800/700
18 x 1	51	256	25/50	600
22 x 1	41	208	25/50	350/300
15 x 1,5	96	478	25/50	800
18 x 1,5	79	393	25/50	600
22 x 1,5	64	317	25/50	350/400

Anexo 6 Usos y aplicaciones - Tubería de cobre

INTERNACIONAL DE IDENTIFICACIÓN		DIÁMETROS NOMINALES		USOS Y APLICACIONES
TIPO	COLOR	MILÍMETROS (PULG.)		
	Rojo	6 (1/4")	51 (2")	Conducción de agua potable Casas de interés social Casas de interés medio Edificios habitacionales Edificios comerciales
		10 (3/8")	64 (2 1/2")	
		13 (1/2")	75 (3")	
		19 (3/4")	100 (4")	
		25 (1")		
		32 (1 1/4")		
		38 (1 1/2")		
	Azul	6 (1/4")	51 (2")	Los mismos que el tipo "M", además de: Instalaciones de gas combustible y medicinal, tomas domiciliarias de agua potable.
		10 (3/8")	64 (2 1/2")	
		13 (1/2")	75 (3")	
		19 (3/4")	100 (4")	
		25 (1")		
		32 (1 1/4")		
		38 (1 1/2")		
	Verde	10 (3/8")	51 (2")	Los mismos que el tipo "L", además de: Uso Industrial donde las presiones y temperaturas de trabajo son severas.
		13 (1/2")	64 (2 1/2")	
		19 (3/4")	75 (3")	
		25 (1")	100 (4")	
		32 (1 1/4")		
		38 (1 1/2")		

Anexo 7 Propiedades Mecánicas acero A53

DIMENSIONES DE LA TUBERÍA DE ACERO

TABLA F. 1 Cédula 40

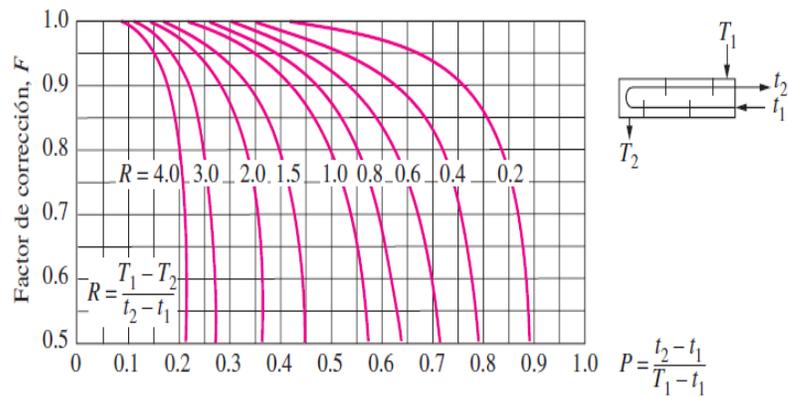
Tamaño nominal de la tubería		Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Área de flujo	
NPS (in)	DN (mm)	(in)	(mm)	(in)	(mm)	(in)	(ft)	(mm)	(ft ²)	(m ²)
1/8	6	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 ⁻⁵
1/4	8	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 ⁻⁵
3/8	10	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 ⁻⁴
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 ⁻⁴
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 ⁻⁴
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 ⁻⁴
1 1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 ⁻⁴
1 1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 ⁻³
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 ⁻³
2 1/2	65	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 ⁻³
3	80	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 ⁻³
3 1/2	90	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 ⁻³
4	100	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 ⁻³
5	125	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 ⁻²
6	150	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 ⁻²
8	200	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 ⁻²
10	250	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 ⁻²
12	300	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 ⁻²
14	350	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 ⁻²
16	400	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	450	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	500	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	600	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

Anexo 8 Dimensiones - Tubería de cobre

DIMENSIONES DE TUBOS DE COBRE TIPO K

Tamaño nominal (in)	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Área de flujo	
	(in)	(mm)	(in)	(mm)	(in)	(ft)	(mm)	(ft ²)	(m ²)
1/8	0.250	6.35	0.035	0.889	0.180	0.0150	4.572	1.767 × 10 ⁻⁴	1.642 × 10 ⁻⁵
1/4	0.375	9.53	0.049	1.245	0.277	0.0231	7.036	4.185 × 10 ⁻⁴	3.888 × 10 ⁻⁵
3/8	0.500	12.70	0.049	1.245	0.402	0.0335	10.21	8.814 × 10 ⁻⁴	8.189 × 10 ⁻⁵
1/2	0.625	15.88	0.049	1.245	0.527	0.0439	13.39	1.515 × 10 ⁻³	1.407 × 10 ⁻⁴
5/8	0.750	19.05	0.049	1.245	0.652	0.0543	16.56	2.319 × 10 ⁻³	2.154 × 10 ⁻⁴
3/4	0.875	22.23	0.065	1.651	0.745	0.0621	18.92	3.027 × 10 ⁻³	2.812 × 10 ⁻⁴
1	1.125	28.58	0.065	1.651	0.995	0.0829	25.27	5.400 × 10 ⁻³	5.017 × 10 ⁻⁴
1 1/4	1.375	34.93	0.065	1.651	1.245	0.1037	31.62	8.454 × 10 ⁻³	7.854 × 10 ⁻⁴
1 1/2	1.625	41.28	0.072	1.829	1.481	0.1234	37.62	1.196 × 10 ⁻²	1.111 × 10 ⁻³
2	2.125	53.98	0.083	2.108	1.959	0.1632	49.76	2.093 × 10 ⁻²	1.945 × 10 ⁻³
2 1/2	2.625	66.68	0.095	2.413	2.435	0.2029	61.85	3.234 × 10 ⁻²	3.004 × 10 ⁻³
3	3.125	79.38	0.109	2.769	2.907	0.2423	73.84	4.609 × 10 ⁻²	4.282 × 10 ⁻³
3 1/2	3.625	92.08	0.120	3.048	3.385	0.2821	85.98	6.249 × 10 ⁻²	5.806 × 10 ⁻³
4	4.125	104.8	0.134	3.404	3.857	0.3214	97.97	8.114 × 10 ⁻²	7.538 × 10 ⁻³
5	5.125	130.2	0.160	4.064	4.805	0.4004	122.0	1.259 × 10 ⁻¹	1.170 × 10 ⁻²
6	6.125	155.6	0.192	4.877	5.741	0.4784	145.8	1.798 × 10 ⁻¹	1.670 × 10 ⁻²
8	8.125	206.4	0.271	6.883	7.583	0.6319	192.6	3.136 × 10 ⁻¹	2.914 × 10 ⁻²
10	10.125	257.2	0.338	8.585	9.449	0.7874	240.0	4.870 × 10 ⁻¹	4.524 × 10 ⁻²
12	12.125	308.0	0.405	10.287	11.315	0.9429	287.4	6.983 × 10 ⁻¹	6.487 × 10 ⁻²

Anexo 9 Factor de corrección



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

Anexo 10 Coeficiente de convección en función de la temperatura

Experiencia	Tagua °C	h W/m ² °C	Error %
1	35.3	44.5	0.59
2	40.5	55.3	0.56
3	43.8	61.7	0.80
4	48.6	72.4	0.73
5	50.0	78.1	0.58
6	51.0	84.1	0.76
7	56.5	96.8	0.57
8	61.7	115.2	0.94
9	61.9	118.7	0.89
10	65.7	136.8	0.81

Anexo 11 Arreglos de los tubos y factores de conversión

Disposición	Re	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
30°	10 ⁵ -10 ⁴	0,321	-0,388	1,450	0,519	0,372	-0,123	7,00	0,500
	10 ⁴ -10 ³	0,321	-0,388			0,486	-0,152		
	10 ³ -10 ²	0,593	-0,477			4,570	-0,476		
	10 ² -10	1,360	-0,657			45,10	-0,973		
	<10	1,400	-0,667			48,00	-1,000		
45°	10 ⁵ -10 ⁴	0,370	-0,396	1,930	0,500	0,303	-0,126	6,59	0,520
	10 ⁴ -10 ³	0,370	-0,396			0,333	-0,136		
	10 ³ -10 ²	0,730	-0,500			3,500	-0,476		
	10 ² -10	0,498	-0,656			26,20	-0,913		
	<10	1,550	-0,667			32,00	-1,000		
90°	10 ⁵ -10 ⁴	0,370	-0,395	1,187	0,370	0,391	-0,148	6,30	0,378
	10 ⁴ -10 ³	0,107	-0,266			0,0815	-0,022		
	10 ³ -10 ²	0,408	-0,460			6,0900	-0,602		
	10 ² -10	0,900	-0,631			32,100	-0,963		
	<10	0,970	-0,667			35,000	-1,000		

Anexo 12 Esfuerzo de diseño del acero A53

ESFUERZO MAXIMO PERMISIBLE DE DISEÑO A LA TENSION EN 1,000 PSI									
ESPECIFICACION DEL MATERIAL		CUANDO LA TEMPERATURA DE DISEÑO NO EXCEDE DE: °F							
NUMERO	GRADO	-20 A 650	700	750	800	850	900	950	1050
SA-283	C	<u>12.7</u>	---	---	---	---	---	---	---
SA-285	C	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5		
SA-515	55	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5
SA-515	60	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5
SA-515	65	16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5
SA-515	70	17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5
SA-516	55	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5
SA-516	60	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5
SA-516	65	16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5
SA-516	70	17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5
SA-105		17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5
SA-181	I	15.00	14.3	12.9	10.8	8.6	6.5	4.5	2.5
SA-350	LF1	15.0	---	---	---	---	---	---	---
	LF2	17.5	---	---	---	---	---	---	---
SA-53	B	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	---	---
SA-106	B	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5
SA-193	87 \leq 2-1/2"	25.0	25.0	23.6	21.0	17.0	12.5	8.5	4.5
SA-194	2H	---	---	---	---	---	---	---	---
SA-307	B	---	---	---	---	---	---	---	---

Anexo 13 Esfuerzo de fluencia para el Cobre

Valores promedios de las propiedades mecánicas a tensión del cobre puro.

Propiedad	Valor
Condiciones del material Recocido parcial	
Esfuerzo de fluencia [MPa]	208 ± 5
Resistencia máxima [MPa]	261 ± 4
Esfuerzo de fractura MPa]	494 ± 9
Deformación a fractura	1,067 ± 0,021
Reducción de área [%]	66 ± 2

Anexo 14 Factor de seguridad recomendados

Caso	Factor de Seguridad <i>FS</i>	Observaciones
1	1,25 ... 1,5	Para materiales excepcionalmente confiables usados bajo condiciones controladas y sujetos a carga y esfuerzos que pueden determinarse con exactitud. Una consideración muy importante es que casi siempre se usan para pesos pequeños.
2	1,5 ... 2	Para materiales bien conocidos, para condiciones de medio ambiente razonablemente constantes y sujetos a carga y esfuerzos que puedan calcularse con facilidad.
3	2 ... 2,5	Para materiales promedio que trabajen en condiciones de medio ambiente ordinarias y sujetos a cargas y esfuerzos que puedan calcularse.
4	2,5 ... 3	Para materiales poco experimentados o para materiales frágiles en condiciones promedio de medio ambiente, carga y esfuerzo.
5	3 ... 4	Para materiales no experimentados usados para condiciones promedio de medio ambiente, carga y esfuerzo.
6	3 ... 4	Deberá también usarse con materiales mejor conocidos que vayan a usarse en condiciones ambientales inciertas o sujetos a cargas y esfuerzo inciertos.

Anexo 15 Esfuerzo de diseño acero A 36

Especificación de Placa	Grado	Espesor de Placa Nominal "t", pulg	Esfuerzo de Cedencia, lbf/pulg2	Esfuerzo a Tensión mínimo, lbf/pulg2	Esfuerzo de Diseño por Producto, "Sd", lbf/pulg2	Esfuerzo por Prueba Hidrostática, "St", lbf/pulg2
Especificaciones ASTM						
A-283	C		30000	55000	20000	22500
A-285	C		30000	55000	20000	22500
A-131	A, B		34000	58000	22700	24900
A-36			36000	58000	23200	24900
A-131	EH-36		51000	71000	28400	30400
A-573	58		32000	58000	21300	24000
A-573	65		35000	65000	23300	26300
A-573	70		42000	70000	28000	30000
A-516	55		30000	55000	20000	22500
A-516	60		32000	60000	21300	24000
A-516	65		35000	65000	23300	26300
A-516	70		38000	70000	25300	28500
A-662	B		40000	65000	26000	27900
A-662	C		43000	70000	28000	30000
A-537 (1)	1		50000	70000	28000	30000

Anexo 16 Factor de convección (h) gases

Typical values of the convective heat transfer	
Process	h (W/m² · K)
Free convection	
Gases	2 - 20
Liquids	50 - 1000
Forced convection	
Gases	25 - 300
Liquids	100 - 40,000
Convection with phase change	
Boiling or condensation	2500 - 100,000

