

DISEÑO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR DE AIRE CALIENTE DE  
DESECHO PARA CALENTAMIENTO Y VAPORIZACIÓN DE AGUA EN LA  
COMPAÑÍA VIDRIO ANDINO S.A.

JULIÁN DAVID MORENO BELTRÁN

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2.019

DISEÑO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR DE AIRE CALIENTE DE  
DESECHO PARA CALENTAMIENTO Y VAPORIZACIÓN DE AGUA EN LA  
COMPAÑÍA VIDRIO ANDINO S.A.

JULIÁN DAVID MORENO BELTRÁN

Trabajo de grado para optar el título de  
INGENIERO MECANICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2.019

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado  
Ing. Alvaro Romero Suarez

---

Jurado 1  
Ing. Jorge Rene Silva

---

Jurado 2  
Ing. Eric Navarro

Bogotá, D.C. Febrero, 2019

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano Facultad de Ingeniería

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Dedico este trabajo a Dios quien ha sido el dador de todo conocimiento y sabiduría necesaria para el desarrollo de cada una de las actividades requeridas para llevar a feliz término el desarrollo de este proyecto.

*“6 Porque el Señor da la sabiduría;  
conocimiento y ciencia brotan de sus labios.  
7 Él reserva su ayuda para la gente íntegra  
y protege a los de conducta intachable.  
8 Él cuida el sendero de los justos  
y protege el camino de sus fieles.  
9 Entonces comprenderás la justicia y el derecho,  
la equidad y todo buen camino;  
10 la sabiduría vendrá a tu corazón,  
y el conocimiento te endulzará la vida.  
11 La discreción te cuidará,  
la inteligencia te protegerá.”*

*Proverbios 2: 6-11 (NVI)*

Agradezco a mis padres quienes han sido soporte y ayuda incondicional para llevar a cabo cada una de las actividades relacionadas con mi formación profesional de manera exitosa; por haber inculcado sus valores, principios y moral en mi con persistencia y eficacia, por estar siempre presentes, gracias.

De igual manera a docentes y compañeros de estudio que han estado presentes en las distintas etapas de mi vida académica y que han sido testigos e incluso participantes de cada uno de mis aciertos y fracasos, gracias.

Finalmente, a la compañía Vidrio Andino S.A. y cada uno de sus directivos, y miembros que abrieron sus puertas para hacer parte de mi crecimiento profesional con cada una de las actividades y proyectos en los que depositaron su voto de confianza al hacerme participe, demostrando su compromiso con el crecimiento personal y profesional de sus empleados; a los ingenieros Juan Jesus Somolinos, Felipe Botero, Climaco León, Fernando Nocua, Julio Cesar Rodriguez y Juan Carlos Gomez, gracias.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. LA EMPRESA	18
1.1 GRUPO SAINT-GOBAIN	18
1.2 VIDRIO ANDINO S.A	20
2. PROCESO PRODUCTIVO	22
2.1 GENERALIDADES DEL VIDRIO	22
2.1.1 Vidrio de cuarzo fundido o sílice fundida	23
2.1.2 Vidrio sódico-cálcico	23
2.2 LINEA FLOAT	24
2.2.1 Zona Batch	25
2.2.2 Zona Horno	26
2.2.3 Zona Float	27
2.2.4 Zona Extendería	27
2.2.5 Zona Corte y Almacén	28
3. GENERACIÓN DE VAPOR, AIRE Y AGUA CALIENTE	29
3.1 VAPOR Y AGUA CALIENTE	29
3.2 AIRE CALIENTE	33
4. CONCEPTUALIZACIÓN Y PARÁMETRIZACIÓN	34
5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	35
5.1 INTERCAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS	35
5.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR DE TUBOS Y CORAZA	36
5.3 CALDERA DE RECUPERACIÓN DE CALOR (HRSG)	37
5.4 SELECCIÓN DE ALERNATIVA	38
5.4.1 Criterios de selección y ponderación	38
5.4.2 Cuadro de necesidad	39
5.4.3 Matriz de evaluación	39
6. CARACTERIZACIÓN PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	41
6.1 ESTIMACIÓN DE PERDIDAS DE CALOR EN TRANSPORTE	41
6.2 EQUIPOS DE RECUPERACIÓN	55
6.2.1 Sobrecalentador	55
6.2.2 Vaporizador	69
6.2.3 Precalentador	86
6.2.4 Análisis generación vapor	95
7. DISEÑO SISTEMA TRANSPORTE AIRE CALIENTE	98

7.1 DIRECCIONADOR CHIMENEA-TUBERIA RECUPERACIÓN	98
7.2 TUBERIA TRANSPORTE	113
7.3 SISTEMA ESTRUCTURAL	115
7.3.1 Viga soporte secciones tubería	116
7.3.2 Pernos anclaje de tubería	120
7.3.3 Viga principal de soporte estructural	122
7.3.4 Columna final de soporte estructural	126
7.3.5 Soldadura viga acople columna-tubería	130
8. DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPONENTES CRITICOS	133
8.1 ESTRUCTURA SOPORTE POR EMPOTRAMIENTO	133
8.2 ESTRUCTURA SOPORTE POR ARCO	136
9. SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO	139
10. EVALUACIÓN DE SEGURIDAD	147
11. EVALUACIÓN DE MEDIO AMBIENTE	152
12. EVALUACIÓN FINANCIERA	155
12.1 ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO	155
12.1.1 Costos de evaluación y diseño	155
12.1.2 Costos de equipos y maquinaria	156
12.1.3 Costos de montaje y puesta a punto	158
12.2 ANÁLISIS FINANCIERO CAPACIDAD MEDIA OPERACIONAL	159
12.3 ANÁLISIS FINANCIERO CAPACIDAD MÁXIMA OPERACIONAL	163
13. CONCLUSIONES	166
14. RECOMENDACIONES	167
BIBLIOGRAFIA	168
ANEXOS	171

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Líneas negocio grupo Saint-Gobain (2016)	18
Figura 2. Distribución ventas y ganancias operacionales SG (2015)	19
Figura 3. Estructura molecular SiO <sub>2</sub>	22
Figura 4. Proceso fabricación vidrio flotado	24
Figura 5. Área de ejecución del proyecto	41
Figura 6. Dimensionamiento recorrido requerido del sistema	42
Figura 7. Sistema térmico tubería transporte	43
Figura 8. Propiedades del sistema térmico tubería	50
Figura 9. Esquema térmico sobrecalentador	55
Figura 10. Diferencia temperaturas media logarítmica sobrecalentador	60
Figura 11. Factor de corrección para intercambiadores de flujo cruzado	62
Figura 12. Obtención factor de corrección para el sobrecalentador	65
Figura 13. Regímenes de flujo en ebullición de flujo interno	69
Figura 14. Sistema térmico tubería del vaporizador	71
Figura 15. Diferencia temperaturas media logarítmica precalentador	90
Figura 16. Obtención factor de corrección F para el precalentador	94
Figura 17. Direccionador chimenea - tubería recuperación	98
Figura 18. Componentes direccionador chimenea-tubería	99
Figura 19. Esquema funcionamiento dámperes expulsión y recuperación	100
Figura 20. Esquema aplicación fuerza sistema accionamiento	102
Figura 21. Esquema desplazamiento requerido por el actuador	103
Figura 22. Esquema fuerzas actuador neumático	103
Figura 23. Esquema operación actuador neumático	104
Figura 24. Distribución actuadores neumáticos en válvula reguladora	105
Figura 25. Selección ángulo tipo americano de lados iguales	109
Figura 26. Selección electrodo para la soldadura del perfil	110
Figura 27. Filete mínimo de soldadura	112
Figura 28. Vista superior y frontal del recorrido de la tubería	113
Figura 29. Etapas sistema estructural	116
Figura 30. Viga soporte secciones tubería	116
Figura 31. Selección perfil C estándar tipo americano	119
Figura 32. Pernos anclaje tubería	121
Figura 33. Viga crítica principal de soporte	122
Figura 34. Selección perfil I estándar tipo americano - S	126
Figura 35. Columnas de soporte de llegada de la tubería	126
Figura 36. Factor de longitud efectiva	127
Figura 37. Selección electrodo para la soldadura del perfil	130
Figura 38. Filete mínimo de soldadura	132
Figura 39. Estructura soporte por empotramiento	133
Figura 40. Restricciones y cargas aplicadas estructura por empotramiento	134
Figura 41. Resultados simulación FEM estructura por empotramiento	135

Figura 42. Estructura soporte por arco	136
Figura 43. Restricciones y cargas aplicadas estructura por arco	137
Figura 44. Resultados simulación FEM estructura soporte por arco	138
Figura 45. Precio gas natural mayo 2018	158

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Equipos de generación de vapor y calentamiento de agua	31
Cuadro 2. Condiciones de generación de aire caliente	33
Cuadro 3. Descripción etapas del sistema de recuperación	34
Cuadro 4. Características intercambiadores de placas	36
Cuadro 5. Características intercambiadores de coraza y tubos	37
Cuadro 6. Características calderas de recuperación HRSG	38
Cuadro 7. Cuadro de necesidad	39
Cuadro 8. Matriz de evaluación de alternativas	40
Cuadro 9. Aislamientos térmicos minerales en el mercado	46
Cuadro 10. Espesor aislamiento tubería Vs. temperatura entrega aire	54
Cuadro 11. Diámetro tubería vapor Vs. área requerida sobrecalentador	68
Cuadro 12. Diámetro tubería saturación Vs. área requerida vaporizador	85
Cuadro 13. Diámetro tubería agua Vs. área requerida precalentador	97
Cuadro 14. Peso componentes sistema accionamiento	102
Cuadro 15. Componentes tubería transporte	114
Cuadro 16. Cantidad vigas soporte requeridas	119
Cuadro 17. Cantidad pernos anclaje requeridos	122
Cuadro 18. Cantidad vigas principales tipo S requeridas	126
Cuadro 19. Cantidad columnas principales tipo S requeridas	130
Cuadro 20. LC1 - Llenado sistema recuperador	140
Cuadro 21. LC2 - Recirculación aire caliente a recuperador	141
Cuadro 22. LC3 – Acumulación inicial vapor saturado	142
Cuadro 23. LC4 – Acumulación inicial vapor sobrecalentado	143
Cuadro 24. LC5 – Entrega vapor sobrecalentado a proceso	144
Cuadro 25. LC6 – Sistema de purgas de control	145
Cuadro 26. LC7 – Sistema de purga de finalización	146
Cuadro 27. Parámetro de evaluación de criticidad de riesgos	147
Cuadro 28. Evaluación de riesgos de salud y seguridad asociados	148
Cuadro 29. Análisis por tipo de riesgo	150
Cuadro 30. Criterios de magnitud e impacto para matriz Leopold	151
Cuadro 31. Matriz de Leopold proyecto recuperación calor	153
Cuadro 32. Costos de evaluación y diseño	155
Cuadro 33. Costos de equipo y maquinaria	156
Cuadro 34. Costos de montaje y puesta a punto	157
Cuadro 35. Flujo de caja de proyecto a capacidad media operacional	160
Cuadro 36. Flujo de caja de proyecto a capacidad máxima generación	163

## LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Procesos transformación primaria y secundaria del vidrio	23
Diagrama 2. Proceso actual de generación de agua caliente y vapor	30
Diagrama 3. Etapas de generación vapor del sistema de recuperación	56
Diagrama 4. Flujo cálculo del sobrecalentador	67
Diagrama 5. Flujo cálculo del vaporizador	84
Diagrama 6. Flujo cálculo del precalentador	96
Diagrama 7. Fuerzas perfil soporte actuador neumático	106
Diagrama 8. Fuerza Cortante (Superior) y Momento Flector (Inferior)	108
Diagrama 9. Análisis cuerpo libre de la viga soporte	117
Diagrama 10. Fuerza Cortante (Superior) y Momento Flector (Inferior)	118
Diagrama 11. Análisis cuerpo libre de la viga critica principal	123
Diagrama 12. Fuerza Cortante (Superior) y Momento Flector (Inferior)	125
Diagrama 13. Análisis de cargas columna final de soporte	129

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Logotipo grupo Saint-Gobain	18
Imagen 2. Planta Soacha Vidrio Andino S.A.	20
Imagen 3. Ubicación planta Vidrio Andino S.A	20
Imagen 4. Zona Batch en una planta de vidrio flotado	25
Imagen 5. Zona enforne de un horno de vidrio flotado	26
Imagen 6. Proceso conformado de vidrio flotado	27
Imagen 7. Zona extendería en planta de vidrio flotado	27
Imagen 8. Robots de apilado en la línea de corte.	28
Imagen 9. Transporte materias primas humectadas	29
Imagen 10. Chimenea de aire caliente, zona brasa	33
Imagen 11. Intercambiador de placas	35
Imagen 12. Intercambiador de coraza y tubos	36
Imagen 13. Caldera recuperación de calor HRSG	37

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Tamaños tubos intercambiadores calor ASTM A199	172
Anexo C. Cilindro neumático DNSU 63-200 P-A - FESTO	175
Anexo D. Ángulos tipo americano de lados iguales - Perfiles & Vigas S.A.S	177
Anexo E. Catalogo consumibles para soldar - West Arco	179
Anexo F. Perfiles C estándar tipo americano - Perfiles & Vigas S.A.S	182
Anexo G. Catalogo tornillería – Tornillos & Partes S.A.	184
Anexo H. Perfiles I estándar tipo americano - S - Perfiles & Vigas S.A.S	209
Anexo I. Evaluación criticidad riesgos durante montaje e instalación	211
Anexo J. Cotizaciones asociadas a la etapa de evaluación y diseño	216
Anexo K. Cotizaciones asociadas a equipo y maquinaria	222
Anexo L. Cotización sistema actual generación Vidrio Andino S.A.	250
Anexo M. Planos sistema recuperación de calor	269

## RESUMEN

Para desarrollar el presente proyecto de grado fue necesario tener conocimiento y realizar un análisis detallado de las necesidades de la compañía Vidrio Andino S.A. enfocado en las oportunidades de mejora para la recuperación de calor.

El proyecto inició con la etapa de investigación y análisis de proceso en la que se encontraron pérdidas de calor potencialmente aprovechables en la zona de acondicionamiento térmico y homogenización dentro del horno, así como un consumo de energía térmica considerable para la vaporización de agua utilizada en el acondicionamiento de las materias primas.

Una vez identificadas la fuente de aprovechamiento potencial de calor y el destinatario final de esta energía, se procedió a realizar una caracterización detallada de las fuentes de aprovechamiento y las necesidades requeridas por el proceso de vaporización, de tal manera que se tuviera toda la información para el correcto diseño del sistema de recuperación.

El diseño detallado del sistema de recuperación fue una de las etapas, más importantes y desafiantes del proyecto debido a que en este se desarrollaron todos los cálculos estructurales, de materiales y de proceso que garantizarían un correcto funcionamiento y solución a los requerimientos de la oportunidad de mejora planteada. El diseño de cada uno de los componentes se desarrolló de acuerdo a normas nacionales e internacionales que garantizaran una estandarización de los componentes del sistema pensado en una futura replicación del sistema en otras plantas de la compañía a nivel mundial.

Era de vital importancia garantizar un correcto funcionamiento del sistema, por lo que se desarrollaron simulaciones de componentes críticos del diseño para verificar lo ya calculado y que los componentes críticos del sistema funcionaran de manera adecuada.

En la etapa final se desarrolló todo el material y contenido necesario para la futura implementación del proyecto (Planos, listados de repuestos, etc.) y una vez terminados todos los análisis técnicos se procedieron a realizar los análisis de seguridad, medio ambiente y financieros que determinaron la viabilidad del proyecto.

Palabras clave: Diseño, Sistema Recuperación, Aire Caliente.

## INTRODUCCIÓN

El *origen* del proyecto se da durante el análisis de las etapas de acondicionamiento del vidrio en el horno y el análisis de gastos asociados a la generación de energía térmica en otras etapas de proceso, por lo que la *importancia* del proyecto radica en la posibilidad de evaluar el aprovechamiento de energía térmica de desecho (tema que no había sido abordado dentro de la empresa) y sus posibles usos en proceso.

Por lo anterior, el *objetivo* general del proyecto será diseñar un sistema de recuperación de calor de aire caliente de desecho para ser usado en el calentamiento y vaporización de agua en la compañía Vidrio Andino S.A.; esto será alcanzado mediante el desarrollo de los siguientes objetivos específicos;

- Evaluar la situación actual de los sistemas y procesos implicados de la planta
- Determinar los parámetros de diseño y condiciones requeridas para el proceso
- Proponer las alternativas de diseño y seleccionar la más adecuada
- Caracterizar el proceso de transferencia de calor del sistema de recuperación
- Diseñar los elementos mecánicos principales del proceso de recuperación del sistema de transporte de aire caliente
- Analizar mediante un software de ingeniería por el método de elementos finitos (MEF) los sistemas críticos del proceso de recuperación del sistema de transporte de aire caliente
- Elaborar los planos de ubicación, fabricación de los componentes, ensamble y automatización
- Evaluar el impacto ambiental y de seguridad industrial, que genera el sistema de recuperación de calor
- Realizar la evaluación financiera del proyecto

El desarrollo del proyecto es un *avance* en la optimización energética del proceso de fabricación de vidrio, no obstante, el *alcance* del proyecto será investigativo y propositivo por lo que se *limitará* a realizar un análisis de tipo teórico y conceptual en busca de brindar las herramientas necesarias para evaluar una implementación.

La *metodología* que se utilizó en este proyecto se encuentra enlazada al cumplimiento de los objetivos específicos en busca de finalizar las actividades del proyecto dentro del tiempo destinado para tal propósito.

# 1. LA EMPRESA

## 1.1 GRUPO SAINT-GOBAIN

Imagen 1. Logotipo grupo Saint-Gobain



Fuente: SAINT-GOBAIN. Home Page. [Sitio WEB]. Paris. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://www.saint-gobain.com/en/>

El Grupo Empresarial Saint-Gobain de origen francés, es una compañía multinacional dedicada al diseño, fabricación y distribución de materiales y soluciones claves en el desarrollo del bienestar para las presentes generaciones y futuras con más de 350 años de experiencia. Fue fundada durante en el año 1.665 por el Rey Luis XIV De Francia bajo el nombre de *Manufacture des Glaces de Miroirs en el pueblo de Saint-Gobain* con el objetivo de dotar la sala de los espejos del Palacio de Versailles y de esta manera evitar la importación de vidrio veneciano.

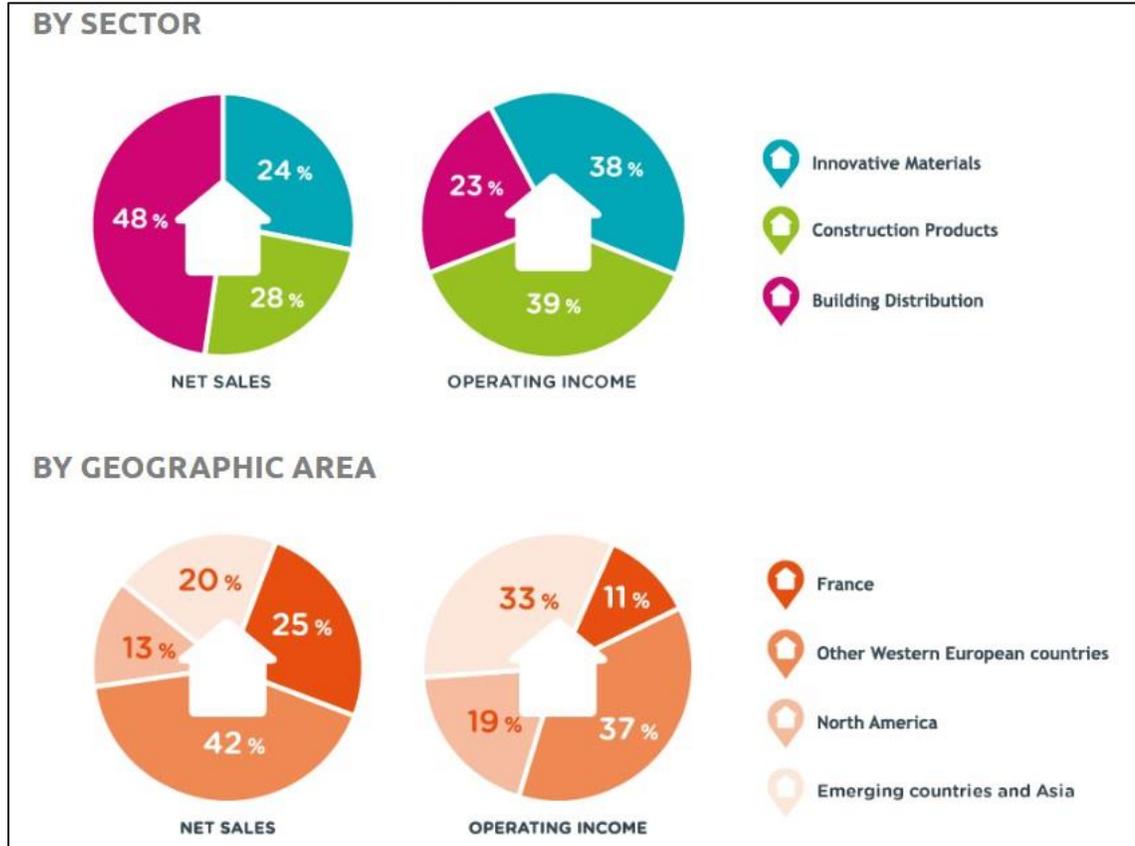
Saint-Gobain Cuenta con presencia a nivel internacional en más de 66 países y más de 170.000 colaboradores en todo el mundo dividiendo sus actividades en tres líneas de negocio, Materiales Innovadores, Productos para la Construcción y Distribución para la Construcción (Figura 1). En cada línea de negocio Saint-Gobain se encuentra como líder ya sea en Europa o a nivel mundial y durante el 2015 tuvo ventas por €\$39,6 Billones (Figura 2).

Figura 1. Líneas negocio grupo Saint-Gobain (2016)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2. Distribución ventas y ganancias operacionales SG (2015)



Fuente: SAINT-GOBAIN. Group, About Saint-Gobain. [Sitio WEB]. Paris. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://www.saint-gobain.com/en/group/about-saint-gobain>

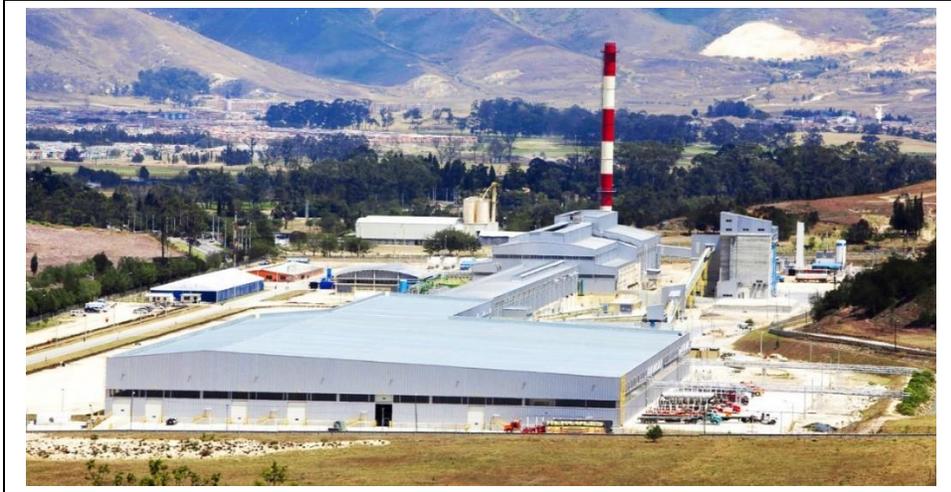
Según el listado *FORBES Global 2.000*, que analiza cuales son las empresas más grandes y poderosas a nivel mundial, para el año 2.015, el grupo Saint-Gobain ocupó la posición #256 a nivel mundial del conteo, siendo así la empresa #1 del sector de Productos para la Construcción a nivel mundial.

Su presencia en Colombia inició en el año 1.974 con el objetivo de abastecer el mercado nacional y andino del continente. Saint-Gobain cuenta con representación en Colombia con las siguientes empresas:

- Saint-Gobain Abrasivos (Norton-Carborundum)
- Fiberglass
- PAM
- Vidrio Andino S.A.

## 1.2 VIDRIO ANDINO S.A.

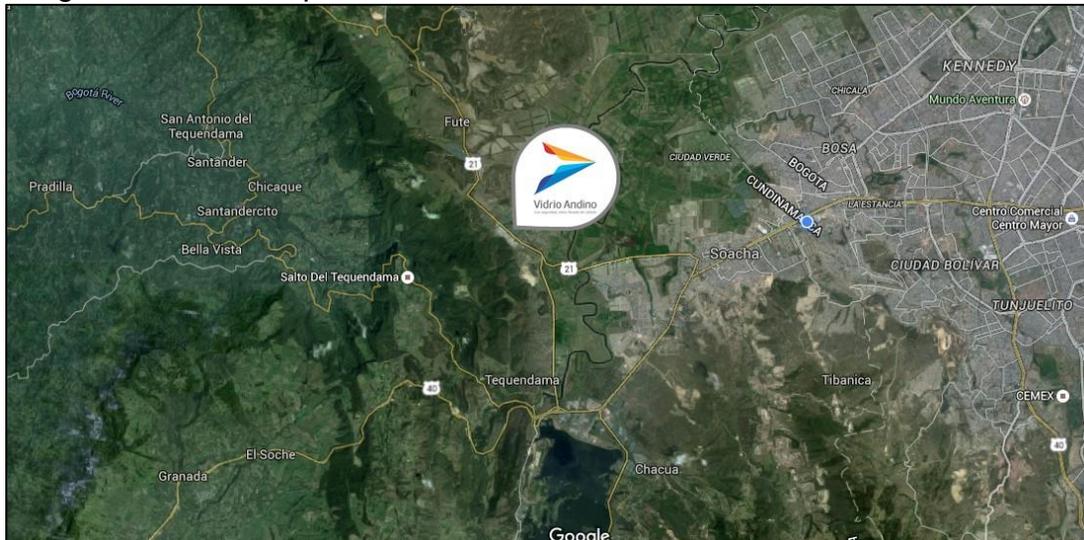
Imagen 2. Planta Soacha Vidrio Andino S.A.



Fuente: VIDRIO ANDINO. Pagina Inicial. [Sitio WEB]. Bogotá D.C. [04, abril, 2018]. Disponible en: <http://www.vidrioandino.com/>

Vidrio Andino S.A. es una compañía dedicada a la comercialización y fabricación local de vidrio con presencia en Colombia desde el año 1.997 como comercializadora y desde el año 2.013 como productora de vidrio a través de la Planta Soacha de vidrio flotado (Imagen 2) localizada en el Km 6,5 Vía Soacha-Mondoñedo Vereda Canoas (Imagen 3).

Imagen 3. Ubicación planta Vidrio Andino S.A.



Fuente: Localización Planta SCH Vidrio Andino, Vista Mapa. [Sitio WEB]. Soacha. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2VdpqeJ>

Vidrio Andino S.A. consiste en un Joint Venture entre Saint-Gobain, NSG Pilkington y el Grupo Empresarial Antioqueño. Pertenece a la línea de negocio de materiales innovadores del grupo Saint-Gobain y es la primera empresa en Colombia en implementar el proceso de flotado para la fabricación de vidrio convirtiéndola en pionera a nivel nacional en su producción.

La Planta Soacha tiene una capacidad de producción de hasta 600 Toneladas de vidrio diarias en láminas de vidrio de 3.600mmX2.600mm o menores y espesores desde 2mm hasta 19mm. Adicionalmente cuenta con certificación ISO 9001-2008 y reconocimientos del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible como pionero en la certificación LEED Residencial en Latinoamérica, garantizando estándares de calidad y sostenibilidad ambiental de nivel internacional en sus productos.

