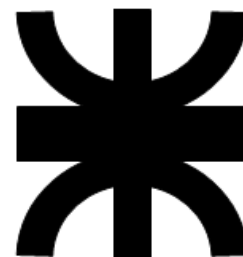


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

- Facultad Regional Avellaneda -



ASIGNATURA: PROYECTO FINAL

TRABAJO PRÁCTICO: Máquina Unica - Introduccion

TÍTULO: Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones.

PROFESOR: Ing. Trejo Ponce, Federico Gastón

JEFE DE TRABAJOS PRÁCTICOS: Ing. Babez, Fernando

AYUDANTE AD HONOREN: Ing. Sznajderman, Jorge Ricardo

ALUMNOS: Mastronardi, Federico
Silva, Maximiliano
Songini, Esteban
Schneider, Natalia

CURSO:

5° 1°

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECÁNICA

GRUPO: -

Fecha de realización: 2020

Firma y Aprobación del trabajo :



INTRODUCCIÓN PROYECTO FINAL MAQUINA ÚNICA

INDICE

1.	DESCRIPCIÓN	3
2.	DESARROLLO DEL CICLO COMBINADO	6
2.1	Propiedades del Vapor Generado en la Caldera de Recuperación	6
2.2	Parámetros	6
2.3	Diagrama de la Instalación	7
2.4	Diagrama T-S	8
2.5	Irreversibilidades en el Ciclo	11
2.6	Rendimientos del Ciclo	12
2.7	Propiedades de los Humos	13
2.8	Característica de la Turbina de Vapor	13
3.	DESARROLLO DE LA CALDERA DE RECUPERACIÓN (HRSG)	14
3.1.	Descripción	14
3.2.	Consideraciones de Diseño	16
3.3.	Dimensionamiento Térmico	20
3.4.	Determinación de los Coeficientes de Transmisión	22
3.5.	Determinación de los Paquetes de Tubos	27
3.6.	Determinación del agua en spray para los Atemperadores	29
3.7.	Cálculo del Rendimiento	30
3.8.	Cálculo Mecánico de partes Sometidas a Presión	34
4.	CONCLUSIONES	36

1. DESCRIPCIÓN

Una caldera es un dispositivo que está diseñado para generar vapor saturado. Este vapor saturado se genera a través de una transferencia de energía (en forma de calor) en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado. La transferencia de calor se efectúa mediante un proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando progresivamente su presión y temperatura. La presión no puede aumentar de manera desmesurada, ya que debe permanecer constante.

Debido a que la presión del vapor generado dentro de las calderas es muy grande, estas están construidas con metales resistentes.

1.1. Parámetros característicos de los Generadores de Vapor

Cuando una caldera se utiliza para producir vapor, se la puede llamar generador de vapor.

Los parámetros más importantes que definen las características de un generador de vapor de recuperación son los siguientes:

Presión efectiva

En la práctica se suelen clasificar en:

- Baja presión: $p < 20 \text{ kg/cm}^2$
- Media presión: $20 \text{ kg/cm}^2 < p < 64 \text{ kg/cm}^2$
- Alta presión: $p > 64 \text{ kg/cm}^2$

Capacidad

Se suele medir por el caudal de vapor (toneladas por hora, tn/h) producido a una presión y temperatura determinadas, para una temperatura dada del agua de alimentación de la caldera. A veces se indica por la potencia térmica aprovechada o del combustible.

Superficie de calefacción

Es la superficie a través de la cual tienen lugar los procesos de transmisión de calor (gases calientes-agua/vapor).

Puede dividirse en:

- Superficie de transmisión directa: en ella es dominante la transmisión de calor por radiación.
- Superficie de transmisión indirecta: en ella es dominante la transmisión de calor por convección.

La superficie de calefacción está limitada en cuanto a sus dimensiones por los siguientes factores:

- Los gases de combustión no deben enfriarse por debajo de su punto de rocío ácido a fin de evitar condensaciones que faciliten la corrosión (en combustibles con contenido de azufre significativo, como carbón o fuel esta temperatura está en el entorno de 140 °C, mientras que en las calderas de gas natural esta temperatura es de 50-60 °C)
- Un enfriamiento excesivo de los gases calientes conlleva una pérdida de tiro en el caso de calderas de tiro natural, debiéndose de introducir un mecanismo de tiro forzado.
- Una vez que los gases calientes se enfrían por debajo de cierta temperatura un aumento de superficie de transmisión es poco rentable pues la cantidad de calor disponible es muy pequeña (la transferencia de calor está en relación directa con el salto térmico).

Producción específica de vapor

Es la relación entre la producción de vapor y la superficie de calefacción.

Índice de vaporización

Es la masa de vapor producida por unidad de masa de combustible utilizado para su producción (depende del rendimiento basado en el PCI del combustible utilizado). El índice de vaporización es el inverso del consumo específico de combustible, definido como la masa de combustible que utiliza la caldera para producir una unidad de masa de vapor, en las condiciones nominales de trabajo (presión y temperatura del vapor determinadas y una temperatura del agua de alimentación dada).

1.2. Clasificación de las Calderas

Las partes fundamentales de una caldera son:

- Cámara de combustión u hogar, donde se realiza la combustión
- Cuerpos de intercambio, donde se transfiere el calor de los gases calientes al fluido que transporta el calor o caloportador.
- Quemadores
- Envoltente o carcasa que aísla el cuerpo intercambiador del exterior.
- Conjunto de elementos auxiliares y de control de la caldera

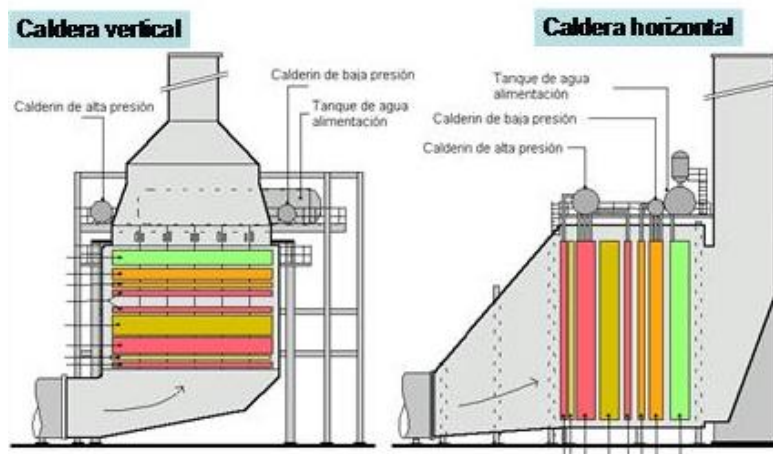
Las calderas pueden ir dotadas de los siguientes componentes externos o no al cuerpo de la misma:

- Economizador: Intercambiador de calor que precalienta el agua de entrada a la caldera, tomando calor de los humos o gases de escape.
- Recuperadores o regeneradores de calor: Intercambiadores de calor, que precalientan el aire de entrada a la cámara de combustión a partir de los gases de escape.

Las calderas o generadores de vapor que producen vapor sobrecalentado, (que es utilizado en la mayoría de las turbinas de vapor) llevan incorporadas a la misma un sobrecalentador o cambiador de calor que genera el vapor sobrecalentado a partir del vapor saturado producido en el vaporizador de la caldera.

Las calderas pueden clasificarse atendiendo a distintos conceptos:

- Por la fuente de energía utilizada
 - Calderas de combustión, en las que el calor proviene directamente de la combustión de un combustible.
 - Calderas de recuperación, en las que el calor procede de un fluido a alta temperatura (gases calientes).
 - Calderas mixtas. En el caso de estar situadas en el escape de turbinas de gas, algunas calderas suelen incorporar también un quemador, con lo que son simultáneamente de recuperación y combustión.
- Por el fluido calo portador
 - Calderas de agua caliente.
 - Calderas de agua sobrecalentada
 - Calderas de fluidos térmicos.
 - Calderas o generadores de aire caliente.
 - Calderas de vapor
- Dentro de los generadores de vapor se distinguen
 - Calderas de vapor saturado
 - Calderas de vapor sobrecalentado
 - Por el material constructivo:
 - Calderas de fundición
 - Calderas de acero
- Por el tipo de tiro
 - Tiro natural (hogar en depresión).
 - Tiro forzado (cámara de combustión presurizada).
- Por el tipo de circulación
 - Circulación natural
 - Circulación forzada
- Por su disposición
 - Horizontales. La dirección del flujo de gases es horizontal y los haces tubulares se disponen transversalmente, es decir, son verticales.
 - Verticales. La dirección del flujo de gases es vertical, mientras que los haces tubulares se disponen transversalmente, es decir, son horizontales o inclinados.



2. DESARROLLO DEL CICLO COMBINADO

2.1 Propiedades del Vapor Generado en la Caldera de Recuperación

Alta presión:

- Producción Vapor AP: 82,378 kg/seg cada una
- Presión de vapor AP: 116,5 Bar
- Temperatura Vapor AP: 570 °C

Media presión:

- Producción Vapor MP: 91,096 kg/seg cada una
- Presión de vapor MP: 27,2 Bar
- Temperatura Vapor MP: 570 °C

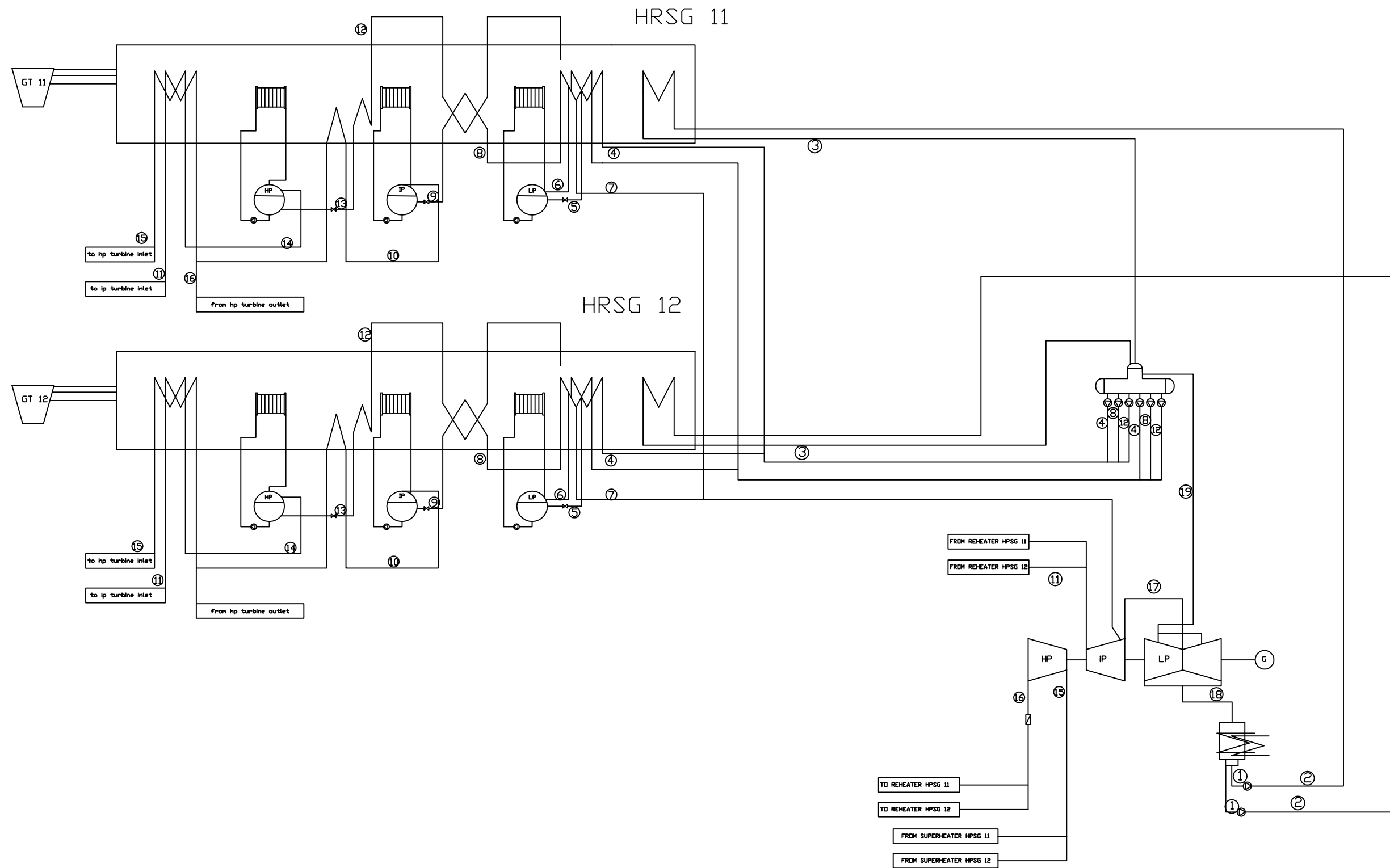
Baja presión:

- Producción Vapor BP: 8,463 kg/seg cada una
- Presión de vapor BP: 4,7 Bar
- Temperatura Vapor BP: 149,49 °C

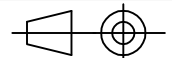
A continuación, se presenta en un cuadro los parámetros de cada estado correspondiente al ciclo descrito en el plano adjunto.

2.2 Parámetros

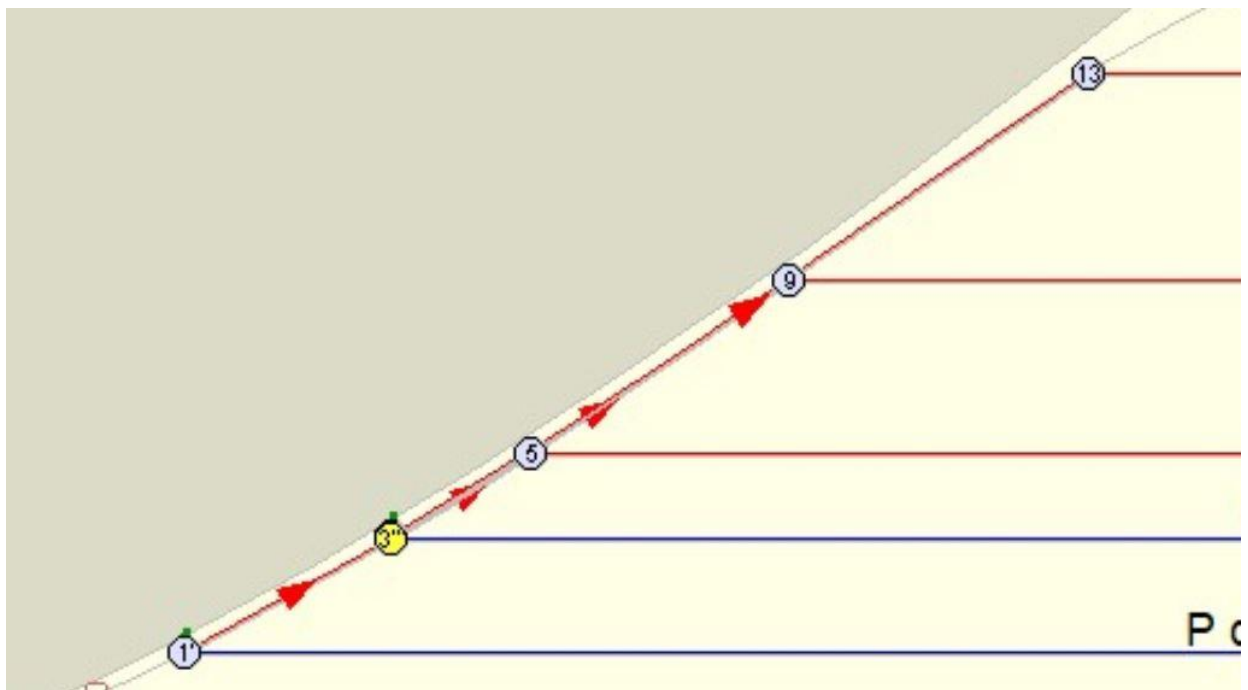
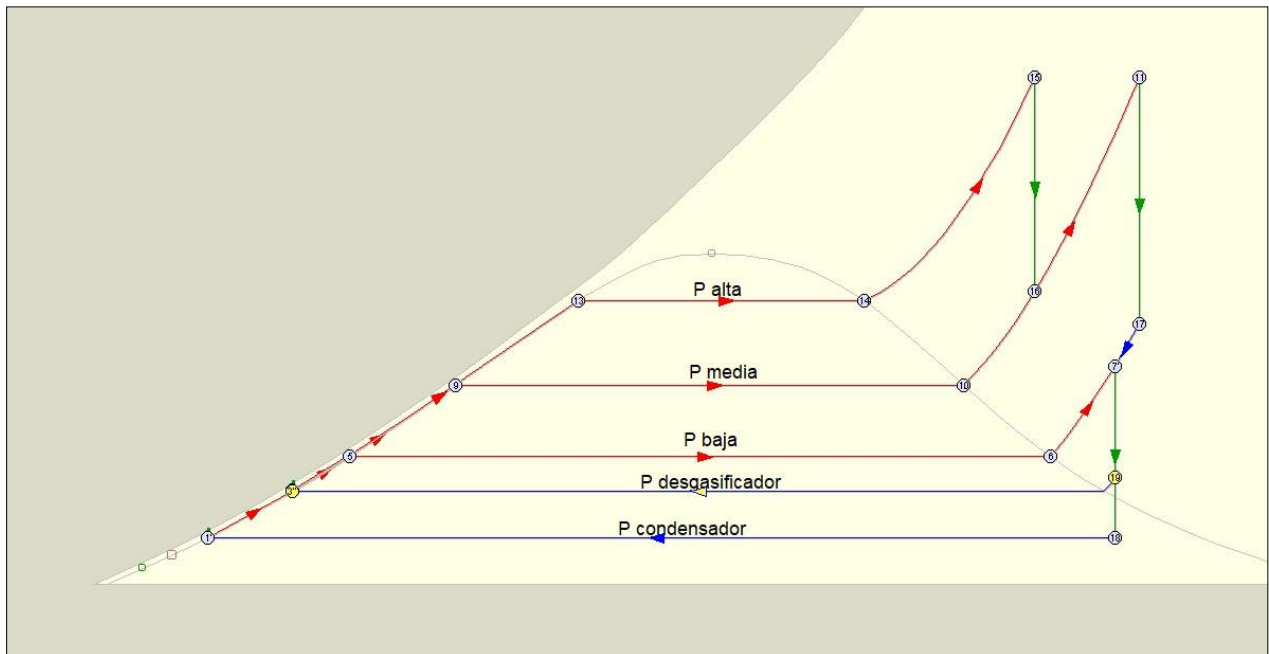
Nº	Presión (BAR)	Temperatura (°C)	Entalpia (KJ/Kg)	Entropía (KJ/kg*c)	Energía interna (KJ/Kg)	Título
1	0,1961	59,6	250,18	0,8228	250,16	0
2	1,5	59,6	250,312	0,8228	250,16	-
3	1,5	111,32	467,179	1,4346	467,337	0
4	4,7	111,35	467,674	1,4346	467,179	-
5	4,7	149,49	629,785	1,836	629,272	0
6	4,7	149,49	2744,93	6,841	25,5818	1
7	4,7	250	2960,88	7,30026	2723,44	-
8	27,2	111,56	470,042	1,4346	467,179	-
9	27,2	228,482	983,545	2,5974	980,266	0
10	27,2	228,482	2802,8	6,2241	2602,79	1
11	27,2	570	3615,87	7,4759	3232,48	-
12	116,5	112,4	479,415	1,4346	467,18	-
13	116,5	322,45	1477,3	3,4742	1459,66	0
14	116,5	322,456	2690,96	5,5119	2518,24	1
15	116,5	570	3534,4	6,7306	3170,73	-
16	27,2	333,123	3081,14	6,7306	2817,08	-
17	4,7	250	2960,88	7,30026	2723,44	-
18	0,1961	59,59	2403,68	7,30026	2264,3	0,9133
19	1,5	126,085	2723,09	7,3002	2541,93	-



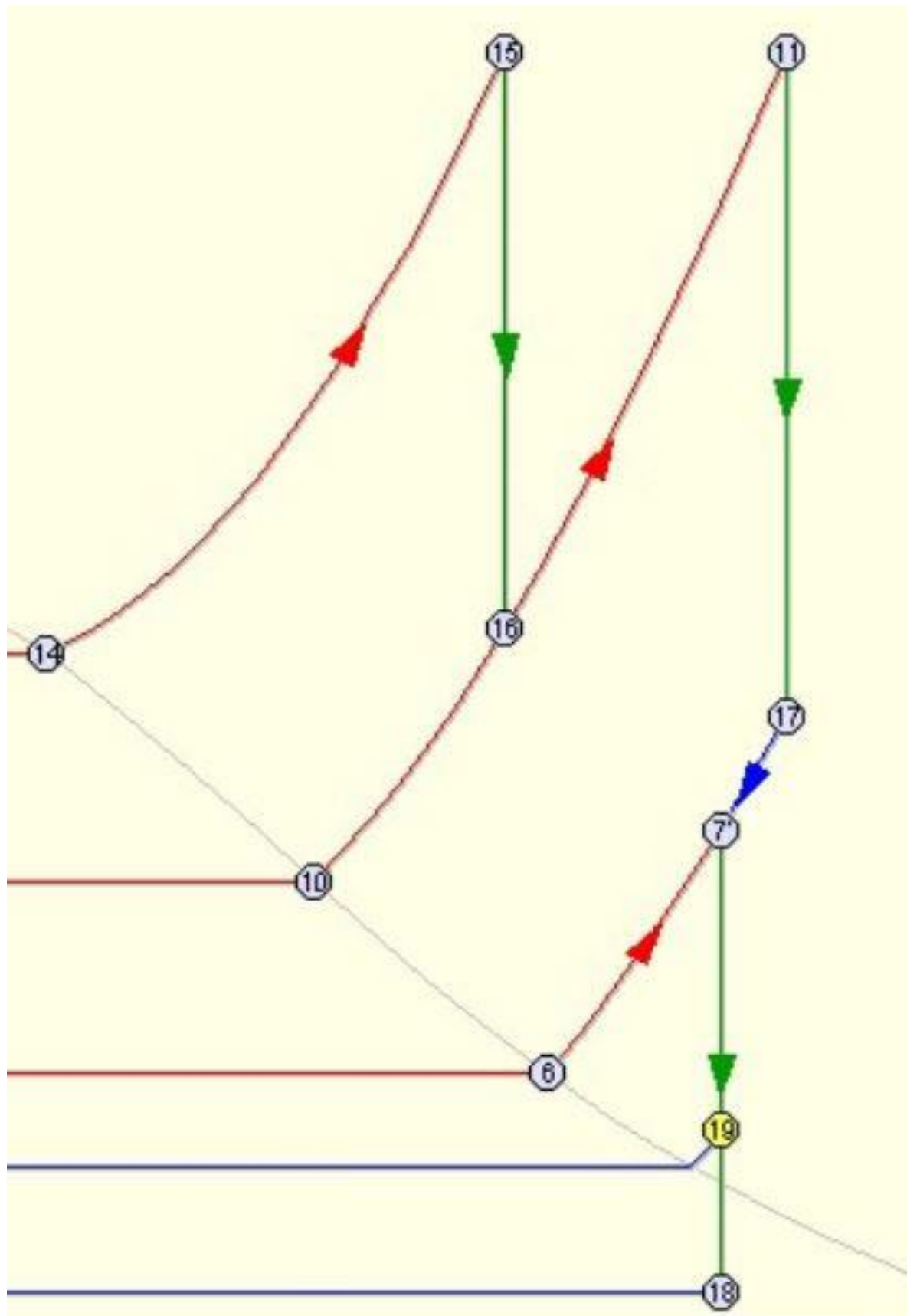
U.T.N. Facultad Regional Avellaneda Departamento Mecánica

Grupo:	CICLO PARA CALDERA DE RECUPERACION	PLANO N° 1	
Profesor: Ing. Trejo		Escala: S/E	
Aprobo:			
Fecha:			
Material:	T. T.(Superficial):		MAQUINA UNICA

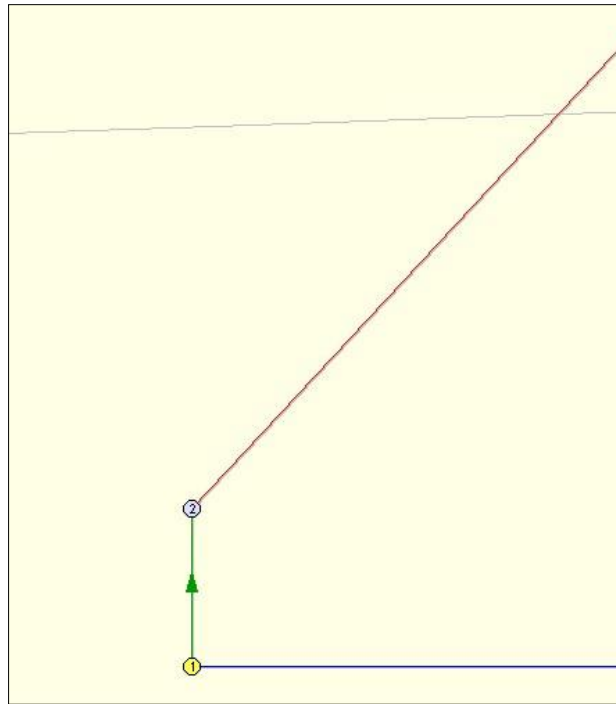
2.4 Diagrama T-S



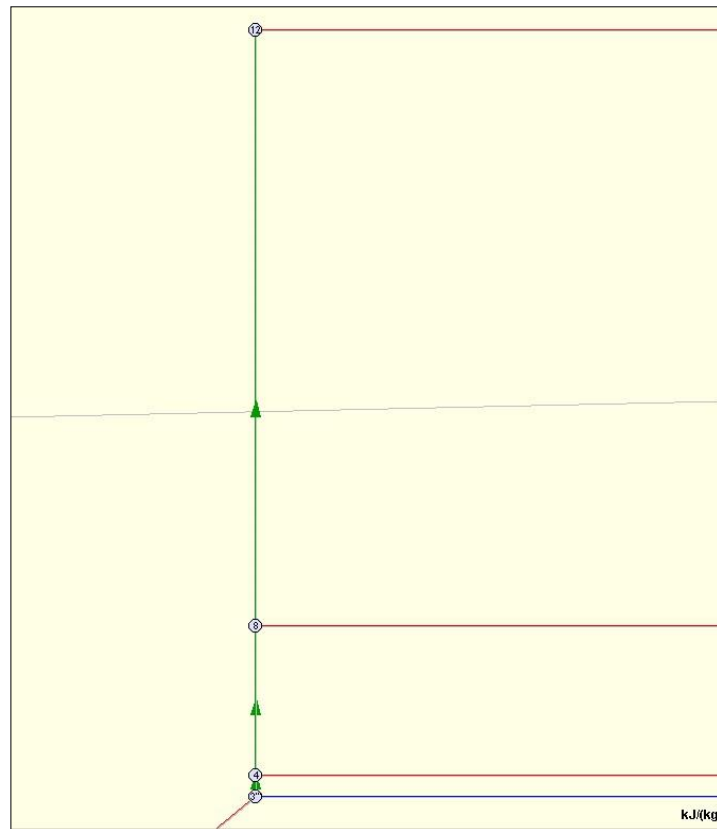
Ampliación del diagrama – lado izquierdo.



Ampliación del diagrama – lado derecho.



Ampliación de los puntos 1 y 2.



Ampliación de los puntos 3 - 4 - 8 - 12.

2.5 Irreversibilidades en el Ciclo

En el ciclo teórico presentado anteriormente para obtener el ciclo real se debe considerar cuatro irreversibilidades en diversos componentes. La fricción del fluido y las pérdidas de calor indeseables hacia los alrededores son las dos fuentes más comunes de irreversibilidades.

De las cuales dos son propias de las transformaciones no adiabáticas en la realidad (bomba y turbina) y las otras dos se producen por pérdida de carga en la serpentina del sobrecalentador y en la válvula de admisión de la turbina.

Irreversibilidades debido a transformaciones no adiabáticas:

- Irreversibilidad de la bomba
- Irreversibilidad de la turbina

Irreversibilidades debidas a pérdidas de carga:

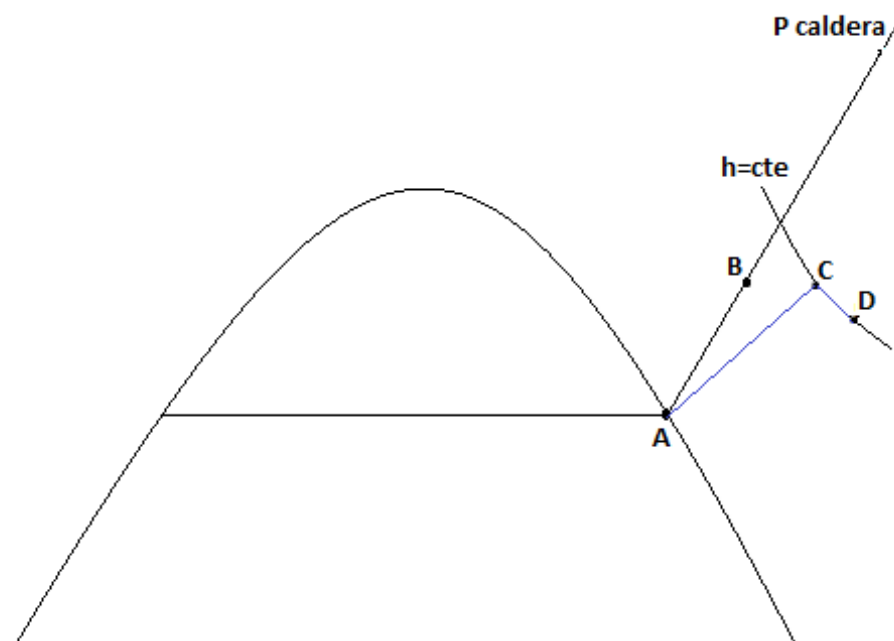
- Irreversibilidad del sobrecalentador
- Irreversibilidad de la válvula de admisión

Desarrollo de las irreversibilidades en nuestro ciclo:

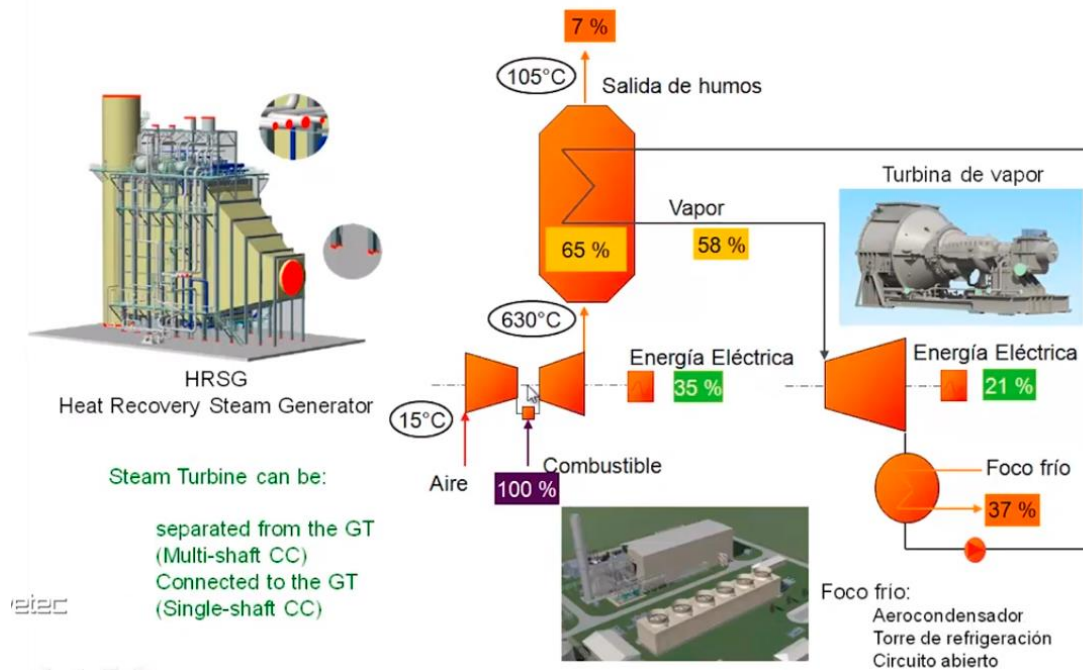
Se considera que, a la salida de los domos, la pérdida de carga del sobrecalentador es el 10% de la presión de la caldera. Sumado un 5% de pérdida generada por la válvula que regula el vapor en la entrada de la turbina. Con lo cual en vez de los estados 15, 11 y 17 se tienen los estados 15', 11' y 17'.

Visualizamos lo mencionado:

- Los estados anteriores 14, 10 y 6 corresponde al punto A
- Los estados 15, 11 y 17 corresponde al punto B
- El punto intermedio entre el sobrecalentador y la caldera corresponde al punto C
- Los estados 15', 11' y 17' corresponden al punto D



2.6 Rendimientos del Ciclo



La Turbina de Gas (nuestro ciclo consta de dos TG) tiene una entrada de aire y otra de combustible, por medio de la cual se producirá una transformación de la energía contenida en el combustible para transformarla en energía mecánica rotativa y transferirla a un generador, para producir energía eléctrica, la mayor parte de esa energía térmica liberada en la combustión saldrá en los humos de escape. Estos humos que ingresarán la caldera de recuperación y en ella se producirá vapor sobrecalentado que ingresará a la turbina de vapor, finalmente convertirá esta energía potencial del vapor en energía mecánica rotativa y se transferirá a un generador, para lograr obtener energía eléctrica.

- Se suministra un 100% de energía en el combustible.
- El 35% se convierte en energía eléctrica (del gas).
- El 7% se pierde por la chimenea, pérdidas que no se pueden evitar.
- El 21% se convierte en energía eléctrica (del vapor).
- Finalmente, el 37% se evacua a la atmósfera, a través de una torre de refrigeración del ciclo abierto.

Alta eficiencia: 57-58% rendimiento neto.

2.7 Propiedades de los Humos

Los combustibles utilizados en nuestro caso serán 2, uno principal y otro sustituto.

El principal es Gas natural, pero como sabemos hay épocas en las cuales la demanda en la región del mismo es superior a la que puede proveer la empresa distribuidora y el suministro puede exceder lo establecido por contrato. Por lo cual nosotros disponemos de otro combustible, Fuel Oil, el cual necesitamos tener almacenado.

Los poderes caloríficos de los mismos son diferentes, por lo tanto, la composición de los humos a la salida de la turbina de gas serán diferentes según el combustible. Estos humos entran a la caldera de recuperación, los cuales están detallados a continuación:

Composición de los humos con Gas natural:

Compuesto	Peso (%)
Co2	5.818
N2	73.4787
H2O	5.218
O2	14.2585
Ar	1.2288
Temperatura	581.3

Perdida de Calor 0.49 MJ/s

Composición de los humos con Fuel oil:

Compuesto	Peso (%)
Co2	8.40
N2	71.2080
H2O	6.0316
O2	13.1544
Ar	1.1914
Temperatura	569,0
So2	0.0076

Perdida de Calor 0.42 MJ/s

Los caudales a la salida de la turbina de gas dependerán del combustible utilizado, estos serán los siguientes:

- Caudales de humos de gas 690,942 kg/s
- Caudales de humo de fuel oil 705,048 kg/s

2.8 Característica de la Turbina de Vapor

- Fabricante ABB
- Potencia Bruta: 288,3 MW
- Etapas: 3 (Alta, media y baja presión - Esta ultima de doble flujo)
- Potencia Nominal Neta en bornes del alternador: 288MW

3. DESARROLLO DE LA CALDERA DE RECUPERACIÓN (HRSG)

3.1. Descripción

3.1.1. Evaporador

Se produce el cambio de fase de agua a vapor. Las calderas emplean tubos de agua expuestos al calor de los gases de combustión, por el interior de los cuales circula el agua a presión. Dichos tubos se encuentran conectados a dos cabezales verticales:

- El cabezal inferior (*downcomer*) suministra el agua saturada a los tubos.
- En los tubos el agua se evapora y, por convección natural, (debido a la disminución de la densidad con la temperatura) asciende.
- En el cabezal superior (*riser*), la mezcla de líquido-vapor formada se recoge y es enviada al domo.
- En el domo se recibe el agua de alimentación y se envía el vapor saturado al sobre-calentador.

3.1.2. Sobre-calentador

Son paquetes de tubos donde se calienta el vapor por encima de su temperatura de saturación, a la presión de operación, para aumentar drásticamente su entalpía. Estos intercambiadores de calor suelen trabajar en contraflujo.

El vapor saturado que viene del domo pasa por el interior de los tubos, donde su temperatura se eleva a presión constante.

El límite de la temperatura del vapor está determinado por el generador de vapor y la turbina, debido al límite de resistencia de sus materiales a las altas temperaturas.

3.1.3. Economizador

Cumple con la función de recibir el agua de alimentación (o precalentada) y hacer un último precalentamiento antes de su entrada a los paquetes de evaporadores, aprovechando el calor desprendido por los gases de escape del circuito de combustión.

Con esta disposición aumenta el rendimiento térmico global de la instalación, disminuyendo las pérdidas por calor sensible de los gases de combustión evacuados a la chimenea.

La transferencia de calor se realiza por convección en un inter-cambiador en contracorriente y debido a las temperaturas de intercambio (relativamente poco elevadas), se necesitan grandes superficies de transferencia. Debido a las bajas temperaturas del fluido circulante en su interior, la humedad contenida en los gases de combustión puede condensar sobre estos tubos si la temperatura es inferior a la del punto de rocío de los gases. Según la composición de los gases, esta condensación puede llegar a provocar fuerte corrosión en el banco por formación de H₂SO₄ a partir de los SO₂, contenidos en los gases. Por este motivo, es importante garantizar que el agua, al llegar al economizador, ha sido precalentada lo suficiente.

3.1.4. Pre-calentador de agua

Permite que el agua llegue al economizador a la temperatura adecuada. De este modo, se consigue que, en caso de que la temperatura de los gases caiga por debajo del punto de rocío, la humedad contenida en los mismos condense sobre el propio pre-calentador.

Al ser un paquete de tubos que, por concepto, debe ser más pequeño que el economizador, se puede emplear acero inoxidable en su fabricación para que resista las condiciones a las que va a estar sometido.

La transferencia de calor se realiza por convección en un intercambiador en contracorriente, al igual que en los economizadores. Este tipo de paquete de tubos se encuentra directamente ligados a la existencia de una bomba de recirculación, asegurando un caudal de recirculación de fluido a través del mismo para conseguir la temperatura adecuada a la entrada del economizador.

3.1.5. Domo

Tiene la doble función, separar el agua del vapor generado en los circuitos de presión de la caldera y mantener una reserva de agua para todos ellos. Debe dar un caudal de vapor en condiciones de presión y temperatura solicitadas.

Constituye el recinto de mezcla en el que se encuentra en equilibrio la fase líquida-vapor, por lo cual, se encuentra a la temperatura de saturación y a la presión de operación. En él se establece un plano de agua cuyo nivel es controlado y mantenido a un valor sensiblemente constante para un mismo régimen de vaporización, tiene una importante función a la hora de la regulación. Por encima de este plano se encuentra el vapor saturado o húmedo, que, por intermedio de separadores y secadores internos del domo, se envía al sobre-calentador.

3.1.6. Circuito agua/vapor

El agua entra en el pre-calentador de la caldera en unas condiciones de presión y temperatura determinadas. Un caudal de agua superior al caudal del agua de alimentación será recirculado a través de este componente, según se requiera, hasta obtener una temperatura de entrada de agua a los economizadores adecuada. Si la temperatura del agua, a través de los economizadores es demasiado baja, podría haber problemas de corrosión en los mismos.

En cada uno de los cuerpos del economizador, tanto de alta como de media presión, el agua realiza un único paso en contracorriente con el gas, aumentando su temperatura.

En los domos, el agua procedente del correspondiente economizador se mezcla con el agua que viene a través de los separadores de los circuitos de generación de vapor. Desde cada domo mediante los tubos *downcomers* el agua pasa a los paquetes de tubos de los generadores de vapor, de alta o de media presión.

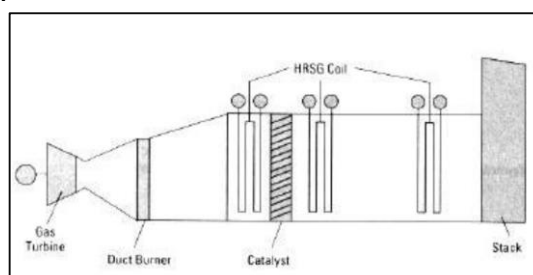
El vapor producido se separa del agua en el interior de los domos, según se ha indicado, y llega a los sobre-calentadores.

Llegado a este punto, el comportamiento de los circuitos de alta y media presión difiere sustancialmente. El vapor sobrecalentado de alta presión va directamente a la turbina de vapor, para convertir la energía del vapor en energía mecánica a través de una fase de descompresión en la misma. Como el vapor a la salida de la etapa de alta presión de la turbina suele tener una presión dentro del rango de media presión, una posibilidad típica de diseño para el circuito de vapor sobrecalentado de media presión es diseñarlo para producir vapor en unas condiciones tales que ambas corrientes puedan unirse. Simplemente habría que dimensionar el circuito de media presión a una presión ligeramente mayor que la de sobrecalentado, para compensar el efecto de la pérdida de carga de la línea de transición.

A la salida el vapor se dirige a la etapa de media presión de la turbina de vapor.

3.1.7. Sistema de reducción de NOx

Con estrictas regulaciones ambientales para el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, el uso de **catalizadores** para controlar las emisiones se está volviendo común. El rendimiento del catalizador se ve afectado por la temperatura del gas en el mismo. Los catalizadores operan eficientemente en un rango estrecho de temperaturas de gas. Para los catalizadores de NOx, el rango de temperatura del gas es típicamente 600-750°F. Debe preverse una rejilla de inyección de amoníaco aguas arriba del catalizador de NOx. El catalizador también tiene una alta caída de presión de gas, en el rango de 2-4 pulg. wc, que debe considerarse en el diseño general y la evaluación del desempeño.



3.2. Consideraciones de Diseño

En los HRSG de circulación natural, los tubos son verticales y el gas fluye horizontalmente. Los anchos de los diversos módulos están limitados por consideraciones de envío. Por lo tanto, los HRSG grandes pueden tener módulos de 12 pies de ancho y 30-50 pies de alto. Las tuberías descendentes llevan el agua saturada caliente al fondo de los módulos del evaporador y las tuberías ascendentes llevan la mezcla de vapor / agua al domo de vapor externo, donde se produce la separación. Luego se lleva el vapor saturado al sobre-calentador.

Los parámetros a ajustar mediante los cálculos, y que serán uno de los factores determinantes del diseño adecuado, son:

- Caudal de vapor bruto generado.
- Potencia térmica absorbida por cada intercambiador de calor.
- Punto de aproximación (approach point),
- Punto de pellizco (pinch point).
- Ratio de circulación (relación entre el caudal de agua suministrado al evaporador y el caudal de vapor generado).
- Temperaturas a la entrada y salida de cada paquete de tubos (sobre-calentador, evaporador y economizador), tanto en el lado gas como en el lado agua/vapor.

De modo que las variables consideradas para obtener el diseño adecuado, son:

- Disposición de los bancos de tubos en la caldera.
- Número de tubos en cada intercambiador.
- Diámetro y espesor de los tubos de cada intercambiador.
- Paso transversal de tubos en cada intercambiador.
- Paso longitudinal de tubos en cada intercambiador.
- Dimensiones de las aletas.
- Espaciado entre aletas.
- Materiales de aletas y cañería.

3.2.1. Cálculo de Circulación

Nos garantiza que los tubos ascendentes calentados sean adecuados y que el flujo de calor dentro de los tubos sea lo suficientemente bajo como para evitar la condición conocida como DNB salida de ebullición.

Para realizar los cálculos de circulación siendo un proceso iterativo para las calderas de circulación natural, el cabezal térmico estático disponible para mover la mezcla de vapor de agua a través del sistema se equilibra con las diversas pérdidas, tales como:

- Pérdidas por fricción en tuberías de bajada, tuberías verticales y sistema de caldera.
- Pérdidas por gravedad en la caldera y el sistema ascendente.
- Pérdidas de aceleración debido al cambio de fase.

Primero se supone una relación de circulación (CR) y se determinan las diversas pérdidas y equilibran con el cabezal térmico disponible. Si este equilibrio no ocurre realizaremos otra iteración.

Una vez que se determina el CR, el flujo de calor y la calidad del vapor o la fracción de sequedad en los tubos ascendentes que se determinan a lo largo de su longitud y en puntos críticos se comparan con la fracción de sequedad permisible para el flujo de calor en cuestión. Alternativamente, el flujo de calor permisible puede calcularse y compararse con el flujo de calor real en varios lugares.

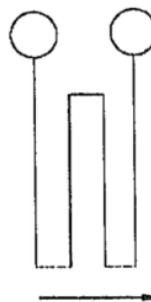
El sistema es seguro siempre que el flujo de calor real sea inferior al permitido. El CR en calderas de circulación natural varía de 5 a 30 dependiendo de la presión y el diseño. No es necesario diseñar un sistema para un CR particular siempre que el flujo de calor real sea más bajo que el permitido para las condiciones de vapor existentes.

3.2.2. Pre-calentador

Fijaremos una velocidad del fluido entre 0,6 y 1,8 m/s considerando una fila por paso para lograr homogenizar la temperatura. La temperatura mínima de salida del pre-calentador para evitar condensación en los tubos de los economizadores es 85 °C.

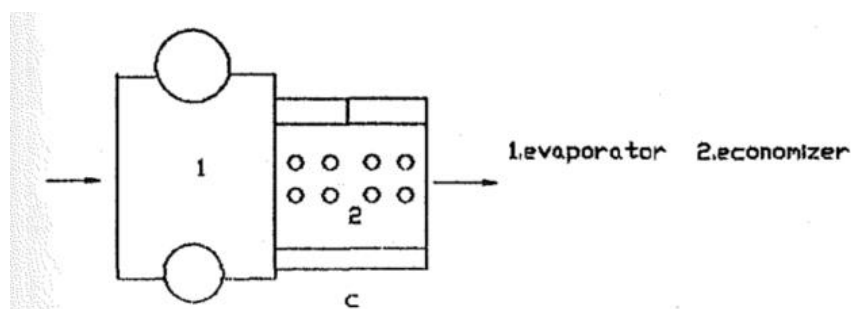
3.2.3. Economizadores

Fijaremos una velocidad del fluido entre 0,6 y 1,8 m/s considerando una fila por paso para lograr homogenizar la temperatura. Se conoce las propiedades del agua líquida (sub-enfriada) como entalpía, calor específico, densidad, conductividad térmica y viscosidad del agua. La disposición se muestra en la siguiente figura.



Debe tenerse en cuenta que la temperatura del metal se decide por la temperatura del agua de alimentación y no por la temperatura del gas, ya que el coeficiente del lado del tubo es varias veces mayor que el coeficiente del lado del gas. Los tamaños de tubo varían de 1,5" a 3,5".

En la figura el economizador está en el paso de gas horizontal, con las últimas filas de los tubos ayudando al flujo de agua hacia arriba, minimizando así las preocupaciones por el vapor. Esta configuración da como resultado una disposición adecuada. El paquete podría ser independiente.



3.2.4. Evaporadores

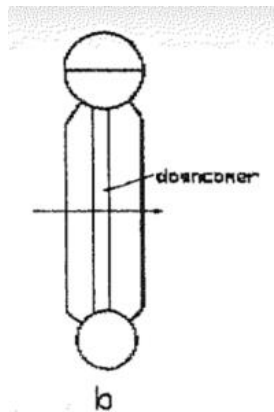
Deberemos verificar el correcto ratio de circulación en los paquetes de evaporadores de manera que aseguren la correcta circulación natural y refrigeración mínima de los tubos. Se logra fijando una proporción máxima de vapor en el agua, alrededor del 12% en peso de vapor en los tubos del evaporador.

El caudal del evaporador es superior al del resto de intercambiadores, debido a que debe tener una circulación mucho mayor para asegurar la producción de vapor necesaria.

El efecto de la presión de vapor es significativo: cuanto mayor es la presión de vapor, mayor es la temperatura del gas de salida del evaporador y menor es la tasa de generación de vapor, lo que lleva a un menor trabajo en el economizador y una mayor temperatura de salida del gas.

El fluido que circula en el interior es agua a temperatura de saturación con pequeñas cantidades de vapor. Las propiedades a estimar corresponden al estado de equilibrio agua/vapor.

La siguiente disposición es para un flujo único cruzado de gas. La altura no tiene limitaciones, pero el ancho dependerá del envío. Se deben usar bajantes y elevadores externos para promover la circulación.



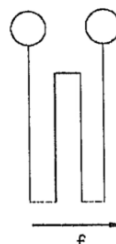
3.2.5. Sobre-calentadores

Diseño similar al de los evaporadores, como el vapor que circula por los sobre-calentadores van a la turbina de alta presión tras el paso por la última etapa la superficie necesaria es inferior a la del evaporador por ello no presentara problemas de espacio. Debido a que, para dar la producción de vapor en una caldera de circulación natural, se requiere que el vapor circule varias veces por el paquete hasta convertirse totalmente en vapor.

El fluido que circula en el interior es vapor sobrecalentado.

La Figura muestra un sobre-calentador para unidades altas y menos anchas, como en nuestro caso. Los tubos son verticales y drenables. Al dividir el encabezado, se pueden organizar múltiples transmisiones. El flujo de gas es horizontal.

La unidad podría dividirse en dos o más módulos para fines de control de la temperatura del vapor y podría tener un flujo único o múltiple dependiendo de la caída de presión del lado del vapor y la temperatura de la pared del tubo.



3.2.6. Temperatura del agua de alimentación

La temperatura del agua de alimentación es típicamente fijada por la propiedad de la instalación. Con el fin de evitar los típicos problemas de corrosión de los tubos del economizador en operación a bajas cargas, las temperaturas de metal de los tubos en la parte fría no deben ser inferiores al punto de rocío de los gases en ninguna condición de operación. Obviamente, las temperaturas de los gases a la salida de la caldera también deben ser mayor que la temperatura de rocío de los mismos.

El punto de rocío de los gases de escape depende del contenido de azufre en el combustible de la turbina, pero en nuestro caso el combustible principal considerado es Gas Natural de alta calidad, por lo que no contiene azufre.

3.2.7. Pérdidas de carga

Primero se lleva a cabo un diseño válido y luego se ajustan algunos parámetros hasta conseguir valores de pérdidas de carga admisibles.

3.2.8. Perfiles de Temperaturas

3.2.8.1. Punto de Aproximación (approach point)

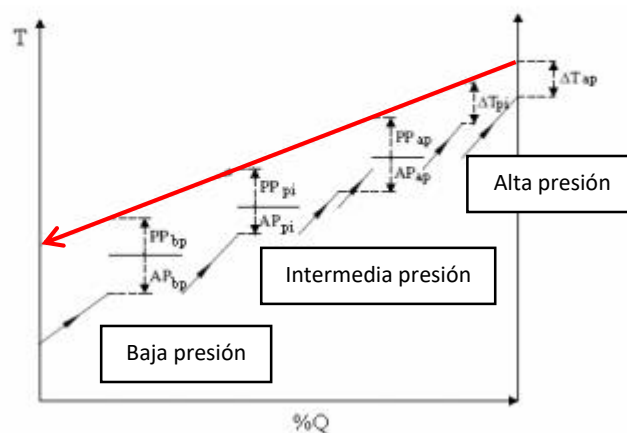
Se trata de la diferencia entre la temperatura de saturación y la temperatura de salida del agua del economizador. Esta última será inferior a la temperatura de saturación a la presión correspondiente al domo, con el fin de prevenir una cantidad inadecuada de vapor en los tubos del evaporador.

3.2.8.2. Punto de Pellizco (pinch point)

Es el salto térmico mínimo entre el gas y el vapor de agua en los paquetes de tubos de los evaporadores en el extremo de salida de los gases y de entrada del agua en el evaporador, considerada la temperatura de saturación. Cuanto menor es el valor del punto de pellizco, mayor es la superficie de evaporador necesaria; sin embargo, cuanto mayor es el punto de pellizco, menor es el calor recuperado de los gases a una presión específica de vapor.

El criterio típico para el dimensionamiento y disposición básica de los intercambiadores es maximizar la eficiencia global. Para ello, los puntos de pellizco y aproximación deben ser lo menores posibles, de manera que se maximice el caudal de vapor generado a cierta temperatura, es decir, la energía recuperada.

A continuación vemos el esquema de la configuración y diagrama T - %Q.



En la figura se observa la línea recta continua (color rojo) representa el enfriamiento de los gases de escape de la turbina de gas (TG) y la línea escalonada representa el calentamiento del agua. En el diagrama pueden distinguirse claramente las tres secciones de la Caldera de Recuperación.

Estas temperaturas se seleccionan de la siguiente tabla, según el valor de temperatura de entrada de los gases:

Suggested pinch and approach points:			
Inlet Gas Temperature, °F	Pinch Point, °F		Approach Point, °F
	Evaporator Type		
	Bare	Finned	
1,200 - 1,800	130 - 150	30 - 60	40 - 70
700 - 1,200	80 - 130	10 - 30	10 - 40

■ Figure 2. HRSG temperature profiles and suggested pinch and approach points.

3.3. Dimensionamiento Térmico

Con el caudal y temperatura de gas que circula por fuera del intercambiador además la temperatura y presión del fluido que circula internamente por el intercambiador podemos realizar el dimensionamiento según los siguientes pasos.

Previamente analizados los datos de entrada:

- (1) Se establece un diámetro y espesor de tubos (Parámetros geométricos de los tubos)
- (2) Para cada intercambiador se realizan los cálculos con el procedimiento Diferencia Media Logarítmica de Temperaturas. Las temperaturas se establecen (Pinch Point & Approach point).
- (3) Para cada intercambiador se establece el número de filas de tubos $N_{ft}(i)$
- (4) Además, se fija la densidad de aleta $df(i)$
- (5) Se evalúa la $U(i)$ con el área resultante $A_{res}(i)$
- (6) Se realiza el siguiente cálculo: $A(i) = N_{ft}(i) * A_{res}(i)$. Si no verifica volvemos al paso 3 realizando un ajuste fino.
- (7) Se verifica:
 - Las condiciones de vapor en el sobre-calentador (T_i y P_i).
 - Para evaporadores el caudal y el punto de pellizco.
 - En economizadores el punto de aproximación.
 Si no verifica por demasía volvemos al punto 3. Pero si no verifica por una diferencia pequeña volvemos al punto 4.
- (8) Obtenemos los resultados del dimensionamiento térmico, que definirá las áreas de transferencia de calor y las pérdidas de carga. Con estos datos podemos dimensionar el sistema de reducción NOx.
- (9) Verificamos mecánicamente con ASME 1 el diseño. Si no verifica volvemos al punto 1.

En este desarrollo tendremos en cuenta los coeficientes de ensuciamiento de los tubos. La pérdida de calor varía entre 2% en HRSG pequeños a grandes unidades 0.5%. En nuestro caso adoptaremos 1%.

Entrando más en detalle el balance de energía viene dado por las siguientes igualdades:

$$Q_{1,2} = W_g * C_{pg} * (t_{g1} - t_{g3})(hl) = W_{sd} * [(h_{s2} - h_{w2}) + (bd) * (h_f - h_{w2})]$$

W_g : Flujo de gas

W_{sd} : Flujo de vapor de diseño

C_{pg} : C_p : Calor específico del gas t_{g1} : Temperatura de entrada del gas al sobrecalentador

t_{g3} : Temperatura del gas a la salida del evaporizador y entrada al economizador

h_{s2} : Entalpia del vapor sobrecalentado.

h_{w2} : Entalpia del agua en la salida del economizador

h_f : Entalpia del liquido saturado

h_l : Perdida de calor

bd : Purga (Blowdown, fraction)

Donde t_{g1} y t_{g3} son conocidos, $Q_{1,2}$ se calcula y se determina el flujo de vapor W_{sd} .

El balance energético del sobre-calentador es:

$$Q_1 = W_{sd} * (h_{s2} - h_v) = W_g * C_{pg} * (t_{g1} - t_{g2})(hl)$$

W_g : Flujo de gas

W_{sd} : Flujo de vapor de diseño

C_{pg} : C_p : Calor específico del gas

t_{g1} : Temperatura de entrada del gas al sobrecalentador

t_{g2} : Temperatura de salida del gas del sobrecalentador

h_{s2} : Entalpia del vapor sobrecalentado.

h_v : Entalpia del vapor saturado

h_l : Perdida de calor

El balance energético del economizador es:

$$Q_3 = W_{sd} * (h_{w2} - h_{w1})(1 + bd) = W_g * C_{pg} * (t_{g3} - t_{g4})(hl)$$

W_g : Flujo de gas

W_{sd} : Flujo de vapor de diseño

C_{pg} : C_p : Calor específico del gas

t_{g3} : Temperatura del gas a la salida del evaporizador y entrada al economizador

t_{g4} : Temperatura a la salida del economizador

h_{w1} : Entalpia del agua en la entrada del economizador

h_{w2} : Entalpia del agua en la salida del economizador

h_l : Perdida de calor

bd : Purga (Blowdown, fraction)

La temperatura del gas a la salida del economizador (t_{g4}) se obtiene de esta ecuación. Por lo tanto, los perfiles completos de gas / vapor y la tasa de generación se pueden determinar asumiendo los puntos de pellizco y aproximación. Una vez que se seleccionan los puntos de pellizco y de aproximación, se fijan las diferencias de temperatura promedio de registro (ΔT) en las diversas superficies. Dado que, a partir de los principios básicos de transferencia de calor, el área de superficie viene dada por la suma de las áreas de superficie de todos los componentes, como el sobre-calentador, el evaporador y el economizador, se fijan una vez que se calcula U.

Para calcular U, uno debe tener datos mecánicos como el tamaño del tubo, la densidad de la aleta, el paso del tubo, etc.

Si no se conoce U, entonces $\frac{Q}{\Delta T} = U * S$ fija indirectamente las superficies.

*U: Coeficiente global de transferencia de calor (BTU/pies² * H * F)*

S: Area de superficie de transferencia (pies²)

ΔT: Diferencia media logarítmica de temperaturas

Q: Calor total

3.4. Determinación de los Coeficientes de Transmisión

3.4.1. Coeficiente de Transmisión del lado Gas

El coeficiente de transmisión de calor en el lado gas se calcula mediante la expresión de Briggs y Young, que expresa con buena exactitud el comportamiento de este coeficiente en tubos aleteados.

$$h_c = 0,295 \left(\frac{G^{0,681}}{d^{0,319}} \right) \left(\frac{k^{0,67} C_p^{0,33}}{\mu^{0,351}} \right) \left(\frac{S^{0,313}}{h^{0,2} b^{0,113}} \right)$$

*h_c: Coeficiente convectivo el lado gas [BTU/(ft² * h * °F)]*

*G: Velocidad másica de gas [lb/(ft² * h)]*

S: paso de aleta [in]

h: altura de aleta [in]

b: espesor de aleta [in]

*C_p: Calor específico gas a presión constante [BTU/(lb * °F)]*

*μ: Viscosidad del gas [lb/(ft * h)]*

*k: Conductividad térmica del tubo [BTU/(ft * h * °F)]*

La velocidad que se emplea se calcula con la siguiente expresión:

$$G = \frac{w_G}{N_w * L * (S - A_o)}$$

N_w: Número de tubos a lo ancho

w_G: peso molecular gas [lb/lb mol]

L: Longitud efectiva de los tubos [ft]

S: paso de aleta [in]

A_o: área obstrucción aleta [ft²/ft]

3.4.2. Coeficiente de Transmisión del lado Tubo

La ecuación básica para obtener h_i , para fluidos monofásicos es la de Dittus-Boelter (vapor saturado)

$$h_i = 2,44 W^{0,8} C/d_i^{1,8}$$

Donde:

d_i : diámetro interior del tubo [in]

C_p : Calor específico gas a presión constante [BTU/(lb * °F)]

El factor C sale de tabla donde T es en °F del fluido (fluido gaseoso / vapor de agua) que circula por los tubos:

$$C = 10^{[-1,318+0,214 \ln(T)]}$$

Table 3-3. Factor C for Steam.