Anexo 17 Análisis AMFE

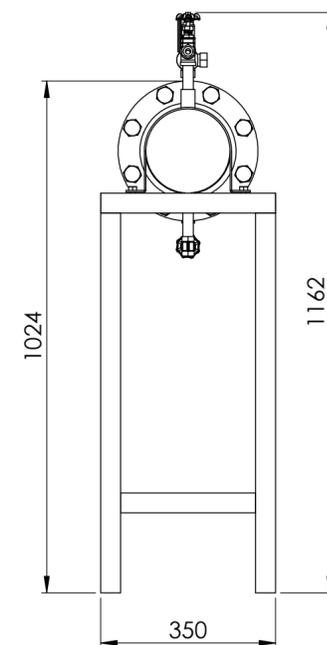
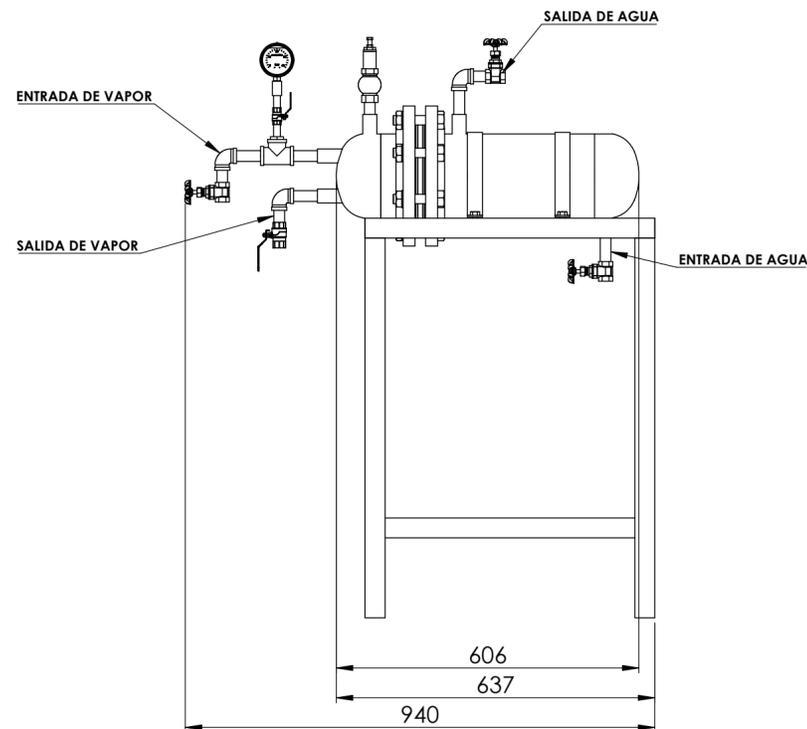
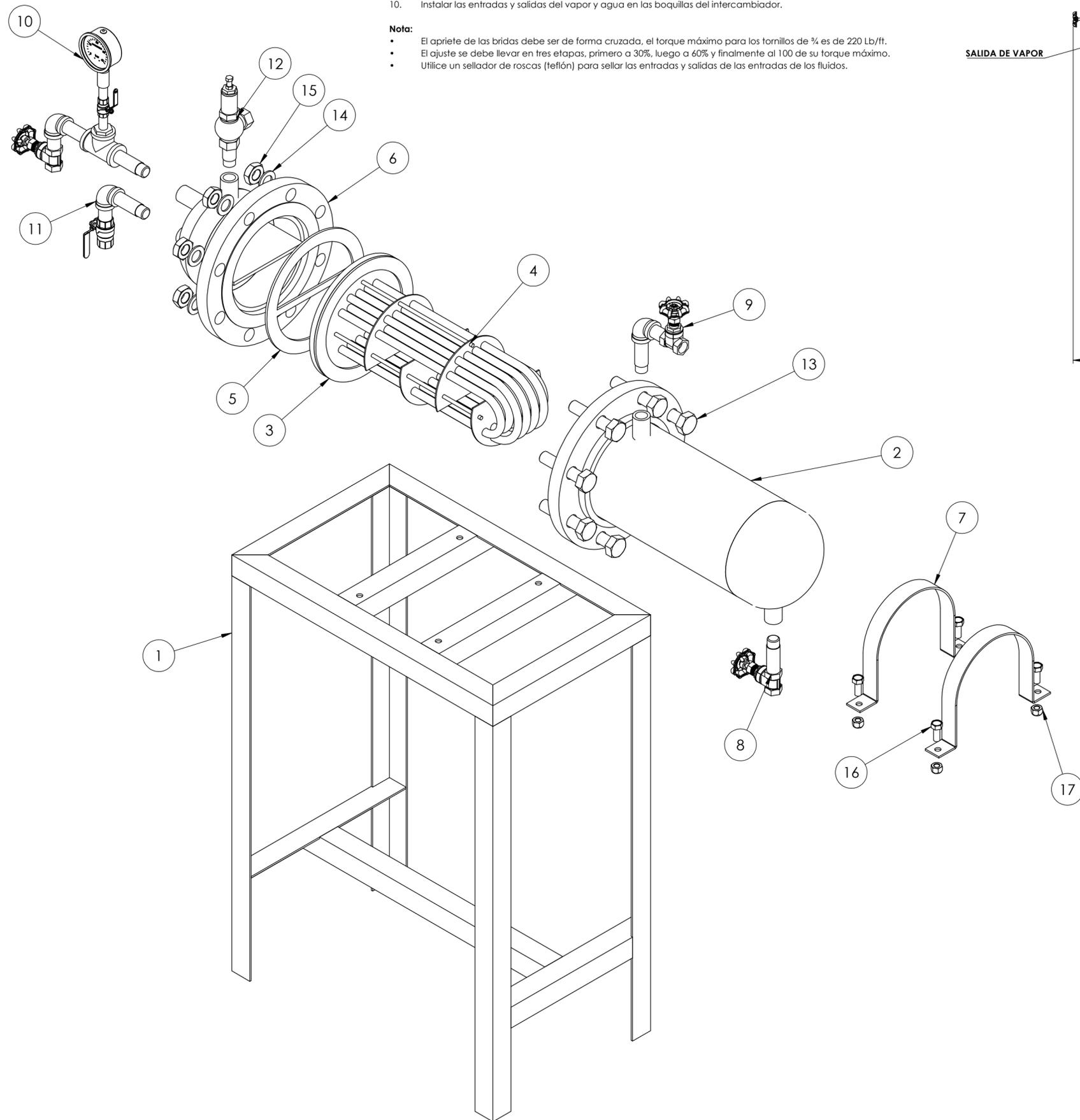
ANÁLISIS AMFE												
Sección	Laboratorio "Energías"		Realizado por:				Autores					
Equipo	Horno de fundición		N° hoja:				1					
			Fecha:									
			Nombre de ficha:				AMFE 1					
N°	Componente	Código	Función	Falla funcional	Modo de falla	Causa Raíz	Efecto	Valoraciones				Recomendaciones
								F	D	G	IPR	
1	Cabezal	ICCT1	Permitir el paso del vapor a 27 PSI.	Fractura de las boquillas.	Fisuras en las juntas de las boquillas.	Golpes en las boquillas.	Fuga de vapor.	1	3	9	27	Evitar golpear las boquillas con objetos pesados.
2	Coraza	ICCT2	Contener el agua a 27 PSI durante la circulación.	Fractura de las boquillas.	Fisuras en las juntas de las boquillas.	Golpes en las boquillas.	Fugas de agua.	1	3	9	27	Evitar golpear las boquillas con objetos pesados.
3	Abrazaderas	ICCT3	Sujetar la coraza con la estructura.	Perfil extremadamente doblado.	Perfil deformado	Golpes con elementos pesados.	Dificultad para sujetar la coraza.	3	3	6	54	Evitar golpear las abrazaderas con objetos pesados.
4	Tubos de cobre	ICCT4	Transportar el vapor.	Perforación	Picaduras	Corrosión excesiva.	Mescla de vapor con agua.	6	4	10	240	Limpiar y secar la tubería con aire después del uso del equipo.
5	Baffles	ICCT5	Direccionar el agua a través de la coraza.	Perforación de la placa.	Picaduras	Corrosión excesiva.	Pésimo direccionamiento del agua.	6	1	10	60	Aplicar anticorrosivo de alta temperatura (Amerzinc-recubrimiento epoxi).
6	Espejo	ICCT6	Anclar la tubería de cobre	Desgaste excesivo.	Picaduras	Corrosión excesiva.	Pérdida económica elevada.	6	1	10	60	Aplicar anticorrosivo de alta temperatura (Amerzinc-recubrimiento epoxi).
7	Varilla lisa	ICCT7	Separar los baffles.	Pandeo de la varilla.	Varilla deformada.	Tensiones excesivas en las varillas.	Dificultar al momento de insertar el sistema de tubos en la coraza.	2	3	4	24	Mejorar la rigidez de la varilla aumentando el diámetro.
8	Empaques	ICCT8	Sellar y evitar fugas durante el funcionamiento del equipo.	Empaque quemado.	Empaque con indicios de carbón.	Exceso de temperatura	Fugas de los fluidos.	1	3	7	21	No exceder las condiciones de funcionamiento.
9	Estructura	ICCT9	Mantener el intercambiador anclado.	Pandeo de los perfiles.	Perfiles deformados.	Exceso de peso sobre la estructura.	Estructura deforme.	1	1	8	8	Evitar poner sobre la estructura otros equipo que no pertenezcan al intercambiador.
10	Niple HN 1/2x3	ICCT10	Unir los accesorios.	Roscas aisladas.	Dientes deformados.	Exceso de ajuste.	Presencia de fugas.	5	4	6	120	Ajustar el accesorio solo hasta que entre la longitud de la rosca completa.
11	Niple Hn 1/4x2"	ICCT11	Unir los accesorios.	Roscas aisladas.	Dientes deformados.	Exceso de ajuste.	Presencia de fugas.	5	4	6	120	Ajustar el accesorio solo hasta que entre la longitud de la rosca completa.
12	Niple NH 1/2X2"	ICCT12	Unir los accesorios.	Roscas aisladas.	Dientes deformados.	Exceso de ajuste.	Presencia de fugas.	5	4	6	120	Ajustar el accesorio solo hasta que entre la longitud de la rosca completa.
13	Tee HN 1/2 sch 40	ICCT13	Dividir el flujo en ramales.	Cavitación	Erosión de la superficie.	Cambios extremos en la velocidad del fluido.	Reducción de la vida útil del accesorio.	4	4	7	112	Colocar depuradores en las entradas para evitar que entre fluido contaminado.
14	Bushing HN 1/2 a 1/4 "	ICCT14	Unir accesorios o tuberías de diferentes diámetros.	Desgaste prematuro.	Oxidación	Alta temperatura, acumulación de minerales.	Contaminación de otros accesorio.	6	4	7	168	Trabajar con temperatura máxima de 145°C, limpiar y aplicar recubrimiento (Aceite Wd-40).
15	Union HN 1/4"	ICCT15	Conectar accesorios.	Desgaste prematuro.	Oxidación	Alta temperatura, acumulación de minerales.	Contaminación de otros accesorio.	6	4	7	168	Trabajar con temperatura máxima de 145°C, limpiar y aplicar recubrimiento (Aceite Wd-40).
16	Manometro 1/4" x90 Psi	ICCT16	Medir la presión de trabajo de los fluidos.	Fractura de cristal.	Indicador del manómetro doblado.	Golpes en el manómetro	Aumenta o disminuye rápidamente la presión.	3	1	9	27	Evitar el coque de objetos con el cristal.
17	Codo HN 1/2" x90°	ICCT17	Cambiar la dirección de los fluidos.	Cavitación	Erosión de la superficie.	Cambios extremos en la velocidad del fluido.	Reducción de la vida útil del accesorio.	4	4	7	112	Evitar sobre pasar las velocidades de diseño del equipo .
18	Valvula de globo	ICCT18	Controlar la presión del vapor.	Cavitación	Erosión de la superficie.	Cambios extremos en la velocidad del fluido.	Reducción de la vida útil del accesorio.	4	4	7	112	Evitar sobre pasar las velocidades de diseño del equipo.
19	Valvula de esfera 1/2"	ICCT19	Regular el paso del fluido	Cavitación	Erosión de la superficie.	Cambios extremos en la velocidad del fluido.	Reducción de la vida útil del accesorio.	4	4	7	112	Evitar sobre pasar las velocidades de diseño del equipo.
20	Valvula de bola 1/4 "	ICCT20	Regular el paso del fluido	Cavitación	Erosión de la superficie.	Cambios extremos en la velocidad del fluido.	Reducción de la vida útil del accesorio.	4	4	7	112	Evitar sobre pasar las velocidades de diseño del equipo.
21	Valvula de compuerta 1/2"	ICCT21	Regular el paso del fluido	Cavitación	Erosión de la superficie.	Cambios extremos en la velocidad del fluido.	Reducción de la vida útil del accesorio.	4	4	7	112	Evitar sobre pasar las velocidades de diseño del equipo.
22	valvula de alivio	ICCT22	Regular la sobrepresión del fluido.	Cavitación	Erosión de la superficie.	Cambios extremos en la velocidad del fluido.	Reducción de la vida útil del accesorio.	4	4	7	112	Evitar sobre pasar las velocidades de diseño del equipo.
23	Tonillos 3/4" X 4"	ICCT23	Anclar elementos.	Fractura	Alargamiento	Concentración de tensiones.	Desalineación del cabezal.	1	2	8	16	Trabajar con el torque máximo de 298.28 N/m (220
24	Tuercas 3/4	ICCT24	Ajustar los pernos.	Tuerca con rosca aislada.	Dientes de rosca deformados.	Exceso de ajuste.	Junta floja.	4	3	8	96	Trabajar con el torque máximo de 298.28 N/m (220
25	Rodela plana 3/4	ICCT25	Evitar que la tuerca se clave en las bridas.	Expansión del diámetro interior	Diámetros deformados	Presión de la tuerca.	Descaste del elemento.	1	3	8	24	Trabajar con el torque máximo de 298.28 N/m (220
26	Pernos M10x25mm	ICCT26	Anclar elementos.	Fractura	Alargamiento	Concentración de tensiones.	Desalineación del cabezal.	1	2	8	16	Respetar el torque máximo de 25N/m para los pernos M10.
27	Tuercas M10	ICCT27	Ajustar los pernos.	Tuerca con rosca aislada.	Dientes de rosca deformados.	Exceso de ajuste.	Junta floja.	2	3	8	48	Respetar el torque máximo de 25N/m.

Recomendaciones de montaje:

- Colocar la coraza en posición vertical con la brida en la parte superior.
- Ubicar el empaque sobre la cara superior de la brida.
- Insertar el sistema de tubos en el interior de la coraza.
- Alinear el espejo de modo que el primer bafle conduzca al fluido la boquilla de la salida de agua.
- Colocar el empaque división sobre la cara superior del espejo.
- Situar el cabezal sobre el empaque división asegurándose que los agujeros de la brida del cabezal se alineen con los agujeros de la brida de la coraza.
- Sitúe y ajustar los pernos, rodela plana y tuercas en las bridas
- Ubicar el intercambiador sobre la estructura.
- Anclar la coraza a la estructura con las abrazaderas, pernos y tuercas.
- Instalar las entradas y salidas del vapor y agua en las boquillas del intercambiador.

Nota:

- El apriete de las bridas debe ser de forma cruzada, el torque máximo para los tornillos de 3/4 es de 220 Lb/ft.
- El ajuste se debe llevar en tres etapas, primero a 30%, luego a 60% y finalmente al 100 de su torque máximo.
- Utilice un sellador de roscas (teflón) para sellar las entradas y salidas de las entradas de los fluidos.



Ficha Técnica	
Fluidos de trabajo	Vapor-Agua
Características del agua	
Temperatura de entrada	20 °C
Presión	27 PSI
Caudal	5 lt/min
Características del vapor	
Temperatura de entrada	144.83 °C
Presión	60 PSI
Flujo másico	0.2 kg/h
Características técnicas del equipo	
Eficiencia	40 %
Potencia	3.18 Kw
Peso	55.3 kg
Longitud	940 mm
Ancho	350 mm
Alto	1162 mm
Nº de tubos	10
Nº de baffles	4

No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
4	TUERCA M10	DIN 355	A.CARBON	17	TUERCA HEXAGONAL	0.023	M10
4	PERNO M10X25	DIN 933	A.CARBON	16	PERNO HEXAGONAL	0.028	M10
8	TUERCA 3/4	DIN 555	A.CARBON	15	TUERCA HEXAGONAL	0.073	ACERO ZINCADO
8	RODELA PLANA 3/4	DIN 125	A.CARBON	14	ARANDELA PLANA	0.04	ACERO ZINCADO
8	TORNILLO 3/4X4"	DIN 933	A.CARBON	13	TORNILLO HEXAGONAL	0.29	ROSCA COMPLETA
1	ALIVIO DE PRESIÓN			12		0.80	SUBENSAMBLE
1	SALIDA DE VAPOR			11		0.56	SUBENSAMBLE
1	ENTRADA DE VAPOR			10		1.9	SUBENSAMBLE
1	SALIDA DE AGUA			9		0.56	SUBENSAMBLE
1	ENTRADA DE AGUA			8		0.4	SUBENSAMBLE
2	ABRAZADERA		ASTM A36	7	PLATINA	0.35	PLATINA 1/8
1	CABEZAL FRONTAL			6		13.34	SUBENSAMBLE
1	EMPAQUE DIVISIÓN		ASBESTO	5		0.073	
1	SISTEMA DE TUBOS			4		6.85	SUBENSAMBLE
1	EMPAQUE		ASBESTO	3		0.06	
1	CORAZA			2		19.89	SUBENSAMBLE
1	ESTRUCTURA		ASTM A36	1		11.62	ÁNGULO AL 40x3

Tolerancia	(Peso)	Materiales:
±0,1	55.3 Kg	Varios
Fecha	Nombre	Denominación:
Dibujó: 21/10/21	Autores	INTERCAMBIADOR
Revisó: 21/10/21	Ing.Cabrera S.	Escala: 1:5
Aprobó: 21/10/21	Ing.Cabrera S.	Número del dibujo: 01 de 26
UTA Ingeniería Mecánica		(Sustitución)

1

2

3

4

Nota:

- Utilizar teflón amarillo (PTFE) de alta densidad para sellar las conexiones.
- Colocar el teflón en la dirección opuesta a la del ajuste de los accesorios.