1.2.1 Misión y Visión<sup>1</sup>. De la página web de la compañía se tiene que la misión de Vidrio Andino S.A. es: “Somos la primera Planta de Vidrio Flotado en Colombia, entregando productos y servicios de calidad de forma segura y sostenible, utilizando tecnología de punta. Nuestra misión se fundamenta en nuestros valores corporativos;

**PRINCIPIOS GENERALES DE CONDUCTA:** Compromiso profesional, Respeto a las personas, Integridad, Lealtad, Solidaridad.

**PRINCIPIOS GENERALES DE ACTUACIÓN:** Respeto por la legalidad vigente, Respeto al medio ambiente, Respeto a la Seguridad e Higiene en el trabajo y Respeto a los derechos de los empleados.

De igual forma se define la visión de la compañía como: “Ser referencia de innovación y servicio en el mercado del vidrio plano.”

---

<sup>1</sup> VIDRIO ANDINO. Quienes Somos. Nosotros. [Sitio WEB]. Bogotá D.C. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2TTS449>

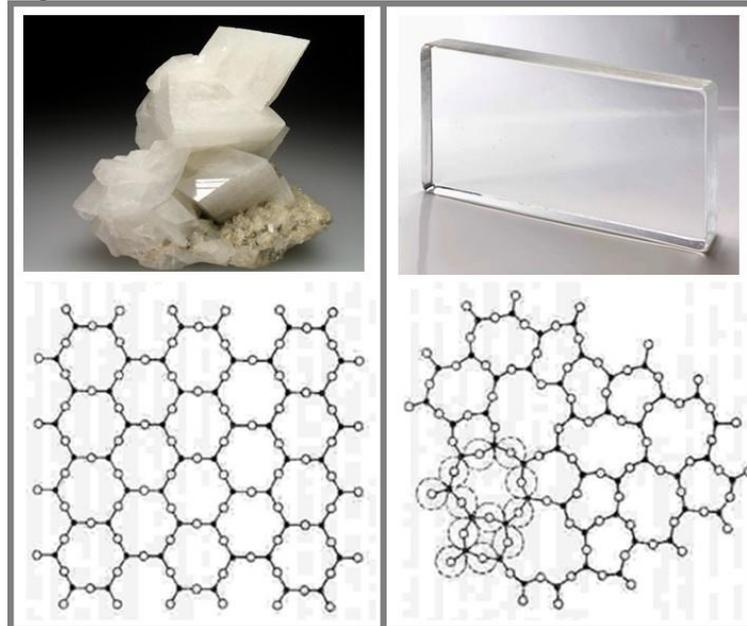
## 2. PROCESO PRODUCTIVO

### 2.1 GENERALIDADES DEL VIDRIO

El vidrio es un material sólido, amorfo y transparente proveniente de la fundición de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) que al ser enfriado rápidamente impide que las moléculas en su interior se ordenen y generen estructuras cristalinas, de esta forma se evita la formación de granos y sus respectivos límites, estos últimos al ser los responsables de generar la reflexión de la luz, evitan la transparencia en los materiales que poseen granos definidos en su estructura.

Para lograr las propiedades ópticas y mecánicas del vidrio, cada átomo de Silicio se une a 4 átomos de oxígeno y estos a su vez a otros 4 átomos de sílice de manera aleatoria generando una estructura desordenada que garantizara una reducción en la formación de granos, este estado recibe el nombre de estado vítreo. Cuando las moléculas tienen la posibilidad de ordenarse se genera un estado cristalino del vidrio lo cual no es deseable debido a que modifica las propiedades mecánicas y ópticas del material, dando la apariencia de mineral de cuarzo (Figura 3, Estado Cristalino Izquierda, Estado Vítreo Derecha).

Figura 3. Estructura molecular  $\text{SiO}_2$



Fuente: ACS PUBLICATIONS. The Journal Of Physical Chemistry [Sitio WEB]. Berlin. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2X789W6>

De tal manera que para lograr la estructura molecular desordenada del vidrio los procesos de fabricación de vidrio de manera general se componen de una etapa de

fusión donde se busca la homogeneidad de la mezcla y la eliminación de impurezas, una etapa de conformado donde se determina la forma y dimensionamiento de las piezas fabricadas, y de ahí en adelante el proceso buscara el enfriamiento rápido y constante del vidrio hasta temperatura ambiente.

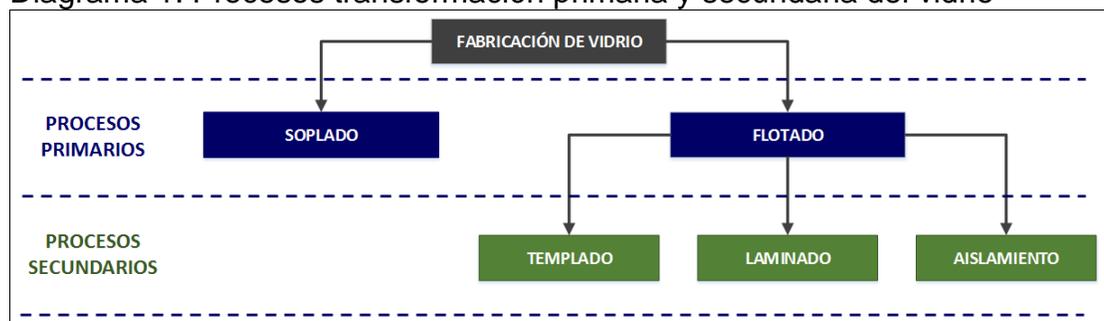
Si bien el componente principal del vidrio es la sílice, dependiendo del tipo de vidrio se pueden o no agregar sustancias adicionales a su composición, dando como resultado dos clases de vidrio, Vidrio de cuarzo fundido y el Vidrio Sódico-Cálcico.

2.1.1 Vidrio de cuarzo fundido o sílice fundida. También conocido como Vidrio Refractario es el vidrio cuya composición es mayoritariamente de Sílice (por encima del 90%) y en pequeñas cantidades algunos elementos provenientes de defectos durante el proceso de fabricación. Este tipo de vidrio posee las mejores propiedades, debido a su pureza, es muy utilizado como semiconductor, en aplicaciones de óptica avanzada y en la fabricación de instrumentos de laboratorio. Sin embargo, debido a que su composición es mayoritariamente de Sílice las temperaturas necesarias dentro de proceso para realizar su fusión se encuentran por encima de los 2000°C por lo que su fundición se realiza en hornos eléctricos o de gas-oxígeno con resistencia a mayores temperaturas que los hornos usados para la fabricación de Vidrio Sódico-Cálcico.

2.1.2 Vidrio sódico-cálcico. A diferencia del vidrio de cuarzo fundido, el vidrio sódico-cálcico, si bien posee una composición significativa de Sílice (Del 70% al 74%) para lograr reducir su punto de fusión es mezclado con otros componentes como Carbonato de Sodio, Dolomita, Caliza, y Óxido de Aluminio llegando a tener temperaturas de operación dentro del proceso no superiores a los 1700°C. Adicionalmente para ajustar parámetros del proceso de fundición y otros propios del vidrio tales como el color, se agregan pequeñas cantidades de elementos afinantes como el Sulfato de sodio, Óxido de hierro, entre otros.

El vidrio Sódico-Cálcico es el de más alto uso a nivel mundial y dependiendo de su aplicación final existen dos tipos de procesos de transformación primaria donde se transforma la sílice en vidrio, y los secundarios donde se procesa vidrio para asignar propiedades adicionales al material (Diagrama 1).

Diagrama 1. Procesos transformación primaria y secundaria del vidrio



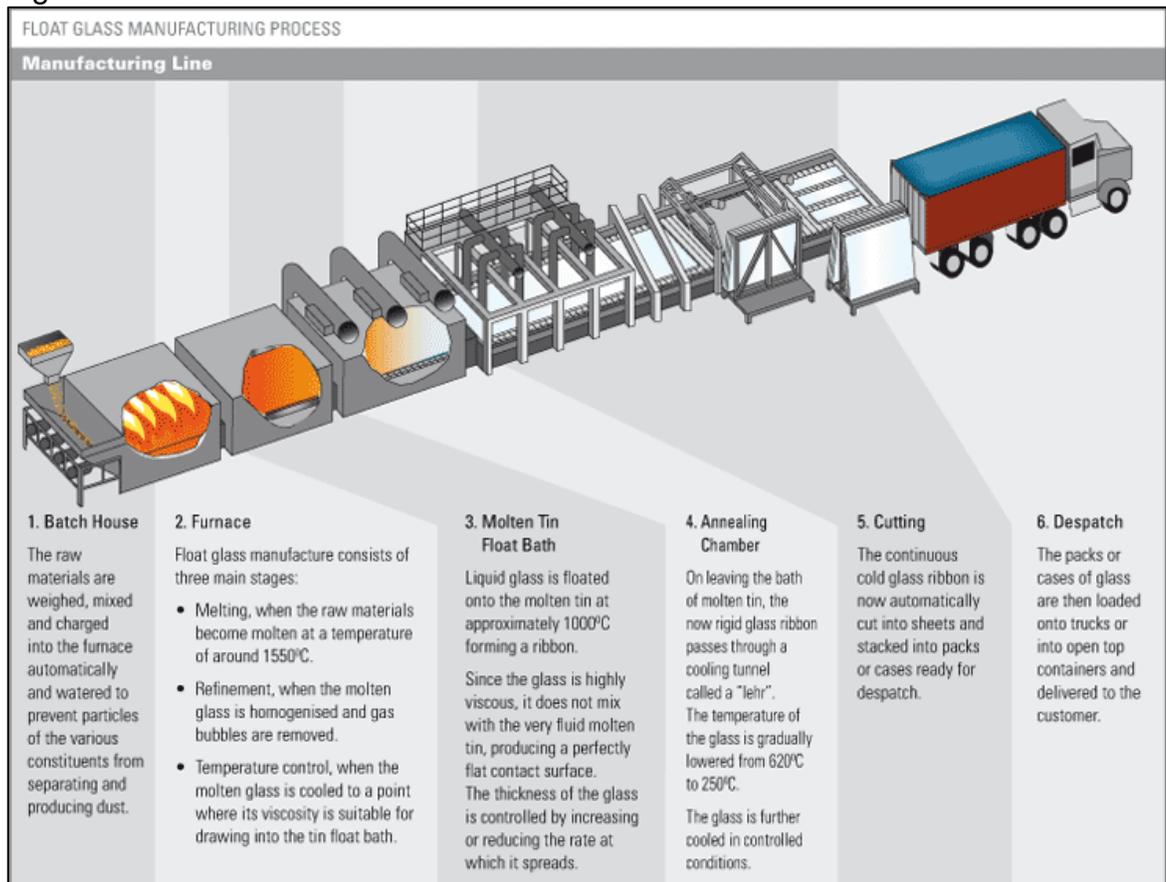
Fuente: Elaboración Propia

## 2.2 LINEA FLOAT

El proceso de fabricación de vidrio flotado es el proceso más utilizado a nivel mundial para la fabricación de vidrio plano debido a que este proceso genera el vidrio de más alta calidad. El proceso consiste en la deposición de vidrio fundido sobre una piscina de estaño de tal manera que debido a la diferencia de densidades el vidrio flotara sobre el estaño permitiendo realizar las acciones mecánicas y térmicas requeridas para dar las dimensiones a la hoja de vidrio.

Las líneas para flotado (Líneas Float) están compuestas por 6 zonas o etapas que abarcan los procesos de recepción de materias primas, fundición, conformado del vidrio, enfriamiento controlado, corte y la etapa de apilamiento y entrega del material terminado al almacén o al cliente (Figura 4).

Figura 4. Proceso fabricación vidrio flotado



Fuente: METRO PERFORMANCE GLASS. Glass: Special Glass Products [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2X789W6>

Es importante entender que, dependiendo de la empresa, el tiempo de operación de la planta y el país de ubicación, algunos equipos o tecnologías instaladas en el

proceso pueden diferir, sin embargo, las 6 etapas del proceso se conservan en cualquier planta.

2.2.1 Zona Batch. O zona de composición (Imagen 4), es la zona donde se realiza la recepción y almacenamiento de las materias primas, para su posterior dosificación y envío al horno.

Imagen 4. Zona Batch en una planta de vidrio flotado



Fuente: THE GLASS ACADEMY. The Glass Works [Sitio WEB]. Dearborn, Miami. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2EjxeFP>

Los componentes del vidrio son almacenados en grandes silos que dosifican el material mediante basculas pesadoras electrónicas sobre una banda transportadora que envía el material a dos dispositivos denominados mezcladoras donde la composición se calienta y humecta mediante la inyección de vapor y agua caliente para poder ser entregada al horno en condiciones óptimas para ser fundida; una vez la composición alcanza la temperatura y la humedad requerida por el proceso dentro de las mezcladoras, es enviada al horno mediante otro sistema de bandas transportadoras automatizado que opera en función de la cantidad de material disponible en las mezcladoras y la cantidad de material requerido en el horno.

Dentro de esta área uno de los parámetros más importantes a controlar es la humedad y temperatura de la composición debida a que si este no se encuentra dentro de los parámetros óptimos, la energía requerida para la fundición aumenta haciendo más costosa la fabricación del vidrio; el suministro de agua caliente y vapor es realizado mediante una caldera piro tubular operando 24/7.

2.2.2 Zona Horno. Es la zona donde se realiza el proceso de fundición de las materias primas provenientes de la Zona Batch. En esta zona se realiza el proceso completo de fundición y homogenización de las materias primas fundidas.

Imagen 5. Zona enforne de un horno de vidrio flotado

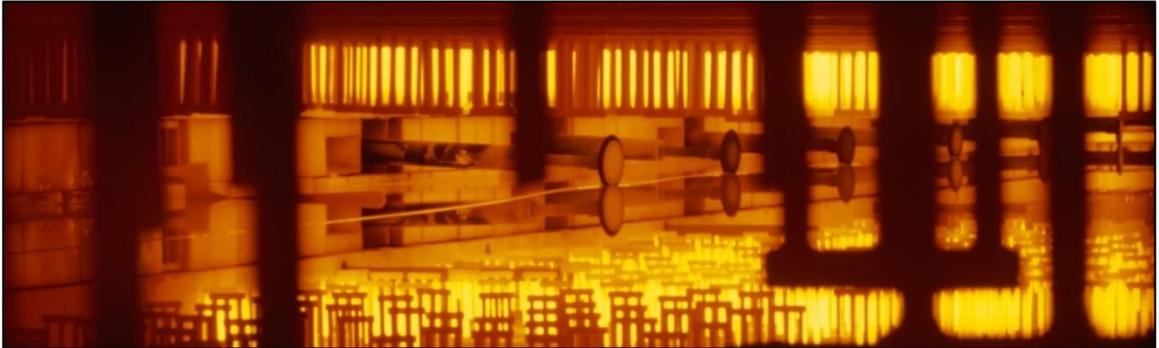


Fuente: SUN WEB. Making Glass [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2tuTOFm>

El proceso productivo dentro del horno consta de 4 etapas, en la primera la mezcla es depositada, dentro del horno mediante una maquina llamada enfornadora (Imagen 5); la segunda se conoce como etapa de fusión donde los quemadores inyectan una mezcla de gas natural y aire precalentado para llevar a cabo la combustión y realizar la fundición de la mezcla ingresada; en la tercera etapa se realiza afinaje u homogenización del vidrio fundido mediante el uso de mezcladores refrigerados dentro de la masa de vidrio que evita que materiales como piedras o burbujas queden dentro del vidrio; finalmente antes de ser entregado a la zona de conformado (Zona Float) pasa por la zona de la brasa, donde se realiza el acondicionamiento térmico de la masa de vidrio mediante la circulación directa de aire filtrado sobre la superficie de esta, de tal manera que disminuya la temperatura del vidrio y aumente la viscosidad del mismo para que este pueda ser manipulado.

2.2.3 Zona Float. Es la zona donde se realiza el proceso de conformado del vidrio, en esta zona se deposita el vidrio fundido sobre una piscina de estaño fundido que gracias a la diferencia de densidades permite que el vidrio quede en la superficie y pueda ser trabajado por los rodillos encargados de ajustar el espesor y el ancho de la lámina de acuerdo a los requerimientos de producción.

Imagen 6. Proceso conformado de vidrio flotado



Fuente: CORNING MUSEUM OF GLASS. On A Pool Of Tin: Float Glass [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2Em8JrU>

2.2.4 Zona Extendería. Una vez que el vidrio ha sido conformado y se encuentra en estado sólido es enviado a la zona de la extendería (Imagen 7) donde deberá ser enfriado rápidamente para garantizar su transparencia y realizar el ajuste de las propiedades mecánicas óptimas para garantizar el correcto proceso de corte. Esto se realiza mediante la circulación de corrientes de aire sobre la lámina de vidrio.

Imagen 7. Zona extendería en planta de vidrio flotado



Fuente: GLASS FIVES GROUP. About Us [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2T7vqYO>

2.2.5 Zona Corte y Almacén. El vidrio sale de la extendería a temperatura ambiente e ingresa a la zona de corte donde serán analizados los defectos del producto y cortado y dimensionado según los requerimientos del cliente en esta zona; luego de ser cortado es apilado mediante sistemas robóticos (Imagen 8) que garantizan un correcto montaje de los paquetes. Una vez están armados los paquetes, estos son transportados a la bodega de la planta donde son colocados en racks de almacenamiento mientras se realiza su despacho al cliente final.

Imagen 8. Robots de apilado en la línea de corte



Fuente: GLASS FIVES GROUP. About Us [Sitio WEB]. [04, abril, 2018].  
Disponible en: <https://bit.ly/2T8jZQH>

### 3. GENERACIÓN DE VAPOR, AIRE Y AGUA CALIENTE

#### 3.1 VAPOR Y AGUA CALIENTE

Para realizar un correcto homogenizado y transporte de las distintas materias primas del vidrio es necesario que durante el proceso de mezclado sea inyectado vapor y agua caliente de tal manera que el material no sea arrastrado por el aire durante el transporte hacia el horno (Imagen 9) y que al llegar a este tenga una temperatura optima que optimiza el proceso de fusión. Para lograr este propósito la Zona Batch posee todo un sistema de generación de vapor y agua caliente que garantiza que las materias primas durante el proceso de mezclado recibirán la cantidad de agua (para humectación) y vapor (para calentamiento) requeridas por el proceso.

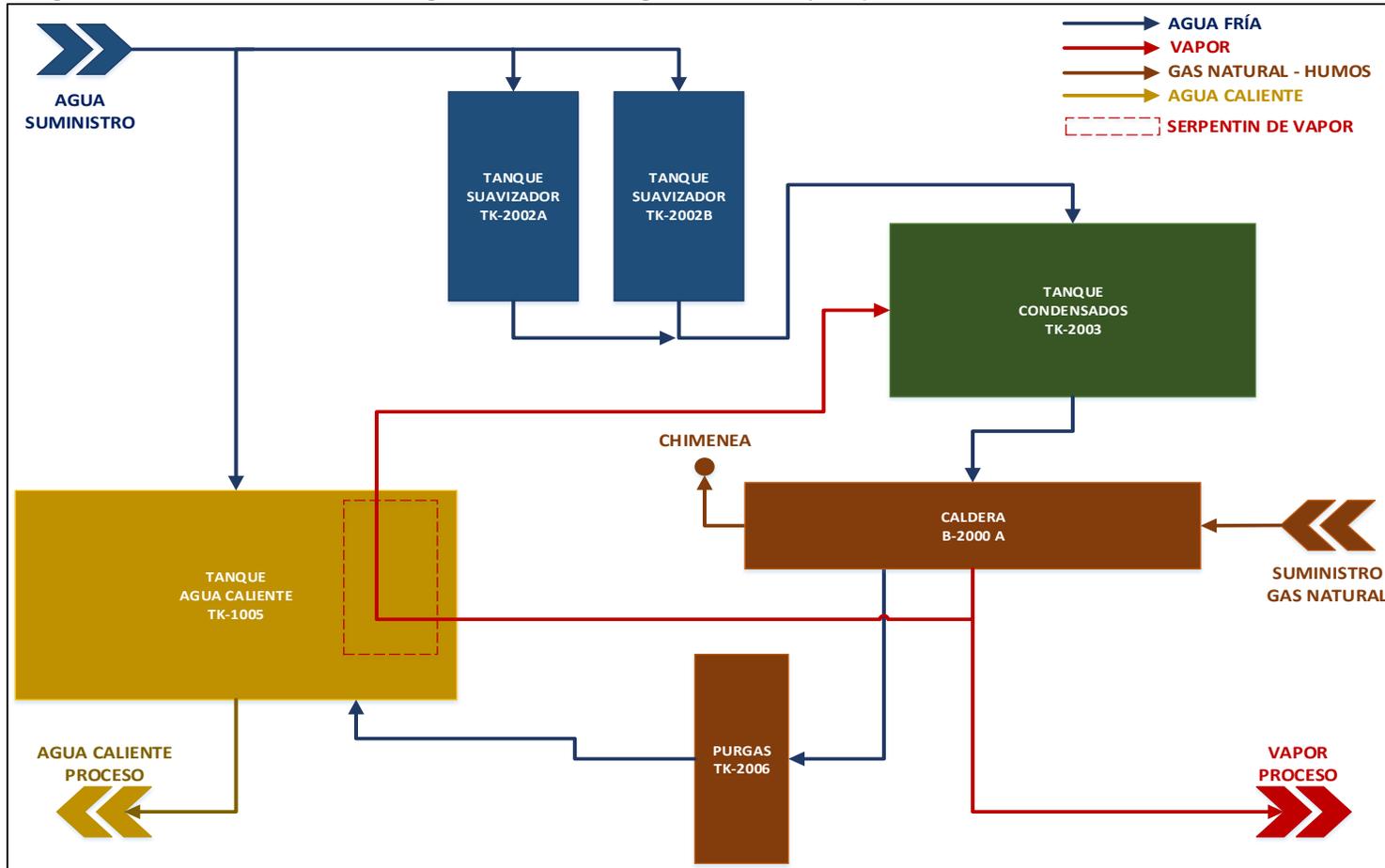
Imagen 9. Transporte materias primas humectadas



Fuente: CDE. Belts Conveyors [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2GzZ3MK>

El proceso de generación de agua caliente y vapor (Diagrama 2), se lleva a cabo mediante el uso de una caldera y un tanque de calentamiento de agua que según los requerimientos del edificio de composición activan el encendido de la caldera, el calentamiento del agua y la descarga hacia las mezcladoras. Una vez la descarga de agua y vapor no sea necesaria se restringe el paso hacia las mezcladoras y el sistema se estabiliza, quedando disponible para cuando sea requerida una nueva descarga de vapor y agua. Debe tenerse en cuenta que el proceso de generación de vapor y agua no solo incluye la vaporización y el calentamiento sino el tratamiento previo del agua y el manejo de las descargas y purgas del sistema, por lo que en el Cuadro 1 podrá encontrar la descripción de los equipos utilizados dentro del sistema.

Diagrama 2. Proceso actual de generación de agua caliente y vapor



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 1. Equipos de generación de vapor y calentamiento de agua

NO	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CARACTERIZACIÓN TÉCNICA
1	SUAVIZADORES	Son equipos encargados de eliminar los iones de Mg <sup>2+</sup> y Ca <sup>2+</sup> por lones de Sodio Na <sup>+</sup> y potasio K <sup>+</sup> de tal manera que se reduzca la dureza del agua y así minimizar los problemas de incrustaciones y desgaste en la tubería y la caldera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Número Tanques: 2 UND</li> <li>▪ Capacidad Intercambio: 3.000 gr/Tanque</li> <li>▪ Dimensiones: 9" D.I X 48"H - Vertical</li> <li>▪ Flujo Continuo: 14 GPM</li> <li>▪ Retrolavado Sal muera: 2GPM</li> <li>▪ Tipo Resina: Catiónica – 1ft<sup>3</sup>/Tanque</li> </ul>
2	TANQUE SALMUERA	Es el tanque donde se almacena la salmuera utilizada en el proceso de suavizado del agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Número Tanques: 1 UND</li> <li>▪ Capacidad: 300 Libras</li> <li>▪ Dimensiones: 18" D.I X 33"H - Vertical</li> <li>▪ Parámetros Diseño: 150 PSIG – 66°C</li> <li>▪ Parámetros Trabajo: 35 PSIG – 43° C</li> </ul>
3	TANQUE CONDENSADOS	El tanque de condensados es el encargado de alimentar directamente la caldera, este es alimentado por el agua proveniente de los suavizadores y los condensados del vapor de calentamiento del tanque de agua caliente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Número Tanques: 1 UND</li> <li>▪ Capacidad: 80 Gal - Horizontal</li> <li>▪ Temperatura Diseño: 200°C</li> <li>▪ Temperatura Trabajo: 300°C</li> </ul>
4	BOMBA	Es la encargada del envío del agua del tanque de condensado hacia la caldera al flujo requerido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Numero Bombas: 1 UND</li> <li>▪ Centrifuga Horizontal</li> <li>▪ 3HP – 14 GPM – 3500RPM</li> <li>▪ Eficiencia 90% - 92.5%</li> <li>▪ Parámetros Diseño: 200 PSIG – 105°C</li> <li>▪ Parámetros Trabajo: 150 PSIG – 98° C</li> </ul>

Cuadro 1. (Continuación)

NO	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CARACTERIZACIÓN TÉCNICA
5	CALDERA	Consiste en una caldera pirotubular horizontal de 80 BHP – con una producción de 2.760 Lb/Hra de vapor a 100°C. El vapor generado por la caldera es enviado a las mezcladoras en proceso y otra parte se usa para el calentamiento del tanque de agua caliente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caldera Pirotubular Horizontal</li> <li>▪ 80 BHP – 2.760 Lb/Hra @212°F</li> <li>▪ Superficie Calentamiento: 400 ft<sup>2</sup></li> <li>▪ Combustible: CH<sub>4</sub> 3.360 CFM @1000 BTU</li> <li>▪ Ventilador Axial 5 HP – 3.975 CFM</li> </ul>
6	TANQUE PURGAS	En este se reciben las purgas provenientes de la caldera y sin reenviados al tanque de agua caliente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Número Tanques: 1 UND</li> <li>▪ Dimensiones: 14” D.I X 56” H - Vertical</li> <li>▪ Presión Diseño: 150 PSIG</li> <li>▪ Temperatura Diseño: 196°C</li> <li>▪ Presión Trabajo: 100 PSIG</li> <li>▪ Temperatura Trabajo: 131°C</li> </ul>
7	TANQUE AGUA CALIENTE	El tanque de agua caliente es aquel en donde se realiza el proceso de calentamiento del agua requerida por las mezcladoras, esto se realiza mediante un intercambio de calor entre vapor producido por la caldera y agua proveniente directamente de la fuente de suministro (Sin Suavizar). Adicionalmente también recibe el agua proveniente de las purgas de la caldera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Número Tanques: 1 UND</li> <li>▪ Capacidad: 1200 Gal - Horizontal</li> <li>▪ Dimensiones: 1,1m D.I X1,7m L</li> <li>▪ Presión Diseño: ATM 100 PSIG</li> <li>▪ Temperatura Diseño: 170°C</li> <li>▪ Presión Trabajo: ATM 30 PSIG</li> <li>▪ Temperatura Trabajo: 135°C</li> </ul>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2 AIRE CALIENTE

La generación de aire caliente en la zona del horno se genera como resultado de la inyección directa de aire filtrado de impurezas a temperatura ambiente sobre la superficie del vidrio fundido, este proceso ajusta la temperatura del vidrio para que este pueda ser trabajado en la zona de conformado, y genera como resultado aire caliente de desecho que es expulsado por la chimenea de la Brasa (Imagen 10).