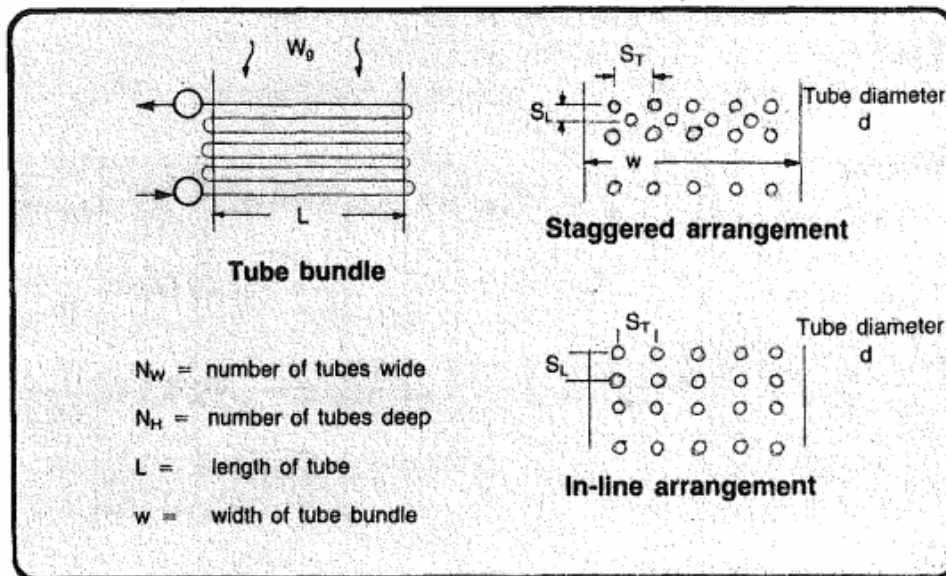
Pressure (psia):	100	500	1000	2000
Sat.:	0.244	0.417	0.490	0.900
Temp. (F)				
400	0.271	—	—	—
500	0.273	0.360	—	—
600	0.281	0.322	0.413	—
700	0.291	0.316	0.358	0.520
800	0.305	0.320	0.345	0.420
900	0.317	0.327	0.347	0.394
1000	0.325	0.340	0.353	0.386

En el caso de flujo bifásico o de ebullición dentro de los tubos, se puede utilizar un valor de 2000 a 3000 Btu/pe² * H * F para h_i . Su efecto sobre U no es significativo.

3.4.3. Comportamiento y parámetro del Gas

Los haces de tubos utilizados en los sobre-calentadores, economizadores y evaporadores generan resistencia al paso de flujo del gas.

Dependiendo de la geometría de los tubos, la disposición del paso, la temperatura y la velocidad del gas utilizada, la caída de presión del gas variará.



Con el diámetro de los tubos, el caudal del gas y la temperatura en Fahrenheit determinamos en la siguiente tabla hallamos el valor de Reynolds.

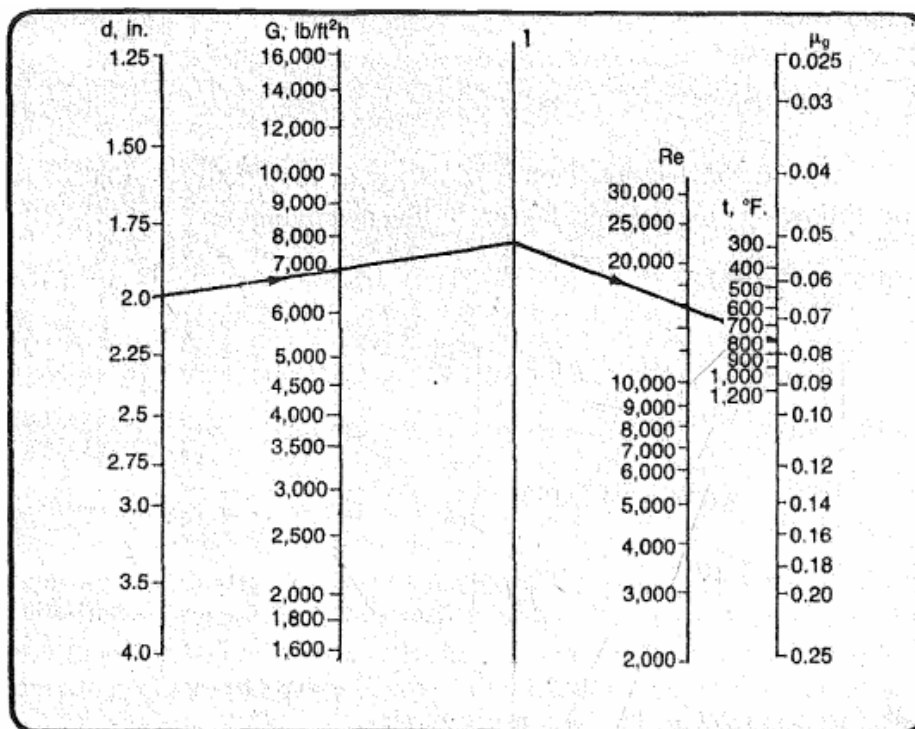


Figure 3-7. To Find Reynolds Number. [Oil and Gas Journal]

Con el número de Reynolds y St/d obtenemos f_g para los tubos con geometría escalonada.

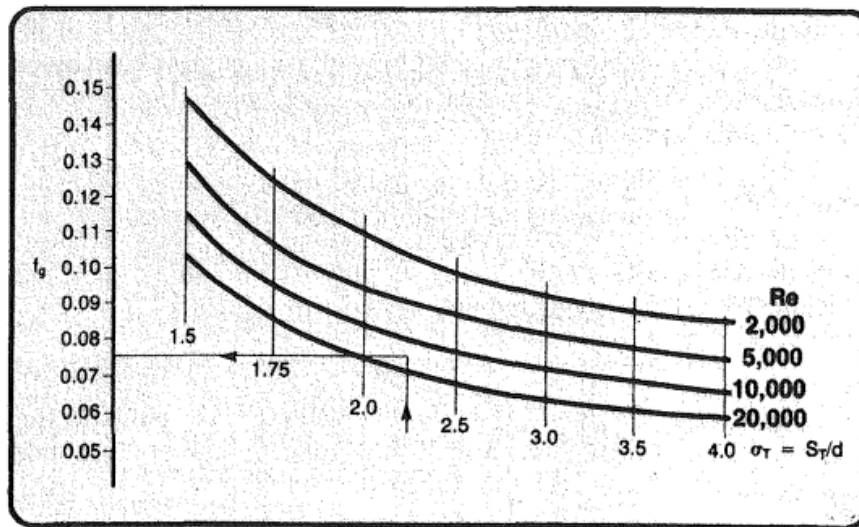


Figure 3-8. Friction Factor for Staggered Arrangement.

Cruzamos el caudal G con la temp en Fahrenheit, de ahí obtenemos la velocidad del gas (V_g).

Luego desde el cruce con 1 y la línea trazada previamente, hacemos el cruce con la pérdida de carga (f_g) y obtenemos la pérdida de presión (esta se multiplica por el número de tubos para que de en pulgadas).

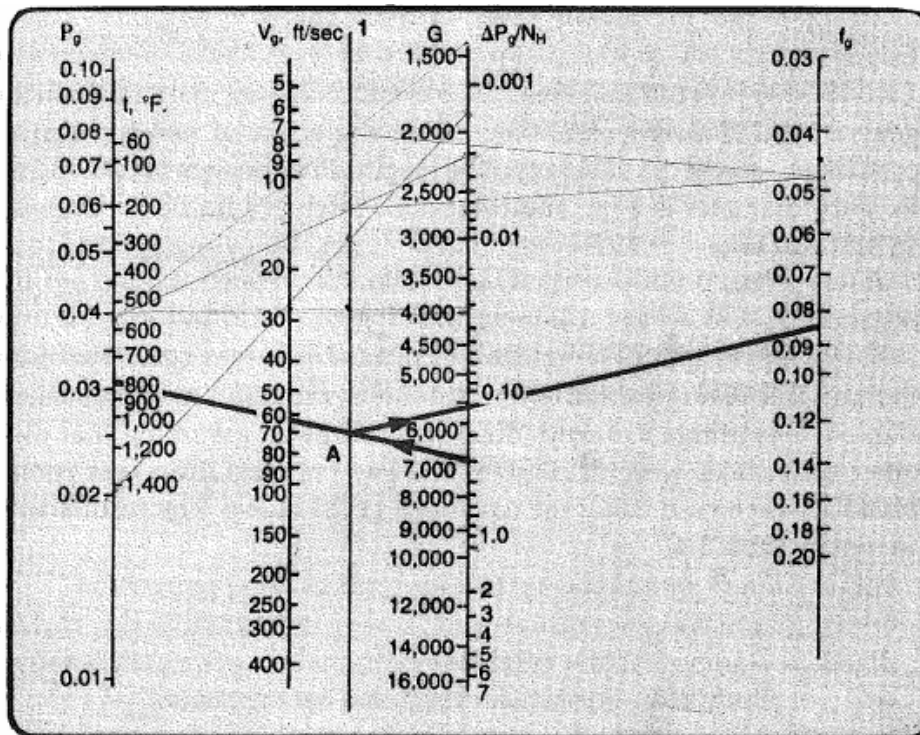


Figure 3-10. Gas Velocity, Pressure Drop.

3.4.4. Coeficiente de Transferencia de Calor para los Tubos

Con los coeficientes de transferencia del lado gas y lado agua/vapor, calcularemos el coeficiente global. Para verificar el área definitiva necesaria por intercambiador según la producción de vapor requerida.

Los coeficientes de ensuciamiento se basan en la experiencia práctica sobre distintos equipos en operación, estos salen de tablas. Estas constantes representan la disminución del coeficiente global de transmisión de calor debido a las pérdidas provocadas por los depósitos o la suciedad en los tubos.

El interior está condicionado por el tratamiento de agua adoptado, mientras que el exterior depende del tipo de combustible empleado en la turbina de gas.

La elección de la configuración de la aleta en aplicaciones de gas limpio, está determinada por varios factores, como el coeficiente de transferencia de calor del lado del tubo, el tamaño general, el costo y la caída de presión del gas, que afecta al costo operativo.

En los evaporadores o economizadores de calderas, el coeficiente del lado del tubo podría estar en el rango de 1500 a 3000 Btu/pie²hF, mientras que el coeficiente del lado del gas podría estar en el rango de 10 a 20 Btu/pie²hF.

En este caso, se justifica una gran densidad de aletas o una gran proporción de área de superficie externa a interna. A medida que disminuye la relación entre el coeficiente exterior e interior, se reduce la efectividad del uso de una gran proporción de área de superficie externa a interna.

El otro hecho importante a tener en cuenta es que más área de superficie no significa necesariamente más transferencia de energía. Es posible tener, a través de una mala elección de la configuración de la aleta, más área de superficie y transferir menos energía. Uno tiene que mirar el producto del área de superficie y el coeficiente general de transferencia de calor y no solo el área de superficie.

El coeficiente general de transferencia de calor se reduce significativamente a medida que aumentamos la superficie de la aleta o usamos más aletas/pulgadas.

$$\frac{1}{U} = \frac{A_T}{h_i * A_i} + ff_i * \frac{A_T}{A_i} + ff_0 + \frac{A_T * d}{A_w * 24 * Km} \ln \frac{d}{di} + \frac{1}{\eta * h_0}$$

El cálculo de esta ecuación implica un procedimiento elaborado y resolución de varias ecuaciones las cuales dependerán del tipo de tubo y aleta que elijamos. Esto lo desarrollaremos en la sección de los cálculos.

3.5. Determinación de los Paquetes de Tubos

3.5.1. Consideraciones para seleccionar los Tubos

Las superficies extendidas son ampliamente utilizadas en el sobrecalentador, evaporador y economizador. Esto se debe a que se requiere un área de superficie grande en estos sistemas como resultado de los bajos puntos de pellizco y aproximación y las bajas diferencias de temperatura media en las diversas superficies de calentamiento.

Las superficies extendidas hacen que el diseño HRSG sea muy compacto. Y, se pueden lograr caídas de presión de gas más bajas con tubos aletados que con tubos desnudos (Tabla 3).

Table 3. Comparison of bare vs. finned tube boilers.

	Bare Tubes	Finned Tubes
Gas Flow Rate, lb/h	150,000	150,000
Inlet Gas Temperature, °F	1,000	1,000
Exit Gas Temperature, °F	382	382
Duty, MM Btu/h	24.25	24.25
Steam Pressure, psig	150	150
Feed Water Temperature, °F	240	240
Steam Flow Rate, lb/h	24,500	24,500
Surface Area, ft ²	11,670	20,140
U, Btu/ft ² ·h·°F	12.86	7.17
Gas Pressure Drop, in. w.c.	4.5	3.15
Number of Rows Deep	124	21
Heat Flux, Btu/ft ² ·h	9,213	52,295
Tube Wall Temperature, °F	385	484

Basis: Number of tubes wide = 18; Length = 10 ft; Pitch = 4.0 in., square; Finned tubes have 4 fins/in., serrated fins, 0.75 in. high, 0.05 in. thick.

Para evaporadores y economizadores con corrientes de gas limpias, como el escape de turbinas de gas se produce principalmente con gas natural y como secundario con petróleo destilado, se recomienda utilizar densidad de aletas de 4 a 5 aletas/pulgadas. La altura de la aleta puede variar de 0,5 a 1 pulgada. El espesor de la aleta es típicamente de 0,05 a 0,075 pulgadas.

Se recomienda utilizar una baja densidad de aletas para los sobrecalentadores debido a su bajo coeficiente de transferencia de calor en el lado del tubo.

El uso de aletas, en general, aumenta las temperaturas de la pared del tubo, la punta de la aleta y el flujo de calor dentro de los tubos.

Cuando el coeficiente del lado del tubo es bajo, la caída de temperatura a través de la película del lado del tubo es naturalmente alta, lo que resulta temperaturas altas de la pared del tubo y la punta de la aleta.

Cuanto mayor sea la densidad de aleta y la proporción del área de superficie del tubo externo a interno, menor será el coeficiente de transferencia de calor del lado del gas y, por lo tanto, menor será el coeficiente general de transferencia de calor.

Utilizaremos los materiales tabulados en la norma ASME 1.

Material, ASME Specification	Maximum Allowable Temperature, °F
SA-192	950
SA-210 gr A1	950
SA-210 gr C	850
SA-178 gr A	900
SA-178 gr C	950
SA-209 gr T1a	975
SA-213 gr T2	1,025
SA-213 gr T11	1,050
SA-213 gr T22	1,125
SA-213 gr T9	1,200
SA-213 gr TP 304 H	1,400
SA-213 gr TP 321 H	1,400

Los tubos aleteados tienen las siguientes ventajas sobre los tubos lisos:

- Se obtiene una caldera más compacta.
- Se genera menor pérdida de carga del lado gas. Logrando una mejor transferencia de calor, por ende, menor cantidad de tubos. En consecuencia, un menor peso y costo.

Para hallar el diámetro adecuado de tubos, minimizando la pérdida de carga a lo largo del lado gas, se tiene en cuenta:

- Velocidad de diseño del agua ≤ 3 m/s
- Velocidad de los gases: 20 m/s
- Velocidad del vapor ≤ 65 m/s

Esta diferencia de velocidades asegurará la correcta circulación natural entre los circuitos de la caldera, de manera que no se supere nunca la proporción máxima de vapor el evaporador.

El espesor mínimo necesario para los tubos se verifica según la siguiente expresión de la normativa ASME I:

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C$$

C: Margen mínimo para roscado y estabilidad estructural (ver PG – 27.4.3)

D: Diámetro exterior del cilindro (ver PG – 27.4.1)

E: Eficiencia de la junta (ver PG – 27.4.1)

S: Presión máxima admisible a la temperatura del diseño del metal, especificado en las tablas PG 23 (ver PG – 27.4.2)

t: Espesor mínimo requerido (ver PG – 27.4.7)

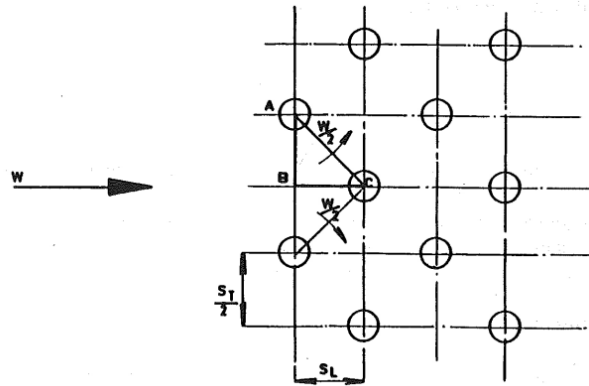
y: Coeficiente de temperatura (ver PG – 27.4.6)

P: Máxima presión admisible de trabajo (ver PG – 21)

Es muy importante que todos los tubos de un paquete tengan las mismas características geométricas externas para no crear desequilibrios o pérdidas de carga. Favoreciendo al paso del gas, sin provocar distribuciones de calor diferentes los tubos, generando una absorción del calor homogénea.

3.5.2. Configuración de los Tubos

Disposición escalonada

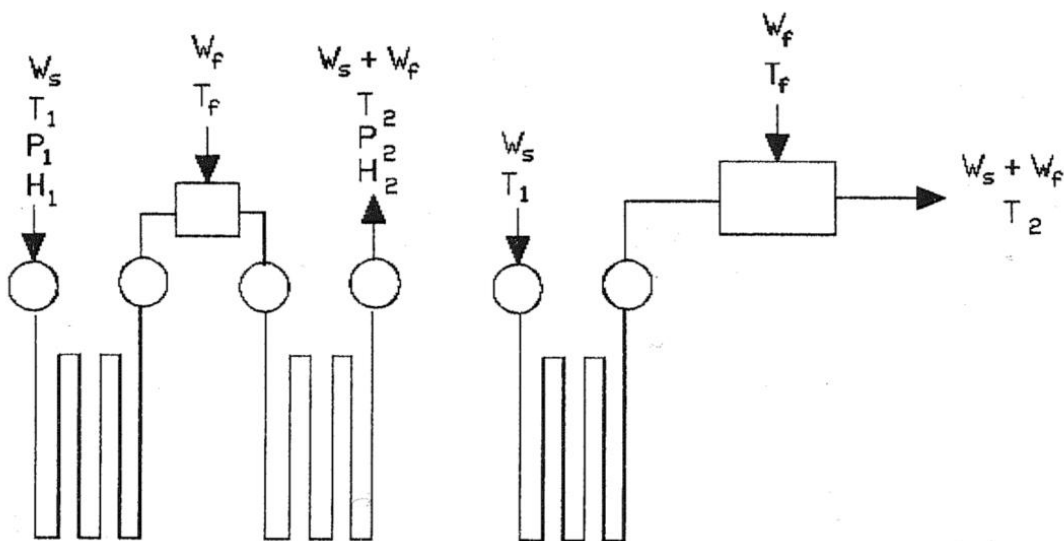


Para el uso de tubos aleteados la mejor disposición es la escalonada como se muestra en la figura, ya que se maximiza el coeficiente de transmisión de calor por la superficie de intercambio. La pérdida de carga del gas se mantiene, ya que se necesitan menos cantidades de tubos para obtener igual transferencia de calor debido a que el área es mayor. La velocidad de gas depende de la sección de paso escogida que, a su vez, ésta depende del paso longitudinal (SL) y el transversal (ST).

3.6. Determinación del agua en spray para los Atemperadores

En las plantas de vapor, el vapor a menudo se sobrecalienta en atemperadores de tipo de pulverización para controlar las condiciones finales de vapor.

Estos permiten el enfriamiento del vapor recalentado mediante la inyección de dicha agua logrando una temperatura de salida unos grados por encima de las condiciones de saturación.



En la imagen se puede ver la disposición de atemperadores para el control de la temperatura del vapor: a) entre etapas b) a la salida del sobre-calentador

Nuestra disposición la seleccionaremos según los resultados de los cálculos termodinámicos y la cantidad de etapas que adoptemos

La ecuación para el balance de energía alrededor de un atemperador es:

$$W_s * H_1 + W_f * H_f = (W_s + W_f) * H_2$$

De la ecuación anterior, uno puede resolver la entalpía de vapor final (H2) y la temperatura del vapor. Dado Wf o obteniendo por Wf y dada la temperatura final de vapor, se puede determinar la entalpía.

Ws: Es el caudal a la entrada

Wf: Es el caudal a la entrada del atemperador

H1: Entalpía a la entrada

H2: Entalpía a la salida

Hf: Entalpía a la entrada del atemperador

Metodología para evaluar el rendimiento

3.7. Cálculo del Rendimiento

El procedimiento se desarrolla para una presión (luego se desarrollará para las 3 presiones de nuestra HRSG)

Se conoce el flujo de gas, la temperatura de entrada de gas y el análisis de la presión de vapor y la temperatura del agua de alimentación. Se estima que estos cálculos de diseño, son la base para establecer un diseño inicial, teniendo estos resultados posibles junto con los factores K1, K2, K3.

1. Asumir el flujo de vapor. Se obtiene una buena estimación utilizando una relación entre el "rendimiento", la caída de temperatura y el flujo de gas de "diseño".
2. Calcular el rendimiento del sobre-calentador, se trata de un proceso iterativo. Si el calor transferido y el supuesto no son iguales, se repite con otra temperatura de vapor hasta que coincidan.

Se realiza utilizando las siguientes ecuaciones:

Suponiendo que el flujo de vapor = W_g . Se obtiene el balance de energía:

$$Q_{1a} = W_s(h_{s2} - h_{s1}) = W_g(C_p)(h_{lf})(T_{g1}T_{g2})$$

Donde t_{s2} es la temperatura de salida del vapor y h_{s2} la entalpía.

Se calcula de lo anterior la temperatura del gas de salida T_{g2}

El calor transferido entonces es:

$$Q_{1t} = (US)p \Delta T$$

Donde ΔT es la diferencia media logarítmica

$$\Delta T = \frac{(T_{g1} - t_{s2}) - (T_{g2} - t_{s1})}{\ln\left(\frac{(T_{g1} - t_{s2})}{(T_{g2} - t_{s1})}\right)}$$

Asumiendo la configuración de contraflujo, que es ampliamente utilizada $(US)p$ es el producto de S (área des superficie) y U (Coeficiente global de transferencial de calor) en modo rendimiento y se obtiene el valor en el caso de diseño mediante el ajuste de la siguiente para las propiedades del flujo de gas.

$$(US)p = W_g^{0,65} F_g K_1 \left(\frac{W_s}{W_{sd}} \right)^{0,15}$$

K_1 se obtiene con $Q_1, \Delta T, W_g$ y F_g en caso de diseño:

$$K_1 = Q_1 / (\Delta T (W_g^{0,65}) (F_g))$$

$$F_g = (C_p^{0,33} k^{0,67} / \mu^{0,32})$$

Si para la temperatura de vapor supuesta Q_{1a} y Q_{1t} no se encuentran cera (dentro del 0,5%) entonces se debe realizar otra iteración. Todos los pasos anteriores se repiten hasata que Q_{1a} y Q_{1t} coincidan.

3. Calcular el rendimiento del evaporador, se obtiene el calor transferido y la temperatura del gas de salida.

Se realiza utilizando las siguientes ecuaciones:

Desde el balance de energía se obtiene:

$$Q_2 = W_g (C_p) (hlf) (T_{g2} - T_{g3}) = (US)p \Delta T$$

Donde ΔT es la diferencia media logaritmica

$$\Delta T = \frac{(T_{g2} - t_s) - (T_{g3} - t_s)}{\ln \left(\frac{(T_{g2} - t_s)}{(T_{g3} - t_s)} \right)} = \frac{(T_{g2} - T_{g3})}{\ln \left(\frac{(T_{g2} - t_s)}{(T_{g3} - t_s)} \right)}$$

Desde las anteriores ecuaciones se tiene:

$$\frac{(T_{g2} - t_s)}{(T_{g3} - t_s)} = e^{[(US)p / (W_g C_p hlf)]}$$

Donde $(US)p = W_g^{0,65} F_g K_2$

K_2 se calcula a partir de la siguiente ecuación para las condiciones de diseño.

$$K_2 = Q_1 / (\Delta T (W_g^{0,65}) (F_g))$$

F_g se calcula para las condiciones de rendimiento

T_{g3} se calcula a partir de la siguiente ecuación

$$\frac{(T_{g2} - t_s)}{(T_{g3} - t_s)} = e^{[(US)p / (W_g C_p hlf)]}$$

Q_2 se calcula a partir de la siguiente ecuación

$$Q_2 = W_g (C_p) (hlf) (T_{g2} - T_{g3}) = (US)p \Delta T$$

4. Calcular el rendimiento del economizador, se trata de un proceso iterativo. Se calcula el calor total transferido.

Se realiza utilizando las siguientes ecuaciones:

Suponiendo que tw_2 , la temperatura de salida del agua. Luego:

$$Q_{3a} = W_s(hw_2 - hw_1)(1 + bd) = W_g(C_p)(hlf)(T_{g3} - T_{g4})$$

Se obtiene T_{g4} y luego ΔT , suponiendo condiciones de contraflujo

$$\Delta T = \frac{(T_{g4} - t_{w1}) - (T_{g3} - t_{w2})}{\ln\left(\frac{(T_{g4} - t_{w1})}{(T_{g3} - t_{w2})}\right)}$$

Calor transferido:

$$Q_{3t} = (US)p \Delta T$$

Donde $(US)p = W_g^{0,65} K_3$

K_3 se obtiene con la siguiente ecuación para las condiciones de diseño.

$$K_3 = Q_1 / (\Delta T (W_g^{0,65}) (F_g))$$

$$F_g = (C_p^{0,33} k^{0,67} / \mu^{0,32})$$

Si Q_{3a} y Q_{3t} no se encuentran cerca (dentro del 0,5%) entonces se repiten los pasos anteriores cambiando tw_2 , la temperatura de salida del agua.

El flujo de vapor es luego corregido de la siguiente manera:

$$W_{sc} = (Q_{1t} + Q_{2t} + Q_{3t}) / [h_{s2} - h_{w1}] + bd(hf - h_{w1})$$

Si W_{sc} no está cerca del flujo supuesto, W_s se vuelve a calcular todo desde el sobrecalentador.

La caída de presión de gas es corregida por las condiciones de rendimiento:

$$\Delta P = (\Delta P)_d (W_{gd} / W_{gd})^2 [(T_{avg} + 460) / (T_{avgd} + 460)]$$

5. El flujo de vapor se corrige en función del total transferido, aumento del calor y la entalpía, según la ecuación desarrollada anteriormente. Si el flujo no está cerca del flujo de vapor supuesto en el primer paso se deben repetir el desarrollo desde el primer paso.
6. Si la temperatura del vapor final es mayor que la deseada, el flujo de vapor se corrige para la temperatura de vapor deseada.
7. Si el flujo de vapor deseado es cero o menor que el flujo corregido, continuamos con el paso 11.
8. Si el flujo de vapor deseado es mayor que el flujo corregido. Se calcula la entrada de combustibles requerida para elevar la temperatura del gas al nivel requerido para lograr el flujo de vapor deseado. Esto nuevamente implica varias iteraciones, y para cada temperatura, todos los pasos del 1 al 8 deben repetirse hasta que coincidan.
9. Si la temperatura final del vapor es más alta de lo deseado, calcule la cantidad de rociado entre etapas con un sobrecalentador dividido.
10. Se realiza otra ronda de ajuste fino para verificar los perfiles de temperatura y el flujo de vapor.
11. Se puede ver fácilmente que hay muchos cálculos iterativos involucrados. Para cada ronda, las propiedades de gas y vapor deben calcularse en función del análisis de gas y la temperatura. Si hay humedad en el economizador, el economizador se divide en dos etapas, un evaporador pequeño y un economizador y los cálculos son hechos para evaluar la extensión del vapor.

Nomenclatura de las ecuaciones:

Q_1 : Calor sobrecalentador

Q_{1t} : Calor transferido del sobrecalentador

Q_{1a} : Balance de energía

Q_2 : Calor evaporador

Q_{2t} : Calor transferido de evaporador

Q_3 : Calor economizador

Q_{3a} : Balance de energía

Q_{3t} : Calor transferido de economizador

h_{s2} : Entalpía

h_{s1} : Entalpía

h_l : Pérdida de calor

h_f : Entalpía del liquido saturado

hw_2 : Entalpía de entrada del agua al economizador

hw_1 : Entalpía de salida del agua al economizador

t_s : Temperatura de saturación

t_{s1} : Temperatura de entrada del vapor del sobrecalentador

t_{s2} : Temperatura de salida del vapor del sobrecalentador

T_{g1} : Temperatura del gas entrada a la caldera

T_{g2} : Temperatura de salida del gas del sobrecalentador

T_{g3} : Temperatura de salida del gas del evaporador

T_{g4} : Temperatura de salida del gas del economizador

ΔT : Diferencia media logarítmica de temperaturas

t_{w1} : Temperatura de entrada al economizador del agua de alimentación

tw_2 : Temperatura de salida al economizador del agua de alimentación

U : Coeficiente global de transferencia de calor

S : área de superficie de transferencia

W_g : Flujo de gas

W_s : Flujo de vapor

W_{sd} : Flujo de vapor de diseño

W_{sc} : Flujo de vapor corregido

W_{gd} : Flujo de gas de diseño

K_1 : Factor definido para las condiciones de diseño (Se calcula)

K_2 : Factor definido para las condiciones de diseño (Se calcula)

K_3 : Factor definido para las condiciones de diseño (Se calcula)

F_g : Factor definido para las condiciones de diseño (Se calcula)

C_p : Calor específico del gas

k : Constante del gas

μ : densidad del gas

bd : Purga (Blowdown, fraction)

ΔP : Caída de presión de gas

3.7.1. Conclusiones en relación al procedimiento anterior

- En un HRSG con un economizador, el punto de pellizco y de aproximación disminuyen con una disminución en la temperatura del gas de entrada y viceversa; para una turbina de gas HRSG, esto significa que como ambiente la temperatura disminuye los puntos de pellizco y de aproximación. La razón es que la capacidad de transferencia de energía del economizador no se ha reducido (es decir, $U \cdot S$), ya que es una función del área de superficie y coeficiente de transferencia de calor general, que tiende a aumentar debido al mayor flujo de masa.
Con un flujo de vapor reducido, debido al trabajo del evaporador, el economizador ahora puede acercar el agua a temperatura de saturación que antes. De ahí la precaución de que al vapor es probable en condiciones de escape de turbina de gas ambiente sin fuego frío.
- El otro punto a tener en cuenta es que, debido al menor flujo de agua, la temperatura del gas de salida del economizador será mayor. Por lo tanto, la eficiencia HRSG se ve afectada. A medida que aumenta la temperatura del gas de entrada, se genera más vapor y se reduce la temperatura de la chimenea.
- El calor del sobrecalentador es más alto en comparación con la situación en la que el vapor es simplemente elevado de saturación a $650 \text{ }^\circ \text{F}$ debido a la pulverización de inyección de agua para control de temperatura. De ahí la sugerencia de que los perfiles de temperatura deben seleccionarse en el modo sin fuego y el rendimiento verificado en el modo disparado.

3.8. Cálculo Mecánico de partes Sometidas a Presión

El diseño mecánico de las partes a presión de la caldera, como sucede con los tubos, se realiza según norma ASME sección I. Se trata de una verificación que debe hacerse luego del dimensionamiento térmico de la caldera y que indicará si los parámetros estructurales de las partes a presión de la caldera son capaces de soportar adecuadamente las condiciones de operación de la caldera durante la vida útil de la misma.

Aunque el cálculo de la resistencia mecánica de las partes a presión externas a la caldera (cañerías, válvulas, etc.) se considera excluido fuera del alcance del presente proyecto, es importante indicar que deberá cumplir con la normativa ASME B31.1.

Los parámetros de diseño considerados (presión, temperatura y materiales de partes sometidas a presión) deben tener en cuenta las condiciones más restrictivas en cuanto a presión y temperatura en la caldera. La temperatura de diseño considerada para cada paquete de tubos debe ser tal que soporte las mayores temperaturas de metal de los tubos, de acuerdo a ASME I. Las presiones de diseño dependerán de los requisitos de producción de vapor. Las condiciones de temperatura en el lado gas y en el lado agua/vapor no varían sustancialmente de una a otra alternativa, por lo que el diseño mecánico de colectores y domos será válido para ambas. La presión de diseño considerada para las verificaciones que se deben llevar a cabo según ASME I, deben ser al menos el 110% de las presiones del lado fluido alcanzadas en cada paquete.

3.8.1. Domos de alta, media y baja presión

Las expresiones aplicables serán las mismas en ambos casos, sólo difieren en los parámetros de entrada (presión y temperatura fundamentalmente). Los resultados del dimensionamiento mecánico de los domos de alta, media y baja presión los indicaremos más adelante en la memoria de cálculo.

3.8.1.1. Cuerpo

Se calcula según ASME I (ver PG-27.2.2):

$$P = \frac{S * E * t}{R + (1 - y) * t}$$
$$P > P_d$$

P : Presión de trabajo máxima admisible [psi]

P_d : Presión de diseño [psi]

t : Espesor mínimo, descontando 0,118 in (3mm) por corrosión [in]

R : Radio interior [in]

S : Tensión admisible a la temperatura de diseño, según ASME I, PG-23 [psi]

E : Eficiencia, según ASME I, PG - 52

y : Coeficiente de temperatura, según ASME I, PG-27.4

3.8.1.2. Fondos o Casquetes

Son las tapas que completan el cuerpo cilíndrico del domo, una a cada extremo.

Normalmente se fabrican en forma semiesférica. Cada uno incluye una puerta de acceso al interior del mismo, para labores de mantenimiento durante las paradas de la caldera.

Se calculan según ASME I, PG-29.11, considerando la expresión que tiene en cuenta la compensación para pasos de hombre en estos fondos, agrandando el espesor mínimo requerido:

$$P = \frac{S * t}{R + 0,2 * t}$$
$$P > P_d$$

P : Presión de trabajo máxima admisible [psi]

P_d : Presión de diseño [psi]

t : Espesor mínimo real, descontada 0,1 in por corrosión [in]

R : Radio interior [in]

S : Tensión admisible a la temperatura de diseño, según ASME I, PG-23 [psi]

3.8.2. Colectores

Las entradas a cada paquete de tubos están definidas por colectores, que son tuberías (de mayor sección que los tubos) en las que el fluido se expande, repartiéndose de manera equitativa entre los tubos.

Al igual que los cuerpos de los domos, se calcula según ASME I, PG-27.2.2:

$$P = \frac{S * E * t}{R + (1 - y) * t}$$
$$P > P_d$$

P : Presión de trabajo máxima admisible [psi]

P_d : Presión de diseño [psi]

t : Espesor mínimo [in]

R : Radio interior [in]

S : Tensión admisible a la temperatura de diseño, según ASME I, PG-23 [psi]

E : Eficiencia, según ASME I, PG-52

y : Coeficiente de temperatura, según ASME I, PG-27.4

4. CONCLUSIONES

Se adoptarán los parámetros de la caldera del ciclo combinado desarrollado para realizar los cálculos del diseño.

Se decidió utilizar la caldera del tipo horizontal con disposición de los paquetes de tubos verticales, ya que en este tipo gas a la salida de la turbina sigue una trayectoria horizontal a través de los distintos pasos de calentamiento del agua (vaporización, sobrecalentamiento y recalentamiento) hasta su conducción a la chimenea de evacuación.

Sabiendo que los cálculos de la estructura y transferencia de calor se realizan con la condición de régimen, decidimos obviar los cálculos de los calentadores suplementarios, es decir utilizaremos el estilo UNFIRED, ya que solo se utilizan para el encendido de la caldera de recuperación, cuando se produce una baja del régimen de los humos de entrada o cuando la TG está apagada.

BIBLIOGRAFÍA

Procesos de Transferencia de Calor 31a Ed. by D.Q.Kern – CECSA (1999)

“Wase Heat Boiler Deskbook” (Extracción de capítulo 3 y 4)

Exploitation problems and diagnostic of heat recovery steam boiler OU-192 (Paper)

Heat-Recovery Steam Generators: Understand the Basics (Paper)

Combustion fossil power - a reference book on fuel burning and steam generator

ASME BPVC I -2019

Libro: *Design manual for Heat Recovery Steam Generators*

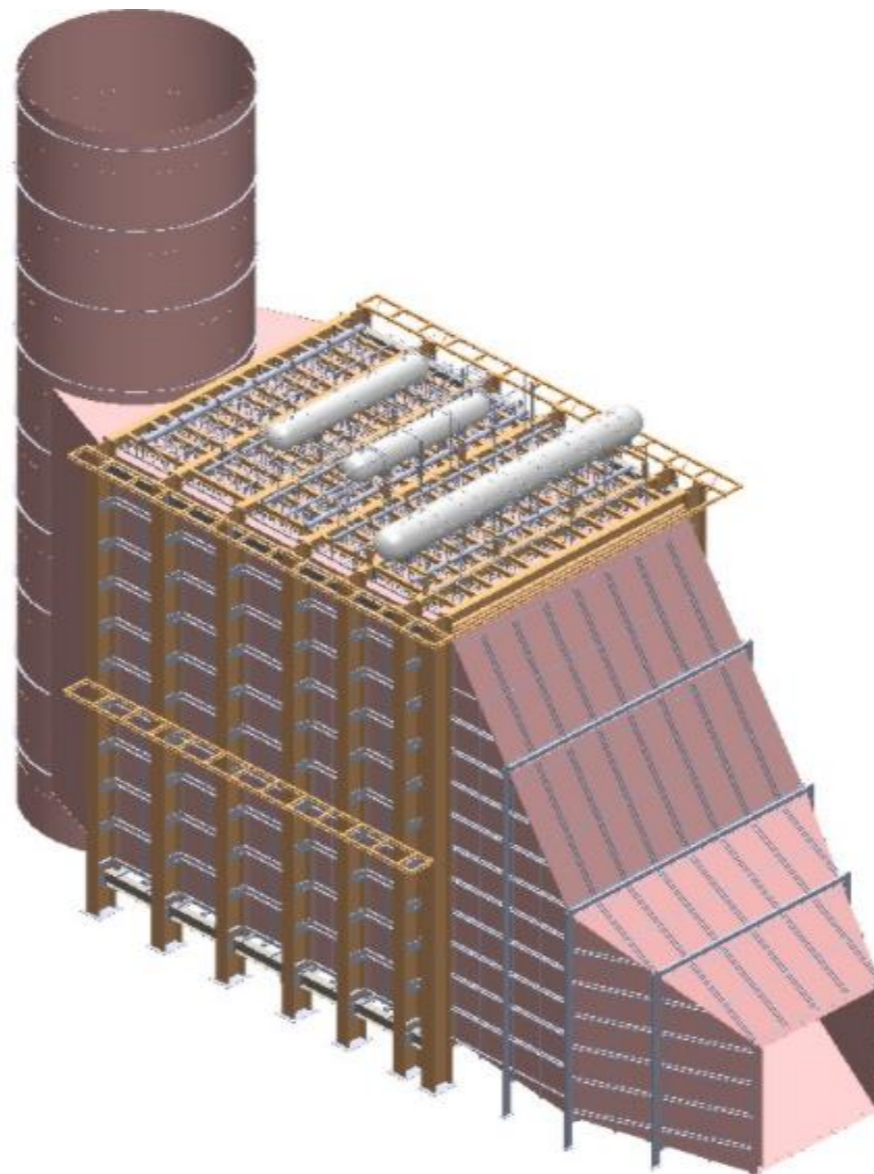
U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	1

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

MEMORIA DE CÁLCULO

PROYECTO DE MÁQUINA ÚNICA

Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones



U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	1

Caldera de Recuperación de ciclo combinado de tres presiones

Indice

Nro HOJA

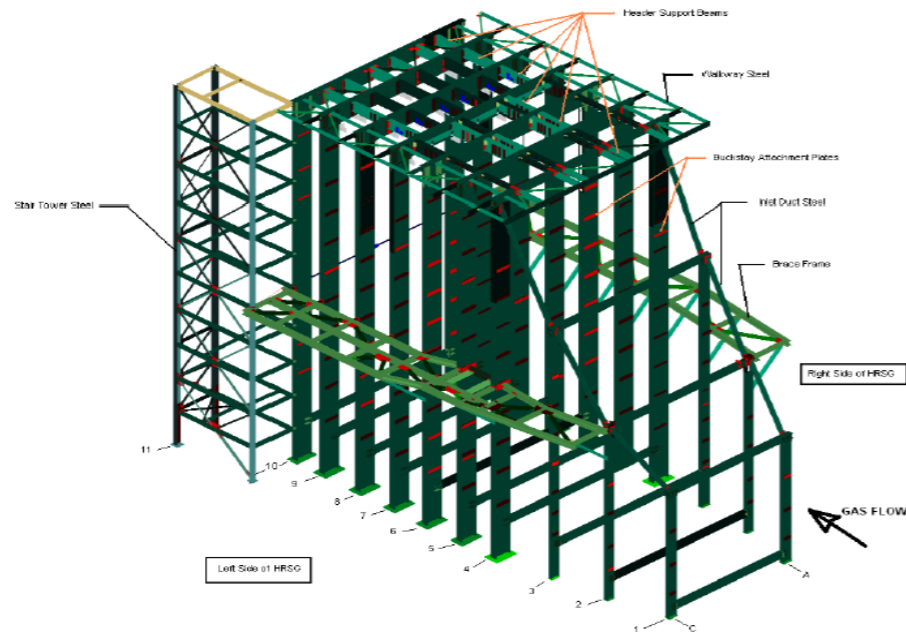
2	Datos Iniciales
3	Diagrama T-S en TermoGraf
4	Distribución del caudal en el circuito
5	Materiales
6 a 7	Calor requerido
8	Intercambio de Calor. Definición
9	Cálculo del Número de Reynolds
10	Superficie de Calefacción
11	Diferencia de Temperatura Media Logaritmica
12	Propiedades de los gases de escape de la TG (humos)
13	Coficiente de Transferencia del Equipo (U)
14	Intercambio de calor. Cálculo final (Q)
15	Masa / Velocidades del fluido
16	Selección del tubo aletado
17	Distribución de los tubos aletados
18	Domos. Cuerpo
19	Domos. Espesor
20	Domos. Silleta
21 a 24	Domos. Oreja de Izaje
25	Domos. Demister
26	Domos. Control de nivel
27	Aislación General. Parámetros
28	Aislación General. Cálculo calor transferido
29 a 30	Dimensionamiento / Verificación de la chimenea
31	Dimensionamiento Colectores / Caños de unión. General
32	Circulación del fluido en cada componente
33	Dimensionamiento colector secundario
34	Dimensionamiento caño de unión entre colector secundario y principal
35	Dimensionamiento colector principal
36	Dimensionamiento caño de unión entre colector principal y domo
37	Cálculo de los pesos de los componentes
38 a 39	Dimensionamiento Viga Longitudinal
40 a 41	Dimensionamiento Viga Transversal
42 a 44	Dimensionamiento Columna
45 a 46	Dimensionamiento del soporte de los componentes
47 a 52	Simulación / análisis de la estructura en STAAD Pro
53	Simulación en SOLIDWORKS - Software de diseño CAD 3D

Referencias

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
	TITULO		HOJA	2

Caldera de Recuperación de ciclo combinado de tres presiones

Tipo de caldera: Horizontal
 Disposición de los tubos aletados: Vertical

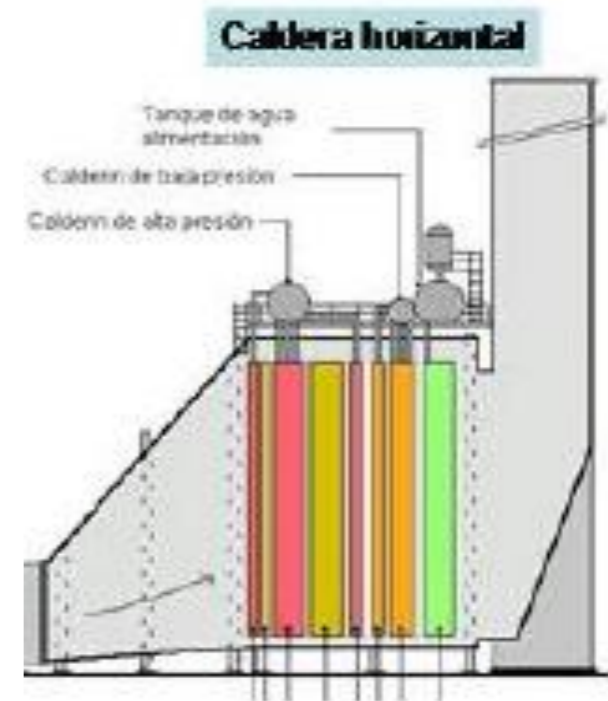


Medidas constructivas*		
Longitud horizontal del cuerpo	14250	mm
Altura de tubos aletados dentro del cuerpo	23000	mm
Ancho del cuerpo	16250	mm

*Estas medidas fueron tentativas para el predimensionamiento del cuerpo de la caldera

1- Propiedades de los humos a la salida de la Turbina de Gas (TG)

Composición Gas natural			Composición Fuel Oil		
CO2	5,82	%	CO2	8,40	%
N2	73,48	%	N2	71,21	%
H2O	5,22	%	H2O	6,03	%
O2	14,26	%	O2	13,15	%
Ar	1,23	%	Ar	1,19	%
			SO2	0,01	%
Temperatura [°C]	581,3		Temperatura [°C]	569	
Pérdida de Calor [MJ/seg]	0,49		Pérdida de Calor [MJ/seg]	0,42	
Presión [Bar]	1,046				
Caudal [kg/seg]	690,942				



2- Sistema de control de temperatura del vapor: rociado de agua de alimentación para vapor de alta presión y recalentador

3- Temperatura de agua de alimentación

HP entrada Economizador	136°C	LP entrada Economizador	138°C
IP entrada Economizador	137°C	entrada Precaentador	33,1°C
Temperatura ambiente	15°C	Humedad relativa	60%

4- Potencia requerida para la Turbina de Vapor

Fabricante ABB			
POTENCIA BRUTA [MW]	:	288,3	Etapas : 3 Alta-Media-Baja (doble flujo)
POTENCIA NOMINAL NETA [MW]	:	288	Pérdidas de Calor [MJ/seg] : 0,49

Referencias

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	3

5- Propiedades del Vapor Generado (Dentro de la Caldera de Recuperación)

	Flujo máscio [kg/seg]	Presión [Bar]	Temperatura [°C]
High pressure (HP)	82,378	116,500	495,000
Intermediate pressure (IP)	91,096	27,200	495,000
Low pressure (LP)	8,463	4,700	149,490

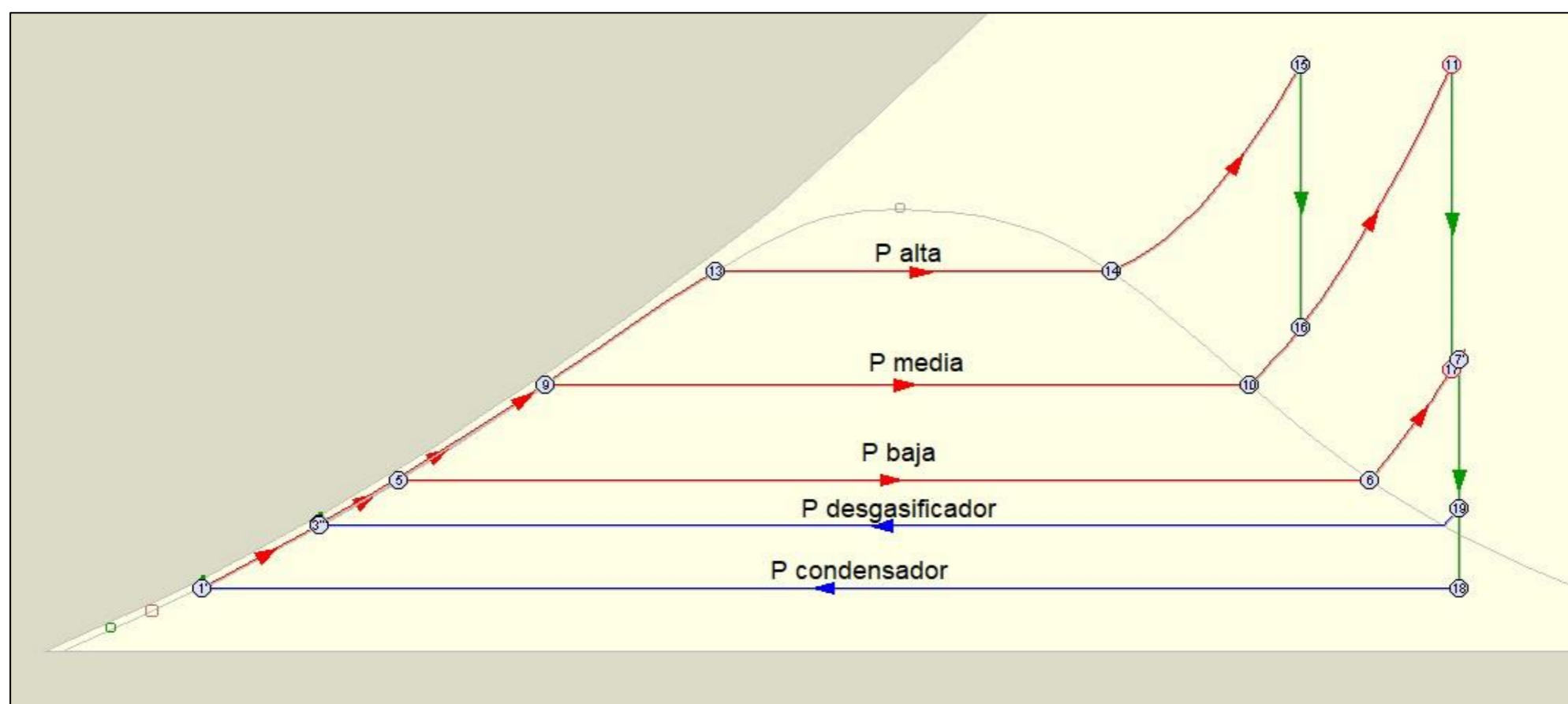
Presión de aprox. de funcionamiento

Desarrollo del diagrama T-S

Se utilizó el software TermoGraf para la simulación termodinámica. Se calcularon las propiedades termodinámicas dibujando los estados, procesos y ciclos directamente sobre el diagrama termodinámico (campana de Gaus).

Se importó la siguiente tabla, llamada panel de propiedades termodinámicas con las propiedades calculadas de estado (Presión, temperatura, entalpía, entropía, energía interna, título)

N°	Presión [Bar]	Temperatura [°C]	Entalpía [KJ/Kg]	Entropía [KJ/Kg°C]	Energía interna [KJ/Kg]	Título
1	0,196	59,600	250,180	0,823	250,160	0
2	1,500	59,600	250,312	0,823	250,160	-
3	1,500	111,320	467,179	1,435	467,337	0
4	4,700	111,350	467,674	1,435	467,179	-
5	4,700	149,490	629,785	1,836	629,272	0
6	4,700	149,490	2744,930	6,841	25,582	1
7	4,700	250,000	2960,880	7,300	2723,440	-
8	27,200	111,560	470,042	1,435	467,179	-
9	27,200	228,482	983,545	2,597	980,266	0
10	27,200	228,482	2802,800	6,224	2602,790	1
11	27,200	495,000	3447,560	7,267	3100,680	-
12	116,500	112,400	479,415	1,435	467,180	-
13	116,500	322,450	1477,300	3,474	1459,660	0
14	116,500	322,456	2690,960	5,512	2518,240	1
15	116,500	495,000	3338,380	6,487	3018,740	-
16	27,200	276,172	2940,640	6,487	2709,080	-
17	4,700	241,642	2943,540	7,267	2710,160	-
18	0,196	59,590	2403,680	7,300	2264,300	0,9
19	1,500	126,085	2723,090	7,300	2541,930	-

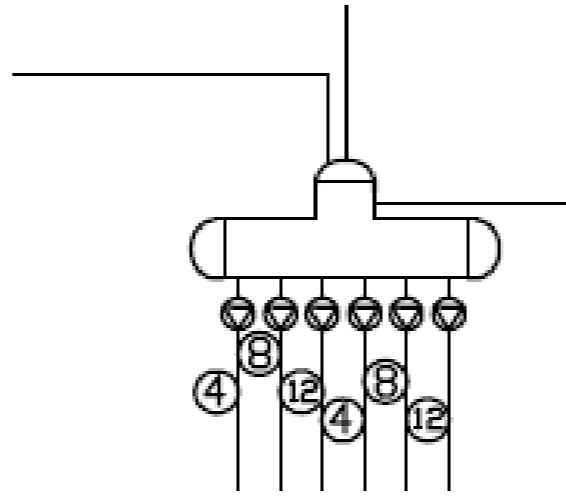


U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
	TITULO		HOJA	4

Análisis de los caudales en el circuito

Precaentador (HRSG 2)

Precaentador (HRSG 1)



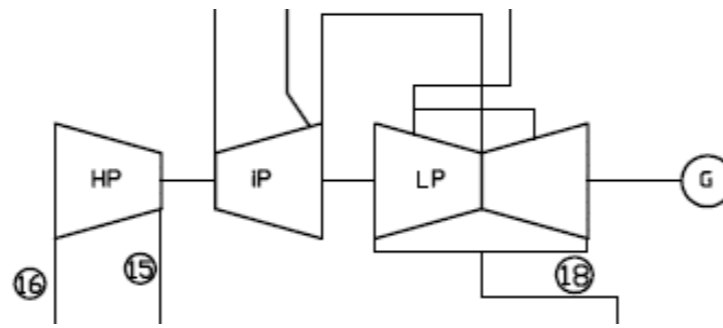
Precaentador

Velocidad del fluido [m/seg] : 0,6 a 1,8
 Temperatura mínima [°C] : 85

Masa del condensador

Temperatura [°C] : 45°C

Temperatura [°C] : 103 a 105



Vapor de Calefacción (TV)

Fluido dentro de la caldera de recuperación

	Flujo másico [kg/seg]	Presión [Bar]	Temperatura [°C]
High pressure (HP)	82,378	116,5	495
Intermediate pressure (IP)	91,096	27,2	495
Low pressure (LP)	8,463	4,7	149

DIFERENCIA CON HUMOS (TG) 15%

HUMOS (TG)

Temperatura [°C]	581,3
Presión [Bar]	1,0
Caudal [kg/seg]	691.356

Caudal de vapor de calefacción	0,3 kg/seg	105°C
--------------------------------	------------	-------

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021	
			GRUPO		
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones		REV	A
	TITULO			HOJA	5

Materiales

Domo

Chapas

	HP	IP	LP
Chapas	SA299 Gr.A	SA515 Gr.65	SA515 Gr.65

Tubos según material A

Tubos

Sección	Colector Secundario	Unión entre colector secundario a colector principal	Colector Principal	Unión entre colector a domo
	Material	Material	Material	Material
Precalentador	SA178 Gr.A	SA192	SA192	SA192
Bloque de Baja Presión				
Economizador	SA178 Gr.A	N/A	N/A	SA192
Evaporador	SA178 Gr.A	SA192	SA192	SA192
Sobrecalentador	SA106 Gr.A	N/A	N/A	SA192
Bloque de Media Presión				
Economizador				
1ra presión	SA192	SA192	SA192	SA192
2da presión	SA192	SA192	SA192	SA192
Evaporador	SA192	SA192	SA192	SA192
Sobrecalentador	SA192	SA192	SA192	SA192
Bloque de Alta Presión				
Economizador				
1ra presión	SA178 Gr.A	SA192	SA192	SA192
2da presión	SA192	SA192	SA192	SA192
3ra presión	SA192	SA213 T22	SA213 T22	SA213 T22
Evaporador	SA213 T22	SA192	SA192	SA192
Sobrecalentador				
1ra presión	SA213 T22	SA213 T12	SA213 T12	SA213 T12
2da presión	SA213 T22	N/A	N/A	SA213 T12
Recalentador				
1er presión	SA213 T22	N/A	N/A	SA213 T12
2da presión	SA213 T22	N/A	N/A	SA213 T22

Material	Tipo	código ASME
SA192	Tubo de acero al carbono sin costura	página 237
SA213 T12	Tubo de acero aleado austenítico y ferrítico sin costura	página 285
SA213 T22	Tubo de acero aleado austenítico y ferrítico sin costura	página 285
SA178 Gr.A	Tubos de acero al carbono sin costura	página 205
SA106 Gr.A	Tubos de acero al carbono sin costura	página 177

Tubos aletados con aleta de aluminio

Tubos aletados	ASTM A192
----------------	-----------

Estructura General

Perfiles	IRAM IAS U500-503 F26
Chapas para vigas	IRAM IAS U500-42 F26

REFERENCIAS

- <http://www.cn-steelplate.com/S-A299-Grade-B-A.html>
- ASTM A515 gr.65 acero placa, ASTM A515 gr.65 acero el precio de acero - BEBON INTERNATIONAL (bebonchina.com)
- <https://www.neelconsteel.com>
- <https://www.fermetsac.com/wp-content/uploads/2016/08/Tubos-ASTM-CALDERO-A178.pdf>
- <https://www.acero-tubo.com/astm-a106-gr-b-gr-c-acero-carbono-tubos-sin-costura-proveedores-exportadores.html>
- <https://www.acero-tubo.com/astm-a213-asme-sa213-t22-aleacion-acero-sincostura-tubos-proveedores-exportadores.html>
- <https://www.tubos-acero-aleacion.com/tubo-sin-soldadura-de-acero-de-aleacion-t12.html>

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	6

Calor requerido

Planteamos el Primer Principio de termodinámica:

$$Q = m \times Cp \times \Delta T$$

N°	Presión [Bar]	Temperatura [°C]	Entalpia [KJ/Kg]	Entropia [KJ/Kg°C]	Energia interna [KJ/Kg]	Cp [KJ/kg °C]	Título
1	0,196	59,600	250,180	0,823	250,160	4,187	0
2	1,500	59,600	250,312	0,823	250,160	4,187	-
3	1,500	111,320	467,179	1,435	467,337	4,240	0
4	4,700	111,350	467,674	1,435	467,179	4,240	-
5	4,700	149,490	629,785	1,836	629,272	2,314	0
6	4,700	149,490	2744,930	6,841	25,582	2,314	1
7	4,700	250,000	2960,880	7,300	2723,440	3,950	-
8	27,200	111,560	470,042	1,435	467,179	4,240	-
9	27,200	228,482	983,545	2,597	980,266	4,610	0
10	27,200	228,482	2802,800	6,224	2602,790	4,610	1
11	27,200	495,000	3447,560	7,267	3100,680	14,601	-
12	116,500	112,400	479,415	1,435	467,180	2,100	-
13	116,500	322,450	1477,300	3,474	1459,660	7,900	0
14	116,500	322,456	2690,960	5,512	2518,240	7,900	1
15	116,500	495,000	3338,380	6,487	3018,740	14,601	-
16	27,200	276,172	2940,640	6,487	2709,080	4,860	-
17	4,700	241,642	2943,540	7,267	2710,160	3,520	-
18	0,196	59,590	2403,680	7,300	2264,300	0,000	0,9
19	1,500	126,085	2723,090	7,300	2541,930	2,120	-

Flujo Másico [m]	[kg/seg]
Caudal Inicial	182
Caudal bloque de baja presión	8,5
Caudal bloque de media presión	91,1
Caudal bloque de alta presión	82,4

Egreso hacia Turbina Vapor Baja presión

Egreso hacia Turbina Vapor Media presión

Egreso hacia Turbina Vapor Alta presión

Precalentador

Estado 2 a 3

Q	39461,77
---	----------

 [KJ/seg]

Bloque de Baja Presión

Economizador

Estado 4 a 5

Q	1371,95
---	---------

 [KJ/seg]

Evaporador / domo

Estado 5 a 6

Q	17900,47
---	----------

 [KJ/seg]

Sobrecalentador

Estado 6 a 7

Q	1827,58
---	---------

 [KJ/seg]

Calor requerido

21.100 [KJ/seg]
 Líquido saturado 111 [°C]
 Vapor saturado 149 [°C]
 Vapor sobresaturado 250 [°C]

Bloque de Media Presión

Economizador

Estado 8 a 9

Q	46780,12
---	----------

 [KJ/seg]

Evaporador / domo

Estado 9 a 10

Q	165734,13
---	-----------

 [KJ/seg]

Sobrecalentador

Estado 10 a 16

Q	12557,22
---	----------

 [KJ/seg]

Calor requerido

225.071 [KJ/seg]
 Líquido saturado 112 [°C]
 Vapor saturado 228 [°C]
 Vapor sobresaturado 495 [°C]

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	7

Calor requerido

Planteamos el Primer Principio de termodinámica: $Q = m \times Cp \times \Delta T$