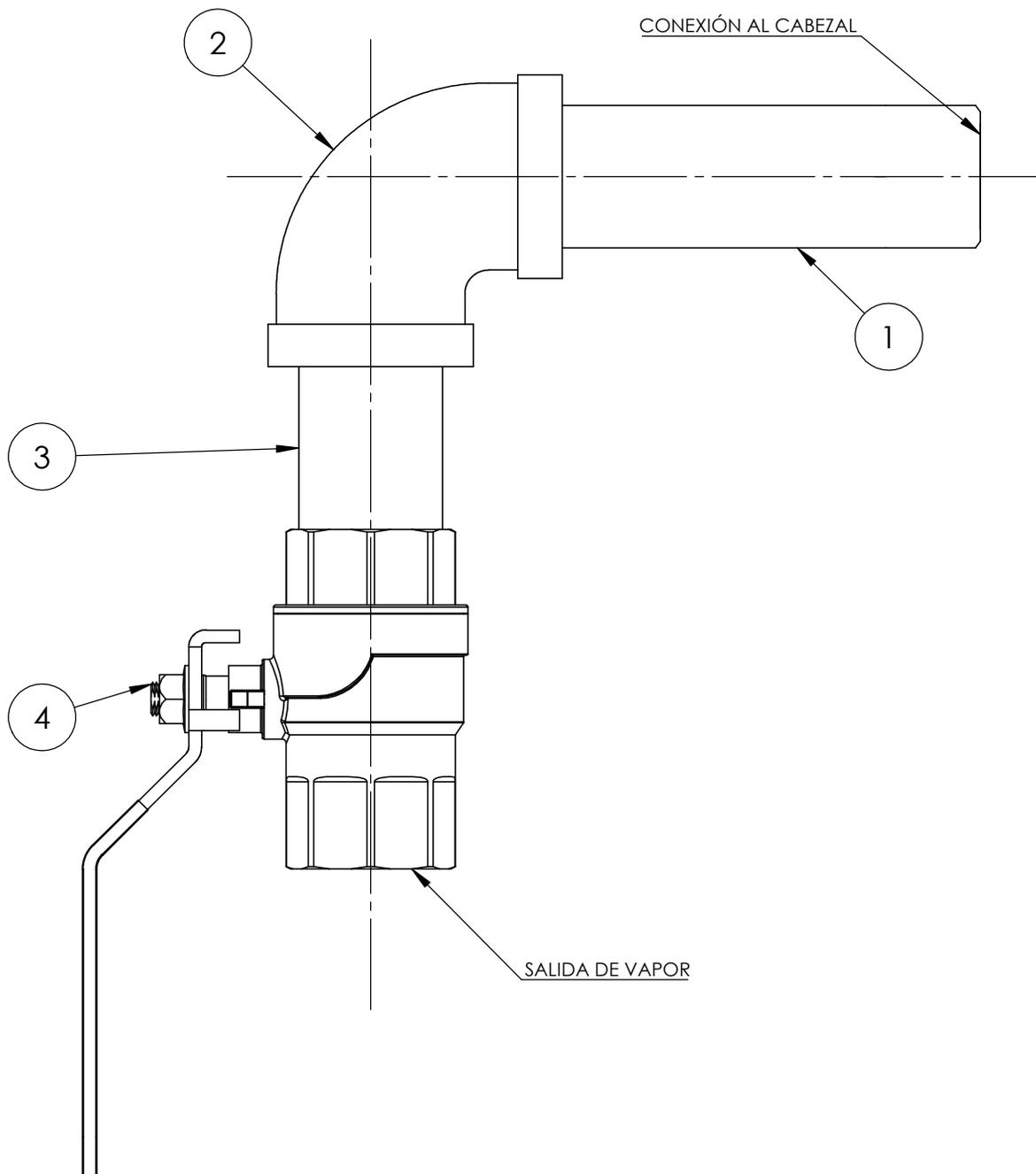
A

B

C

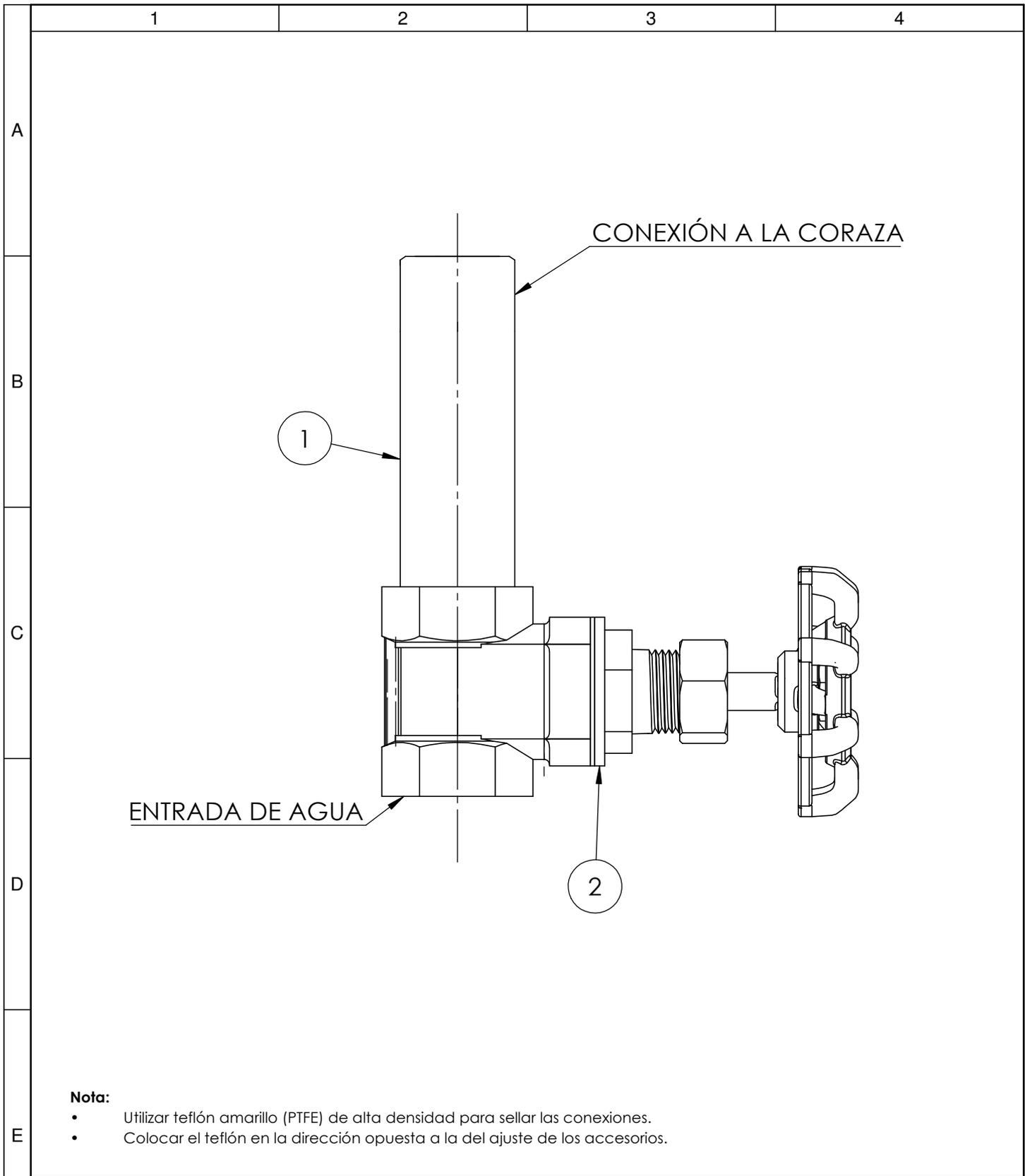
D

E



4	1	VÁLVULA DE ESFERA 1-2PLG	ANSI/ASME B1.20.1	CLASE 150
3	1	NIPLA HN 1/2X2 PLG	ANSI/ASME B1.20.1	SCH 40
2	1	CODO HN 1/2 PLG	ASME 16.3	CLASE 150
1	1	NIPLA HN 1/2X3 PLG	ANSI/ASME B1.20.1	SCH 40
N.º de orden	N.º de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones

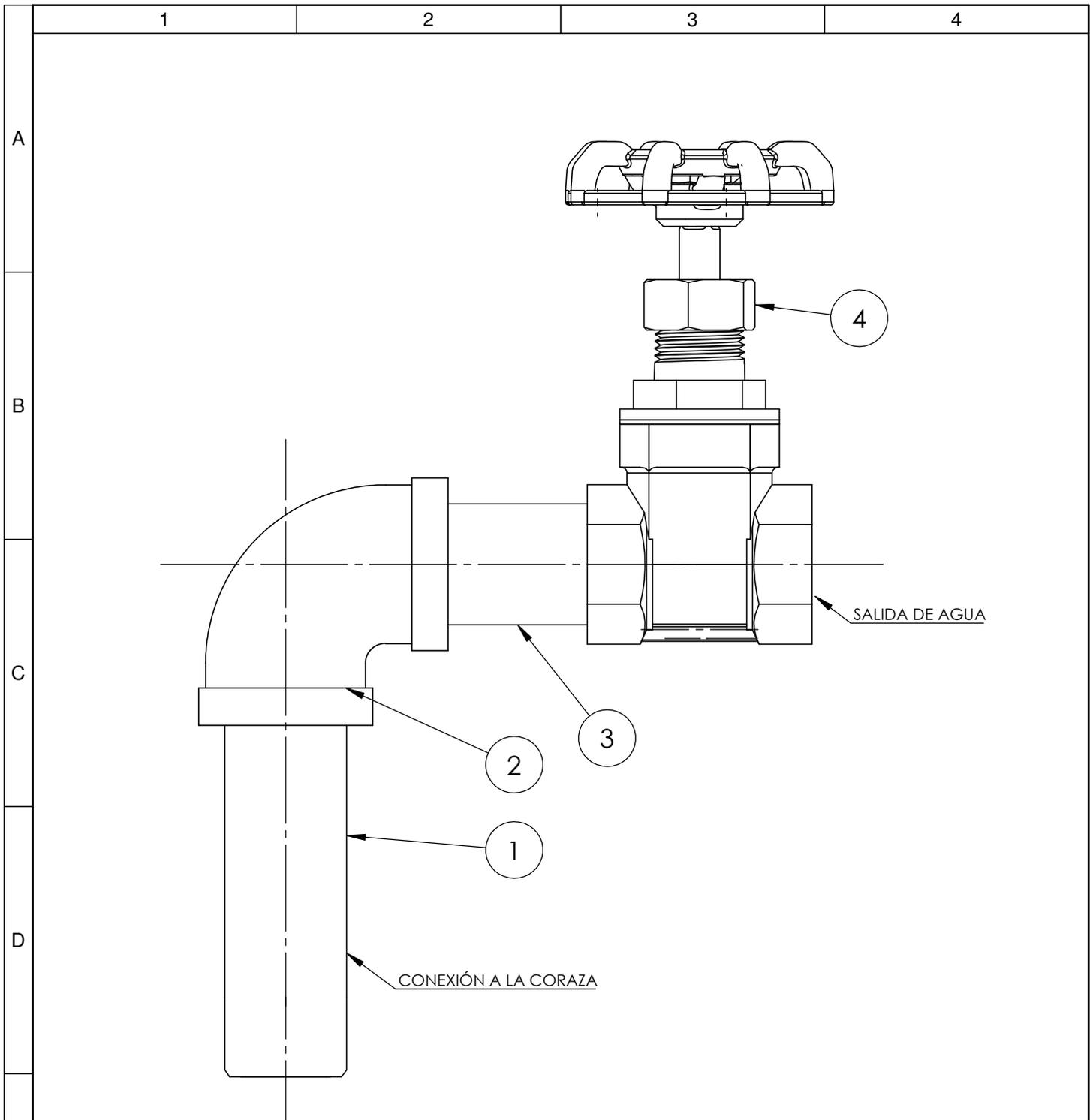
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.56 Kg	Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación: SALIDA DE VAPOR	Escala: 1:1
				Dibujó: 21/10/21	Autores		
				Revisó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.		
				Aprobó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 03 de 26	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



- Nota:**
- Utilizar teflón amarillo (PTFE) de alta densidad para sellar las conexiones.
 - Colocar el teflón en la dirección opuesta a la del ajuste de los accesorios.

2	1	VALVULA DE COMPUERTA 1/2 PLG	DIN 3352	BRONCE
1	1	NIPLE HN 1/2X3 PLG	ANSI/ASME B1.20.1	SCH 40
N.º de orden	N.º de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.4 Kg	Varios		
					Fecha	Nombre	Denominación: ENTRADA DE AGUA	
				Dibujó:	21/10/21	Autores		
				Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.		
				Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	04 de 26	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		
							Escala: 1:1	

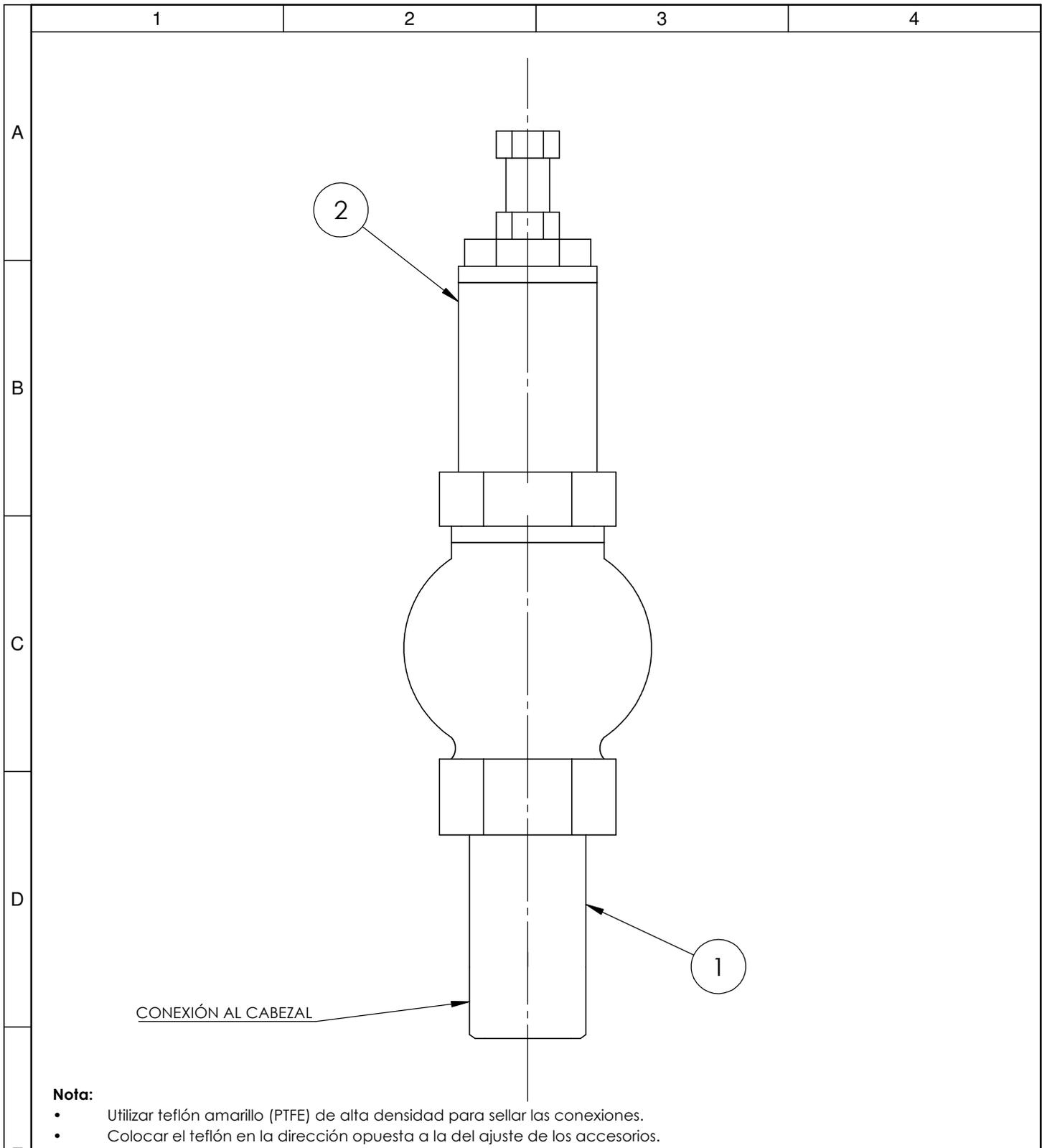


Nota:

- Utilizar teflón amarillo (PTFE) de alta densidad para sellar las conexiones.
- Colocar el teflón en la dirección opuesta a la del ajuste de los accesorios.