Imagen 10. Chimenea de aire caliente, zona brasa



Fuente: Elaboración Propia

Si bien la generación de aire caliente en el proceso varía dependiendo del comportamiento de los diferentes parámetros del horno, las condiciones mínimas y máximas de generación se presentan en el cuadro 2 y fueron obtenidas del consolidado de mediciones obtenida del sistema de control de parámetros del horno.

Cuadro 2. Condiciones de generación de aire caliente

	MÍNIMO	MÁXIMO
TEMPERATURA	850°C	1.000°C
CAUDAL	3.000 Nm <sup>3</sup> /h	7.000 Nm <sup>3</sup> /h
FLUJO MASICO (Temperatura de Salida)	3.270 Kg/h	6.422 Kg/h
	0,90 Kg/s	1,78 Kg/s

Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño del sistema deberán tenerse en cuenta los anteriores parámetros, para garantizar un correcto funcionamiento del proceso en cualquiera de los posibles escenarios delimitados por los mínimos y máximos anteriormente mencionados.

#### 4. CONCEPTUALIZACIÓN Y PARÁMETRIZACIÓN

De acuerdo a la caracterización de los recursos disponibles y los resultados esperados, se define que el sistema de recuperación estará compuesto por 3 etapas, partiendo desde la recepción del aire caliente de la chimenea actual, el precalentador del agua a vaporizar, el sistema de vaporización y finalmente el sobrecalentador que entregará el vapor a la zona de proceso. En el cuadro 3 se encontrará una descripción detallada de los requerimientos y funciones de cada una de las zonas del sistema.

Cuadro 3. Descripción etapas del sistema de recuperación

ETAPA		DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTOS
1.	Precalentador	Se logran las condiciones de agua saturada para entregar al vaporizador	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevar la temperatura del agua de proceso desde 15°C hasta su punto de saturación.</li> </ul>
2.	Vaporizador	Se realiza la generación de vapor mediante la ebullición del agua saturada proveniente del precalentador	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Garantizar una vaporización de al menos 0,25 Kg/s (1.984Lbs/Hra) de agua utilizando el aire caliente proveniente del sobrecalentador.</li> </ul>
3.	Sobrecalentador	Se realiza la el sobrecalentamiento del vapor para poder compensar las pérdidas de calor implícitas al transporte desde el sistema de recuperación al proceso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Garantizar el sobre calentamiento del vapor hasta una temperatura de 110°C.</li> </ul>

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que el sistema de transporte de aire del horno a la zona de ejecución de la recuperación de calor no ha sido diseñado, deberá hacerse una estimación de las pérdidas de calor posibles durante el transporte y el diseño deberá realizarse teniendo en cuenta estos resultados. El uso de vapor sobrecalentado cuyo coeficiente de capacidad calorífica es mucho más bajo que el del vapor saturado podrá ser eliminado siempre y cuando se conozcan la plenitud de pérdidas de calor asociadas al transporte de este fluido, hasta proceso no obstante es de alcance de este estudio evaluar el escenario más crítico que consistiría en sobrecalentar el vapor para compensar las pérdidas durante su transporte al punto de conexión a proceso.

## 5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Para poder llevar a cabo una correcta recuperación de calor del aire de enfriamiento de desecho, será necesario seleccionar un tipo de equipo para la vaporización y sobrecalentamiento del agua de acuerdo a los requerimientos y necesidades del proceso, por lo que se revisan las opciones disponibles de aplicación industrial para este fin y se procede a seleccionar la más apropiada.

### 5.1 INTERCAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS

Consiste en un dispositivo conformado por placas de acero inoxidable que transfieren el calor a través de pequeñas rejillas en donde se intercambia el calor de los fluidos que estén circulando.

Imagen 11. Intercambiador de placas



Fuente: NAUTIC EXPO. Heat Exchangers [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2SioIjC>

Los intercambiadores de placas son también conocidos como PHE (Page Head Exchange) y debido a su gran versatilidad son utilizados en múltiples aplicaciones en la industria debido a la su facilidad para adaptarse y generar múltiples combinaciones de flujo; en la Cuadro 4, se podrá encontrar una descripción de las características de los intercambiadores de placas;

Cuadro 4. Características intercambiadores de placas

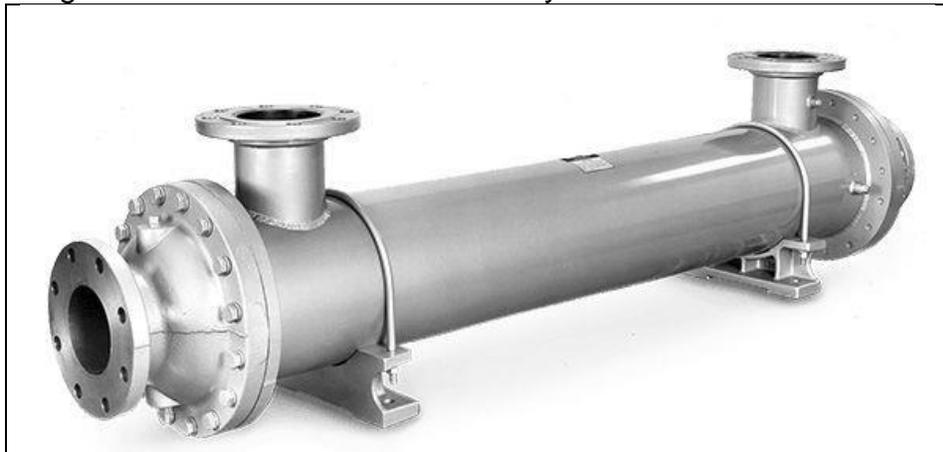
CARACTERÍSTICAS	
<b>DISEÑO</b>	Fácilmente adaptable a nuevas condiciones adicionando placas.
	Menor peso, ahorro en instalación y maniobras.
	Fácil drenado y vaciado.
<b>OPERACIÓN</b>	Cinco veces más transferencia de calor
	Temperaturas más cercanas entre fluidos de hasta 1°C de diferencia.
<b>INVERSIÓN</b>	Debido a su alta eficiencia y modo de fabricación suele ser un intercambiador de costo considerable y sus repuestos suelen tener un costo más elevado debido a que muchos requieren fabricación por parte del proveedor.
<b>MANTENIMIENTO</b>	Fácil acceso para inspección y limpieza, tiene bajos niveles de ensuciamiento.

Fuente: Elaboración Propia

## 5.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR DE TUBOS Y CORAZA

Consiste en un dispositivo conformado por tubos inmersos en una coraza donde el calor es transferido por la superficie de los tubos, y dependiendo de por dónde circule el fluido caliente puede ser de tipo pirotubular o acuotubular, pirotubular si el fluido caliente circula por los tubos y acuotubular si el fluido frío es el que circula por los tubos.

Imagen 12. Intercambiador de coraza y tubos



Fuente: DIRECT INDUSTRY. Sunkaier [Sitio WEB]. Jiangsu. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2T8niaz>

En el cuadro 5, podrá encontrar una descripción de las características de los intercambiadores de coraza y tubos:

Cuadro 5. Características intercambiadores de coraza y tubos

	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>DISEÑO</b>	Facilidad de construcción y uso de elementos estandarizados.
	Versatilidad para múltiples aplicaciones
	Equipos de gran tamaño comparados con intercambiadores de placas,
<b>OPERACIÓN</b>	Tasa de transferencia de calor es elevada comparada con intercambiadores de tubos concéntricos pero menor respecto a intercambiadores de placas.
<b>INVERSIÓN</b>	Al ser un equipo más comercial y con muchos de sus repuestos estandarizados posee costos de inversión más bajos que otros tipos de intercambiadores.
<b>MANTENIMIENTO</b>	Reparaciones e intervenciones rápidas y elementos de fácil consecución.

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3 CALDERA DE RECUPERACIÓN DE CALOR (HRSG)

Una caldera de recuperación de calor es un dispositivo utilizado especialmente en las plantas de generación térmica para aprovechar el calor de los gases expulsados de las turbinas de gas y usarlo para generar vapor que puede ser utilizado en otro proceso de generación, sistemas de calefacción u otros procesos industriales.

Imagen 13. Caldera recuperación de calor HRSG



Fuente: OPEX ENERGY. Ciclos Calderas [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2TXMEoQ>

En el cuadro 6 podrá encontrar una descripción de las calderas de recuperación HRSG.

Cuadro 6. Características calderas de recuperación HRSG

	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>DISEÑO</b>	Se diseñan bajo requerimientos específicos de cada cliente y se especializan únicamente en la vaporización de agua
	Diseño acuotubular
	Son equipos de fácil adaptación a procesos ya establecidos.
<b>OPERACIÓN</b>	La tasa de transferencia de calor es de las más altas y garantiza la vaporización y generación de vapor sobrecalentado dependiendo el diseño.
	Su funcionamiento pocas veces interfiere con parámetros de proceso relacionados con el fluido caliente.
<b>INVERSIÓN</b>	Debido a que es un equipo que debe ser diseñado bajo condiciones específicas de diseño, su valuación financiera dependerá de los requerimientos del proceso así como de los ahorros y beneficios estimados por la compañía.
<b>MANTENIMIENTO</b>	Las operaciones de mantenimiento en equipos de este tipo si bien suelen ser más demoradas su tasa de realización es mucho más amplia que en equipos convencionales.

Fuente: Elaboración Propia

## 5.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

5.4.1 Criterios de selección y ponderación. Para la selección de las alternativas se tomaron en cuenta 5 requerimientos hechos por la empresa para el diseño del sistema de recuperación.

- Operación y funcionamiento: La operación de este equipo en ningún momento deberá afectar el correcto desarrollo del proceso de fabricación de vidrio, principalmente deberá evitarse equipos que generen variaciones significativas en la presión de la zona brasa de donde será extraído el aire caliente. Este requerimiento dentro de la evaluación deberá tener un peso del 30% a la hora de realizar el cálculo de selección de alternativas.
- Vida útil del equipo por tiempo de servicio de las piezas de recambio. Es de vital importancia garantizar que la alternativa seleccionada posea el mayor tiempo de operación continua posible en busca de evitar paradas que afecten el correcto

desarrollo del proceso. Este requerimiento dentro de la evaluación deberá tener un peso del 15% a la hora de realizar el cálculo de selección de alternativas.

- **Mantenimiento.** El costo de inversión de mantenimiento y las intervenciones realizadas al equipo deben procurar ser lo más sencillas y seguras posibles. De igual forma deberá procurarse que la alternativa seleccionada tenga los costos de mantenimiento más bajos. Este requerimiento dentro de la evaluación deberá tener una ponderación peso del 25% a la hora de realizar el cálculo de selección de alternativas.
- **Costo y cantidad de equipos requeridos para operación.** Si bien la prioridad principal es que la alternativa seleccionada cumpla con los requerimientos técnicos de diseño, debe procurarse que el costo del equipo y los equipos adicionales requeridos para la operación sea mínimo. Este requerimiento dentro de la evaluación deberá tener una ponderación del 15% a la hora de realizar el cálculo de selección de alternativas.
- **Seguridad.** La tecnología de la alternativa seleccionada deberá contar con los más altos niveles de seguridad durante operación, actividades de mantenimiento, y cualquier otro posible estado del sistema. Este requerimiento dentro de la evaluación deberá tener una ponderación del 15% a la hora de realizar el cálculo de selección de alternativas.

5.4.2 Cuadro de necesidad. Para la selección adecuada de cada alternativa se le va a asignar un valor numérico, en el que se podrá reconocer 5 cuando la alternativa cumpla total y adecuadamente con los requerimientos del cliente y 1 cuando no cumpla ninguno de ellos. Dicha información podrá encontrarse en el cuadro de necesidad (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cuadro de necesidad

<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Nada Aceptable	1
Parcialmente Aceptable	2
Aceptable	3
Deseable	4
Muy Deseable	5

Fuente: Elaboración Propia

5.4.3 Matriz de evaluación. Una vez definidos el cuadro de necesidad, los criterios de selección y su respectiva ponderación se procede a realizar la matriz de evaluación de alternativas presentada en el cuadro 8.

Cuadro 8. Matriz de evaluación de alternativas

CRITERIO		%	INTERCAMBIADOR DE PLACAS		INTERCAMBIADOR DE TUBOS Y CORAZA		CALDERA RECUPERACIÓN DE CALOR (HRSG)	
1	Operación y funcionamiento	30%	4	1,20	3	0,90	5	1,50
2	Mantenimiento	25%	4	1	3	0,75	4	1,00
3	Costo y cantidad de equipos requeridos para operación	15%	4	0,60	5	0,75	3	0,45
4	Seguridad	15%	4	0,60	3	0,45	4	0,60
5	Vida útil del equipo por tiempo de servicio de las piezas de recambio	15%	4	0,60	3	0,45	5	0,75
<b>TOTAL</b>		100%	4,00		3,60		4,30	

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la matriz indican que la alternativa número 3 asociada a la caldera de recuperación tipo HRSG con un puntaje de 4,30 es la opción que se ajusta más apropiadamente a los requerimientos de vaporización y sobrecalentamiento del sistema de recuperación de calor ya que a diferencia de la opción número 1 asociada a los intercambiadores de placas, las calderas de recuperación tienen una menor afectación en las variaciones de presión para los fluidos de proceso (Calificación criterio 1), no obstante una solución conjunta que integre calderas de recuperación e intercambiadores de calor de placas no es descartada y podrá ser considerada dentro de las recomendaciones del documento.

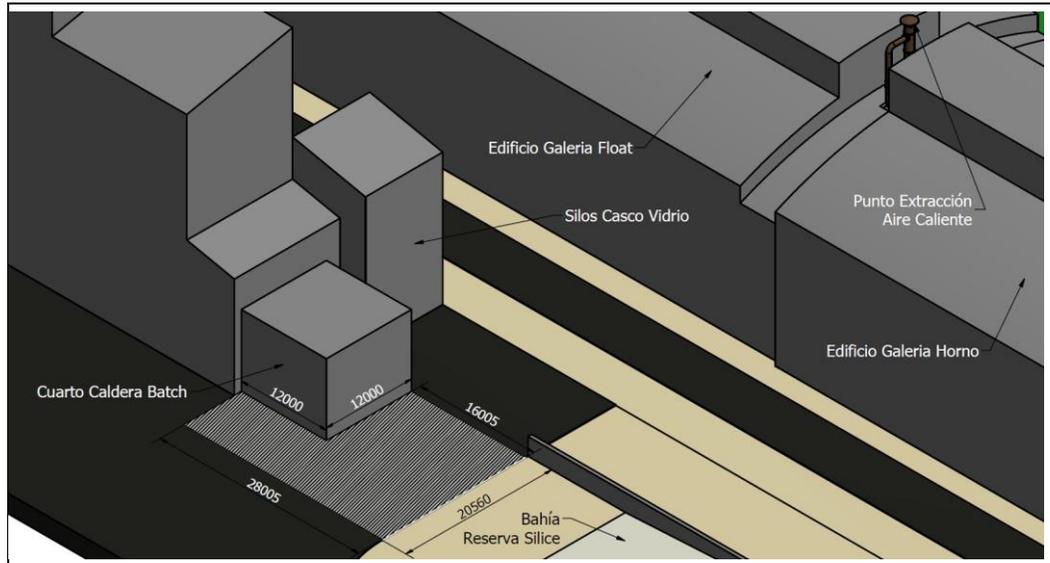
## 6. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La conceptualización del proceso de transferencia de calor del sistema de recuperación está enfocada a obtener los requerimientos mecánicos de los equipos del sistema y de la tubería de transporte del aire caliente, así como comprender adecuadamente el comportamiento de los fluidos de acuerdo a los fenómenos de transferencia de calor que se presenten en el sistema.

### 6.1 ESTIMACIÓN DE PERDIDAS DE CALOR EN TRANSPORTE

La empresa ha designado como espacio disponible para la ejecución del proyecto un área total de 432,3 m<sup>2</sup> ubicados entre la bahía de reserva de sílice y el cuarto de la caldera de la Batch (Figura 5).

Figura 5. Área de ejecución del proyecto



Fuente: Elaboración Propia

El punto de extracción de aire caliente se encuentra a una altura de 27,57 m respecto al punto de recepción del aire caliente y una distancia longitudinal de 53,91 m, si se observa frontalmente el punto de recepción de aire caliente respecto al punto de entrega del mismo, se tiene una desviación de 3,31 m (Figura 6). Teniendo en cuenta estas desviaciones, se tiene que la longitud total del sistema de transporte será;

$$L = L_h + L_l + L_f$$

$$L = 27,57 \text{ m} + 58,91 \text{ m} + 8,31 \text{ m}$$

$$L = 94,79 \text{ m} \cong 95,00 \text{ m}$$

Dónde;

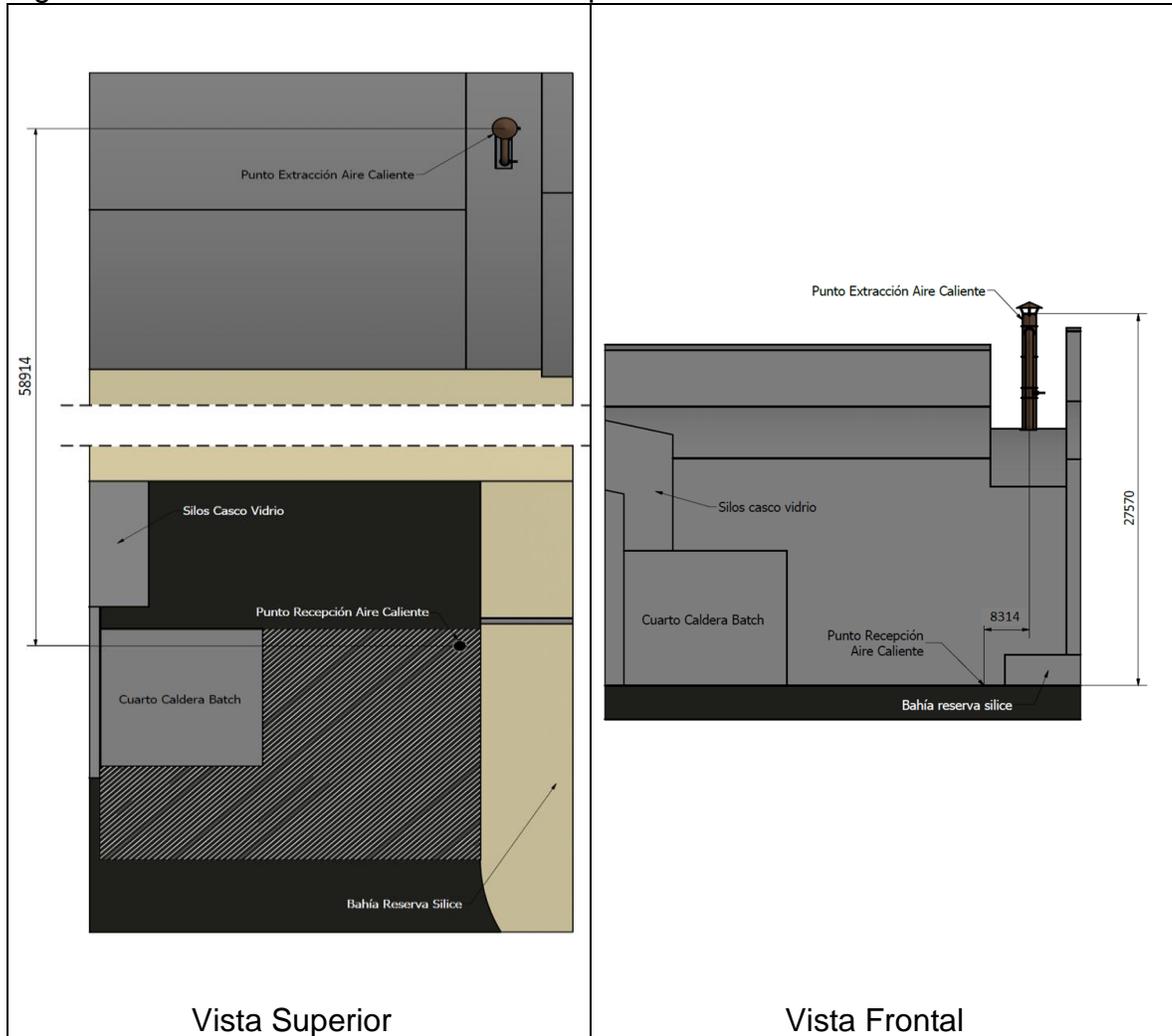
$L$ : Longitud total tubería de transporte

$L_h$ : Altura punto recepción a punto entrega del aire caliente

$L_l$ : Distancia longitudinal punto recepción a punto entrega del aire caliente

$L_f$ : Distancia frontal punto recepción a punto entrega del aire caliente

Figura 6. Dimensionamiento recorrido requerido del sistema



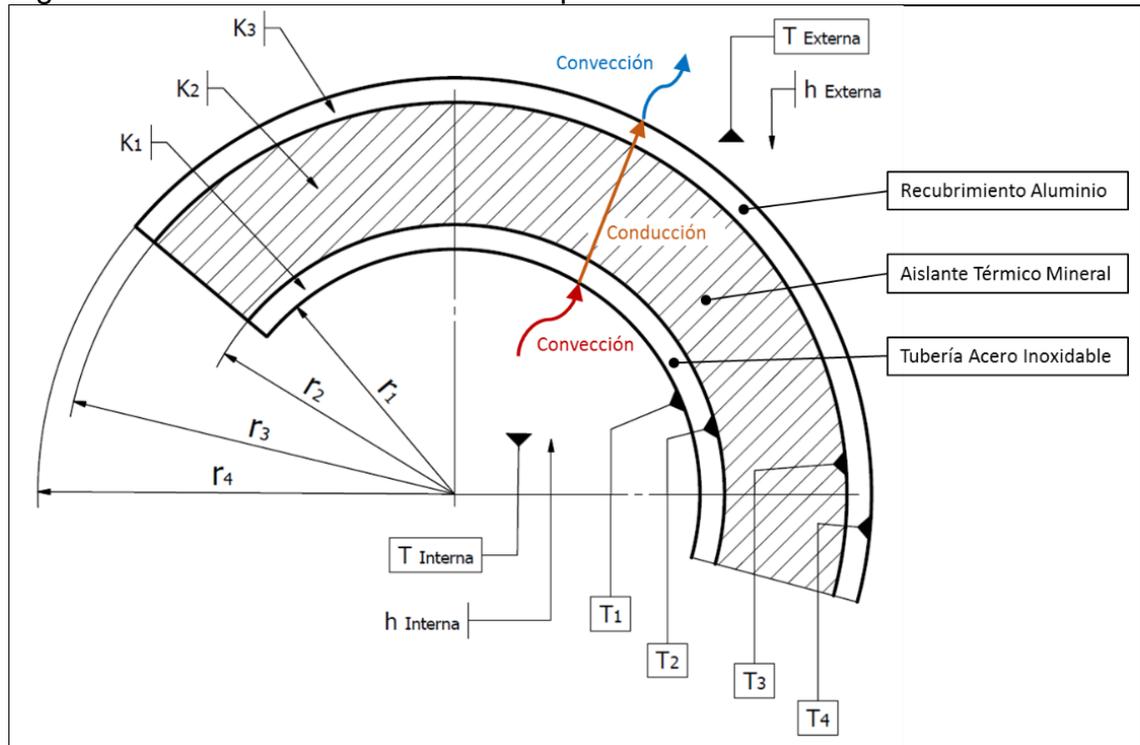
Fuente: Elaboración propia

La tubería de transporte deberá ser una prolongación de la tubería existente fabricada en acero inoxidable SAE 304 de diámetro interno 1.000 mm y espesor 3 mm. Para poder garantizar que se conserva la mayor cantidad de energía térmica posible en la tubería, esta deberá utilizar algún tipo de asilamiento, así como su respectivo recubrimiento que proteja el aislamiento de las condiciones climáticas.

Cuando se procede a analizar las características térmicas del proceso de transferencia de calor existente durante el transporte de aire caliente, se tiene que, de acuerdo a la configuración de los componentes de la tubería anteriormente expuestos, los fenómenos del proceso serán los siguientes (Figura 7);

- Convección: Aire caliente – Tubería acero Inoxidable
- Conducción: Tubería acero inoxidable
- Conducción: Aislamiento térmico
- Conducción: Recubrimiento del aislante
- Convección: Recubrimiento del aislante - Aire ambiente

Figura 7. Sistema térmico tubería transporte



Fuente: Elaboración Propia

El primer fenómeno térmico dentro de la tubería de transporte consiste en un fenómeno de convección existente entre el flujo de aire caliente y su relación con la tubería que lo contiene, por lo que la transferencia de calor bajo este modelo estará determinada por la siguiente ecuación;

### Ecuación 1. Transferencia calor por convección

$$Q_{Conv\ Int} = h_{interno} * 2\pi r_1 L * (T_{Interna} - T_1)$$

Fuente: ÇENGEL. Yunus, Convección térmica forzada. *Transferencia de calor y masa, Un enfoque Práctico*, México D.F., Mc-Graww Hill, 2007, pp. 490, ISBN 978-970-10-6173-2

Dónde;

$Q_{Conv\ Interna}$  : Transferencia de calor por convección dentro de la tubería  
 $h_{Interno}$  : Coeficiente de película aire caliente (A temperatura de análisis)  
 $T_{interna}$  : Temperatura interna del aire caliente (A temperatura de análisis)  
 $r_1$  : Radio interno de la tubería  
 $L$  : Longitud total tubería de transporte  
 $T_1$  : Temperatura en la superficie interna de la tubería

Los fenómenos de transferencia de calor por convección son regidos por el coeficiente de transferencia de calor o de película  $h$  que de acuerdo a la propiedades del fluido que transfiere o absorbe calor determina la razón a la que la transferencia de calor se da por grado de temperatura y unidad de área ( $W/m^2\text{°C}$  en SI).