N°	Presión [Bar]	Temperatura [°C]	Entalpia [KJ/Kg]	Entropia [KJ/Kg°C]	Energia interna [KJ/Kg]	Cp [KJ/kg °C]	Título
1	0,196	59,600	250,180	0,823	250,160	4,187	0
2	1,500	59,600	250,312	0,823	250,160	4,187	-
3	1,500	111,320	467,179	1,435	467,337	4,240	0
4	4,700	111,350	467,674	1,435	467,179	4,240	-
5	4,700	149,490	629,785	1,836	629,272	2,314	0
6	4,700	149,490	2744,930	6,841	25,582	2,314	1
7	4,700	250,000	2960,880	7,300	2723,440	3,950	-
8	27,200	111,560	470,042	1,435	467,179	4,240	-
9	27,200	228,482	983,545	2,597	980,266	4,610	0
10	27,200	228,482	2802,800	6,224	2602,790	4,610	1
11	27,200	495,000	3447,560	7,267	3100,680	14,601	-
12	116,500	112,400	479,415	1,435	467,180	2,100	-
13	116,500	322,450	1477,300	3,474	1459,660	7,900	0
14	116,500	322,456	2690,960	5,512	2518,240	7,900	1
15	116,500	495,000	3338,380	6,487	3018,740	14,601	-
16	27,200	276,172	2940,640	6,487	2709,080	4,860	-
17	4,700	241,642	2943,540	7,267	2710,160	3,520	-
18	0,196	59,590	2403,680	7,300	2264,300	0,000	0,9
19	1,500	126,085	2723,090	7,300	2541,930	2,120	-

Flujo Másico [m]	[kg/seg]
Caudal Inicial	182
Caudal bloque de baja presión	8,5
Caudal bloque de media presión	91,1
Caudal bloque de alta presión	82,4

Egreso hacia Turbina Vapor Baja presión

Egreso hacia Turbina Vapor Media presión

Egreso hacia Turbina Vapor Alta presión

Bloque de Alta Presión

Economizador

Estado 12 a 13

Q	77730,00
---	----------

 [KJ/seg]

Evaporador / domo

Estado 13 a 14

Q	100005,58
---	-----------

 [KJ/seg]

Sobrecalentador

Estado 14 a 15

Q	53347,41
---	----------

 [KJ/seg]

Recalentadores

Primer Recalentador

Estado 16 a 11

Q	4410,20
---	---------

 [KJ/seg]

Segundo Recalentador

Estado 17 a 7

Q	1282,07
---	---------

 [KJ/seg]

Calor requerido

231.083 [KJ/seg]

Líquido saturado

112 [°C]

Vapor saturado

322 [°C]

Vapor sobresaturado

495 [°C]

Calor requerido

5692,27 [KJ/seg]

Ingreso desde Turbina de Alta presión (estado 16)

Egreso hacia Turbina de Vapor Media presión (estado 11)

Ingreso desde la Turbina de Media presión (estado 17)

Egreso a la Turbina de Baja presión (estado 7)

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	GRUPO	
	TITULO		REV	A
			HOJA	8

Q: Intercambio de calor

El intercambio está determinado por la siguiente expresión:

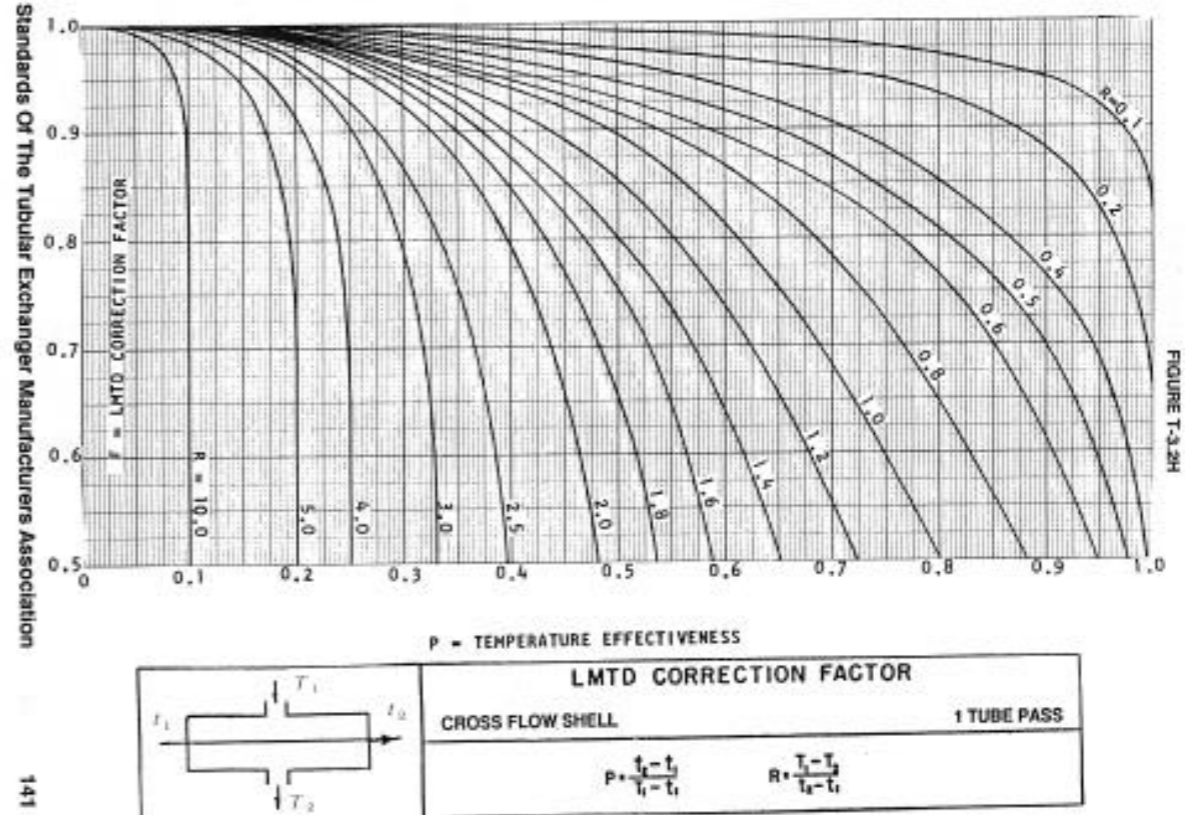
$$Q = U \times F \times DTML^*$$

F : Superficie de Calefacción [m²]
 $DTML$: Diferencia media logaritmica de temperatura corregida [°C]
 U : Coeficiente de transmisión total del equipo [W/m² °C]

DTML: Diferencia de Temperatura Media Logaritmica

$$\Delta T = \frac{(T_{g1} - t_{s2}) - (T_{g2} - t_{s1})}{\ln\left(\frac{T_{g1} - t_{s2}}{T_{g2} - t_{s1}}\right)}$$

- t_s : Temperatura de saturación
- t_{s1} : Temperatura de entrada del vapor del sobrecalentador
- t_{s2} : Temperatura de salida del vapor del sobrecalentador
- T_{g1} : Temperatura del gas entrada a la caldera
- T_{g2} : Temperatura de salida del gas del sobrecalentador
- T_{g3} : Temperatura de salida del gas del evaporador
- T_{g4} : Temperatura de salida del gas del economizador
- ΔT : Diferencia media logaritmica de temperaturas
- t_{w1} : Temperatura de entrada al economizador del agua de alimentación
- t_{w2} : Temperatura de salida al economizador del agua de alimentación



$F_t > 0,75$ aprox. adoptamos $F_t = 0,85$

Finalmente obtenemos: $DTML^* = DTML \times 0,85$

U: Coeficiente de Transferencia del Equipo

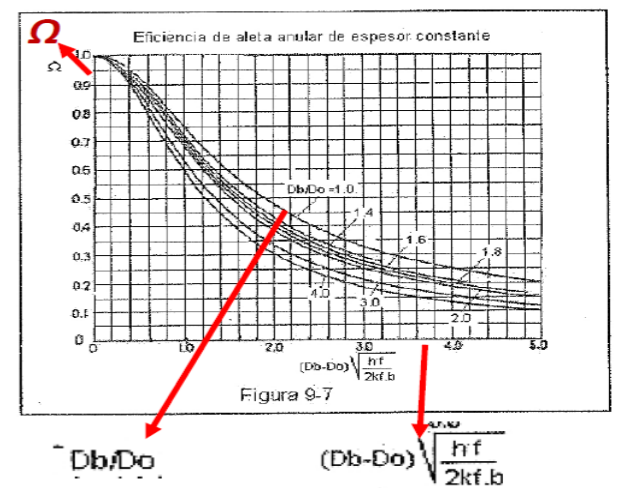
$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h'f} + \frac{1}{h'fo} + Rfio\right)}$$

$h'io$ por cálculo Coeficiente pelicular lado interno corregido a la superficie exterior
 $h'fo$ por cálculo Coeficiente pelicular de tubo y aleta
 $Rfio$ 0,0005 [m²°C/W] resistencia de ensuciamiento lado interno

h'fo: Coeficiente final pelicular tubo y aleta

$$h'fo = h'f \cdot \left(\frac{F_d + \Omega \cdot F_d}{F_0}\right)$$

$h'f$ coeficiente pelicular de tubo y aleta corregido por ensuciamiento
 F_0 área de tubo liso por metro de tubo $F_0 = \pi \times D_o$
 F_d área de aleta por metro de tubo
 Ω 0,4 a 0,7 coeficiente de densidad de aleta



h'f: Coeficiente pelicular de tubo y aleta corregido por ensuciamiento

$$h'f = \frac{1}{\left(\frac{1}{hf} + Rfo\right)}$$

hf por cálculo coeficiente pelicular de tubo y aleta
 Rfo 0,00020 [m²°C/W] = [h pie²F/Btu] resistencia de ensuciamiento lado aleta

hf: Coeficiente pelicular de tubo y aleta

$$hf = 0.0959 \cdot \left(\frac{Re^{0.718} \cdot k}{De \cdot Pr^{-0.33}}\right)$$

Re por cálculo número de reynolds del gas
 k 44,13 [kcal/h m °C] = [W/m °C] coeficiente de conductividad del tubo
 De por cálculo diámetro equivalente para la transferencia de calor
 Pr por tabla número de Prandtl del gas (según temperatura)

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
	Máquina Única		GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	TITULO	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
			HOJA	9

Re: Número de Reynolds (Re)

$$Re = \left(De \cdot \frac{Gs}{\mu} \right)$$

De por cálculo Diámetro equivalente para la transferencia de calor
Gs por tabla Densidad de flujo másico del gas
μ por tabla Viscosidad del gas

De: Diámetro equivalente para la transferencia de calor

$$De = 2 \cdot \left(\frac{Ff + Fd}{\pi \cdot Pp} \right)$$

Ff por cálculo área de aleta [m2/m]
Fd por cálculo área de tubo desnudo [m2/m]
Pp por cálculo Perímetro proyectado que es la suma de todas las dimensiones exteriores en vista en planta de un tubo aletado por metro de tubo.

Pp: Perímetro proyectado

$$Pp = 2 \cdot (Db - D0) \cdot Nm + 2 \cdot (1 - b \cdot Nm)$$

Db dato diámetro ext. del tubo
D0 dato diámetro ext. del tubo
Nm dato número de aletas por metro de tubo
b dato espesor de aleta

Se desarrollan los cálculos correspondientes a cada término de la ecuación para hallar el Intercambio de calor dentro de la caldera entre el fluido que circula dentro de los tubos aletados y los humos que se generan desde la TG.

Cálculo del Número de Reynolds (GAS)

Sección	T° [°C]	Db Diámetro exterior de aleta [mm]	D0 Diámetro ext. tubo [mm]	h Altura de la aleta [mm]	b Espesor de aleta [mm]	N Nro aleta [por pulg.]	Fd área de aleta [m2/m]	Fo área de tubo desnudo [m2/m]	Pp Perímetro proyectado [mm]	De Diámetro Equivalente [m]	v Velocidad GAS [m/sg]	p Densidad de flujo [kg/m3]	Gs Densidad de flujo másico [kg/m*sg]	μ Viscos. [kg/m*sg]	Re Nro Reynolds
Pre calentador	156,0	51,8	31,8	10	0,80	4,40	0,05466	0,01384	6653,97	0,01	2,22	0,834	1,849	0,000023	525,46
Bloque de Baja Presión															
Economizador	177,0	51,8	31,8	10	0,80	3,50	0,04348	0,01101	5293,34	0,01	2,33	0,795	1,849	0,000024	509,39
Evaporador	205,0	51,8	31,8	10	0,80	4,30	0,05342	0,01353	6502,79	0,01	2,47	0,748	1,849	0,000025	489,54
Sobrecalentador	281,0	51,8	31,8	10	0,80	3,50	0,04348	0,01101	5293,34	0,01	2,86	0,646	1,849	0,000027	444,39
Bloque de Media Presión															
Economizador															
1era presión	177,0	51,8	31,8	10	0,80	3,50	0,04348	0,01101	5293,34	0,01	2,33	0,795	1,849	0,000024	509,39
2da presión	260,0	51,8	31,8	10	0,80	4,60	0,05715	0,01447	6956,33	0,01	2,75	0,671	1,849	0,000027	456,04
Evaporador	277,0	51,8	31,8	10	0,80	4,30	0,05342	0,01353	6502,79	0,01	2,84	0,650	1,849	0,000027	446,58
Sobrecalentador	281,0	51,8	31,8	10	0,80	3,50	0,04348	0,01101	5293,34	0,01	2,86	0,646	1,849	0,000027	444,39
Bloque de Alta Presión															
Economizador															
1era presión	177,0	51,8	31,8	10	0,80	3,50	0,04348	0,01101	5293,34	0,01	2,33	0,795	1,849	0,000024	509,39
2da presión	260,0	51,8	31,8	10	0,80	4,60	0,05715	0,01447	6956,33	0,01	2,75	0,671	1,849	0,000027	456,04
3era presión	341,0	51,8	31,8	10	0,80	6,00	0,07454	0,01888	9072,87	0,01	3,17	0,583	1,849	0,000029	414,80
Evaporador	494,0	51,8	31,8	10	0,80	3,90	0,04845	0,01227	5898,06	0,01	3,96	0,466	1,849	0,000034	357,07
Sobrecalentador															
1era presión	500,0	51,8	31,8	10	1,20	4,00	0,05994	0,01888	5923,26	0,01	4,00	0,463	1,849	0,000034	459,13
2da presión	581,3	58,1	38,1	10	1,20	3,50	0,06936	0,01979	5183,10	0,01	4,42	0,419	1,849	0,000037	554,18
Recalentadores															
1era presión	535,0	58,1	38,1	10	1,00	3,50	0,06433	0,01649	5238,22	0,01	4,18	0,443	1,849	0,000035	516,59
2da presión	581,3	58,1	38,1	10	1,20	3,50	0,06936	0,01979	5183,10	0,01	4,42	0,419	1,849	0,000037	554,18

REFERENTES

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
	Máquina Única		GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	TITULO	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
			HOJA	10

F: Superficie de Calefacción

F_o: Superficie de calentamiento del tubo por metro

$$F_o = \pi * D_o \left(1 - b * \frac{N}{0.0254} \right) \left[\frac{m^2}{m} \right]$$

F_d: Superficie de calentamiento de aletas por metro

$$F_d = \left(\frac{\pi}{4} * [(D_o + 2h)^2 - D_o^2] * 2 + \pi * (D_o + 2h) * ft \right) * \frac{fn}{0.0254} \left[\frac{m^2}{m} \right]$$

F's: Superficie de calentamiento total por metro

$$F_s' = F_d + F_o \left[\frac{m^2}{m} \right]$$

N: Número total de tubo

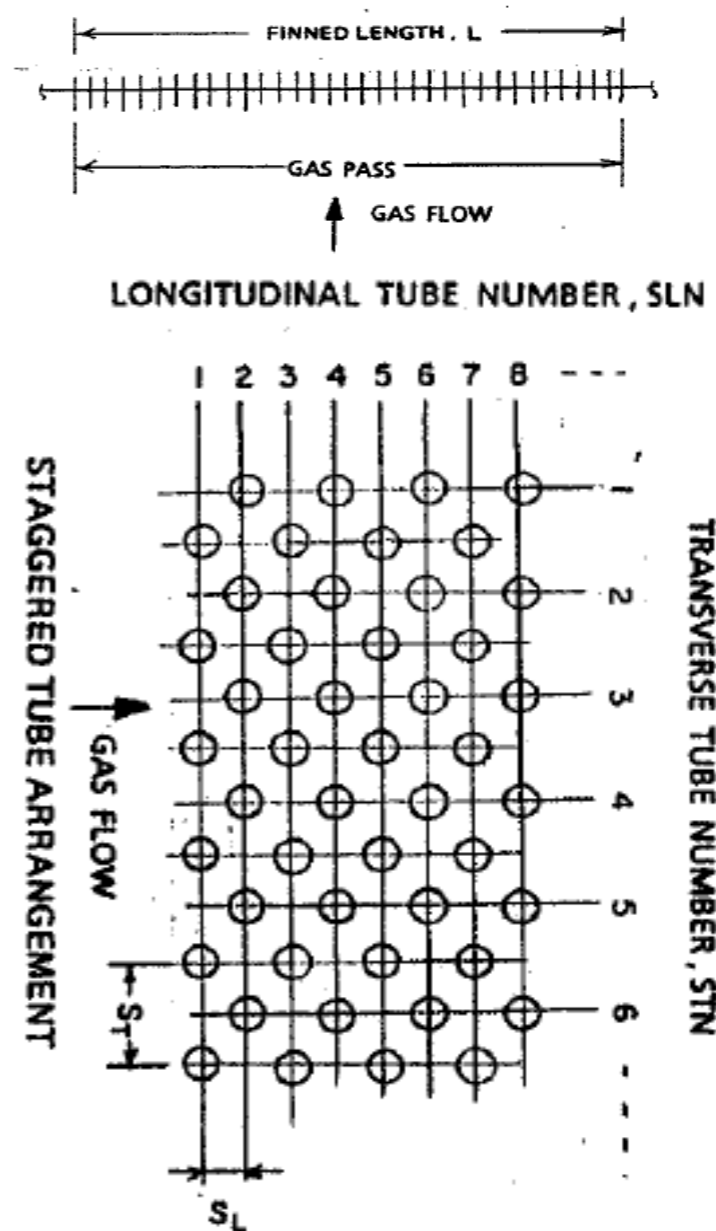
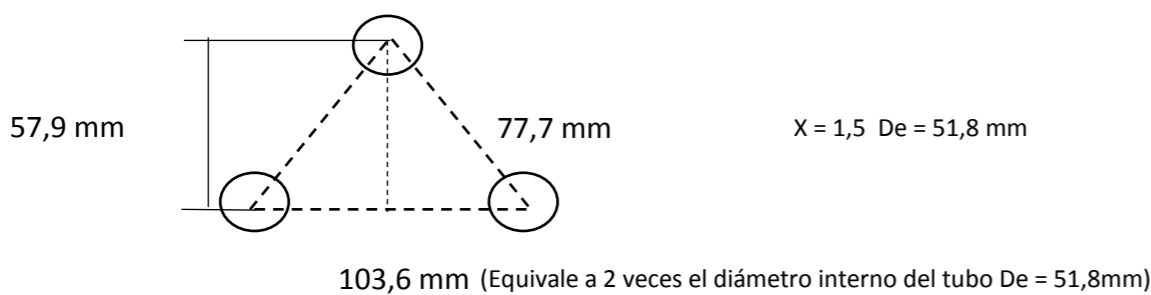
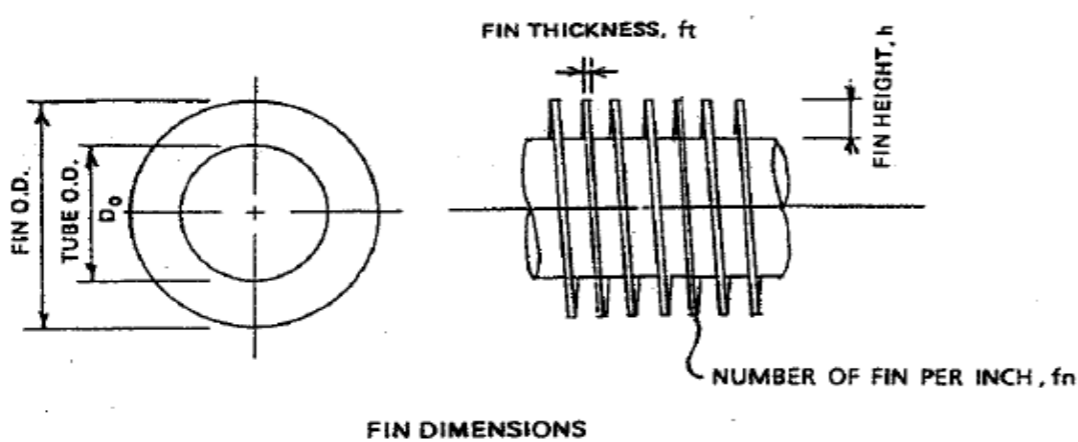
$$N = STN * SLN$$

F: Superficie de calentamiento total

$$F = F_s' * L * N = (F_d + F_o) * L * STN * SLN [m^2]$$

Nomenclaturas de tubo con aletas en espiral

- D_o** Diámetro exterior de tubo [m]
- h** Altura de la aleta [m]
- b** Espesor de la aleta [m]
- N** Número de aletas [por pulgada]
- L** Longitud con aleta de un tubo [m]
- STN** Número de tubo transversal
- SLN** Número de tubo longitudinal



REFERENTES

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	11

Cálculo de Superficie de Calefacción (estimación)

La especificación del tubo para cada sección y la superficie de calentamiento calculada se muestran en la siguiente tabla

$$F = F_s' * L * N = (F_d + F_o) * L * STN * SLN [m^2]$$

Sección	STN	SLN	DO	h	b	N	L	F
	Nro tubo transversal	Nro tubo longitudinal	Diámetro exterior tubo [mm]	Altura de la aleta [mm]	Espesor de aleta [mm]	Nro aleta [por pulg.]	Longitud con aleta de tubo [m]	Superficie de calentamiento total
Precaentador	156,22	37	31,8	10	0,8	4,4	23	9107,124
Bloque de Baja Presión								
Economizador	130,00	2	31,8	10	0,8	3,5	23	325,868
Evaporador	147,14	14	31,8	10	0,8	4,3	23	3172,024
Sobrecalentador	110,00	2	31,8	10	0,8	3,5	23	275,735
Bloque de Media Presión								
Economizador								
1era presión	150,00	28	31,8	10	0,8	3,5	23	5264,02643
2da presión	151,11	18	31,8	10	0,8	4,6	23	4480,51012
Evaporador	154,29	7	31,8	10	0,8	4,3	23	1663,00264
Sobrecalentador	120,00	20	31,8	10	0,8	3,5	23	3008,0151
Bloque de Alta Presión								
Economizador								
1era presión	146,67	12	31,8	10	0,8	3,5	23	2205,87774
2da presión	154,00	20	31,8	10	0,8	4,6	23	5073,51881
3era presión	150,00	22	31,8	10	0,8	6	23	7090,32131
Evaporador	154,00	40	31,8	10	0,8	3,9	23	8602,92319
Sobrecalentador								
1era presión	155,00	8	31,8	10	1,2	4	23	2247,99824
2da presión	150,00	4	31,8	10	1,2	3,5	23	1230,28009
Recalentadores								
1era presión	100,00	1	31,8	10	1,2	3,5	23	185,89014
2da presión	20,00	1	31,8	10	1,2	3,5	23	41,0093363
Total Superficie de calefacción [m2] :								53974,12

DTML: Diferencia de Temperatura Media Logarítmica

El DTML calculada para cada sección se muestran en la siguiente tabla

$$DTML^* = DTML * \text{factor de corrección} = DTML * 0,85$$

$$\text{Factor de corrección } Ft = 0,85$$

SECCIÓN	Temperatura gas		Temperatura vapor/liquido		DTML	DTML x 0,85	DTML*
	Tg1	Tg2	Ts1	Ts2			
	Entrada [°C]	Salida [°C]	Entrada [°C]	Salida [°C]			
1 Precaentador	156	83	59,60	111,32	32,901		27,966
Bloque de Baja Presión							
4 Economizador	177	157	111,35	149,49	35,818	0,745	30,445
5 Evaporador	205	177	149,49	149,49	39,885	1,000	33,902
9 Sobrecalentador	281	277	149,49	250,00	68,243	0,598	58,007
Bloque de Media Presión							
Economizador							
3 1era presión	260	156	111,56	228,48	37,610	0,488	31,968
6 2da presión	177	156	111,56	149,49	35,301	0,746	30,006
8 Evaporador	260	204	149,49	228,48	41,971	0,654	35,675
10 Sobrecalentador	277	260	228,48	228,48	39,409	1,000	33,497
300 Sobrecalentador	300	279	228,48	276,17	35,517	0,827	30,190
Bloque de Alta Presión							
Economizador							
2 1era presión	341	155	112,40	322,45	28,928	0,349	24,589
7 2da presión	177	155	112,40	149,49	34,507	0,752	29,331
11 3era presión	260	205	149,49	228,48	42,390	0,654	36,031
12 Evaporador	341	281	228,48	322,45	32,641	0,709	27,745
494 Sobrecalentador	494	341	322,45	322,45	68,782	1,000	58,465
13 1era presión	500	494	322,45	495,00	47,109	0,651	40,042
16 2da presión	581	528,5	322,45	495,00	137,598	0,651	116,958
Recalentadores							
14 1era presión	535	500	245,64	276,17	155,726	0,889	132,367
15 2da presión	581	531,2	276,17	495,00	256,588	0,558	218,099

REFERENTES

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	12

Propiedades de los humos

Se realizo el cálculo de las propiedades de los humos de combustión de la turbina de gas (TG) para incorporar dichos valores a el cálculo del número de Reynolds (desarrollo en hojas 9)

μ : Viscosidad

$$\mu_m = \frac{\sum y_i \mu_i \sqrt{MW_i}}{\sum y_i \sqrt{MW_i}}$$

Composición	Peso Molar [gr/mol]	Fracción Molar	Volumen [%]	$\sum y_i MW_i$	$\sum y_i \sqrt{MW_i}$	y_i	$\sqrt{MW_i}$
CO2	5,818	%	44	0,1322	3%	2,56	0,386
N2	73,4787	%	22	3,3380	79%	16,17	3,447
H2O	5,218	%	18	0,2899	7%	0,94	0,221
O2	14,2585	%	32	0,4456	11%	4,56	0,807
Ar	1,2288	%	40	0,0307	1%	0,49	0,078
			4,24	100%	24,73	4,94	

C_p - gas specific heat-Btu/Lb F,
 μ - viscosity-Lb/ft h,
 k - thermal conductivity-Btu/ft h F.

Temp. [F]	CO2			H2O			N2			O2		
	Cp	μ	K	Cp	μ	K	Cp	μ	K	Cp	μ	K
200	0,2162	0,0438	0,0125	0,4532	0,0315	0,0134	0,2495	0,0518	0,0189	0,2250	0,0604	0,0186
400	0,2369	0,0544	0,0177	0,4663	0,0411	0,0197	0,2530	0,0608	0,0219	0,2332	0,0716	0,0229
600	0,2543	0,0645	0,0277	0,4812	0,0506	0,0261	0,2574	0,0694	0,0249	0,2404	0,0823	0,0272
800	0,2688	0,0749	0,0274	0,4975	0,0597	0,0326	0,2624	0,0776	0,0279	0,2468	0,0924	0,0313
1000	0,2807	0,0829	0,0319	0,5147	0,0687	0,0393	0,2678	0,0854	0,0309	0,2523	0,1021	0,0352

Metric To American	American To Metric
Metric To Metric	American To American
VISCOSITY, absolute, μ :	
0.1 Pa·s = 1 dyne·s/cm ² = 360 kg/h·m	1 lb mass/hr·ft = 0.000 008 634 lb force·sec/ft ²
= 1 poise = 100 centipoise	= 0.413 centipoise
= 242.1 lb mass/hr·ft	= 0.000 413 Pa·s
= 0.002 089 lb force·sec/ft ²	1 lb force·sec/ft ² = 115 800 lb mass/hr·ft
1 kg/h·m = 0.672 lb/hr·ft = 0.002 78 g/s·cm	= 47 880 centipoise
= 0.000 005 81 lb force·sec/ft ²	= 47.88 Pa·s
	1 reyn = 1 lb force·sec/in. ²
	= 6.890 × 10 ⁸ centipoise
μ of water † = 1.124 centipoise	μ of air † = 0.0180 centipoise
= 2.72 lb mass/hr·ft	= 0.0436 lb/hr·ft
= 2.349 × 10 ⁻⁷ lb·sec/ft ²	= 3.763 × 10 ⁻⁷ lb·sec/ft

Se interpoló el valor de la temperatura, según la tabla anterior

Temperatura		Viscosidad abs. [Lb/ft.h]				Viscosidad abs. [Kg/m.sg]				
[°C]	[F]	CO2	H2O	N2	O2	CO2	H2O	N2	O2	Ar
156	313	0,04978	0,03691	0,05688	0,06672	0,000020	0,000015	0,000023	0,000027	0,000002
177	351	0,05178	0,03873	0,05858	0,06883	0,000021	0,000016	0,000024	0,000028	0,000002
205	401	0,05445	0,04115	0,06084	0,07165	0,000022	0,000017	0,000025	0,000029	0,000001
281	538	0,06136	0,04765	0,06673	0,07897	0,000025	0,000020	0,000027	0,000032	0,000001
177	351	0,05178	0,03873	0,05858	0,06883	0,000021	0,000016	0,000024	0,000028	0,000002
260	500	0,05945	0,04585	0,06510	0,07695	0,000024	0,000019	0,000027	0,000032	0,000001
277	531	0,06100	0,04730	0,06642	0,07859	0,000025	0,000019	0,000027	0,000032	0,000001
281	538	0,06136	0,04765	0,06673	0,07897	0,000025	0,000020	0,000027	0,000032	0,000001
177	351	0,05178	0,03873	0,05858	0,06883	0,000021	0,000016	0,000024	0,000028	0,000002
260	500	0,05945	0,04585	0,06510	0,07695	0,000024	0,000019	0,000027	0,000032	0,000001
341	646	0,06688	0,05268	0,07128	0,08461	0,000027	0,000022	0,000029	0,000035	0,000001
494	921	0,07975	0,06515	0,08233	0,09828	0,000033	0,000027	0,000034	0,000040	0,000001
500	932	0,08018	0,06564	0,08275	0,09880	0,000033	0,000027	0,000034	0,000041	0,000001
581	1078	0,08603	0,07223	0,08846	0,10590	0,000035	0,000030	0,000036	0,000043	0,000001
535	995	0,08270	0,06848	0,08521	0,10186	0,000034	0,000028	0,000035	0,000042	0,000001
581	1078	0,08603	0,07223	0,08846	0,10590	0,000035	0,000030	0,000036	0,000043	0,000001

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL				AÑO	2021
					GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones			REV	A
	TITULO				HOJA	13

Coefficiente de Transferencia del Equipo

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h'f} + \frac{1}{hio + Rfio}}$$

Sección	T° GAS		Re	De	Pr	hf	h'f	Fd	Fo	h'fo	hio	U
	[°C]	[°F]	Nro Reynolds	Diámetro Equivalente [m]	Número de Prandtl del gas	coeficiente pelicular de tubo y aleta [W/m2 °C]	Coeficiente pelicular de tubo y aleta corregido por ensuciamiento [m2 °C/W]	área de aleta [m2/m]	área de tubo desnudo [m2/m]	Coeficiente pelicular de tubo y aleta [m2 °C/W]	Coeficiente pelicular lado interno corregido a la superficie exterior [m2 °C/W]	Coeficiente de Transferencia del Equipo [W/m2 °C]
Pre calentador	156,00	312,80	525,46	0,01	0,7014	51587,55	0,000019	0,054661	0,013845	0,000077	1522	0,0001570
Bloque de Baja Presión												
Economizador	177,00	350,60	509,39	0,01	0,6992	50401,65	0,000020	0,043480	0,011013	0,000078	1522	0,0001607
Evaporador	205,00	401,00	489,54	0,01	0,6974	48937,96	0,000020	0,053418	0,013530	0,000081	1522	0,0001655
Sobrecalentador	281	537,8	444,385684	0,00655377	0,6935	45572,0124	2,19433E-05	0,04348014	0,01101289	8,6635E-05	1521,5311	0,00017772
Bloque de Media Presión												
Economizador												
1era presión	177,00	350,60	509,39	0,01	0,6992	50401,65	0,000020	0,043480	0,011013	0,000078	1522	0,0001607
2da presión	260,00	500,00	456,04	0,01	0,6946	46447,21	0,000022	0,057145	0,014474	0,000085	1522	0,0001744
Evaporador	277,00	530,60	446,58	0,01	0,6940	45741,39	0,000022	0,053418	0,013530	0,000086	1522	0,0030000
Sobrecalentador	281,00	537,80	444,39	0,01	0,6935	45572,01	0,000022	0,043480	0,011013	0,000087	1522	0,0001777
Bloque de Alta Presión												
Economizador												
1era presión	177,00	350,60	509,39	0,01	0,6992	50401,65	0,000020	0,043480	0,011013	0,000078	1522	0,0001607
2da presión	260,00	500,00	456,04	0,01	0,6946	46447,21	0,000022	0,057145	0,014474	0,000085	1522	0,0001744
3era presión	341,00	645,80	414,80	0,01	0,6937	43369,46	0,000023	0,074537	0,018879	0,000091	1522	0,0001868
Evaporador	494,00	921,20	357,07	0,01	0,6980	39029,93	0,000026	0,048449	0,012272	0,000101	1522	0,0002075
Sobrecalentador												
1era presión	500,00	932,00	459,13	0,01	0,6986	36178,85	0,000028	0,059943	0,018879	0,000088	1522	0,0002223
2da presión	581,30	1078,34	554,18	0,01	0,7077	32175,74	0,000031	0,069359	0,019792	0,000109	1584	0,0002516
Recalentadores												
1era presión	535,00	995,00	516,59	0,01	0,6990	33965,97	0,000029	0,064328	0,016493	0,000115	1584	0,0002391
2da presión	581,30	1078,34	554,18	0,01	0,7077	32175,74	0,000031	0,069359	0,019792	0,000109	1584	0,0002516

k	44,13	[w/m °C]	coeficiente de conductividad del tubo
Rfo	0,0002	[m2°C/w]²	resistencia de ensuciamiento lado aleta
Ω	0,55		coeficiente de densidad de aleta
Rfio	0,0005	[m2°C/w]²	Resistencia de ensuciamiento lado interno
hio	2000	[w/m2 °C]	
Di/De	0,79209979		Corresponde al Sobrecalentador 2da presión y Recalentadores
Di/De	0,76076555		Corresponde al resto de los componentes

Prandtl's Number $Pr = \mu Cp/k$ (2-6)

Table 2-1: Gas Data and F1 Factors for Air and Flue Gas

temp, F	Air			Flue Gas				
	Cp	μ	k	F1	Cp	μ	k	F1
200	.2439	.05369	.01878	.1687	.2570	.0492	.0174	.1702
400	.2484	.0632	.02211	.1756	.2647	.0587	.0211	.1805
800	.2587	.0809	.0287	.1865	.2800	.0763	.0286	.1991
1200	.2696	.0968	.0350	.2015	.2947	.0922	.0358	.2159
1600	.2800	.1109	.0412	.2138	.3080	.1063	.0429	.2314
2000	.2887	.1232	.0473	.2235	.3190	.1188	.0499	.2456

(flue gas analysis used above: % vol CO2 = 12, H2O = 12, N2 = 70, O2 = 6)

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	14

Cálculo del Intercambio de calor

Comparamos el Intercambio de calor teórico, obtenido del análisis en termograf, con el Intercambio de calor generado por el equipo, según la disposición, tamaño de tubos aletados y comportamiento de los humos de la Turbina de Gas.

$$Q = U \times F \times DTML^*$$

Sección	U Coeficiente de Transferencia del Equipo [W/m2 °C]	F Superficie de calentamiento total [m2]	DTML Diferencia de Temperatura Media Logaritmica [°C]	Qreal transferido Intercambio de calor del equipo [W] =[J/seg]	Qrequerido Intercambio de calor teórico requerido[J/seg]	VERIFICA
Precalentador	0,000157	9107,124	27,966	39,99	39,46	ok
Bloque de Baja Presión						
Economizador	0,000161	325,868	30,445	1,59	1,37	ok
Evaporador	0,000165	3172,024	33,902	17,80	17,50	ok
Sobrecalentador	0,000178	275,735	58,007	2,84	1,83	ok
Bloque de Media Presión						
Economizador						
1era presión	0,000161	5264,026	30,006	25,38	46,78	ok
2da presión	0,000174	4480,510	35,675	27,87	-	ok
Evaporador	0,003000	1663,003	33,497	167,12	165,73	ok
Sobrecalentador	0,000178	3008,015	30,190	16,14	12,56	ok
Bloque de Alta Presión						
Economizador						
1era presión	0,000161	2205,878	29,331	10,40	77,73	ok
2da presión	0,000174	5073,519	36,031	31,88	-	ok
3era presión	0,000187	7090,321	27,745	36,74	-	ok
Evapordador	0,000208	8602,923	58,465	104,37	100,01	ok
Sobrecalentador						
1era presión	0,000222	2247,998	40,042	20,01	53,35	ok
2da presión	0,000252	1230,280	116,958	36,20	-	ok
Recalentadores						
1era presión	0,000239	185,890	132,367	5,88	4,41	ok
2da presión	0,000252	41,009	218,099	2,25	1,28	ok
			Verifica Qreal > Qrequerido	546,46	522,01	

Finalmente, se obtiene que el calor Q real transferido es mayor al Q requerido, verificando asi la superficie de calefacción y demás parámetros calculados anteriormente.

Recordando el cálculo de cada parámetro:

Coeficiente de Transferencia del Equipo [W/m2 °C]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h'f} + \frac{1}{h_{io} + Rf_{io}}}$$

Superficie de calentamiento total [m2]

$$F = F_s' * L * N = (F_d + F_o) * L * STN * SLN [m^2]$$

Diferencia de Temperatura Media Logaritmica [°C]

$$DTML^* = DTML * \text{factor de corrección} = DTML * 0,85$$

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	15

Cálculo de masas y velocidades

Sección	Temperatura del vapor/liquido	Potencia Generada	Δh		MASAS	Velocidad					
			Inicial	Final		Colector principal	Colector a domo	Tubos aletados			
			Entrada [°C]	Salida [°C]		[W]=[J/seg]	[KJ/seg]	[KJ/kg °C]	[kg/seg]	[m/seg]	[m/seg]	[m/seg]
1 Precalentador	59,60	111,32	39,986	39985,928	250,180	467,674	183,8484	1,478	1,497	2,000	
Bloque de Baja Presión											
4 Economizador	4 a 5	111,35	149,49	1,594	1594,215	467,674	629,785	9,834094	N/A	1,139	2,000
5 Evaporador	5 a 6	149,49	149,49	17,798	17797,732	629,785	2744,930	8,414426	0,977	0,974	3,000
9 Sobrecalentador	6 a 7	149,49	250,00	2,843	2842,527	2744,930	2960,880	13,1629	N/A	12,064	23,000
Bloque de Media Presión											
3 Economizador	8 a 9	111,56	149,49	53,254	53253,906	470,042	983,545	103,7071			
1era presión		111,56	228,48	25,381	25381,193	470,042	983,545	49,42755	1,407	1,037	2,000
6 2da presión		111,56	149,49	27,873	27872,714	470,042	983,545	54,27955	1,545	1,139	2,000
8 Evaporador	9 a 10	149,49	228,48	167,119	167119,069	983,545	2802,800	91,86127	1,272	1,865	3,000
10 Sobrecalentador	11 a 16	228,48	276,17	16,139	16139,060	2802,800	2940,640	117,0855	8,629	8,094	23,000
Bloque de Alta Presión											
2 Economizador	12 a 13	112,40	322,45	79,011	79011,294	479,415	1477,300	79,17876			
1era presión		112,40	149,49	10,397	10396,665	479,415	1477,300	10,4187	1,210	1,070	2,000
7 2da presión		149,49	228,48	31,877	31876,679	479,415	1477,300	31,94424	1,560	1,057	2,000
11 3era presión		228,48	322,45	36,738	36737,950	479,415	1477,300	36,81582	1,798	1,218	2,000
12 Evaporador	13 a 14	322,45	322,45	104,372	104371,809	1477,300	2690,960	85,99757	1,108	1,026	3,000
13 Sobrecalentador	14 a 15	322,45	495,00	56,212	56212,117	2690,960	3338,380	86,82481			
1era presión		322,45	495,00	20,012	20011,917	2690,960	3338,380	30,91025	8,867	12,142	23,000
16 2da presión		322,45	495,00	36,200	36200,201	2690,960	3338,380	55,91455	N/A	8,616	23,000
Recalentadores											
14 1era presión	16 a 11	245,64	276,17	5,882	5882,069	2940,640	3447,560	11,60355	N/A	8,788	23,000
15 2da presión	17 a 7	276,17	495,00	2,250	2250,160	2943,540	2960,880	129,767	N/A	8,549	23,000

	[kg/seg]
Caudal Inicial	182
Caudal evaporador baja presión	8,5
Caudal evaporador media presión	91,1
Caudal evaporador alta presión	82,4

Para el cálculo de las velocidades se establecieron los siguientes parámetros:

Fluido en los colectores		Fluido en los tubos aletados	
# Liquido	> 2 [m/seg]	# Liquido	2 a 3 [m/seg]
# Vapor	8,41 a 25,908 [m/seg]	# Vapor	23 [m/seg]

Tamaños de líneas

Fluido	≥ 6 in	8 in – 12 in	≥ 14 in
Vapor Saturado			
0 a 50 psig	30 – 115	50 – 125	60 – 145
Gas o vapor sobrecalentado			
0 a 10 psig	50 – 140	90 – 190	110 – 250
11 a 100 psig	40 – 115	75 – 165	95 – 225
101 a 900 psig	30 - 85	60 - 150	85 – 165

30 - 85 [fps]

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	16

Selección de Tubos Aletados

Se seleccionó por catálogo los tubos aletados, en el mismo por el fabricante nos indica los diversos tipos de fabricación, dimensiones y materiales utilizados en sus tubos y aletas, área de rendimiento térmico y peso por metro.

TUBOS ALETADOS P02 P03 **P04** P05 DIVERSOS TIPOS DE TUBOS

P04 - TUBOS CIRCULARES CON ALETAS INCRUSTADAS HELICOIDALES (INCRUSTAL).

Materiales:
 Tubos: Acero al carbono, inoxidable y latón.
 Aletas: Aluminio.
 Fijación: Clavado Mecánica.

TUBOS (Tubes)			ALETAS (Fins)			ÁREA (Fin Area) (m2/m)	PESO (Weight) (kg./m.)
o Ext. pul./mm. Ext. Diam. inch./mm.	Esp. Min. (mm.) Thickness Min. (mm.)	Long. Max. (m) Length (m)	o Ext. Ext. Diam. (mm.)	Espesor Thickness (mm.)	Cantidad Quantity p/pulg. (pinch.) p/m		
1 1/4 31,75	2,1	61	61	0,45	8 314	1,4378	2,4000
1 1/4 31,75	2,1	61	61	0,45	11 433	1,9450	2,7270

Se solicitarán con un largo de 23m

Descripción: ASTM A192 / ASME SA192 implementos de tubo de caldera de acero al carbono sin costura para caldera. Se usa típicamente para fabricar calderas (la presión de trabajo no es más de 9.8 MPa y la temperatura significativa está entre 450 °C y 650 °C) Paquetes de tubos aletados de superficie de calentamiento, economizador, sobrecalentador, recalentador y tubería de vapor. Posen un alto límite elástico, alta resistencia a la tracción y alto alargamiento. La presión para lograr la resistencia está garantizada en el material interior.

Tubos de intercambiadores de calor estirados en frío con un espesor de pared mínimo (tamaños en pulgadas)

Afuera	Espesor mínimo de pared														
diámetro	BWG (pulgadas)	20 (.035)	18 (.049)	16 (.065)	14 (.083)	13 (.095)	12 (.109)	11 (.120)	10 (.134)	9 (.148)	8 (.165)	7 (.180)	6 (.203)	5 (.220)	
[mm]	[pulgada]	[mm]0,89	1,24	1,65	2,11	2,41	2,77	3,05	3,40	3,76	4,19	4,57	5,16	5,59	
12,70	1/2	libras / pie	0,190	0,256	0,327	0,409	0,441	0,487	0,519	0,555	0,586				
		kg / m	0,283	0,381	0,487	0,594	0,657	0,725	0,773	0,826	0,873				
15,88	5/8	libras / pie	0,242	0,328	0,423	0,521	0,581	0,647	0,696	0,752	0,804				
		kg / m	0,360	0,488	0,630	0,776	0,865	0,964	1,036	1,120	1,198				
19,05	3/4	libras / pie		0,400	0,518	0,643	0,720	0,807	0,872	0,948	1,021				
		kg / m		0,595	0,771	0,967	1,072	1,202	1,299	1,412	1,521				
22,23	7/8	libras / pie		0,472	0,614	0,777	0,864	0,973	1,056	1,158					
		kg / m		0,702	0,913	1,14	1,285	1,448	1,571	1,722					
25,40	1	libras / pie		0,543	0,709	0,887	0,998	1,128	1,225	1,342	1,456	1,587	1,696		
		kg / m		0,808	1,056	1,321	1,487	1,680	1,824	1,998	2,169	2,363	2,526		
31,75	1 1/4	libras / pie		0,686	0,900	1,131	1,277	1,448	1,577	1,734	1,891	2,071	2,225	2,451	2,607
		kg / m		1,022	1,340	1,684	1,902	2,157	2,349	2,583	2,816	3,085	3,313	3,650	3,882
38,10	1 1/2	libras / pie		0,830	1,090	1,375	1,556	1,769	1,930	2,128	2,326	2,556	2,753	3,047	3,253
		kg / m		1,236	1,624	2,048	2,317	2,634	2,875	3,169	3,464	3,807	4,100	4,538	4,845

REFERENCIAS

<https://www.neelconsteel.com/astm-a192-asma-sa192-carbon-steel-boiler-tubes-manufacturer-supplier.html#1>
<http://www.radiadoresprats.com.ar/es/products/view/14/tubos-aletados>

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
	TITULO		HOJA	17

Distribución de los tubos dentro de la caldera

Largo del transporte (camión): 23 m 23.000 mm
 Ancho del transporte (camión): 2,5 m 2.500 mm

Medidas constructivas del cuerpo		
Largo Interno	14250	mm
Alto Interno	23000	mm
Ancho Interno	16250	mm

*en estas medidas no se consideran la chimenea ni el cono de entrada

Diámetro tubos aletados : 51,8 mm
 Distancia entre tubos aletados : 103,6 mm

Cantidad de tubos aletados por paquete : 20 tubos

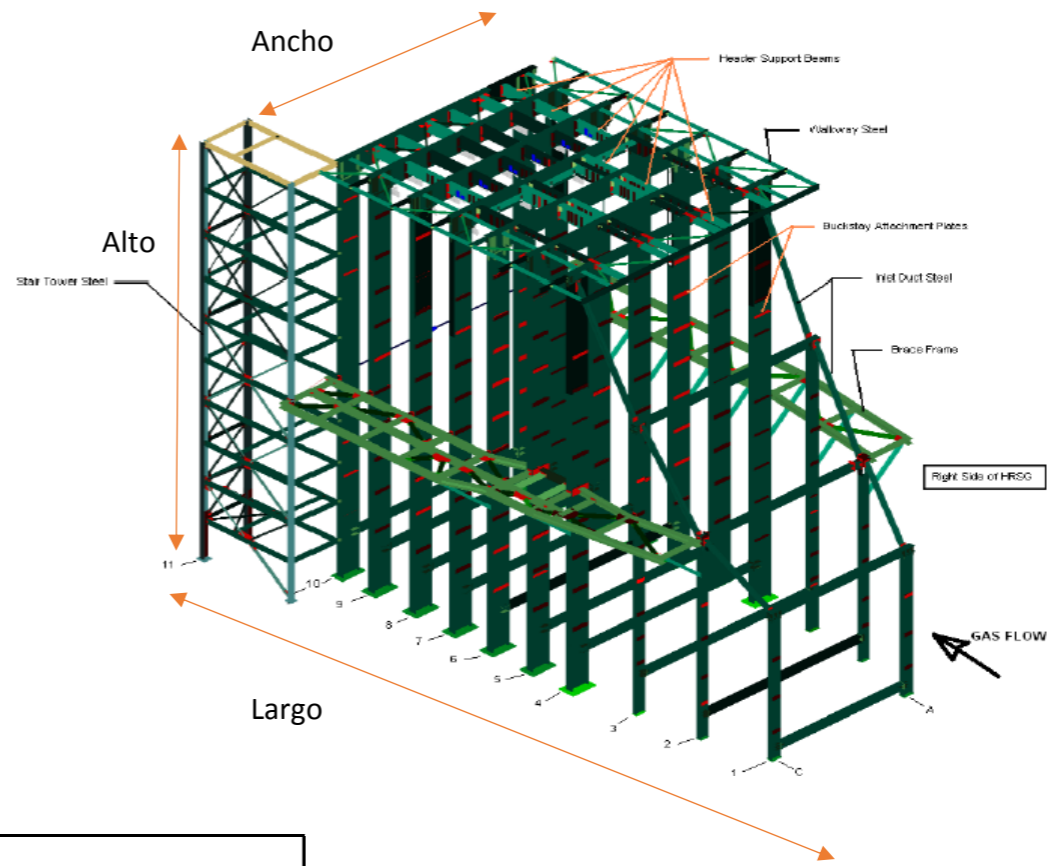
$$\frac{\text{Ancho del transporte} - \text{diámetro tubos aletados}}{\text{Distancia entre tubos aletados}} = \text{Cantidad de tubos aletados por paquete}$$

Ancho paquete de tubos aletados : 2150 mm

$$(\text{Cantidad de tubos aletados por paquete} * \text{Distancia entre tubos aletados}) + (1,5 * \text{Diámetro tubos aletados}) = \text{Ancho paquete de tubos}$$

Cantidad de paquetes de tubos aletados : 6 paquetes

$$\frac{\text{Ancho interno}}{\text{Ancho paquete de tubos aletados}} = \text{Cantidad de paquetes de tubos aletados}$$



Finalmente se establece la distribución de cada componente

SECCION	Cantidad total de tubos aletados	Ancho Transversal (STN)	Largo Longitudinal (SLN)	Cantidad paquetes de tubos (120)	Cantidad paquetes de tubos*	Cantidad tubos en una fila para completar ancho transversal
1 <u>Precaalentador</u>	5780,00	120	48,17	5	1	20
Bloque de Baja Presión						
4 Economizador	260,00	120	2,17	5	1	20
5 Evaporador	2060,00	120	17,17	5	1	20
9 <u>Sobrecalentador</u>	220,00	120	1,83	1	5	20
Bloque de Media Presión						
Economizador						
3 1era presión	4200,00	120	35	6	-	
6 2da presión	2720,00	120	22,67	2	4	20
8 Evaporador	1080,00	120	9	6	-	
10 <u>Sobrecalentador</u>	2408,00	120	20,07	4	2	20
Bloque de Alta Presión						
Economizador						
2 1era presión	1760,00	120	14,67	2	4	20
7 2da presión	3080,00	120	25,67	2	4	20
11 3era presión	3300,00	120	27,5	2	3	20
12 Evaporador	6160,00	120	51,33	4	2	20
Sobrecalentador						
13 1era presión	1240,00	120	10,33	4	2	20
16 2da presión	600,00	120	5	6	-	
Recalentadores						
14 1era presión	100,00	120	1	6	-	
15 2da presión	20,00	120	1	6	-	

* Se trata de la cantidad de paquetes de tubos al que se le agrega una fila con 20 tubos para lograr la cantidad de 120 tubos de ancho.

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL			AÑO	2021
	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación			GRUPO
INGENIERIA MECANICA	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones			REV
				HOJA	18

Dimensionamiento Domos: Cuerpo

El dimensionamiento del tambor se basa generalmente en las tasas de liberación de vapor y la pureza del vapor que se puede alcanzar con los internos requeridos del tambor. Además, se debe cumplir el criterio del tiempo de retención.

	Flujo máscio [kg/seg]	Presión [Bar]		Temperatura [°C]	Generación Vapor [lb/min]	Volumen específico del agua [ft3/lb]
		bar	psig			
High pressure (HP)	82,378	116,5	1689	322,45	653.793	0,0014260
Intermediate pressure (IP)	91,096	27,2	400	228,48	722.984	0,0006668
Low pressure (LP)	8,463	4,7	68	149,49	67.167	0,0037490

	Diámetro (Nominal)		Largo [mm]	Nivel de Agua [pulg]	
	[mm]	[pulg]		H1	H2
High pressure (HP)	1830	72	15000	590	34
Intermediate pressure (IP)	1520	60	7500	296	28
Low pressure (LP)	1520	60	8500	335	26

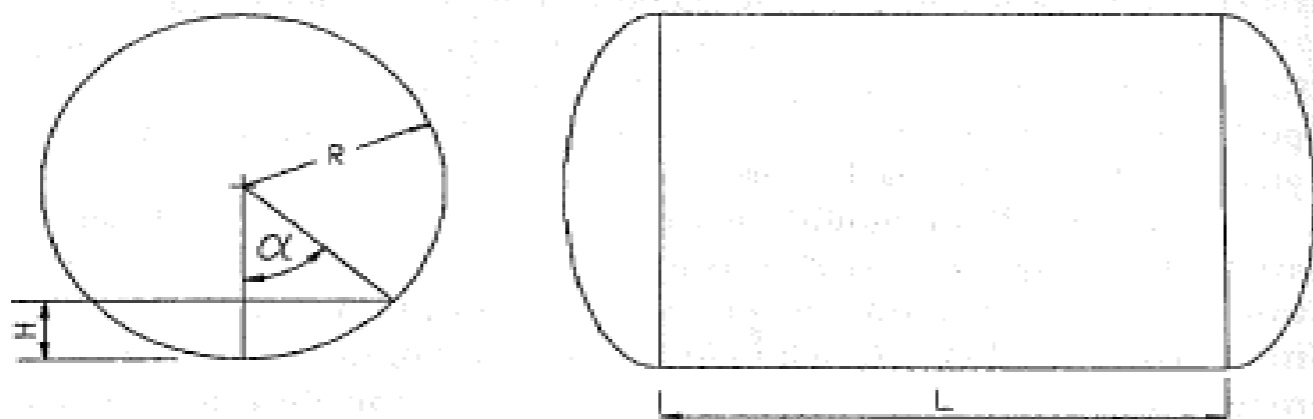


Figure 5-3. Partial volume of liquids in pressure vessels.

Liquid volume in straight section
 $V_s = (LR^2/231)[(\alpha/57.3) - \sin(\alpha)\cos(\alpha)]$
 Liquid volume in each end
 $V_e = 0.261H^2(3R - H)/231$
 Total liquid volume
 $V_t = 2V_e + V_s$

Volumen líquido en sección recta

$$V_s = \left(\frac{LR^2}{231}\right) * \left(\frac{\alpha}{57,3}\right) - [\text{sen}(\alpha) * \text{cos}(\alpha)]$$

Volumen de líquido en cada extremo

$$V_e = \frac{4}{3} * R^3 * \pi$$

Volumen de líquido total

$$V = 2 * V_{ce} + V_r$$

H2 * COS (α) = 2/R	0,0556
α = 2/R	86,550
sen	0,9982
cos	0,0697

Aplicando las fórmulas para el cálculo del volumen, tratandos de dos niveles dentro del domo, se calcula para el H1 (volumen total 1) y para el H2 (volumen total 2). Tener en cuenta que H1 corresponde al nivel medio mientras que H2 al nivel bajo.

Finalmente si el tiempo de retención es menor a 3 minutos, verificamos que el domo dimensionado cumple.

Tasa de evaporación = Generación Vapor [lb/min] * Volumen específico del agua [ft3/lb]

Tiempo de retención = $\frac{V1 - V2 \text{ [ft3]}}{\text{Tasa de evaporación [ft3/min]}}$

	Tasa de evaporación	Volumen (1)			Volumen (2)			V1 - V2 [pulg ³]		Tiempo de retención
	[ft3/min]	Vs [pulg ³]	Ve [pulg ³]	Vt [pulg ³]	Vs [pulg ³]	Ve [pulg ³]	Vt [pulg ³]	[pulg3]	ft3	[min]
High pressure (HP)	15,54	1.154.967	82.112,31	1.319.191	1.154.967	68.457,57	1.291.882	27.309,49	15,80	1,017094427
Intermediate pressure (IP)	8,03	402.389	45.861,22	494.112	402.389	36.719,06	475.828	18.284,32	10,58	1,316928084
Low pressure (LP)	4,20	455.407	45.861,22	547.129	455.407	36.719,06	528.845	18.284,32	10,58	2,521244391

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	19

Dimensionamiento Domos: Espesor

	Low pressure (LP)	Intermediate pressure (IP)	High pressure (HP)
Diametro nominal (mm)	1520	1520	1830
Espesor calculado de la envolvente (mm)	5,168	14,711	57,953
Espesor adoptado de la envolvente (pulg)	1/4	5/8	2 1/2
Material	SA-515-65	SA-515-65	SA-299-A
Largo	8500	7500	15000
Presión (kg/mm ²)	0,047	0,272	1,165
Tension admisible del material (kg/mm ²)	12,8	12,8	13,9
Eficiencia de ligamentos	1,000	1,000	1,000
Coefficiente de temperatura adimensional	0,400	0,400	0,400
Factor de Dimension " L "	760	760	915
Sobre espesor por corrosion (envolvente en mm)	3,175	3,175	3,175
Sobre espesor por corrosion (Casquetes en mm)	3,175	3,175	3,175
Espesor calculado Casquetes (mm)	4,571	11,267	41,844
Espesor adoptado casquetes (pulg)	1/5	1/2	1 3/4
Temperatura (°C)	149,490	228,48	322,45

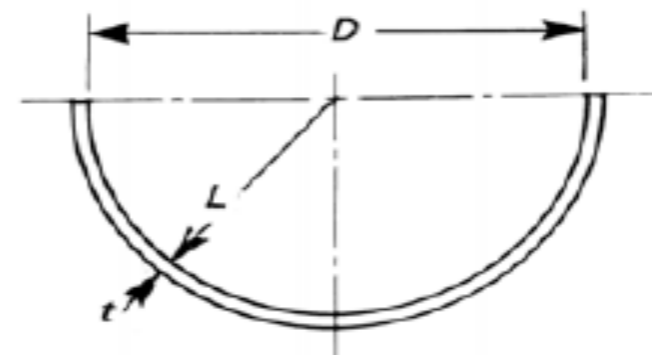
PG-27.2.2 Piping, Drums, Shells, and Headers.

Based on strength of weakest course.

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad \text{or} \quad \frac{PR}{SE - (1 - y)P} + C$$

(e) **Hemispherical Heads.** When the thickness of a hemispherical head does not exceed 0.356L, or P does not exceed 0.665SE, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PL}{2SE - 0.2P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{L + 0.2t} \quad (3)$$



(c) Hemispherical

Selección del Factor Y, en base del material y temperatura del equipo

PG-27.4.6 Nota 6

y = un coeficiente que tiene los siguientes valores:

	Temperatura, °F (°C)							
	900 (480) e inferior	950 (510)	1,000 (540)	1,050 (565)	1,100 (595)	1,150 (620)	1,200 (650)	1,250 (675) y superior
Ferrítico	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenítico	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Aleación 800, 801	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
800H, 800HT	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
825	0.4	0.4	0.4	...	...	...	...	...
230 Aleación	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
N06022	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06045	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06600	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
N06601	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
N06625	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	...	...	...
N06690	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
Aleación 617	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
S31803	0.4	...	...	...	...	...	...	...