N.º de orden	N.º de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones
4	1	VALVULA DE COMPUERTA 1/2 PLG	DIN 3352	BRONCE
3	1	NIPLA HN 1/2X2 PLG	ANSI/ASME B1.20.1	SCH 40
2	1	CODO HN 1/2 PLG	ASME 16.3	CLASE 150
1	1	NIPLA HN 1/2X3 PLG	ANSI/ASME B1.20.1	SCH 40

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.56 Kg	Varios	
				Fecha	Nombre	Denominación: SALIDA DE AGUA	Escala: 1:1
				Dibujó: 21/10/21	Autores		
				Revisó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.		
				Aprobó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 05 de 26	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



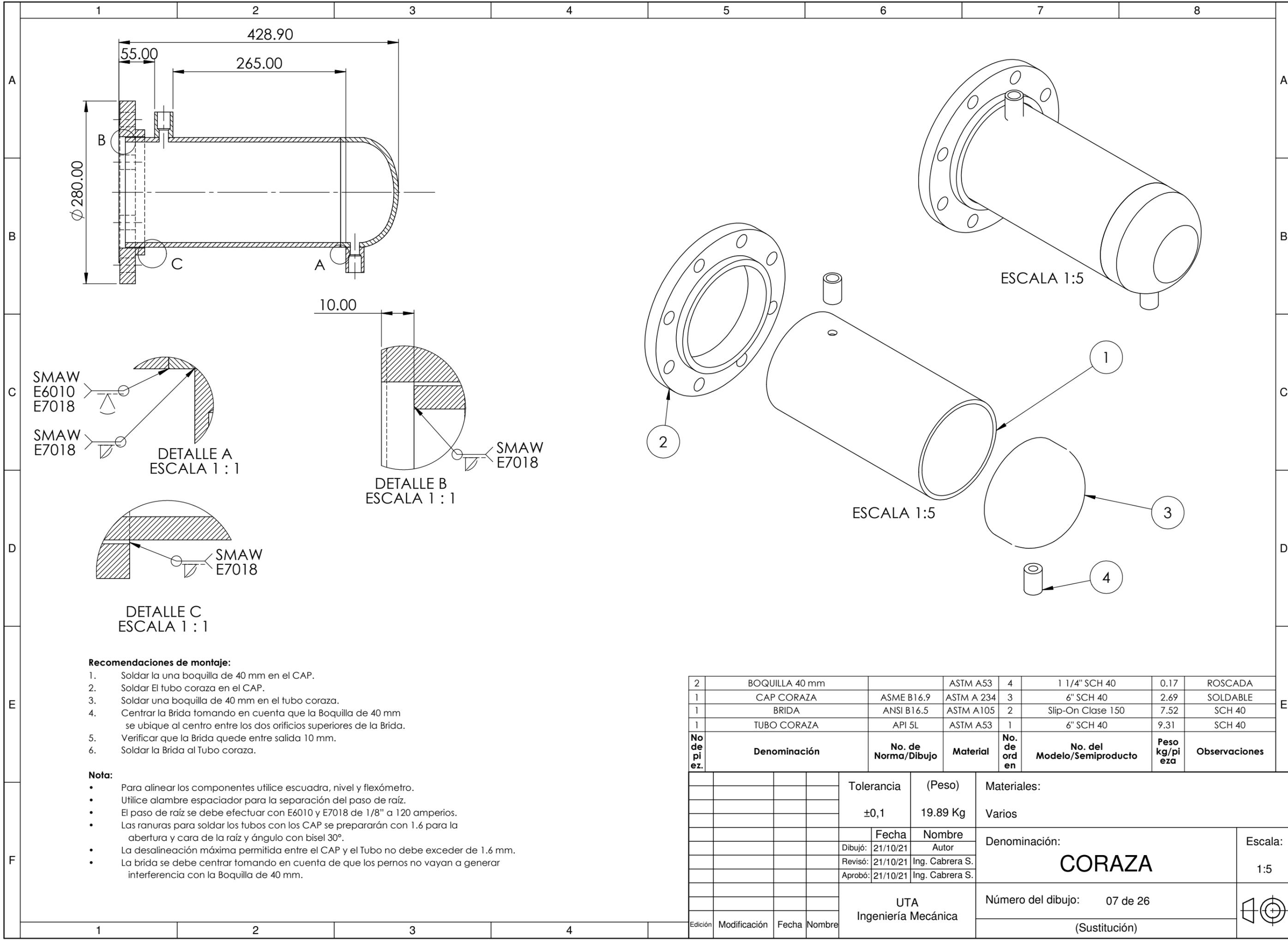
Nota:

- Utilizar teflón amarillo (PTFE) de alta densidad para sellar las conexiones.
- Colocar el teflón en la dirección opuesta a la del ajuste de los accesorios.

2	1	VÁLVULA DE ALIVIO PN 16	UNE-EN 12165	REGULABLE HASTA 10 BAR
1	1	NIPLE HN 1/2X2 PLG	ANSI/ASME B1.20.1	SCH 40
N.º de orden	N.º de piezas	Denominación	Número de norma o dibujo	Observaciones

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.5 Kg	Varios	
					Fecha	Nombre	Denominación: ALIVIO DE PRESIÓN
				Dibujó:	21/10/21	Autores	
				Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
				Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	06 de 26
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Escala:
1:1



SMAW
E6010
E7018

SMAW
E7018

DETALLE A
ESCALA 1 : 1

DETALLE B
ESCALA 1 : 1

DETALLE C
ESCALA 1 : 1

Recomendaciones de montaje:

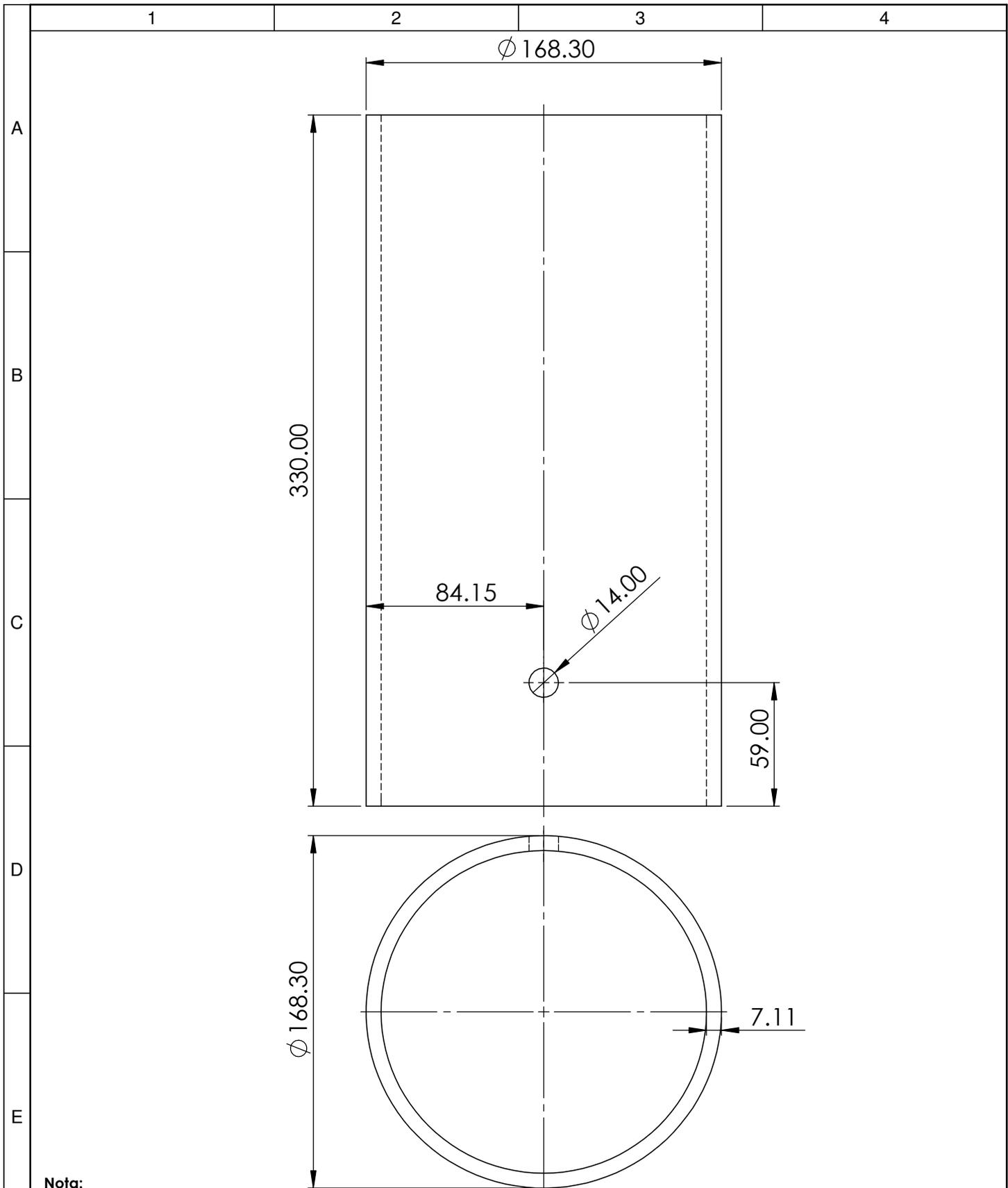
1. Soldar la una boquilla de 40 mm en el CAP.
2. Soldar El tubo coraza en el CAP.
3. Soldar una boquilla de 40 mm en el tubo coraza.
4. Centrar la Brida tomando en cuenta que la Boquilla de 40 mm se ubique al centro entre los dos orificios superiores de la Brida.
5. Verificar que la Brida quede entre salida 10 mm.
6. Soldar la Brida al Tubo coraza.

Nota:

- Para alinear los componentes utilice escuadra, nivel y flexómetro.
- Utilice alambre espaciador para la separación del paso de raíz.
- El paso de raíz se debe efectuar con E6010 y E7018 de 1/8" a 120 amperios.
- Las ranuras para soldar los tubos con los CAP se prepararán con 1.6 para la abertura y cara de la raíz y ángulo con bisel 30°.
- La desalineación máxima permitida entre el CAP y el Tubo no debe exceder de 1.6 mm.
- La brida se debe centrar tomando en cuenta de que los pernos no vayan a generar interferencia con la Boquilla de 40 mm.

2	BOQUILLA 40 mm		ASTM A53	4	1 1/4" SCH 40	0.17	ROSCADA
1	CAP CORAZA	ASME B16.9	ASTM A 234	3	6" SCH 40	2.69	SOLDABLE
1	BRIDA	ANSI B16.5	ASTM A105	2	Slip-On Clase 150	7.52	SCH 40
1	TUBO CORAZA	API 5L	ASTM A53	1	6" SCH 40	9.31	SCH 40
No de piezas.	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones

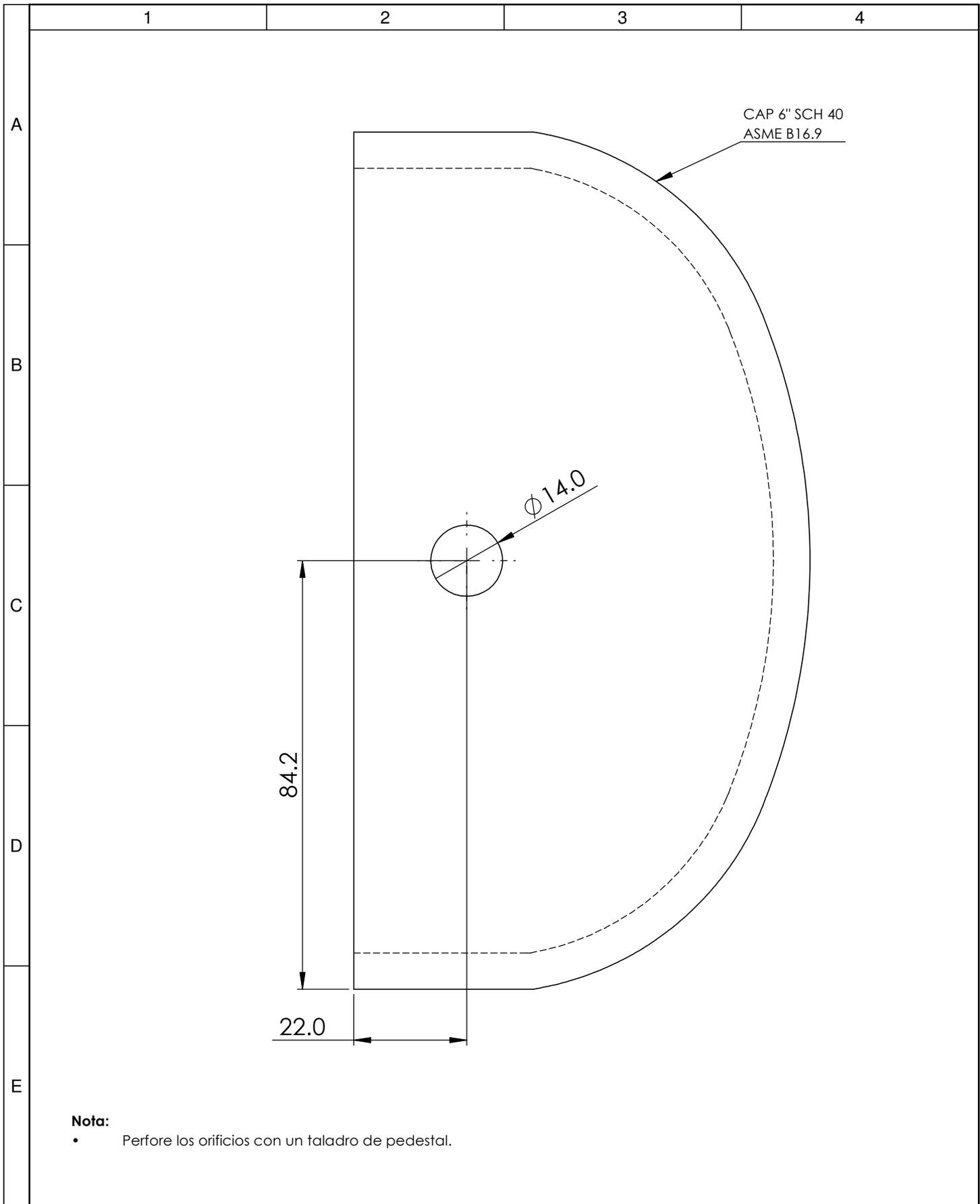
		Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
		±0,1	19.89 Kg	Varios			
		Fecha	Nombre	Denominación: CORAZA			Escala: 1:5
		Dibujó: 21/10/21	Autor				
		Revisó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.				
		Aprobó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.	Número del dibujo: 07 de 26			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica			



Nota:

Cortar el pedazo de tubo con una guillotina y rectificarlo en un torno para asegurar que el corte sea recto. Perfore el orificio con un taladro de pedestal.