A su vez la transferencia de calor por convección también se encuentra regida por el numero adimensional de Nusselt que representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación con la conducción a través de la misma capa (Çengel, 2011 p. 358); para el fenómeno analizado, el coeficiente de película del aire caliente en función del número de Nusselt se encuentra dado por;

### Ecuación 2. Coeficiente Convección & Número Nusselt

$$Nu = \frac{2r_1 h_{Int}}{k_{Int}} \quad \rightarrow \quad h_{Int} = \frac{k_{Int} Nu}{2r_1}$$

Fuente: ÇENGEL. Yunus, Mecanismo físico de la convección. *Transferencia de calor y masa, Un enfoque Práctico*, México D.F., Mc-Graww Hill, 2007, pp. 356, ISBN 978-970-10-6173-2

Dónde;

$Nu$  : Número Nusselt  
 $r_1$  : Radio interno de la tubería  
 $h_{Int}$  : Coeficiente de película aire caliente (A temperatura de análisis)  
 $k_{Int}$  : Coeficiente conductividad del aire caliente (A temperatura de análisis)

Si bien el número de Nusselt fue concebido para relacionar los coeficientes de película y de conductividad de un fluido, muchas correlaciones experimentales han

sido desarrolladas para relacionar el comportamiento térmico del fluido dependiendo del comportamiento del mismo (Flujo laminar en tuberías, flujo turbulento en tuberías, flujo externo sobre placas verticales, etc.) y sus propiedades; para fenómenos de flujo interno turbulento en tuberías la mejor correlación existente es la de Dittus y Boelter para fluidos siendo enfriados ( $n = 0,3$ ) dado por;

Ecuación 3. Número Nusselt (Correlación Dittus y Boelter)

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3}$$

Fuente: SUBRAMANIAN, Shankar. (2017). Heat transfer in Flow Through Conduit. 1st ed. [En Línea] p.5. Disponible en: <http://web2.clarkson.edu/projects/subramanian/ch330/notes/Heat%20Transfer%20in%20Flow%20Through%20Conduits.pdf>

Dónde;

$Re$  : Número Reynolds

$Pr$  : Número Prandtl

El número de Reynolds viene determinado por;

Ecuación 4. Número Reynolds

$$Re = \frac{2r_1 V_{Int}}{\vartheta}$$

Fuente: ÇENGEL. Yunus, Mecanismo físico de la convección. *Transferencia de calor y masa, Un enfoque Práctico*, México D.F., Mc-Graww Hill, 2007, pp. 356, ISBN 978-970-10-6173-2

Dónde;

$Re$  : Número Reynolds

$r_1$  : Radio interno de la tubería

$\vartheta$  : Viscosidad cinemática del aire caliente (A temperatura de análisis)

$V_{Int}$  : Velocidad aire caliente al interior de la tubería

El número de Prandtl viene determinado por;

Ecuación 5. Número Prandtl

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k_{Int}}$$

Fuente: ÇENGEL. Yunus, Mecanismo físico de la convección. *Transferencia de calor y masa, Un enfoque Práctico*, México D.F., Mc-Graww Hill, 2007, pp. 356, ISBN 978-970-10-6173-2

Dónde;

$Pr$  : Número Prandtl

$\mu$  : Viscosidad dinámica aire caliente (A temperatura de análisis)

$C_p$  : Calor específico del aire caliente (A temperatura de análisis)

$k_{Int}$  : Coeficiente conductividad del aire caliente (A temperatura de análisis)

El primer fenómeno de conducción en el sistema es presentado por el flujo de calor a lo largo del espesor de la tubería, esta transferencia de calor está determinada por la siguiente ecuación;

Ecuación 6. Transferencia calor por conducción

$$Q_{Cond\ Tuberia} = \frac{2\pi L k_1 (T_1 - T_2)}{\ln r_2 / r_1}$$

Fuente: ÇENGEL. Yunus, Ecuación Unidimensional de la conducción de calor. *Transferencia de calor y masa, Un enfoque Práctico*, México D.F., Mc-Graww Hill, 2007, pp. 68, ISBN 978-970-10-6173-2

Dónde;

$Q_{Cond\ Tuberia}$  : Transferencia de calor por conducción en la tubería

$L$  : Longitud total de la tubería de transporte

$k_1$  : Coeficiente de conducción de la tubería

$T_2$  : Temperatura en la superficie externa de la tubería

$T_1$  : Temperatura en la superficie interna de la tubería

$r_2$  : Radio externo de la tubería

$r_1$  : Radio interno de la tubería

El segundo fenómeno de conducción en el sistema es presentado por el flujo de calor a lo largo del espesor del aislante, esta transferencia de calor está determinada por la siguiente ecuación;

$$Q_{Cond\ Aislante} = \frac{2\pi L k_2 (T_2 - T_3)}{\ln r_3 / r_2}$$

Dónde;

$Q_{Cond\ Tuberia}$  : Transferencia de calor por conducción en el aislante

$L$  : Longitud total de la tubería de transporte

$k_2$  : Coeficiente de conducción del aislante

$T_2$  : Temperatura en la superficie externa de la tubería

$T_3$  : Temperatura en la superficie externa del aislante

$r_2$  : Radio externo de la tubería

$r_3$  : Radio externo del aislante

Respecto al material del aislante, la dirección técnica internacional de Saint-Gobain (DTI - Direction technique internationale) establece que para las aplicaciones de transporte de aire caliente en líneas de vidrio flotado los materiales para aislamientos térmicos de tubería deberán ser de tipo mineral para temperaturas de fluidos de operación superiores a 500°C. De lo anterior se procede a realizar una búsqueda de proveedores de mantas de aislamiento mineral para estudiar temperaturas y conductividades térmicas estimadas de los productos y así poder tener los parámetros para realizar la selección del producto requerido (Cuadro 9).

Cuadro 9. Aislamientos térmicos minerales en el mercado

Producto	Fabricante	Temperatura Operación Máx.	Conductividad Térmica	Espesor Comercial	Densidad
		(°C)	(W/m*K)	(mm)	(Kg/m <sup>3</sup> )
High Quality Aluminum Silicate Fiber Insulation Blanket:	IKING GROUP	1.100	0,040	30-100	80-128
High Temperature Resistance Calcium Silicate Pipe Cover Industrial	TUNGKIN INDUSTRY	1.000	0,047 – 0,062	25 - 90	130 - 240
Calcium Silicate Pipe Cover Insulation	NORTH REFRACTORIES	1.000	0,060 - 0,095	25 - 90	220 - 240

Fuente: Elaboración Propia

Para la preselección de aislantes térmicos, es importante considerar que en situaciones de emergencia el aire de enfriamiento inyectado a la brasa puede alcanzar temperaturas de hasta 1.100°C cuando se extraiga, por lo que se seleccionaron productos con resistencias de temperatura de operación máxima entre 1.000°C y 1.100°C. De igual forma para el desarrollo de los cálculos iniciales se utilizará un valor promedio de conductividad térmica de 0,045 W/m\*K.

El tercer fenómeno de conducción es presentado por el flujo de calor a lo largo del espesor del recubrimiento que protege la lana mineral de aislamiento de las condiciones medio ambientales (Humedad, lluvia, polvo etc.) generalmente los recubrimientos para estos aislamientos son desarrollados en chapa de aluminio cuyo costo es mucho menor que el del acero inoxidable y su transferencia de calor está determinada por la siguiente ecuación;

$$Q_{Cond\ Recubrimiento} = \frac{2\pi L k_3 (T_3 - T_4)}{\ln r_4 / r_3}$$

Dónde;

$Q_{Cond\ Tuberia}$  : Transferencia de calor por conducción en el recubrimiento

$L$  : Longitud total de la tubería de transporte

$k_3$  : Coeficiente de conducción del recubrimiento

$T_3$  : Temperatura en la superficie externa del aislante

$T_4$  : Temperatura en la superficie externa del recubrimiento

$r_3$  : Radio externo del aislante

$r_4$  : Radio externo del recubrimiento

Debido a que la funcionalidad del recubrimiento es la protección del aislamiento de las condiciones medio ambientales se trabajará con una chapa de aluminio de 0,5 mm de espesor (La más baja en el mercado para este tipo de aplicación).

Finalmente, el proceso de convección en la parte externa del sistema se desarrolla por el flujo de aire a temperatura ambiente y su relación con el recubrimiento que protege el aislamiento, por lo que la transferencia de calor bajo este modelo estará determinada por la siguiente ecuación;

$$Q_{Conv\ Ext} = h_{externo} * 2\pi r_4 L * (T_4 - T_{externa})$$

Dónde;

$Q_{Conv\ Externa}$  : Transferencia de calor por convección con el ambiente

$h_{Externo}$  : Coeficiente de transferencia de calor aire externo

$T_{externa}$  : Temperatura externa más baja del aire

$r_4$  : Radio externo del recubrimiento

$L$  : Longitud total tubería de transporte

$T_4$  : Temperatura en la superficie externa de la tubería

Para calcular el coeficiente de convección del aire a condiciones medio ambientales se procede a utilizar el número de Nusselt;

$$Nu = \frac{2r_4 h_{Ext}}{k_{Ext}} \rightarrow h_{Ext} = \frac{k_{Ext} Nu}{2r_4}$$

Dónde;

$Nu$  : Número Nusselt

$r_4$  : Radio externo de la tubería

$h_{Ext}$  : Coeficiente convección del aire a temperatura externa más baja del aire

$k_{Ext}$  : Coeficiente conductividad del aire a temperatura externa más baja del aire

Debido a que la mayor parte del recorrido en la tubería se encuentra localizado sobre el tejado de los edificios del horno y la Batch (Máx. Altura 27,8 metros) se han tomado mediciones y hecho estimaciones donde se detectan que las velocidades del viento a esa altura pueden llegar a ser de hasta 7,69 m/s a temperaturas de hasta 5°C en los meses de Enero y Diciembre en horas de la madrugada, por lo que al saber que en condiciones críticas en la tubería se presenta un fenómeno de convección forzada, se tiene que el número de Nusselt está dado en función del número de Reynolds y el número de Prandtl de acuerdo a los resultados experimentales obtenidos en la correlación de Churchill y Bernstein para cilindros sometidos a convección forzada en flujo cruzado dados por;

Ecuación 7. Número Nusselt (Correlación Churchill y Bernstein)

$$Nu = 0,30 + \frac{0,62 * Re^{1/2} * Pr^{1/3} * \left[ 1 + \left( \frac{Re}{282.000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,4}{Pr} \right)^{2/3} \right]^{1/4}}$$

Fuente: MEYERS, J.M. (2017). ME 144: Heat Transfer Convection Relations for External Flows [En Línea] p.14. Disponible en: <https://bit.ly/2T6QWgr>

Dónde;

$Re$  : Número Reynolds

$Pr$  : Número Prandtl

El número de Reynolds viene determinado por;

$$Re = \frac{(2r_4/L) V_{Ext}}{\vartheta}$$

Dónde;

$Re$  : Número Reynolds

$r_4$  : Radio externo recubrimiento

$L$  : Longitud Tubería

$\vartheta$  : Viscosidad cinemática del aire a temperatura ambiente (5°C)

$V_{Ext}$  : Velocidad aire a condiciones ambiente

El número de Prandtl viene determinado por;

$$Pr = \frac{\mu Cp}{k_{Ext}}$$

Dónde;

$Pr$ : Número Prandtl

$\mu$ : Viscosidad dinámica aire a temperatura ambiente (5°C)

$C_p$ : Calor específico del aire a temperatura ambiente (5°C)

$k_{Ext}$ : Coeficiente conductividad del aire a temperatura ambiente (5°C)

Teniendo claramente caracterizados los fenómenos de transferencia de calor en el sistema de transporte, se tiene que la resistencia térmica equivalente del sistema es;

Ecuación 8. Resistencias térmica equivalentes

$$R_{Eqv} = \frac{1}{R_{int} * A_{int}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{ext} * A_{Ext}}$$

Fuente: ÇENGEL. Yunus, Redes generalizadas de resistencias térmicas. *Transferencia de calor y masa, Un enfoque Práctico*, México D.F., Mc-Graww Hill, 2007, pp. 117, ISBN 978-970-10-6173-2

$$R_{Eqv} = \frac{1}{h_{int} * 2\pi r_1 L} + \frac{\ln r_2/r_1}{2\pi L k_1} + \frac{\ln r_3/r_2}{2\pi L k_2} + \frac{\ln r_4/r_3}{2\pi L k_3} + \frac{1}{h_{ext} * 2\pi r_4 L}$$

Dónde:

$R_{Eqv}$ : Resistencia térmica equivalente total del sistema

$R_{Int}$ : Resistencia térmica equivalente convección aire caliente

$A_{Int}$ : Área superficial transferencia por convección aire caliente

$R_1$ : Resistencia térmica equivalente conducción tubería

$R_2$ : Resistencia térmica equivalente conducción aislamiento

$R_3$ : Resistencia térmica equivalente conducción recubrimiento

$R_{Ext}$ : Resistencia térmica equivalente convección aire ambiente

$A_{Int}$ : Área superficial transferencia por convección aire ambiente

Finalmente se tiene que la transferencia de calor total en el sistema será;

$$Q_{Total} = U * (T_{int} - T_{ext}) \quad \rightarrow \quad Q_{Total} = \frac{1}{R_{Eqv}} (T_{int} - T_{ext})$$

Dónde:

$Q_{Total}$ : Transferencia de calor total del sistema

$U$ : Coeficiente global de transferencia de calor del sistema

Una vez es calculada la transferencia de calor total del sistema se procede a calcular cual va a ser la temperatura a la que será entregado el aire caliente al proceso de vaporización;

$$Q_{Total} = \dot{m} * C_p * (T_{Ext} - T_{Ent}) \rightarrow T_{Ent} = T_{Ext} - \frac{Q_{Total}}{\dot{m} * C_p}$$

Dónde:

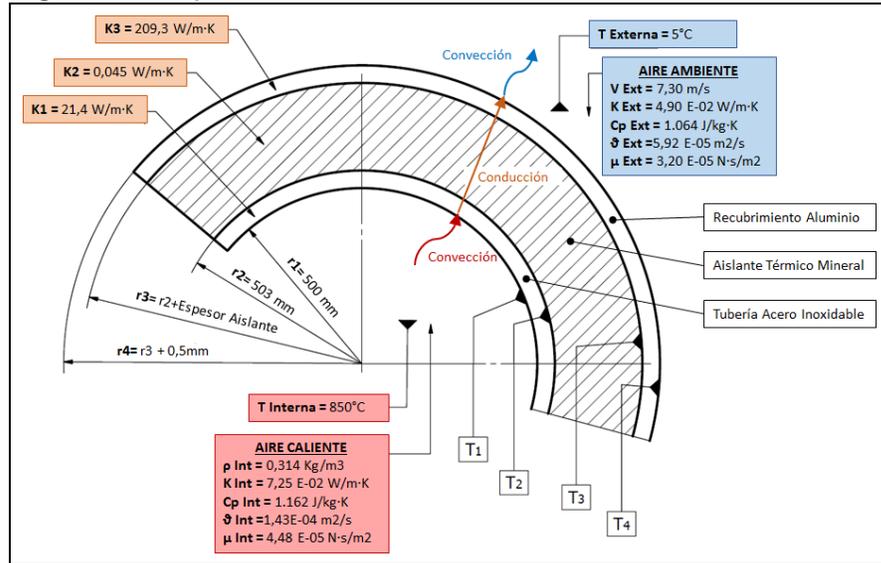
$\dot{m}$  : Flujo másico del aire caliente

$C_p$  : Capacidad calorífica del aire caliente en el punto de extracción

$T_{Ext}$  : Temperatura del aire caliente en el punto de extracción

$T_{Ent}$  : Temperatura del aire caliente a la entrada del sistema de vaporización

Figura 8. Propiedades del sistema térmico tubería



Fuente: Elaboración propia

Se calcula el coeficiente de película del aire caliente analizando las propiedades a 850°C que es la mínima temperatura a la que el aire caliente suele ser expulsado por la brasa. Se inicia calculando Reynolds;

$$Re = \frac{2r_1 V_{Int}}{\vartheta_{Int}} \rightarrow Re = \frac{2 * 0,5m * \left( \frac{0,90 \text{ Kg/s}}{(2\pi * (0,5m)^2 * 0,314 \text{ Kg/m}^3)} \right)}{1,143 \text{ E}^{-4} \text{ m}^2/\text{s}} \rightarrow Re = 12.783,76$$

Se procede a calcular Prandtl;

$$Pr = \frac{\mu_{Int} C_{p_{Int}}}{k_{Int}} \rightarrow Pr = \frac{(4,483 E^{-5} N \cdot s/m^2) * (1.162 J/Kg \cdot K)}{7,253 E^{-2} W/m \cdot K} \rightarrow Pr = 0,718$$

Se procede a calcular Nusselt para un fluido siendo enfriado de acuerdo a la correlación de Dittus y Boelter;

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3} \rightarrow Nu = 0,023 * (12.783,76)^{0,8} * (0,718)^{0,3} \rightarrow Nu = 40,173$$

Se procede a calcular coeficiente de película del aire caliente;

$$h_{Int} = \frac{k_{Int} Nu}{2r_1} \rightarrow h_{Int} = \frac{(7,253 E^{-2} W/m \cdot K) * 40,173}{2 * 0,5m} \rightarrow h_{Int} = 2,91 W/m^2 \cdot K$$

Se calcula coeficiente de convección del aire a condiciones medio ambientales. Se inicia calculando Reynolds teniendo en cuenta que se está analizando el sistema para un espesor de aislante de 25mm;

$$Re = \frac{2r_4 V_{Ext}}{\vartheta_{Ext}} \rightarrow \frac{2 * 0,529 m * 7,30 m/s}{5,916 E^{-5} m^2/s} \rightarrow Re = 130.427,26$$

Se procede a calcular Prandtl;

$$Pr = \frac{\mu_{Ext} C_{p_{Ext}}}{k_{Ext}} \rightarrow Pr = \frac{(3,197 E^{-5} N \cdot s/m^2) * (1.064 J/Kg \cdot K)}{4,90 E^{-2} W/m \cdot K} \rightarrow Pr = 0,694$$

Se procede a calcular Nusselt para convección forzada al exterior de tuberías de acuerdo a la correlación de Churchill y Bernstein;

$$Nu = 0,30 + \frac{0,62 * Re^{1/2} * Pr^{1/3} * \left[ 1 + \left( \frac{Re}{282.000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,4}{Pr} \right)^{2/3} \right]^{1/4}}$$

$$Nu = 0,30 + \frac{0,62 * (130.304,26)^{1/2} * (0,694)^{1/3} * \left[ 1 + \left( \frac{130.304,26}{282.000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,4}{0,694} \right)^{2/3} \right]^{1/4}}$$

$$Nu = 255,712$$

Se procede a calcular el coeficiente de convección del aire a condiciones medio ambientales;

$$h_{Ext} = \frac{k_{Ext} Nu}{2r_4} \rightarrow h_{Ext} = \frac{(4,89 E^{-2} W/m \cdot K) * 255,71}{2 * 0,529m} \rightarrow h_{Ext} = 11,85 W/m^2 \cdot K$$

Se proceden a calcular las resistencias equivalentes para cada etapa del proceso haciendo uso de un espesor de aislante de 25 mm;

$$\frac{1}{R_{int} * A_{int}} = \frac{1}{h_{int} * 2\pi r_1 L} = \frac{1}{2,91 W/m^2 \cdot K * 2\pi * 0,50m * 95m} = 1,15 E^{-3} K/W$$

$$\frac{1}{R_1} = \frac{\ln r_2/r_1}{2\pi L k_1} = \frac{\ln(0,503m/0,500m)}{2\pi L * 95m * 21,40 W/m \cdot K} = 4,683 E^{-7} K/W$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{\ln r_3/r_2}{2\pi L k_2} = \frac{\ln(0,528m/0,503m)}{2\pi L * 95m * 0,045 W/m \cdot K} = 1,806 E^{-3} K/W$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{\ln r_4/r_3}{2\pi L k_3} = \frac{\ln(0,529m/0,528m)}{2\pi L * 95m * 209,30 W/m \cdot K} = 7,576 E^{-9} K/W$$

$$\frac{1}{R_{Ext} * A_{Ext}} = \frac{1}{h_{Ext} * 2\pi r_4 L} = \frac{1}{11,85 W/m^2 \cdot K * 2\pi * 0,529m * 95m} = 2,67 E^{-4} K/W$$

De lo anterior se tiene que la resistencia equivalente total será;

$$R_{Eqv} = \frac{1}{R_{int} * A_{int}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{ext} * A_{Ext}}$$

$$R_{Eqv} = (1,15 E^{-3} + 4,68 E^{-7} + 1,81 E^{-3} + 7,58 E^{-9} + 2,67 E^{-4}) K/W$$

$$R_{Eqv} = 3,22 E^{-3} K/W$$

Se proceden a calcular las pérdidas de calor hacia el ambiente en todo el recorrido de la tubería;

$$Q_{Total} = \frac{1}{R_{Eqv}} (T_{int} - T_{ext})$$

$$Q_{Total} = \frac{1}{3,22E^{-3} K/W} (850^{\circ}C - 5^{\circ}C)$$

$$Q_{Total} = 262.118,64 W$$

Sabiendo la razón a la que las pérdidas de calor en la tubería se darán, se procede a realizar el cálculo de temperatura de entrega del aire caliente al sistema de recuperación con un espesor de aislante de tubería de 25mm:

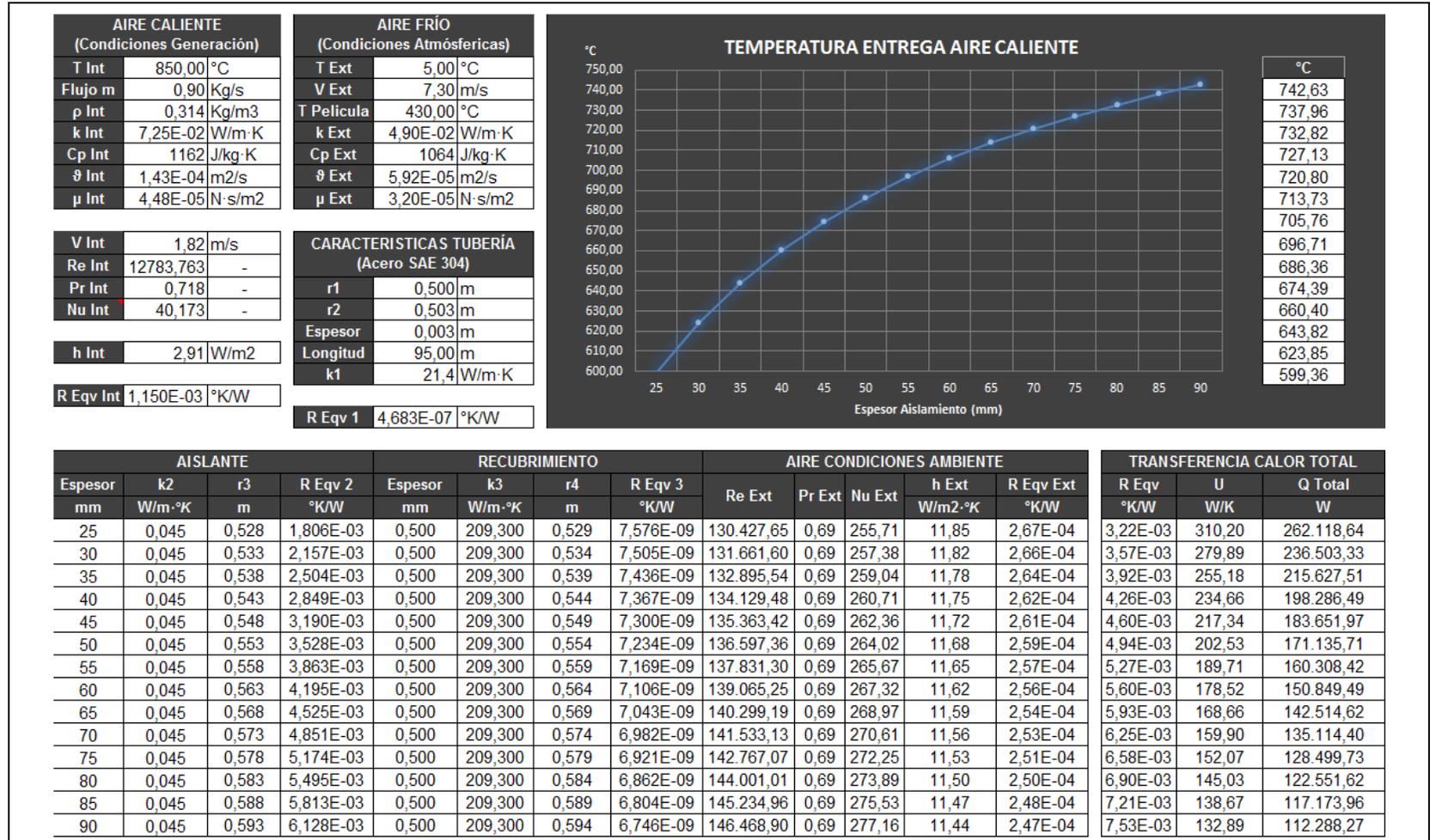
$$Q_{Total} = \dot{m} * Cp * (T_{Ext} - T_{Ent}) \quad \rightarrow \quad T_{Ent} = T_{Ext} - \frac{Q_{Total}}{\dot{m} * Cp}$$

$$T_{Ent} = 850^{\circ}C - \frac{262.118,64 W}{0,90 Kg/s * 1.162 J/Kg \cdot K}$$

$$T_{Ent} = 599,36^{\circ}C$$

El anterior procedimiento de cálculo se repite realizando siempre la modificación del espesor del aislante de la tubería abarcando el rango comercial obtenido anteriormente que va desde los 25 mm hasta los 90 mm. De acuerdo a los resultados presentados en el cuadro 10, se define como temperatura de entrega al proceso de recuperación de calor 740°C que corresponde a los resultados obtenidos para un espesor de aislante de 90mm.

Cuadro 10. Espesor aislamiento tubería Vs. temperatura entrega aire



Fuente: Elaboración propia

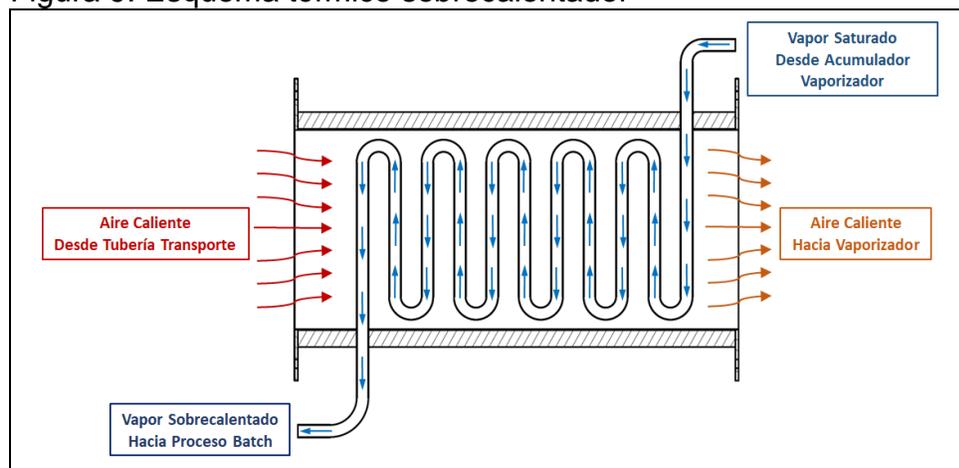
## 6.2 EQUIPOS DE RECUPERACIÓN

Para llevar a cabo el proceso de recuperación, el sistema contara con tres etapas (Diagrama 3); la primera etapa consiste en un precalentador que estará encargado de convertir el agua de suministro del sistema, de agua subenfriada ( $15^{\circ}\text{C}$  en condiciones críticas de operación) a agua saturada ( $110^{\circ}\text{C} - 1,4 \text{ Bar}$ ), el agua será enviada a un acumulador de agua saturada que servirá para recolectar los condensados de vapor que provengan de otras etapas del proceso y de esta se alimentará directamente el vaporizador donde se llevara a cabo la transformación de agua saturada a vapor saturado que será entregado a un acumulador de vapor saturado que garantizara que el vapor entregado al sobre calentador vaya libre de condensados y a su vez re direccionará el condensado restante al tanque de agua saturada para volver a ser introducido a la etapa de vaporización. Una vez el vapor saturado pase por su respectivo acumulador, será enviado al sobre-calentador donde pasara de ser vapor saturado ( $110^{\circ}\text{C} - 1,4 \text{ Bar}$ ) a ser vapor sobrecalentado ( $150^{\circ}\text{C} - 1,4 \text{ Bar.}$ ) que será conectado en paralelo al sistema de generación actual de tal forma que sea posible utilizar los dos sistemas de forma simultánea.

6.2.1 Sobrecalentador. La caracterización del sistema debe iniciar con el sobre-calentador debido a que en esta etapa del proceso se recibe el aire caliente directamente de la tubería de transporte y dependiendo del tipo de transferencia que se lleve a cabo se determina la temperatura del aire caliente que ingresara al vaporizador.