Espesor		Peso aprox. por m ²
Pulgadas	mm	
1/8	3.17	25.12
3/16	4.76	37.68
1/4	6.35	50.24
5/16	7.94	62.80
3/8	9.52	75.36
7/16	11.11	87.92
1/2	12.70	100.48
9/16	14.29	113.04
5/8	15.87	125.60
3/4	19.06	150.72
7/8	22.22	175.84
	25.40	200.90
1 1/4	31.75	251.20
1 1/2	38.10	301.44
1 3/4	44.45	351.44
	50.80	401.92
2 1/2	63.50	502.40
	76.20	602.88
3 1/2	88.90	703.36
	101.60	803.84

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	GRUPO	
	TITULO		REV	A
			HOJA	20

Dimensionamiento Domos: Silletas

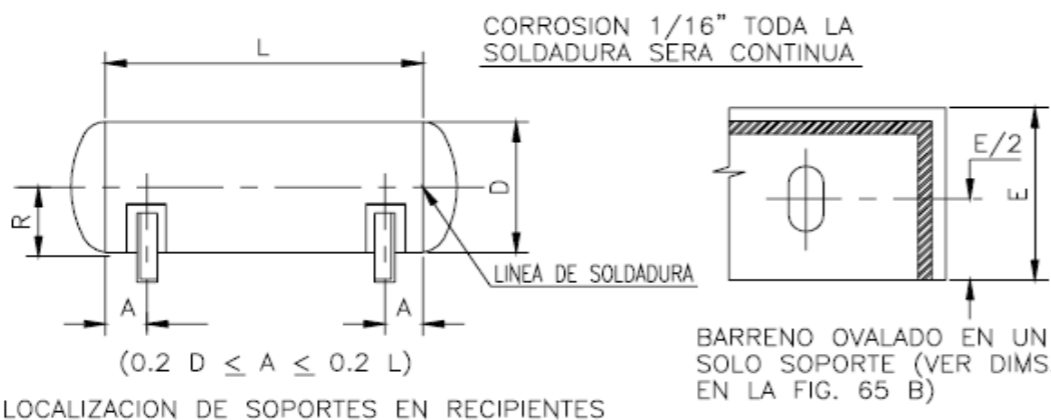
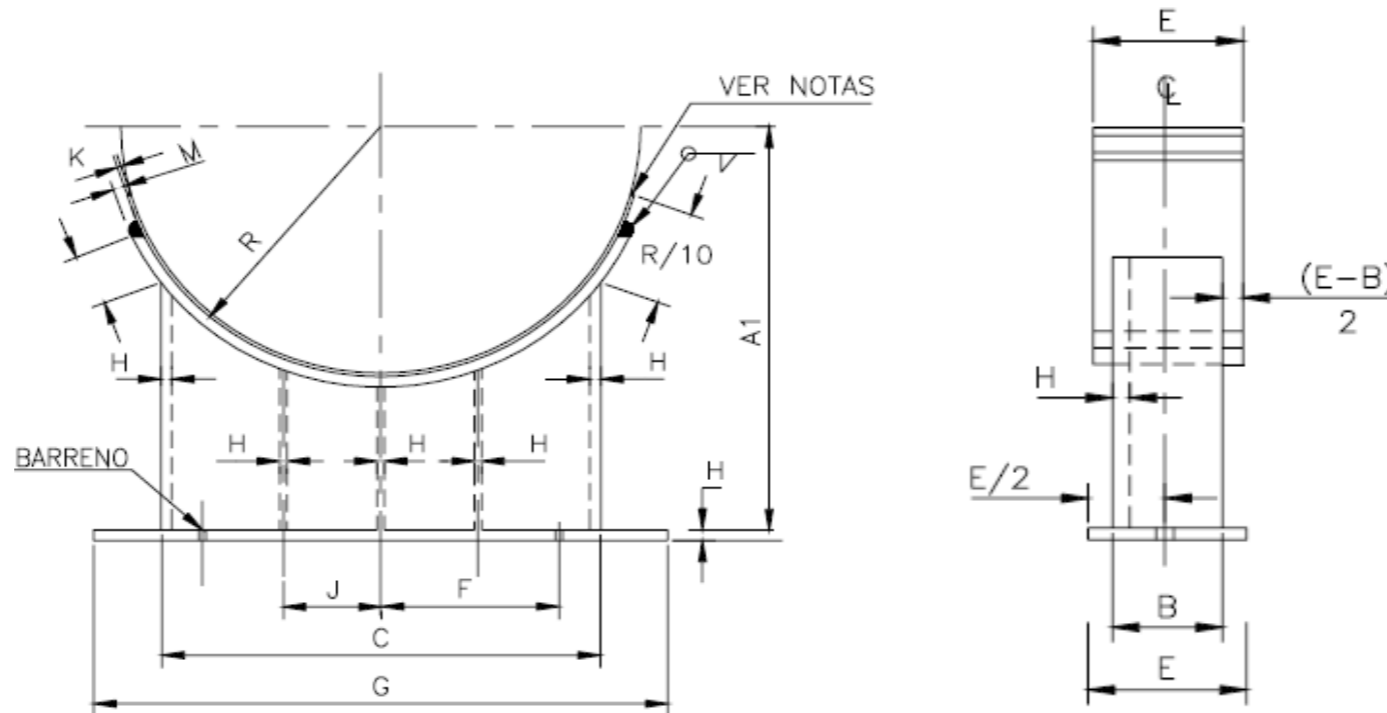
Domos	Diámetro [m]	Largo [m]	Pi	Espesor [m]	Peso específico [Kg/m³]	Peso envolvente [Kg]	Diámetro interior [m]	Volumen [m³]	Peso casquete [kg]	Peso total vacío [Kg]	Volumen envolvente [m³]	Volumen casquete [m³]	Volumen total [cm³]	Peso total lleno [Kg]
HP	1,83	15	3,14	0,0635	7850	42965,056	1,703	0,622469	4886,381	47851,44	34,149961	2,584773	36734,73	84586,17
IP	1,52	7,5	3,14	0,01587	7850	4459,4478	1,48826	0,112744	885,0404	5344,488	13,040329	1,725102	14765,43	20109,92
LP	1,52	8,5	3,14	0,00635	7850	2022,2533	1,5073	0,045683	358,6134	2380,867	15,159608	1,792163	16951,77	19332,64

IP Intermediate pressure } Ambos domos verifican su peso para dos silletas
 LP Low pressure }
 HP High pressure } No verifica su peso para 2 silletas, entonces utilizaremos 4 silletas

CARACTERISTICAS																	
DIAM. RECIPIENTE D	CARGA MAXIMA PARA 2 SOPORTES Kg	TODAS LAS DIMENSIONES EN PULGADAS										PESO DE UN SOPORTE Kg	CARTABONES INTERMEDIOS				
		A1	B	C	D	E	F	G	H	J	K						
24	3410	19	6	22	3/8	7	8	23	5/16	11	3/16	3/4	1	1x1-1/2	1/4	23	1
30	4545	22	6	27	7/16	7	10-1/2	29	5/16	13-1/2	3/16	3/4	1	1x1-1/2	1/4	30	1
36	6818	25	6	32	1/2	7	12-1/2	34	3/8	16	1/4	3/4	1	1x1-1/2	1/4	41	1
42	9090	28	6	38	9/16	7	16	40	1/2	19	5/16	3/4	1	1x1-1/2	5/16	50	1
48	18180	31	8	43	5/8	9	18	45	1/2	21-1/2	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8x1-3/4	3/8	91	1
54	22727	34	8	48	5/8	9	20	50	1/2	12	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8x1-3/4	3/8	110	2
60	27270	37	8	53	5/8	9	23	55	1/2	13	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8x1-3/4	3/8	123	2
66	34090	40	8	58	5/8	9	25	60	1/2	14	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8x1-3/4	3/8	136	2
72	38636	43	8	63	5/8	9	28	65	1/2	16	3/8	7/8	1-1/8	1-1/8x1-3/4	3/8	148	2



SOPORTE PARA RE
HORIZONTAL



- NOTAS:
 1.- LA PLACA DE REFUERZO O DE CORROSION SERA SOLDADA AL RECIPIENTE CON CORDON CORRIDO, Y SE EXTENDERA R/10 (R EN PULG.) A CADA LADO DE LA SILLETA.
 2.- HACER BARRENO DE 1/4" EN PLACA DE REFUERZO O CORROSION Y TAPARLO DESPUES DE SOLDAR.
 3.- SI EL MATERIAL DEL RECIPIENTE NO ES DE ACERO AL CARBON, LA PLACA SERA DEL MISMO MATERIAL DEL RECIPIENTE, Y DEBERA SOLDARSE AL MISMO CON LA SOLDADURA ADECUADA.
 4.- MATERIALES OPTATIVOS: ASTM A-283 Gr. "C", ASTM A-36.

Domos	Diámetro	Largo	0,2*L	0,2*D	A
HP	1,83	15,00	3,00	0,37	Entre 0,37M y 3,00M
IP	1,52	7,50	1,50	0,30	Entre 0,3M y 1,5M
LP	1,52	8,50	1,70	0,30	Entre 0,3M y 1,7M

Medida A establecida [mm]
 2500 2 pares soportes equidistantes con 3333 mm de distancia en el medio
 900 2 soportes con 5700mm de distancia
 900 2 soportes con 6700mm de distancia

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL			AÑO	2021
				GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones		REV	A
	TITULO			HOJA	21

Dimensionamiento Domos: Orejas de Izaje (IP-LP)

Domos	To [mm]	W [KG]	S [Kg/mm ²]	D [mm]	C [mm]	Tc [mm]	As	Ar	Es mayor?	Verifica?
Intermediate pressure	10,327	5036,350	12,8	38,1	190,5	0,00976	2782,190	393,465	Si	Si
Low pressure	3,987	1944,510	12,8	38,1	114,3	0,01086	644,514	151,915	Si	Si

	Material	Cantidad orejas de izaje	Distancia minima desde la soldadura
IP Intermediate pressure	SA 515 Gr 65	2	74,76 mm
LP Low pressure	SA 515 Gr 65	2	25,925 mm

Nota (1) Para el Domo de baja / media se adopta el espesor 19,05 mm como espesor de oreja de izaje

2.5. CÁLCULO DE OREJAS DE IZAJE

Con el fin de transportar, localizar, dar mantenimiento, etc., a los recipientes a presión, es necesario equiparlos por lo menos con dos orejas de izaje, el espesor de éstas se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$t_o = \frac{W}{SD}$$

DONDE:

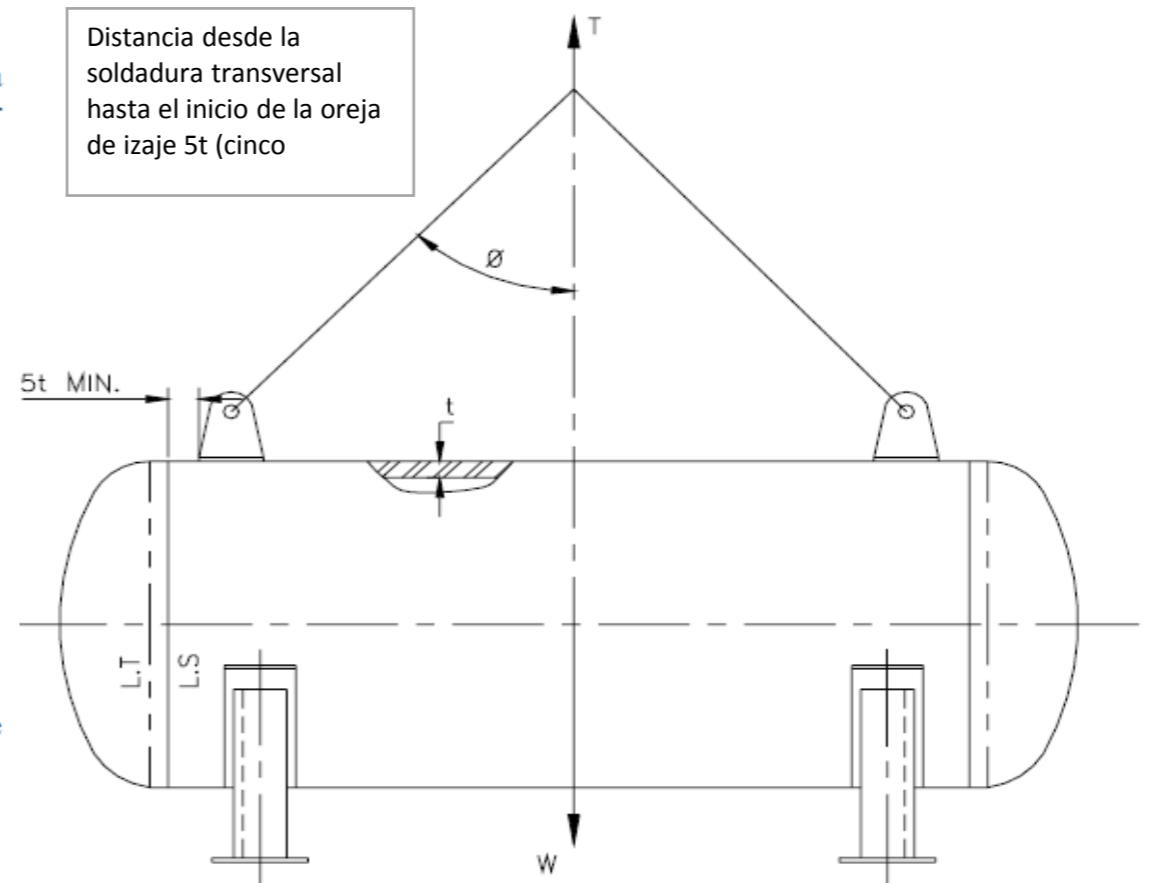
t_o = Espesor mínimo requerido en la oreja de izaje.

W = Peso del equipo vacío.

S = Esfuerzo a la tensión del material de la oreja.

D = Distancia mostrada en la **Figura No. 66**

En la **Figura No. 67**, se muestra un croquis de localización de las orejas de izaje.



Es conveniente verificar que el espesor del recipiente será suficiente para soportar las fuerzas aplicadas en la oreja de izaje, el espesor mínimo requerido en el cuerpo o en la placa de respaldo de la oreja está dado por la ecuación:

$$t_c = \frac{W}{S(C+t_o)2}$$

DONDE:

t_c = Espesor mínimo requerido en la placa de respaldo o en el cuerpo.

W = Peso del equipo vacío.

S = Esfuerzo a la tensión del material del cuerpo o placa de respaldo.

C = Longitud mostrada en la **Figura No. 66**

t_o = Espesor de la oreja de izaje.

Finalmente, debemos verificar que la soldadura aplicada para fijar la oreja de izaje sea suficiente, ello lo haremos con las siguientes ecuaciones:

$$A_s = 1.4142 (t_o)C \quad y \quad A_r = \frac{W}{S}$$

DONDE:

A_s = Área de soldadura aplicada.

A_r = Área mínima de soldadura requerida.

Siempre se deberá cumplir con la condición $A_s \geq A_r$.

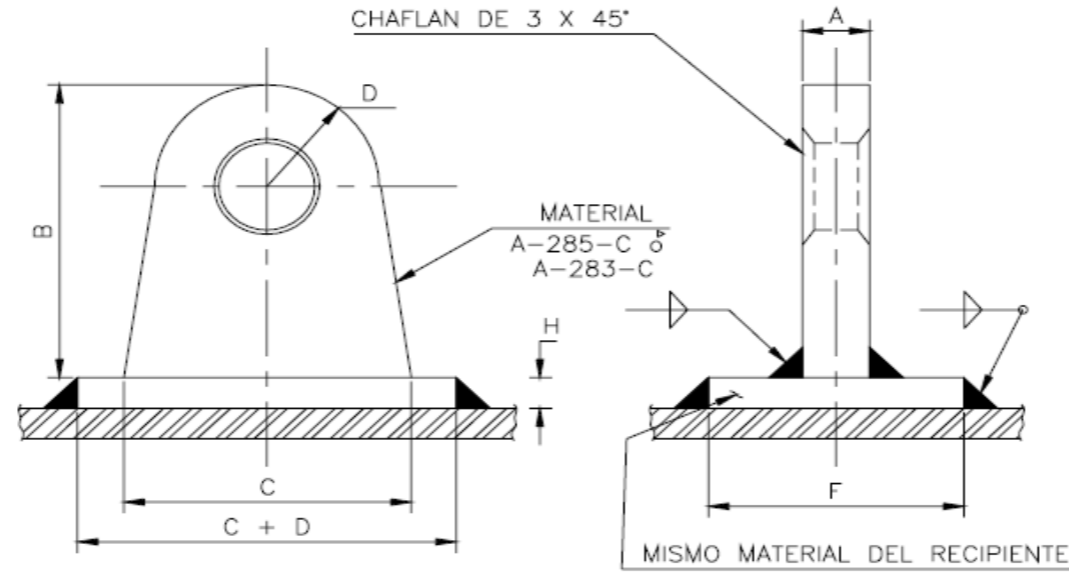
En la **Figura No. 66**, se muestran las dimensiones de algunas orejas de izaje recomendables, las cuales están dadas en función del peso del recipiente.

Debemos considerar que la capacidad máxima está dada para cada una de las orejas.

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
			HOJA	22

Dimensionamiento Domos: Orejas de Izaje (IP-LP)

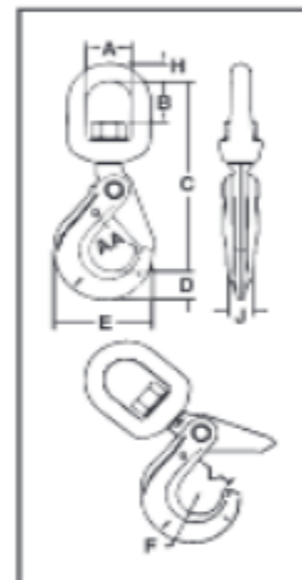


NOTA:
1.- LA MAXIMA DIMENSION DE SOLDADURA SERA IGUAL AL MENOR ESPESOR DE LA PLACA BASE.

INGLESIA	OREJAS DE IZAJE							NORMAS		
	DIMENSIONES EN PULGADAS							FIGURA No. 66		
CAPACIDAD MÁX. Kgs.	A	B	C	D	F	DIAMETRO DE BARRENDOS	G	H	CANT. PZAS. P/RECIPIENTE	
2000	3/4	4-1/2	4-1/2	1-1/2	2-1/4	1-1/2	3/4	3/8	2	
4500	3/4	7-3/4	7-3/4	1-1/2	2-1/4	1-1/2	3/4	3/8	2	
5800	1	8-7/16	8-7/16	1-1/2	2-1/2	1-1/2	3/4	3/8	2	
13500	1-1/2	8-3/4	8-3/4	1-1/2	3-1/2	1-1/2	3/4	1/2	2	
24500	2	9-3/4	9-3/4	1-5/8	3-1/2	1-11/16	3/4	1/2	4	

Nota (1) Capacidad max. 2000kg para el Domo de baja por oreja

Nota (2) Capacidad max. 4500kg para el Domo de media por oreja



S-1326 SHUR-LOC® Swivel Hooks • Suitable for infrequent, non-continuous rotation under load.

Chain Size		Frame code	Grade 100 Alloy Chain Working Load Limit (lb) 4:1*	Working Load Limit (lb) 5:1*	S-1326 Stock No.	Weight Each (lb)	Dimensions (in)									
(in)	(mm)						A	B	C	D	E	F	H	J	L	AA**
-	6	D	3200	2560	1004304	1.26	1.50	1.32	6.13	.79	2.60	.67	.50	.63	1.13	1.50
1/4 - 5/16	7-8	G	5700	4560	1004313	2.62	1.75	1.59	7.60	1.10	3.50	.87	.63	.81	1.38	2.00
3/8	10	H	8800	7040	1004322	4.70	2.00	1.73	8.83	1.17	4.39	1.10	.75	.94	1.75	2.50
1/2	13	I	15000	12000	1004331	8.64	2.50	2.38	11.20	1.67	5.45	1.26	1.00	1.16	2.11	3.00
5/8	16	-	22600	18000	1004340	17.00	2.75	2.70	12.90	2.05	6.56	1.50	1.13	1.50	2.49	3.50
3/4	18 - 20	-	35300	28240	1004349	24.00	2.83	2.52	14.10	2.22	7.76	2.01	1.10	2.03	3.52	5.00
7/8	22	-	42700	34160	1004358	29.00	3.44	3.19	16.40	2.45	8.75	2.26	1.30	2.20	3.83	6.00

*Ultimate Load is 4 times the Working Load Limit. ** Deformation Indicators.

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL			AÑO	2021	
				GRUPO		
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones			REV	A
	TITULO			HOJA	23	

Dimensionamiento Domos: Orejas de Izaje (HP)

Domos	To [mm]	W [KG]	S [Kg/mm ²]	D [mm]	C [mm]	Tc [mm]	As	Ar	Es mayor?	Verifica?
HP	15,529	46545,000	23,6	127	254	0,02715	5578,300	1972,246	Si	Si

	Material	Cantidad orejas de izaje	Distancia minima desde la soldadura
HP	High pressure	SA 372 Gr e Ale. Desig. K1304-70	2
			158,75 mm

Nota (1) Para el Domo de alta se adopta el espesor 50,8 mm como espesor de oreja de izaje

2.5. CÁLCULO DE OREJAS DE IZAJE

Con el fin de transportar, localizar, dar mantenimiento, etc., a los recipientes a presión, es necesario equiparlos por lo menos con dos orejas de izaje, el espesor de éstas se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$t_o = \frac{W}{SD}$$

DONDE:

t_o = Espesor mínimo requerido en la oreja de izaje.

W = Peso del equipo vacío.

S = Esfuerzo a la tensión del material de la oreja.

D = Distancia mostrada en la **Figura No. 66**

En la **Figura No. 67**, se muestra un croquis de localización de las orejas de izaje.

Finalmente, debemos verificar que la soldadura aplicada para fijar la oreja de izaje sea suficiente, ello lo haremos con las siguientes ecuaciones:

$$A_s = 1.4142 (t_o)C \quad y \quad A_r = \frac{W}{S}$$

DONDE:

A_s = Área de soldadura aplicada.

A_r = Área mínima de soldadura requerida.

Siempre se deberá cumplir con la condición $A_s \geq A_r$.

En la **Figura No. 66**, se muestran las dimensiones de algunas orejas de izaje recomendables, las cuales están dadas en función del peso del recipiente.

Debemos considerar que la capacidad máxima está dada para cada una de las orejas.

Es conveniente verificar que el espesor del recipiente será suficiente para soportar las fuerzas aplicadas en la oreja de izaje, el espesor mínimo requerido en el cuerpo o en la placa de respaldo de la oreja está dado por la ecuación:

$$t_c = \frac{W}{S(C+t_o)2}$$

DONDE:

t_c = Espesor mínimo requerido en la placa de respaldo o en el cuerpo.

W = Peso del equipo vacío.

S = Esfuerzo a la tensión del material del cuerpo o placa de respaldo.

C = Longitud mostrada en la **Figura No. 66**

t_o = Espesor de la oreja de izaje.

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
	Máquina Única		GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	TITULO	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
			HOJA	24

Dimensionamiento Domos: Orejas de Izaje (HP)

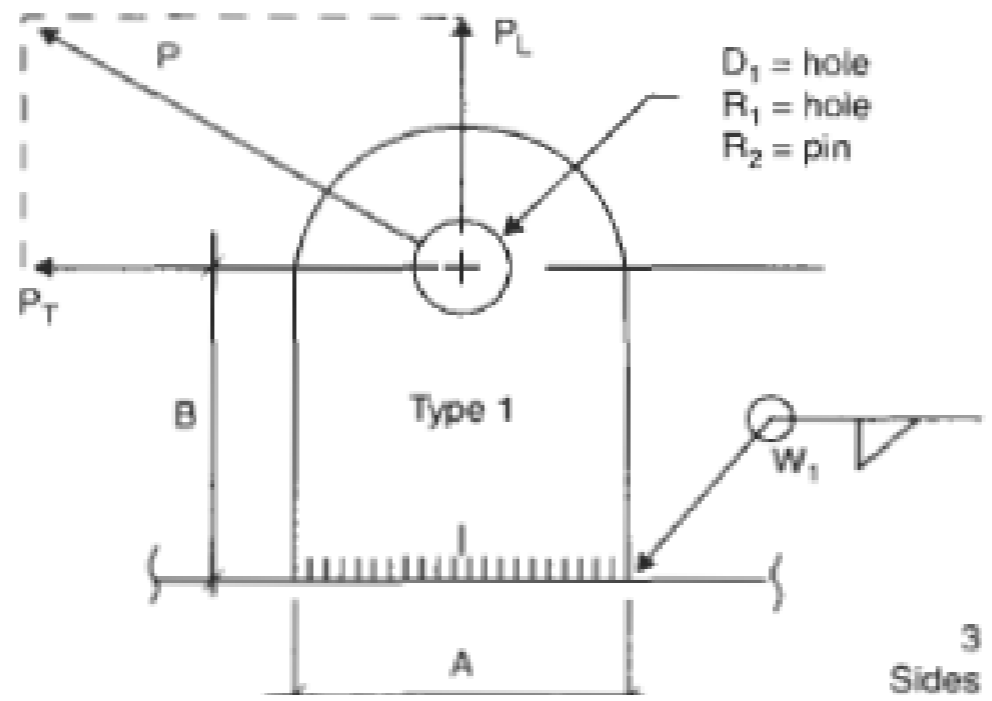
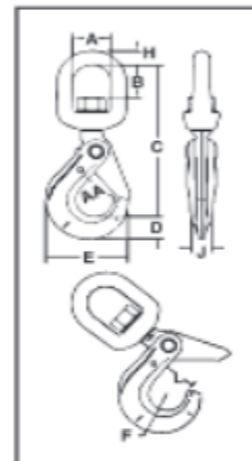


Table 7-5
Lug Dimensions

W _L kips	A	D ₁	B	C	t _L	w ₁	W _L kips	A	D ₁	B	C	t _L	w ₁
4	3	0.88	1.5	2	0.5	0.25	20	7	1.75	3	3	1	0.38
6	3.5	1	1.63	2	0.63	0.25	25	7	2.38	4	4	1	0.44
8	4	1.13	1.75	2	0.63	0.25	35	8	2.38	4	4	1.125	0.5
10	4.5	1.25	2	2	0.75	0.25	40	8	2.38	4	4	1.125	0.63
12	5	1.38	2.13	3	0.88	0.25	45	8	2.88	4	4	1.125	0.63
14	5.5	1.5	2.38	3	1	0.38	50	10	2.88	4	4	1.25	0.75
16	6.5	1.63	2.5	3	1	0.38	55	10	2.88	4	4	1.25	0.75
18	7	1.75	2.75	3	1	0.38	60	10	2.88	4	4	1.25	0.88



S-1326
SWIVEL HOOK



S-1326 SHUR-LOC® Swivel Hooks • Suitable for infrequent, non-continuous rotation under load.

Chain Size		Frame code	Grade 100 Alloy Chain Working Load Limit (lb) 4:1*	Working Load Limit (lb) 5:1*	S-1326 Stock No.	Weight Each (lb)	Dimensions (in)									
(in)	(mm)						A	B	C	D	E	F	H	J	L	AA**
-	6	D	3200	2560	1004304	1.26	1.50	1.32	6.13	.79	2.60	.67	.50	.63	1.13	1.50
1/4 - 5/16	7-8	G	5700	4560	1004313	2.62	1.75	1.59	7.60	1.10	3.50	.87	.63	.81	1.38	2.00
3/8	10	H	8800	7040	1004322	4.70	2.00	1.73	8.83	1.17	4.39	1.10	.75	.94	1.75	2.50
1/2	13	I	15000	12000	1004331	8.64	2.50	2.38	11.20	1.67	5.45	1.26	1.00	1.16	2.11	3.00
5/8	16	-	22600	18000	1004340	17.00	2.75	2.70	12.90	2.05	6.56	1.50	1.13	1.50	2.49	3.50
3/4	18 - 20	-	35300	28240	1004349	24.00	2.83	2.52	14.10	2.22	7.76	2.01	1.10	2.03	3.52	5.00
7/8	22	-	42700	34160	1004358	29.00	3.44	3.19	16.40	2.45	8.75	2.26	1.30	2.20	3.83	6.00

*Ultimate Load is 4 times the Working Load Limit. ** Deformation Indicators.

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	25

Dimensionamiento Domos: Eliminador de niebla

También llamado desnebulizador (demister). Se trata de un separador secundario.

Domos	Diámetro [mm]	Largo [mm]	Espesor [pulg]	Diámetro [mm]*	Nivel de Agua	
					H1 [pulg]	H2 [pulg]
High pressure (HP)	1830	15000	3	33	34	32
Intermediate pressure (IP)	1520	7500	1	89	28	26
Low pressure (LP)	1520	8500	0	33	28	26

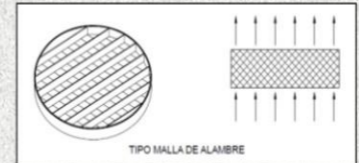
*Salida al sobrecalentador



DDP-01: Almohadilla antivaho para cajón de rejilla de acero inoxidable.

Eliminador de niebla tipo malla

Retienen las partículas líquidas hasta que adquieren un tamaño suficientemente grande como para que el peso supere tanto la tensión superficial como la acción de arrastre producida por el gas.



Especificaciones de la almohadilla antivaho del cajón

- **Material:** acero inoxidable, cobre, Monel, PP, PE, PVC, etc.
- **Diámetro del alambre:** 0,2 mm, 0,22 mm, 0,23 mm, 0,25 mm, 0,28 mm, 0,3 mm, 0,35 mm.
- **Tamaño de la malla:** 2 mm x 3 mm, 4 mm x 6 mm a 12 mm x 6 mm.
- **Altura del panel:** 100 mm o 150 mm.
- **Diámetro del panel:** 300 mm - 5000 mm.
- **Componente:** 1, 2, 4, 6, 8 y otras partes.

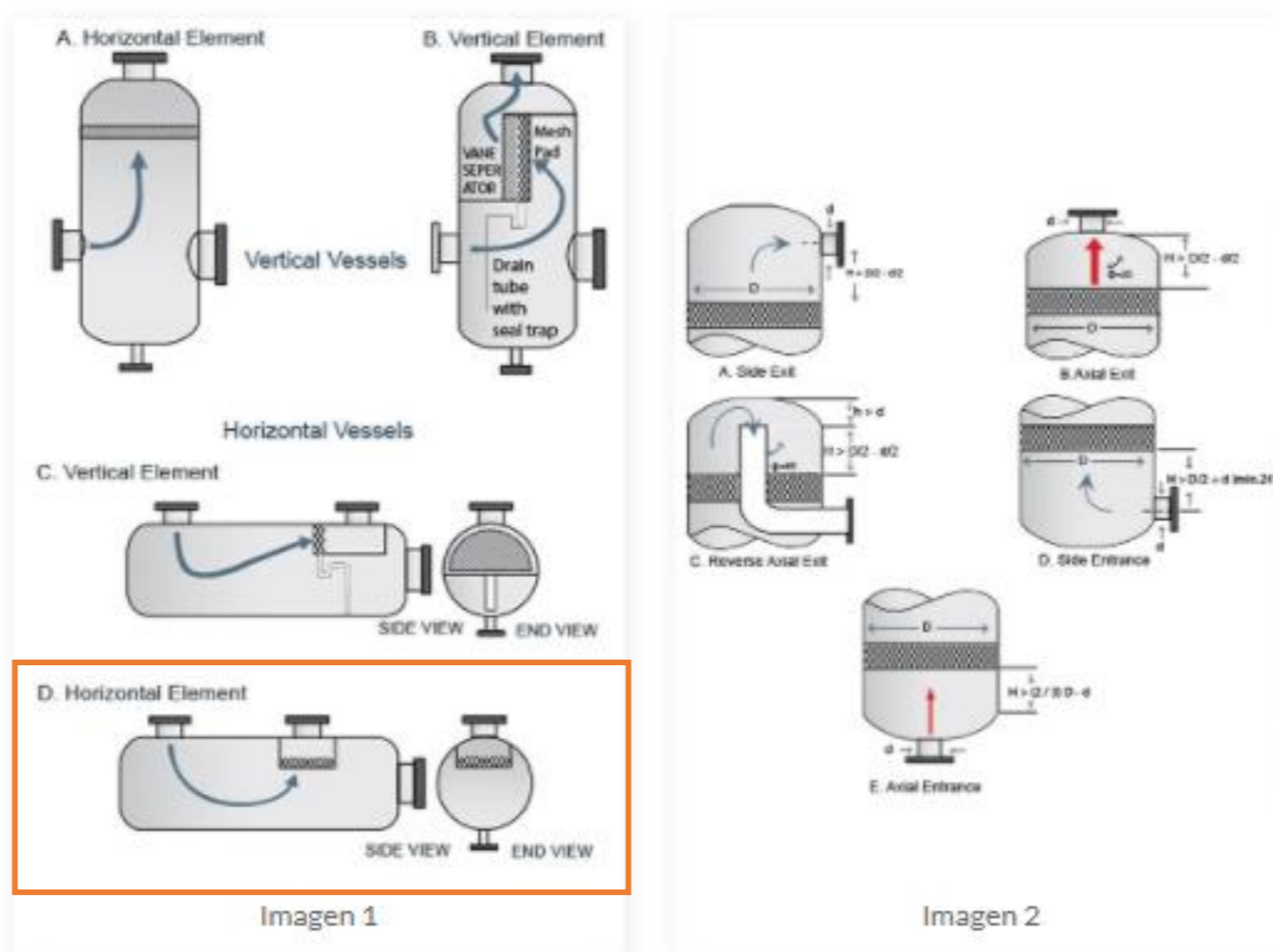


Imagen 1

Imagen 2

Especificaciones de la almohadilla antivaho del cajón

Artículo	Diámetro del panel (mm)	Altura del panel (mm)	Área del desempañador efectivo (m ²)
DDPS-01	300	100/150	0,04
DDPS-02	400	100/150	0,09
DDPS-03	500	100/150	0,15
DDPS-04	600	100/150	0,21
DDPS-05	700	100/150	0,27
DDPS-06	800	100/150	0,38
DDPS-07	900	100/150	0,47

Utilizaremos el mismo para las salidas de los tres domos: Alta - Intermedia - Baja

REFERENCIAS

<https://www.demisterpads.com/demister-pad/drawer-demister-pad.html>

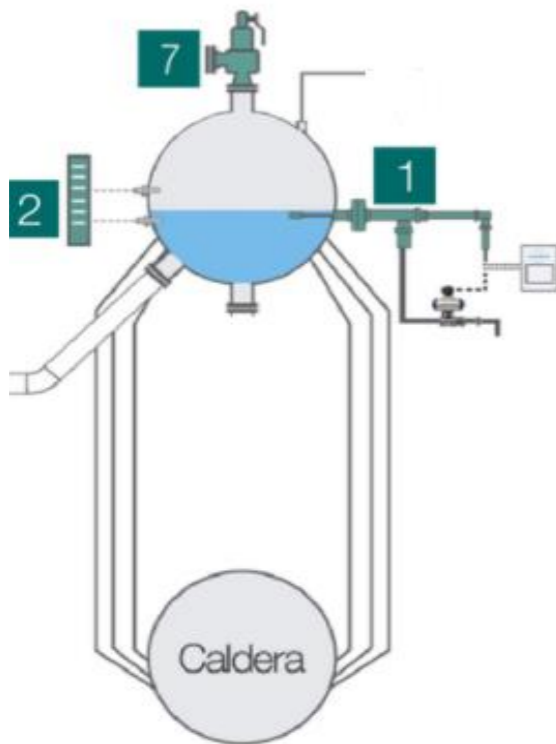
<https://www.demisterpads.com/service/installation-maintenance/specific-installation-position.html>

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
	TITULO		HOJA	26

Dimensionamiento Domos: Control de nivel

Domos	Diametro [mm]	Largo [mm]	Espesor [pulg]	Diámetro [mm] *	Nivel de Agua		Flujo máscio [kg/seg]	Presión		Temperatura		Generación Vapor [lb/min]
					H1 [mm]	H2 [mm]		bar	psig	°C	°F	
HP	1830	15000	2 1/2	33,40	863,60	812,80	82,378	116,5	1689	322,45	612,41	653793
IP	1520	7500	5/8	88,90	711,20	660,40	91,096	27,2	400	228,48	443,26	722984
LP	1520	8500	1/4	33,40	711,20	660,40	8,463	4,7	68	149,49	301,08	67167

*Salida al sobrecalentador

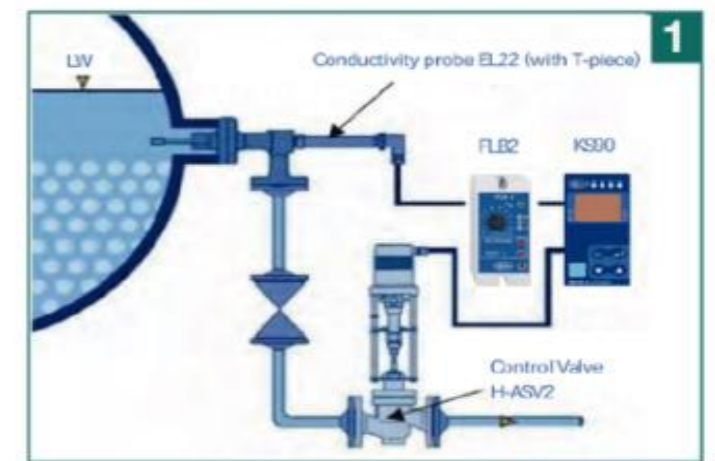


Control sólidos en suspensión, superficie agua en domo

Todas las calderas acumulan sólidos en la superficie del agua dentro del domo, cambiando la conductividad del agua proporcional a esta concentración.

Los operadores de caldera mantienen parcialmente abiertas válvulas de purga con el propósito de limitar la concentración de sólidos en superficie. Esto implica altas pérdidas de agua, energía y químicos.

Para minimizar éstas pérdidas se instalan sistemas de monitoreo y control que abren una válvula sólo cuando la conductividad excede un valor predeterminado (una concentración de sólidos predeterminada).



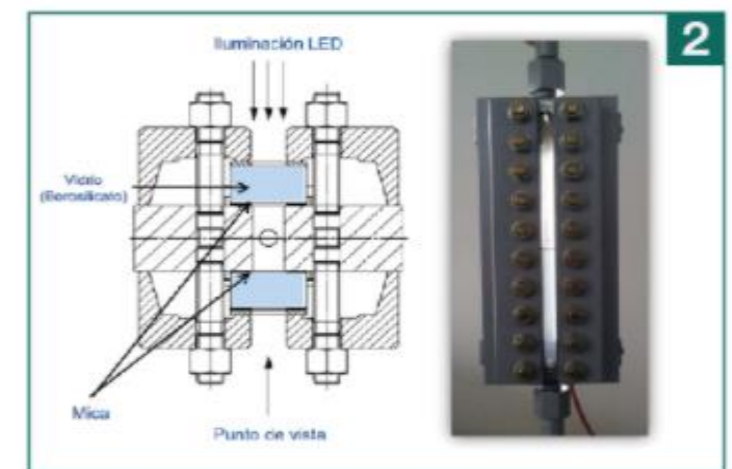
Ver más

Visores para Nivel agua en Domo Calderas Alta Presión

La empresa **Igema**, fabricante alemán de estos visores, lleva más de 100 años desarrollando la tecnología que asegura productos confiables.

Fabrican indicadores de varios tipos:

- **Mecánicos:**
 - Tipo Réflex
 - Tipo transparente
 - Tipo magnético
 - Tipo bicolor
 - Tipo remoto
- **Electrónicos**



Ver más

Válvulas de seguridad para altas presiones y temperaturas

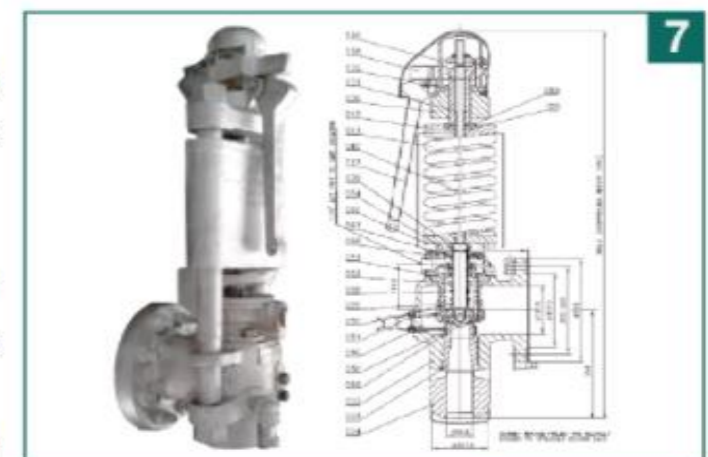
Problema:

Altos costos y largos tiempos de entrega para válvulas de seguridad en calderas operando a más de 900PSI y temperaturas superiores a 450°C.

Solución:

Ofrecemos válvulas de muy alta calidad que hemos visto operar por más de 5 años sin presentar problemas de falla de los asientos por disparos repetitivos.

Brindamos garantía de un año, cubriendo los gastos de reparación y calibración.



Ver más

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	27

Aislación General: Parámetros

Previamente al cálculo del calor transferido, determinamos los factores principales de la aislación a utilizar

Material

CONTROL Y PROTECCION DE TEMPERATURA

CAJA MANTA CERAMICA KAOWOOL



Código :
 Marca : WILLIAMSON INDUSTRIAL

Descripción

La manta de fibra cerámica es aislante con agujas de alta resistencia que está hecha de fibra cerámica a granel. La combinación de largas fibras hiladas y la operación de punción producen mantas más resistentes, elásticas y fuertes, que resisten el desgarro tanto antes como después del calentamiento.

La manta de fibra de cerámica es completamente inorgánica y está disponible en una variedad de grados de temperatura, densidades y tamaños. La manta se puede doblar, comprimir y encapsular para producir el módulo.

Rango de altas temperaturas (más de 550°C)

En general, dentro de este rango, además de las altas temperaturas, las condiciones de servicio suelen ser severas, y el material debe resistir abrasión, erosión producida por materiales fundidos, contacto directo con llamas, atmósferas corrosivas y shocks térmicos.

La aplicación de estos materiales requiere técnicas especiales, que escapan de las tareas de un montaje industrial corriente

Los materiales que se pueden utilizar son

Fibra mineral o silicato de calcio hasta aprox 900°C

Fibras cerámicas de Al₂O₃-SiO₂ hasta 1400°C

Refractarios cerámicos moldeados hasta 1650°C

Fibras de óxidos metálicos como Al₂O₃ o ZrO₂ hasta 1650°C

Fibras de carbón hasta 2000°C

Espesor de pared [L]

En concordancia con el libro Cao - Transferencia de calor en ingeniería y teniendo en cuenta la protección personal de los operarios para obtener del lado externo del recipiente una temperatura máxima de 55°C, el espesor seleccionado será de **L = 300 mm**

Cuando la razón para el aislamiento es la protección del personal, los cálculos se realizan de modo de asegurar que la temperatura externa de la superficie aislada no sea superior a 55 °C. En este caso los espesores resultantes son diferentes como se aprecia en la tabla 3-4

Tabla 3-4 - Eduardo Cao

Dia (in)	Temperatura °C														
	50	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	550	600
1/2	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	38	50	50
3/4	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
1	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
1 1/2	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
2	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
3	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
4	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
6	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
8	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
10	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
12	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
14	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
16	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
18	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
20	0	25	25	25	25	25	25	25	25	25	38	38	50	50	63
plano	0	25	25	38	38	50	63	75	100	125	150	189	216	250	300

REFERENCIAS

<https://www.williamsonindustrial.cl/index.php/product/caja-manta-ceramica-kaowool/>

Libro Eduardo Cao - Transferencia de calor en ingeniería (página 27/30)

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL				AÑO	2021
					GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones			REV	A
	TITULO				HOJA	28

Aislación General: Cálculo del calor transferido

Conductividad termica [K]

Description	STD BLANKET			HP BLANKET		HA BLANKET		HZ BLANKET	
Classification Temperature (°C)	1260			1260		1350		1430	
Chemical Composition (%)									
Al ₂ O ₃	≥43			≥44		≥52		≥35	
SiO ₂	≥54			≥55		≥47		≥49	
ZrO ₂	-			-		-		≥15	
Color	White			White		White		White	
Shot Content (%)	≤15			≤15		≤15		≤12	
Density (kg/m ³)	64	96	128	96	128	96	128	96	128
Tensile Strength (kPa)	30	50	70	50	70	50	70	50	70
Permanent Linear Shrinkage (%)	1000°C x 24h ≤2.5			1100°C x 24h ≤2.5		1200°C x 24h ≤3.0		1350°C x 24h ≤3.0	
Thermal Conductivity (W/m-K)									
200°C	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
400°C	0.12	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10
600°C	0.20	0.19	0.18	0.19	0.17	0.18	0.16	0.16	0.15
800°C	0.30	0.23	0.20	0.23	0.20	0.22	0.20	0.21	0.19
1000°C	0.40	0.32	0.27	0.31	0.26	0.30	0.26	0.30	0.26

Q: Calor transferido

$$Q = k \frac{A}{L} \Delta t$$

- Q** Flujo de calor [Btu/hs]
- k** Conductividad termica [Btu/hs x pie x °F]
- A** Area de la pared [pie²]
- L** Espesor de la pared [pie]
- Δt** Diferencia de temperatura [°F]
- m** Masa [Lb/h]s

Composición [%]	Peso Molar [gr/mol]	Fracción Molar	% Volumen	CP cada componente [Btu/Lb°F]	CP de la mezcla [Btu/Lb°F]	k [Btu/hs x pie°F]	Temperatura		Area*		L		Q con la aislacion [Btu/hs]
							Inicial [°F]	Final [°F]	[pie2]	[mm2]	[pie]	[mm]	
CO2	5,818	44	0,1322	3	0,0125	0,382417	1077,08	131	91,49315	8500000	0,9842	300	-17589,89
N2	73,4787	22	3,3380	79	0,0309								
H2O	5,218	18	0,2899	7	0,5147								
O2	14,2585	32	0,4456	11	0,2523								
Ar	1,2288	40	0,0307	1	0,5207								
		4,24	100%										

*área más desfavorable y grande

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	29

Dimensionamiento Chimenea: Parámetros - Verificación

Tiro Natural: Este sistema depende de la diferencia de temperaturas medias entre las columnas de humos del interior de la chimenea y la columna de aire del exterior del equipo.

Si reducimos este sistema de tiro de un hogar a sus elementos básicos, tendremos una columna de aire y otra de humos donde la presión hidrostática depende de los pesos específicos de los fluidos y de la altura de las columnas. Por el principio esta diferencia de presiones origina el movimiento de los fluidos de la zona de más a presión a la de menos presión.

H [m]	δ_a aire [N/m ³]	Ta [K]	Pa [Kg/m ²]	δ_g gas [N/m ³]	Tg [K]	Pg [Kg/m ²]
40	5,97	313	111,22	10,83	429	168,42

Peso específico del aire o gas

$$Pe = \rho \cdot g$$

Pe = Peso específico [N/m³]

ρ = Densidad [kg/m³]

g = Aceleración de la gravedad [m/s²]

Presión del aire o gas

Presión de gases: $Pg = \left(H \cdot \delta_g \cdot \frac{273}{Tg} \right)$

$$Pg = \left(H \cdot \delta_g \cdot \frac{273}{273 + Tg} \right)$$

Presión de aire: $Pa = \left(H \cdot \delta_a \cdot \frac{273}{Ta} \right)$

$$Pa = \left(H \cdot \delta_a \cdot \frac{273}{273 + Ta} \right)$$

H Altura de la chimenea
 δ_a Peso específico del aire o gas
Ta Temperatura del Aire
Pa Presión del Aire
Tg Temperatura del Gas
Pg Presión del Gas

Pérdida de carga

La expresión de Hagen- Poiseuille es:

$$h = \frac{64}{Re} \times \left(\frac{L}{D} \right) \times \left(\frac{v_{media}^2}{2 \times g} \right)$$

En donde:

h: pérdida de carga o de energía (m)

vmedia: la velocidad media del fluido a lo largo del eje z del sistema de coordenadas cilíndrico (m/s)

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

Re: número de Reynolds, cuya expresión es:

$$Re = \frac{v_{media} \times D \times \rho}{\eta} \quad (14)$$

H : altura chimenea	40	m
ancho chimenea	11	m
área Chimenea	379,94	m ²
L : Longitud de la tubería	25	m
V : Velocidad media del	1,50	m/s
g : Aceleración de la	9,81	m/s ²
Rugosidad relativa	0,00008	adimensional
Re : Número de Reynolds	524,46	adimensional
h : Pérdida de carga	0,0509	mca = 0,0050 kg/cm ²

Pa [Kg/Cm ²]	Pg [Kg/Cm ²]	[presión del gas - pérdida de carga]	presión del gas > presión del aire	[presión del gas - pérdida de carga] > presión del aire
0,011	0,017	0,012	CUMPLE	CUMPLE

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	30

Dimensionamiento Chimenea: Parámetros - Verificación

Caso 1 - Compresión longitudinal

Material	P (libras)	Factor Seguridad	A [pulg ²]	Scl [psi]	E [psi]	t [pulg]	Y [adim]	D [pulg]	FS [adim]	Fy [psi]	t / D	Verificación 1	P/A	Verificación final
ASTM-A387 Gr 11	456304	1,4	339,961	3680,112	28500000	0,25	1,19	433,071	1,33	30700	0,000577	0,003016	1879,116	VERIFICA
												Verifica		

$$Y = 1$$

when $\frac{L_c}{r} \leq 60$ and $F_y \leq 50$ ksi

$$when \frac{L_c}{r} > 60 \text{ and } F_y \leq 50 \text{ ksi}$$

Verificación 1

Verificación final

$$Y = \frac{21,600}{18,000 + \left(\frac{L_c}{r}\right)^2}$$

$$K_s = \left(\frac{\frac{10F_y}{E} - \frac{t}{D}}{\frac{7.2F_y}{E}} \right)^2$$

$$S_{cl} = \frac{EtY}{4D (F.S.)} \text{ when } \frac{t}{D} \leq \frac{2.8 F_y}{E}$$

$$\frac{P}{A} \leq S_{cl}$$

B - Typical Annealed Properties (Class/Cond/Temp = 1)

Temperature		Minimum Yield		Minimum Tensile		Modulus of Elasticity	
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa
-20	-29	35.0	241.2	60.0	413.4	30,076	207,227
100	38	35.0	241.2	60.0	413.4	29,462	202,990
150	66	33.3	229.4	60.0	413.4	29,231	201,400

Caso 2 - Compresión y flexión longitudinal

Material	M [psi]	D [pulg]	P [Lib]	A [pulg ²]	I seccion [pulg ⁴]	Verificación [psi]	S _{bl} [psi]	Verificación Final
ASTM-A387 Gr 11	13110000	433,071	456304	339,960735	7.959.514,33	1.698,88	3680,1125	VERIFICA

$$\frac{P}{A} + \frac{MD}{2I_{section}} \leq S_{bl}$$

Caso 3 - Tensión circunferencial

Material	F _c [PSI]	Q _z [psi]	D [m]	t [m]	K (Adim)	FS	L _s (Pulg)	S _{cc}	Verificación Final
ASTM-A387 Gr 11	0,720	0,120	433,071	0,250	3,587	1,330	649,600	924,075	VERIFICA

The circumferential stress shall be less than the allowable stress, S_{cc} , calculated as

$$f_c = \frac{q_z D}{288t}$$

$$S_{cc} = \frac{1.30EK \left(\frac{t}{D}\right)^{1.5}}{(F.S.) \left(\frac{L_s}{D}\right)} \quad (4-12)$$

$$K = 1.68 \frac{F_y D}{Et} + 0.465 - \frac{0.0232 Et}{F_y D}$$

where q_z = external wind pressure on stack shell at elevation under consideration, psf and $C_f = 1.0$

$$\text{when } 0 \leq \frac{t}{D} \leq \frac{2.8 F_y}{E}, K = 1$$

$$\text{when } \frac{2.8 F_y}{E} < \frac{t}{D} \leq \frac{10F_y}{E},$$

Table 4.4.6 Factors of Safety

Load Combination	F.S.
Dead + Live + Other + Thermal + Along or Across Wind	1.50
Dead + Live + Other + Thermal + Seismic	1.50
Dead + Live + Other + Abnormal Thermal + Along Wind/4	1.33
Construction	1.33

Caso 4 - Tension de compresión longitudinal y circunferencial combinada

Cálculo	Comparativa	Verificación final
0,46163814	1	VERIFICA

$$\frac{\left(\frac{P}{A}\right) + \frac{MD}{2I_{section}}}{S_{bl}} + \left(\frac{f_c}{S_{cc}}\right)^2 \leq 1.0$$

Table 4.4.7 Minimum Structural Plate Thickness and Maximum Stiffener Spacing

Inside Diameter, D ft	Minimum Structural Plate Thickness, in. [Note (1)]	Maximum Stiffener Spacing, ft
$D \leq 3.5$	0.125	5 D
$3.5 < D \leq 6.5$	0.1875	3 D
$6.5 < D \leq 18.0$	0.1875	2 D
$D > 18.0$	0.25	1½ D

REFERENCIAS

ASME STS - 1 - 2006: Steel Stacks

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	31

Dimensionamiento de Colectores - Caños de unión

Comenzamos nuestro dimensionamiento sectorizando en seis partes la caldera, entonces se realizan los cálculos para un paquete de tubos aletados que representa 1/6 de la caldera completa.

	Caudal [kg/seg]
High pressure (HP)	82,378
Intermediate pressure (IP)	91,096
Low pressure (LP)	8,463

diámetro del tubo aletado (mm)	27,580
área del tubo aletado (mm ²)	597,115

Sección	DISTRIBUCION DE TUBOS ALETADOS				DISTRIBUCION TUBOS POR COLECTOR SECUNDARIO						DIMENSIONES COLECTOR SECUNDARIO					
	Cantidad de tubos	ancho (STN)	largo (SLN)	Se agrega una fila de 20 tubos por paquete para completar el total de STN	Particiones	Cantidad de colectores por paquete de tubos	Cantidad de tubos por colector	Cantidad de tubos por colector*	División transversal por colector	Tubos por división transversal	Diámetro mínimo interior requerido [mm]	Diámetro nominal [pulg]	Diámetro exterior [mm]	Espesores [mm]	área interior [mm ²]	Diámetro interior [mm]
1 Precalentador	5780	120	48,17	20,00	6	8	120	140	3	60	123,3	8	219,10	3,76	35141,39	211,58
Bloque de Baja Presión																
4 Economizador	260	120	2,17	20,00	6	1	40	60	3	20	71,2	4	114,30	4,78	8611,82	104,74
5 Evaporador	2060	120	17,17	20,00	6	3	113	133	3	57	119,3	8	219,10	6,35	33441,75	206,40
9 Sobrecalentador	220	120	1,83	100,00	6	1	20	40	3	10	50,4	4	114,30	4,78	8611,82	104,74
Bloque de Media Presión																
Economizador																
3 1era presión	4200	120	35,00		6	6	117		3	58	121,6	8	219,10	3,76	35141,39	211,58
6 2da presión	2720	120	22,67	80,00	6	4	110	130	3	55	118,1	8	219,10	3,76	35141,39	211,58
8 Evaporador	1080	120	9,00		6	2	90		3	45	106,8	8	219,10	8,18	32266,25	202,74
10 Sobrecalentador	7000	120	58,33	40,00	6	12	97	117	3	48	110,7	8	219,10	8,18	32266,25	202,74
Bloque de Alta Presión																
Economizador																
2 1era presión	1760	120	14,67	80,00	6	3	93	113	3	47	108,8	8	219,10	3,76	35141,39	211,58
7 2da presión	3080	120	25,67	80,00	6	5	100	120	3	50	112,6	8	219,10	3,76	35141,39	211,58
11 3era presión	3300	120	27,50	60,00	6	5	108	128	3	54	117,0	8	219,10	3,76	35141,39	211,58
12 Evaporador	6160	120	51,33	40,00	12	5	102	122	3	51	113,7	8	219,10	22,23	23941,82	174,64
Sobrecalentador																
13 1era presión	1240	120	10,33	40,00	6	2	100	120	3	50	112,6	8	219,10	23,01	23516,00	173,08
16 2da presión	600	120	5,00		6	1	100		3	50	112,6	8	219,10	20,62	24832,83	177,86
Recalentadores																
14 1era presión	100	120			5	1	20		3	10	50,4	6	168,30	21,35	12148,16	124,40
15 2da presión	20	120			1	1	20		3	10	50,4	5	141,30	28,00	5711,73	85,30

Sección	CAÑOS UNION COLECTORES (SECUNDARIO - PRINCIPAL)							DIMENSIONES COLECTOR PRINCIPAL					CAÑOS UNION COLECTOR - DOMO							
	Cantidad caños por colector secundario	área interior requerida [mm ²]	Diámetro interior requerido [mm]	Diámetro nominal [pulg]	Diámetro exterior [mm]	Espesores [mm]	Diámetro interior [mm]	área interior [mm ²]	Diámetro exterior [mm]	Diámetro exterior [pulg]	Espesor [mm]	Diámetro interior [mm]	área interior [mm ²]	área interior [m ²]	Diámetro exterior [mm]	Diámetro exterior [pulg]	Espesores [mm]	Diámetro interior [mm]	área interior [mm ²]	área interior [m ²]
1 Precalentador	3,00	11713,80	122,16	5,00	73,00	4,78	63,44	3159,34	406,40	16	4,19	398,02	124359,64	0,12	168,30	6	3,40	161,50	20474,57	0,0205
Bloque de Baja Presión																				
4 Economizador															60,30	2	8,74	42,82	1439,34	0,0014
5 Evaporador	3,00	11147,25	119,17	5,00	60,30	3,91	52,48	2162,01	114,30	4	4,78	104,74	8611,82	0,01	60,30	2	8,74	42,82	1439,34	0,0014
9 Sobrecalentador															33,40	1	9,09	15,22	181,84	0,0002
Bloque de Media Presión																				
Economizador																				
3 1era presión	3,00	11713,80	122,16	5,00	73,00	4,78	63,44	3159,34	219,10	8	3,76	211,58	35141,39	0,04	88,90	3	5,49	77,92	4766,15	0,0048
6 2da presión	3,00	11713,80	122,16	5,00	73,00	4,78	63,44	3159,34	219,10	8	3,76	211,58	35141,39	0,04	88,90	3	5,49	77,92	4766,15	0,0048
8 Evaporador	3,00	10755,42	117,05	5,00	73,00	4,78	63,44	3159,34	323,90	12	10,31	303,28	72203,33	0,07	114,30	4	6,02	102,26	8208,83	0,0082
10 Sobrecalentador	3,00	10755,42	117,05	5,00	73,00	4,78	63,44	3159,34	219,10	8	8,18	202,74	32266,25	0,03	88,90	3	5,49	77,92	4766,15	0,0048
Bloque de Alta Presión																				
Economizador																				
2 1era presión	3,00	11713,80	122,16	5,00	60,30	3,91	52,48	2162,01	114,30	4	4,78	104,74	8611,82	0,01	33,40	1	4,55	24,30	463,53	0,0005
7 2da presión	3,00	11713,80	122,16	5,00	60,30	3,91	52,48	2162,01	168,30	6	3,40	161,50	20474,57	0,02	60,30	2	8,74	42,82	1439,34	0,0014
11 3era presión	3,00	11713,80	122,16	5,00	60,30	3,91	52,48	2162,01	168,30	6	3,40	161,50	20474,57	0,02	60,30	2	8,74	42,82	1439,34	0,0014
12 Evaporador	3,00	7980,61	100,83	5,00	73,00	9,53	53,94	2283,98	273,10	10	25,40	222,30	77585,15	0,08	114,30	4	13,49	87,32	5985,45	0,0060
Sobrecalentador																				
13 1era presión	3,00	7838,67	99,93	5,00	48,30	7,14	34,02	908,53	88,90	3	11,13	66,64	3486,10	0,0035	33,40	1	9,09	15,22	181,84	0,0002
16 2da presión															33,40	1	4,55	24,30	463,53	0,0005
Recalentadores																				
14 1era presión															33,40	1	4,55	24,30	463,53	0,0005
15 2da presión															114,30	4	13,49	87,32	5985,45	0,0060

área interior requerida*: La suma del área de los 3 caños de unión es igual al área del colector

Diámetro interior requerido: Se utilizó para su cálculo la fórmula del área. $\text{área} = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4}$ Caños union colectores

Diámetro exterior: Se utilizó para su cálculo la fórmula de velocidad. $Q = \text{área} \times \text{velocidad}$ Dimensiones colector principal

Detallaremos a continuación, el cálculo de cada colector principal, colector secundario, caños de unión entre colectores, caños de unión entre colector y domo.