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	9.2 Kg	Acero ASTM A53	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó: 21/10/21	Autores			
			Revisó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.			
				Aprobó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.		1:2.5
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 08 de 26	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



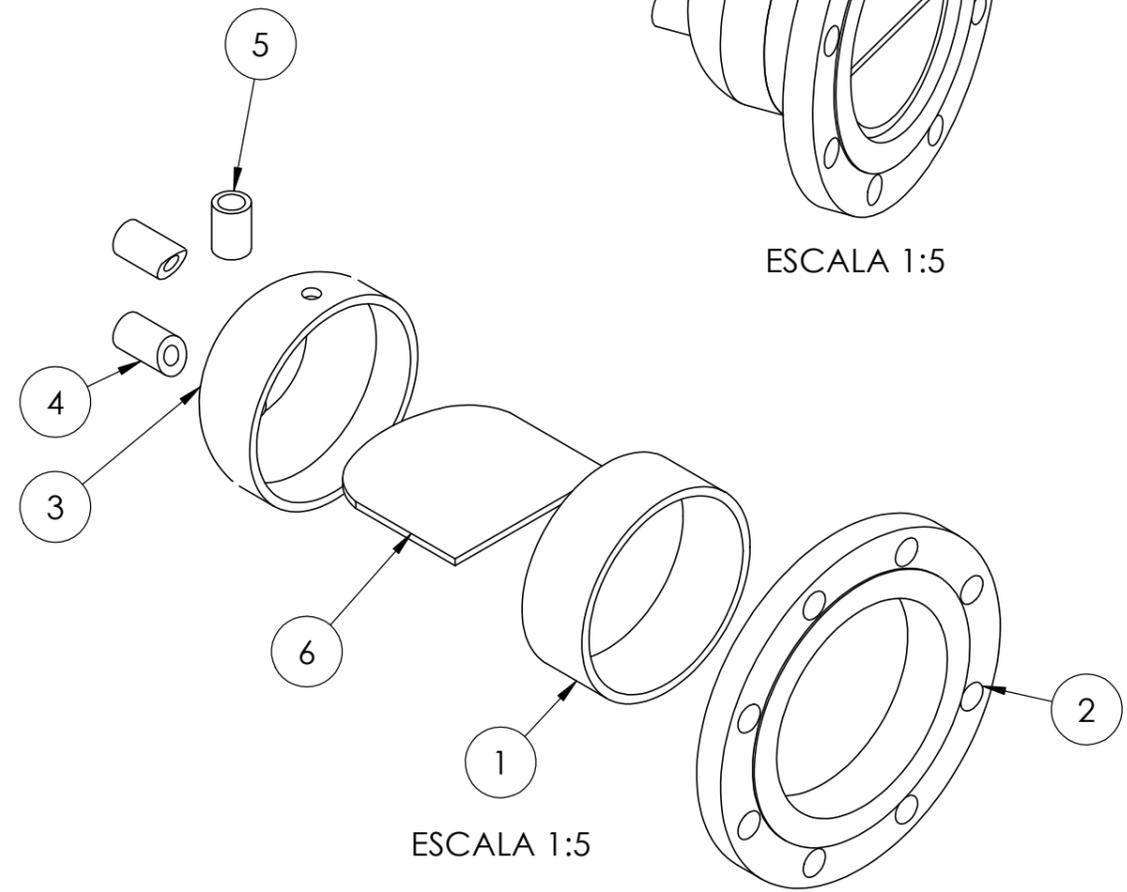
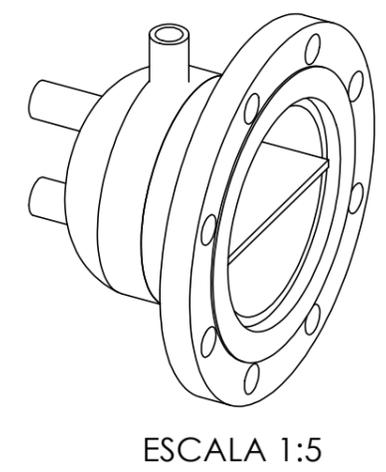
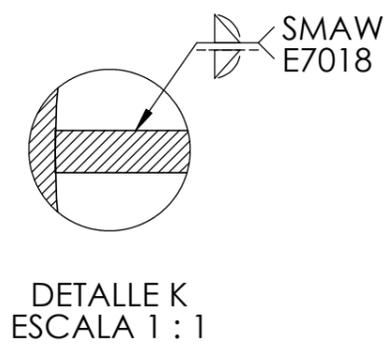
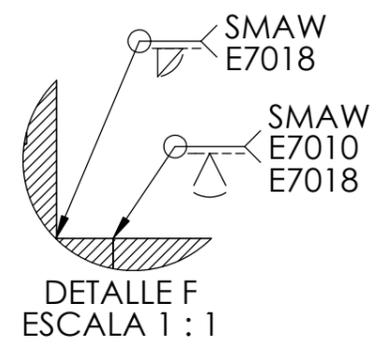
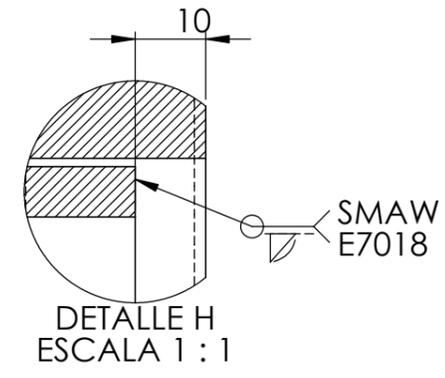
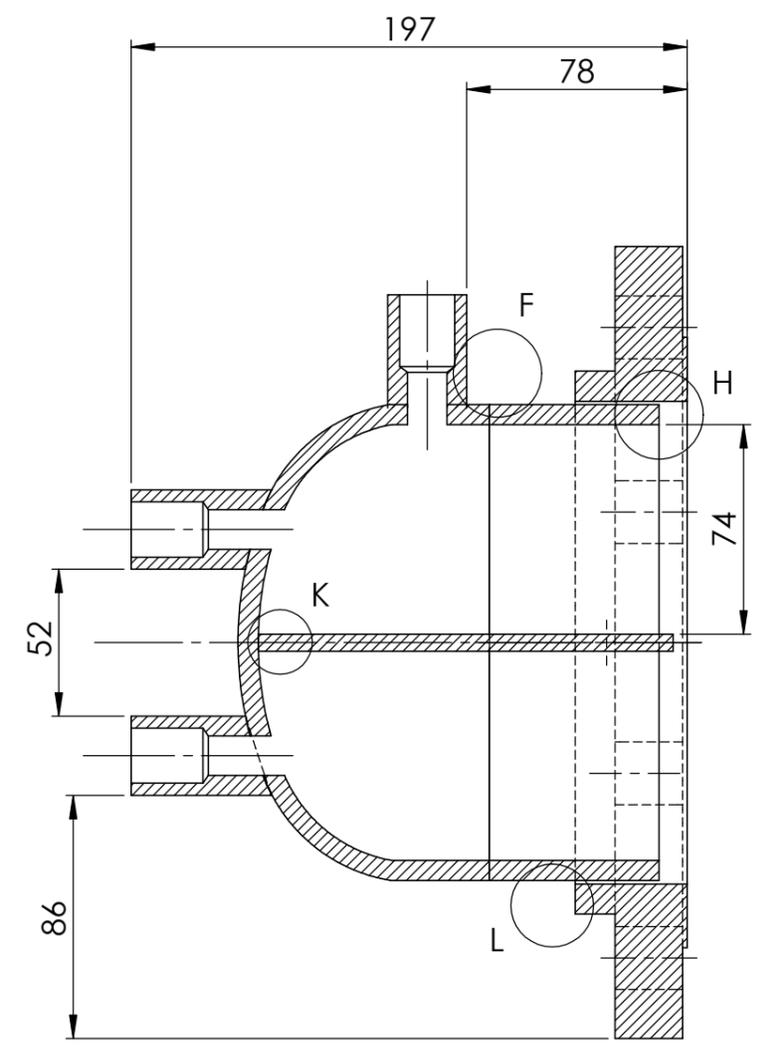
Nota:

- Perfore los orificios con un taladro de pedestal.

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2.69 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: CAP CORAZA
				Dibujó:	21/10/21	Autores	
				Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
				Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	Escala: 1:1
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 09 de 26	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

A
B
C
D
E
F

A
B
C
D
E



Recomendaciones de montaje:

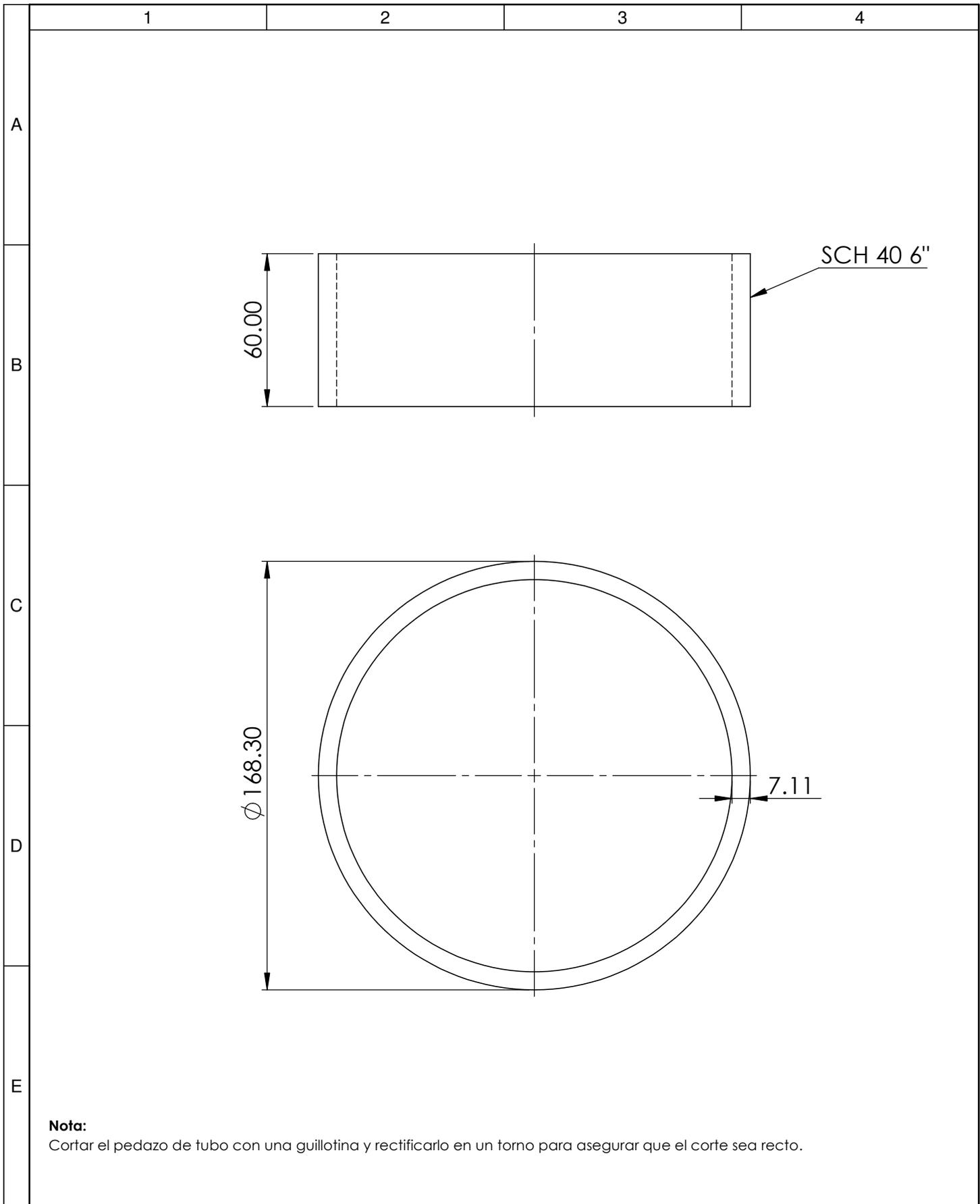
- Soldar 2 Boquillas de 50 mm y una de 40 mm en el CAP para entrada y salida del vapor con paso de raíz.
- Centrar y soldar la placa divisora en el centro del CAP
- Soldar el Tubo cabezal al CAP con paso de raíz.
- Soldar la Placa divisora al tubo cabezal
- Centrar la Brida tomando en cuenta que la Boquilla de 40 mm se ubique al centro entre los dos orificios superiores de la Brida.
- Verificar que la Brida quede entre salida 10 mm y Tubo cabezal.

Nota:

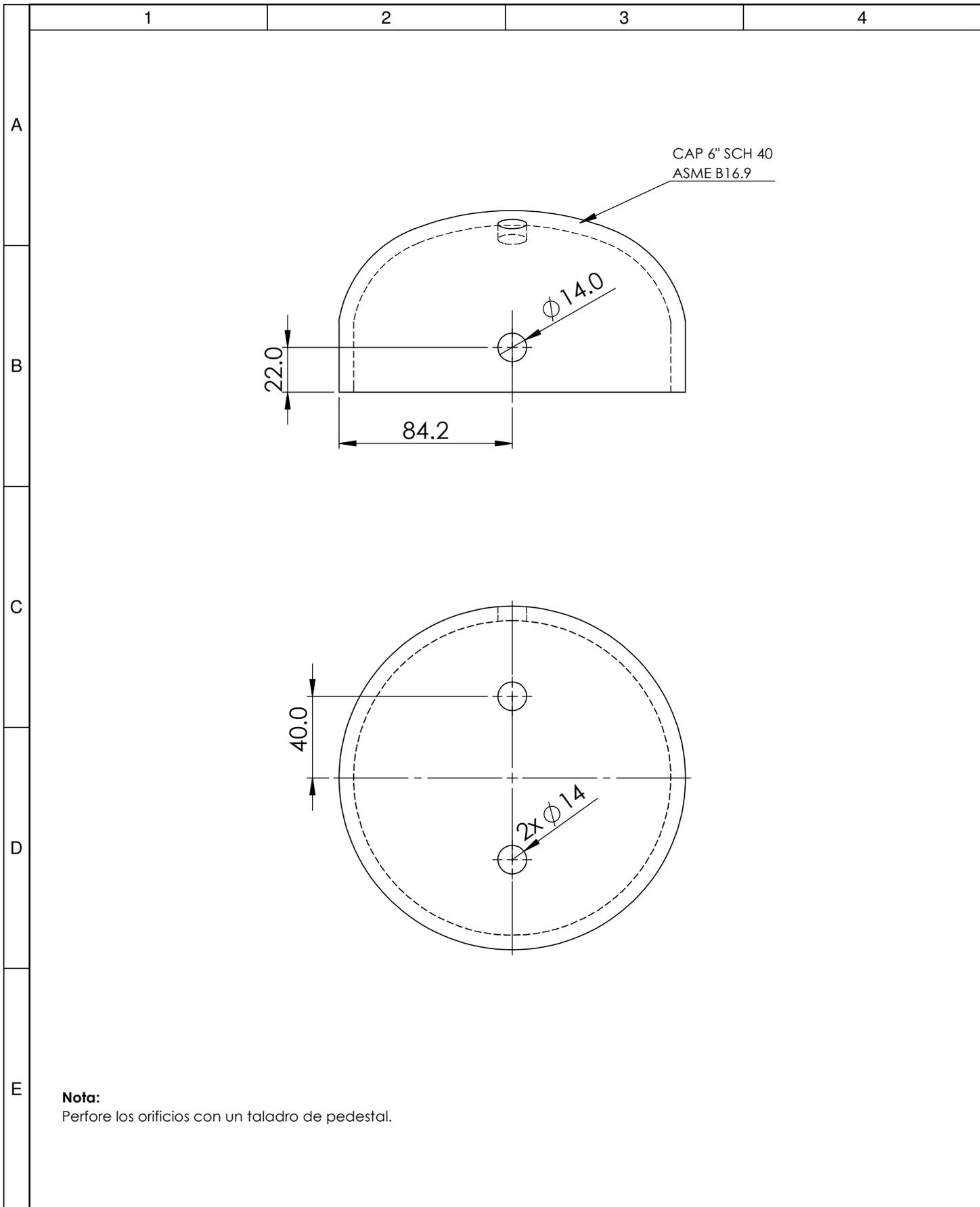
- Para alinear los componentes utilice escuadra, nivel y flexómetro.
- Utilice alambre espaciador para la separación del paso de raíz.
- El paso de raíz se debe efectuar con E6010 y E7018 de 1/8" a 120 amperios.
- La desalineación máxima permitida entre el CAP y el Tubo no debe exceder de 1.6 mm.
- Realice el procedimiento como se indica caso contrario se dificultará soldar la Placa divisora.
- La brida se debe centrar tomando en cuenta de que los pernos no vayan a generar interferencia con la Boquilla de 40 mm.