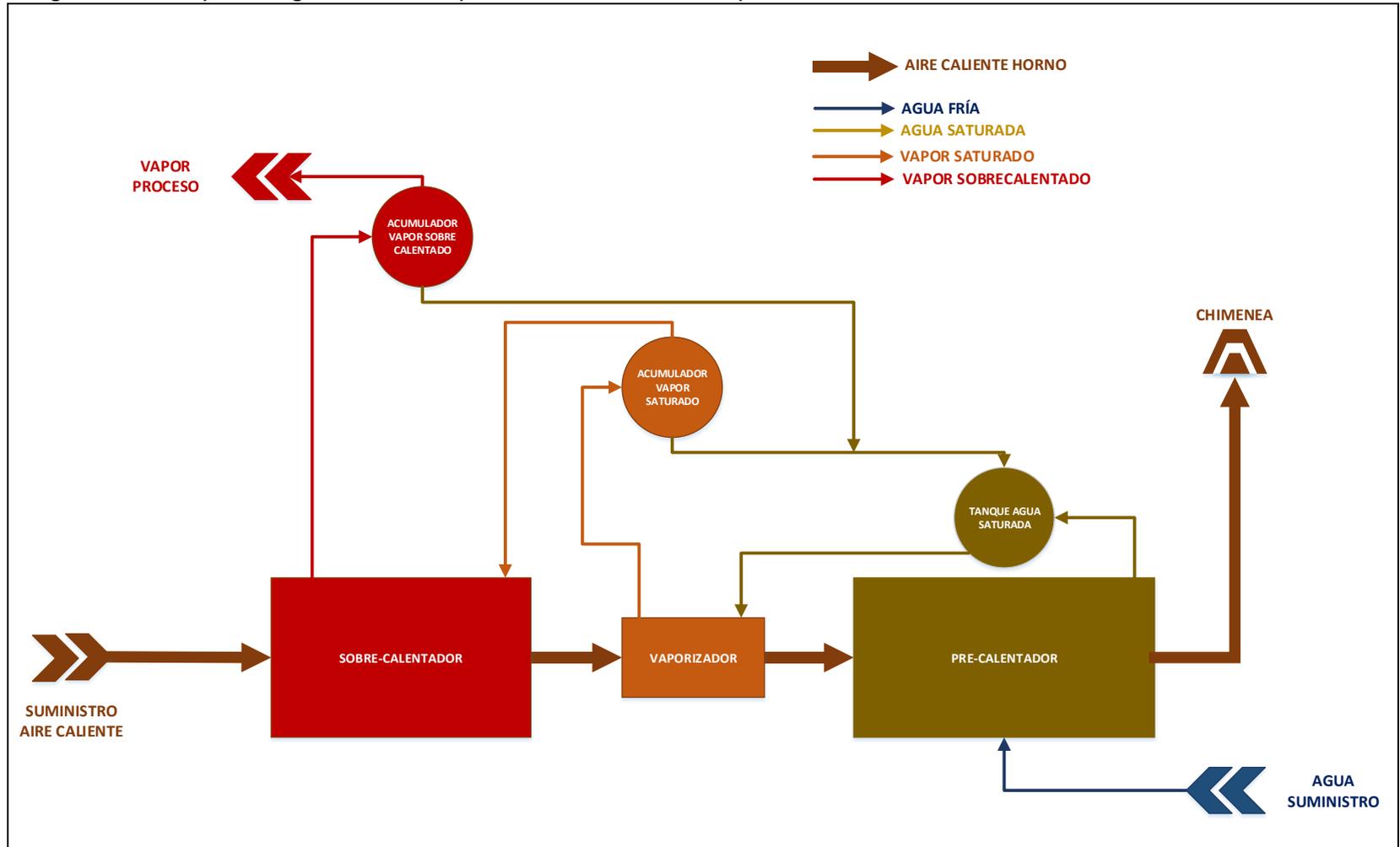
Se define para la realización del cálculo de área de superficie de transferencia requerida como primera aproximación que se utilizará el mismo ducto por donde circula el aire caliente para hacer circular en flujo cruzado una tubería en donde se llevará a cabo el proceso de sobrecalentamiento del vapor (Figura 9).

Figura 9. Esquema térmico sobrecalentador



Fuente: Elaboración propia

Diagrama 3. Etapas de generación vapor del sistema de recuperación



Fuente: Elaboración propia

El diseño térmico inicia definiendo los coeficientes de transferencia de calor por convección del sistema; para el aire caliente el número de Nusselt estará determinado por la correlación de Dittus y Boelter para fluidos siendo enfriados ( $n = 0,3$ ) en fenómenos de flujo interno turbulento para tuberías dado por;

$$Nu_{aire-s} = 0,023 (Re_{aire-s})^{0,8} (Pr_{aire-s})^{0,3}$$

Dónde;

$Nu_{aire-s}$  : Número Nusselt del aire caliente al interior del sobrecalentador

$Re_{aire-s}$  : Número Reynolds del aire caliente en el sobrecalentador

$Pr_{aire-s}$  : Número Prandtl del aire caliente en el sobrecalentador

El número de Reynolds para el aire caliente en el sobrecalentador viene determinado por;

$$Re_{aire-s} = \frac{2r_{int-s}V_{Int-s}}{\vartheta_{aire-s}}$$

Dónde;

$Re$  : Número Reynolds del aire caliente en el sobrecalentador

$r_{int-s}$  : Radio interno de la tubería del sobrecalentador

$\vartheta_{aire-s}$  : Viscosidad cinemática del aire caliente al interior del sobrecalentador

$V_{Int-s}$  : Velocidad aire caliente a la entrada del sobrecalentador

El número de Prandtl para el aire caliente en el sobrecalentador viene determinado por;

$$Pr_{aire-s} = \frac{\mu_{aire-s} Cp_{aire-s}}{k_{aire-s}}$$

Dónde;

$Pr_{aire-s}$  : Número Prandtl del aire caliente en el sobrecalentador

$\mu_{aire-s}$  : Viscosidad dinámica del aire caliente al interior del sobrecalentador

$Cp_{aire-s}$  : Calor específico del aire caliente al interior del sobrecalentador

$k_{aire-s}$  : Coeficiente conductividad del aire caliente al interior del sobrecalentador

Una vez obtenido el número de Nusselt para el aire caliente, se procede a calcular su coeficiente convección dentro del sobrecalentador;

$$Nu_{aire-s} = \frac{2 r_{int-s} h_{aire-s}}{k_{aire-s}} \quad \rightarrow \quad h_{aire-s} = \frac{k_{aire-s} Nu_{aire-s}}{2 r_{int-s}}$$

Dónde;

$Nu_{aire-s}$  : Número Nusselt del aire caliente al interior del sobrecalentador

$r_{int-s}$  : Radio interno de la tubería del sobrecalentador

$h_{aire-s}$  : Coeficiente convección del aire caliente al interior del sobrecalentador

$k_{aire-s}$  : Coeficiente conductividad del aire caliente al interior del sobrecalentador

Para poder realizar los cálculos del coeficiente del vapor se realizará con la gama de diámetros de tubería permisibles para intercambiadores de calor que va en el rango desde ½ pulgadas hasta 3 pulgadas (Anexo A). Al final del análisis se obtendrá como área requerida para el proceso del sobrecalentador aquella cuyo valor sea más alto.

El número de Nusselt para el fenómeno de transferencia de calor del vapor, estará determinado por la correlación de Dittus y Boelter para fluidos siendo calentados ( $n = 0,4$ ) en fenómenos de flujo interno turbulento para tuberías dado por;

$$Nu_{vapor-s} = 0,023 (Re_{vapor-s})^{0,8} (Pr_{vapor-s})^{0,4}$$

Dónde;

$Nu_{vapor-s}$  : Número Nusselt del vapor en el sobrecalentador

$Re_{vapor-s}$  : Número Reynolds del vapor en el sobrecalentador

$Pr_{vapor-s}$  : Número Prandtl del vapor en el sobrecalentador

El número de Reynolds para el vapor en el sobrecalentador viene determinado por;

$$Re_{vapor-s} = \frac{2 r_{tube-s} V_{tube-s}}{\vartheta_{vapor-s}}$$

Dónde;

$r_{tube-s}$  : Radio interno de la tubería de vapor en el sobrecalentador

$\vartheta_{vapor-s}$  : Viscosidad cinemática del vapor en el sobrecalentador

$V_{tube-s}$  : Velocidad del vapor en la tubería del sobrecalentador

El número de Prandtl para el vapor en el sobrecalentador viene determinado por;

$$Pr_{vapor-s} = \frac{\mu_{vapor-s} C_{p_{vapor-s}}}{k_{vapor-s}}$$

Dónde;

$\mu_{vapor-s}$  : Viscosidad dinámica del vapor en el sobrecalentador

$Cp_{vapor-s}$  : Calor específico del vapor en el sobrecalentador

$k_{vapor-s}$  : Coeficiente de conductividad del vapor en el sobrecalentador

Una vez obtenido el número de Nusselt para el vapor, se procede a calcular su coeficiente de convección dentro del sobrecalentador;

$$Nu_{vapor-s} = \frac{2 r_{tube-s} h_{vapor-s}}{k_{vapor-s}} \quad \rightarrow \quad h_{vapor-s} = \frac{k_{aire-s} Nu_{vapor-s}}{2 r_{tube-s}}$$

Dónde;

$Nu_{vapor-s}$  : Número de Nusselt del vapor en el sobrecalentador

$r_{tube-s}$  : Radio interno de la tubería de vapor en el sobrecalentador

$h_{vapor-s}$  : Coeficiente de convección del vapor al interior del sobrecalentador

$k_{vapor-s}$  : Coeficiente de conductividad del vapor en el sobrecalentador

Una vez se han obtenidos los coeficientes de convección de los dos fluidos involucrados en el intercambio de calor, se procede a realizar el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor del sobrecalentador.

Para este fin se desprecian las pérdidas de calor por conducción de la tubería por donde circula el vapor<sup>2</sup>, de tal forma que el coeficiente queda definido de la siguiente manera;

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{h_{aire-s}} + \frac{1}{h_{vapor-s}}}$$

Dónde;

$U_s$  : Coeficiente global de transferencia de calor del sobrecalentador

$h_{aire-s}$  : Coeficiente de convección del aire caliente al interior del sobrecalentador

$h_{vapor-s}$  : Coeficiente de convección del vapor al interior del sobrecalentador

Una vez calculado el coeficiente global de transferencia de calor se procede a realizar el cálculo de la temperatura de salida del aire caliente sabiendo que la transferencia de calor total para el calentamiento del vapor estará determinada por;

$$Q_{req-s} = \dot{m}_{vapor} Cp_{vapor-s} (T_{s-vapor} - T_{e-vapor})$$

---

<sup>2</sup> ÇENGEL. Yunus, El coeficiente de transferencia de calor total. *Transferencia de calor y masa, Un enfoque Práctico*, México D.F., Mc-Graww Hill, 2007, pp. 613-614, ISBN 978-970-10-6173-2

Dónde;

$Q_{req-s}$  : Transferencia de calor requerida en el sobrecalentador

$\dot{m}_{vapor}$  : Flujo másico del vapor en el sobrecalentador

$Cp_{vapor-s}$  : Calor específico del vapor en el sobrecalentador

$T_{s-vapor}$  : Temperatura del vapor a la entrada del sobrecalentador

$T_{e-vapor}$  : Temperatura del vapor a la salida del sobrecalentador

Una vez obtenida la transferencia de calor requerida para realizar el sobrecalentamiento del vapor, se procede a calcular la temperatura de salida del aire caliente del sobrecalentador;

$$Q_{req-s} = \dot{m}_{aire} Cp_{aire-s} (T_{e-aire} - T_{s-aire})$$

$$T_{s-aire} = T_{e-aire} - \frac{Q_{req-s}}{\dot{m}_{aire} Cp_{aire-s}}$$

Dónde;

$\dot{m}_{aire}$  : Flujo másico del aire caliente en el sobrecalentador

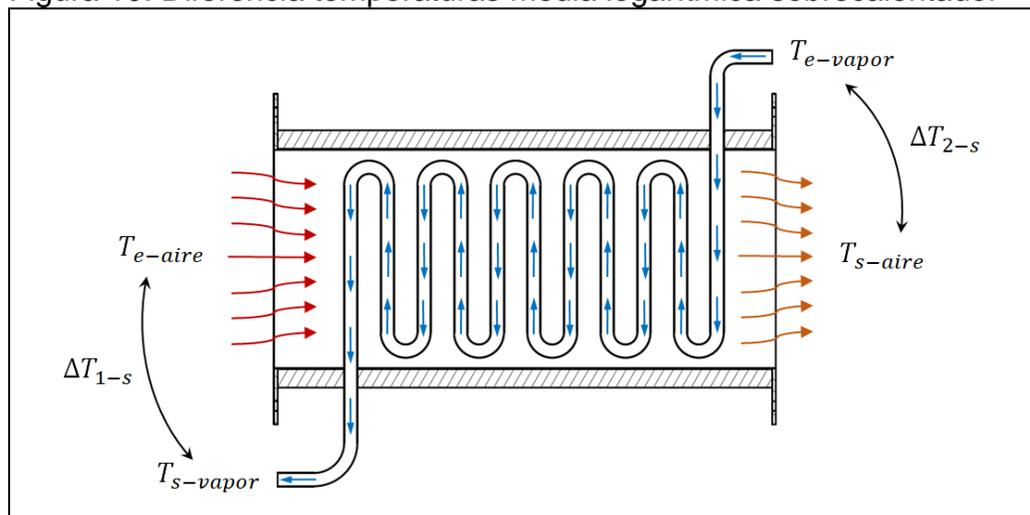
$Cp_{aire-s}$  : Calor específico del aire caliente en el sobrecalentador

$T_{e-aire}$  : Temperatura del aire a la entrada del sobrecalentador

$T_{s-aire}$  : Temperatura del aire a la salida del sobrecalentador

Conociendo la temperatura de salida del aire caliente del sobrecalentador se procede a calcular la diferencia de temperaturas media logarítmica sabiendo que su funcionamiento es contraflujo como lo presenta la figura 10;

Figura 10. Diferencia temperaturas media logarítmica sobrecalentador



Fuente: Elaboración propia

$$\Delta T_{ml-s} = \frac{\Delta T_{1-s} - \Delta T_{2-s}}{\ln(\Delta T_{1-s} / \Delta T_{2-s})}$$

$$\Delta T_{1-s} = T_{e-aire} - T_{s-vapor}$$

$$\Delta T_{2-s} = T_{s-aire} - T_{e-vapor}$$

Dónde;

$\Delta T_{ml-s}$  : Diferencia de temperaturas media logarítmica del sobrecalentador

$T_{e-aire}$  : Temperatura del aire caliente a la entrada del sobrecalentador

$T_{s-aire}$  : Temperatura del aire caliente a la salida del sobrecalentador

$T_{e-vapor}$  : Temperatura del vapor a la entrada del sobrecalentador

$T_{s-vapor}$  : Temperatura del vapor a la salida del sobrecalentador

Una vez calculada la temperatura media logarítmica, se tiene que la transferencia de calor en el sobrecalentador (Intercambiador de flujo cruzado) estará determinada por;

$$Q_{req-s} = U_s A_s F \Delta T_{ml-s}$$

Dónde;

$U_s$  : Coeficiente global de transferencia de calor del sobrecalentador

$A_s$  : Área de transferencia de calor requerida en el sobrecalentador

$F$  : Factor de corrección para intercambiadores de flujo cruzado

$\Delta T_{ml-s}$  : Diferencia de temperaturas media logarítmica del sobrecalentador

El factor de corrección para intercambiadores de flujo cruzado de un solo paso con uno de los fluidos mezclado y el otro no mezclado. se puede obtener de la figura 11.

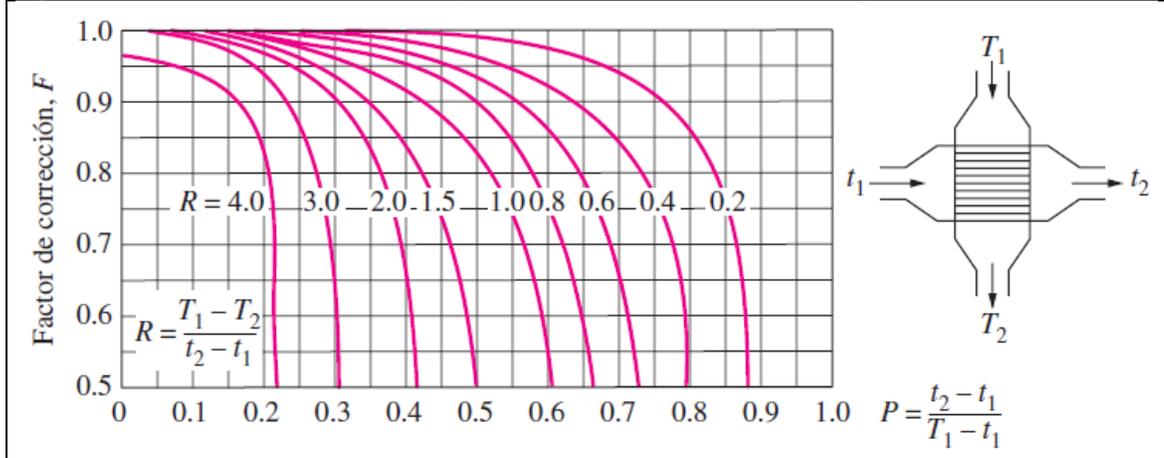
Finalmente se tiene que el área de transferencia de calor requerido para el sobrecalentador estará dada por;

$$A_{req-sob} = \frac{Q_{req-s}}{U_s F \Delta T_{ml-s}}$$

Dónde;

$A_{req-sob}$  : Área transferencia requerida en el sobrecalentador

Figura 11. Factor de corrección para intercambiadores de flujo cruzado



Fuente: ÇENGEL. Yunus, Método de la diferencia de temperatura media logarítmica. *Transferencia de calor y masa, Un enfoque Práctico*, México D.F., Mc-Graww Hill, 2007, pp. 626, ISBN 978-970-10-6173-2

A continuación, se presenta el detalle de los cálculos paso a paso para un diámetro de tubería de vapor de 1/2 pulgada, los resultados para los demás diámetros de tubería se presentarán en el cuadro 11.

Se calcula el coeficiente de película del aire caliente analizando las propiedades a 740°C que es la máxima temperatura de entrega posible por la tubería de transporte. Se inicia calculando Reynolds;

$$Re_{aire-s} = \frac{2r_{int-s} V_{Int-s}}{\vartheta_{aire-s}} \rightarrow Re_{aire-s} = \frac{2 * 0,5m * \left( \frac{0,90 \text{ Kg/s}}{(2\pi * (0,5m)^2 * 0,314 \text{ Kg/m}^3)} \right)}{1,228 \text{ E}^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re_{aire-s} = 13.524$$

Se procede a calcular Prandtl;

$$Pr_{aire-s} = \frac{\mu_{aire-s} C_{p_{aire-s}}}{k_{aire-s}} \rightarrow Pr_{aire-s} = \frac{(4,239 \text{ E}^{-5} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2) * (1.140 \text{ J}/\text{Kg} \cdot \text{K})}{6,812 \text{ E}^{-2} \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$Pr_{aire-s} = 0,709$$

Se procede a calcular el número de Nusselt para el aire caliente;

$$Nu_{aire-s} = 0,023 (Re_{aire-s})^{0,8} (Pr_{aire-s})^{0,3}$$

$$Nu_{aire-s} = 0,023 (13.524)^{0,8} (0,709)^{0,3} \rightarrow Nu_{aire-s} = 41,868$$

Se procede a calcular el coeficiente de convección del aire caliente dentro del sobrecalentador;

$$h_{aire-s} = \frac{k_{aire-s} Nu_{aire-s}}{2 r_{int-s}} \rightarrow h_{aire-s} = \frac{6,812 E^{-2} W/m \cdot K * 41,87}{2 * 0,5m}$$

$$h_{aire-s} = 2,85 W/m^2 \cdot K$$

Se calcula el coeficiente de película del vapor analizando las propiedades a 110°C que es la temperatura de entrega posible por la tubería de vapor proveniente del acumulador del vaporizador y se iniciará suponiendo un diámetro inicial de la tubería de ½ pulgada. Se inicia calculando Reynolds;

$$Re_{vapor-s} = \frac{2 r_{tube-s} V_{tube-s}}{\vartheta_{vapor-s}}$$

$$Re_{vapor-s} = \frac{2 * \frac{1,27E^{-2}}{2} m * \left( \frac{0,25 Kg/s}{(2\pi * \left(\frac{1,27E^{-2} m}{2}\right)^2 * 0,5808 Kg/m^3)} \right)}{2,177 E^{-5} m^2/s}$$

$$Re_{vapor-s} = 991.131,72$$

El número de Prandtl para el vapor en el sobrecalentador será igual a;

$$Pr_{vapor-s} = \frac{\mu_{vapor-s} Cp_{vapor-s}}{k_{vapor-s}}$$

$$Pr_{vapor-s} = \frac{\left(1,264 E^{-4} N \cdot s/m^2\right) * \left(2,040 J/Kg \cdot K\right)}{2,578 E^{-2} W/m \cdot K}$$

$$Pr_{vapor-s} = 10,002$$

Se procede a calcular el número de Nusselt para el vapor;

$$Nu_{vapor-s} = 0,023 (Re_{vapor-s})^{0,8} (Pr_{vapor-s})^{0,4}$$

$$Nu_{vapor-s} = 0,023 (991.131,72)^{0,8} (10,002)^{0,3} \rightarrow Nu_{vapor-s} = 2.875,155$$

Se procede a calcular el coeficiente de convección del vapor dentro del sobrecalentador;

$$h_{vapor-s} = \frac{k_{vapor-s} Nu_{vapor-s}}{2 r_{tube-s}} \rightarrow h_{vapor-s} = \frac{2,578 E^{-2} W/m \cdot K * 2.875,155}{2 * \frac{1,27E^{-2}}{2} m}$$

$$h_{vapor-s} = 5.836,34 W/m^2 \cdot K$$

Se procede a realizar el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor del sobrecalentador.

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{h_{aire-s}} + \frac{1}{h_{vapor-s}}} \rightarrow U_s = \frac{1}{\frac{1}{2,85 W/m^2 \cdot K} + \frac{1}{5.836,34 W/m^2 \cdot K}}$$

$$U_s = 2,851 W/m^2 \cdot K$$

Se procede a realizar el cálculo de la transferencia de calor total requerida para el calentamiento del vapor sabiendo que el vapor deberá ser calentado hasta los 150°C;

$$Q_{req-s} = \dot{m}_{vapor} C_{p,vapor-s} (T_{s-vapor} - T_{e-vapor})$$

$$Q_{req-s} = 0,25 Kg/s * 2.040 J/Kg \cdot K * (150^\circ C - 110^\circ C) \rightarrow Q_{req-s} = 20.400 W$$

Se procede a calcular la temperatura de salida del aire caliente del sobrecalentador sabiendo que la temperatura del aire caliente a la entrada del sobrecalentador es de 740°C;

$$T_{s-aire} = T_{e-aire} - \frac{Q_{req-s}}{\dot{m}_{aire} C_{p,aire-s}}$$

$$T_{s-aire} = 740^\circ C - \frac{20.400 W}{0,90 Kg/s * 1.140 J/Kg \cdot K} \rightarrow T_{s-aire} = 720,12^\circ C$$

Se procede a calcular la diferencia de temperaturas media logarítmica del sobrecalentador;

$$\Delta T_{1-s} = T_{e-aire} - T_{s-vapor} \rightarrow \Delta T_{1-s} = 740^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T_{1-s} = 590^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{2-s} = T_{s-aire} - T_{e-vapor} \rightarrow \Delta T_{2-s} = 720,12^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T_{2-s} = 610,12^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{ml-s} = \frac{\Delta T_{1-s} - \Delta T_{2-s}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{1-s}}{\Delta T_{2-s}}\right)} \rightarrow \Delta T_{ml-s} = \frac{590^{\circ}\text{C} - 610,12^{\circ}\text{C}}{\ln\left(\frac{590^{\circ}\text{C}}{610,12^{\circ}\text{C}}\right)}$$

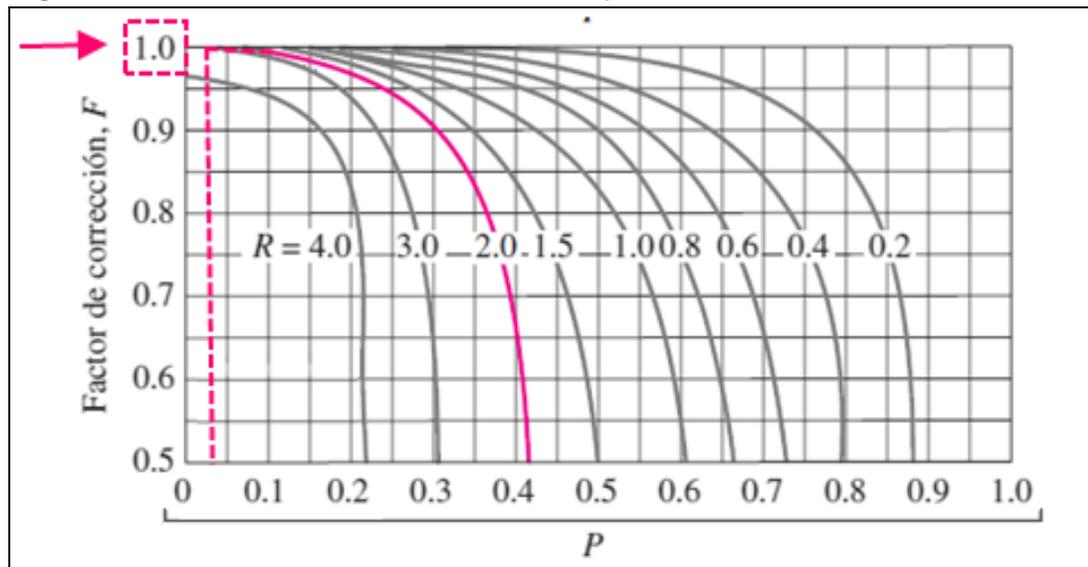
$$\Delta T_{ml-s} = 600^{\circ}\text{C}$$

Se procede a calcular el factor de corrección para intercambiadores de flujo cruzado en este caso particular para el sobre calentador:

$$R = \frac{T_{e-vapor} - T_{s-vapor}}{T_{s-aire} - T_{e-aire}} \rightarrow R = \frac{110^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}}{720,12^{\circ}\text{C} - 740^{\circ}\text{C}} \rightarrow R = 2,012$$

$$P = \frac{T_{s-aire} - T_{e-aire}}{T_{e-vapor} - T_{s-aire}} \rightarrow P = \frac{720,12^{\circ}\text{C} - 740^{\circ}\text{C}}{110^{\circ}\text{C} - 720,12^{\circ}\text{C}} \rightarrow P = 0,032$$

Figura 12. Obtención factor de corrección para el sobrecalentador



Fuente: Elaboración propia

De la figura 12 se tiene que  $F = 1$

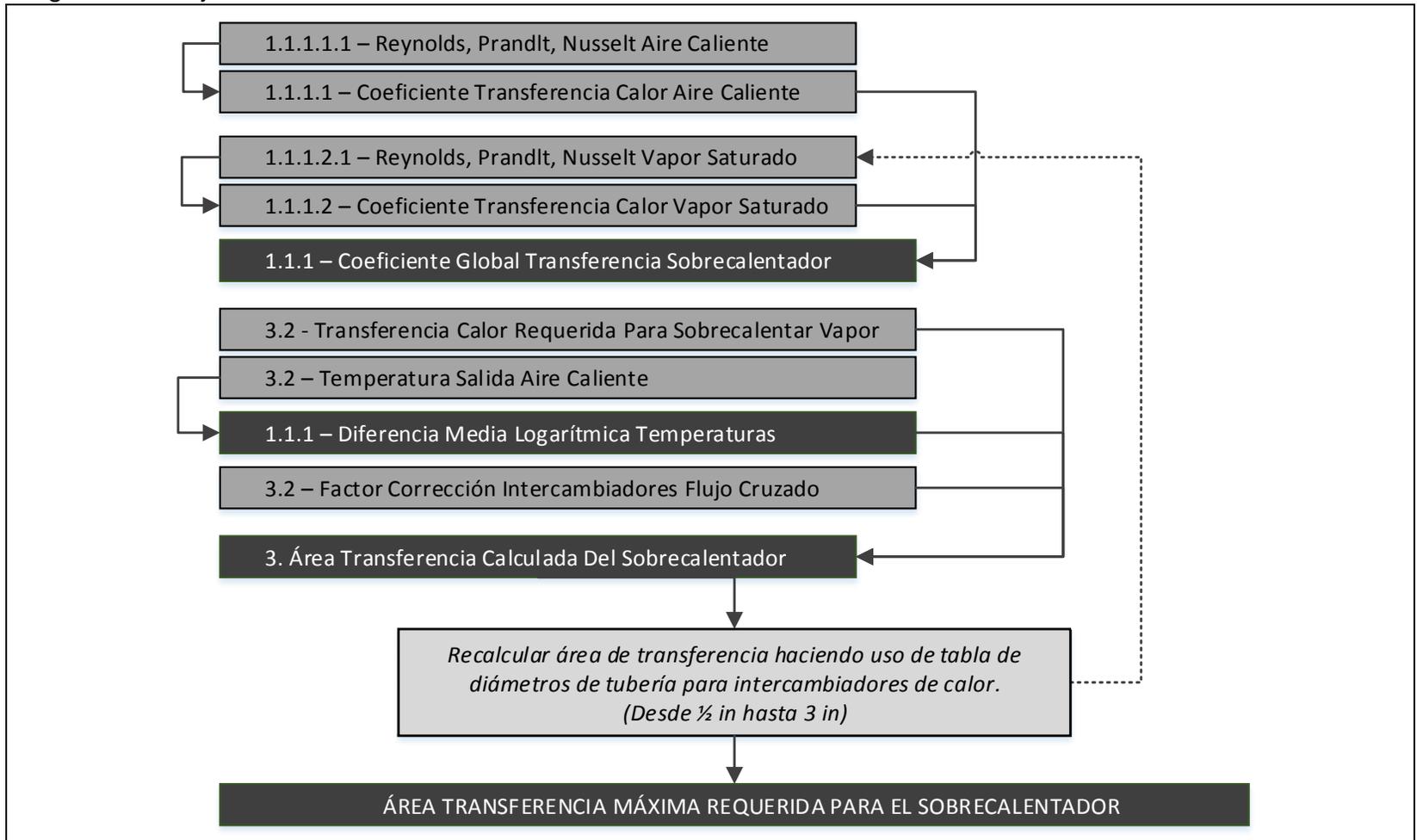
Finalmente, se calcula el área de transferencia de calor requerida haciendo uso de una tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada para el sobrecalentamiento del vapor;

$$A_{req-sob} = \frac{Q_{req-s}}{U_s F \Delta T_{ml-s}}$$

$$A_{req-sob} = \frac{20.400 W}{2,851 W/m^2 \cdot K * 1 * 600^\circ C} \rightarrow A_{req-sob} = 11,927 m^2$$

El anterior procedimiento de cálculo se repite realizando la modificación del diámetro de la tubería de transporte de vapor desde ½ in hasta 3 in de acuerdo al flujo de cálculo del diagrama 4 y obteniendo los resultados presentados en el cuadro 11. De este último cuadro se tiene que la mayor área de transferencia requerida para el sobrecalentador sería de 12,07 m<sup>2</sup>, por lo que los futuros análisis del sistema se deberán contemplar haciendo uso de esta área de transferencia.