REFERENCIAS

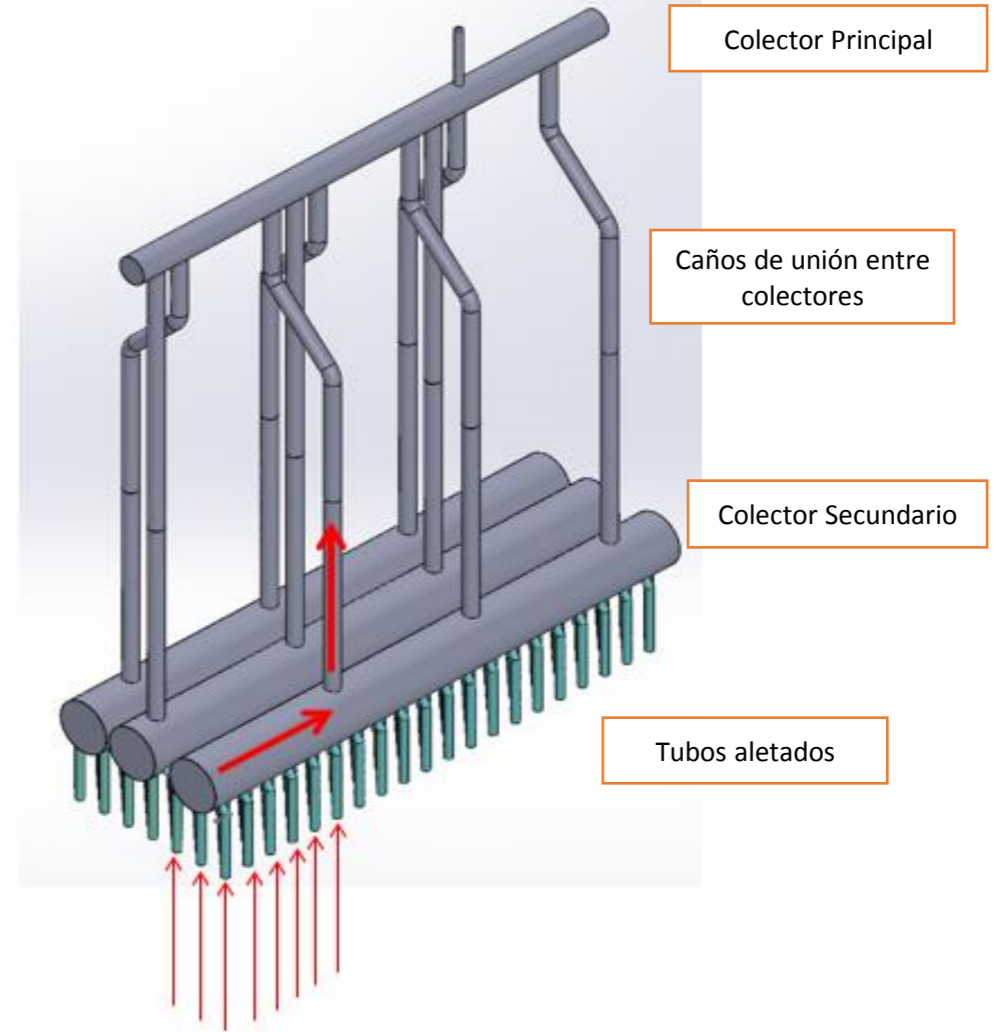
U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
	Máquina Única		GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	TITULO	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
			HOJA	32

Circulación del fluido dentro de los tubos aletados en cada componente

Previamente se muestra en el siguiente diagrama el flujo del fluido dentro de los tubos aletados, colectores y caños de unión.

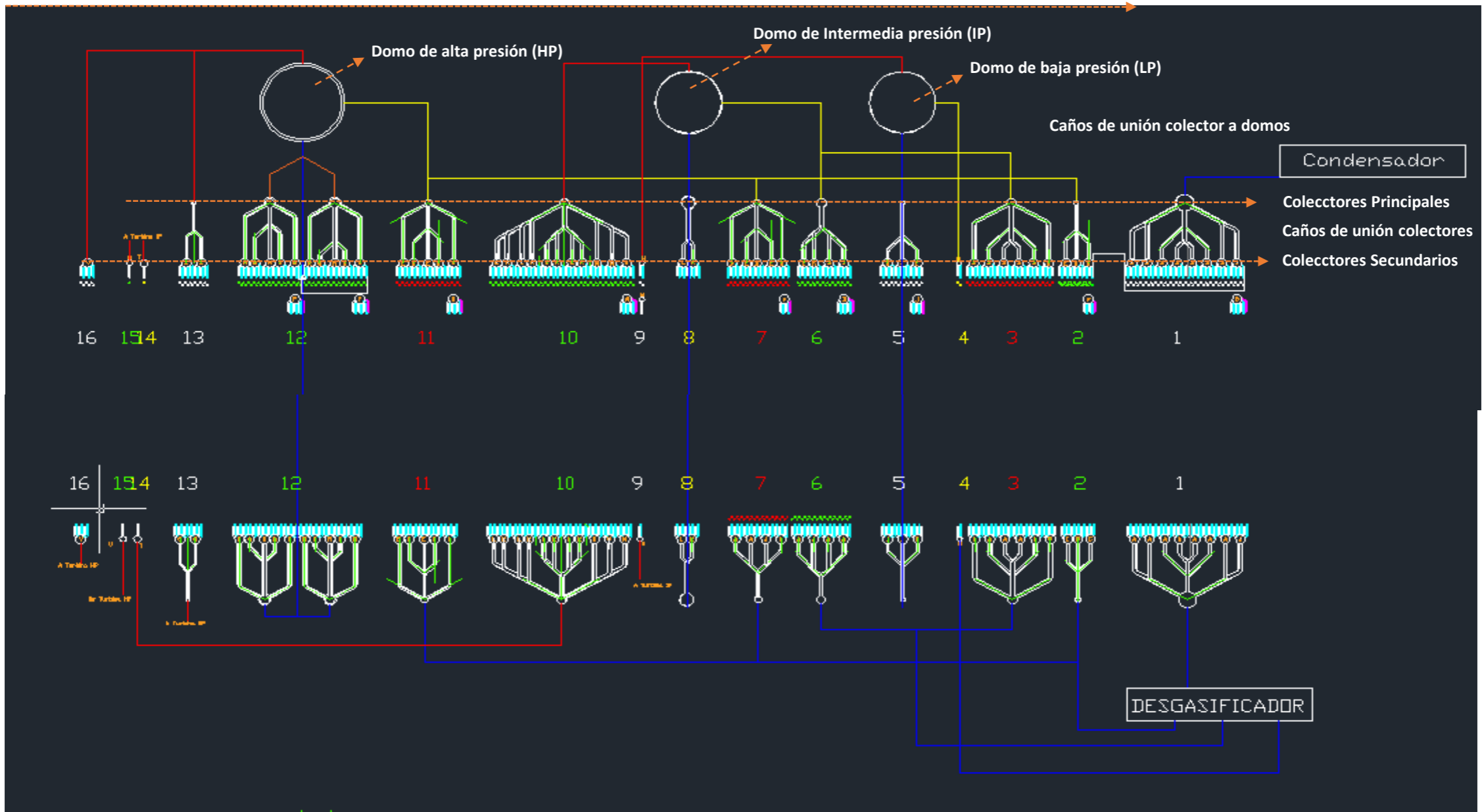
Detalle de cada componente

Sección	Circulación del fluido en cada componente	
	Entrada (Desde)	Salida (hacia)
1 Precalentador	Condensador	Desgasificador
Bloque de Baja Presión		
4 Economizador	Desgasificador	Domo de baja (liquido)
5 Evaporador	Domo de baja (liquido)	Domo de baja (vapor saturado)
9 Sobrecalentador	Domo de baja (vapor saturado)	Un punto previo a la salida TV baja
Bloque de Media Presión		
3 Economizador	Desgasificador	Domo de media (liquido)
6 1era presión	Desgasificador	Domo de media (liquido)
8 Evaporador	Domo de media (liquido)	Domo de media (vapor saturado)
10 Sobrecalentador	Domo de media (vapor saturado)	TV media
Bloque de Alta Presión		
2 Economizador	Desgasificador	Domo de alta (liquido)
7 1era presión	Desgasificador	Domo de alta (liquido)
11 2da presión	Desgasificador	Domo de alta (liquido)
12 Evaporador	Domo de alta (liquido)	Domo de alta (vapor saturado)
13 Sobrecalentador	Domo de alta (vapor saturado)	Turbina Vapor de alta
16 1era presión	Domo de alta (vapor saturado)	Turbina Vapor de alta
16 2da presión	Domo de alta (vapor saturado)	Turbina Vapor de alta
Recalentadores		
14 1era presión	Sobrecalentador de media	Turbina Vapor de alta
15 2da presión	Turbina Vapor de media	Turbina Vapor de alta



Sentido del fluido desde los tubos aletados hacia domo

Distribución de tubos aletados, colectores principal y secundario, caños de unión entre colectores y caños de unión entre colector y domo.



REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	GRUPO	
	TITULO		REV	A
			HOJA	33

Dimensionamiento de Colector Secundario

Los cálculos se realizaron bajo el código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión

PG-27.2.2 Tubería, tambores, cuerpos, y cabezales. (basado en la resistencia del recorrido más débil)

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad \text{o} \quad \frac{PR}{SE - (1-y)P} + C$$

$$P = \frac{2SE(t-C)}{D - 2y(t-C)} \quad \text{o} \quad \frac{SE(t-C)}{R + (1-y)(t-C)}$$

Vea PG-27.4.1, PG-27.4.3, y PG-27.4.5 hasta PG-27.4.9.

Selección del factor Y, según el materia y la temperatura [°C]

PG-27.4.6 Nota 6

y = un coeficiente que tiene los siguientes valores:

	Temperatura, °F (°C)							
	900 (480) e inferior	950 (510)	1,000 (540)	1,050 (565)	1,100 (595)	1,150 (620)	1,200 (650)	1,250 (675) y superior
Ferrítico	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenítico	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Aleación 800, 801	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
800H, 800HT 825	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
230 Aleación	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7
N06022	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06045	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06600	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
N06601	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
N06625	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	...	...	...
N06690	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
Aleación 617	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
S31803	0.4	...	...	...	...	...	...	...

Selección del factor E

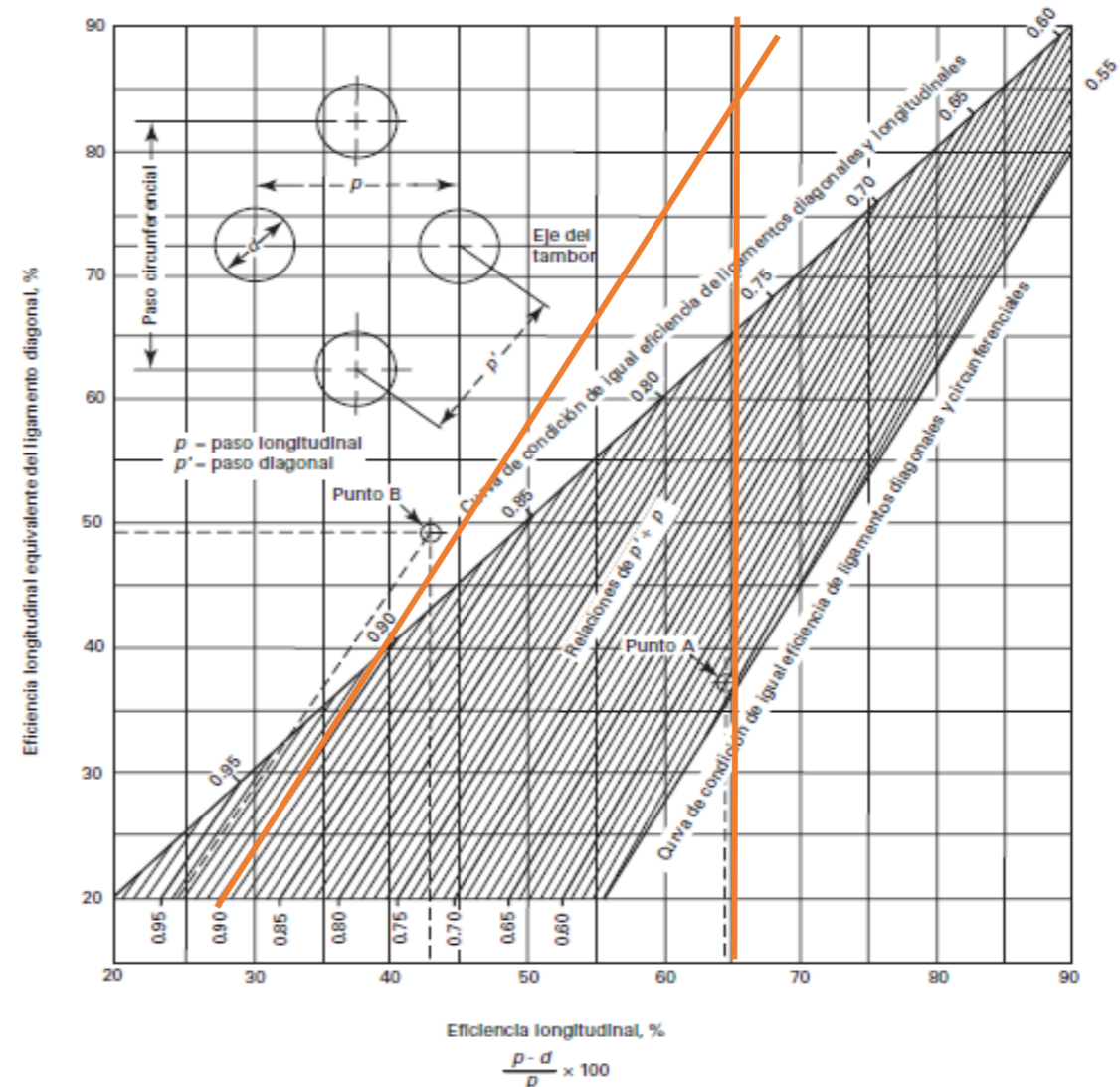
PG-52.2 Aberturas paralelas al eje del recipiente

PG-52.2.1 Cuando el paso de los orificios es igual en cada fila de tubos (como en la Fig. PG-52.2), la ecuación es

$$E = \frac{p-d}{p}$$

PG-52.4 Orificios a lo largo de una diagonal. Cuando un cuerpo o tambor se perfora con los orificios para tubos como se representa en la Fig. PG-52.5, la eficiencia de estos ligamentos es aquella obtenida con el diagrama de la Fig. PG-52.1. Se deben calcular la abscisa $(p-d)/p$ y la relación p'/p . Con estos valores la eficiencia puede leerse en la ordenada. Si el punto cae arriba de la curva de eficiencia de ligamentos diagonales y longitudinales iguales, los ligamentos longitudinales serán más débiles, en cuyo caso la eficiencia se calcula con la siguiente ecuación:

FIG. PG-52.1 DIAGRAMA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LOS LIGAMENTOS LONGITUDINALES Y DIAGONALES ENTRE ABERTURAS EN CUERPOS CILINDRICOS



Sección	Material	Temperatura [°C]	S [Mpa]	P [Mpa]	Paso longitudinal (p)	Paso Diagonal (p')	(d) Diámetro del tubo [pulg]	Relacion p'/p	(E) Eficiencia de soldadura	(D) Diámetro del colector [pulg]	Y	C [pulg]	Espesor mínimo [pulg]	T mínimo [mm]	T nominal [mm]	SCH
1 Precaentador	SA178-A	156	92,4	0,02	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,1262234	3,2061	3,76	10
Bloque de Baja Presión																
4 Economizador	SA178-A	177,00	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	4	0,4	0,125	0,1296775	3,2938	4,78	30
5 Evaporador	SA178-A	205,00	92,4	0,47	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,1542537	3,9180	6,35	20
9 Sobrecalentador	SA106-A	281,00	94,5	0,47	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	4	0,4	0,125	0,1393028	3,5383	4,78	30
Bloque de Media Presión																
Economizador																
3 1era presión	SA192	177,00	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,1343549	3,4126	3,76	10
6 2da presión	SA192	260,00	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,1343549	3,4126	3,76	10
8 Evaporador	SA192	277,00	91,9	2,72	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,2928532	7,4385	8,18	40
10 Sobrecalentador	SA192	281,00	91,9	2,72	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,2928532	7,4385	8,18	40
Bloque de Alta Presión																
Economizador																
2 1era presión	SA178-A	177,00	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,1343549	3,4126	3,76	10
7 2da presión	SA192	260,00	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,1343549	3,4126	3,76	10
11 3era presión	SA192	341,00	88,9	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,1347229	3,4220	3,76	10
12 Evaporador	SA213-T22	494,00	80,9	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,5	0,125	0,8774952	22,2884	22,23	XXS
Sobrecalentador																
13 1era presión	SA213-T12	500,00	88,3	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,5	0,125	0,8199101	20,8257	23,01	160
16 2da presión	SA213-T12	581,30	24,21	2,72	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,7	0,125	0,7070335	17,9587	20,62	140
Recalentadores																
14 1era presión	SA213-T12	535,00	57,6	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	6	0,7	0,125	0,8516220	21,6312	21,95	XXS
15 2da presión	SA213-T22	581,30	31,63	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	5	0,7	0,125	1,0928951	27,7595	28	*

*Este colector sera enviado a fabricar a medida teniendo en cuenta las dimensiones calculadas

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
			HOJA	34

Dimensionamiento de los caños de unión entre Colector Secundario - Colector Principal

Los cálculos se realizaron bajo el código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión

PG-27.2.2 Tubería, tambores, cuerpos, y cabezales. (basado en la resistencia del recorrido más débil)

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad \text{o} \quad \frac{PR}{SE - (1-y)P} + C$$

$$P = \frac{2SE(t-C)}{D - 2y(t-C)} \quad \text{o} \quad \frac{SE(t-C)}{R + (1-y)(t-C)}$$

Vea PG-27.4.1, PG-27.4.3, y PG-27.4.5 hasta PG-27.4.9.

Selección del factor Y, según el materia y la temperatura [°C]

PG-27.4.6 Nota 6

y = un coeficiente que tiene los siguientes valores:

	Temperatura, °F (°C)							
	900 (480) e inferior	950 (510)	1,000 (540)	1,050 (565)	1,100 (595)	1,150 (620)	1,200 (650)	1,250 (675) y superior
Ferrítico	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenítico	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Aleación 800, 801	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
800H, 800HT 825	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
230 Aleación	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
N06022	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06045	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06600	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
N06601	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
N06625	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	...	...	...
N06690	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
Aleación 617	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
S31803	0.4	...	...	...	...	...	...	...

Selección del factor E

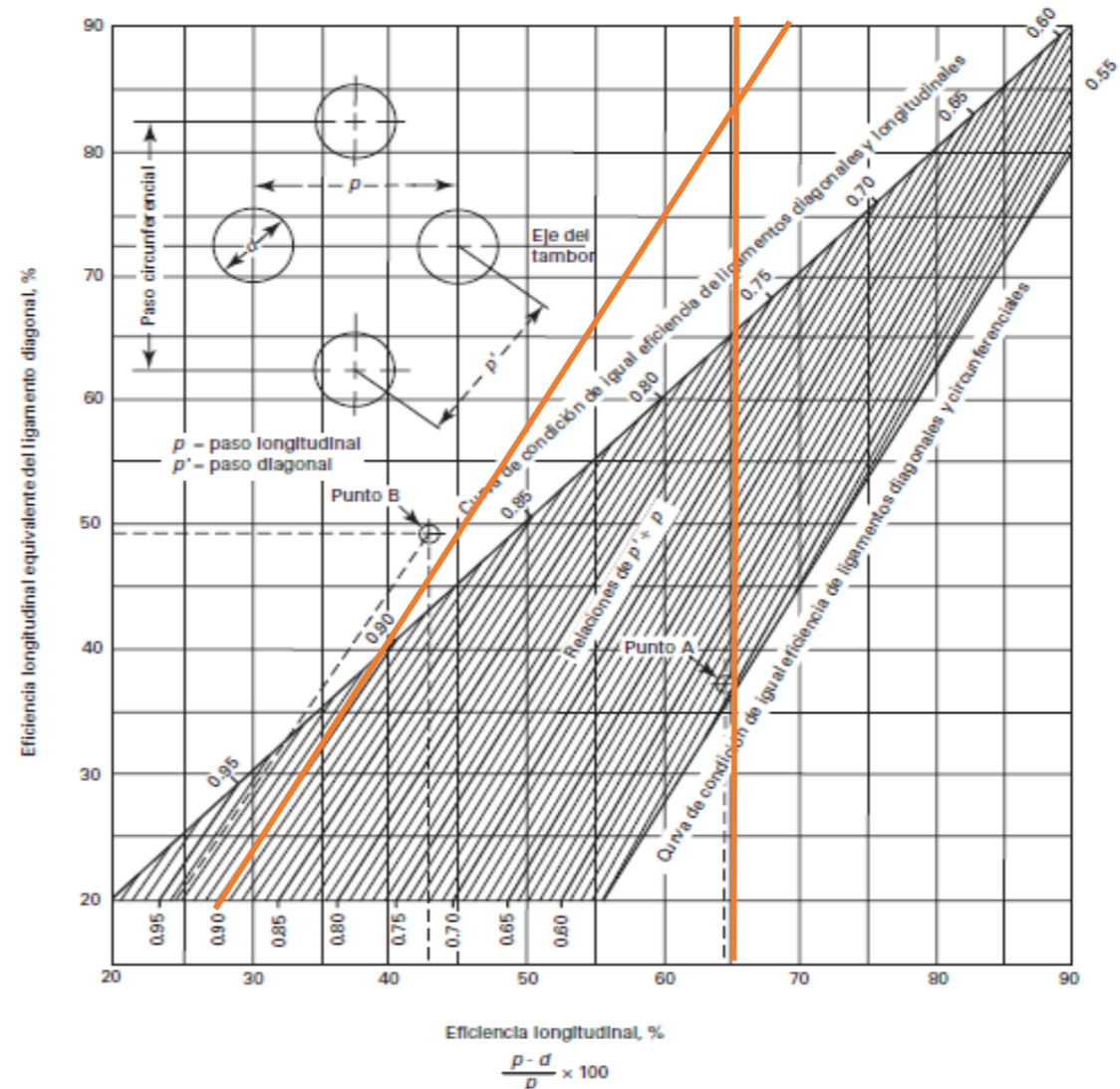
PG-52.2 Aberturas paralelas al eje del recipiente

PG-52.2.1 Cuando el paso de los orificios es igual en cada fila de tubos (como en la Fig. PG-52.2), la ecuación es

$$E = \frac{p-d}{p}$$

PG-52.4 Orificios a lo largo de una diagonal. Cuando un cuerpo o tambor se perfora con los orificios para tubos como se representa en la Fig. PG-52.5, la eficiencia de estos ligamentos es aquella obtenida con el diagrama de la Fig. PG-52.1. Se deben calcular la abscisa $(p-d)/p$ y la relación p'/p . Con estos valores la eficiencia puede leerse en la ordenada. Si el punto cae arriba de la curva de eficiencia de ligamentos diagonales y longitudinales iguales, los ligamentos longitudinales serán más débiles, en cuyo caso la eficiencia se calcula con la siguiente ecuación:

FIG. PG-52.1 DIAGRAMA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LOS LIGAMENTOS LONGITUDINALES Y DIAGONALES ENTRE ABERTURAS EN CUERPOS CILINDRICOS



Sección	Material	Temperatura [°C]	S [Mpa]	P [Mpa]	Paso longitudinal (p)	Paso Diagonal (p')	(d) Diámetro del tubo [pulg]	Relacion P'/P	(E) Eficiencia de soldadura	(D) Diámetro del colector [pulg]	Y	C [pulg]	Espesor mínimo [pulg]	T mínimo [mm]	T nominal [mm]	SCH
1 Pre calentador	SA192	111,32	92,4	0,02	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2,5	0,4	0,125	0,1253823	3,1847	4,78	30
Bloque de Baja Presión																
4 Economizador	SA192	149,49	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2,5	0,4	0,125	0,1279234	3,2493	4,78	30
5 Evaporador	SA192	149,49	92,4	0,47	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2	0,4	0,125	0,1323134	3,3608	3,91	40
9 Sobrecalentador																
Bloque de Media Presión																
Economizador																
3 1era presión	SA192	228,48	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2,5	0,4	0,125	0,1279234	3,2493	4,78	30
6 2da presión	SA192	149,49	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2,5	0,4	0,125	0,1279234	3,2493	4,78	30
8 Evaporador	SA192	228,48	92,4	2,72	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2,5	0,4	0,125	0,1771750	4,5002	4,78	30
10 Sobrecalentador	SA192	276,16	92,4	2,72	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2,5	0,4	0,125	0,1771750	4,5002	4,78	30
Bloque de Alta Presión																
Economizador																
2 1era presión	SA192	149,49	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2	0,4	0,125	0,1273387	3,2344	3,91	40
7 2da presión	SA192	228,48	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2	0,4	0,125	0,1273387	3,2344	3,91	40
11 3era presión	SA213-T22	322,45	80,9	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2	0,4	0,125	0,1276708	3,2428	3,91	40
12 Evaporador	SA192	322,45	92,4	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2,5	0,5	0,125	0,3333265	8,4665	9,53	160
Sobrecalentador																
13 1era presión	SA213-T12	495,00	124	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	1,5	0,5	0,125	0,2201630	5,5921	7,14	160
16 2da presión																
Recalentadores																
14 1era presión																
15 2da presión																

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
			HOJA	35

Dimensionamiento de Colector Principal

Los cálculos se realizaron bajo el código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión

PG-27.2.2 Tubería, tambores, cuerpos, y cabezales. (basado en la resistencia del recorrido más débil)

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad \text{o} \quad \frac{PR}{SE - (1-y)P} + C$$

$$P = \frac{2SE(t-C)}{D - 2y(t-C)} \quad \text{o} \quad \frac{SE(t-C)}{R + (1-y)(t-C)}$$

Vea PG-27.4.1, PG-27.4.3, y PG-27.4.5 hasta PG-27.4.9.

Selección del factor Y, según el materia y la temperatura [°C]

PG-27.4.6 Nota 6

y = un coeficiente que tiene los siguientes valores:

	Temperatura, °F (°C)							
	900 (480) e inferior	950 (510)	1,000 (540)	1,050 (565)	1,100 (595)	1,150 (620)	1,200 (650)	1,250 (675) y superior
Ferrítico	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenítico	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Aleación 800, 801	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
800H, 800HT 825	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
230 Aleación	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7
N06022	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06045	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06600	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06601	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06625	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
N06690	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Aleación 617	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
S31803	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

Selección del factor E

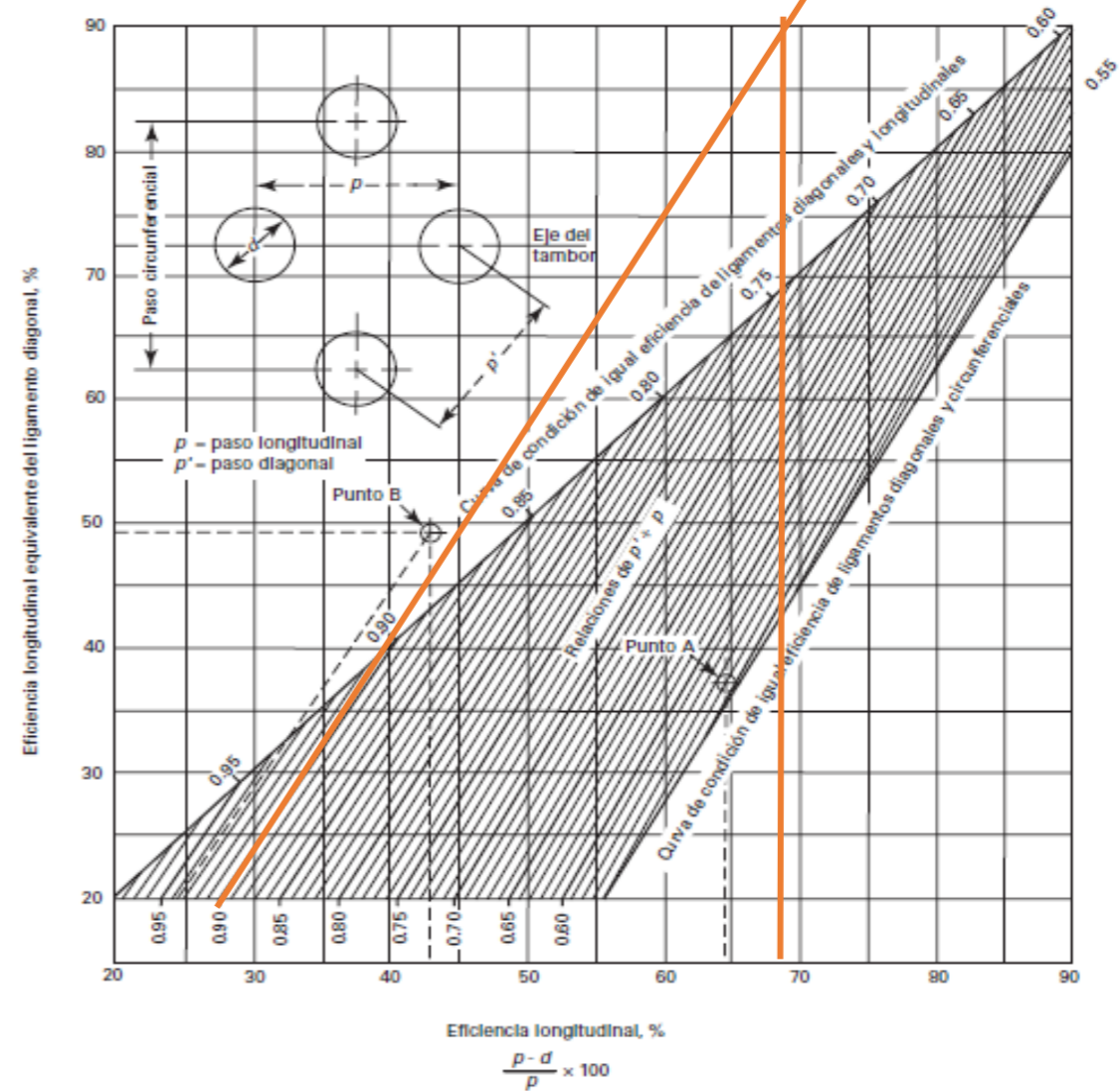
PG-52.2 Aberturas paralelas al eje del recipiente

PG-52.2.1 Cuando el paso de los orificios es igual en cada fila de tubos (como en la Fig. PG-52.2), la ecuación es

$$E = \frac{p-d}{p}$$

PG-52.4 Orificios a lo largo de una diagonal. Cuando un cuerpo o tambor se perfora con los orificios para tubos como se representa en la Fig. PG-52.5, la eficiencia de estos ligamentos es aquella obtenida con el diagrama de la Fig. PG-52.1. Se deben calcular la abscisa $(p-d)/p$ y la relación p'/p . Con estos valores la eficiencia puede leerse en la ordenada. Si el punto cae arriba de la curva de eficiencia de ligamentos diagonales y longitudinales iguales, los ligamentos longitudinales serán más débiles, en cuyo caso la eficiencia se calcula con la siguiente ecuación:

FIG. PG-52.1 DIAGRAMA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LOS LIGAMENTOS LONGITUDINALES Y DIAGONALES ENTRE ABERTURAS EN CUERPOS CILINDRICOS



Sección	Material	Temperatura [°C]	S [Mpa]	P [Mpa]	Paso longitudinal (p)	Paso Diagonal (p')	(d) Diámetro del tubo [pulg]	Relacion p'/p	(E) Eficiencia de soldadura	(D) Diámetro del colector [pulg]	Y	C [pulg]	Espesor mínimo [pulg]	T mínimo [mm]	T nominal [mm]	SCH
1 Precalentador	SA192	111,32	92,4	0,02	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	16	0,4	0,125	0,1274467	3,2371	4,19	5
Bloque de Baja Presión																
4 Economizador																
5 Evaporador	SA192	149,49	92,4	0,47	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	4	0,4	0,125	0,1396269	3,5465	4,78	30
9 Sobrecalentador																
Bloque de Media Presión																
Economizador																
3 1era presión	SA192	228,48	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,1343549	3,4126	3,76	10
6 2da presión	SA192	149,49	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,1343549	3,4126	3,76	10
8 Evaporador	SA192	228,48	92,4	2,72	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	12	0,4	0,125	0,3754401	9,5362	10,31	40
10 Sobrecalentador	SA192	276,16	92,4	2,72	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	8	0,4	0,125	0,2919600	7,4158	8,18	STD
Bloque de Alta Presión																
Economizador																
2 1era presión	SA192	149,49	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	4	0,4	0,125	0,1296775	3,2938	4,78	30
7 2da presión	SA192	228,48	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	6	0,4	0,125	0,1320162	3,3532	3,4	10
11 3era presión	SA213-T22	322,45	80,9	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	6	0,4	0,125	0,1330125	3,3785	3,4	10
12 Evaporador	SA192	322,45	92,4	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	10	0,5	0,125	0,9583060	24,3410	25,4	140
Sobrecalentador																
13 1era presión	SA213-T12	495,00	124	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	3	0,5	0,125	0,3153259	8,0093	11,13	160
16 2da presión																
Recalentadores																
14 1era presión																
15 2da presión																

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	GRUPO	
	TITULO		REV	A
			HOJA	36

Dimensionamiento de los caños de unión entre Colector (Secundario o Principal) - Domo (baja, media o alta)

Los cálculos se realizaron bajo el código ASME 2010 para calderas y recipientes a presión

PG-27.2.2 Tubería, tambores, cuerpos, y cabezales. (basado en la resistencia del recorrido más débil)

$$t = \frac{PD}{2SE + 2yP} + C \quad \text{o} \quad \frac{PR}{SE - (1-y)P} + C$$

$$P = \frac{2SE(t-C)}{D - 2y(t-C)} \quad \text{o} \quad \frac{SE(t-C)}{R + (1-y)(t-C)}$$

Vea PG-27.4.1, PG-27.4.3, y PG-27.4.5 hasta PG-27.4.9.

Selección del factor Y, según el materia y la temperatura [°C]

PG-27.4.6 Nota 6

y = un coeficiente que tiene los siguientes valores:

	Temperatura, °F (°C)							
	900 (480) e inferior	950 (510)	1,000 (540)	1,050 (565)	1,100 (595)	1,150 (620)	1,200 (650)	1,250 (675) y superior
Ferrítico	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenítico	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Aleación 800, 801	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
800H, 800HT 825	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
230 Aleación	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
N06022	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06045	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
N06600	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
N06601	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
N06625	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	...	...	...
N06690	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	...
Aleación 617	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7
S31803	0.4	...	...	...	...	...	...	...

Selección del factor E

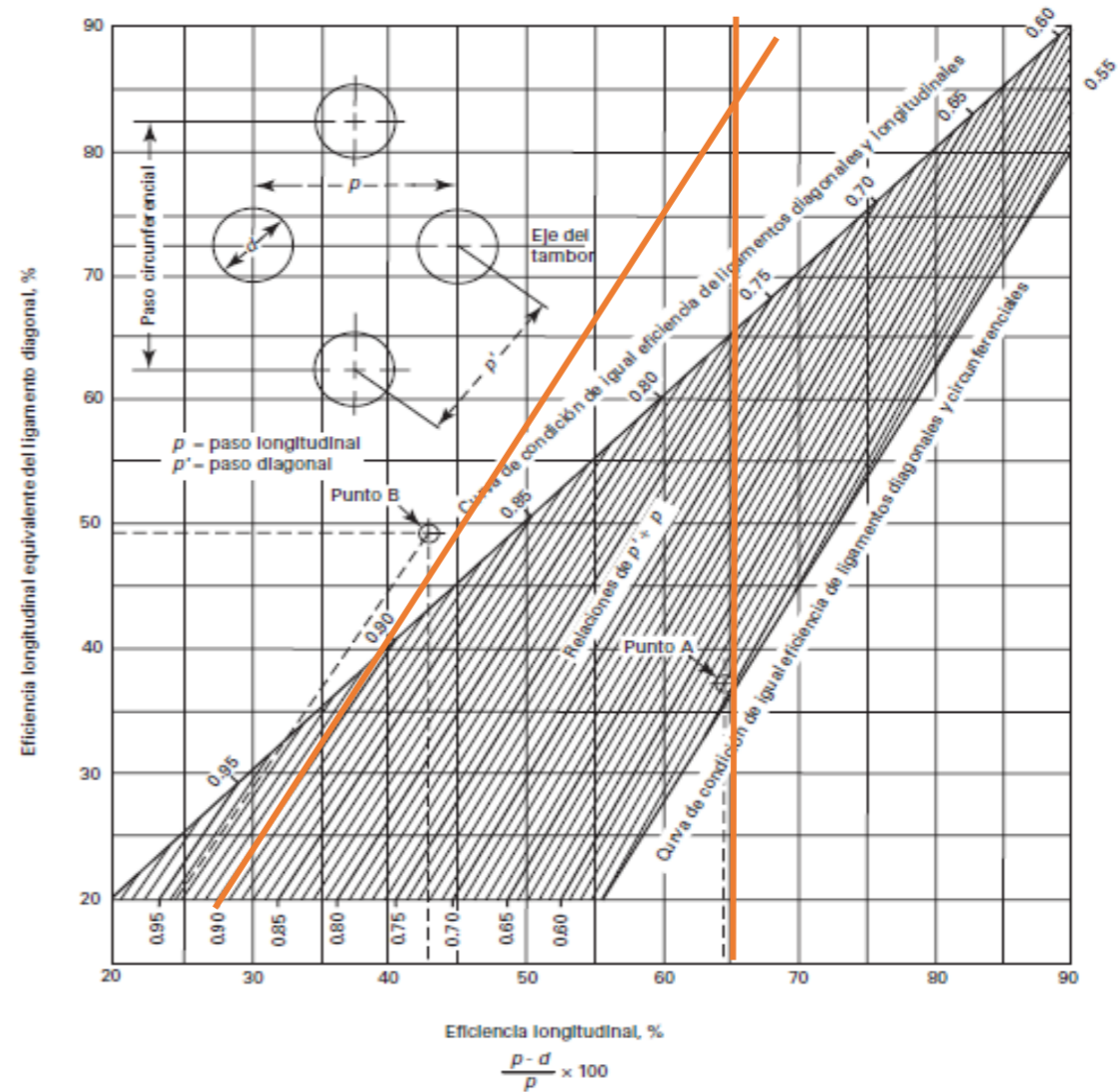
PG-52.2 Aberturas paralelas al eje del recipiente

PG-52.2.1 Cuando el paso de los orificios es igual en cada fila de tubos (como en la Fig. PG-52.2), la ecuación es

$$E = \frac{p-d}{p}$$

PG-52.4 Orificios a lo largo de una diagonal. Cuando un cuerpo o tambor se perfora con los orificios para tubos como se representa en la Fig. PG-52.5, la eficiencia de estos ligamentos es aquella obtenida con el diagrama de la Fig. PG-52.1. Se deben calcular la abscisa $(p-d)/p$ y la relación p'/p . Con estos valores la eficiencia puede leerse en la ordenada. Si el punto cae arriba de la curva de eficiencia de ligamentos diagonales y longitudinales iguales, los ligamentos longitudinales serán más débiles, en cuyo caso la eficiencia se calcula con la siguiente ecuación:

FIG. PG-52.1 DIAGRAMA PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LOS LIGAMENTOS LONGITUDINALES Y DIAGONALES ENTRE ABERTURAS EN CUERPOS CILINDRICOS



Sección	Material	Temperatura [°C]	S [Mpa]	P [Mpa]	Paso longitudinal (p)	Paso Diagonal (p')	(d) Diámetro del tubo [pulg]	Relacion p'/p	(E) Eficiencia de soldadura	(D) Diámetro del colector [pulg]	Y	C [pulg]	Espesor mínimo [pulg]	T mínimo [mm]	T nominal [mm]	SCH
1 Precalentador	SA192	111,32	92,4	0,02	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	6	0,4	0,125	0,1259175	3,1983	3,4	10
Bloque de Baja Presión																
4 Economizador	SA192	149,49	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2	0,4	0,125	0,1273387	3,2344	8,74	160
5 Evaporador	SA192	149,49	92,4	0,47	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2	0,4	0,125	0,1323134	3,3608	8,74	160
9 Sobrecalentador	SA192	250,00	92,4	0,47	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	1	0,4	0,125	0,1286567	3,2679	9,09	160
Bloque de Media Presión																
Economizador																
3 1era presión	SA192	228,48	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	3	0,4	0,125	0,1285081	3,2641	5,49	40
6 2da presión	SA192	149,49	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	3	0,4	0,125	0,1285081	3,2641	5,49	40
8 Evaporador	SA192	228,48	92,4	2,72	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	4	0,4	0,125	0,2084800	5,2954	6,02	40
10 Sobrecalentador	SA192	276,16	92,4	2,72	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	3	0,4	0,125	0,1876100	4,7653	5,49	40
Bloque de Alta Presión																
Economizador																
2 1era presión	SA192	149,49	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	1	0,4	0,125	0,1261694	3,2047	4,55	90
7 2da presión	SA192	228,48	92,4	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2	0,4	0,125	0,1273387	3,2344	8,74	160
11 3era presión	SA213-T22	322,45	80,9	0,15	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	2	0,4	0,125	0,1276708	3,2428	8,74	160
12 Evaporador	SA192	322,45	92,4	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	4	0,5	0,125	0,4583224	11,6414	13,49	160
Sobrecalentador																
13 1era presión	SA213-T12	495,00	124	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	1	0,5	0,125	0,1884420	4,7864	9,09	160
16 2da presión	SA213-T12	495,00	124	2,72	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	1	0,7	0,125	0,1404730	3,5680	4,55	160
Recalentadores																
14 1era presión	SA213-T12	276,17	120	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	1	0,7	0,125	0,1887502	4,7943	4,55	80
15 2da presión	SA213-T22	495,00	80,9	11,65	4,078	3,676	1,25	0,9014	0,693477	4	0,7	0,125	0,4876047	12,3852	13,49	160

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL										AÑO	2021	
											GRUPO		
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación										REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones										HOJA	37

Cálculo de los pesos de los componentes

Sección	Tubos aletados						Colector secundario						
	Peso aleta [kg/m]	Peso tubo [kg/m]	Peso total por metro	Cantidad de tubos	Volumen interior [dm³]	Peso total de los tubos por componente [kg]	Particiones	Cantidad de colector por paquete de tubos aletados	Peso por metro	Diámetro interior [dm]	Volumen interior [dm³]	Peso total (Colector secundario superior e inferior) [kg]	
1 Precalentador	0,549	1,54	2,09	5780	82405,26	360116,92	6	8	19,97	2,1158	742,19	4959,85	
Bloque de Baja Presión													
4 Economizador	0,481	1,54	2,02	260	3706,81	15792,39	6	1	12,91	1,0474	22,74	363,56	
5 Evaporador	0,542	1,54	2,08	2060	29369,35	128014,51	6	3	33,31	2,064	264,86	2903,01	
9 Sobrecalentador	0,481	1,54	2,02	220	3136,53	13362,79	6	1	12,99	1,0474	22,74	365,67	
Bloque de Media Presión													
Economizador													
3 1era presión	0,481	1,54	2,02	4200	59879,26	255107,86	6	6	19,97	2,1158	556,64	3719,89	
6 2da presión	0,564	1,54	2,10	2720	38778,95	170405,19	6	4	19,97	2,1158	371,09	2479,93	
8 Evaporador	0,542	1,54	2,08	1080	15397,52	67114,40	6	2	42,54	2,0274	170,37	2416,48	
10 Sobrecalentador	0,481	1,54	2,02	2400	34216,72	145775,92	6	4	42,54	2,0274	340,73	4832,96	
Bloque de Alta Presión													
Economizador													
2 1era presión	0,481	1,54	2,02	1760	25092,26	106902,34	6	3	19,97	2,1158	278,32	1859,94	
7 2da presión	0,564	1,54	2,10	3080	43911,45	192958,81	6	5	19,97	2,1158	463,87	3099,91	
11 3era presión	0,67	1,54	2,21	3300	47047,99	214786,99	6	5	19,97	2,1158	463,87	3099,91	
12 Evaporador	0,512	1,54	2,05	6160	87822,91	378550,27	6	10	107,91	1,7464	632,06	29120,30	
Sobrecalentador													
13 1era presión	0,757	1,54	2,30	1240	17678,64	83189,08	6	2	111,26	1,7308	124,16	5998,69	
16 2da presión	0,703	1,54	2,24	600	8554,18	39507,58	6	1	100,91	1,7786	65,56	2729,58	
Recalentadores													
14 1era presión	N/A	1,54	1,54	100	1425,70	4967,70	5	1	79,21	1,244	26,73	1769,35	
15 2da presión	N/A	1,54	1,54	20	285,14	993,54	1	1	84,41	0,853	2,51	373,92	
						2177546,29							70092,94

Sección	Caños de unión colectores (secundario - principal)									Colector principal							
	Cantidad caños por colector secundario	Diámetro exterior [mm]	Espesores [mm]	Distancias [m]	Largo total del caño	Peso por metro	Diámetro interior [dm]	Volumen interior [dm³]	Peso total [kg]	Diámetro exterior [mm]	Diámetro interior [mm]	Espesores [mm]	Volumen [m³]	Peso [kg]	Diámetro interior [dm]	Volumen interior [dm³]	Peso total (Colector principal superior e inferior) [kg]
1 Precalentador	3	73	4,78	11,366	204,59	8,05	0,63	129,27	3423,14	406,40	398,02	4,19	0,069	542,43	3,96	54,72	1139,58
Bloque de Baja Presión																	
4 Economizador																	
5 Evaporador	3	60,3	3,91	4,027	72,49	5,44	0,52	31,34	819,99	114,30	104,74	4,78	0,021	168,50	1,05	3,79	340,79
9 Sobrecalentador																	
Bloque de Media Presión																	
Economizador																	
3 1era presión	3	73	4,78	10,174	183,13	8,05	0,63	115,72	3064,14	219,10	211,58	3,76	0,033	260,61	2,12	15,46	536,68
6 2da presión	3	73	4,78	6,172	111,10	8,05	0,63	70,20	1858,84	219,10	211,58	3,76	0,033	260,61	2,12	15,46	536,68
8 Evaporador	3	73	4,78	2,526	45,47	8,05	0,63	28,73	760,76	323,90	303,28	10,31	0,133	1040,63	3,03	31,77	2113,03
10 Sobrecalentador	3	73	4,78	4,684	84,31	8,05	0,63	53,27	1410,70	219,10	198,48	10,31	0,088	692,86	1,98	27,21	1412,93
Bloque de Alta Presión																	
Economizador																	
2 1era presión	3	60,3	3,91	3,961	71,30	5,44	0,52	30,83	806,55	114,30	104,74	4,78	0,021	168,50	1,05	3,79	340,79
7 2da presión	3	60,3	3,91	5,898	106,16	5,44	0,52	45,91	1200,97	168,30	161,50	3,4	0,023	180,46	1,62	9,01	369,92
11 3era presión	3	60,3	3,91	7,594	136,69	5,44	0,52	59,11	1546,31	168,30	161,50	3,4	0,023	180,46	1,62	9,01	369,92
12 Evaporador	3	73	9,53	15,1	271,80	14,92	0,54	124,16	8234,67	273,10	222,30	25,4	0,258	2025,05	2,22	17,07	4067,17
Sobrecalentador																	
13 1era presión	3,00	141,30	7,14	2,75	49,43	40,28	1,27	125,20	4107,12	88,90	66,64	11,13	0,035	278,60	0,67	1,53	558,74
16 2da presión																	
Recalentadores																	
14 1era presión																	
15 2da presión																	
									27233,20								11786,22

Domo	Diámetro [m]	Largo [m]	Pi	Espesor [m]	Peso Especifico [(kg/m³)]	Peso envolvente [Kg]	Diámetro interior [m]	Volumen [m³]	Peso casquetes [kg]	Peso total vacío [Kg]	Volumen envolvente [m³]	Volumen casquete [m³]	Volumen total [dm³]	Peso total lleno [kg]
Low pressure (LP)	1,52	8,50	3,14	0,005185	7850	1651,24	1,50963	0,037359	293,27	1944,51	15,21	1,800	17006,999	18952
Intermediate pressure (IP)	1,52	7,50	3,14	0,014952	7850	4201,49	1,49010	0,106352	834,86	5036,35	13,07	1,731	14804,018	19840
High pressure (HP)	1,83	15,00	3,14	0,061754	7850	41783,69	1,70649	0,606536	4761,31	46544,99	34,29	2,601	36890,859	83436

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021	
			GRUPO		
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones		REV	A
	TITULO			HOJA	38

Dimensionamiento de las Vigas: Longitudinales (Componentes)

Material : F-26
 Límite de Fluencia : 2498,3 kg/cm²
 σ_{adm} : 1319,1024 kg/cm²

Límite de Fluencia [Mpa]

Se selecciona el Límite de Fluencia en la norma IRAM IAS U500-42 (página 9) según el material y el rango de espesores a utilizar

Tabla 1 - Características mecánicas

Características mecánicas	Espesor e (mm)	Designación				
		F-22	F-24	F-26	F-30	F-36
Resistencia a la tracción (MPa)	e ≤ 100	310-460	360-510	400-550	450-600	490-640
	100 < e ≤ 150	300-450	340-490	380-530	430-580	470-620
Límite de fluencia mínimo (MPa)	e ≤ 16	215	235	250	295	355
	16 < e ≤ 40	205	225	245	285	345
	40 < e ≤ 63	205	215	245	275	335
	63 < e ≤ 80	195	215	235	265	325
	80 < e ≤ 100	195	215	235	255	315
	100 < e ≤ 150	185	195	215	245	295

σ_{adm} : Sigma Admisible [kg/cm²]

Para establecer el sigma admisible nos basamos en el cálculo de la norma AISC Código de diseño estructural (página 805)

$\sigma_{adm} = \text{Límite de fluencia} * 0,66 * 0,8$ → Se establece un 20% de sobredimensionamiento por diversos esfuerzos

Finalmente este valor será verificado con el análisis en STAAD Pro - Software de análisis estructural y diseño 3D

Momento Resistente [Nm] o [kgcm]

Se calculo en base a las dimensiones pre establecidas utilizando la siguiente página online:

<https://www.aprenderengenharia.com.br/viga-online>

W mínimo [cm³]

$W_{min} = \text{Momento Resistente [kg.cm]} / \text{Sigma admisible [Kg/cm}^2]$

(1) Se calculan los pesos a soportar por cada viga, se divide con doble raya cada viga correspondiente a uno o más componentes. Cada colector tendrá dos ganchos de donde son soportados.

Sección	Peso por paquete [kg]	Peso [kg]	W [kg/mm]	Cantidad colector secundario	Peso por colector	
					[kg]	[N]
1 Precalentador	61606,58	39962,43	9,660157	8	3850,41	37759,44
2 Economizador Alta Presión (1)	18318,27			3	3053,05	29939,99
3 Economizador Media Presión (1)	43738,09	34221,90	8,331605	6	3644,84	35743,5
4 Economizador Baja Presión	2692,66			1	1346,33	13202,91
5 Evaporador Baja Presión	22013,05			3	3668,84	35978,86
6 Economizador Media Presión (2)	29213,44	37109,58	8,791197	4	3651,68	35810,56
7 Economizador Alta Presión (2)	32938,27			5	3293,83	32301,24
8 Evaporador Media Presión	12067,45			2	3016,86	29585,15
9 Sobrecalentador Baja Presión	2288,08	32247,01	9,061177	1	1144,04	11219,13
10 Sobrecalentador Media Presión	25572,08			4	3196,51	31346,9
11 Economizador Alta Presión (3)	36633,86			5	3663,39	35925,36
12 Evaporador Alta Presión	69995,40	34997,70	10,29344	10	3499,77	34320,85
13 Sobrecalentador Alta Presión (1)	15642,27	12698,33	5,989779	2	3910,57	38349,38
14 Recalentadores (1)	1347,41			1	673,70	6606,748
15 Recalentadores (2)	1367,46			1	683,73	6705,049
16 Sobrecalentador Alta Presión (2)	7039,53			1	3519,76	34516,91

REFERENCIAS
 Norma IRAM IAS U500-42
 Norma IRAM IAS U500-503
 AISC Código de diseño estructural

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL			AÑO	2021	
				GRUPO		
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones			REV	A
	TITULO			HOJA	39	

Dimensionamiento de las Vigas: Longitudinales (Componentes)

(2) Se dimensiona el momento resistente teniendo en cuenta los puntos de distancia entre los pesos y el largo total.

Sección	DIMENSIONAMIENTO VIGA - MOMENTO									RESISTENCIA		
	LARGO TOTAL [m]	1	2	3	4	5	6	7	8	Momento Resistente		W mínimo [cm ³]
		puntos de distancia [m]									[Nm]		[kgcm]
1 Precalentador	4,136830	0,36078	0,70818	1,05558	1,4029800	1,7504	2,09778	2,4452	2,79258	219701,9	2240300,27	1698,352
2 Economizador Alta Presión (1)		3,37178	3,60338	3,83498								
3 Economizador Media Presión (1)	4,107480	0,30262	0,65157	1,00052	1,3494700	1,6984	2,04737			211947,6	2161229,68	1638,409
4 Economizador Baja Presión		2,45287										
5 Evaporador Baja Presión		3,11627	3,46367	3,81107								
6 Economizador Media Presión (2)	4,221220	0,36052	0,70792	1,05532	1,4027200					287624,6	2932908,05	2223,412
7 Economizador Alta Presión (2)		1,92325	2,15485	2,38645	2,6180500	2,8497						
8 Evaporador Media Presión		3,51305	3,74465									
9 Sobrecalentador Baja Presión	3,558810	0,24498								175935,4	1794013,27	1360,026
10 Sobrecalentador Media Presión		0,65023	0,88183	1,11343	1,3450300							
11 Economizador Alta Presión (3)		1,86659	2,21399	2,56139	2,9087900	3,2562						
12 Evaporador Alta Presión	3,400000	0,36078	0,59238	0,82398	1,0555800	1,2872				143522,2	1463495,87	1109,463
		1,85858	2,20598	2,55338	2,9007800	3,2482						
13 Sobrecalentador Alta Presión (1)	2,120000	0,2896	0,637							33982,5	346519,553	262,6934
14 Recalentadores (1)		1,01342										
15 Recalentadores (2)		1,24522										
16 Sobrecalentador Alta Presión (2)		1,6219										

(3) Se dimensionan las medidas geométricas de la viga, este paso se realizó iterando varios valores hasta lograr cumplir con la verificación: Sigma de la viga < Sigma admisible.

Sección	DIMENSIONAMIENTO DE LA VIGA [cm]										Sigma < oadm = 1319,10 kg/cm ²	
	Ht	b	e	ha	ea	Ymax	Ix alas	Ix alma	Ix total	W [cm ³]	Sigma [kg/cm ²]	Cumple?
1 Precalentador	45	20	2,54	39,92	3,81	22,5	22923,53	20198,32	43121,85	1916,527	1168,937679	SI
2 Economizador Alta Presión (1)												
3 Economizador Media Presión (1)	45	20	2,54	39,92	3,81	22,5	22923,53	20198,32	43121,85	1916,527	1127,680442	SI
4 Economizador Baja Presión												
5 Evaporador Baja Presión												
6 Economizador Media Presión (2)	45	20	4,445	36,11	5,08	22,5	36700,01	19932,64	56632,65	2517,007	1165,236403	SI
7 Economizador Alta Presión (2)												
8 Evaporador Media Presión												
9 Sobrecalentador Baja Presión	45	20	2,54	39,92	2,54	22,5	22923,53	13465,55	36389,08	1617,292	1109,269673	SI
10 Sobrecalentador Media Presión												
11 Economizador Alta Presión (3)												
12 Evaporador Alta Presión	45	20	2,54	39,92	2,54	22,5	22923,53	13465,55	36389,08	1617,292	904,9050039	SI
13 Sobrecalentador Alta Presión (1)	40	15	1,27	37,46	1,27	20	7146,372	5563,214	12709,59	635,4793	545,2884856	SI
14 Recalentadores (1)												
15 Recalentadores (2)												
16 Sobrecalentador Alta Presión (2)												

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	40

Dimensionamiento de las Vigas: Transversales

Material : F-26
 Límite de Fluencia : 2498,3 kg/cm²
 σ_{adm} : 1319,1024 kg/cm²

Límite de Fluencia [Mpa]

Se selecciona el Límite de Fluencia en la norma IRAM IAS U500-42 (página 9) según el material y el rango de espesores a utilizar

Tabla 1 - Características mecánicas

Características mecánicas	Espesor e (mm)	Designación				
		F-22	F-24	F-26	F-30	F-36
Resistencia a la tracción (MPa)	e ≤ 100	310-460	360-510	400-550	450-600	490-640
	100 < e ≤ 150	300-450	340-490	380-530	430-580	470-620
Límite de fluencia mínimo (MPa)	e ≤ 16	215	235	250	295	355
	16 < e ≤ 40	205	225	245	285	345
	40 < e ≤ 63	205	215	245	275	335
	63 < e ≤ 80	195	215	235	265	325
	80 < e ≤ 100	195	215	235	255	315
	100 < e ≤ 150	185	195	215	245	295

σ_{adm} : Sigma Admisible [kg/cm²]

Para establecer el sigma admisible nos basamos en el cálculo de la norma AISC Código de diseño estructural (página 805)

$\sigma_{adm} = \text{Límite de fluencia} * 0,66 * 0,8$ → Se establece un 20% de sobredimensionamiento por diversos esfuerzos

Finalmente este valor será verificado con el análisis en STAAD Pro - Software de análisis estructural y diseño 3D

Momento Resistente [Nm] o [kgcm]

Se calculo en base a las dimensiones pre establecidas utilizando la siguiente página online:

<https://www.aprenderengenharia.com.br/viga-online>

W mínimo [cm³]

$W_{min} = \text{Momento Resistente [kg.cm]} / \text{Sigma admisible [Kg/cm}^2]$

(1) Se calculan los pesos a soportar por cada viga, se divide con doble raya cada viga transversal, en este caso se suma el peso de uno o más componentes y el peso del domo (alta, intermedia o baja) según la ubicación de los soportes.

Sección	VIGA POR COMPONENTES				División para la Viga Transversal	Cargas con domo [N]	Carga Total [N]
	Peso por paquete [kg]	Peso por colector		Fuerza del domo [N]			
		[kg]	[N]				
1 Precalentador	61606,58	79924,85	783791,05		32657,96	5	32657,9605
2 Economizador Alta Presión (1)	18318,27				60624,67		60624,6684
3 Economizador Media Presión (1)	43738,09	68443,80	671200,99			11	24271,335 84896,0034
4 Economizador Baja Presión	2692,66			48542,67			
5 Evaporador Baja Presión	22013,05				58293,27		58293,273
6 Economizador Media Presión (2)	29213,44	74219,15	727837,56	48542,67		11	49523,33 107816,603
7 Economizador Alta Presión (2)	32938,27			50503,99			
8 Evaporador Media Presión	12067,45				56679,36		56679,3576
9 Sobrecalentador Baja Presión	2288,08	64494,02	632467,02	48542,67		11	49523,33 106202,688
10 Sobrecalentador Media Presión	25572,08			50503,99			
11 Economizador Alta Presión (3)	36633,86				54953,5		54953,497
12 Evaporador Alta Presión	69995,40	69995,40	686416,91	210841,9		12	130672,95 185626,442
13 Sobrecalentador Alta Presión (1)	15642,27	18357,14	180021,10		36101,58	11	36101,5835
14 Recalentadores (1)	1347,41						105420,95 141522,534
15 Recalentadores (2)	1367,46				10377,29		10377,2884
16 Sobrecalentador Alta Presión (2)	7039,53	7039,53	69033,83			13	

REFERENCIAS
 Norma IRAM IAS U500-42
 Norma IRAM IAS U500-503
 AISC Código de diseño estructural

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL										AÑO	2021	
											GRUPO		
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones										REV	A
	TITULO											HOJA	41

Dimensionamiento de las Vigas: Transversales

(2) Se dimensiona el momento resistente teniendo en cuenta los puntos de distancia entre los pesos y el largo total.