No de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
1	PLACA DIVISORA		ASTM A36	6	LAMINADO EN CALIENTE	0.99	10 mm
1	BOQUILLA 40 mm		ASTM A105	5		0.17	ROSCA HEMBRA
2	BOQUILLA 50 mm		ASTM A105	4		0.13	ROSCA HEMBRA
1	CAP CABEZAL	ASME B16.9	ASTM A234	3	PANTECH	2.68	SOLDABLE
1	BRIDA	ANSI B16.5	ASTM A105	2	SLIP-ON 6"	7.52	SCH 40
1	TUBO CABEZAL	API 5L	ASTM A53	1	TUBERÍA SIN COSTURA	1.69	SCH 40

Tolerancia		(Peso)	Materiales:	
±0,1		13.34 Kg	Varios	
Fecha		Nombre	Denominación:	
Dibujó:	21/10/21	Autores	CABEZAL FRONTAL	
Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.		
Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.		
UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo:	11 de 26
			(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Escala:
				1:2.5

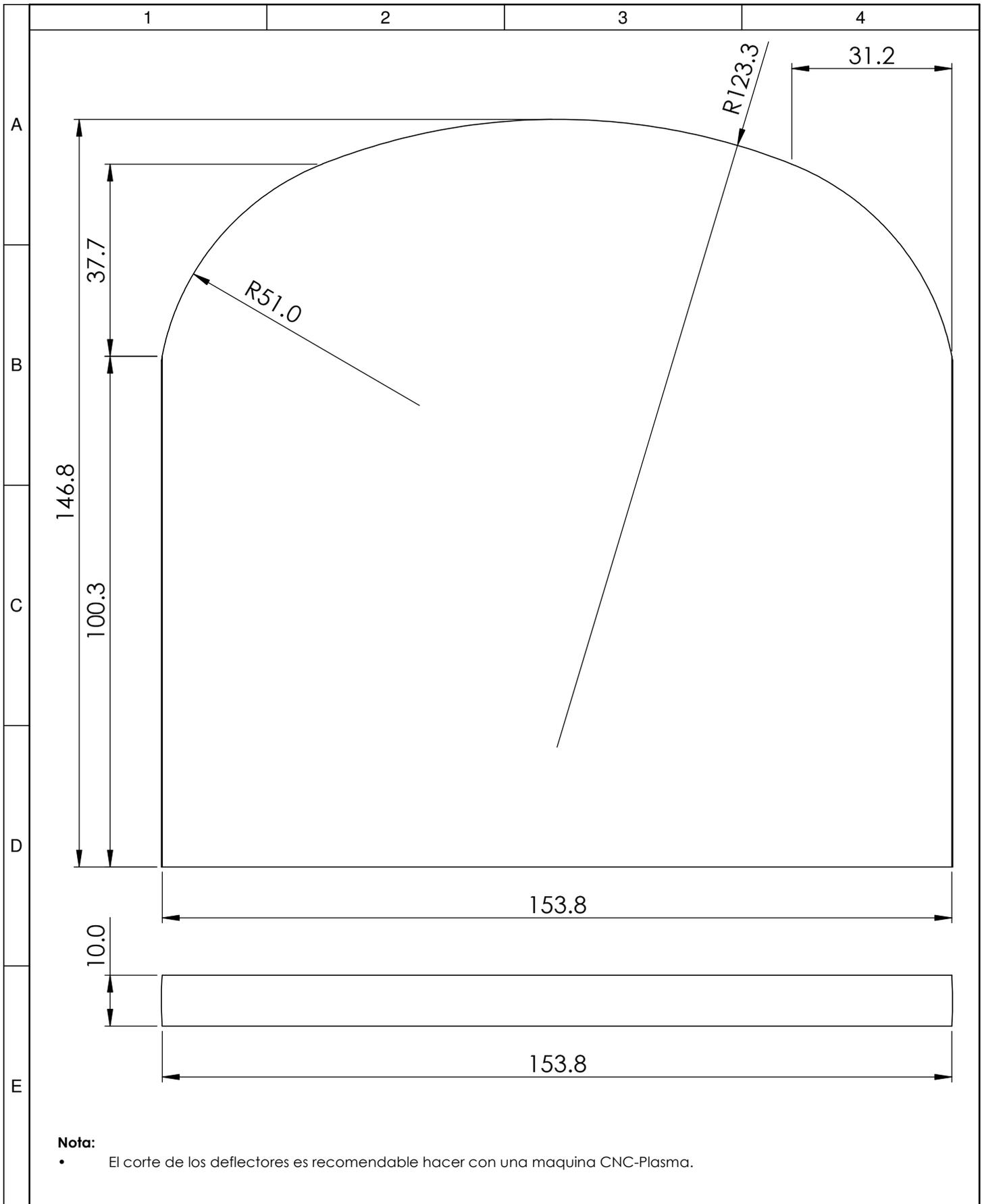


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				±0,1	10 Kg	Acero ASTM A53			
					Fecha	Nombre	TUBO CABEZAL		Escala: 1:1
				Dibujó:	21/11/18	Ing. López G.			
				Revisó:	21/11/18	Ing. López G.			
				Aprobó:	21/11/18	Ing. López G.			
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 12 de 26			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			



Nota:
Perfore los orificios con un taladro de pedestal.

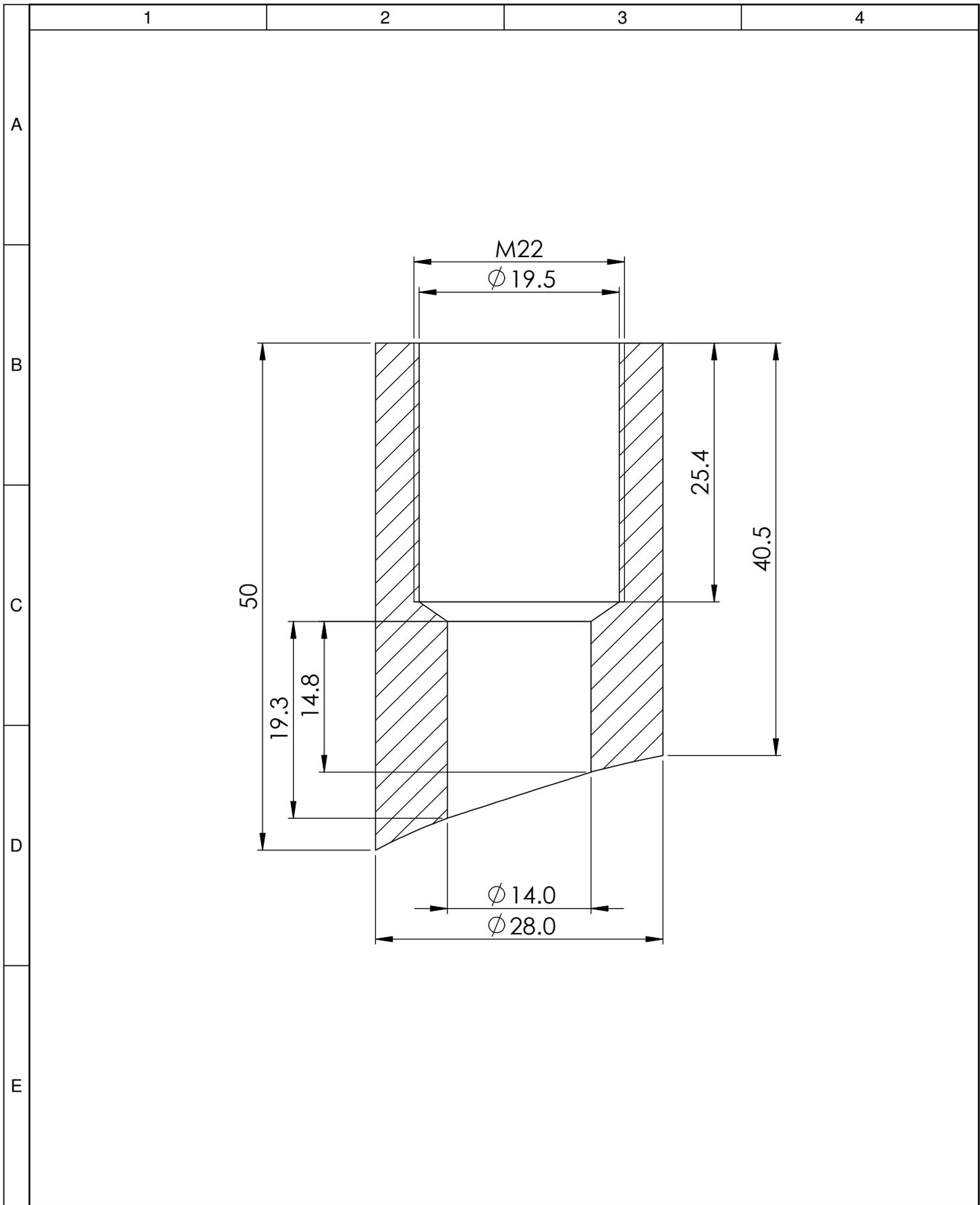
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	2.68 Kg	Acero ASTM A234 WPB	
				Fecha	Nombre	Denominación: CAP CABEZAL	Escala: 1:2.5
			Dibujó:	21/10/21	Autores		
			Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.		
			Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 13 de 26	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



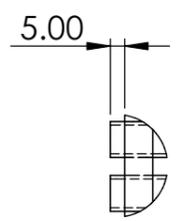
Nota:

- El corte de los deflectores es recomendable hacer con una maquina CNC-Plasma.

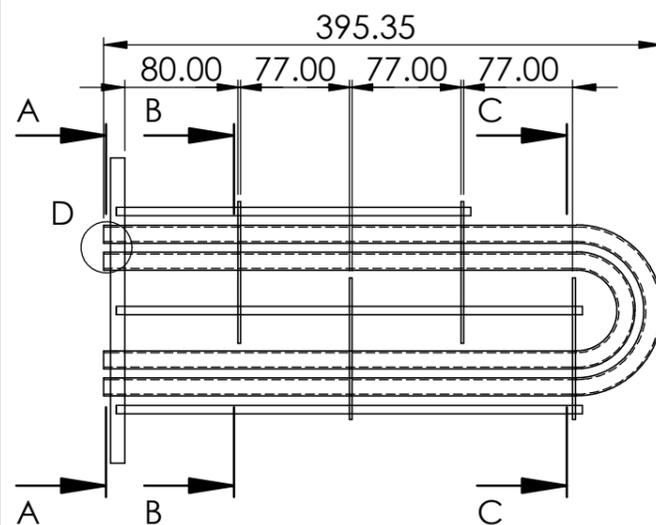
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.99 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: PLACA DIVISORA
				Dibujó:	21/10/21	Autores	
				Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
				Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	14 de 26
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 1:1	



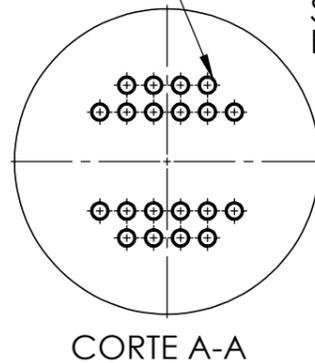
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.13 Kg	Acero ASTM A105	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 21/10/21	Autores		
				Revisó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.		
				Aprobó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.	BOQUILLA 50 mm	2:1
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



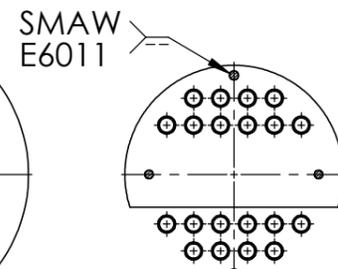
DETALLE D
ESCALA 2 : 5



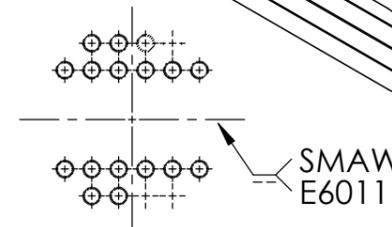
OAW
127 FX – AWS RBCuZn-C



CORTE A-A



CORTE B-B



CORTE C-C

Recomendaciones de montaje:

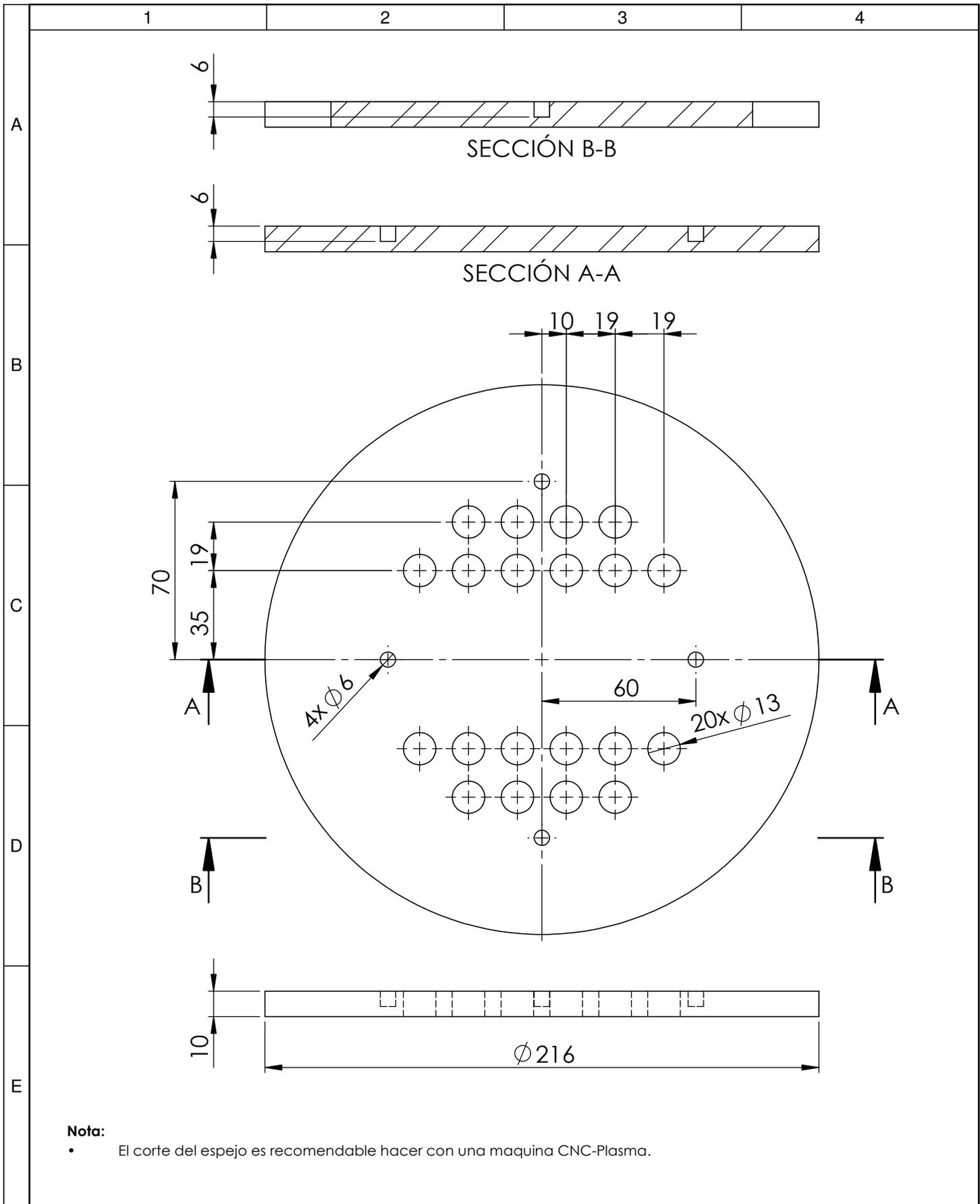
1. Alinear y soldar las varillas de acero en los orificios del espejo.
2. Soldar los baffles de forma alternada en las varillas a la distancia especificada.
3. Aplicar anticorrosivo de alta temperatura en las varillas baffles y en la cara posterior del espejo.
4. Pasar los tubos de cobre Nivel 1 por los baffles y el espejo
5. Pasar los tubos de cobre Nivel 2 por los baffles y el espejo
6. Entresacar los tubos 5 mm con respecto a la cara frontal del espejo
7. Soldar los tubos de cobre a la cara frontal del espejo.
8. Limpie la cara frontal del espejo para retirar los residuos de hollín y aplique anticorrosivo.