Diagrama 4. Flujo cálculo del sobrecalentador



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11. Diámetro tubería vapor Vs. área requerida sobrecalentador

PROPIEDADES AIRE CALIENTE		PROPIEDADES VAPOR SATURADO	
$T_{e\text{-aire}}$	740,00 °C	$T_{e\text{-vapor}}$	110,00 °C
$T_{s\text{-aire}}$	720,12 °C	$T_{s\text{-vapor}}$	150,00 °C
$m_{\text{aire}}$	0,90 Kg/s	$m_{\text{vapor}}$	0,25 Kg/s
$\rho_{\text{aire-s}}$	0,3450 Kg/m3	$\rho_{\text{vapor-s}}$	0,5808 Kg/m3
Caudal	2,608696 m3/s	Caudal	0,430441 m3/s
$C_{p\text{aire-s}}$	1.140,00 J/Kg°K	$C_{p\text{vapor-s}}$	2.040,00 J/Kg°K
$\vartheta_{\text{aire-s}}$	1,228E-04 m2/s	$\vartheta_{\text{vapor-s}}$	2,177E-05 m2/s
$\mu_{\text{aire-s}}$	4,239E-05 N·s/m2	$\mu_{\text{vapor-s}}$	1,264E-04 N·s/m2
$k_{\text{aire-s}}$	6,812E-02 W/m·K	$k_{\text{vapor-s}}$	2,578E-02 W/m·K
$D_{\text{Int-s}}$	39,37 in 1000 mm	REQUERIMIENTOS DEL VAPORIZADOR	
$A_{\text{Tm-s}}$	1,570796 m2	$Q_{\text{req-s}}$	20.400,00 W
$V_{\text{Int-s}}$	1,660747 m/s	$\Delta T_{1-s}$	590,00 °C
$Re_{\text{aire-s}}$	13.524,00 -	$\Delta T_{2-s}$	610,12 °C
$Pr_{\text{aire-s}}$	7,094E-01 -	$\Delta T_{\text{ml-s}}$	600,00 °C
$Nu_{\text{aire-s}}$	4,187E+01 -	R	2,01 -
$h_{\text{aire-s}}$	2,852 W/m2·K	P	3,156E-02 -
		Factor Convección F	1

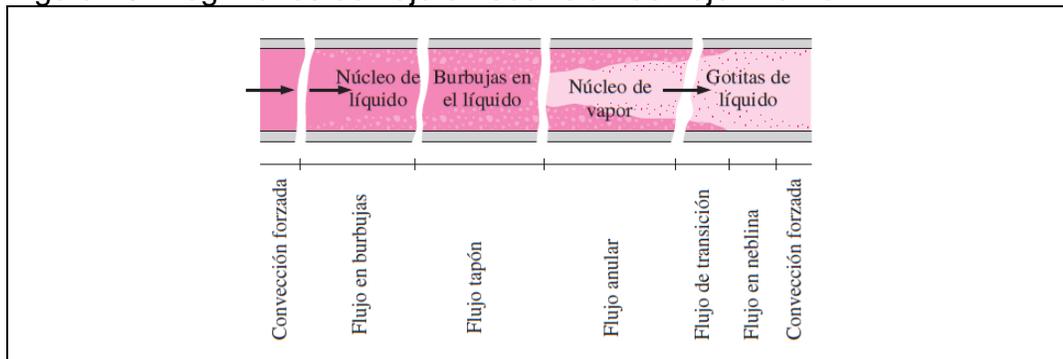
CARACTERISTICAS TUBERIA VAPOR SATURADO								CARACTERISTICAS SOBRECALENTADOR	
$D_{\text{Tube-s}}$		$A_{\text{Tubes-s}}$	$V_{\text{vapor-s}}$	$Re_{\text{vapor-s}}$	$Pr_{\text{vapor-s}}$	$Nu_{\text{vapor-s}}$	$h_{\text{vapor}}$	$U_s$	$A_{\text{req-s}}$
in	mm	m2	m/s	-	-	-	W/m2·K	W/m2·K	m2
1/2	12,7	0,000253	1.698,971454	991.131,717	10,002172	2.875,155	5.836,338	2,851	11,927
5/8	15,875	0,000396	1.087,341731	792.905,373	10,002172	2.405,100	3.905,732	2,850	11,930
3/4	19,05	0,000570	755,098424	660.754,478	10,002172	2.078,683	2.813,042	2,849	11,933
7/8	22,225	0,000776	554,766189	566.360,981	10,002172	1.837,515	2.131,434	2,848	11,937
1	25,4	0,001013	424,742864	495.565,858	10,002172	1.651,343	1.676,048	2,847	11,942
1 1/4	31,75	0,001583	271,835433	396.452,687	10,002172	1.381,367	1.121,627	2,845	11,952
1 1/2	38,1	0,002280	188,774606	330.377,239	10,002172	1.193,890	807,834	2,842	11,963
2	50,8	0,004054	106,185716	247.782,929	10,002172	948,447	481,318	2,835	11,992
2 1/2	63,5	0,006334	67,958858	198.226,343	10,002172	793,387	322,103	2,827	12,027
3	76,2	0,009121	47,193652	165.188,619	10,002172	685,710	231,989	2,817	12,068

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Vaporizador. Una vez caracterizado el comportamiento térmico del sobrecalentador se procede a caracterizar el proceso de transferencia de calor que se dará dentro del vaporizador que generará la ebullición desde agua saturada hasta vapor saturado. Al igual que en el sobrecalentador, se realizará un primer acercamiento al comportamiento del proceso suponiendo que la transferencia se realiza en una tubería por donde circulará el agua en flujo cruzado dentro del ducto del aire caliente y dependiendo los resultados de área de transferencia requerida se seleccionará un intercambiador de calor que cumpla con los requerimientos.

El proceso de ebullición de agua dentro de una tubería se denomina ebullición en flujo interno y para comprender el comportamiento de la transferencia de calor en este proceso se han desarrollado múltiples modelos para analizar el comportamiento de la transferencia de calor total en fenómenos de ebullición forzada, no obstante el modelo con una mayor aceptación y que ha sido más ampliamente estudiado es el modelo de superposición de Chen con un error en sus aproximaciones del 12% <sup>3</sup>, donde plantea que por la misma tubería donde se está obligando al líquido a cambiar de fase también circula el vapor proveniente del cambio de fase (Figura 13), lo cual genera dos procesos fundamentales de transferencia de calor, ebullición nucleada en la zona donde existe más líquido que vapor debido a que la ebullición se genera por el contacto entre la superficie caliente (la pared interna de la tubería) y el líquido, mientras que en la zona donde existe una mayor cantidad de vapor, el líquido tiene la tendencia a fluir en medio del vapor por lo que la transferencia de calor de las paredes de la tubería al vapor y del vapor al líquido se genera mediante un proceso de convección.

Figura 13. Regímenes de flujo en ebullición de flujo interno



Fuente: ÇENGEL. Yunus, Transferencia de calor en la ebullición. *Transferencia de calor y masa, Un enfoque Práctico*, México D.F., McGraw Hill, 2007, pp. 562, ISBN 978-970-10-6173-2.

<sup>3</sup> TÁBOAS T. F. Estudio del proceso de ebullición forzada de la mezcla amoníaco/agua en intercambiadores de placas para equipos de refrigeración por absorción. España, Tarragona: Universitat Rovira i Virgili, Departament d'Enginyeria Mecànica, Disponible en: <https://bit.ly/2IpgXDB>

El coeficiente de transferencia de calor de doble fase en el vaporizador, es aquel que caracteriza el comportamiento de los fenómenos de transferencia tanto de ebullición nucleada como de convección, por lo que dentro el modelo de Chen (1.963), se plantea que el coeficiente de calor de doble fase estará compuesto por un coeficiente de transferencia de calor para el proceso de ebullición nucleada, que se verá afectado por la calidad del vapor y el flujo másico en el mismo (Coeficiente supresión) y un coeficiente de transferencia de calor para la ebullición por convección que se verá afectado por la turbulencia generada durante el cambio de fase por la diferencia de densidades entre el vapor y el agua (Factor F de corrección).

El coeficiente de transferencia de calor de doble fase en el vaporizador estará dado por;

$$h_{tp-v} = S \cdot h_{nb} + F \cdot h_{cb}$$

Dónde;

$h_{tp-v}$  : Coeficiente de transferencia de calor de doble fase en el vaporizador

$h_{nb}$  : Coeficiente de transferencia de calor de ebullición nucleada

$S$  : Coeficiente de supresión de ebullición nucleada

$h_{cb}$  : Coeficiente de transferencia de calor de ebullición por convección

$F$  : Factor de corrección de ebullición por convección

El coeficiente de transferencia de calor de ebullición nucleada está dado por la correlación de Forster y Zuber (1.955);

$$h_{nb} = 0,00122 \cdot \left[ \frac{k_L^{0,79} \cdot Cp_L^{0,45} \cdot \rho_L^{0,49}}{\sigma_L^{0,79} \cdot \mu_L^{0,79} \cdot \Delta h_{fg}^{0,79} \cdot \rho_g^{0,79}} \right] \cdot \Delta T_{Sat}^{0,24} \cdot \Delta P_{Sat}^{0,75}$$

Donde;

$h_{nb}$  : Coeficiente de transferencia de calor de ebullición nucleada

$k_L$ : Coeficiente de conductividad del agua en el vaporizador

$Cp_L$ : : Calor específico del agua en el vaporizador

$\rho_L$ : : Densidad del agua en el vaporizador

$\sigma_L$ : : Tensión superficial del agua en el vaporizador

$\mu_L$  : Viscosidad dinámica del agua en el vaporizador

$\Delta h_{fg}$  : Calor latente de evaporización del agua

$\rho_g$  : Densidad del vapor en el vaporizador

$\Delta T_{Sat}$  : Diferencial de temperaturas en la tubería del vaporizador

$\Delta P_{Sat}$  : Diferencial de presiones en la tubería del vaporizador

Los diferenciales de temperatura y presiones en la tubería del vaporizador estarán dados por;

$$\Delta T_{Sat} = T_w - T_{Sat}$$

$$\Delta P_{Sat} = P_w - P_{Sat}$$

Donde;

$T_w$  : Temperatura de la superficie de la tubería en el vaporizador

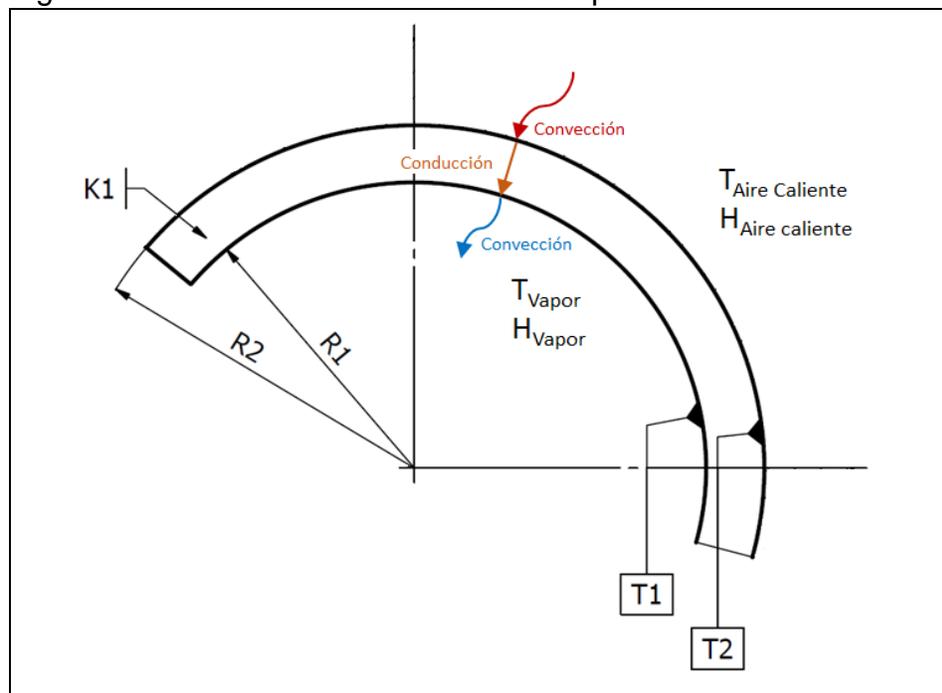
$T_{Sat}$  : Temperatura de saturación en el vaporizador

$P_w$  : Presión de saturación del fluido a temperatura de la tubería en el vaporizador

$P_{Sat}$  : Presión de saturación del fluido a temperatura de saturación

Para calcular la temperatura de pared de la tubería del vaporizador se establece el modelo de los fenómenos de transferencia de calor que regirá el sistema como lo presenta la figura 14.

Figura 14. Sistema térmico tubería del vaporizador



Fuente: Elaboración propia

El primer fenómeno térmico dentro de la tubería de transporte consiste en un fenómeno de convección existente entre el flujo de aire caliente y su relación con la tubería que lo contiene, por lo que la transferencia de calor bajo este modelo estará determinada por la siguiente ecuación;

$$Q_{Conv Ext} = h_{aire-v} * 2\pi r_2 * (T_{Aire Caliente} - T_2)$$

Dónde:

$Q_{Conv Ext}$  : Transferencia de calor por convección entre el aire caliente y la tubería

$h_{aire-v}$  : Coeficiente convección del aire caliente al interior del vaporizador

$T_{Aire Caliente}$  : Temperatura del aire caliente en la entrada del vaporizador

$r_2$  : Radio externo de la tubería

$T_2$  : Temperatura en la superficie externa de la tubería

Los fenómenos de transferencia de calor por convección son regidos por el coeficiente de transferencia de calor o de película  $h$  que de acuerdo a la propiedades del fluido que transfiere o absorbe calor determina la razón a la que la transferencia de calor se da por grado de temperatura y unidad de área ( $W/m^2°C$  en SI).

A su vez la transferencia de calor por convección también se encuentra regida por el numero adimensional de Nusselt que representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación con la conducción a través de la misma capa (Çengel, 2011 p. 358); para el fenómeno analizado, el coeficiente de película del aire caliente en función del número de Nusselt se encuentra dado por;

$$Nu = \frac{2r_1 h_{aire-v}}{k_{Ext}} \quad \rightarrow \quad h_{aire-v} = \frac{k_{Ext} Nu}{2r_{Tub Aire}}$$

Dónde;

$Nu$  : Número Nusselt

$r_{Tub Aire}$  : Radio tubería transporte aire caliente

$h_{aire-v}$  : Coeficiente convección del aire caliente al interior del vaporizador

$k_{Ext}$  : Coeficiente conductividad del aire caliente al interior del vaporizador

Si bien el número de Nusselt fue concebido para relacionar los coeficientes de película y de conductividad de un fluido, muchas correlaciones experimentales han sido desarrolladas para relacionar el comportamiento térmico del fluido dependiendo del comportamiento del mismo (Flujo laminar en tuberías, flujo turbulento en tuberías, flujo externo sobre placas verticales, etc.) y sus propiedades; para fenómenos de flujo interno turbulento en tuberías la mejor correlación existente es la de Dittus y Boelter para fluidos siendo enfriados ( $n = 0,3$ ) dado por;

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3}$$

Dónde;

$Re$  : Número Reynolds

$Pr$  : Número Prandtl

El número de Reynolds viene determinado por;

$$Re = \frac{2r_{Tub\ Aire} V_{Ext}}{\vartheta}$$

Dónde;

$Re$  : Número Reynolds

$r_{Tub\ Aire}$  : Radio tubería transporte aire caliente

$\vartheta$  : Viscosidad cinemática del aire caliente al interior del vaporizador

$V_{Ext}$  : Velocidad aire caliente al interior de la tubería de transporte

El número de Prandtl viene determinado por;

$$Pr = \frac{\mu Cp}{k_{Ext}}$$

Dónde;

$Pr$  : Número Prandtl

$\mu$  : Viscosidad dinámica aire caliente al interior del vaporizador

$Cp$  : Calor específico del aire caliente al interior del vaporizador

$k_{Ext}$  : Coeficiente conductividad del aire caliente al interior del vaporizador

El primer fenómeno de conducción en el sistema es presentado por el flujo de calor a lo largo del espesor de la tubería, esta transferencia de calor está determinada por la siguiente ecuación;

$$Q_{Cond\ Tubería} = \frac{2\pi k_1(T_2 - T_1)}{\ln r_1/r_2}$$

Dónde;

$Q_{Cond\ Tubería}$  : Transferencia de calor por conducción en la tubería

$k_1$  : Coeficiente de conducción de la tubería

$T_2$  : Temperatura en la superficie externa de la tubería

$T_1$  : Temperatura en la superficie interna de la tubería

$r_2$  : Radio externo de la tubería

$r_1$  : Radio interno de la tubería

Para realizar el análisis dentro de la tubería y de acuerdo a lo presentado en la figura 26 donde se observa que durante los procesos de ebullición en flujo interno siempre queda una película de agua en su interior mientras la calidad de la mezcla pasa del 0,5, se realizará el cálculo de la convección interna analizando el momento en el

que la transferencia se genera con agua saturada fluyendo dentro de la tubería caracterizado de la siguiente manera;

$$Q_{Conv\ Int} = h_{Interno} * 2\pi r_1 * (T_{Agua\ Saturada} - T_1)$$

Dónde:

$Q_{Conv\ Int}$  : Transferencia de calor por convección entre la tubería y el agua saturada

$h_{Interno}$  : Coeficiente de película agua saturada

$T_{Agua\ Saturada}$  : Temperatura del agua saturada

$r_1$  : Radio interno de la tubería del agua saturada

$T_1$  : Temperatura en la superficie interna de la tubería del agua saturada

A su vez la transferencia de calor por convección también se encuentra regida por el número adimensional de Nusselt que representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación con la conducción a través de la misma capa (Çengel, 2011 p. 358); para el fenómeno analizado, el coeficiente de película del aire caliente en función del número de Nusselt se encuentra dado por;

$$Nu = \frac{2r_1 h_{Int}}{k_{Int}} \quad \rightarrow \quad h_{Int} = \frac{k_{Int} Nu}{2r_1}$$

Dónde;

$Nu$  : Número Nusselt

$r_1$  : Radio tubería agua saturada

$h_{Interno}$  : Coeficiente de película agua saturada

$k_{Int}$  : Coeficiente conductividad del agua saturada

Si bien el número de Nusselt fue concebido para relacionar los coeficientes de película y de conductividad de un fluido, muchas correlaciones experimentales han sido desarrolladas para relacionar el comportamiento térmico del fluido dependiendo del comportamiento del mismo (Flujo laminar en tuberías, flujo turbulento en tuberías, flujo externo sobre placas verticales, etc.) y sus propiedades; para fenómenos de flujo interno turbulento en tuberías la mejor correlación existente es la de Dittus y Boelter para fluidos siendo calentados ( $n = 0,4$ ) dado por;

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$$

Dónde;

$Re$  : Número Reynolds

$Pr$  : Número Prandtl

El número de Reynolds viene determinado por;

$$Re = \frac{2r_1 V_{Int}}{\vartheta}$$

Dónde;

$Re$  : Número Reynolds

$r_1$  : Radio tubería interna

$\vartheta$  : Viscosidad cinemática del aire caliente (A temperatura de análisis)

$V_{Int}$  : Velocidad interna al interior de la tubería de transporte

El número de Prandtl viene determinado por;

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k_{Ext}}$$

Dónde;

$Pr$  : Número Prandtl

$\mu$  : Viscosidad dinámica del agua saturada

$C_p$  : Calor específico del agua saturada

$k_{Int}$  : Coeficiente conductividad del agua saturada

Teniendo claramente caracterizados los fenómenos de transferencia de calor en el sistema de transporte, se tiene que la resistencia térmica equivalente del sistema es;

$$R_{Eqv} = \frac{1}{R_{int} * A_{int}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{ext} * A_{Ext}}$$

$$R_{Eqv} = \frac{1}{h_{int} * 2\pi r_1 L} + \frac{\ln r_2 / r_1}{2\pi L k_1} + \frac{1}{h_{aire-v} * 2\pi r_2 L}$$

Dónde:

$R_{Eqv}$  : Resistencia térmica equivalente total del sistema

$R_{Int}$  : Resistencia térmica equivalente convección agua saturada

$A_{Int}$  : Área superficial transferencia por convección agua saturada

$R_1$  : Resistencia térmica equivalente conducción tubería

$R_{Ext}$  : Resistencia térmica equivalente convección aire caliente

$A_{Ext}$  : Área superficial transferencia por convección aire caliente

Finalmente se tiene que la transferencia de calor total por unidad de longitud de la tubería (Luego de haber cancelado el factor de longitud en la resistencia equivalente) en el sistema estará determinada por;

$$Q_{Total} = U * (T_{Ext} - T_{Int}) \quad \rightarrow \quad Q_{Total} = \frac{1}{R_{Eqv}} (T_{Ext} - T_{Int})$$

Dónde:

$Q_{Total}$  : Transferencia de calor total del sistema

$U$  : Coeficiente global de transferencia de calor del sistema

Una vez calculada la transferencia de calor total del sistema, se procede a calcular la temperatura interna de la tubería  $T_1$ ;

$$Q_{Total} = h_{Interno} * 2\pi r_1 * (T_1 - T_{Agua Saturada})$$

$$T_1 = T_{Agua Saturada} + \frac{Q_{Total}}{h_{Interno} * 2\pi r_1}$$

Ahora se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor de ebullición por convección que consiste en una aplicación de la correlación de Dittus y Boelter para fluidos siendo calentados ( $n = 0,4$ ) en fenómenos de flujo interno turbulento para tuberías, Donde se analizará únicamente la porción líquida de sistema suponiendo una calidad del vapor en ese momento de 0,1;

$$Re_{agua-v} = \frac{2 \cdot \dot{m}_{agua} \cdot (1 - x)}{r_{int-v} \cdot \mu_L}$$

$$Pr_{agua-v} = \frac{\mu_L C_{pL}}{k_L}$$

$$Nu_{agua-v} = 0,023 (Re_{agua-v})^{0,8} (Pr_{agua-v})^{0,4}$$

$$h_{cb} = \frac{k_L Nu_{agua-v}}{2 r_{tube-v}}$$

Dónde;

$Nu_{agua-v}$  : Número Nusselt del agua al interior del vaporizador

$Re_{agua-v}$  : Número Reynolds del agua al interior del vaporizador

$Pr_{agua-v}$  : Número Prandtl del agua al interior del vaporizador

$h_{cb}$  : Coeficiente de transferencia de calor de ebullición por convección

$r_{tube-v}$  : Radio interno de la tubería del vaporizador  
 $\dot{m}_{agua}$  : Flujo másico del agua en el vaporizador  
 $x$  : Calidad del vapor en el vaporizador

Una vez obtenidos el coeficiente de ebullición nucleada, y el de ebullición por convección, se procede a calcular el factor de corrección de ebullición por convección que está determinado por la relación existente entre las viscosidades dinámicas y densidades entre el gas y el vapor, así como la calidad del vapor dentro de la tubería (0,1), esta correlación se denomina parámetro de Martinelli;

$$F = \left( \frac{1}{X_{tt}} + 0,213 \right)^{0,736}$$

$$X_{tt} = \left( \frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \cdot \left( \frac{\rho_g}{\rho_L} \right)^{0,5} \cdot \left( \frac{\mu_L}{\mu_g} \right)^{0,1}$$

Dónde;

$F$ : Factor de corrección de ebullición por convección  
 $X_{tt}$  : Parámetro de Martinelli  
 $x$  : Calidad del vapor en el vaporizador

Finalmente, el coeficiente de supresión de ebullición nucleada estará dado por;

$$S = \frac{1}{1 + \left( 2,53E^{-6} \cdot [Re_{agua-v} \cdot F^{1,25}]^{1,17} \right)}$$

Dónde;

$S$ : Coeficiente de supresión de ebullición nucleada

Una vez obtenido el coeficiente de transferencia de calor de doble fase en el vaporizador, Chen afirma que la transferencia de calor en función del área para el proceso de ebullición estará dada por;

$$\dot{q} = h_{tp} \cdot (T_w - T_{Sat})$$

Dónde;

$\dot{q}$ : Transferencia de calor en función del área del vaporizador

Se sabe que la transferencia de calor total para la evaporación del agua saturada será;

$$Q_{req-v} = \dot{m}_{agua\ sat} \Delta h_{fg}$$

Dónde;