Sección	LARGO TOTAL [m]	DIMENSIONAMIENTO VIGA - MOMENTO												RESISTENCIA		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Momento Resistente		W mínimo [cm ³]
		puntos de distancia [m]												[Nm]	[kgcm]	
1 Precalentador														780223	7955933,93	6031,32
2 Economizador Alta Presión (1)														1575236	16062681,49	12176,98
3 Economizador Media Presión (1)																
4 Economizador Baja Presión																
5 Evaporador Baja Presión														1651530	16840651,41	12766,75
6 Economizador Media Presión (2)																
7 Economizador Alta Presión (2)																
8 Evaporador Media Presión	15,200	0,908	2,228	3,320	4,641	5,733	7,053	8,145	9,465	10,557	11,877	12,969	14,289	1612972	16447475,48	12468,69
9 Sobrecalentador Baja Presión																
10 Sobrecalentador Media Presión																
11 Economizador Alta Presión (3)														2114757	21564177,13	16347,61
12 Evaporador Alta Presión																
13 Sobrecalentador Alta Presión (1)														1509411	15391463,97	11668,13
14 Recalentadores (1)																
15 Recalentadores (2)														247921	2528050,44	1916,49
16 Sobrecalentador Alta Presión (2)																

(3) Se dimensionan las medidas geométricas de la viga, este paso se realizó iterando varios valores hasta lograr cumplir con la verificación: Sigma de la viga < Sigma admisible.

Sección	DIMENSIONAMIENTO DE LA VIGA [cm]										Sigma < $\sigma_{adm} = 1319,10 \text{ kg/cm}^2$	
	Ht	b	e	ha	ea	Ymax	Ix alas	Ix alma	Ix total	W [cm ³]	Sigma [kg/cm ²]	Cumple?
1 Precalentador	80	45	2,54	74,92	3,175	40	171512,93	111264,29	282777,21	7069,43	1125,400	SI
2 Economizador Alta Presión (1)												
3 Economizador Media Presión (1)	80	45	6,35	67,3	7,62	40	388460,22	193561,47	582021,69	14550,54	1103,923	SI
4 Economizador Baja Presión												
5 Evaporador Baja Presión												
6 Economizador Media Presión (2)	80	45	6,35	67,3	7,62	40	388460,22	193561,47	582021,69	14550,54	1157,390	SI
7 Economizador Alta Presión (2)												
8 Evaporador Media Presión												
9 Sobrecalentador Baja Presión	80	45	6,35	67,3	7,62	40	388460,22	193561,47	582021,69	14550,54	1130,369	SI
10 Sobrecalentador Media Presión												
11 Economizador Alta Presión (3)	90	45	7,62	74,76	7,62	45	583428,85	265327,10	848755,95	18861,24	1143,306	SI
12 Evaporador Alta Presión												
13 Sobrecalentador Alta Presión (1)	80	45	6,35	67,3	7,62	40	388460,22	193561,47	582021,69	14550,54	1057,793	SI
14 Recalentadores (1)												
15 Recalentadores (2)	80	45	1,27	77,46	1,27	40	88567,51	49187,52	137755,03	3443,88	734,071	SI
16 Sobrecalentador Alta Presión (2)												

Dimensionamiento de las Vigas: Domos

Se dimensionan las vigas longitudinales correspondientes a los soportes de cada domo (baja, intermedia y alta).

	Peso del domo [N]	Peso por silleta [N]	Peso por silleta [kg]	W [kg/mm]	Longitud silleta [m]	q [N/m]	LARGO (m)	Puntos de distancia [m]		RESISTENCIA		
								1	2	Momento [Nm]	Momento [kgcm]	W mínimo [cm ³]
Low pressure (LP)	194170,68	97085,34	9900	7,0866	1,397	69495,591	2,1	0,3515	1,7485	34014,55	346846,366	262,9412
Intermediate pressure (IP)	202015,96	101007,98	10300	7,3729	1,397	72303,493	2,1	0,3515	1,7485	35388,87	360860,307	273,565
High pressure (HP)	843367,60	210841,90	21500	13,0145	1,652	127628,269	2,75	0,549	2,201	101410,5	1034082,87	783,9292

	DIMENSIONES DE LA VIGA [cm]										Sigma < $\sigma_{adm} = 1319,10 \text{ kg/cm}^2$	
	Ht	b	e	ha	ea	Ymax	Ix alas	Ix alma	Ix total	W [cm ³]	Sigma [kg/cm ²]	Cumple?
Low pressure (LP)	30	20	0,635	28,73	1,27	15	2738,239486	2509,743585	5247,983	349,865538	991,3704798	SI
Intermediate pressure (IP)	30	20	0,635	28,73	1,27	15	2738,239486	2509,743585	5247,983	349,865538	1031,4257	SI
High pressure (HP)	30	20	2,54	24,92	2,54	15	9603,767093	3275,643158	12879,41	858,62735	1204,344199	SI

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	42

Dimensionamiento de las Vigas: Columnas

Material : F-26
 Límite de Fluencia : 2498,3 kg/cm² = 35,5341 ksi
 σ_{adm} : 1319,1024 kg/cm² = 18,7620 ksi

Límite de Fluencia [Mpa]

Se selecciona el Límite de Fluencia en la norma IRAM IAS U500-42 (página 9) según el material y el rango de espesores a utilizar

Tabla 1 - Características mecánicas

Características mecánicas	Espesor e (mm)	Designación				
		F-22	F-24	F-26	F-30	F-36
Resistencia a la tracción (MPa)	e ≤ 100	310-460	360-510	400-550	450-600	490-640
	100 < e ≤ 150	300-450	340-490	380-530	430-580	470-620
Límite de fluencia mínimo (MPa)	e ≤ 16	215	235	250	295	355
	16 < e ≤ 40	205	225	245	285	345
	40 < e ≤ 63	205	215	245	275	335
	63 < e ≤ 80	195	215	235	265	325
	80 < e ≤ 100	195	215	235	255	315
	100 < e ≤ 150	185	195	215	245	295

σ_{adm} : Sigma Admisible [kg/cm²]

Para establecer el sigma admisible nos basamos en el cálculo de la norma AISC Código de diseño estructural (página 805)

$\sigma_{adm} = \text{Límite de fluencia} * 0,66 * 0,8$ Se establece un 20% de sobredimensionamiento por diversos esfuerzos

Finalmente este valor será verificado con el análisis en STAAD Pro - Software de análisis estructural y diseño 3D

(1) Se calcula la carga total a soportar por cada columna, se toma la separación con doble raya correspondiente a cada columna. Se sumo el peso por componentes, por colector y domo según su ubicación.

Sección	COMPONENTES		COLUMNAS		
	Peso por paquete [kg]	Peso Total [kg]	Cargas colectores [kg]	Cargas domos [kg]	Carga Total por columna [kg]
1 Precalentador	61606,58	79924,85	19981,213	—	19981,21
2 Economizador Alta Presión (1)	18318,27		37092,163	4950	42042,16
3 Economizador Media Presión (1)	43738,09	68443,80			
4 Economizador Baja Presión	2692,66				
5 Evaporador Baja Presión	22013,05		35665,739	10100	45765,74
6 Economizador Media Presión (2)	29213,44	74219,15			
7 Economizador Alta Presión (2)	32938,27				
8 Evaporador Media Presión	12067,45		34678,293	5150	39828,29
9 Sobrecalentador Baja Presión	2288,08	64494,02			
10 Sobrecalentador Media Presión	25572,08				
11 Economizador Alta Presión (3)	36633,86		33622,355	5150	38772,35
12 Evaporador Alta Presión	69995,40	69995,40			
13 Sobrecalentador Alta Presión (1)	15642,27	24032,55	23506,988	21500	45006,99
14 Recalentadores (1)	1122,84				
15 Recalentadores (2)	227,91		6008,1371		6008,14
16 Sobrecalentador Alta Presión (2)	7039,53				
Low pressure (LP)					4950
Intermediate pressure (IP)					5150
High pressure (HP)					10750

REFERENCIAS
 Norma IRAM IAS U500-42
 Norma IRAM IAS U500-503
 AISC Código de diseño estructural

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	43

Dimensionamiento de las Vigas: Columnas

(2) Se dimensionan las medidas geométricas de la viga, este paso se realizó iterando varios valores hasta lograr cumplir con las verificaciones.

Sección	LARGO TOTAL [m]	Lpy [cm]	DIMENSIONAMIENTO DE LA VIGA [cm]																
			Ht	b	e	ha	ea	Área [cm ²]	Iz alas [cm ⁴]	Iz alma [cm ⁴]	Iz total [cm ⁴]	Iy alas [cm ⁴]	Iy [cm ⁴]	ry [cm]	ly	rz [cm]	lz		
1 Precalentador	29,000	5800	120	80	8,81	102,38	6,35	1354,913	2182957,3	567855,52	2750812,9	1503573,3	2071428,9	33,31	174,11	45,06	128,72		
2 Economizador Alta Presión (1)			120	80	10,81	98,38	6,35	1489,513	2586056,4	503863,54	3089920,0	1844906,7	2348770,2	35,19	164,80	45,55	127,34		
3 Economizador Media Presión (1)																			
4 Economizador Baja Presión																			
5 Evaporador Baja Presión			120	80	10,81	98,38	6,35	1489,513	2586056,4	503863,54	3089920,0	1844906,7	2348770,2	35,19	164,80	45,55	127,34		
6 Economizador Media Presión (2)																			
7 Economizador Alta Presión (2)																			
8 Evaporador Media Presión			120	80	10,81	98,38	6,35	1489,513	2586056,4	503863,54	3089920,0	1844906,7	2348770,2	35,19	164,80	45,55	127,34		
9 Sobrecalentador Baja Presión																			
10 Sobrecalentador Media Presión																			
11 Economizador Alta Presión (3)			120	80	10,81	98,38	6,35	1489,513	2586056,4	503863,54	3089920,0	1844906,7	2348770,2	35,19	164,80	45,55	127,34		
12 Evaporador Alta Presión																			
13 Sobrecalentador Alta Presión (1)			120	80	10,81	98,38	6,35	1489,513	2586056,4	503863,54	3089920,0	1844906,7	2348770,2	35,19	164,80	45,55	127,34		
14 Recalentadores (1)																			
15 Recalentadores (2)			120	80	10,81	98,38	6,35	1489,513	2586056,4	503863,54	3089920,0	1844906,7	2348770,2	35,19	164,80	45,55	127,34		
16 Sobrecalentador Alta Presión (2)																			
Low pressure (LP)	0,70541	0,493787	20	20	1,27	17,46	1,27	47,57	2231,08	563,32	2794,40	3386,67	3949,99	8,44	0,06	7,66	0,06		
Intermediate pressure (IP)			20	20	1,27	17,46	1,27	47,57	2231,08	563,32	2794,40	3386,67	3949,99	8,44	0,06	7,66	0,06		
High pressure (HP)			20	20	1,905	16,19	1,905	68,94	3130,28	673,68	3803,96	5080,00	5753,68	8,58	0,06	7,43	0,07		

Longitud de pandeo según el caso (f)

Condición de λy - λz

Table C-C2.1

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code						
			Rotation fixed and translation fixed	Rotation free and translation fixed	Rotation fixed and translation free	Rotation free and translation free

B7. LIMITING SLENDERNESS RATIOS

For members whose design is based on compressive force, the slenderness ratio Kl/r preferably should not exceed 200. If this limit is exceeded, the allowable stress shall not exceed the value obtained from Equation (E2-2).

(3) Limitación de la relación ancho-espesor, depende de los valores geométricos pre establecidos y la relación máxima seleccionada de AISC. Finalmente la verificación de sigma admisible.

Sección	LIMITACION DE LA RELACION ANCHO - ESPESOR				VERIFICACIÓN						
	Kc	h/t	b/t	Relación Máxima [b/t]	Cc	$(K^2l^2/r^2)/Cc$	σ_{adm} [ksi]	σ [ksi]	W	σ [ksi]	
1 Precalentador	1	13,62	9,08	15,93680013	128,75	1,3524	1,6366	0,2098	6,330	1,327745	
2 Economizador Alta Presión (1)		11,10	7,40			1,2801	3,4198	0,4015	5,620	2,256199	
3 Economizador Media Presión (1)											
4 Economizador Baja Presión											
5 Evaporador Baja Presión		11,10	7,40			1,2801	3,4198	0,4370	5,620	2,456025	
6 Economizador Media Presión (2)											
7 Economizador Alta Presión (2)											
8 Evaporador Media Presión		11,10	7,40			1,2801	3,4198	0,3803	5,620	2,137392	
9 Sobrecalentador Baja Presión											
10 Sobrecalentador Media Presión											
11 Economizador Alta Presión (3)		11,10	7,40			1,2801	3,4198	0,3702	5,620	2,080724	
12 Evaporador Alta Presión											
13 Sobrecalentador Alta Presión (1)		11,10	7,40			1,2801	3,4198	0,4298	5,620	2,415307	
14 Recalentadores (1)											
15 Recalentadores (2)		11,10	7,40			1,2801	3,4198	0,0574	5,620	0,322428	
16 Sobrecalentador Alta Presión (2)											
Low pressure (LP)	1	15,75	15,75	15,93680013	128,75	0,000455	21,40	1,48			
Intermediate pressure (IP)		15,75	15,75			0,000455	21,40	1,54			
High pressure (HP)		10,50	10,50			0,000447	21,40	2,22			

Continua en la siguiente página

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	44

Dimensionamiento de las Vigas: Columnas

Se determinan los coeficientes para la limitación de la relación ancho - espesor

Coeficiente Kc

^aFor hybrid beams, use the yield strength of the flange F_y , instead of F_c .
^bAssumes net area of plate at widest hole.
^cFor design of slender sections that exceed the noncompact limits see Appendix B5.
^dSee also Sect. F3.1.
^e $k_c = \frac{4.05}{(h/t)^{0.46}}$ if $h/t > 70$, otherwise $k_c = 1.0$.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION

Relación máxima b/t

TABLE B5.1
Limiting Width-Thickness Ratios
for Compression Elements

Description of Element	Width-Thickness Ratio	Limiting Width-Thickness Ratios	
		Compact	Noncompact ^d
Flanges of I-shaped rolled beams and channels in flexure ^a	b/t	$65/\sqrt{F_y}$	$95/\sqrt{F_y}$
Flanges of I-shaped welded beams in flexure	b/t	$65/\sqrt{F_y}$	$95/\sqrt{F_y/k_c}$
Outstanding legs of pairs of angles in continuous contact; angles or plates projecting from rolled beams or columns; stiffeners on plate girders	b/t	NA	$95/\sqrt{F_y}$
Angles or plates projecting from girders, built-up columns or other compression members; compression flanges of plate girders	b/t	NA	$95/\sqrt{F_y/k_c}$

Verificación

E1. EFFECTIVE LENGTH AND SLENDERNESS RATIO

The effective-length factor K shall be determined in accordance with Sect. C2.

In determining the slenderness ratio of an axially loaded compression member, the length shall be taken as its effective length Kl and r as the corresponding radius of gyration. For limiting slenderness ratios, see Sect. B7.

E2. ALLOWABLE STRESS

On the gross section of axially loaded compression members whose cross sections meet the provisions of Table B5.1, when Kl/r , the largest effective slenderness ratio of any unbraced segment is less than C_c , the allowable stress is:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} \quad (E2-1)$$

where

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

On the gross section of axially loaded compression members, when Kl/r exceeds C_c , the allowable stress is:

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \quad (E2-2)$$

Selección del Coeficiente de pandeo W

Tabla 4. Coeficiente de pandeo ω para el acero F-26.

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
20	1,20	1,20	1,21	1,21	1,22	1,22	1,23	1,23	1,24	1,24	20
30	1,25	1,26	1,26	1,27	1,28	1,28	1,29	1,30	1,30	1,31	30
40	1,32	1,33	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,38	1,38	1,39	40
50	1,40	1,41	1,42	1,43	1,44	1,46	1,47	1,48	1,49	1,50	50
60	1,51	1,53	1,54	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	60
70	1,65	1,67	1,68	1,70	1,71	1,73	1,75	1,76	1,78	1,80	70
80	1,82	1,84	1,86	1,88	1,89	1,91	1,94	1,96	1,98	2,00	80
90	2,02	2,04	2,06	2,09	2,11	2,13	2,16	2,18	2,20	2,23	90
100	2,25	2,28	2,31	2,33	2,36	2,38	2,41	2,44	2,47	2,49	100
110	2,53	2,58	2,62	2,67	2,72	2,77	2,81	2,86	2,91	2,96	110
120	3,01	3,06	3,11	3,16	3,21	3,27	3,32	3,37	3,43	3,48	120
130	3,53	3,59	3,64	3,70	3,75	3,81	3,87	3,92	3,98	4,04	130
140	4,10	4,16	4,22	4,28	4,34	4,40	4,46	4,52	4,58	4,64	140
150	4,70	4,77	4,83	4,89	4,96	5,02	5,09	5,15	5,22	5,29	150
160	5,35	5,42	5,49	5,55	5,62	5,69	5,76	5,83	5,90	5,97	160
170	6,04	6,11	6,19	6,26	6,33	6,40	6,48	6,55	6,62	6,70	170
180	6,77	6,85	6,93	7,00	7,08	7,16	7,23	7,31	7,39	7,47	180
190	7,55	7,63	7,71	7,79	7,87	7,95	8,03	8,11	8,20	8,28	190
200	8,36	8,45	8,53	8,62	8,70	8,79	8,87	8,96	9,05	9,13	200
210	9,22	9,31	9,40	9,49	9,57	9,66	9,75	9,85	9,94	10,03	210
220	10,12	10,21	10,30	10,40	10,49	10,58	10,68	10,77	10,87	10,96	220
230	11,06	11,16	11,25	11,35	11,45	11,55	11,64	11,74	11,84	11,94	230
240	12,04	12,14	12,24	12,35	12,45	12,55	12,65	12,76	12,86	12,96	240
250	13,07										250

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL – Facultad Regional Avellaneda
Ingeniería Civil – Cátedra: Resistencia de Materiales
Docente: Ing. Alfredo Omar López
24

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	45

Dimensionamiento del soporte de los componentes

Reliazamos el predimensionamiento de un soporte para cada componente tipo gancho con perno en los colectores secundarios contra las vigas de la estructura general.

Material	: F-26	Material	: SA - 192
Límite de Fluencia	: 2498,3 kg/cm ²	Límite de Fluencia	: 942,2178 kg/cm ²
σ_{adm}	: 1319,1024 kg/cm ²	σ_{adm}	: 753,7742 kg/cm ²
τ_{adm}	: 1055,2821 kg/cm ²	τ_{adm}	: 603,0194 kg/cm ²

Límite de Fluencia [Mpa]

Se selecciona el Límite de Fluencia en la norma IRAM IAS U500-42 (página 9) según el material y el rango de espesores a utilizar.

Tabla 1 - Características mecánicas

Características mecánicas	Espesor e (mm)	Designación				
		F-22	F-24	F-26	F-30	F-36
Resistencia a la tracción (MPa)	e ≤ 100	310-460	360-510	400-550	450-600	490-640
	100 < e ≤ 150	300-450	340-490	380-530	430-580	470-620
Límite de fluencia mínimo (MPa)	e ≤ 16	215	235	250	295	355
	16 < e ≤ 40	205	225	245	285	345
	40 < e ≤ 63	205	215	245	275	335
	63 < e ≤ 80	195	215	235	265	325
	80 < e ≤ 100	195	215	235	255	315
	100 < e ≤ 150	185	195	215	245	295

σ_{adm} : Sigma Admisible [kg/cm²]

Para establecer el sigma admisible nos basamos en el cálculo de la norma AISC Código de diseño estructural (página 805)

$$\sigma_{adm} = \text{Límite de fluencia} * 0,66 * 0,8$$

Se establece un 20% de sobredimensionamiento por diversos esfuerzos

Finalmente este valor será verificado con el análisis en STAAD Pro - Software de análisis estructural y diseño 3D

(1) Se determinan el peso correspondiente a los componentes, colector y por sujeción. Luego se determina el diámetro de la barra verificando que sea menor al sigma admisible y la chapa de unión.

Sección	Peso por paquete [kg]	Cantidad de colector secundario	Diámetro exterior [mm]	Peso por colector [kg]	Peso por sujeción [kg]	BARRA		CHAPA		
						Diámetro [cm]	σ [kg/cm ²]	espesor [cm]	ancho [cm]	largo [cm]
1 Precaentador	61606,581	8	219,10	7700,823	3850,411	6	641,735	1,906	12,00	7,62
2 Economizador alta 1	18318,270	3	219,10	6106,090	3053,045	10	305,305	1,906	12,00	12,00
3 Economizador media 1	43738,094	6	219,10	7289,682	3644,841	6	607,474	1,906	12,00	7,62
4 Economizador baja	2692,658	1	114,30	2692,658	1346,329	3	448,776	1,111	7,00	4,44
5 Evaporador baja	22013,050	3	219,10	7337,683	3668,842	6	611,474	1,906	12,00	7,62
6 Economizador media 2	29213,439	4	219,10	7303,360	3651,680	6	608,613	1,906	12,00	7,62
7 Economizador alta 2	32938,269	5	219,10	6587,654	3293,827	10	329,383	1,906	12,00	12,00
8 Evaporador media	12067,446	2	219,10	6033,723	3016,862	10	301,686	1,906	12,00	12,00
9 Sobrecalentador baja	2288,077	1	114,30	2288,077	1144,039	3	381,346	1,111	7,00	4,44
10 Sobrecalentador media	25572,083	4	219,10	6393,021	3196,510	10	319,651	1,906	12,00	12,00
11 Economizador alta 3	36633,855	5	219,10	7326,771	3663,386	6	610,564	1,906	12,00	7,62
12 Evaporador alta	69995,402	10	219,10	6999,540	3499,770	10	349,977	1,906	12,00	12,00
13 Sobrecalentador alta 1	15642,272	2	219,10	7821,136	3910,568	6	651,761	1,906	12,00	7,62
14 Recalentador 1	1122,840	1	168,30	1347,409	673,704	3	224,568	1,111	6,00	4,44
15 Recalentador 2	227,909	1	141,30	1367,456	683,728	3	227,909	1,111	6,00	4,44
16 Sobrecalentador alta 2	7039,527	1	219,10	7039,527	3519,764	6	586,627	1,906	12,00	7,62

REFERENCIAS	Norma IRAM IAS U500-42
	Norma IRAM IAS U500-503
	AISC Código de diseño estructural

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	46

Dimensionamiento del soporte de los componentes

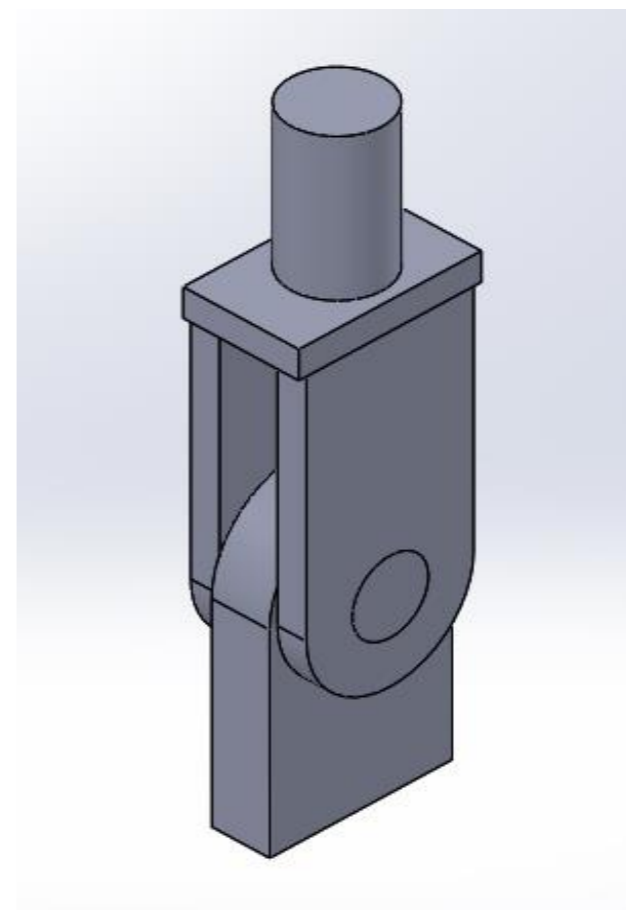
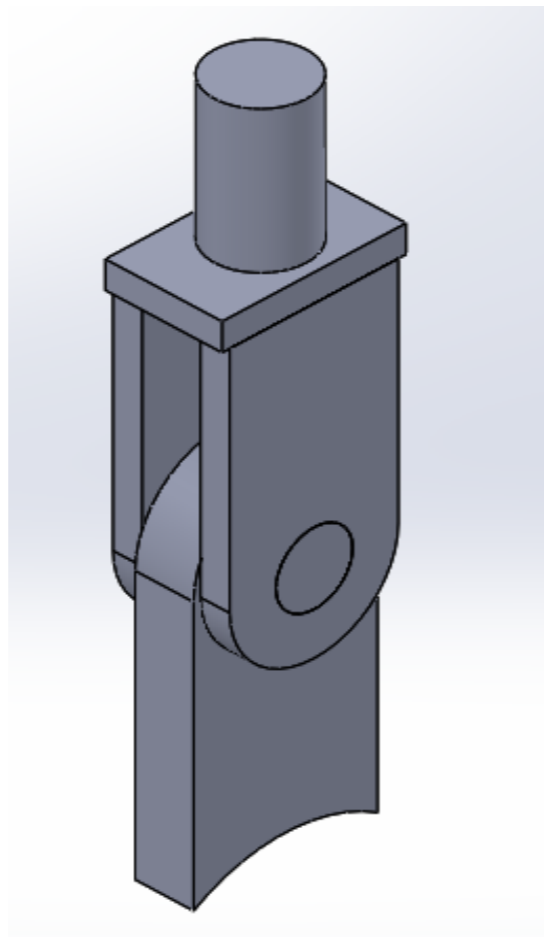
(2) Se dimensionan las medidas geométricas del perno, oreja y gancho. Se realizó iterando varios valores hasta verificar que sea menor al sigma y tao admisible.

LADO COLECTOR													
PERNO			OREJA					GANCHO					
Sección	Diámetro [cm]	Largo [cm]	τ [kg/cm ²]	e [cm]	b [cm]	h [cm]	τ [kg/cm ²]	σ [kg/cm ²]	e [cm]	b [cm]	h [cm]	τ [kg/cm ²]	σ [kg/cm ²]
1	5	7,622	523,198	3,810	3,50	3,50	433,117	144,372	1,906	3	3	505,038	336,692
2	5	7,622	414,851	3,810	3,50	3,50	343,425	114,475	1,906	3	3	400,452	266,968
3	5	7,622	495,265	3,810	3,50	3,50	409,993	136,664	1,906	3	3	478,075	318,716
4	3	4,444	508,169	2,222	2,00	2,00	454,432	151,477	1,111	2	2	454,432	302,954
5	5	7,622	498,526	3,810	3,50	3,50	412,693	137,564	1,906	3	3	481,223	320,815
6	5	7,622	496,194	3,810	3,50	3,50	410,763	136,921	1,906	3	3	478,972	319,314
7	5	7,622	447,569	3,810	3,50	3,50	370,509	123,503	1,906	3	3	432,034	288,023
8	5	7,622	409,934	3,810	3,50	3,50	339,355	113,118	1,906	3	3	395,706	263,804
9	3	4,444	431,815	2,222	2,00	2,00	386,152	128,717	1,111	2	2	386,152	257,434
10	5	7,622	434,345	3,810	3,50	3,50	359,562	119,854	1,906	3	3	419,269	279,513
11	5	7,622	497,785	3,810	3,50	3,50	412,079	137,360	1,906	3	3	480,507	320,338
12	5	7,622	475,553	3,810	3,50	3,50	393,675	131,225	1,906	3	3	459,046	306,031
13	5	7,622	531,372	3,810	3,50	3,50	439,884	146,628	1,906	3	3	512,929	341,952
14	3	4,444	254,288	2,222	1,50	1,50	303,197	101,066	1,111	2	2	227,398	151,599
15	3	4,444	258,072	2,222	1,50	1,50	307,708	102,569	1,111	2	2	230,781	153,854
16	5	7,622	478,269	3,810	3,50	3,50	395,924	131,975	1,906	3	3	461,669	307,779

LADO VIGA													
PERNO			OREJA					GANCHO					
Sección	Diámetro [cm]	Largo [cm]	τ [kg/cm ²]	e [cm]	b [cm]	h [cm]	τ [kg/cm ²]	σ [kg/cm ²]	e [cm]	b [cm]	h [cm]	τ [kg/cm ²]	σ [kg/cm ²]
1	5	7,622	523,198	3,810	3,50	3,50	433,117	144,372	1,906	3	3	505,038	336,692
2	5	7,622	414,851	3,810	3,50	3,50	343,425	114,475	1,906	3	3	400,452	266,968
3	5	7,622	495,265	3,810	3,50	3,50	409,993	136,664	1,906	3	3	478,075	318,716
4	3	4,444	508,169	2,222	2,00	2,00	454,432	151,477	1,111	2	2	454,432	302,954
5	5	7,622	498,526	3,810	3,50	3,50	412,693	137,564	1,906	3	3	481,223	320,815
6	5	7,622	496,194	3,810	3,50	3,50	410,763	136,921	1,906	3	3	478,972	319,314
7	5	7,622	447,569	3,810	3,50	3,50	370,509	123,503	1,906	3	3	432,034	288,023
8	5	7,622	409,934	3,810	3,50	3,50	339,355	113,118	1,906	3	3	395,706	263,804
9	3	4,444	431,815	2,222	2,00	2,00	386,152	128,717	1,111	2	2	386,152	257,434
10	5	7,622	434,345	3,810	3,50	3,50	359,562	119,854	1,906	3	3	419,269	279,513
11	5	7,622	497,785	3,810	3,50	3,50	412,079	137,360	1,906	3	3	480,507	320,338
12	5	7,622	475,553	3,810	3,50	3,50	393,675	131,225	1,906	3	3	459,046	306,031
13	5	7,622	531,372	3,810	3,50	3,50	439,884	146,628	1,906	3	3	512,929	341,952
14	3	4,444	254,288	2,222	1,50	1,50	303,197	101,066	1,111	2	2	227,398	151,599
15	3	4,444	258,072	2,222	1,50	1,50	307,708	102,569	1,111	2	2	230,781	153,854
16	5	7,622	478,269	3,810	3,50	3,50	395,924	131,975	1,906	3	3	461,669	307,779

Lado Colector

Lado Viga



REFERENCIAS

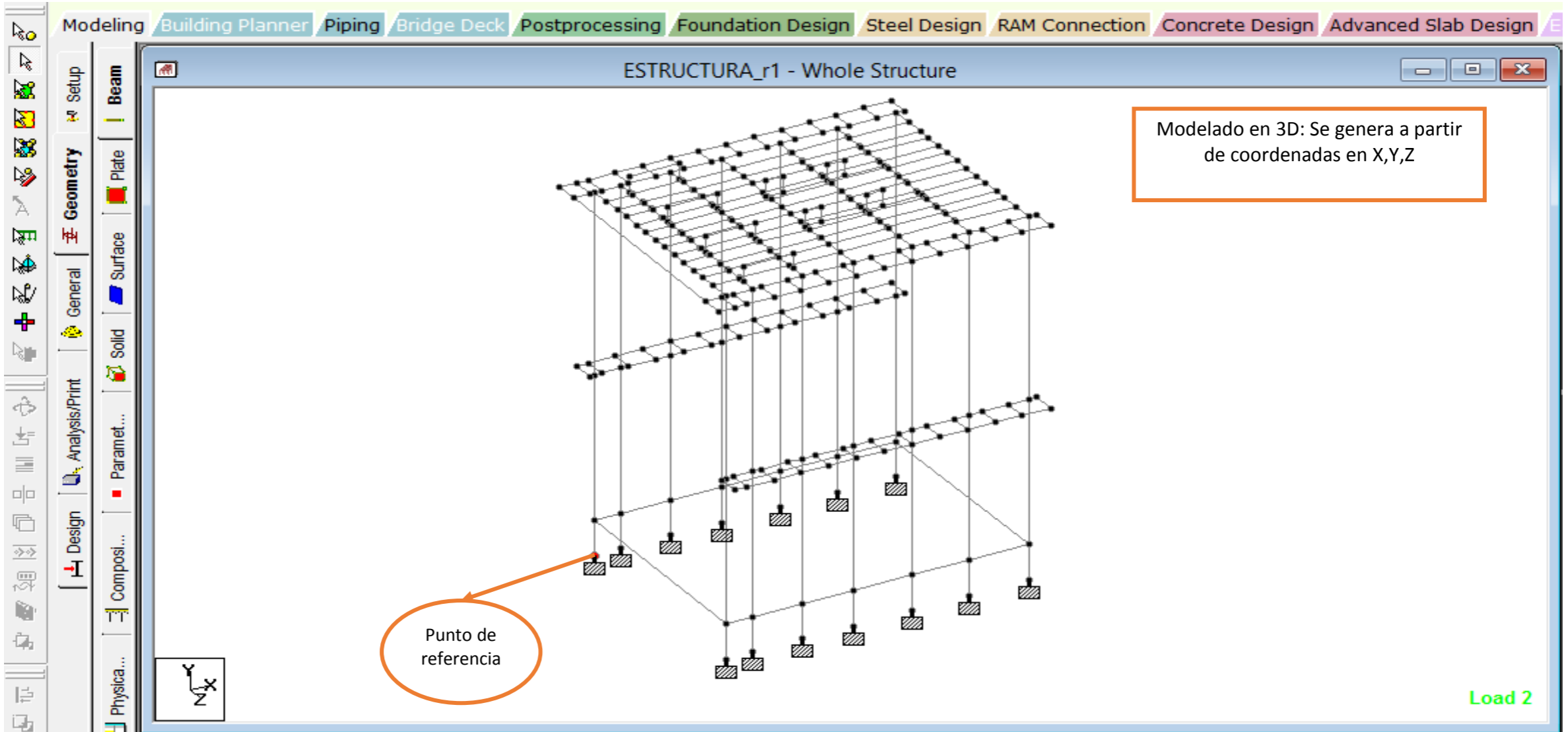
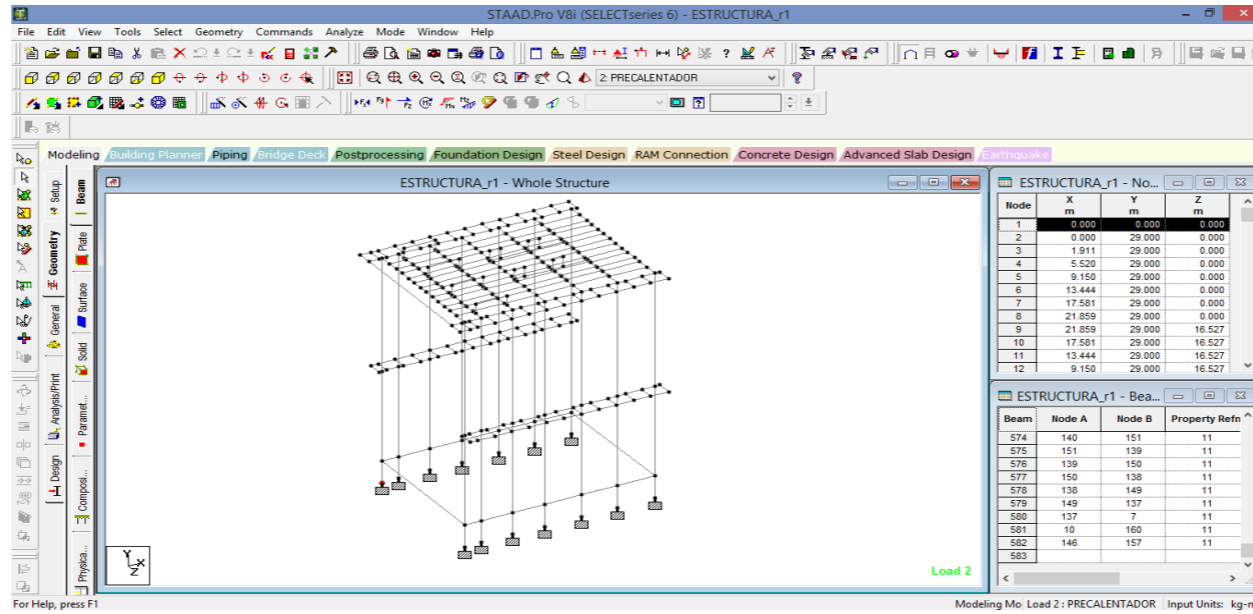
U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	GRUPO	
	TITULO		REV	A
			HOJA	47

Análisis en STAAD Pro - Software de análisis estructural y diseño 3D

1. Carga de estructura

Se modela la estructura, cargando los nodos correspondientes a los extremos de cada perfil.

Visualización del modelado en 3D



Modelado en 3D: Se genera a partir de coordenadas en X,Y,Z

Punto de referencia

Load 2

Node: Se trata de los nodos con coordenadas en X,Y,Z según corresponda

Beam: Se trata de las barras que unen los nodos. En el siguiente paso se asigna el perfil

Node	X m	Y m	Z m
1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	29.000	0.000
3	1.911	29.000	0.000
4	5.520	29.000	0.000
5	9.150	29.000	0.000
6	13.444	29.000	0.000
7	17.581	29.000	0.000
8	21.859	29.000	0.000
9	21.859	29.000	16.527
10	17.581	29.000	16.527
11	13.444	29.000	16.527
12	9.150	29.000	16.527

Beam	Node A	Node B	Property Refn
574	140	151	11
575	151	139	11
576	139	150	11
577	150	138	11
578	138	149	11
579	149	137	11
580	137	7	11
581	10	160	11
582	146	157	11
583			

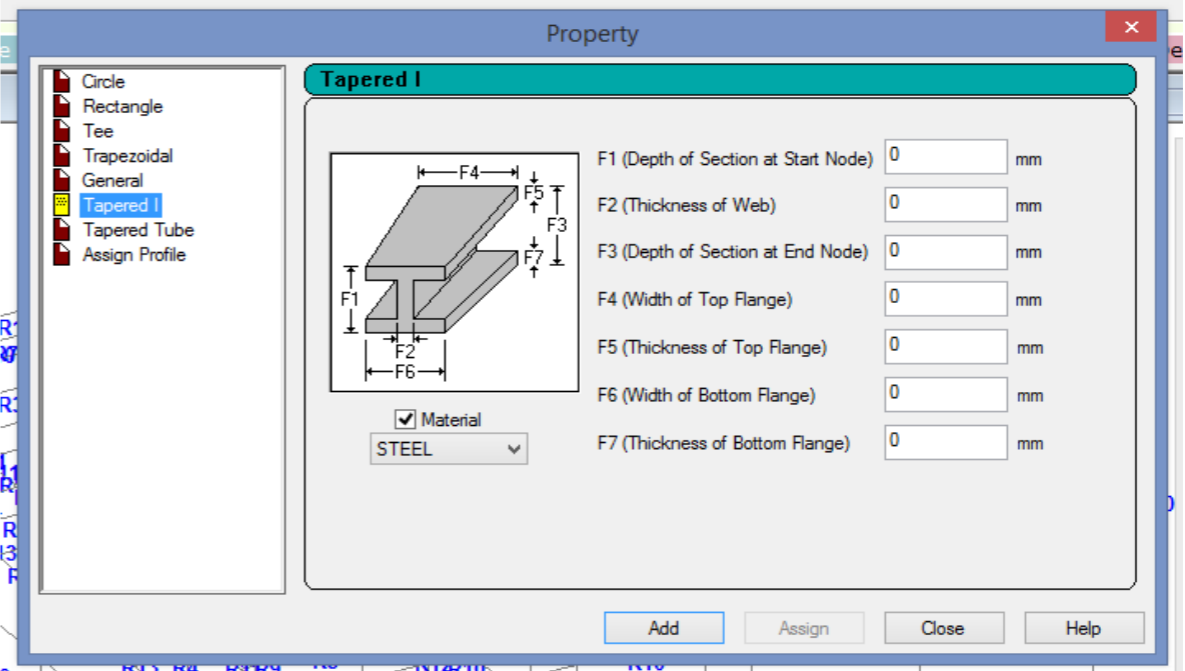
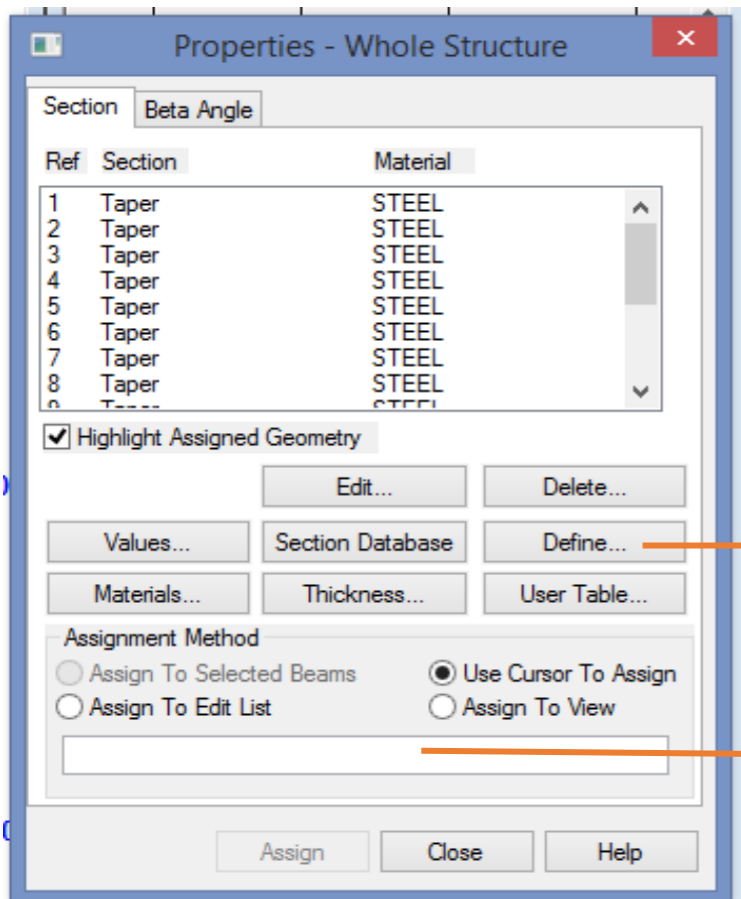
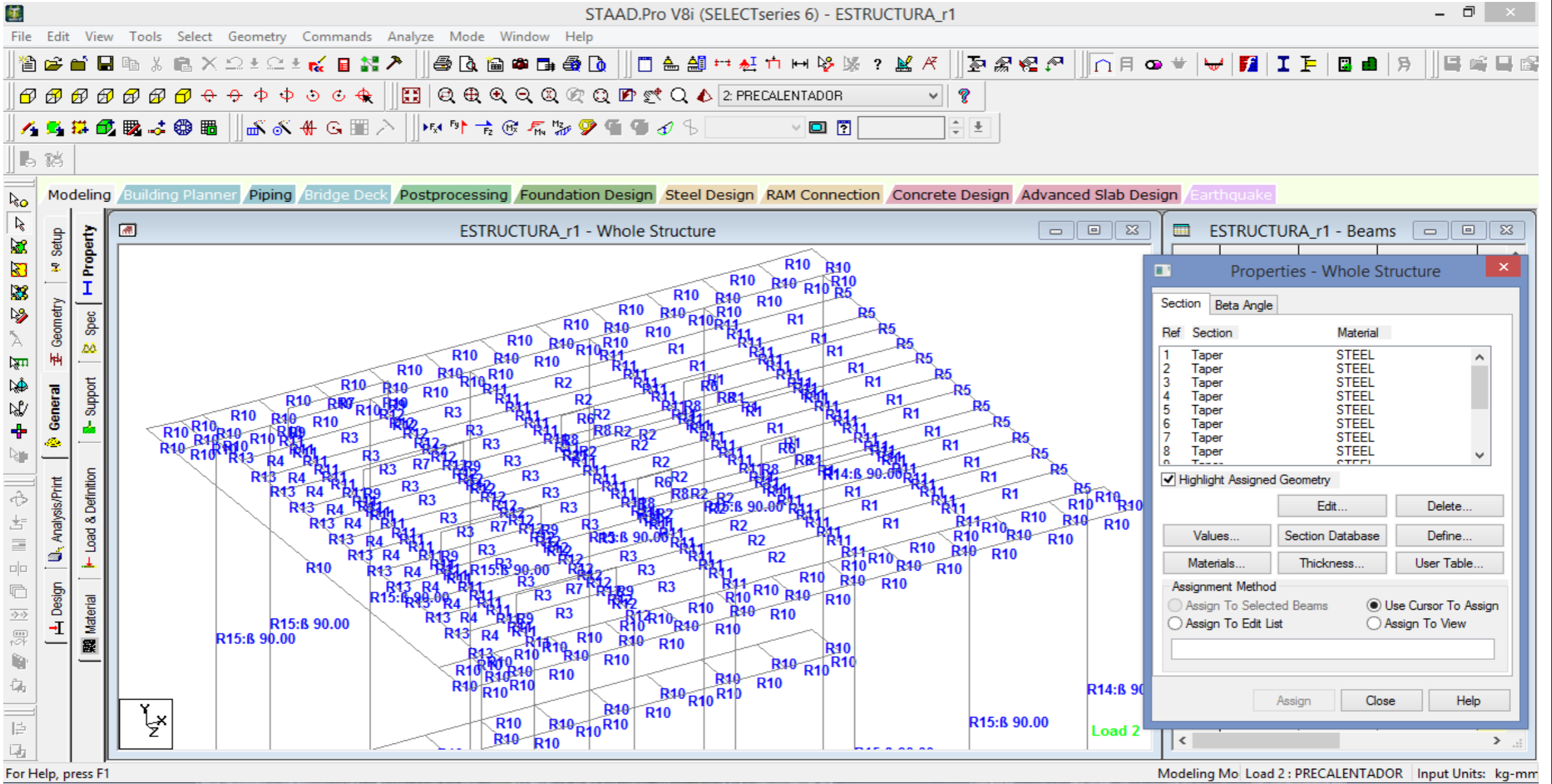
REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	48

Análisis en STAAD Pro - Software de análisis estructural y diseño 3D

2. Carga de Perfiles

Se asigna las medidas geométricas, material y posición en la estructura general (Se asigna a cada Beam)



Propiedades de cada perfil, se crea el tipo de perfil que se utiliza con sus medidas y material correspondiente

Se asigna el perfil que le corresponde a cada Beam, ya establecida

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
	TITULO		HOJA	49

Análisis en STAAD Pro - Software de análisis estructural y diseño 3D

3. Soporte de cada columna

Se asigna el vínculo representativo del soporte de la base de cada columna de la estructura general.

STAAD.Pro V8i (SELECTseries 6) - ESTRUCTURA_r1

File Edit View Tools Select Geometry Commands Analyze Mode Window Help

Modeling Building Planner Piping Bridge Deck Postprocessing Foundation Design Steel Design RAM Connection Concrete Design Advanced Slab Design Earthquake

ESTRUCTURA_r1 - Whole Structure

ESTRUCTURA_r1 - No... Full List / Supported /

Node	Support	Description
28	S2	Support 2
29		
30		
31		

Supports - Whole Structure

Ref	Description
S1	No support
S2	Support 2

Se selecciona el soporte

Se asigna al nodo específico

Click on nodes to select (Ctrl+click to toggle selection)

Modeling Mo: Load 2: PRECALENTADOR Input Units: kg-mm

4. Carga de pesos

Se asigna a cada perfil el peso representativo de los paquetes de tubos de cada componente y el peso de cada domo en donde esten ubicados.

Modeling Building Planner Piping Bridge Deck Postprocessing Foundation Design Steel Design RAM Connection Concrete Design Advanced Slab Design Earthquake

ESTRUCTURA_r1 - Whole Structure

Load & Definition

Definitions

Load Cases Details

- 2: PRECALENTADOR
- 3: ECO MEDIA 1
- 4: ECO MEDIA 2
- 5: SOBRECAL BAJA
- 6: EVA ALTA
- 7: SOBRECAL ALTA 1
- 8: DOMO ALTA
- 9: DOMO MEDIA
- 10: DOMO BAJA
- 11: COMBINATION LOAD CASE 1

Load Envelopes

Peso de los paquetes de tubos de cada componente.

Add New: Load Items

Uniform Force

Force

W1 0 kg/mm

d1 0 mm

d2 0 mm

d3 0 mm

Direction

X (Local) GX PX

Y (Local) GY PY

Z (Local) GZ PZ

Click on nodes to select (Ctrl+click to toggle selection)

NTADOR Input Units: kg-mm

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	50

Análisis en STAAD Pro - Software de análisis estructural y diseño 3D

5. Análisis de la estructura

Se obtiene el siguiente informe donde se indica que no hay errores en la misma.

STAAD Analysis and Design

```

++ Calculating Joint Displacement. 19:34:54
++ Finished Joint Displacement Calculation. 30 ms
++ Calculating Member Forces. 19:34:54
++ Analysis Successfully Completed ++
++ Calculating Section Forces1-110. 19:34:54
++ Calculating Section Forces2. 19:34:54
++ Calculating Section Forces3 19:34:54
++ Performing Steel Design
++ Start Steel Design ... 19:34:54
++ All tasks ended: Number of members designed = 300, Number of process...
++ All tasks ended: Number of members designed = 5, Number of processor...
++ Finished Design ... 3.660 sec
++ Creating Displacement File (DSP)... 19:34:58
++ Creating Reaction File (REA)... 19:34:58
++ Calculating Section Forces1-110. 19:34:58
++ Calculating Section Forces2. 19:34:58
++ Calculating Section Forces3 19:34:58
++ Creating Section Force File (BMD)... 19:34:58
++ Creating Section Displace File (SCN)... 19:34:58
++ Creating Design information File (DGN)... 19:34:58
++ Done. 19:34:58

0 Error(s), 7 Warning(s), 6 Note(s)

++ End STAAD.Pro Run Elapsed Time = 6 Secs
C:\Users\Nati\Desktop\Proyecto final_Caldera de recu...anl
  
```

0 Error(s), 7 Warning(s), 6 Note(s)

++ End STAAD.Pro Run Elapsed Time = 6 Secs
C:\Users\Nati\Desktop\Proyecto final_Caldera de recu...anl

View Output File
Go to Post Processing Mode
Stay in Modeling Mode

Done

6. Resultados del análisis de la estructura

Se obtienen varios análisis donde nos indica que la estructura efectivamente cumple con los requisitos de la norma Especificación ANSI/AISC 360-10 para contrucciones de acero.

ESTRUCTURA_r1 - Design Results:-

Beam	Analysis Property	Design Property	Actual Ratio	Allowable Ratio	Normalized Ratio (Actual/Allowable)	Clause	L/C
578	Taper	Taper	0.389	1.000	0.389	Eq. H1-1b	1
579	Taper	Taper	0.434	1.000	0.434	Eq. H1-1b	1
580	Taper	Taper	0.907	1.000	0.907	Eq. H1-1b	1
581	Taper	Taper	0.785	1.000	0.785	Eq. H1-1b	1
582	Taper	Taper	0.419	1.000	0.419	Eq. H1-1b	1
583	Taper	Taper	0.133	1.000	0.133	Eq. H1-1b	1
584	Taper	Taper	0.164	1.000	0.164	Eq. H1-1b	1
585	Taper	Taper	0.164	1.000	0.164	Eq. H1-1b	1
586	Taper	Taper	0.174	1.000	0.174	Eq. H1-1b	1
587	Taper	Taper	0.219	1.000	0.219	Eq. H1-1b	1
588	Taper	Taper	0.454	1.000	0.454	Eq. H1-1b	1
589	Taper	Taper	0.198	1.000	0.198	Eq. H1-1b	1
590	Taper	Taper	0.122	1.000	0.122	Eq. H1-1b	1
591	Taper	Taper	0.144	1.000	0.144	Eq. H1-1b	1
592	Taper	Taper	0.096	1.000	0.096	Eq. H1-1b	1
593	Taper	Taper	0.097	1.000	0.097	Eq. H1-1b	2
596	Taper	Taper	0.114	1.000	0.114	Eq. H1-1b	1
597	Taper	Taper	0.125	1.000	0.125	Eq. H1-1b	1
598	Taper	Taper	0.124	1.000	0.124	Eq. H1-1b	1
599	Taper	Taper	0.096	1.000	0.096	Eq. H1-1b	2
600	Taper	Taper	1.494	1.000	1.494	Eq. H1-1b	1
604	Taper	Taper	0.363	1.000	0.363	Eq. H1-1b	1
605	Taper	Taper	0.631	1.000	0.631	Eq. H1-1b	1
606	Taper	Taper	0.998	1.000	0.998	Eq. H1-1b	1
607	Taper	Taper	2.198	1.000	2.198	Eq. H1-1b	1

Ampliaremos en la siguiente página del documento

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	51

Análisis en STAAD Pro - Software de análisis estructural y diseño 3D

6. Resultados del análisis de la estructura

Se obtienen varios análisis donde nos indica que la estructura efectivamente cumple con los requisitos de la norma Especificación ANSI/AISC 360-10 para contrucciones de acero.