Nota:

- Para alinear los componentes utilice escuadra, nivel y flexómetro.
- Antes de soldar los tubos de cobre coloque el sistema de tubos dentro de la coraza para verificar que se alinee correctamente la cara del espejo con la cara de la brida.
- Asegúrese de que realizar el precalentamiento del espejo hasta alcanzar una temperatura aproximada de 800 °C para asegurar la fusión de los materiales.
- Evite tocar los tubos de cobre con la llama durante el precalentamiento o se derretirán.
- Soldar los tubos de cobre al espejo utilizando el proceso OAW con una varilla de bronce 127 FX de 3/32" con porcentaje de Cu de 56 a 60%, utilice Bórax como fundente.
- Por ningún motivo enfríe el sistema de tubos después de efectuar la soldadura de los tubos de cobre con agua ya que sufrirán un choque térmico lo cual cambiara las características mecánicas de los tubos.

1	VARILLA B		ASTM A 36	6	VARILLA LISA	0.055	6 mm
3	VARILLA A		ASTM A 36	5	VARILLA LISA	0.073	6mm
4	DEFLECTOR		ASTM A 36	4	LAMINADA EN CALIENTE	0.18	4 mm
4	TUBERIA NIVEL 2		Cobre	3	TUBO RÍGIDO	0.33	TIPO K
6	TUBERIA NIVEL 1		Cobre	2	TUBO RÍGIDO	0.30	TIPO K
1	ESPEJO		ASTM A 36	1	LAMINADA EN CALIENTE	2.66	10 mm
No de piezas	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones

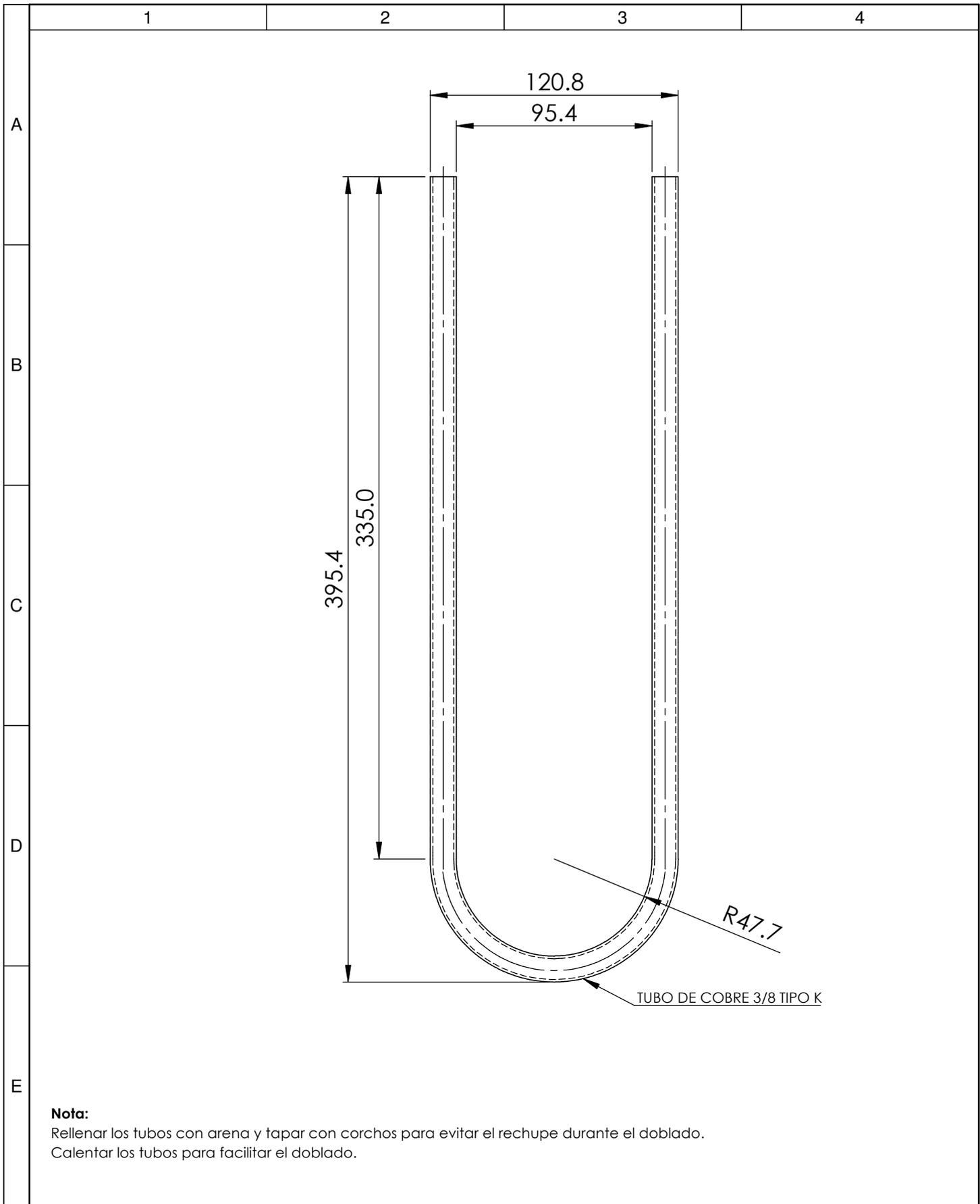
Tolerancia		(Peso)		Materiales:			
±0,1		6.85 Kg		Varios			
Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
Dibujó: 21/10/21		Autores		SISTEMA DE TUBOS			1:5
Revisó: 21/10/21		Ing. Cabrera S.		Número del dibujo: 16 de 26			
Aprobó: 21/10/21		Ing. Cabrera S.					
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica			(Sustitución)



Nota:

- El corte del espejo es recomendable hacer con una maquina CNC-Plasma.

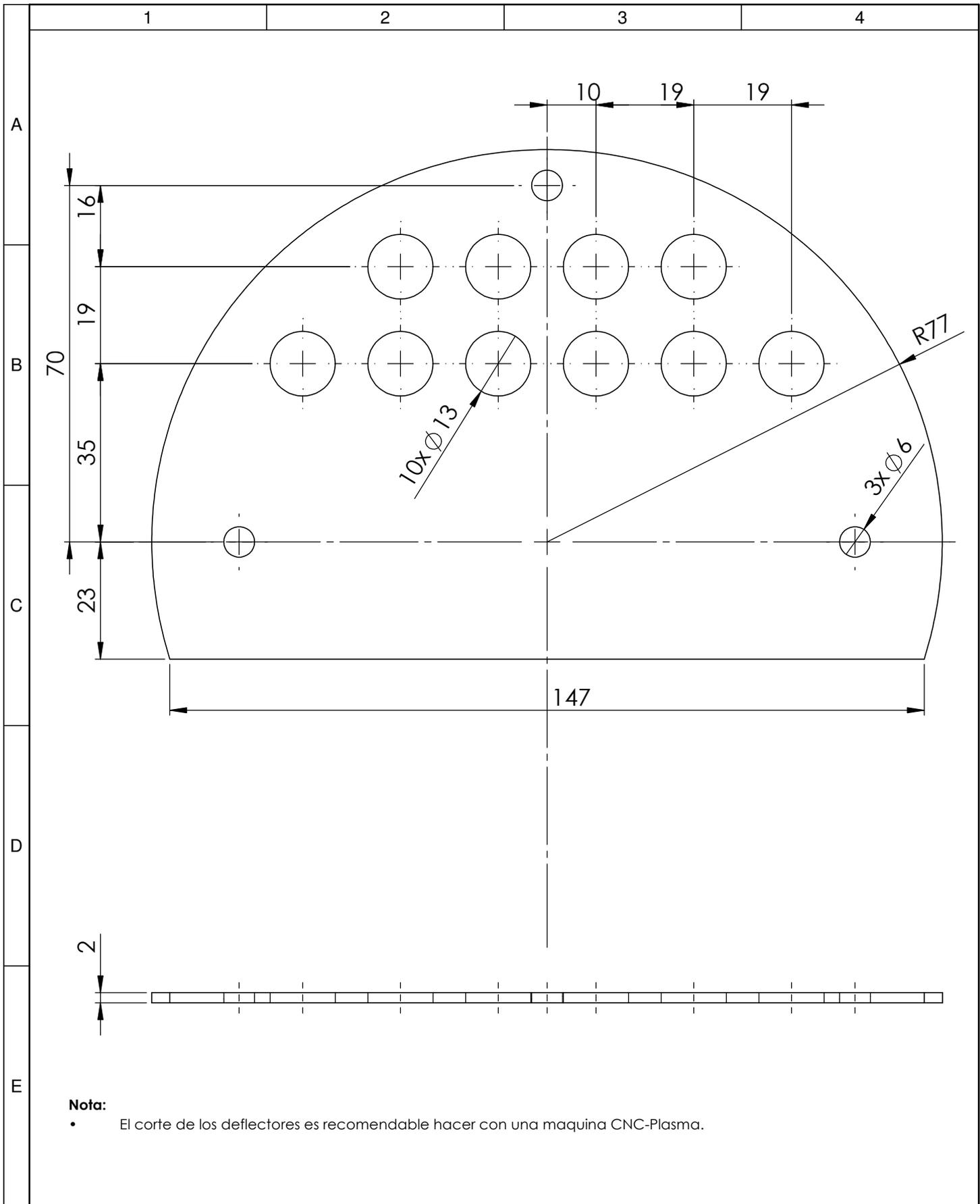
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	2.6 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: ESPEJO
				Dibujó:	21/10/21	Autores	
				Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
				Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	17 de 26
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 1:2	



Nota:

Rellenar los tubos con arena y tapar con corchos para evitar el rechupe durante el doblado.
 Calentar los tubos para facilitar el doblado.

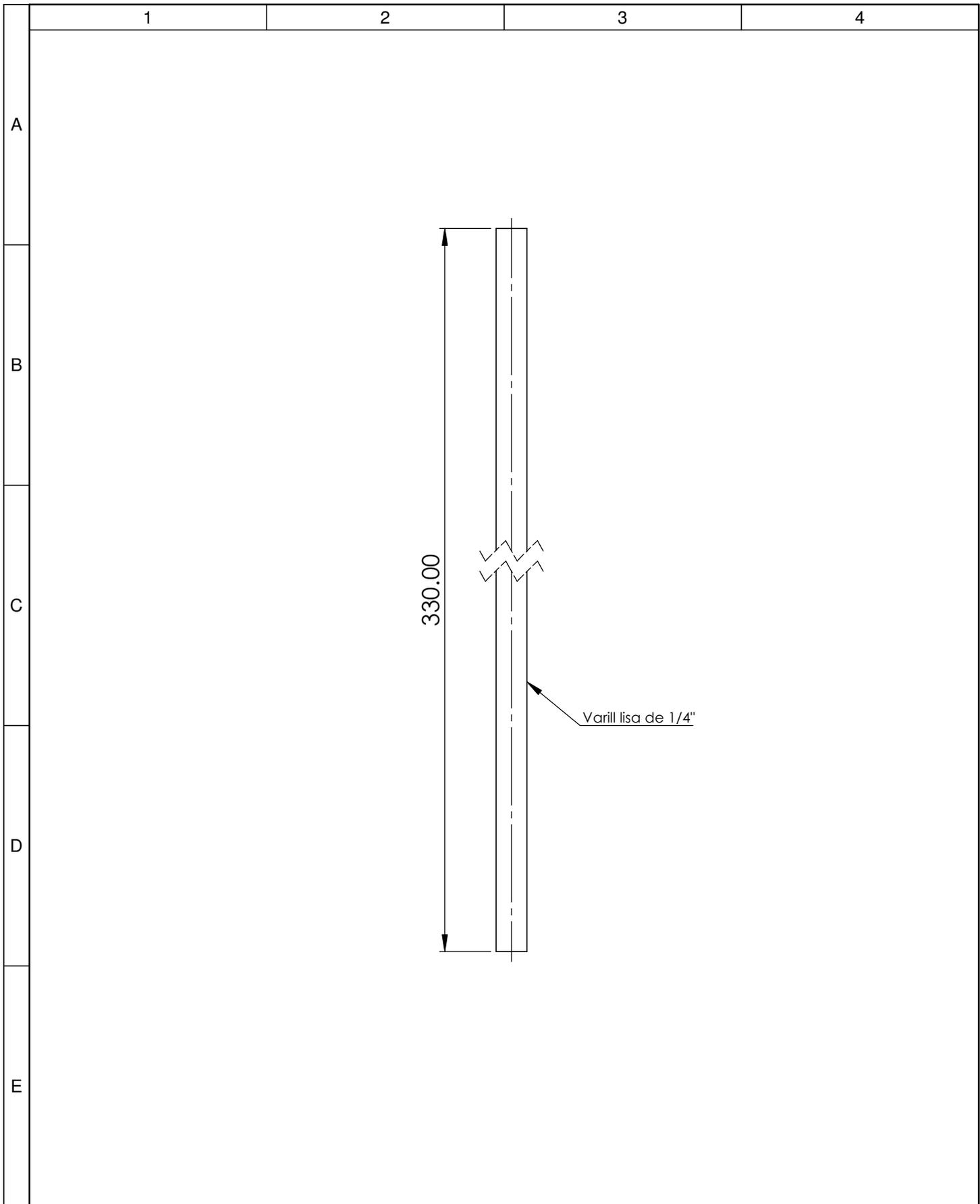
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.33 Kg	Cobre Tipo K	
					Fecha	Nombre	Denominación: TUBERIA NIVEL 2
				Dibujó:	21/10/21	Autores	
				Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
				Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 19 de 26	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 1:2.5	