$Q_{req-v}$  : Transferencia de calor requerida en el vaporizador

$\dot{m}_{agua\ sat}$  : Flujo másico de agua saturada en el vaporizador

$\Delta h_{fg}$  : Calor latente de evaporización del agua

Finalmente se procede a calcular el área de transferencia de calor del vaporizador ajustando el 12% de variación en los resultados del coeficiente de doble fase de Chen;

$$Q_{req-v} = A_v \cdot \dot{q}$$

$$A_v = \frac{Q_{req-v}}{\dot{q}} * 112\%$$

Dónde;

$A_v$  : Área de transferencia de calor requerida en el vaporizador

De acuerdo al flujo de cálculo establecido anteriormente se procede a realizar el cálculo de la temperatura al interior de la tubería; Se inicia calculando los números de Reynolds y Prandtl para el aire caliente;

$$Re = \frac{2r_{Tub\ Aire} V_{Ext}}{\vartheta}$$

$$Re = \frac{2 * 0,50\ m * \left( \frac{0,90\ Kg/s}{(2\pi * (0,5m)^2 * 0,352\ Kg/m^3)} \right)}{1,19\ E^{-4}\ m^2/s} \rightarrow Re = 13.678,33$$

$$Pr = \frac{\mu\ Cp}{k_{Ext}} \rightarrow Pr = \frac{4,19\ E^{-5}\ N \cdot s/m^2 * 1.141\ J/Kg \cdot K}{0,0672\ W/m \cdot K} \rightarrow Pr = 0,711$$

Se procede a calcular el número de Nusselt y el coeficiente de convección del aire caliente;

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3} \rightarrow Nu = 0,023 * 13.678,33^{0,8} * 0,711^{0,3} \rightarrow Nu = 42,278$$

$$h_{aire-v} = \frac{k_{Ext} Nu}{2r_{Tub\ Aire}} \rightarrow h_{aire-v} = \frac{0,0672 \text{ W/m} \cdot \text{K} * 42,278}{2 * 0,50 \text{ m}} \rightarrow h_{aire-v} = 2,841 \text{ W/K}$$

Se repiten los cálculos anteriores para el agua saturada en la tubería de vaporización, suponiendo como diámetro inicial ½ in y conociendo que el flujo del agua del sistema es de 0,25 Kg/s; en el cuadro 8 se presentarán los resultados de temperatura para los demás diámetros de tubería;

$$Re = \frac{2r_1 V_{Int}}{\vartheta}$$

$$Re = \frac{2 * 6,35 E^{-3} \text{ m} * \left( \frac{0,25 \text{ Kg/s}}{(2\pi * (6,35 E^{-3})^2 * 951 \text{ Kg/m}^3)} \right)}{2,68 E^{-7} \text{ m}^2/\text{s}} \rightarrow Re = 49.141,41$$

$$Pr = \frac{\mu Cp}{k_{Int}} \rightarrow Pr = \frac{2,55 E^{-4} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2 * 4.232 \text{ J}/\text{Kg} \cdot \text{K}}{0,682 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}} \rightarrow Pr = 1,582$$

Se procede a calcular el número de Nusselt y el coeficiente de convección del agua saturada;

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \rightarrow Nu = 0,023 * 49.141,41^{0,8} * 1,582^{0,4} \rightarrow Nu = 156,62$$

$$h_{Int} = \frac{k_{Int} Nu}{2r_1} \rightarrow h_{Int} = \frac{0,682 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K} * 156,62}{2 * 6,35 E^{-3} \text{ m}} \rightarrow h_{Int} = 8.406,82 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$$

Teniendo calculados los coeficientes de convección del aire caliente y del agua saturada, se procede a calcular la resistencia equivalente en función de la longitud sabiendo que se hace uso de una tubería de acero SAE 304;

$$R_{Eqv} = \frac{1}{h_{Int} * 2\pi r_1} + \frac{\ln r_2/r_1}{2\pi k_1} + \frac{1}{h_{aire-v} * 2\pi r_2}$$

$$R_{Eqv} = \frac{1}{8.406,82 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 2\pi * 6,35 \text{ E}^{-3} \text{ m}} + \frac{\ln \frac{1,011 \text{ E}^{-2} \text{ m}}{6,35 \text{ E}^{-3} \text{ m}}}{2\pi * 21,4 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + \frac{1}{2,841 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 2\pi * 1,011 \text{ E}^{-2} \text{ m}}$$

$$R_{Eqv} = 2,981 \text{ E}^{-3} \text{ m} \cdot \text{K/W} + 3,459 \text{ E}^{-3} \text{ m} \cdot \text{K/W} + 5,541 \text{ m} \cdot \text{K/W}$$

$$R_{Eqv} = 5,548 \text{ m} \cdot \text{K/W}$$

Se procede a calcular la transferencia de calor total por unidad de longitud de la tubería del vaporizador, sabiendo que la temperatura de saturación del agua es de 110°C en las estimaciones realizadas y que el aire caliente ingresa al vaporizador a una temperatura de 720°C;

$$Q_{Total} = \frac{1}{R_{Eqv}} (T_{Ext} - T_{Int})$$

$$Q_{Total} = \frac{1}{5,548 \text{ m} \cdot \text{K/W}} (720^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}) \rightarrow Q_{Total} = 109,94 \text{ W/m}$$

Una vez calculada la transferencia de calor total del sistema, se procede a calcular la temperatura interna de la tubería T1;

$$T_1 = T_{\text{Agua Saturada}} + \frac{Q_{Total}}{h_{\text{Interno}} * 2\pi r_1}$$

$$T_1 = 110^\circ\text{C} + \frac{109,94 \text{ W/m}}{8.406,82 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 2\pi * 6,35 \text{ E}^{-3} \text{ m}} \rightarrow T_1 = 110,32^\circ\text{C}$$

Se procede a calcular los diferenciales de temperatura y presiones en la tubería del vaporizador sabiendo que a una presión de operación de 1,4 Bar (Tubería Suministro) la temperatura de saturación será de 109,29 °C (Aproximadamente 110°C);

$$\Delta T_{Sat} = T_w - T_{Sat} \rightarrow \Delta T_{Sat} = 110,32^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T_{Sat} = 0,32^\circ\text{C}$$

$$\Delta P_{Sat} = P_w - P_{Sat} \rightarrow \Delta P_{Sat} = 144.972 \text{ Pa} - 143.376 \text{ Pa} \rightarrow \Delta P_{Sat} = 1.596 \text{ Pa}$$

Se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor por ebullición nucleada dado por la correlación de Forster y Zuber (1955);

$$h_{nb} = 0,00122 \cdot \left[ \frac{k_L^{0,79} \cdot C p_L^{0,45} \cdot \rho_L^{0,49}}{\sigma_L^{0,79} \cdot \mu_L^{0,79} \cdot \Delta h_{fg}^{0,79} \cdot \rho_g^{0,79}} \right] \cdot \Delta T_{Sat}^{0,24} \cdot \Delta P_{Sat}^{0,75}$$

$$h_{nb} = 0,00122 \cdot \left[ \frac{0,682 \text{ W/m} \cdot \text{K}^{0,79} \cdot 4,232 \text{ J/Kg} \cdot \text{K}^{0,45} \cdot 951 \text{ Kg/m}^3^{0,49}}{5,94 \text{ E}^{-2} \text{ N/m}^{0,79} \cdot 2,55 \text{ E}^{-4} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2^{0,79} \cdot 2,230 \text{ kJ/Kg}^{0,79} \cdot 0,581 \text{ Kg/m}^3^{0,79}} \right] \cdot 0,32 \text{ }^\circ\text{C}^{0,24} \cdot 1,596 \text{ Pa}^{0,75}$$

$$h_{nb} = 29,056 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor de ebullición por convección que consiste en una aplicación de la correlación de Dittus y Boelter para fluidos siendo calentados ( $n = 0,4$ ) en fenómenos de flujo interno turbulento para tuberías, donde se analizará únicamente la porción líquida de sistema suponiendo una calidad del vapor en ese momento de 0,1;

$$Re_{agua-v} = \frac{2 \cdot \dot{m}_{agua} \cdot (1 - x)}{r_{int-v} \cdot \mu_L}$$

$$Re_{agua-v} = \frac{2 \cdot 0,25 \text{ Kg/s} \cdot (1 - 0,1)}{6,35 \text{ E}^{-3} \text{ m} \cdot 2,55 \text{ E}^{-4} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2} \rightarrow Re_{agua-v} = 278.124,54$$

$$Pr_{agua-v} = \frac{\mu_L C_{pL}}{k_L}$$

$$Pr_{agua-v} = \frac{2,55 \text{ E}^{-4} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2 \cdot 4,232 \text{ J/Kg} \cdot \text{K}}{0,682 \text{ W/m} \cdot \text{K}} \rightarrow Pr_{agua-v} = 1,581$$

$$Nu_{agua-v} = 0,023 (Re_{agua-v})^{0,8} (Pr_{agua-v})^{0,4}$$

$$Nu_{agua-v} = 0,023 (278.124,54)^{0,8} (1,581)^{0,4} \rightarrow Nu_{agua-v} = 626,297$$

$$h_{cb} = \frac{k_L Nu_{agua-v}}{2 r_{tube-v}}$$

$$h_{cb} = \frac{0,682 \text{ W/m} \cdot \text{K} \cdot 626,297}{2 \cdot 6,35 \text{ E}^{-3} \text{ m}} \rightarrow h_{cb} = 33.617,83 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Una vez obtenidos el coeficiente de ebullición nucleada, y el de ebullición por convección, se procede a calcular el factor de corrección de ebullición por convección;

$$X_{tt} = \left(\frac{1-x}{x}\right)^{0,9} \cdot \left(\frac{\rho_g}{\rho_L}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{\mu_L}{\mu_g}\right)^{0,1}$$

$$X_{tt} = \left(\frac{1-0,1}{0,1}\right)^{0,9} \cdot \left(\frac{0,581 \text{ Kg}/\text{m}^3}{951 \text{ Kg}/\text{m}^3}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{2,55 \text{ E}^{-4} \text{ N} \cdot \text{ s}/\text{m}^2}{1,26 \text{ E}^{-4} \text{ N} \cdot \text{ s}/\text{m}^2}\right)^{0,1} \rightarrow X_{tt} = 0,1916$$

$$F = \left(\frac{1}{X_{tt}} + 0,213\right)^{0,736}$$

$$F = \left(\frac{1}{0,1916} + 0,213\right)^{0,736} \rightarrow F = 3,4761$$

El coeficiente de supresión de ebullición nucleada estará dado por;

$$S = \frac{1}{1 + \left(2,53 \text{ E}^{-6} \cdot [Re_{agua-v} \cdot F^{1,25}]^{1,17}\right)}$$

$$S = \frac{1}{1 + (2,53 \text{ E}^{-6} \cdot [278.124,54 \cdot 3,4761^{1,25}]^{1,17})} \rightarrow S = 0,0266$$

Se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor de doble fase en el vaporizador;

$$h_{tp-v} = S \cdot h_{nb} + F \cdot h_{cb}$$

$$h_{tp-v} = 0,0266 \cdot 14,32 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{K} + 3,4761 \cdot 33.632,64 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{K}$$

$$h_{tp-v} = 116.858,78 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{K}$$

Se procede a calcular la transferencia de calor en función del área;

$$\dot{q} = h_{tp} \cdot (T_w - T_{sat})$$

$$\dot{q} = 116.858,78 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{K} \cdot (110,32^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C})$$

$$\dot{q} = 38.308,65 \text{ W}/\text{m}^2$$

Se calcula la transferencia de calor total requerida para la evaporación del agua saturada;

$$Q_{req-v} = \dot{m}_{agua\ sat} \Delta h_{fg}$$

$$Q_{req-v} = 0,25\ Kg/s * 2.230\ kJ/Kg$$

$$Q_{req-v} = 557.500\ W$$

Finalmente se procede a calcular el área de transferencia de calor del vaporizador sabiendo que;

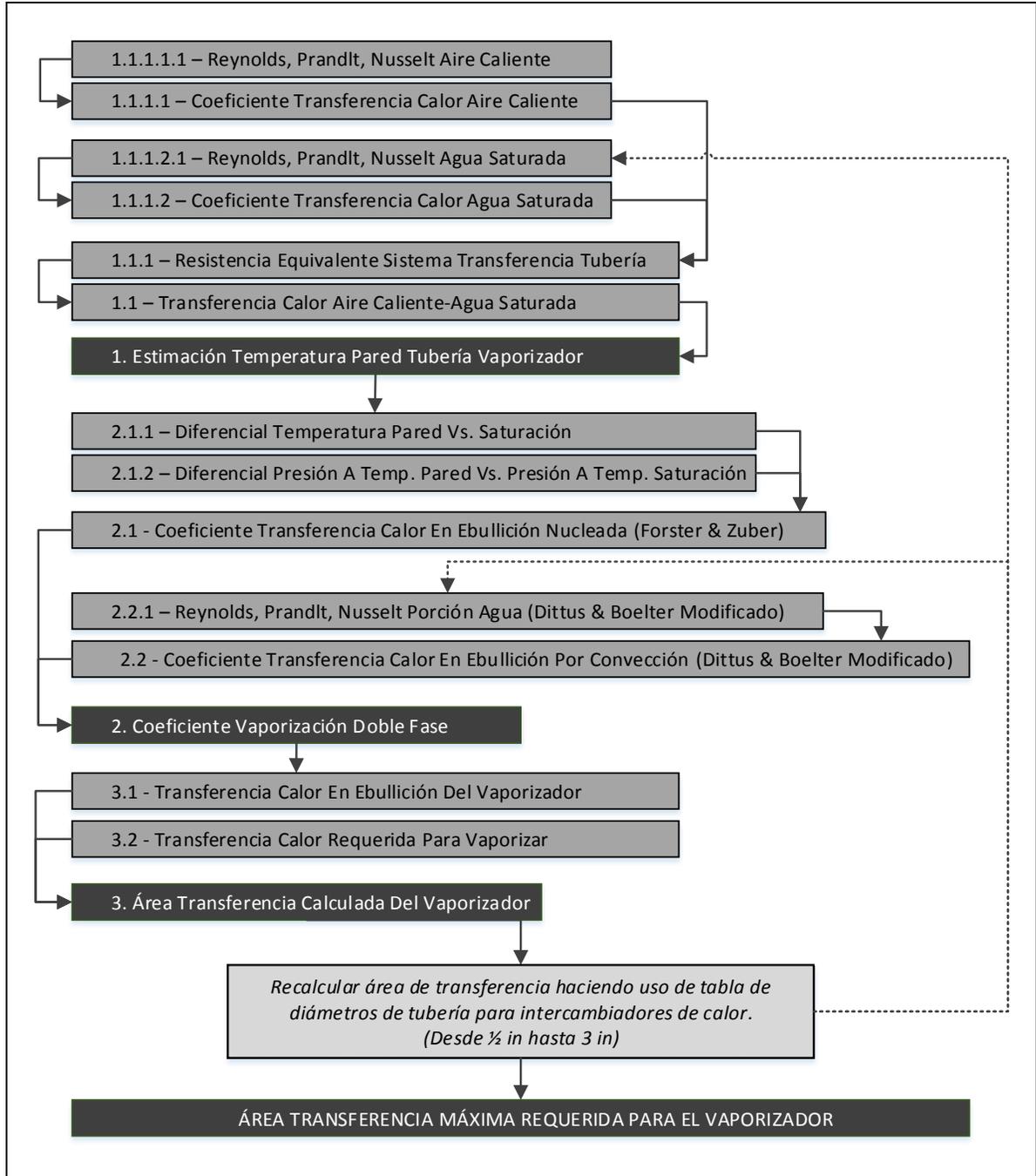
$$A_v = \frac{Q_{req-v}}{\dot{q}} * 112\%$$

$$A_v = \frac{557.500\ W}{38.308,65\ W/m^2} * 112\%$$

$$A_v = 16,04\ m^2$$

El anterior procedimiento de cálculo se repite realizando la modificación del diámetro de la tubería de transporte de agua-vapor saturados desde ½ in hasta 3 in de acuerdo al flujo de cálculo del diagrama 5 y obteniendo los resultados presentados en el cuadro 12. De este último cuadro se tiene que la mayor área de transferencia requerida para el vaporizador sería de 22,38 m<sup>2</sup>, por lo que los futuros análisis del sistema se deberán contemplar haciendo uso de esta área de transferencia.

Diagrama 5. Flujo cálculo del vaporizador



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12. Diámetro tubería saturación Vs. área requerida vaporizador

PROPIEDADES AIRE CALIENTE						PROPIEDADES AGUA SATURADA					
T <sub>e-aire</sub>	720,12	°C	T <sub>e-agua</sub>	110,00	°C						
T <sub>s-aire</sub>	177,22	°C	m <sub>agua sat</sub>	0,25	Kg/s						
m <sub>aire</sub>	0,90	Kg/s	ρ <sub>agua sat-v</sub>	951,0000	Kg/m <sup>3</sup>						
ρ <sub>aire-v</sub>	0,3521	Kg/m <sup>3</sup>	C <sub>p agua sat-v</sub>	4,232,00	J/Kg*K						
C <sub>p aire-v</sub>	1,141,00	J/Kg*K	θ <sub>agua sat-v</sub>	2,679E-07	m <sup>2</sup> /s						
θ <sub>aire-v</sub>	1,190E-04	m <sup>2</sup> /s	μ <sub>agua sat-v</sub>	2,548E-04	N-s/m <sup>2</sup>						
μ <sub>aire-v</sub>	4,188E-05	N-s/m <sup>2</sup>	K <sub>agua sat-v</sub>	6,817E-01	W/m-K						
k <sub>aire-v</sub>	6,720E-02	W/m-K	Δh <sub>fg agua sat-v</sub>	2,230.000,00	J/kg						
D <sub>int-s</sub>	39,37	in	φ <sub>agua sat-v</sub>	0,0594000	N/m						
A <sub>rms</sub>	1,570796	m <sup>2</sup>	PROPIEDADES VAPOR SATURADO								
Caudal Aire	2,556092	m <sup>3</sup> /s	T <sub>e-vapor sat</sub>	110,00	°C						
V <sub>int-s</sub>	1,627259	m/s	ρ <sub>vapor sat-v</sub>	0,5808	Kg/m <sup>3</sup>						
R <sub>o aire-s</sub>	13,674,44	-	μ <sub>vapor sat-v</sub>	1,264E-04	N-s/m <sup>2</sup>						
P <sub>aire-s</sub>	0,7111	-	REQUERIMIENTOS DEL VAPORIZADOR								
N <sub>u aire-s</sub>	42,2702	-	Q <sub>req-s</sub>	557.500,00	W						
h <sub>aire-s</sub>	2,8404	W/m <sup>2</sup> -K									

CARACTERÍSTICAS TUBERÍA AGUA-VAPOR						ESTIMACIÓN TEMPERATURA DE PARED							
D <sub>1</sub>	A <sub>tubess</sub>	k1	Espesor	D <sub>2</sub>	V <sub>int</sub>	Re <sub>int</sub>	Pr <sub>int</sub>	Nu <sub>int</sub>	h <sub>int</sub>	Re <sub>qv</sub>	Q <sub>total</sub>	T <sub>pared</sub>	
in	mm	m <sup>2</sup>	W/m-K	mm	m/s	-	-	-	W/m <sup>2</sup> -K	m-K/W	W/m	°C	
1/2	12,7	0,000253	21,4	3,76	20,22	1,037605	49.183,22	1,582	156,618	8.406,819	5,54875962	109,956	110,33
5/8	15,875	0,000396	21,4	3,76	23,395	0,664067	39.346,58	1,582	131,013	5.625,922	4,796603991	127,198	110,45
3/4	19,05	0,000570	21,4	3,76	26,57	0,461158	32.788,82	1,582	113,232	4.051,981	4,224351249	144,429	110,60
7/8	22,225	0,000776	21,4	4,57	31,365	0,338810	28.104,70	1,582	100,095	3.070,176	3,580180755	170,416	110,79
1	25,4	0,001013	21,4	5,59	36,58	0,259401	24.591,61	1,582	89,954	2.414,225	3,071482016	198,640	111,03
1 1/4	31,75	0,001583	21,4	5,59	42,93	0,166617	19.673,29	1,582	75,247	1.615,622	2,618877575	232,970	111,45
1 1/2	38,1	0,002280	21,4	5,59	49,28	0,115289	16.394,41	1,582	65,035	1.163,626	2,283153859	267,227	111,92
2	50,8	0,004054	21,4	5,59	61,98	0,064850	12.295,81	1,582	51,665	693,304	1,818611701	335,487	113,03
2 1/2	63,5	0,006334	21,4	5,59	74,68	0,041504	9.836,64	1,582	43,218	463,966	1,512622119	403,353	114,36
3	76,2	0,009121	21,4	5,59	87,38	0,028822	8.197,20	1,582	37,353	334,164	1,296028644	470,761	115,88

CARACTERIZACIÓN EBULLICIÓN FORZADA EN TUBERÍA													ÁREA REQUERIDA		
ΔT <sub>sat</sub>	P <sub>tramp-Pared</sub>	P <sub>tramp-Sat</sub>	ΔP <sub>sat</sub>	h <sub>nb</sub>	X	Re <sub>Agua-v</sub>	Pr <sub>Agua-v</sub>	Nu <sub>Agua-v</sub>	h <sub>cb</sub>	X <sub>fr</sub>	F	S	h <sub>tp-v</sub>	q	A <sub>Req-v</sub>
°C	Pa	Pa	Pa	W/m <sup>2</sup> -K	%	-	-	-	W/m <sup>2</sup> -K	-	-	-	W/m <sup>2</sup> -K	W/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
0,328	144.972	143.376	1.596	29,052	10%	278.124,58	1,582	626,297	33.617,83	0,19151	3,4761	0,0266	116.859,17	38.308,65	16,30
0,453	145.557	143.376	2.181	39,690	10%	222.499,66	1,582	523,904	22.497,36	0,19151	3,4761	0,0342	78.204,09	35.453,05	17,61
0,596	146.290	143.376	2.914	52,663	10%	185.416,38	1,582	452,801	16.203,37	0,19151	3,4761	0,0420	56.326,49	33.547,15	18,61
0,795	147.222	143.376	3.846	69,501	10%	158.928,33	1,582	400,267	12.277,25	0,19151	3,4761	0,0499	42.680,23	33.929,67	18,40
1,031	148.407	143.376	5.031	90,486	10%	139.062,29	1,582	359,713	9.654,19	0,19151	3,4761	0,0578	33.564,00	34.608,25	18,04
1,446	150.500	143.376	7.124	127,382	10%	111.249,83	1,582	300,904	6.460,67	0,19151	3,4761	0,0738	22.467,24	32.480,03	19,22
1,919	152.871	143.376	9.495	169,117	10%	92.708,19	1,582	260,066	4.653,20	0,19151	3,4761	0,0898	16.190,09	31.062,82	20,10
3,032	158.592	143.376	15.216	268,839	10%	69.531,14	1,582	206,601	2.772,44	0,19151	3,4761	0,1213	9.669,84	29.319,56	21,30
4,358	165.677	143.376	22.301	390,678	10%	55.624,92	1,582	172,824	1.855,34	0,19151	3,4761	0,1520	6.508,72	28.364,22	22,01
5,885	174.089	143.376	30.713	533,799	10%	46.354,10	1,582	149,369	1.336,28	0,19151	3,4761	0,1816	4.741,94	27.905,84	22,38

Fuente: Elaboración propia

6.2.3 Precalentador. Una vez ha sido caracterizado el comportamiento térmico del aire caliente después del sobrecalentador y el vaporizador se posee toda la información requerida para dimensionar el área de transferencia requerida para el precalentador. La metodología de cálculo es exactamente igual a la del sobrecalentador, únicamente cambian los valores de las propiedades de los fluidos en el precalentador.

Se inicia definiendo los coeficientes de transferencia de calor por convección del sistema; para el aire caliente el número de Nusselt estará determinado por la correlación de Dittus y Boelter para fluidos siendo enfriados ( $n = 0,3$ ) en fenómenos de flujo interno turbulento para tuberías dado por;

$$Nu_{aire-p} = 0,023 (Re_{aire-p})^{0,8} (Pr_{aire-p})^{0,3}$$

Dónde;

$Nu_{aire-p}$  : Número Nusselt del aire caliente al interior del precalentador

$Re_{aire-p}$  : Número Reynolds del aire caliente en el precalentador

$Pr_{aire-p}$  : Número Prandtl del aire caliente en el precalentador

El número de Reynolds del aire caliente en el precalentador viene determinado por;

$$Re_{aire-p} = \frac{2r_{int-p}V_{Int-p}}{\vartheta_{aire-p}}$$

Dónde;

$r_{int-p}$  : Radio interno de la tubería del precalentador

$\vartheta_{aire-p}$  : Viscosidad cinemática del aire caliente al interior del precalentador

$V_{Int-p}$  : Velocidad aire caliente a la entrada del precalentador

El número de Prandtl del aire caliente en el precalentador viene determinado por;

$$Pr_{aire-s} = \frac{\mu_{aire-p} Cp_{aire-p}}{k_{aire-p}}$$

Dónde;

$\mu_{aire-p}$  : Viscosidad dinámica del aire caliente al interior del precalentador

$Cp_{aire-p}$  : Calor específico del aire caliente al interior del precalentador

$k_{aire-p}$  : Coeficiente conductividad del aire caliente al interior del precalentador

Una vez obtenido el número de Nusselt para el aire caliente, se procede a calcular su coeficiente convección dentro del precalentador;

$$Nu_{aire-p} = \frac{2 r_{int-p} h_{aire-p}}{k_{aire-p}} \rightarrow h_{aire-s} = \frac{k_{aire-p} Nu_{aire-p}}{2 r_{int-p}}$$

Dónde;

$Nu_{aire-p}$  : Número Nusselt del aire caliente al interior del precalentador

$r_{int-p}$  : Radio interno de la tubería del precalentador

$h_{aire-p}$  : Coeficiente convección del aire caliente al interior del precalentador

$k_{aire-p}$  : Coeficiente conductividad del aire caliente al interior del precalentador

Para poder realizar los cálculos del coeficiente del agua subenfriada se realizará con la gama de diámetros de tubería permisibles para intercambiadores de calor que va en el rango desde ½ pulgadas hasta 3 pulgadas. Al final del análisis se obtendrá como área requerida para el proceso del precalentador aquella cuyo valor sea más alto.

El número de Nusselt para el fenómeno de transferencia de calor del agua subenfriada, estará determinado por la correlación de Dittus y Boelter para fluidos siendo calentados ( $n = 0,4$ ) en fenómenos de flujo interno turbulento para tuberías dado por;

$$Nu_{agua-p} = 0,023 (Re_{agua-p})^{0,8} (Pr_{agua-p})^{0,4}$$

Dónde;

$Nu_{agua-p}$  : Número Nusselt del agua subenfriada en el precalentador

$Re_{agua-p}$  : Número Reynolds del agua subenfriada en el precalentador

$Pr_{agua-p}$  : Número Prandtl del agua subenfriada en el precalentador

El número de Reynolds del agua subenfriada en el precalentador será;

$$Re_{agua-p} = \frac{2 r_{tube-p} V_{tube-p}}{\vartheta_{agua-p}}$$

Dónde;

$Re_{agua-p}$  : Número Reynolds del agua subenfriada en el precalentador

$r_{tube-p}$  : Radio interno de la tubería de agua subenfriada en el precalentador

$\vartheta_{vapor-p}$  : Viscosidad cinemática del agua subenfriada en el precalentador

$V_{tube-s}$  : Velocidad del agua subenfriada en la tubería del precalentador

El número de Prandtl para el agua subenfriada en el precalentador viene determinado por;

$$Pr_{agua-p} = \frac{\mu_{agua-p} Cp_{agua-p}}{k_{agua-p}}$$

Dónde;

$Pr_{agua-p}$  : Número Prandtl del agua subenfriada en el precalentador

$\mu_{agua-p}$  : Viscosidad dinámica del agua subenfriada en el precalentador

$Cp_{agua-p}$  : Calor específico del agua subenfriada en el precalentador

$k_{agua-p}$  : Coeficiente de conductividad del agua subenfriada en el precalentador

Una vez obtenido el número de Nusselt para el agua subenfriada, se procede a calcular su coeficiente de convección dentro del precalentador;

$$Nu_{agua-p} = \frac{2 r_{tubo-p} h_{agua-p}}{k_{agua-p}} \quad \rightarrow \quad h_{agua-p} = \frac{k_{agua-p} Nu_{agua-p}}{2 r_{tubo-p}}$$

Dónde;

$Nu_{agua-p}$  : Número Nusselt del agua subenfriada en el precalentador

$r_{tubo-p}$  : Radio interno de la tubería de agua subenfriada en el precalentador

$h_{agua-p}$  : Coeficiente de convección del agua subenfriada al interior del precalentador

$k_{agua-p}$  : Coeficiente de conductividad del agua subenfriada en el precalentador

Una vez se han obtenidos los coeficientes de convección de los dos fluidos involucrados en el intercambio de calor, se procede a realizar el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor del precalentador.