STAAD.Pro V8i (SELECTseries 6) - [ESTRUCTURA_r1 - Design Results:-]

File Edit View Tools Select Results Report Mode Window Help

2: PRECALENTADOR

Modeling Building Planner Piping Bridge Deck Postprocessing Foundation Design Steel Design RAM Connection Concrete Design Advanced Slab Design

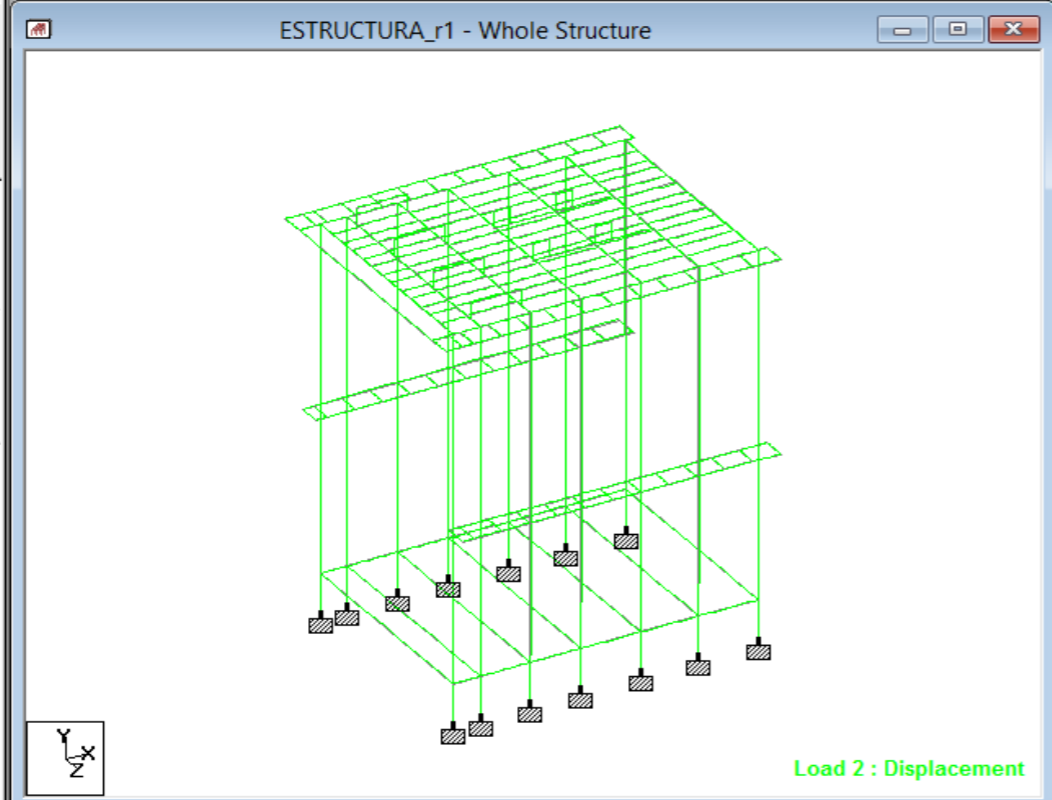
All Failed Members /

Beam	Analysis Property	Design Property	Actual Ratio	Allowable Ratio	Normalized Ratio (Actual/Allowable)	Clause	L/C	Ax cm2	Iz cm4	Iy cm4	Ix cm4
21	Taper	Taper	0.084	1.000	0.084	Eq. H1-1b	1	85.674	19855.959	720.769	46.061
22	Taper	Taper	0.084	1.000	0.084	Eq. H1-1b	1	85.674	19855.959	720.769	46.061
23	Taper	Taper	0.084	1.000	0.084	Eq. H1-1b	1	85.674	19855.959	720.769	46.061
24	Taper	Taper	0.084	1.000	0.084	Eq. H1-1b	1	85.674	19855.959	720.769	46.061
25	Taper	Taper	0.199	1.000	0.199	Eq. H1-1b	6	85.674	19855.959	720.769	46.061
26	Taper	Taper	0.202	1.000	0.202	Eq. H1-1b	6	85.674	19855.959	720.769	46.061
27	Taper	Taper	0.191	1.000	0.191	Eq. H1-1b	6	85.674	19855.959	720.769	46.061
28	Taper	Taper	0.218	1.000	0.218	Eq. H1-1b	6	85.674	19855.959	720.769	46.061
29	Taper	Taper	0.177	1.000	0.177	Eq. H1-1b	6	85.674	19855.959	720.769	46.061
30	Taper	Taper	0.117	1.000	0.117	Eq. H1-1b	6	85.674	19855.959	720.769	46.061
31	Taper	Taper	0.085	1.000	0.085	Eq. H1-1b	1	85.674	19855.959	720.769	46.061
32	Taper	Taper	0.086	1.000	0.086	Eq. H1-1b	1	85.674	19855.959	720.769	46.061
33	Taper	Taper	0.153	1.000	0.153	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
34	Taper	Taper	0.192	1.000	0.192	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
35	Taper	Taper	0.211	1.000	0.211	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
36	Taper	Taper	0.226	1.000	0.226		-1	202.997	59312.605	3441.181	436.551
37	Taper	Taper	0.224	1.000	0.224	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
38	Taper	Taper	0.249	1.000	0.249	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
39	Taper	Taper	0.249	1.000	0.249	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
40	Taper	Taper	0.239	1.000	0.239	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
41	Taper	Taper	0.216	1.000	0.216	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
42	Taper	Taper	0.217	1.000	0.217	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
43	Taper	Taper	0.199	1.000	0.199	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
44	Taper	Taper	0.167	1.000	0.167	Eq. H1-1b	6	202.997	59312.605	3441.181	436.551
45	Taper	Taper	0.158	1.000	0.158	Eq. H1-1b	1	202.997	59312.605	3441.181	436.551
46	Taper	Taper	0.174	1.000	0.174		-1	202.997	59312.605	3441.181	436.551
47	Taper	Taper	0.200	1.000	0.200	Eq. H1-1b	5	202.997	59312.605	3441.181	436.551
48	Taper	Taper	0.230	1.000	0.230	Eq. H1-1b	5	202.997	59312.605	3441.181	436.551
49	Taper	Taper	0.241	1.000	0.241	Eq. H1-1b	5	202.997	59312.605	3441.181	436.551
50	Taper	Taper	0.255	1.000	0.255	Eq. H1-1b	5	202.997	59312.605	3441.181	436.551

Tambien se obtuvo los siguientes resultados del análisis de la estructura

Modeling Building Planner Piping Bridge Deck Postprocessing Foundation Design Steel Design RAM Connection Concrete Design Advanced Slab Design Earthquake

ESTRUCTURA_r1 - Whole Structure



Load 2 : Displacement

ESTRUCTURA_r1 - Node Displacements:

Node	L/C	Horizontal X mm	Vertical Y mm	Horizontal Z mm	Resultant mm	Rotational rX rad	Rotational rY rad	Rotational rZ rad
1	1 COMBINATI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	PRECALEN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	ECO MEDIA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	ECO MEDIA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	SOBRECAL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	EVA ALTA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	SOBRECAL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	DOMO ALT	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	DOMO MED	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ESTRUCTURA_r1 - Beam Relative Displacement Detail:

Beam	L/C	Dist m	x mm	y mm	z mm	Resultant mm
21	1 COMBINATI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.478	-0.000	-0.169	-0.005	0.169
		0.956	-0.000	-0.233	0.004	0.233
		1.434	-0.000	-0.166	0.012	0.166
		1.911	0.000	0.000	0.000	0.000
2	PRECALEN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		0.478	0.000	-0.003	-0.015	0.015
		0.956	0.000	-0.006	-0.001	0.006
		1.434	0.000	-0.006	0.013	0.014
		1.911	0.000	0.000	0.000	0.000
3	ECO MEDIA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

elp, press F1 Post Mode Load 2: PRECALENTADOR Input Units: kg-mm

REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	52

Análisis en STAAD Pro - Software de análisis estructural y diseño 3D

También se obtuvo los siguientes resultados del análisis de la estructura

ESTRUCTURA_r1 - Beam End Forces:

Beam	L/C	Node	Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kNm	My kNm	Mz kNm
21	1 COMBINATI	29	0.767	55.013	-0.232	-0.032	0.209	0.031
		41	-0.767	58.525	0.232	0.032	0.235	-3.394
2	PRECALEN	29	-3.958	0.577	-0.368	0.001	0.357	-0.001
		41	3.958	-0.577	0.368	-0.001	0.348	1.111
3	ECO MEDIA	29	-0.269	-0.436	-0.024	0.001	0.023	-0.001
		41	0.269	0.436	0.024	-0.001	0.022	-0.831
4	ECO MEDIA	29	0.050	-3.112	0.014	-0.004	-0.013	-0.001
		41	-0.050	3.112	-0.014	0.004	-0.014	-5.941
5	SOBRECAL	29	0.047	-3.646	-0.005	-0.015	0.005	-0.011
		41	-0.047	3.646	0.005	0.015	0.005	-6.951

ESTRUCTURA_r1 - Beam Force Detail:

Beam	L/C	Dist m	Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kNm	My kNm	Mz kNm
21	1 COMBINATI	0.000	0.767	55.013	-0.232	-0.032	0.209	0.031
		0.478	0.767	26.628	-0.232	-0.032	0.098	-19.471
		0.956	0.767	-1.756	-0.232	-0.032	-0.013	-25.411
		1.434	0.767	-30.140	-0.232	-0.032	-0.124	-17.791
2	PRECALEN	0.000	-3.958	0.577	-0.368	0.001	0.357	-0.001
		0.478	-3.958	0.577	-0.368	0.001	0.181	-0.281
		0.956	-3.958	0.577	-0.368	0.001	0.004	-0.561
		1.434	-3.958	0.577	-0.368	0.001	-0.172	-0.831

ESTRUCTURA_r1 - 3D Beam Stress Contour

ESTRUCTURA_r1 - Beam Combined Axial and Bending Stress:

Beam	L/C	Dist m	Corner Stress				Max C N/mm2
			Corner 1 N/mm2	Corner 2 N/mm2	Corner 3 N/mm2	Corner 4 N/mm2	
21	1 COMBINATI	0.000	-2.121	2.226	2.300	-2.047	2.300
		0.478	18.683	20.719	-18.504	-20.540	20.719
		0.956	25.825	25.549	-25.646	-25.370	25.825
		1.434	19.304	16.717	-19.125	-16.538	19.304
2	PRECALEN	0.000	-4.164	3.257	3.240	-4.181	4.181
		0.478	-2.054	1.703	1.130	-2.627	2.627
		0.956	0.056	0.149	-0.980	-1.073	1.073
		1.434	2.185	1.405	3.080	0.481	3.080

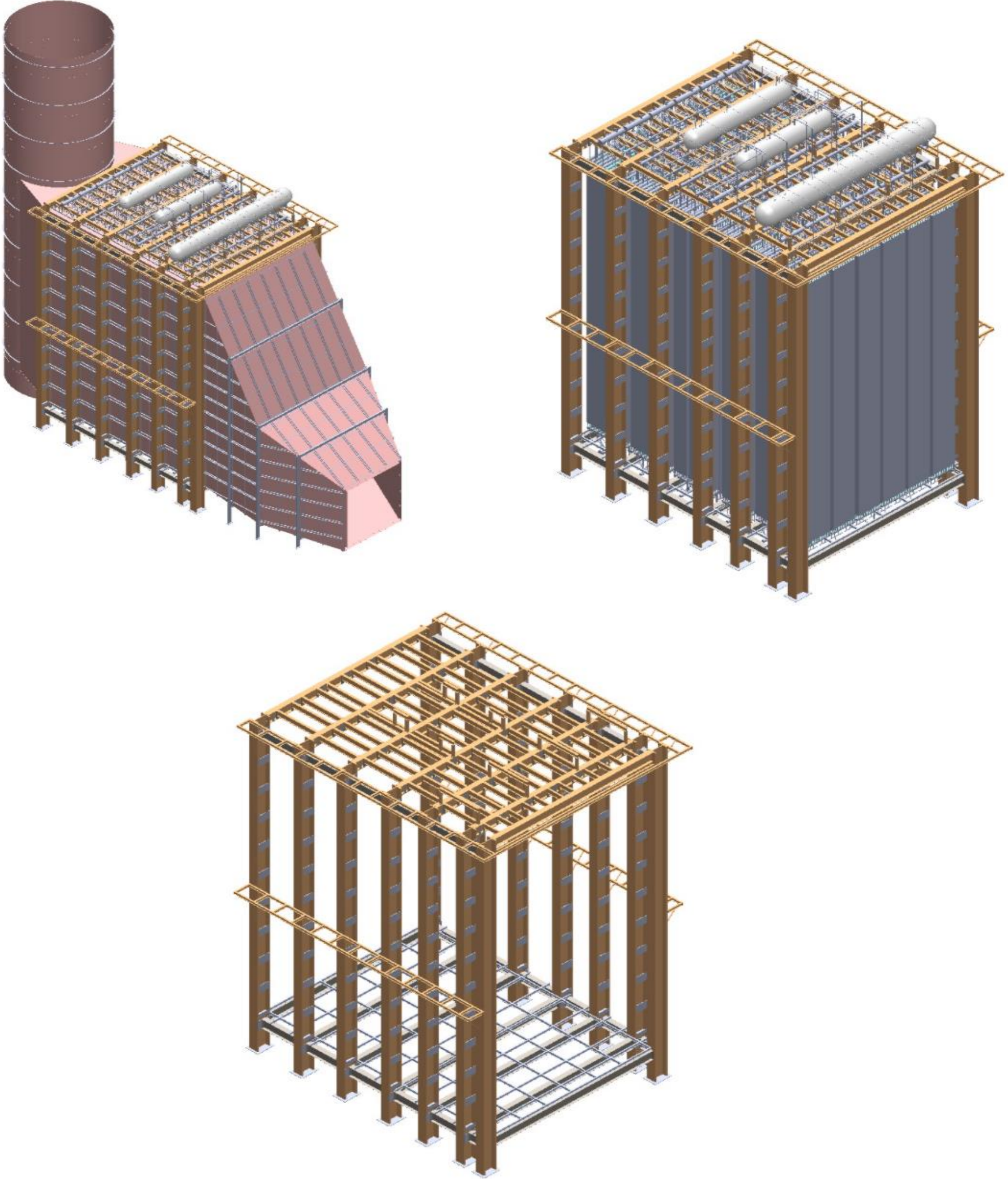
REFERENCIAS

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones	REV	A
	TITULO		HOJA	53

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Simulación en SOLIDWORKS - Software de diseño CAD 3D

Se modeló en 3D la caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones



REFERENCIAS

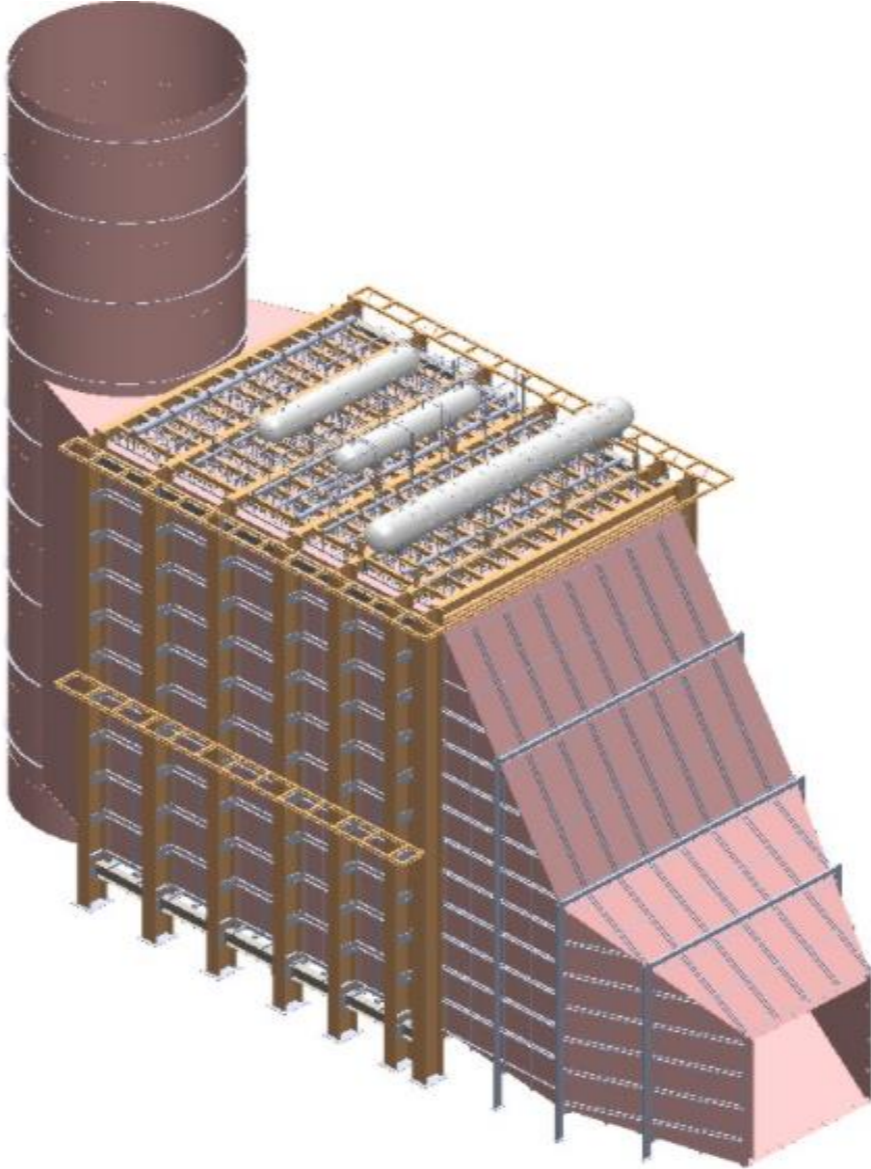
U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL		AÑO	2021
			GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación	REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones	HOJA	1

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

COSTO TOTAL

PROYECTO DE MÁQUINA ÚNICA

Caldera de recuperación de ciclo combinado de tres presiones



U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL				AÑO	2021
					GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación			REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones			HOJA	2

Cálculo de los costos totales de la caldera de recuperación

Cálculo de la estructura general, domos, soportes y accesorios

Parte	Item	Largo [mm]	Ancho [mm]	Cantidad [unidades]	Cantida d [kg]	Material	Espesor [cm]	Largo [cm]	Ancho [cm]	Densidad [gr/cm3]	Peso Total [Tn]	Costo Unitario	Costo total	
Vigas y columnas armadas	Chapa espesor 1/4"	6000	1500	1		IRAMIAS U500-42 F26	0,635	600	150	7,85	0,4486275	USD 660,00	USD 296,09	
	Chapa espesor 1/2"	12000	4000	4		IRAMIAS U500-42 F26	1,27	1200	400	7,85	19,14144	USD 660,00	USD 12.633,35	
	Chapa espesor 3/4"	12000	4000	4		IRAMIAS U500-42 F26	1,906	1200	400	7,85	28,727232	USD 660,00	USD 18.959,97	
	Chapa espesor 1"	12000	4000	3		IRAMIAS U500-42 F26	2,54	1200	400	7,85	28,71216	USD 660,00	USD 18.950,03	
	Chapa espesor 1 1/4"	12000	4000	2		IRAMIAS U500-42 F26	3,175	1200	400	7,85	23,9268	USD 660,00	USD 15.791,69	
	Chapa espesor 1 1/2"	12000	4000	2		IRAMIAS U500-42 F26	3,81	1200	400	7,85	28,71216	USD 660,00	USD 18.950,03	
	Chapa espesor 1 3/4"	6000	1500	3		IRAMIAS U500-42 F26	4,445	600	150	7,85	9,4211775	USD 660,00	USD 6.217,98	
	Chapa espesor 2"	12000	4000	1		IRAMIAS U500-42 F26	5,08	1200	400	7,85	19,14144	USD 660,00	USD 12.633,35	
	Chapa espesor 2 1/2"	12000	4000	7		IRAMIAS U500-42 F26	6,35	1200	400	7,85	167,4876	USD 660,00	USD 110.541,82	
	Chapa espesor 3"	12000	4000	2		IRAMIAS U500-42 F26	7,62	1200	400	7,85	57,42432	USD 660,00	USD 37.900,05	
	Chapa espesor 3 1/2"	12000	4000	2		IRAMIAS U500-42 F26	8,89	1200	400	7,85	66,99504	USD 660,00	USD 44.216,73	
	Chapa espesor 4 1/4"	12000	4000	8		IRAMIAS U500-42 F26	10,795	1200	400	7,85	325,40448	USD 660,00	USD 214.766,96	
	Tornillo M32 x 160mm				400		ASTM A 325						USD 3,00	USD 1.200,00
	Tornillo M20 x 120 mm				200		ASTM A 325						USD 3,00	USD 600,00
	Arandela M32				400		ASTM F 436						USD 0,05	USD 20,00
	Arandela M20				200		ASTM F 436						USD 0,05	USD 10,00
	Tuerca M32				400		ASTM A 194 Gr.2H						USD 0,30	USD 120,00
Tuerca M20				200		ASTM A 194 Gr.2H						USD 0,30	USD 60,00	
Soporte piso	Perfil W 200 x 15	30654			459,81	IRAMIAS U500-503 F26					0,4598	USD 680,00	USD 312,67	
	Perfil W 200 x 15	186747			2801,205	IRAMIAS U500-503 F26					2,8012	USD 680,00	USD 1.904,82	
	Perfil W 200 x 15	144620			2169,3	IRAMIAS U500-503 F26					2,1693	USD 680,00	USD 1.475,12	
Pasarela	Perfil W 200 x 31,3	246183			7680,31	IRAMIAS U500-503 F26					7,6803	USD 680,00	USD 5.223,02	
	Perfil L 2" x 1/4"	72590			351,3356	IRAMIAS U500-503 F26					0,3513	USD 490,00	USD 172,15	
Paredes	Chapa espesor 1/4"	12000	4000	29		SA 515 Gr.65	0,635	1200	400	7,85	69,38772	USD 660,00	USD 45.795,90	
	Chapa espesor 1/4"	12000	4000	51		SA 515 Gr.65	0,635	1200	400	7,85	122,02668	USD 660,00	USD 80.537,61	
Techo	Perfil UPN 120	1090760			14616,18	IRAMIAS U500-503 F26					14,616184	USD 550,00	USD 8.038,90	
	Chapa espesor 1/4"	12000	4000	29		SA 515 Gr.65	0,635	1200	400	7,85	69,38772	USD 660,00	USD 45.795,90	
Piso cono de entrada	Perfil UPN 120	440400			5901,36	IRAMIAS U500-503 F26					5,90136	USD 550,00	USD 3.245,75	
	Chapa espesor 1/4"	12000	4000	9		SA 515 Gr.65	0,635	1200	400	7,85	21,53412	USD 660,00	USD 14.212,52	
Paredes cono de entrada	Perfil UPN 120	185364			2483,88	IRAMIAS U500-503 F26					2,4838776	USD 550,00	USD 1.366,13	
	Chapa espesor 1/4"	12000	12000	12		SA 515 Gr.65	0,635	1200	1200	7,85	86,13648	USD 660,00	USD 56.850,08	
Techo cono de entrada	Perfil UPN 120	463410			6209,69	IRAMIAS U500-503 F26					6,209694	USD 550,00	USD 3.415,33	
	Chapa espesor 1/4"	12000	4000	15		SA 515 Gr.65	0,635	1200	400	7,85	35,8902	USD 660,00	USD 23.687,53	
Aislacion	Perfil UPN 120	278046			3725,82	IRAMIAS U500-503 F26					3,7258164	USD 550,00	USD 2.049,20	
	Rollo aislante	15000	1200	660		Marca de fibra ceramica kaowool						USD 16,00	USD 10.560,00	
Chimenea	Chapa espesor 1/4"	6000	3000	82		SA 515 Gr.65	0,635	600	300	7,85	73,57491	USD 660,00	USD 48.559,44	
	Perfil L 5" x 3/8"	229331			4230,73	IRAMIAS U500-503 F26					4,2307304	USD 490,00	USD 2.073,06	
Cuerpo	Chapa espesor 5/8"	6000	1500	6		SA 515 Gr.65	0,635	600	150	7,85	2,691765	USD 660,00	USD 1.776,56	
	Chapa espesor 1/2"	6000	1500	10		SA 515 Gr.65	0,635	600	150	7,85	4,486275	USD 660,00	USD 2.960,94	
	Brida ciega 24"			4		AISI 304 L						USD 150,00	USD 600,00	
	Espárrago M30	170		40		ASTM A325						USD 0,50	USD 20,00	
	Tuerca M30			80		ASTM A194 Gr.2H						USD 0,30	USD 24,00	
	Chapa espesor 1/4"	6000	1500	8		SA 515 Gr.65	0,635	600	150	7,85	3,58902	USD 660,00	USD 2.368,75	
	Chapa espesor 1/5"	6000	1500	10		SA 515 Gr.65	0,635	600	150	7,85	4,486275	USD 660,00	USD 2.960,94	
	Chapa espesor 2 1/2"	12000	4000	8		SA 299 Gr.A	0,635	1200	400	7,85	19,14144	USD 660,00	USD 12.633,35	
	Chapa espesor 1 3/4"	12000	4000	15		SA 299 Gr.A	0,635	1200	400	7,85	35,8902	USD 660,00	USD 23.687,53	
	Espárrago M18	120		20		ASTM A325						USD 0,50	USD 10,00	
	Tuerca M18			40		ASTM A194 Gr.2H						USD 0,30	USD 12,00	
	Espárrago M20			20		ASTM A325						USD 0,50	USD 10,00	
	Tuerca M20			40		ASTM A194 Gr.2H						USD 0,30	USD 12,00	
Soporte	Chapa espesor 1/2"	12000	6000	8		IRAMIAS U500-42 F26	0,635	1200	600	7,85	28,71216	USD 660,00	USD 18.950,03	
COSTO TOTAL												USD 935.169,27		

Chapas

USD 660 / Tn https://spanish.alibaba.com/product-detail/boiler-and-pressure-vessel-plate-sa515-gr65-1600129925904.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.53305bd0igXnt

Tornillo

USD 3 unidad https://es.made-in-china.com/co_0374ff1eb1f2b3aa/product_HDG-ASTM-F3125-A325-A490-A449-A490m-High-Strength-Heavy-Hex-Structural-Bolt_ouougvyeg.html

Arandela

USD 0,05 unidad https://spanish.alibaba.com/product-detail/1-4-3-8-3-4-stainless-steel-astm-f436-flat-washer-60399532631.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.150723dchBcsO6

Tuerca

USD 0,3 unidad https://spanish.alibaba.com/product-detail/carbon-steel-gb-10-9-s45c-ansi-astm-194-gr-2h-hex-duty-heavy-nut-62403019212.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.3fef53b1TnT3IN&s=p

Perfil W

USD 680 / Tn https://spanish.alibaba.com/product-detail/astm-a572-q345-h-i-steel-profiles-iron-beams-for-building-structural-1600343969036.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.479b6f10QBxP&s=p

Aislante

USD 16 https://spanish.alibaba.com/product-detail/1260c-thermal-insulation-ceramic-fiber-wool-blanket-50mm-white-ceramic-fiber-blanket-1600350266001.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.13f9551bvEkWwH&s=p

Perfil UPN

USD 550 / Tn https://spanish.alibaba.com/product-detail/2019-high-quality-hot-selling-galvanized-u-beam-steel-u-channel-structural-steel-c-channel-c-profil-price-62262773598.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.4b834e3f0zTEHY&s=p

Perfil L

USD 490 / Tn https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-quality-hot-rolled-low-carbon-steel-bar-price-galvanized-iron-45-degree-steel-angle-bar-size-60640992955.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.77ff50af1LeKtV

Espárrago

USD 0,50 unidad https://spanish.alibaba.com/p-detail/entrega-r%C3%A1pida-esp%C3%A1rrago-m30-300008026711.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.4d396428yHF9mz

Referencias

U.T.N. - F.R.A.	PROYECTO FINAL				AÑO	2021
					GRUPO	
INGENIERIA MECANICA	Máquina Única	Diseño de una Caldera de recuperación			REV	A
	TITULO	de ciclo combinado de tres presiones			HOJA	3

Cálculo de los costos totales de la caldera de recuperación

Cálculo de los tubos aletados, tubos lisos, caños de unión, colectores principales, colectores secundarios y accesorios

Item	Peso [kg/m]	Largo [m]	Peso Total [kg]	Peso Total [tn]	Material	Codos 90° [unidades]	Costo unitario CODOS	Costo total CODOS	Costo unitario CAÑOS	Costo total CAÑOS	
Tubo aletado 2"	3,45	790500,00	2729596,50	2729,60	ASTM A192 con aleta de aluminio				USD 840,00	USD 2.292.861,06	
Tubo liso 2"	2,45	49250,00	120810,25	120,81	ASTM A192				USD 840,00	USD 101.480,61	
Caño 3" SCH 160	21,30	26,00	553,80	0,55	SA 213 T12				USD 990,00	USD 548,26	
Caño 4" SCH 40	16,06	27,00	433,62	0,43	SA 178 Gr.A				USD 700,00	USD 303,53	
	16,06	27,00	433,62	0,43	SA 106 Gr.A				USD 650,00	USD 281,85	
Caño 5" SCH 10	16,06	27,00	433,62	0,43	SA 192				USD 840,00	USD 364,24	
	13,84	17,00	235,28	0,24	SA 192				USD 840,00	USD 197,64	
Caño 6" SCH 10	13,84	17,00	235,28	0,24	SA 213 T22				USD 990,00	USD 232,93	
Caño 6" SCH XXS	79,32	27,00	2141,64	2,14	SA 213 T12				USD 990,00	USD 2.120,22	
Caño 8" SCH 10	25,30	146,00	3693,80	3,69	SA 178 Gr.A				USD 700,00	USD 2.585,66	
	25,30	724,00	18317,20	18,32	SA 192				USD 840,00	USD 15.386,45	
Caño 8" SCH 20	33,28	80,00	2662,40	2,66	SA 178 Gr.A				USD 700,00	USD 1.863,68	
Caño 8" SCH 40	42,49	160,00	6798,40	6,80	SA 192				USD 840,00	USD 5.710,66	
Caño 8" SCH XXS	108,06	264,00	28527,84	28,53	SA 213 T22				USD 990,00	USD 28.242,56	
Caño 8" SCH 140	100,89	30,00	3026,70	3,03	SA 213 T12				USD 990,00	USD 2.996,43	
Caño 8" SCH 160	111,27	55,00	6119,85	6,12	SA 213 T12				USD 990,00	USD 6.058,65	
Caño 8" SCH STD	42,49	27,00	1147,23	1,15	SA 192				USD 840,00	USD 963,67	
Caño 10" SCH 140	155,00	26,00	4030,00	4,03	SA 192				USD 840,00	USD 3.385,20	
Caño 12" SCH 40	79,70	26,00	2072,20	2,07	SA 192				USD 840,00	USD 1.740,65	
Caño 16" SCH 5	42,41	26,00	1102,56	1,10	SA 192				USD 840,00	USD 926,15	
Caño 2 1/2" SCH 40	8,62	630,00	5430,60	5,43	SA 192				USD 840,00	USD 4.561,70	
Caño 2" SCH 40	5,43	254,00	1379,22	1,38	SA 192				USD 840,00	USD 1.158,54	
	5,43	136,00	738,48	0,74	SA 213 T22				USD 990,00	USD 731,10	
Caño 2 1/2" SCH 160	14,90	275,00	4097,50	4,10	SA 213 T12				USD 990,00	USD 4.056,53	
Caño 1" SCH 80	3,23	6,00	19,38	0,02	SA 213 T12				USD 990,00	USD 19,19	
Caño 1" SCH 80	3,23	105,00	339,15	0,34	SA 192				USD 840,00	USD 284,89	
Caño 1" SCH 160	4,23	69,00	291,87	0,29	SA 192				USD 840,00	USD 245,17	
	4,23	85,80	362,93	0,36	SA 213 T12				USD 990,00	USD 359,30	
Caño 2" SCH 160	11,10	304,90	3384,39	3,38	SA 192				USD 840,00	USD 2.842,89	
	11,10	21,60	239,76	0,24	SA 213 T22				USD 990,00	USD 237,36	
Caño 3" SCH 40	11,28	91,60	1033,25	1,03	SA 192				USD 840,00	USD 867,93	
Caño 4" SCH 40	16,06	198,00	3179,88	3,18	SA 192				USD 840,00	USD 2.671,10	
Caño 4" SCH 160	33,51	373,20	12505,93	12,51	SA 192				USD 840,00	USD 10.504,98	
	33,51	0,60	20,11	0,02	SA 213 T22				USD 990,00	USD 19,90	
Caño 1 1/2" SCH 160	7,23	102,00	737,46	0,74	SA 213 T22				USD 990,00	USD 730,09	
Caño 1" SCH 80					SA 234 Gr.Wpb	18	USD 10,00	USD 180,00			
Caño 1" SCH 160					SA 234 Gr.Wpb	42	USD 10,00	USD 420,00			
Caño 2" SCH 160					SA 234 Gr.Wpb	74	USD 10,00	USD 740,00			
Caño 3" SCH 40					SA 234 Gr.Wpb	52	USD 10,00	USD 520,00			
Caño 4" SCH 40					SA 234 Gr.Wpb	36	USD 10,00	USD 360,00			
Caño 4" SCH 160					SA 234 Gr.Wpb	48	USD 100,00	USD 4.800,00			
								COSTO CODOS	USD 7.020,00	COSTO CAÑOS	USD 2.497.540,77
								COSTO TOTAL	USD		2.497.720,77

Tabla peso [kg/m]

<https://inoxidable.com/canos.htm>

<https://www.prilux.com.ar/productos-tubos-sin-costura.html>

CAÑOS

USD 840/tn

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/finned-tube-astm-a192-high-quality-finnd-tube-1600292309152.html>

USD 700/tn

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/asme-sa-178-gr-a-c-carbon-steel-boiler-tubing-supplier-1600110216893.html>

USD 650/tn

https://spanish.alibaba.com/product-detail/affordable-durable-astm-sa106-sa210-boiler-tube-37mm-seamless-steel-pipe-1600370579026.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_title.2e0d2f1eCIGYci&s=p

USD 840/tn

https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-quality-seamless-carbon-steel-boiler-tube-pipe-astm-a192-1600243986283.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_title.2e0d2f1eCIGYci&s=p

USD 990/tn

https://spanish.alibaba.com/product-detail/astm-a213-t2-t5-t9-t11-t12-t22-t23-t91-t92-astm-a335-p92-seamless-alloy-steel-tube-and-pipe-in-stock-1600067073491.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.783e2bc1v280Q7

USD 990/tn

https://spanish.alibaba.com/product-detail/astm-a213-t2-t5-t9-t11-t12-t22-t23-t91-t92-astm-a335-p92-seamless-alloy-steel-tube-and-pipe-in-stock-1600067073491.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.783e2bc1v280Q7

CODOS

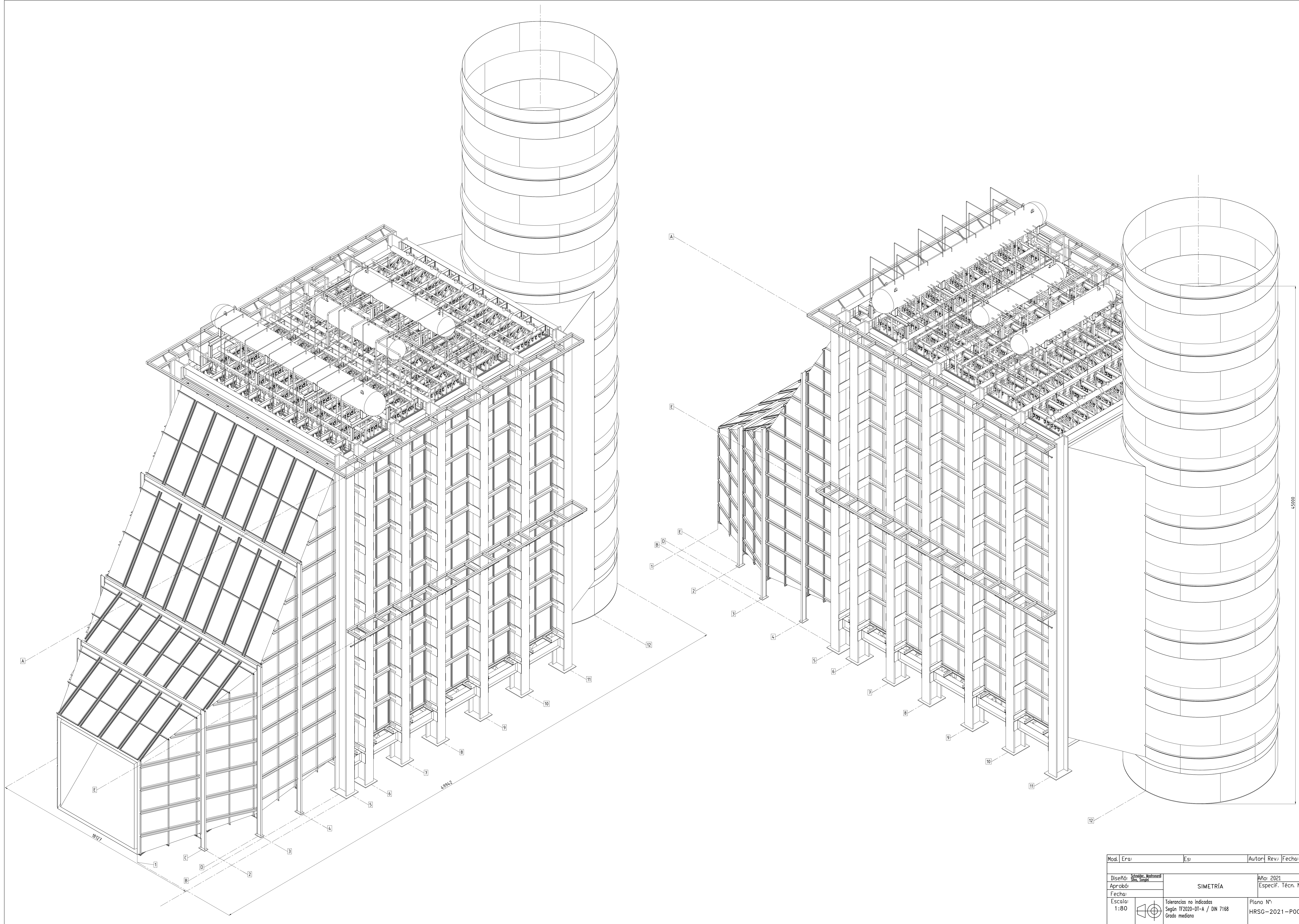
USD 100/unidad

https://spanish.alibaba.com/product-detail/tolerance-12-5-carbon-steel-a234-wpb-seamless-elbow-1600279032031.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.23d313065YHIXs&s=p

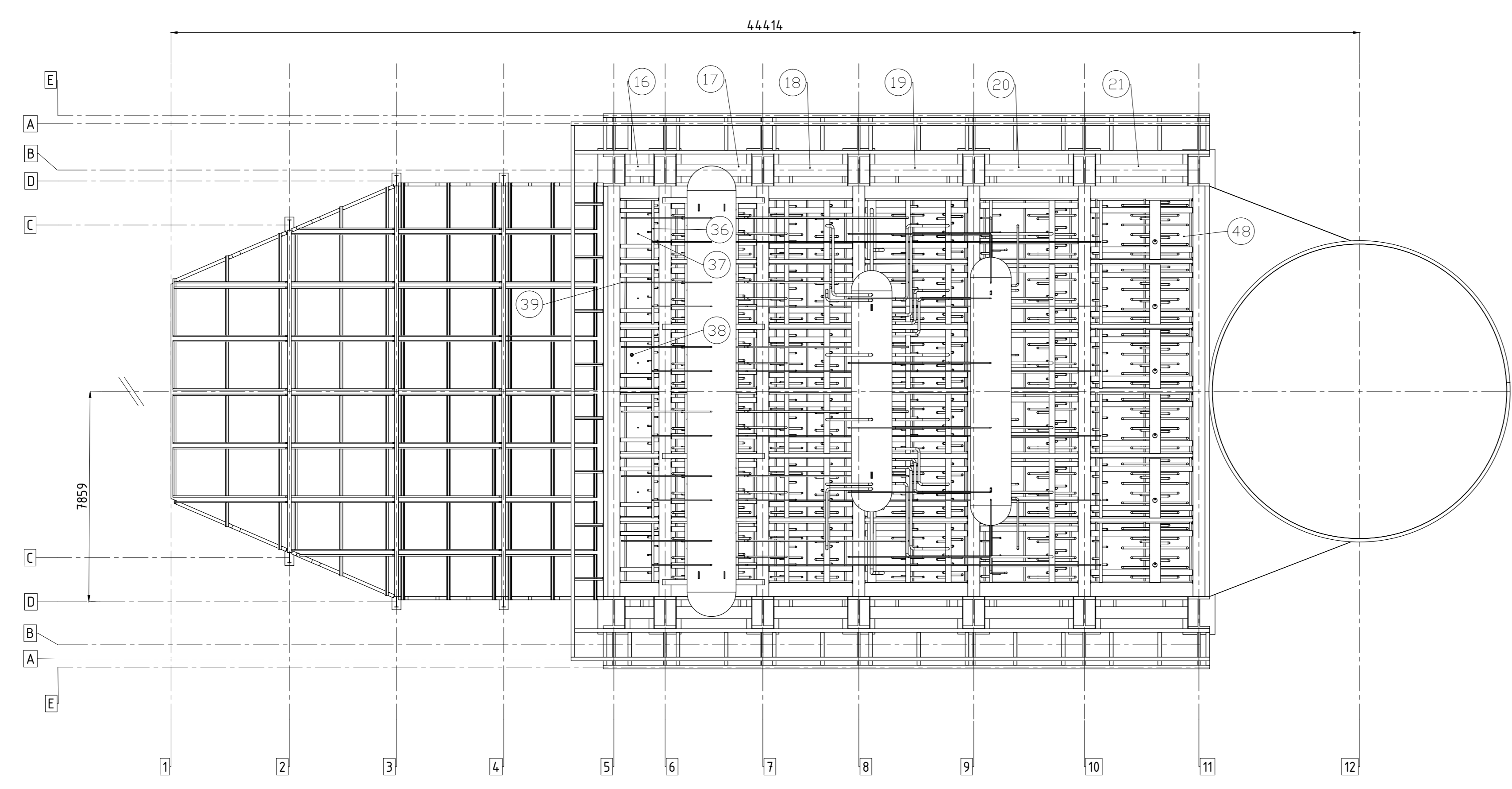
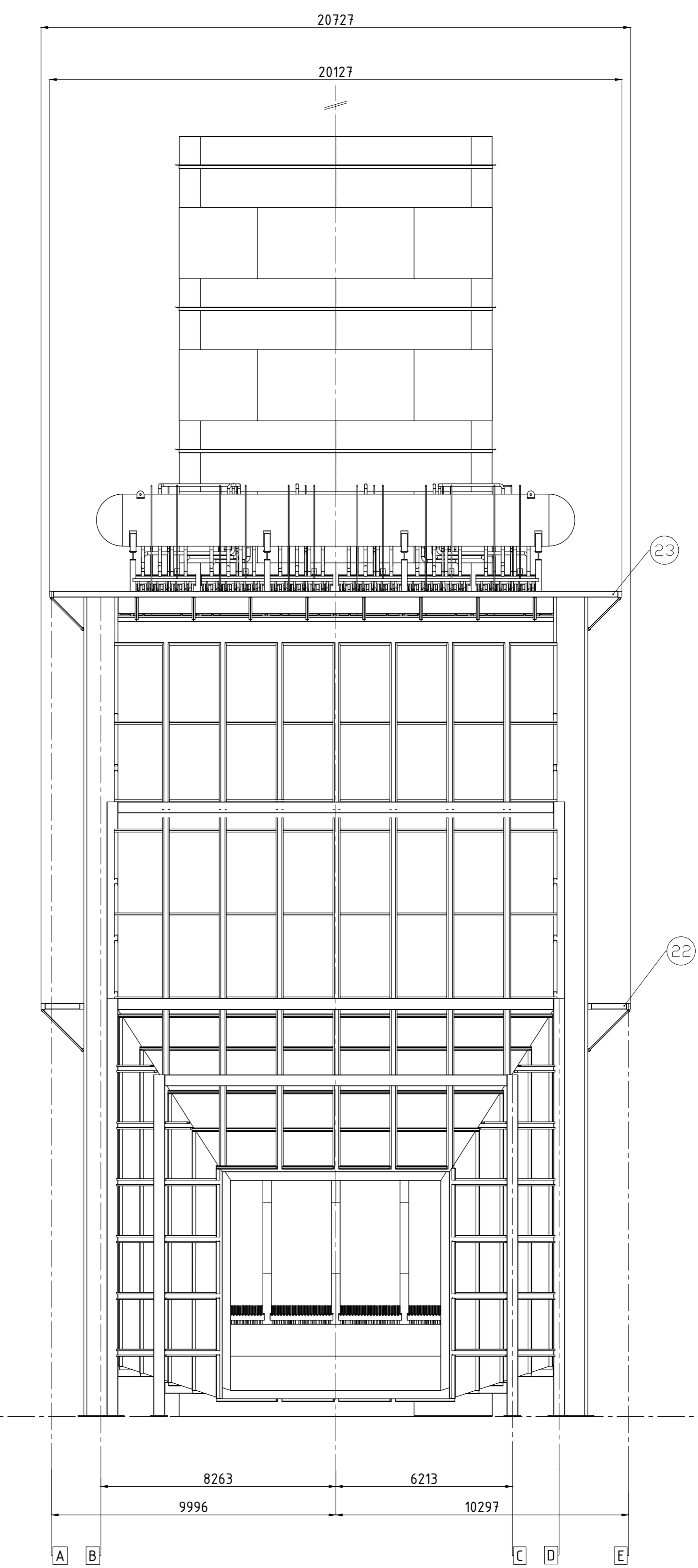
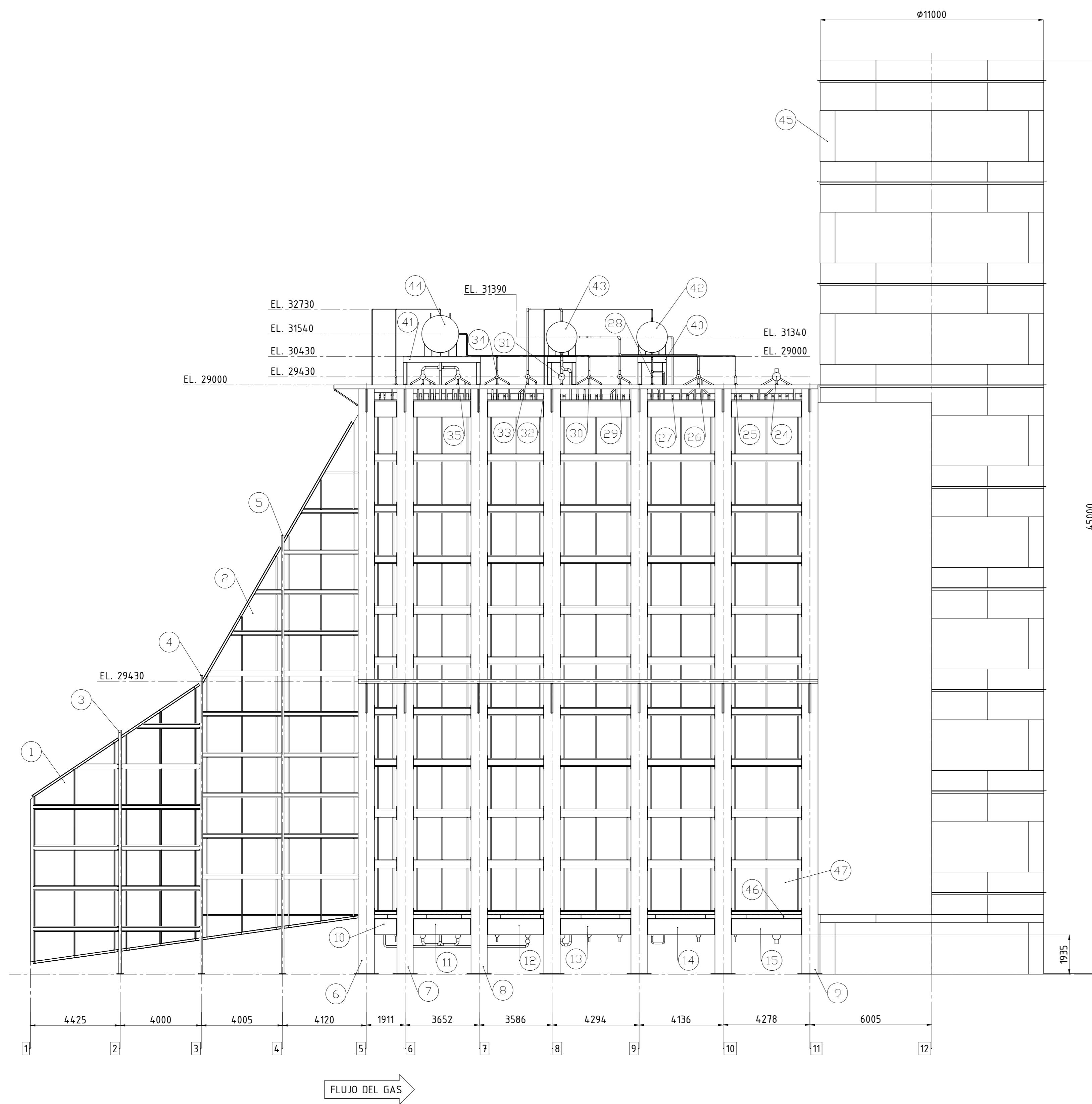
COSTO TOTAL DEL PROYECTO

USD 4.119.468,05

Referencias



Mod. Era:	Es:	Autor:	Rev.:	Fecha:
Diseño: Schmeiser, National				
Aprobó: Siza, Sergio				
Fecha:	SIMETRÍA		Año: 2021	
Escala:	Tolerancias no indicadas		Especif. Técn. N.º:	
1:80	Según TF2020-DT-A / DIN 7168		Plano N.º:	
	Grado mediano		HRSG-2021-P001	



Pos.	Denominación	Cant.
1	Ducto de entrada tramo 1	1
2	Ducto de entrada tramo 2	1
3	Marco soporte ducto de entrada - tramo 1	1
4	Marco soporte ducto de entrada - tramo 1	1
5	Marco soporte ducto de entrada - tramo 2	1
6	Marco estructura 01	1
7	Marco estructura 02	1
8	Marco estructura 03	4
9	Marco estructura 04	1
10	Viga longitudinal inferior 01	2
11	Viga longitudinal inferior 02	2
12	Viga longitudinal inferior 03	2
13	Viga longitudinal inferior 04	2
14	Viga longitudinal inferior 05	2
15	Viga longitudinal inferior 06	2
16	Viga longitudinal superior 01	2
17	Viga longitudinal superior 02	2
18	Viga longitudinal superior 03	2
19	Viga longitudinal superior 04	2
20	Viga longitudinal superior 05	2
21	Viga longitudinal superior 06	2
22	Estructura pasarela inferior	1
23	Estructura pasarela superior	1
24	1 Precalentador	1

Pos.	Denominación	Cant.
25	2 Economizador alta 1	1
26	3 Economizador media 1	1
27	4 Economizador baja	1
28	5 Evaporador baja	1
29	6 Economizador media 2	1
30	7 Economizador alta 2	1
31	8 Evaporador media	1
32	9 Sobrecalentador baja	1
33	10 Sobrecalentador media	1
34	11 Economizador alta 3	1
35	12 Evaporador alta	1
36	13 Sobrecalentador alta	1
37	14 Recalentador 1	1
38	15 Recalentador 2	1
39	16 Sobrecalentador alta	1
40	Base domo de baja y media	4
41	Base domo de alta	4
42	Domo de baja	1
43	Domo de media	1
44	Domo de alta	1
45	Chimenea	1
46	Piso con estructura	1
47	Pared y estructura de pared	2
48	Techo y estructura de techo	1

MATERIALES					
SECCIÓN	COLECTOR SECUNDARIO	CAÑO UNIÓN	COLECTOR PRIMARIO	CAÑO UNIÓN	
BAJA PRESIÓN	PRECALENTADOR	SA178 Gr.A	SA192	SA192	SA192
	ECONOMIZADOR	SA178 Gr.A	N/A	N/A	SA192
	EVAPORADOR	SA178 Gr.A	SA192	SA192	SA192
	SOBRECIENTADOR	SA178 Gr.A	N/A	N/A	SA192
MEDIA PRESIÓN	ECONOMIZADOR	SA192	SA192	SA192	SA192
	EVAPORADOR	SA192	SA192	SA192	SA192
	SOBRECIENTADOR	SA192	SA192	SA192	SA192
	RECALENTADOR	SA192	SA192	SA192	SA192
ALTA PRESIÓN	ECONOMIZADOR	SA178 Gr.A	SA192	SA192	SA192
	EVAPORADOR	SA213 T22	SA192	SA192	SA192
	SOBRECIENTADOR	SA213 T22	SA213 T12	SA213 T12	SA213 T12
	RECALENTADOR	SA213 T22	N/A	N/A	SA213 T22

DATOS OPERATIVOS				
DATOS DE HRSG	LP	IP	HP	
PRESIÓN	4,7	27,2	116,50	[Bar]
TEMPERATURA	149,49	495	495	[°C]
CAUDAL MÁSSICO	8,46	91,09	82,34	[kg/seg]

DATOS DE TURBINA DE GAS		
PRESIÓN	10,46	[Bar]
TEMPERATURA	581,30	[°C]
CAUDAL MÁSSICO	690,942	[kg/seg]

DATOS DE TURBINA DE VAPOR				
POTENCIA BRUTA	286,3	[Mw]		
	LP	IP	HP	
CAUDAL MÁSSICO	13,16	117,08	129,77	[Bar]

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO				
CARGA DE DISEÑO				
CARGA DE VIENTO según CIRSOC 102				
CARGA DE SISMO según CIRSOC 103				
RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESIÓN según ASME VIII Div 1				
ESTRUCTURA según CÓDIGO AIS360				

DATOS DISEÑO DOMOS				
	LP	IP	HP	
PRESIÓN	4,7	27,2	116,50	[Bar]
TEMPERATURA	149,49	228,48	322,45	[°C]
DIÁMETRO INTERIOR	1520	1520	1830	[mm]
ESPEJOR ENVOLVENTE	1/4	5/8	2 1/2	[mm]
ESPEJOR CASQUETE	1/5	1/2	1 3/4	[mm]
LARGO TOTAL	8500	7500	15000	[mm]
MATERIAL	SA515 Gr.65	SA515 Gr.65	SA299 Gr.A	

DATOS AISLACIÓN GENERAL				
MATERIAL: fibras cerámicas de Al2O3-SiO2 espesor 300mm				
DATOS CHIMENEA				
MEDIDAS: Diámetro 11000mm x altura 40.000 mm				

Mod. Era: Es: Autor: Rev.: Fecha:

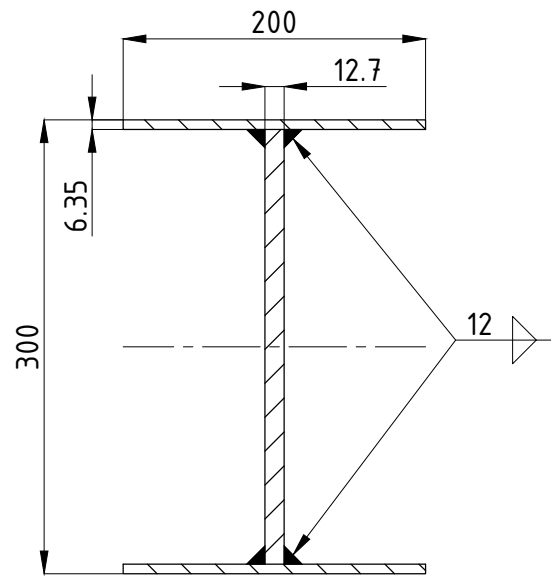
Diseño: Schneider, Matromed
 Aprobó: Silva, Segami
 Fecha: 1:80
 Año: 2021
 Especific. Técn. N°:
 CONJUNTO - VISTAS
 Plano N°:
 HRSG-2021-P002
 Tolerancias no indicadas
 Según TF2020-DT-A / DN 7168
 Grado mediano

Pos.:	Denominación:	Cant.:	Material:	Plano N°:	Frm.:	A	T	C	Obs.:
1	Chapa 38mm 1200 x 1600	2	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
2	Chapa 64mm 1018 x 5000	2	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
3	Chapa 64mm 1018 x 6000	8	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
4	Chapa 88mm 800 x 6000	16	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
5	Chapa 88mm 800 x 5000	4	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
6	Chapa 19mm 368 x 1024	24	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
7	Chapa 19mm 1162 x 800	4	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
8	Chapa 19mm 1162 x 665	18	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
9	Chapa 19mm 1162 x 330	2	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
10	Chapa 25mm 1663 x 450	4	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
11	Chapa 25mm 6000 x 450	4	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
12	Chapa 32mm 3352 x 745	2	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
13	Chapa 32mm 6000 x 745	2	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
14	Chapa 32mm 800 x 450	2	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
15	Chapa 19mm 762 x 220	2	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
16	Chapa 19mm 762 x 200	12	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
17	Chapa 19mm 762 x 423	5	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
18	Chapa 1/2" 3302 x 775	1	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
19	Chapa 1/2" 6000 x 775	2	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
20	Chapa 1/2" 800 x 450	2	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
21	Chapa 1/2" 1663 x 450	4	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
22	Chapa 1/2" 6000 x 450	4	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-
23	Tornillo M32 - largo 165mm	56	ASTM A-325	-	-	-	-	-	-
24	Arandela M32	56	ASTM F-436	-	-	-	-	-	-
25	Tuerca M32	56	ASTM A-194 Gr. 2H	-	-	-	-	-	-
26	Chapa 3/4" 749.2 x 209.1	19	IRAM IAS U 500-42 F26	-	-	-	-	-	-

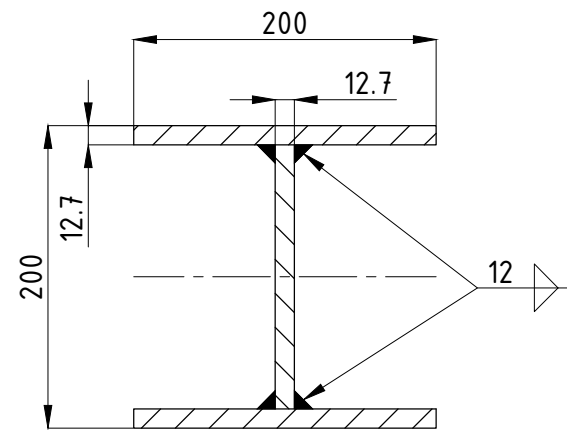
Observaciones:

Plano N°:HRSG-2021-P003

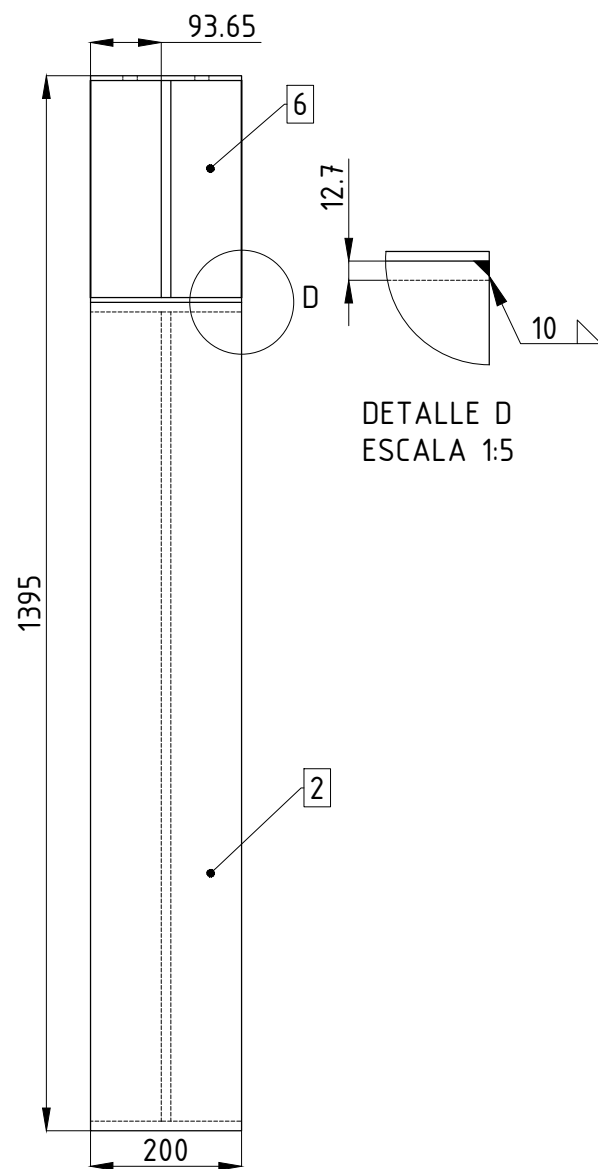
Grupo proy. final



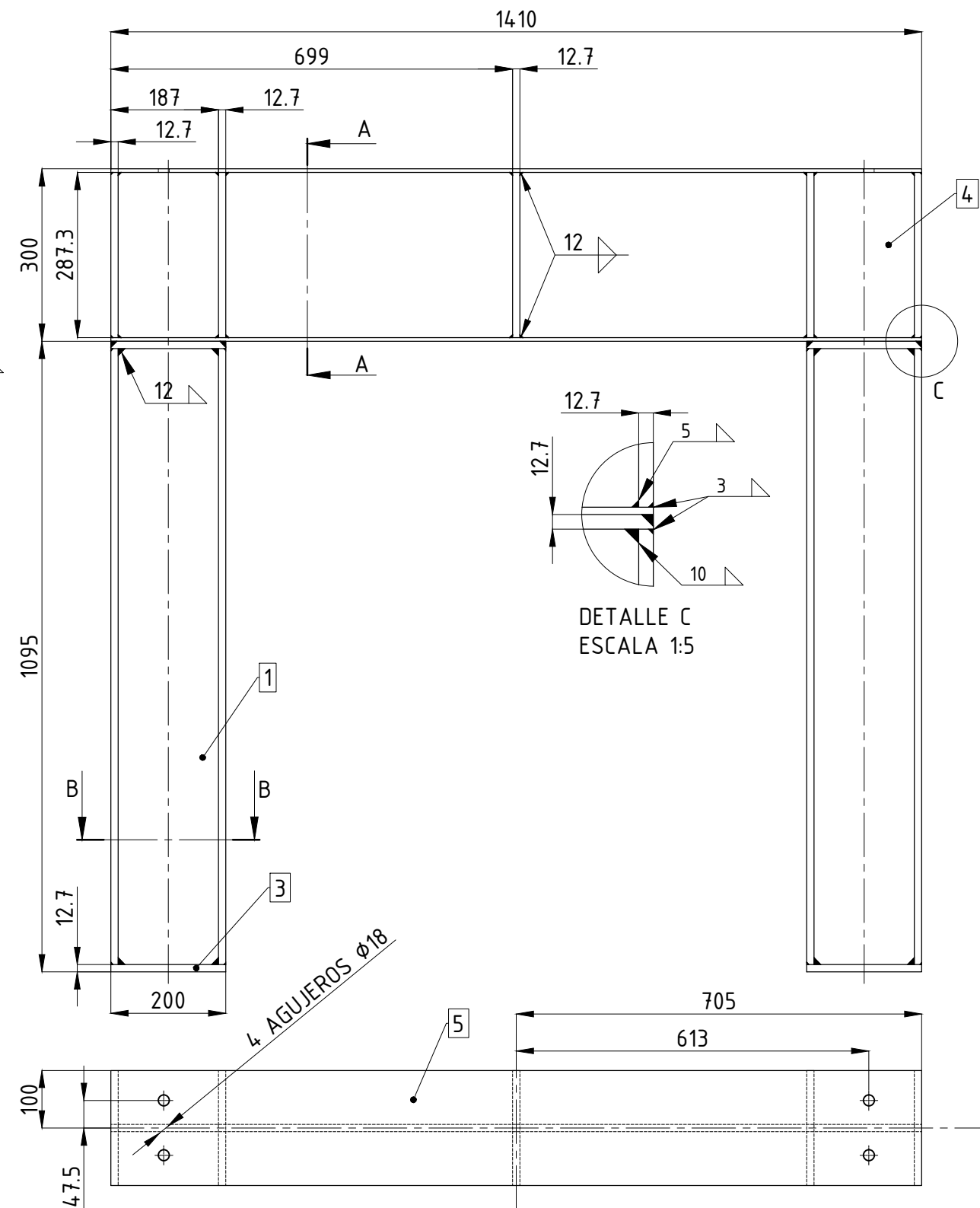
SECCIÓN A-A
ESCALA 1:5



SECCIÓN B-B
ESCALA 1:5



DETALLE D
ESCALA 1:5



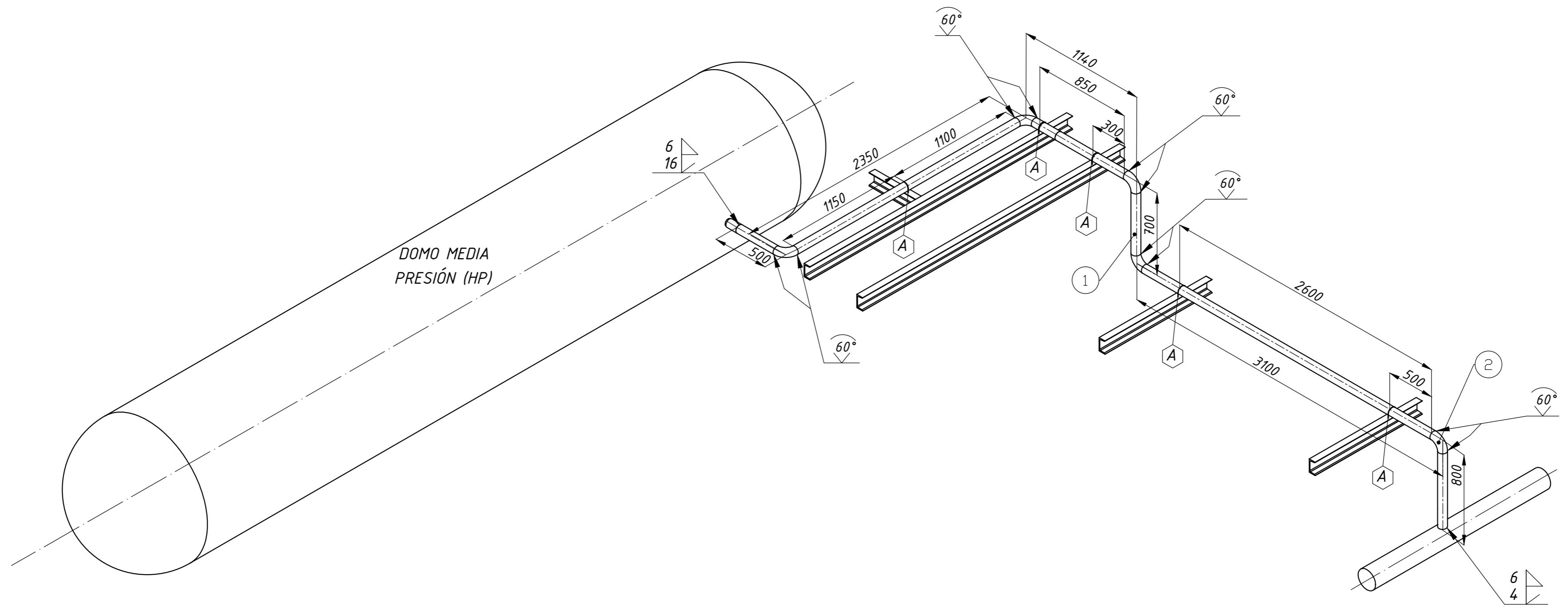
ESPECIFICACIONES DE SOLDADURA:

- 1- Simbología de soldadura utilizada AWS.
- 2- Se deberá soldar utilizando electrodos de bajo hidrógeno.
- 3- Previo a efectuar las soldaduras precalentar la zona.
- 4- Emplear electrodos o alambre de aporte según norma AWS 6010 para la pasada de raíz y según normas AWS 7015 para las siguientes pasadas.