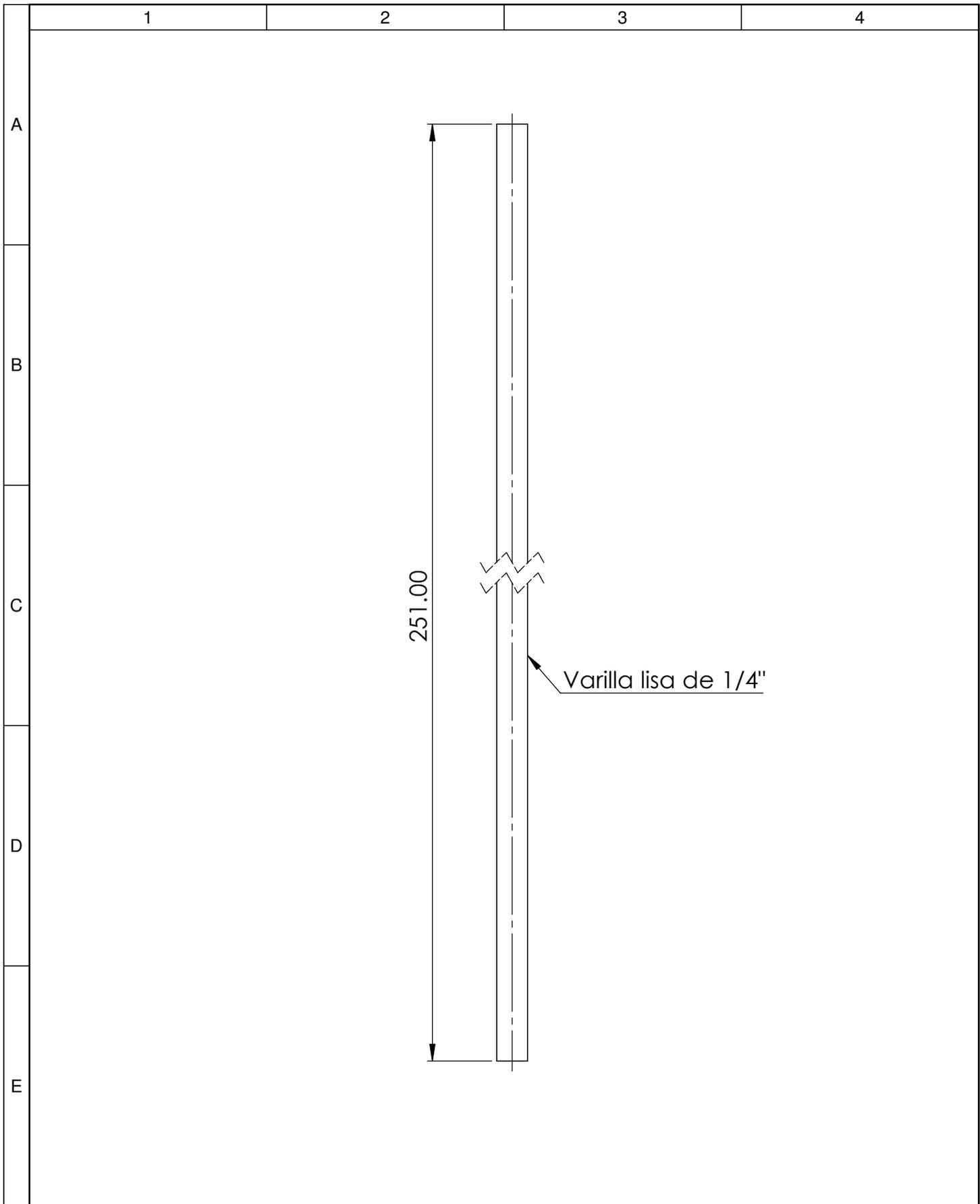
Nota:

- El corte de los deflectores es recomendable hacer con una maquina CNC-Plasma.

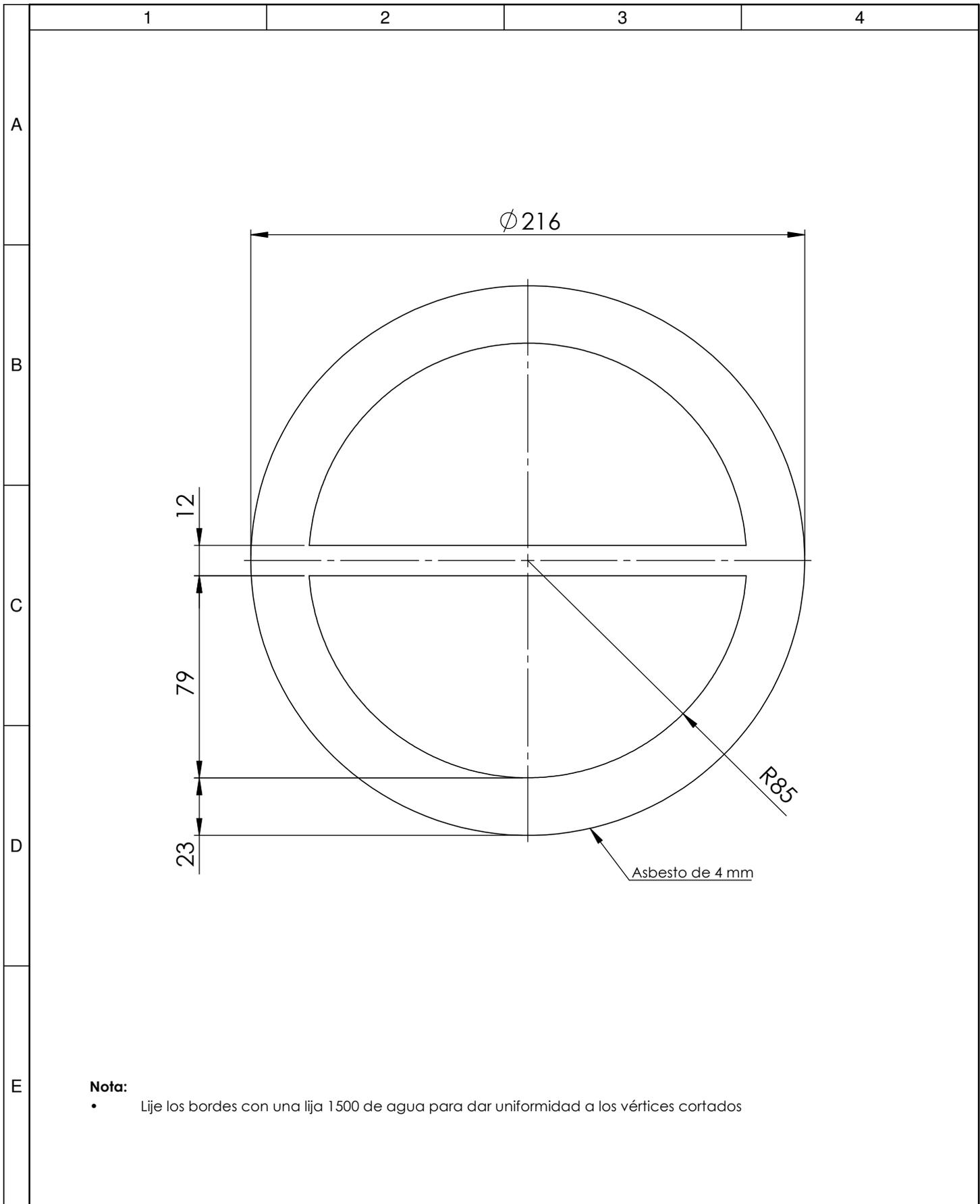
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.18 Kg	Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 21/10/21	Autores		
				Revisó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.		
				Aprobó: 21/10/21	Ing. Cabrera S.	<h1 style="text-align: center;">DEFLECTOR</h1>	1:1
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				±0,1	0.072 Kg	Acero ASTM A36			
					Fecha	Nombre	BARILLA A		Escala: 1:1
				Dibujó:	21/10/21	Autores			
				Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.			
				Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.			
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 21 de 26		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)		



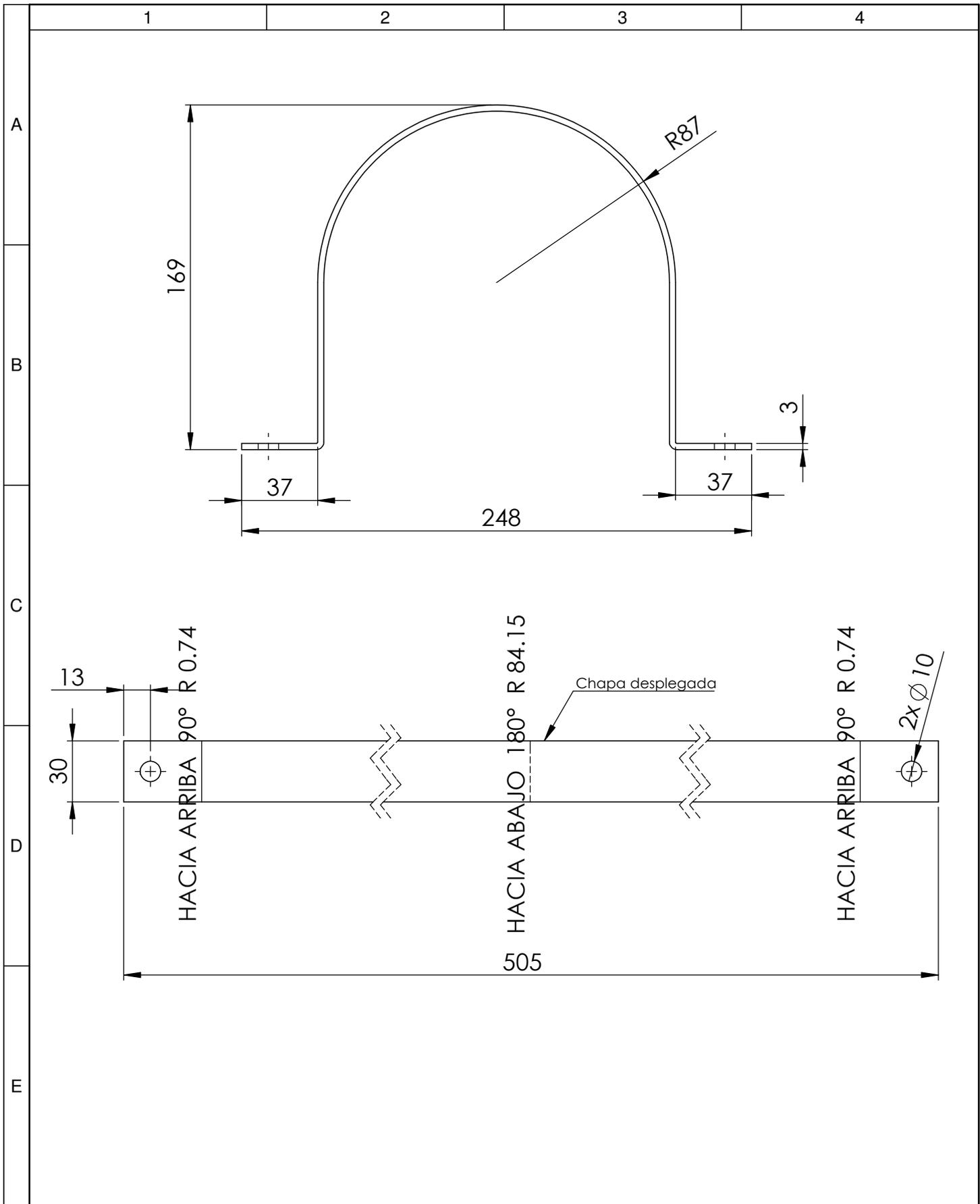
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				±0,1	0.054 Kg	Acero ASTM A36			
					Fecha	Nombre	VARILLA A		Escala: 1:1
				Dibujó:	21/10/21	Autores			
				Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.			
				Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.			
				UTA		Número del dibujo: 22 de 26			
				Ingeniería Mecánica		(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



Nota:

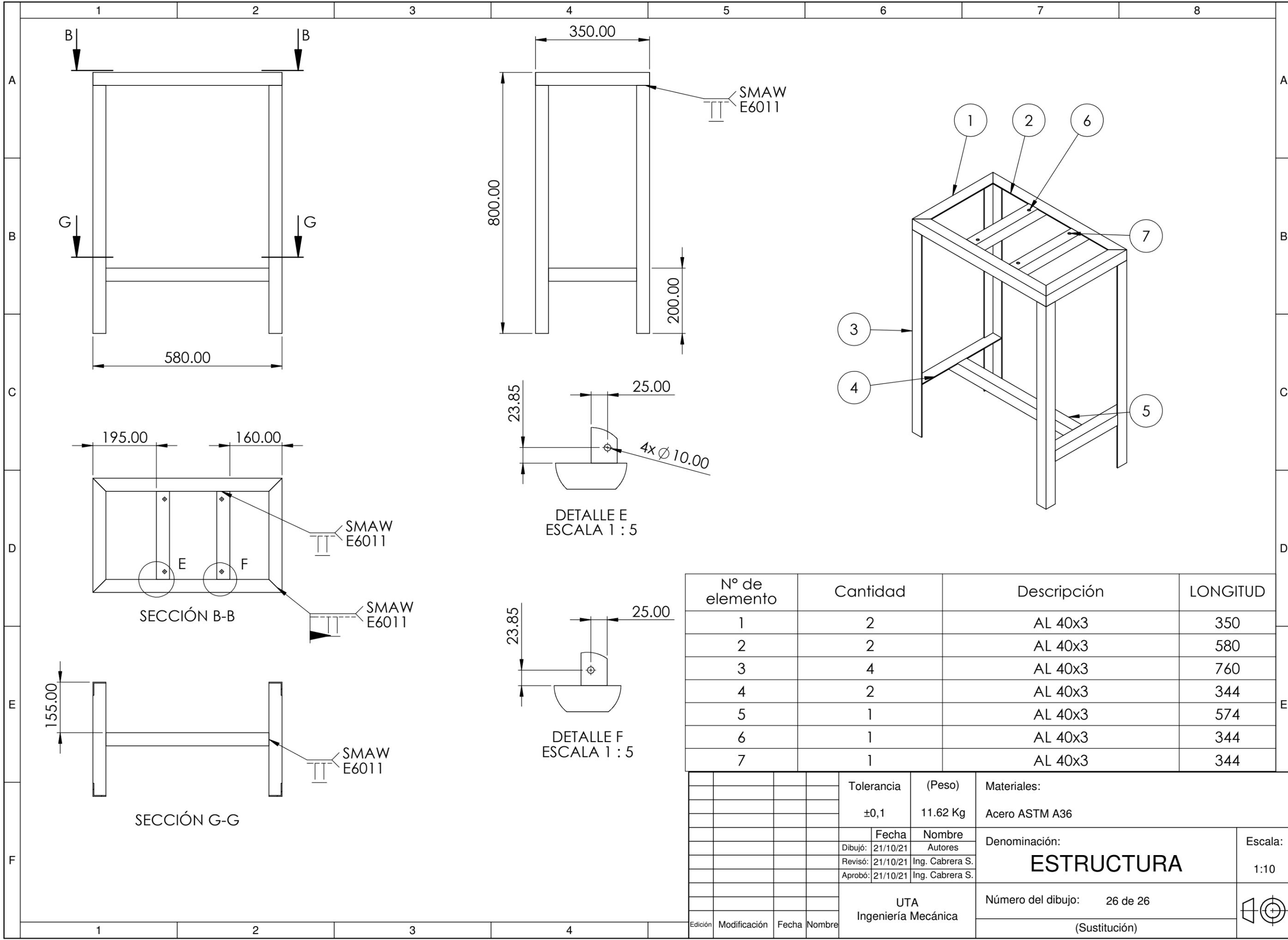
- Lije los bordes con una lija 1500 de agua para dar uniformidad a los vértices cortados

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.073 Kg	ASBESTO	
					Fecha	Nombre	Denominación: EMPAQUE DIVISIÓN
				Dibujó:	21/10/21	Autores	
				Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
					Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	24 de 26
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 1:2	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.35 Kg	Acero ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Denominación: ABRAZADERA
				Dibujó:	21/10/21	Autores	
				Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	
				Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.	Escala: 1:2.5
				UTA Ingeniería Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)





N° de elemento	Cantidad	Descripción	LONGITUD
1	2	AL 40x3	350
2	2	AL 40x3	580
3	4	AL 40x3	760
4	2	AL 40x3	344
5	1	AL 40x3	574
6	1	AL 40x3	344
7	1	AL 40x3	344

Tolerancia		(Peso)	Materiales:	
±0,1		11.62 Kg	Acero ASTM A36	
Fecha		Nombre	Denominación:	
Dibujó:	21/10/21	Autores	ESTRUCTURA	
Revisó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.		
Aprobó:	21/10/21	Ing. Cabrera S.		
Edición		Modificación	Fecha	Nombre
		UTA		Número del dibujo: 26 de 26
		Ingeniería Mecánica		(Sustitución)