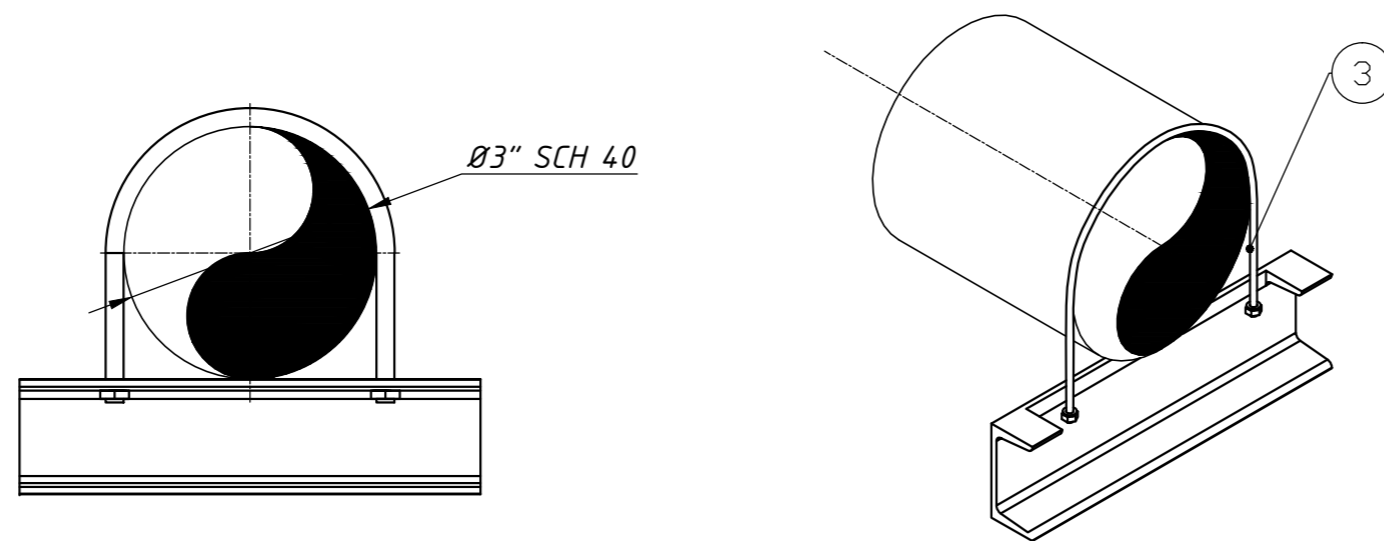
ESPECIFICACIONES DE TERMINACION Y PINTURA:

- 1- Eliminar todo vestigio de óxido mediante cepillado enérgico o utilizando electro herramienta con cepillo de alambre.
- 2- Aplicar luego dos manos de antióxido al CROMATO DE CINCO aprobado por IRAM, con espesor mínimo recomendado de cada capa seca de 50 micrometros.
- 3- Terminar con dos manos de esmalte sintético, con espesor mínimo recomendado de cada capa seca de 50 micrometros.

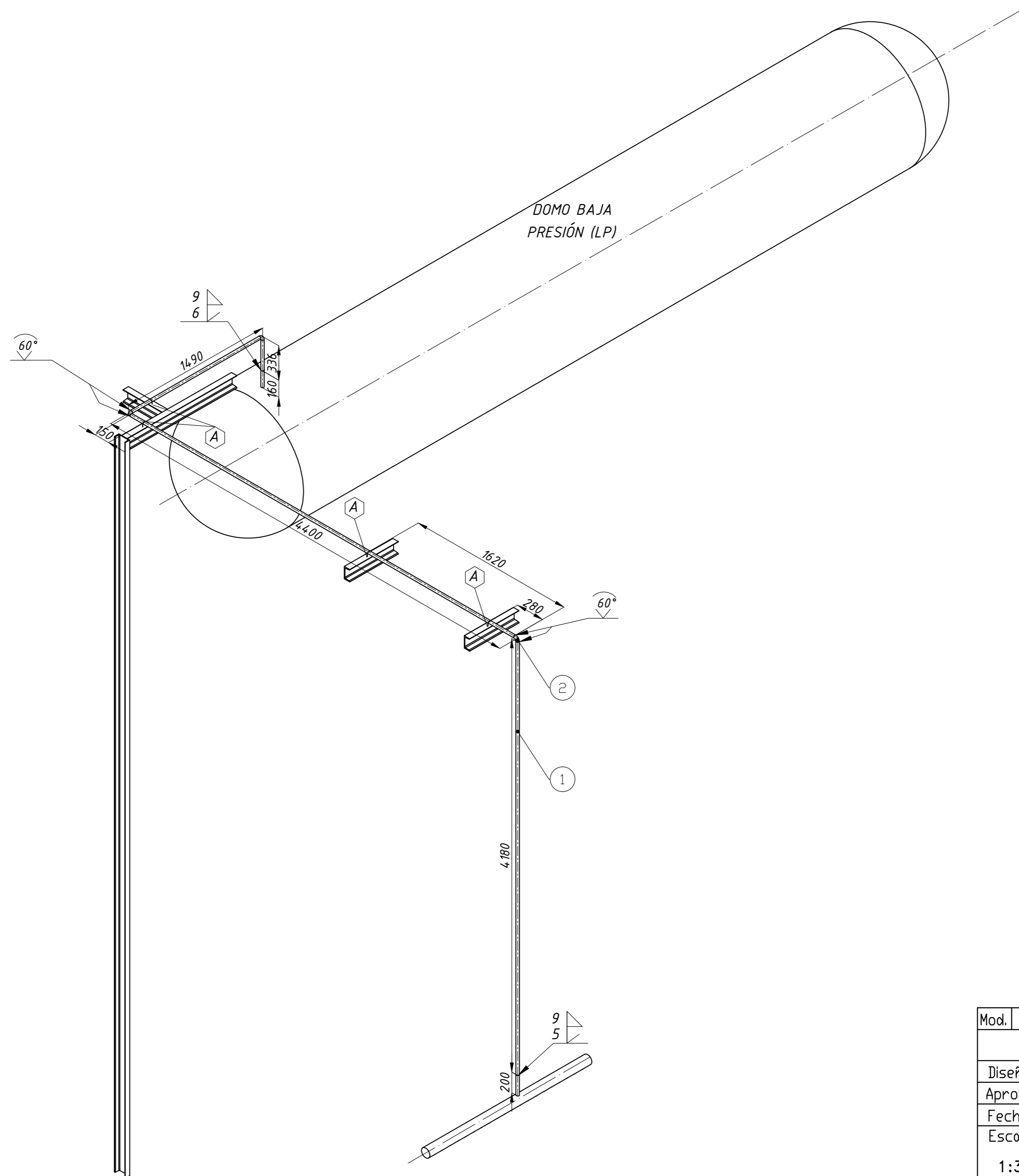
Mod.	Era:	Es:	Autor:	Rev.:	Fecha:
Diseño: Schneider, Mastronardi Silva, Songini			SOPORTE DOMO DE BAJA Y MEDIA		Año: 2021
Aprobó:					Especif. Técn. N°:
Fecha:					
Escala: 1:10			Tolerancias no indicadas Según TF2020-DT-A / DIN 7168 Grado mediano		Plano N°: HRSG-2021-P004



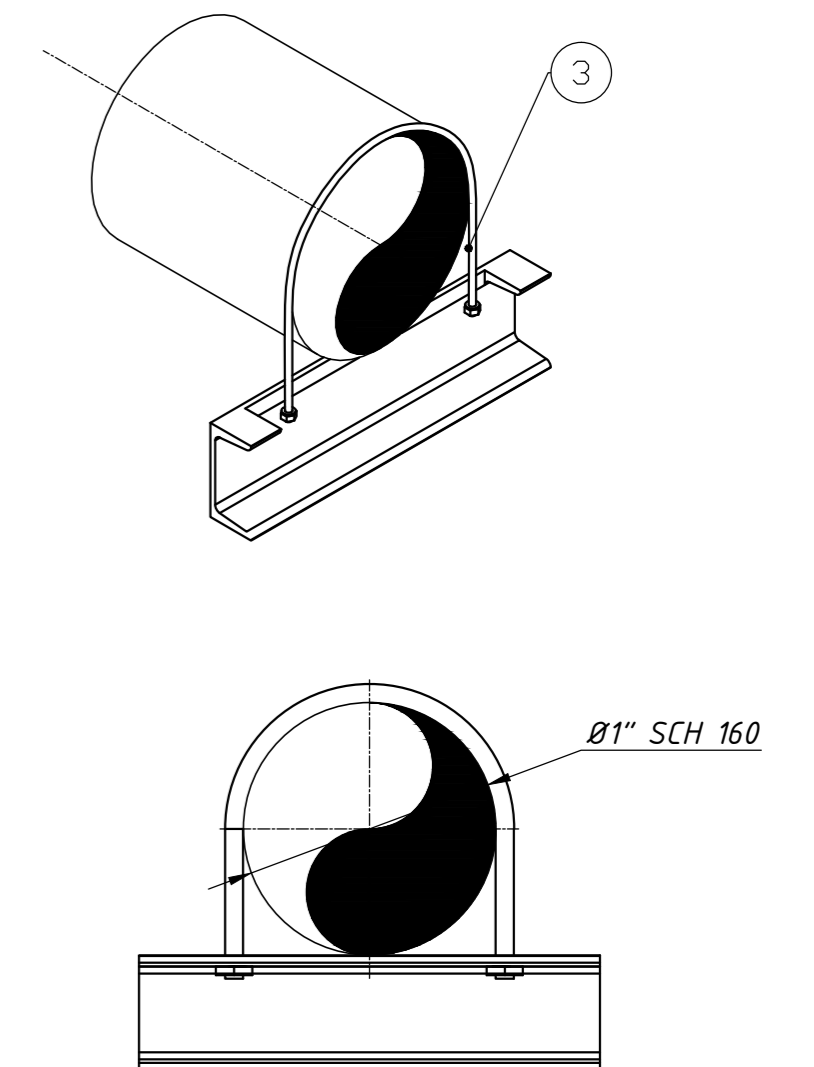
DETALLE A
ESCALA 1:5

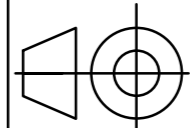


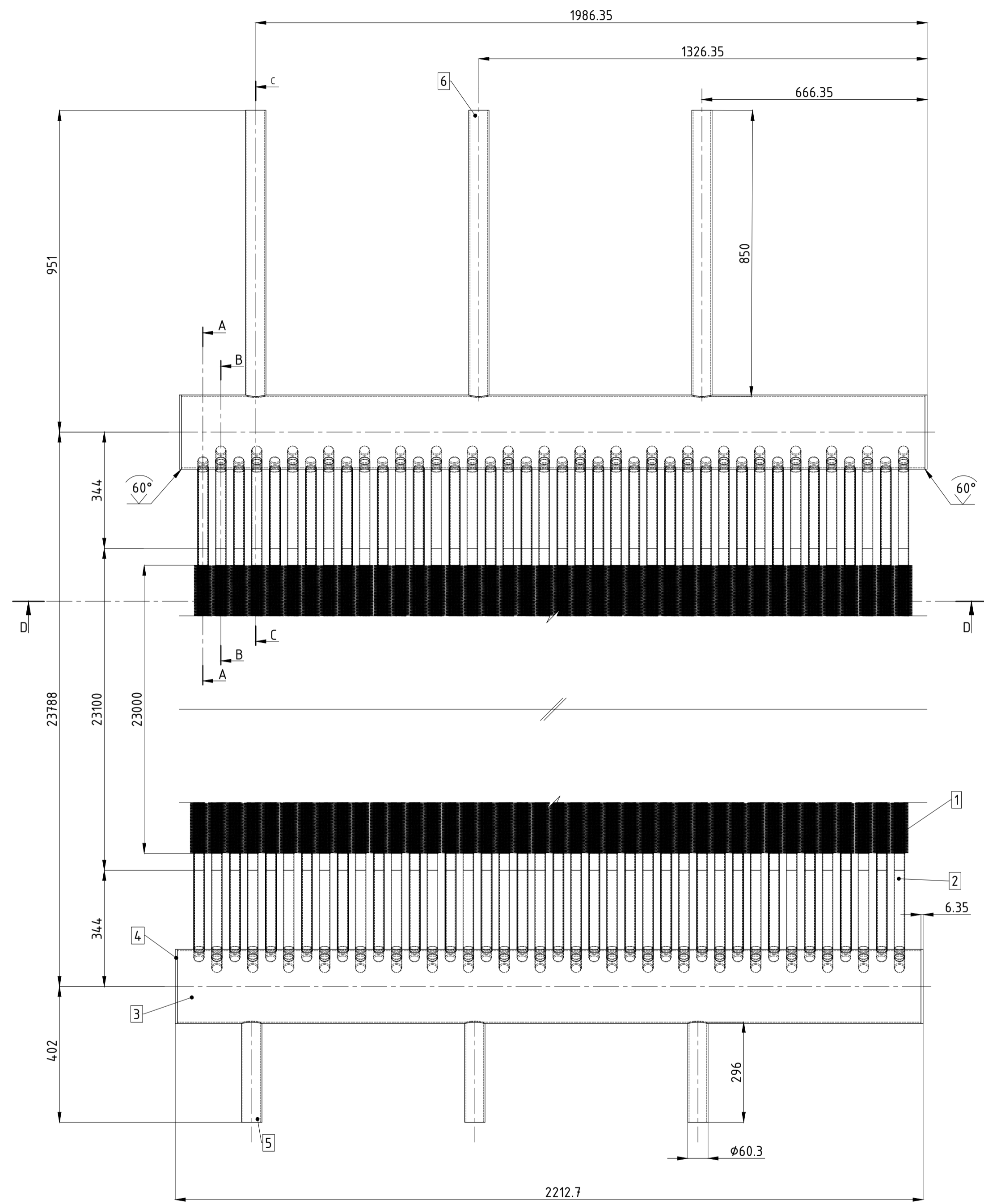
Mod.	Era:	Es:	Autor:	Rev.:	Fecha:
Diseño: Schneider, Mastroradi Silva, Songini			ISOMETRICO LINEA 135 economizador media a domo media (IP)		Año: 2021 Especif. Técn. N°:
Aprobó:					
Fecha:					
Escala:		Tolerancias no indicadas Según DIN 7168 Grado mediano		Plano N°: HRSG-2021-P006	
1:30					



DETALLE A
ESCALA 1:50



Mod.	Era:	Es:	Autor:	Rev.:	Fecha:
Diseño: <small>Schneider, Mastronardi Silva, Songini</small>		ISOMETRICO LINEA 115 sobrecalentador baja a domo baja (LP)		Año: 2021	
Aprobó:				Especif. Técn. N°:	
Fecha:				Plano N°:	
Escala: 1:30		 Tolerancias no indicadas Según DIN 7168 Grado mediano		HRSG-2021-P007	



ESPECIFICACIÓN DEL TUBO ALETADO	
Tipo	Tubos circulares con aletas incrustadas helicoidales
Materiales	Tubos de acero al carbono (ASTM A192)
	Aletas de aluminio
Fijación	Clavado mecánico

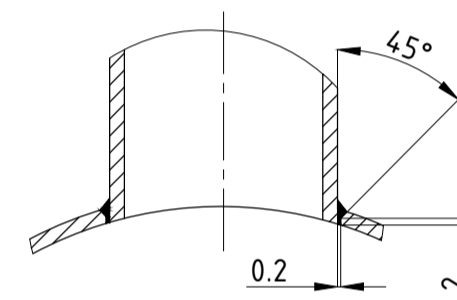
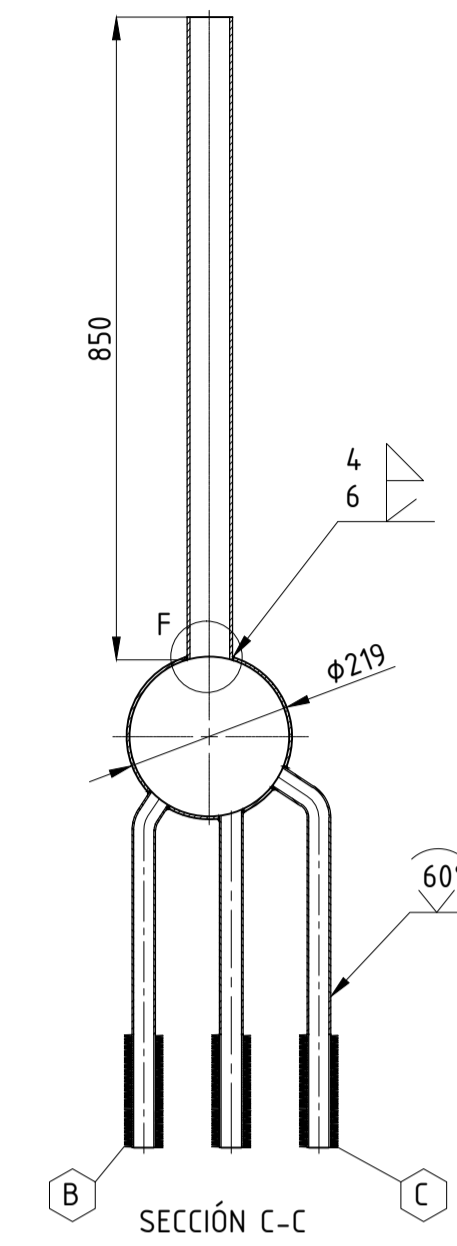
ESPECIFICACIÓN DISEÑO DEL TUBO ALETADO	
Diámetro Exterior con aletas =	51,8 mm
Diámetro Exterior tubo =	31,8 mm
Altura de aleta =	5 mm
Espesor de aleta =	0,8 mm
Número de aleta por pulgada =	3,50

ESPECIFICACIONES DE SOLDADURA:

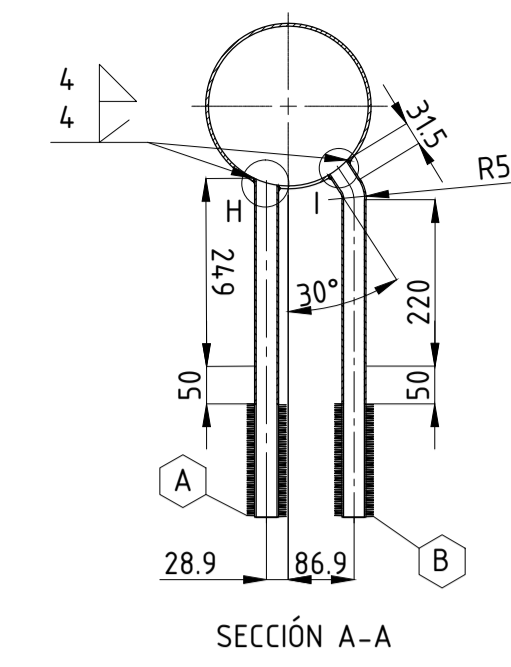
- 1- Simbología de soldadura utilizada AWS.
- 2- Se deberá soldar utilizando electrodos de bajo hidrógeno.
- 3- Previo a efectuar las soldaduras precalentar la zona.
- 4- Emplear electrodos o alambre de aporte según norma AWS 6010 para la pasada de raíz y según normas AWS 7015 para las siguientes pasadas.

ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL:

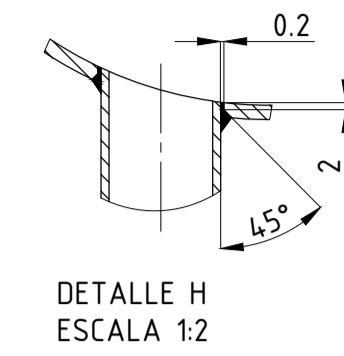
Se especifica las medidas de los caños en cada corte de unión caño con colector principal. Esto mismo se repite en todos los mazos del componente 2 economizador de alta.



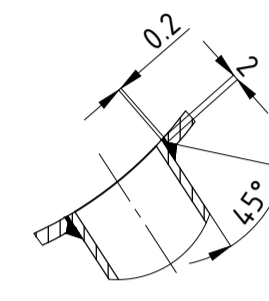
Detalle F:
Caño colector secundario Ø8" SCH 10.
Caño salida colector secundario Ø2" SCH 40.



SECCIÓN A-A

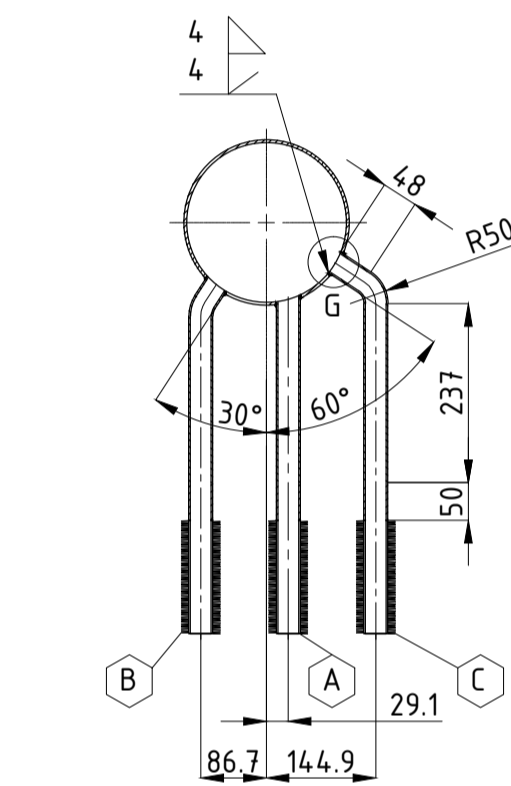


DETALLE H
ESCALA 1:2

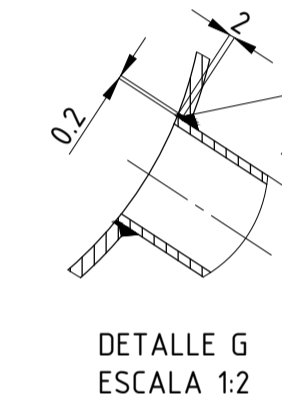


DETALLE I
ESCALA 1:2

Detalle H e I:
Caño colector secundario Ø8" SCH 10.
Tubo liso Ø51,8 espesor 2,11.

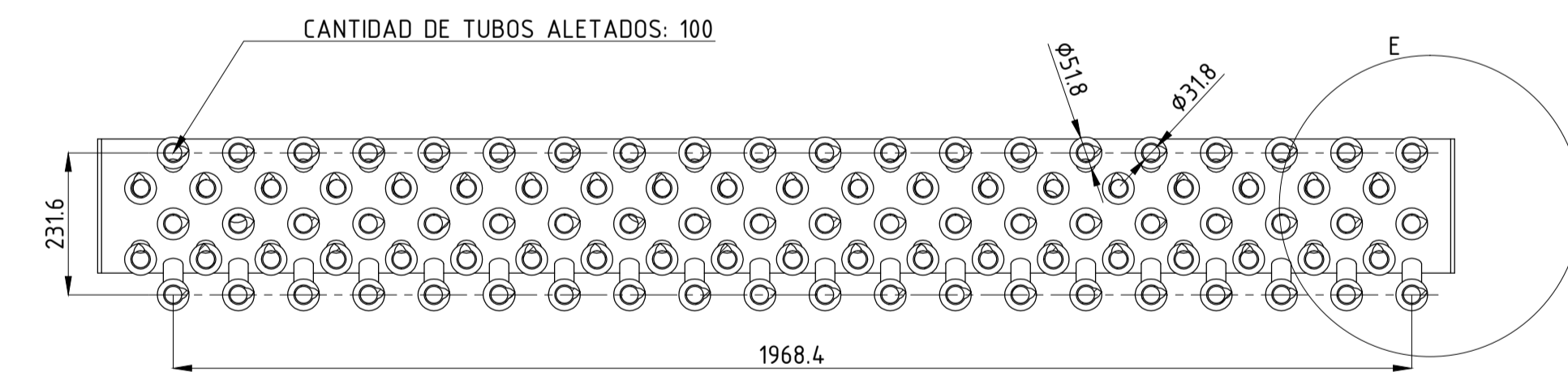


SECCIÓN B-B

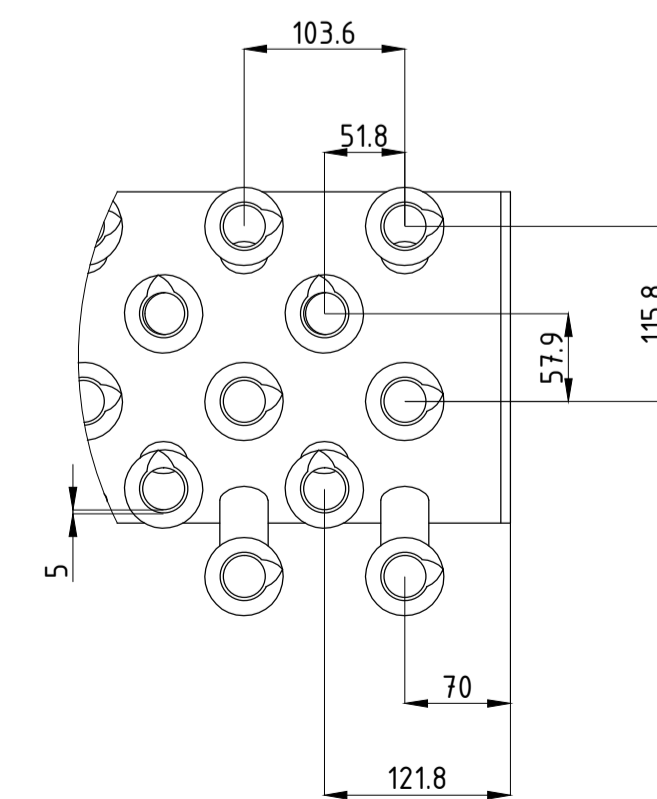


DETALLE G
ESCALA 1:2

Detalle G:
Caño colector secundario Ø8" SCH 10.
Tubo liso Ø51,8 espesor 2,11.



SECCIÓN D-D

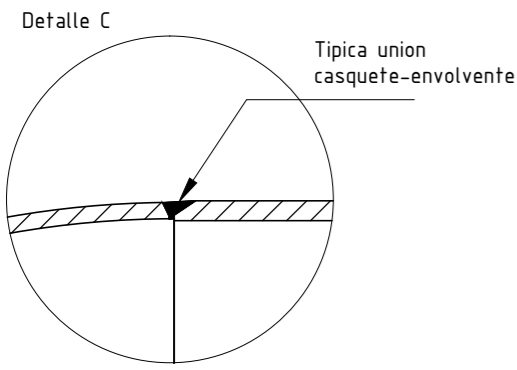


DETALLE E
ESCALA 1:5

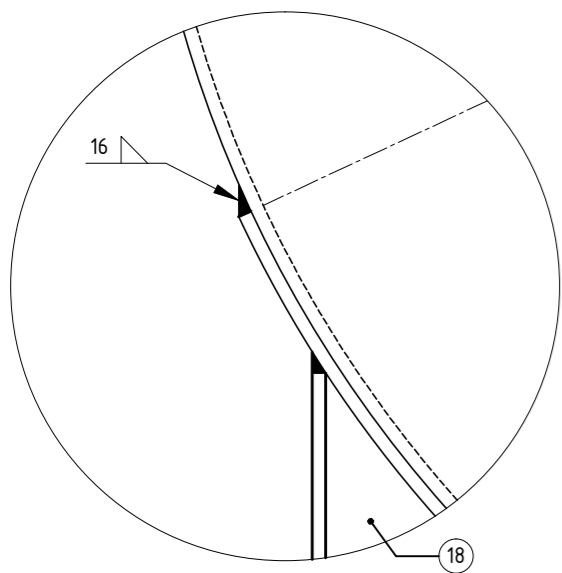
Detalle E:
Distribución de tubos aletados

Mod. Era:	Es:	Autor:	Rev.:	Fecha:
Diseño: Schneider, Mastrorand Silva, Soragni		COLECTOR SECUNDARIO 2- ECONOMIZADOR ALTA		Año: 2021
Aprobó:		Fecha:		Espef. Técn. N°:
Esca:	Tolerancias no indicadas Según TF2020-DT-A / DIN 7168 Grado mediano	Plano N°: HRSG-2021-PO08		

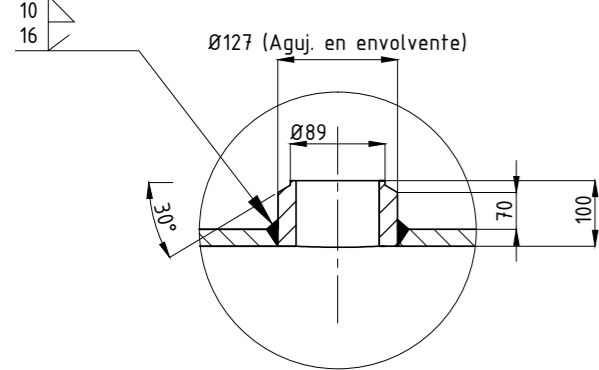
Soldadura:
Detalle soldaduras para uniones entre chapas y chapas-Casquetes



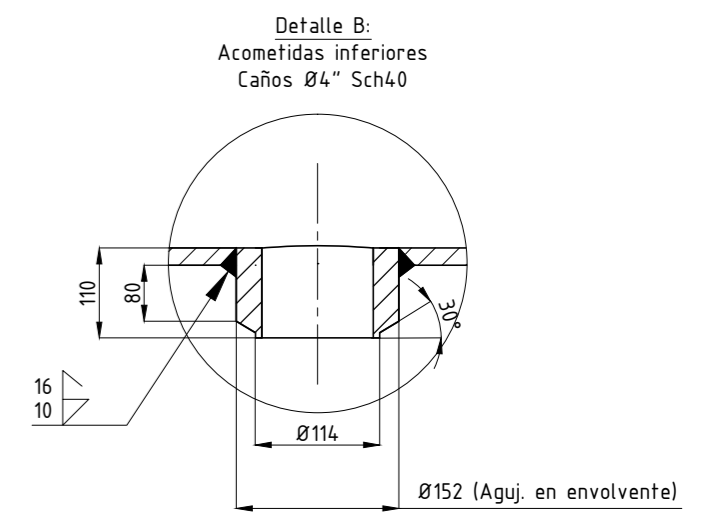
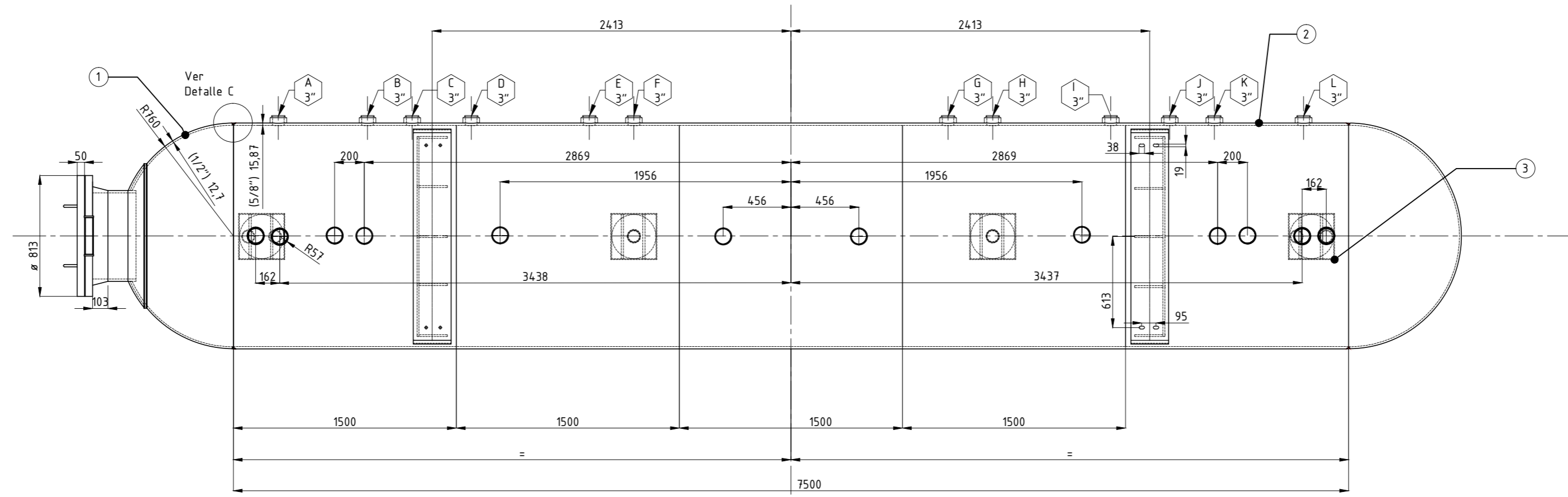
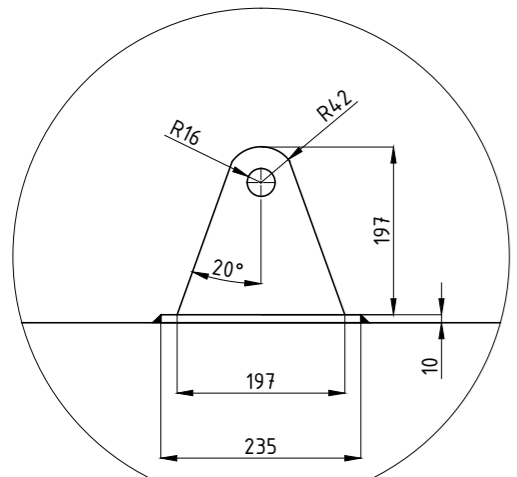
Detalle: Soldadura de cuneta



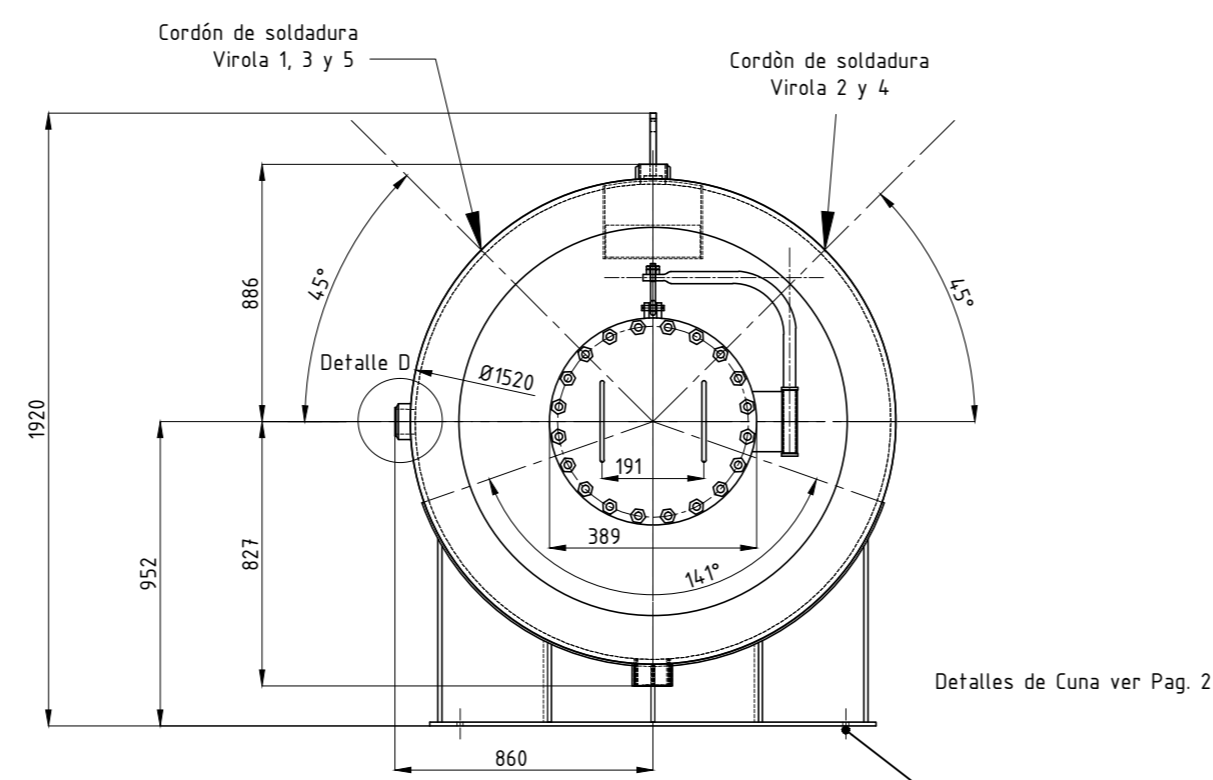
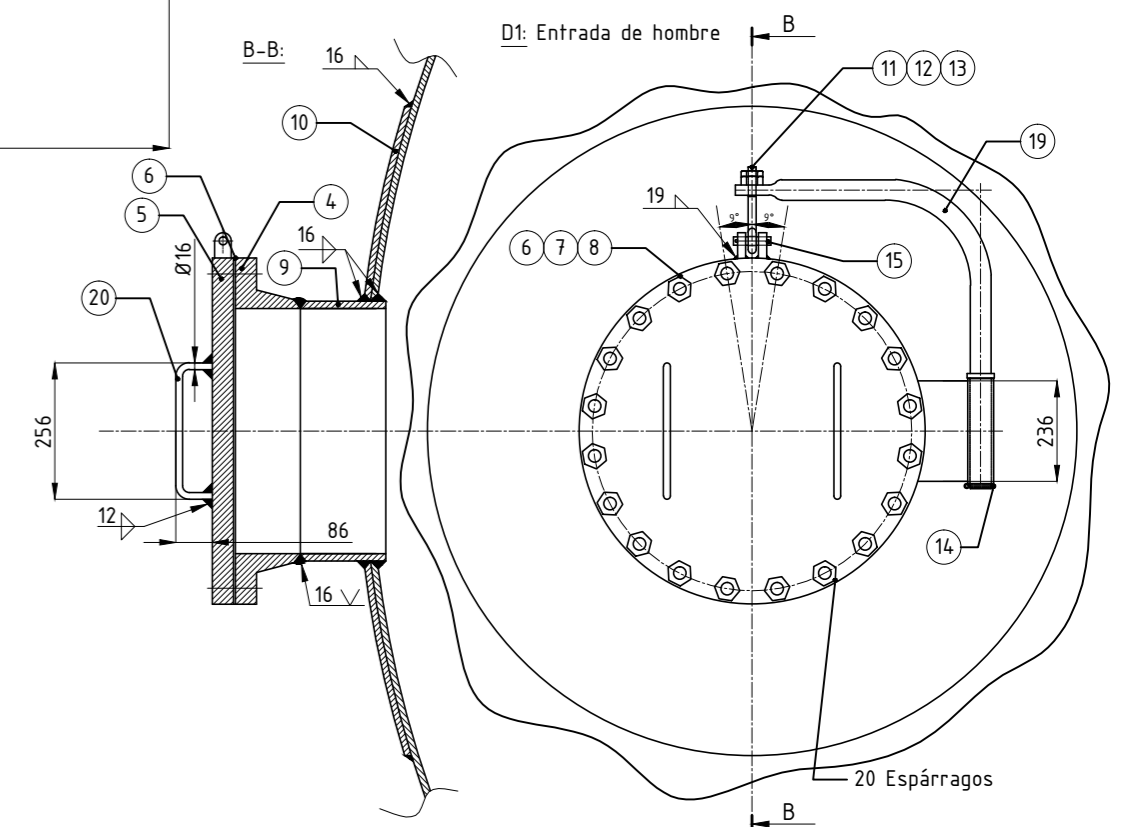
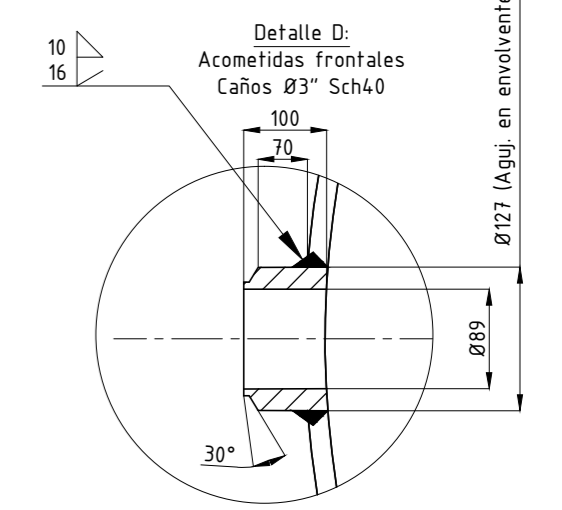
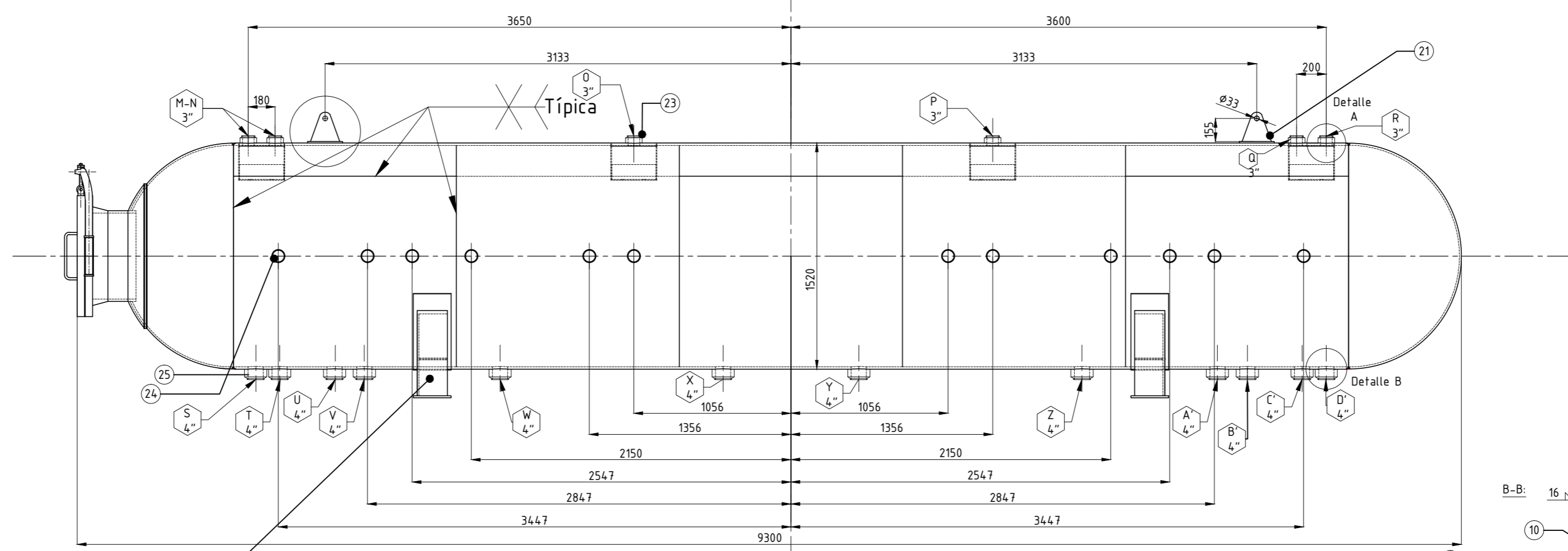
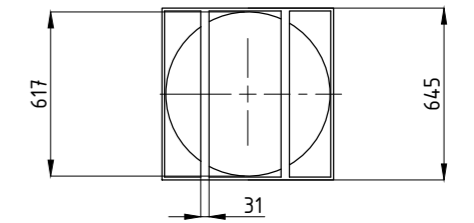
Detalle A:
Acomeidas superiores
Caños Ø3" Sch40



Detalle cáncamo:
Escala 1:10

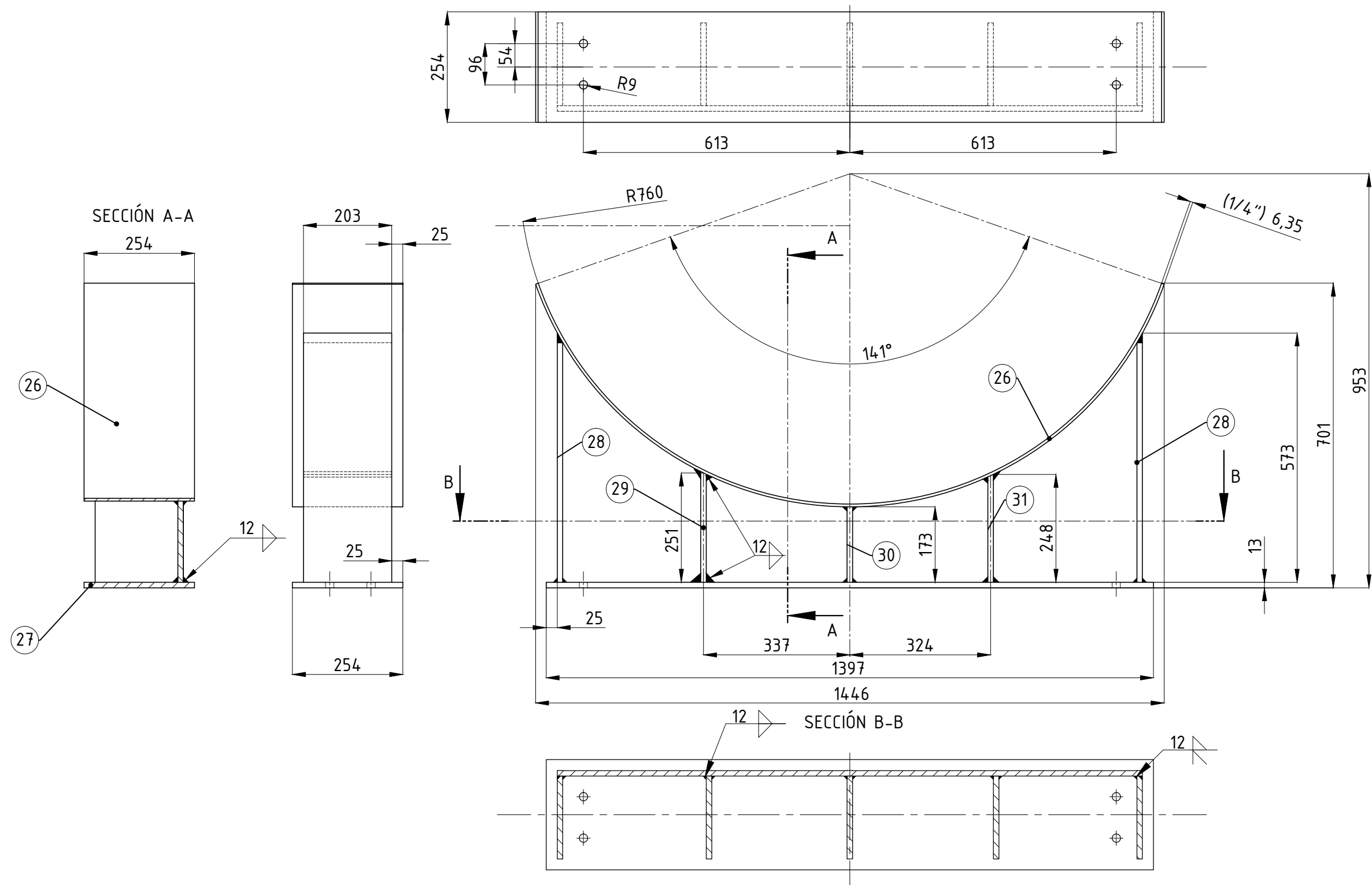


Detalle Dimensiones Demister



Especificaciones de terminación y pintura:
A- Eliminar todo vestigio de óxido mediante cepillado enérgico, mediante electro-herramienta con cepillo de alambres o cualquier procedimiento detallado en la norma IRAM 1042 (Limpieza de estructuras ferrosas para pintar).
B- Aplicar luego dos manos de anti-óxido al cromato de zinc aprobado por el IRAM, con espesor mínimo de cada capa seca de 50µ.
C- Terminar con dos manos de esmalte sintético, con espesor mínimo de cada capa seca de 50µ. Color, según IRAM 10005, 2507 e IRAM DEF. D. 10-54, azul semimate (cód.: 05-2-040).

Mod.	Era:	Es:	Autor	Rev:	Fecha:
Diseño: Schneider, Mestronard, Siva, Soragni			Año: 2021		
Aprobó:			CUERPO DOMO MEDIA		
Fecha:			Especif. Técn. N°:		
Escala:			Plano N°:		
1:50			Tolerancias no indicadas		
1:20			Según TF2020-DT-A / DIN 7168		
1:5			Grado mediano		
			HRSG-2021-P009		



Mod.	Era:	Es:	Autor:	Rev.:	Fecha:
Diseño: <u>Schneider, Mastronardi</u> <u>Silva, Songini</u>			CUNA		Año: 2021
Aprobó:					Especif. Técn. N°:
Fecha:			Tolerancias no indicadas		Plano N°:
Escala:		1:10			HRSG-2021-P010

Máquina: UTN-FRA- Proyecto final HRSG - 3 Presiones Schneider - Mastronardi - Silva - Songini					HRSG-P009/P010				
					Hoja: 1 de 2				
Pos.:	Denominación:	Cant.:	Material:	Plano N°:	Frm.:	A	T	C	Obs.:
1	Casquete semiesferico diámetro1520 Esp.1/2"	2	SA-515-Gr65	009	-	-	-	-	-
2	Ch 5/8 " 1500 x 4773	5	SA-515-Gr65	009	-	-	-	-	-
3	Demister	4	AISI 304 L	009	-	-	-	-	-
4	Brida ciega diam. 24" ANSI 150	1	ASTM A105	009	-	-	-	-	-
5	Brida ciega Ø24" ANSI 150	1	ASTM A105	009	-	-	-	-	-
6	Junta p/ brida Ø24"	1	COMERCIAL	009	-	-	-	-	-
7	Espárragos M30 x 170mm.	20	ASTM A325	009	-	-	-	-	-
8	Tuerca M30	40	ASTM A194 Gr.2H	009	-	-	-	-	-
9	Caño Sch. 40 Ø24"x200	1	A106 gr B	009	-	-	-	-	-
10	Poncho 5/8"x Ø1524	1	ASTM A516 Gr.70	009	-	-	-	-	-
11	Perno con ojal 3/4"	1	COMERCIAL	009	-	-	-	-	-
12	Tuerca 3/4" para perno con ojal	1	ASTM A194 Gr.2H	009	-	-	-	-	-
13	Contra Tuerca 3/4" para perno con ojal	1	ASTM A194 Gr.2H	009	-	-	-	-	-
14	Chaveta partida DIN94	1	COMERCIAL	009	-	-	-	-	-
15	Perno con chaveta	1	COMERCIAL	009	-	-	-	-	-
16	Espárragos M18 x 120mm.	4	ASTM A193 Gr.B7	009	-	-	-	-	-
17	Tuerca M18	4	ASTM A194 Gr.2H	009	-	-	-	-	-
18	Chapa 5/8" x 2445 x 1200	2	ASTM A516 Gr.70	009	-	-	-	-	-
19	Caño Sch. 40 Ø1 1/2" x 1300	1	ASTM A53 Gr.B	009	-	-	-	-	-
20	Varilla circular Ø16mm x 500	2	SAE 1020	009	-	-	-	-	-
21	Cancamo	2	SA-515-Gr65	009	-	-	-	-	-
22	Apoyos: Tipo Silletas	2	SA-515-Gr65	009	-	-	-	-	-
23	Conexiones superiores	6	ASTM A - 105	009	-	-	-	-	-
24	Conexiones centro	12	ASTM A - 105	009	-	-	-	-	-
25	Conexiones inferiores	12	ASTM A - 105	009	-	-	-	-	-
26	Ch 1/4 " 1900 x 254	2	SA-515-Gr65	010	-	-	-	-	-
27	Ch 1/2 " 1456 x 254	2	SA-515-Gr65	010	-	-	-	-	-
28	Ch 1/2 " 573 x 203	4	SA-515-Gr65	010	-	-	-	-	-
29	Ch 1/2 " 250 x 203	2	SA-515-Gr65	010	-	-	-	-	-
Observaciones:				Plano N°: HRSG-P009/P010					
				Grupo proy. final					

Máquina: UTN-FRA- Proyecto final
HRSO - 3 Presiones
Schneider - Mastronardi - Silva - Songini

HRSO-P009/P010

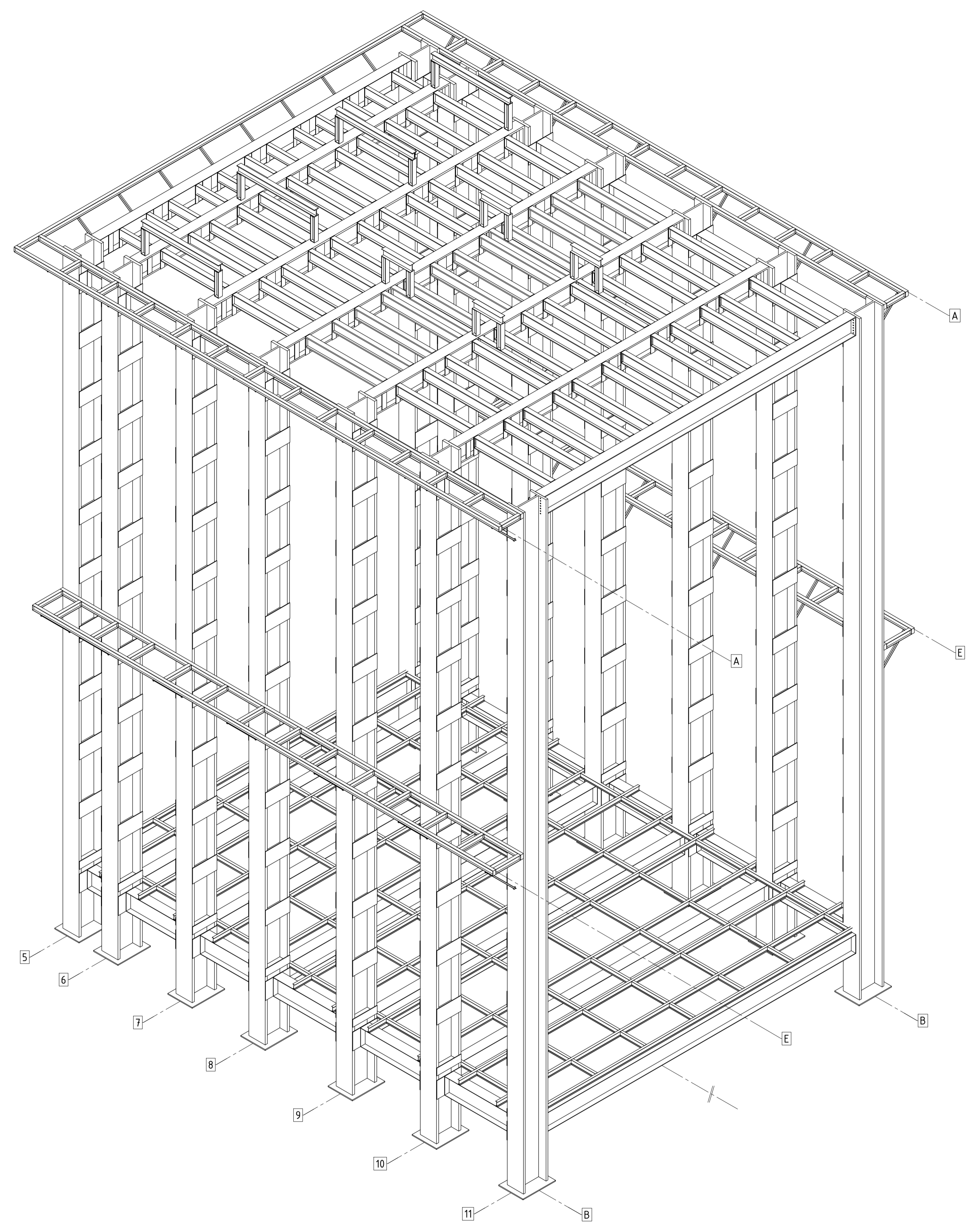
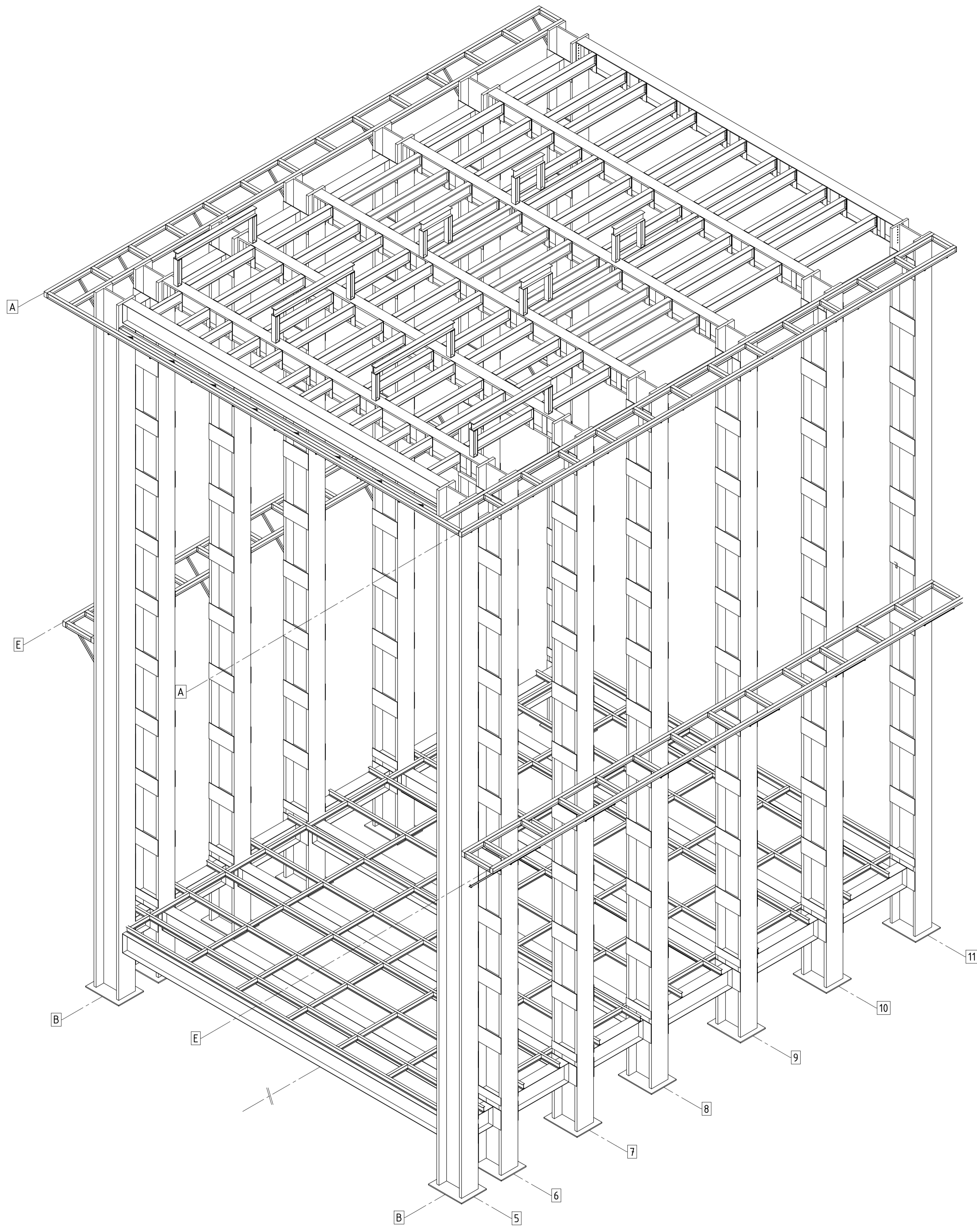
Hoja: 2 de 2

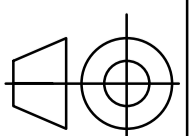
Pos.:	Denominación:	Cant.:	Material:	Plano N°:	Frm.:	A	T	C	Obs.:
30	Ch 1/2 " 173 x 203	2	SA-515-Gr65	010	-	-	-	-	-
31	Ch 1/2 " 248 x 203	2	SA-515-Gr65	010	-	-	-	-	-

Observaciones:

Plano N°: HRSO-P009/P010

Grupo proy. final



Mod.	Era:	Es:	Autor	Rev.:	Fecha:
Diseño: <small>Schneider, Mastrorandi Silva, Soragni</small>		ESRUCTURA		Año: 2021	
Aprobó:				Especif. Técn. N°:	
Fecha:					
Escola:	 Tolerancias no indicadas Según TF2020-DT-A / DIN 7168 Grado mediano	Plano N°:			
1:90		HRSG-2021-P011			