Para este fin se desprecian las pérdidas de calor por conducción de la tubería por donde circula el agua subenfriada, de tal forma que el coeficiente queda definido de la siguiente manera;

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{h_{aire-p}} + \frac{1}{h_{agua-p}}}$$

Dónde;

$U_s$  : Coeficiente global de transferencia de calor del precalentador

$h_{aire-p}$  : Coeficiente de convección del aire caliente al interior del precalentador

$h_{vapor-p}$  : Coeficiente de convección del agua subenfriada al interior del precalentador

Una vez calculado el coeficiente global de transferencia de calor se procede a realizar el cálculo de la temperatura de salida del aire caliente sabiendo que la transferencia de calor total para el calentamiento del agua subenfriada estará determinada por;

$$Q_{req-p} = \dot{m}_{agua} C_{p_{agua-p}} (T_{s-agua} - T_{e-agua})$$

Dónde;

$Q_{req-p}$  : Transferencia de calor requerida en el precalentador

$\dot{m}_{agua}$  : Flujo másico del agua subenfriada en el precalentador

$C_{p_{agua-p}}$  : Calor específico del agua subenfriada en el precalentador

$T_{e-agua}$  : Temperatura del agua subenfriada a la entrada del precalentador

$T_{s-agua}$  : Temperatura del agua subenfriada a la salida del precalentador

Una vez obtenida la transferencia de calor requerida para realizar el sobrecalentamiento del agua subenfriada, se procede a calcular la temperatura de salida del aire caliente del precalentador;

$$Q_{req-p} = \dot{m}_{aire} C_{p_{aire-p}} (T_{e-aire} - T_{s-aire})$$

$$T_{s-aire} = T_{e-aire} - \frac{Q_{req-p}}{\dot{m}_{aire} C_{p_{aire-p}}}$$

Dónde;

$Q_{req-p}$  : Transferencia de calor requerida en el precalentador

$\dot{m}_{aire}$  : Flujo másico del aire caliente en el precalentador

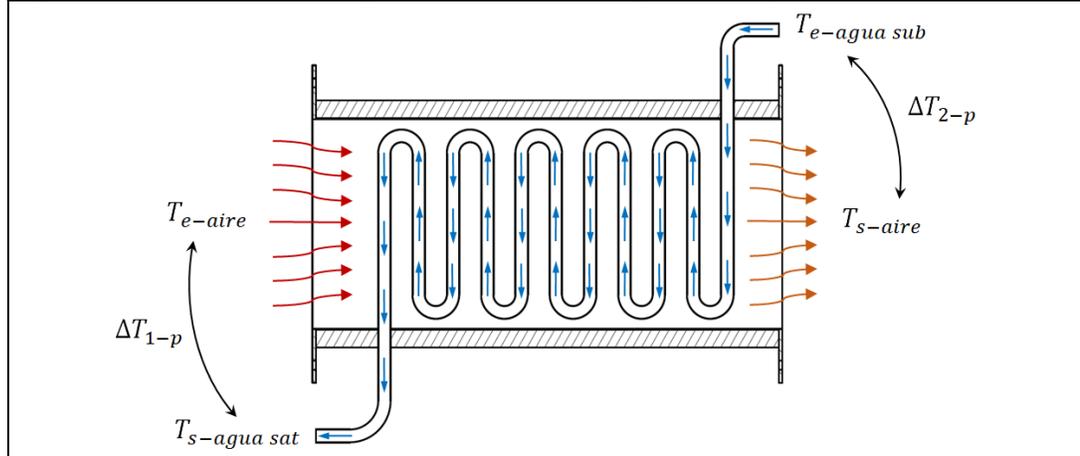
$C_{p_{aire-p}}$  : Calor específico del aire caliente en el precalentador

$T_{e-aire}$  : Temperatura del aire a la entrada del precalentador

$T_{s-aire}$  : Temperatura del aire a la salida del precalentador

Conociendo la temperatura de salida del aire caliente del intercambiador de calor se procede a calcular la diferencia de temperaturas media logarítmica del precalentador sabiendo que su funcionamiento es contraflujo como lo presenta la figura 15;

Figura 15. Diferencia temperaturas media logarítmica precalentador



Fuente: Elaboración propia

$$\Delta T_{ml-p} = \frac{\Delta T_{1-s} - \Delta T_{2-s}}{\ln(\Delta T_{1-s} / \Delta T_{2-s})}$$

$$\Delta T_{1-p} = T_{e-aire} - T_{s-agua}$$

$$\Delta T_{2-p} = T_{s-aire} - T_{e-agua}$$

Dónde;

$\Delta T_{ml-s}$  : Diferencia de temperaturas media logarítmica del precalentador

$T_{e-aire}$  : Temperatura del aire caliente a la entrada del precalentador

$T_{s-aire}$  : Temperatura del aire caliente a la salida del precalentador

$T_{e-agua}$  : Temperatura del agua subenfriada a la entrada del precalentador

$T_{s-agua}$  : Temperatura del agua subenfriada a la salida del precalentador

Una vez calculada la temperatura media logarítmica, se tiene que la transferencia de calor en el precalentador (Intercambiador de flujo cruzado) estará determinada por;

$$Q_{req-p} = U_p A_p F \Delta T_{ml-p}$$

Dónde;

$Q_{req-p}$  : Transferencia de calor requerida en el precalentador

$U_p$  : Coeficiente global de transferencia de calor del precalentador

$A_p$  : Área de transferencia de calor requerida en el precalentador

$F$  : Factor de corrección para intercambiadores de flujo cruzado

$\Delta T_{ml-p}$  : Diferencia de temperaturas media logarítmica del precalentador

El factor de corrección para intercambiadores de flujo cruzado se puede obtener de la figura 11.

Finalmente se tiene que el área de transferencia de calor requerido para el precalentador estará dada por;

$$A_{req-pre} = \frac{Q_{req-p}}{U_p F \Delta T_{ml-p}}$$

Dónde;

$A_{req-pre}$  : Área transferencia requerida en el precalentador

A continuación, se presenta el detalle de los cálculos paso a paso para un diámetro de tubería de agua subenfriada de ½ pulgada, los resultados para los demás diámetros se presentarán en el cuadro 13.

Se calcula el coeficiente de película del aire caliente analizando las propiedades a 177°C que es la máxima temperatura de entrega posible después del proceso de vaporización. Se inicia calculando Reynolds;

$$Re_{aire-p} = \frac{2r_{int-p} V_{Int-p}}{\vartheta_{aire-p}} \rightarrow Re_{aire-p} = \frac{2 * 0,5m * \left( \frac{0,90 \text{ Kg/s}}{(2\pi * (0,5m)^2 * 0,779 \text{ Kg/m}^3)} \right)}{3,092 \text{ E}^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re_{aire-p} = 23.787,33$$

Se procede a calcular Prandtl;

$$Pr_{aire-p} = \frac{\mu_{aire-p} C_{p_{aire-p}}}{k_{aire-p}} \rightarrow Pr_{aire-p} = \frac{(2,463 \text{ E}^{-5} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2) * (1.019 \text{ J}/\text{Kg} \cdot \text{K})}{2,579 \text{ E}^{-2} \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$Pr_{aire-p} = 0,97$$

Se procede a calcular el número de Nusselt para el aire caliente;

$$Nu_{aire-p} = 0,023 (Re_{aire-p})^{0,8} (Pr_{aire-p})^{0,3}$$

$$Nu_{aire-p} = 0,023 (23.787,33)^{0,8} (0,97)^{0,3} \rightarrow Nu_{aire-p} = 72,32$$

Se procede a calcular el coeficiente de convección del aire caliente dentro del precalentador;

$$h_{aire-p} = \frac{k_{aire-p} Nu_{aire-p}}{2 r_{int-p}} \rightarrow h_{aire-p} = \frac{2,579 E^{-2} W/m \cdot K * 72,32}{2 * 0,5m}$$

$$h_{aire-s} = 1,865 W/m^2 \cdot K$$

Se calcula el coeficiente de película del agua subenfriada analizando las propiedades a 15 °C que es la temperatura de entrega posible por la tubería de agua subenfriada proveniente del sistema de suministro y se iniciará suponiendo un diámetro inicial de la tubería de ½ pulgada. Se inicia calculando Reynolds;

$$Re_{agua-p} = \frac{2 r_{tube-p} V_{tube-p}}{\vartheta_{agua-p}}$$

$$Re_{agua-p} = \frac{2 * \frac{1,27E^{-2}}{2} m * \left( \frac{0,25 Kg/s}{(2\pi * \left(\frac{1,27E^{-2} m}{2}\right)^2 * 1001 Kg/m^3)} \right)}{1,134 E^{-6} m^2/s}$$

$$Re_{agua-p} = 11.040,01$$

El número de Prandtl para el agua subenfriada en el precalentador será igual a;

$$Pr_{agua-p} = \frac{\mu_{agua-p} Cp_{agua-p}}{k_{agua-p}}$$

$$Pr_{agua-p} = \frac{(1,135 E^{-6} N \cdot s/m^2) * (4.184 J/Kg \cdot K)}{5,914 E^{-1} W/m \cdot K}$$

$$Pr_{agua-p} = 0,0083$$

Se procede a calcular el número de Nusselt para el agua subenfriada;

$$Nu_{agua-p} = 0,023 (Re_{agua-p})^{0,8} (Pr_{agua-p})^{0,4}$$

$$Nu_{agua-p} = 0,023 (11.040,01)^{0,8} (0,0083)^{0,3} \rightarrow Nu_{agua-p} = 9,279$$

Se procede a calcular el coeficiente de convección del agua subenfriada dentro del precalentador;

$$h_{agua-p} = \frac{k_{agua-p} Nu_{agua-p}}{2 r_{tube-p}} \rightarrow h_{agua-p} = \frac{5,914 E^{-1} W/m \cdot K * 9,279}{2 * \frac{1,27 E^{-2}}{2} m}$$

$$h_{agua-p} = 432,12 W/m^2 \cdot K$$

Se procede a realizar el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor del precalentador.

$$U_p = \frac{1}{\frac{1}{h_{aire-p}} + \frac{1}{h_{agua-p}}} \rightarrow U_p = \frac{1}{\frac{1}{1,865 W/m^2 \cdot K} + \frac{1}{432,12 W/m^2 \cdot K}}$$

$$U_p = 1,857 W/m^2 \cdot K$$

Se procede a realizar el cálculo de la transferencia de calor total requerida para el calentamiento del agua subenfriada sabiendo que el agua subenfriada deberá ser calentado hasta los 110°C;

$$Q_{req-p} = \dot{m}_{agua} C_{p_{agua-p}} (T_{s-agua} - T_{e-agua})$$

$$Q_{req-p} = 0,25 Kg/s * 4.184 J/Kg \cdot K * (110^\circ C - 15^\circ C) \rightarrow Q_{req-s} = 99.370 W$$

Se procede a calcular la temperatura de salida del aire caliente del precalentador sabiendo que la temperatura del aire caliente a la entrada del precalentador es de 177°C;

$$T_{s-aire} = T_{e-aire} - \frac{Q_{req-s}}{\dot{m}_{aire} C_{p_{aire-s}}}$$

$$T_{s-aire} = 177^\circ C - \frac{99.370 W}{0,90 Kg/s * 1.019 J/Kg \cdot K} \rightarrow T_{s-aire} = 68,65^\circ C$$

Se procede a calcular la diferencia de temperaturas media logarítmica del precalentador;

$$\Delta T_{1-p} = T_{e-aire} - T_{s-agua} \rightarrow \Delta T_{1-p} = 177^\circ C - 110^\circ C \rightarrow \Delta T_{1-p} = 67^\circ C$$

$$\Delta T_{2-p} = T_{s-aire} - T_{e-agua} \rightarrow \Delta T_{2-p} = 68,65^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T_{2-p} = 53,65^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{ml-p} = \frac{\Delta T_{1-p} - \Delta T_{2-p}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{1-p}}{\Delta T_{2-p}}\right)} \rightarrow \Delta T_{ml-p} = \frac{67^{\circ}\text{C} - 53,65^{\circ}\text{C}}{\ln\left(\frac{67^{\circ}\text{C}}{53,65^{\circ}\text{C}}\right)}$$

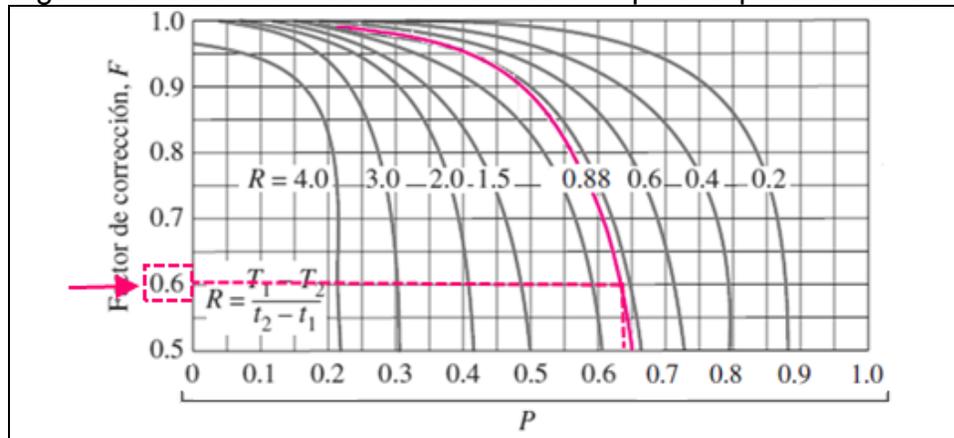
$$\Delta T_{ml-s} = 60,08^{\circ}\text{C}$$

Se procede a calcular el factor de corrección para intercambiadores de flujo cruzado en este caso particular para el sobre calentador:

$$R = \frac{T_{e-agua} - T_{s-agua}}{T_{s-aire} - T_{e-aire}} \rightarrow R = \frac{15^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}}{68,87^{\circ}\text{C} - 177^{\circ}\text{C}} \rightarrow R = 0,88$$

$$P = \frac{T_{s-aire} - T_{e-aire}}{T_{e-agua} - T_{s-aire}} \rightarrow P = \frac{68,87^{\circ}\text{C} - 177^{\circ}\text{C}}{15^{\circ}\text{C} - 68,87^{\circ}\text{C}} \rightarrow P = 0,67$$

Figura 16. Obtención factor de corrección F para el precalentador



Fuente: Elaboración propia

De la figura 16 se tiene que  $F = 0,6$

Finalmente, se calcula el área de transferencia de calor requerida haciendo uso de una tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada para el precalentamiento del agua subenfriada;

$$A_{req-p} = \frac{Q_{req-p}}{U_p F \Delta T_{ml-p}}$$

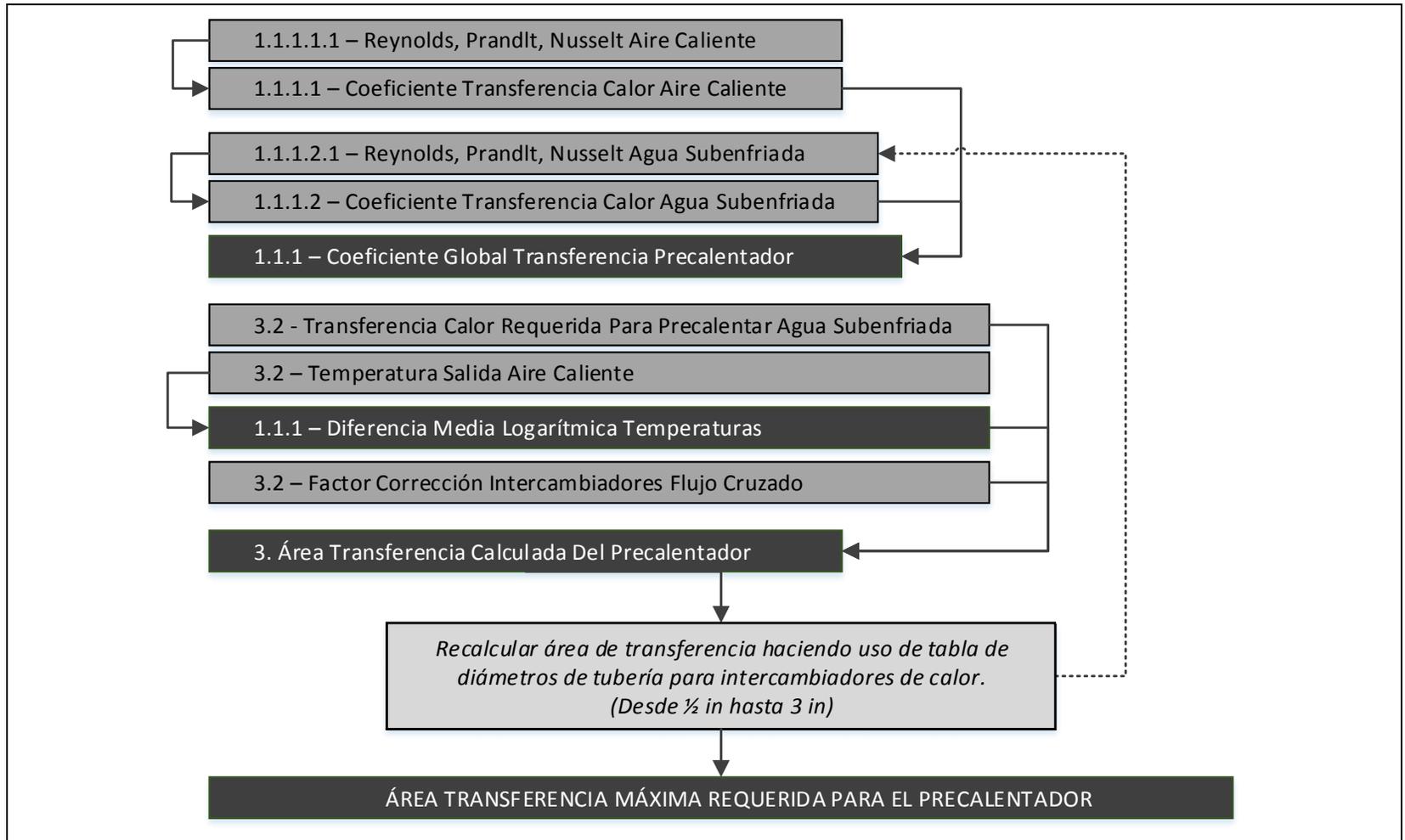
$$A_{req-p} = \frac{99.370 \text{ W}}{1,857 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 0,6 * 60,08^{\circ}\text{C}} \rightarrow A_{req-p} = 1.478,96 \text{ m}^2$$

El anterior procedimiento de cálculo se repite realizando la modificación del diámetro de la tubería de transporte de agua subenfriada desde ½ in hasta 3 in de acuerdo al flujo de cálculo del diagrama 6 y obteniendo los resultados presentados en el cuadro 13. De este último cuadro se tiene que la mayor área de transferencia requerida para el precalentador sería de 1959,02 m<sup>2</sup>, por lo que los futuros análisis del sistema se deberán contemplar haciendo uso de esta área de transferencia.

6.2.4 Análisis generación vapor. Habiendo definido claramente los procesos de transferencia de calor del sistema de recuperación, es posible realizar los análisis de comportamiento de la generación de vapor manteniendo como constantes las áreas máximas de transferencia de calor de cada equipo, el comportamiento de la pérdida de calor en la tubería de transporte del aire caliente, los coeficientes globales de transferencia tanto del aire como del agua-vapor y realizando la modificación de la temperatura de salida de la brasa del horno desde su valor más bajo (850°C) hasta su valor más alto registrado (1.000°C) así como el flujo másico de aire (0,90 kg/s a 1,78 kg/s).

Como fue expuesto en el Capítulo 4, la generación de vapor sobrecalentado se elabora como una solución a la incertidumbre de las pérdidas de calor desde el punto de generación al sitio de entrega al proceso, no obstante, es posible ejecutar una optimización de la generación haciendo uso de fluido de proceso no Vapor sobrecalentado cuyo Cp puede oscilar en un rango de 2.040-2.090 J/Kg °K, sino vapor saturado cuyos rangos de Cp se encuentran sobre los 2.190-2.250 J/Kg °K, lo que implicaría un mejor aprovechamiento de la energía térmica del aire y por consiguiente un mayor flujo de generación de vapor.

Diagrama 6. Flujo cálculo del precalentador



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 13. Diámetro tubería agua vs. área requerida precalentador

PROPIEDADES AIRE CALIENTE			PROPIEDADES AGUA SUBENFRIADA		
T <sub>e-aire</sub>	177,22	°C	T <sub>e-agua</sub>	15,00	°C
T <sub>s-aire</sub>	68,87	°C	T <sub>s-agua</sub>	110,00	°C
m <sub>aire</sub>	0,90	Kg/s	m <sub>agua</sub>	0,25	Kg/s
ρ <sub>aire-s</sub>	0,7790	Kg/m <sup>3</sup>	ρ <sub>agua-p</sub>	1001,00	Kg/m <sup>3</sup>
Caudal	1,155327	m <sup>3</sup> /s	Caudal	0,000250	m <sup>3</sup> /s
C <sub>p</sub> aire-s	1.019,00	J/Kg°K	C <sub>p</sub> vapor-s	4.184,00	J/Kg°K
δ <sub>aire-s</sub>	3,092E-05	m <sup>2</sup> /s	δ <sub>vapor-s</sub>	1,134E-06	m <sup>2</sup> /s
μ <sub>aire-s</sub>	2,463E-05	N-s/m <sup>2</sup>	μ <sub>vapor-s</sub>	1,135E-06	N-s/m <sup>2</sup>
k <sub>aire-s</sub>	2,579E-02	W/m·K	k <sub>vapor-s</sub>	5,914E-01	W/m·K
D <sub>Int-s</sub>	39,37	in	REQUERIMIENTOS DEL PRECALENTADOR		
	1000	mm	Q <sub>req-s</sub>	99.370,00	W
A <sub>Trn-s</sub>	1,570796	m <sup>2</sup>	ΔT <sub>1-s</sub>	67,22	°C
V <sub>Int-s</sub>	0,735504	m/s	ΔT <sub>2-s</sub>	53,87	°C
Re <sub>aire-s</sub>	23.787,33	-	ΔT <sub>ml-s</sub>	60,30	°C
Pr <sub>aire-s</sub>	0,97	-	R	0,88	-
Nu <sub>aire-s</sub>	72,32	-	P	0,67	-
h <sub>aire-s</sub>	1,865	W/m <sup>2</sup> ·K	Factor Convección F	0,6	-

CARACTERISTICAS TUBERIA AGUA SUBENFRIADA								CARACTERISTICAS PRECALENTADOR	
D <sub>Tuber-s</sub>		A <sub>Tubes-p</sub>	V <sub>agua-p</sub>	Re <sub>agua-p</sub>	Pr <sub>agua-p</sub>	Nu <sub>agua-p</sub>	h <sub>agua</sub>	U <sub>p</sub>	A <sub>req-p</sub>
in	mm	m <sup>2</sup>	m/s	-	-	-	W/m <sup>2</sup> ·K	W/m <sup>2</sup> ·K	m <sup>2</sup>
1/2	12,7	0,000253	0,985777	11.040,01	0,008030	9,279	432,108	1,857	1478,960
5/8	15,875	0,000396	0,630897	8.832,00	0,008030	7,762	289,171	1,853	1482,102
3/4	19,05	0,000570	0,438123	7.360,00	0,008030	6,709	208,271	1,849	1485,791
7/8	22,225	0,000776	0,321886	6.308,57	0,008030	5,930	157,806	1,843	1490,009
1	25,4	0,001013	0,246444	5.520,00	0,008030	5,330	124,091	1,838	1494,738
1 1/4	31,75	0,001583	0,157724	4.416,00	0,008030	4,458	83,043	1,824	1505,679
1 1/2	38,1	0,002280	0,109531	3.680,00	0,008030	3,853	59,810	1,809	1518,526
2	50,8	0,004054	0,061611	2.760,00	0,008030	3,061	35,636	1,772	1549,679
2 1/2	63,5	0,006334	0,039431	2.208,00	0,008030	2,561	23,848	1,730	1587,777
3	76,2	0,009121	0,027383	1.840,00	0,008030	2,213	17,176	1,682	1632,514

Fuente: Elaboración propia

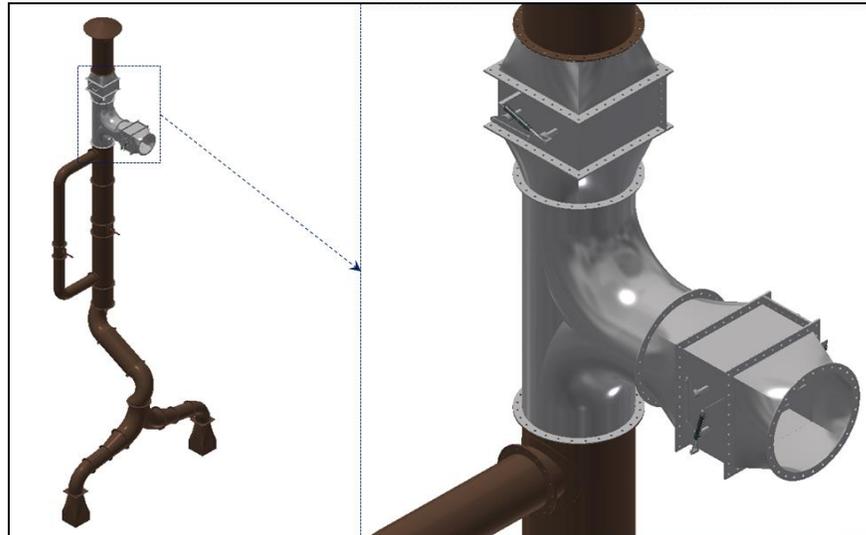
## 7. DISEÑO SISTEMA TRANSPORTE DE AIRE CALIENTE

Una vez definidos las necesidades térmicas del proceso se debe proceder a realizar el diseño de los componentes del sistema de transporte del aire caliente desde la brasa del horno hasta el área designada para realizar el proceso de recuperación. Si bien en el mercado existentes muchos componentes estandarizados para este tipo de sistemas, debido a las grandes dimensiones el sistema muchos de los componentes deberán diseñarse para garantizar un correcto ajuste a la aplicación.

### 7.1 DIRECCIONADOR CHIMENEA-TUBERÍA RECUPERACIÓN

El primer componente del sistema será la sección de tubería encargada de direccionar el aire proveniente de la brasa hacia la chimenea del medio ambiente o hacia el sistema de recuperación.

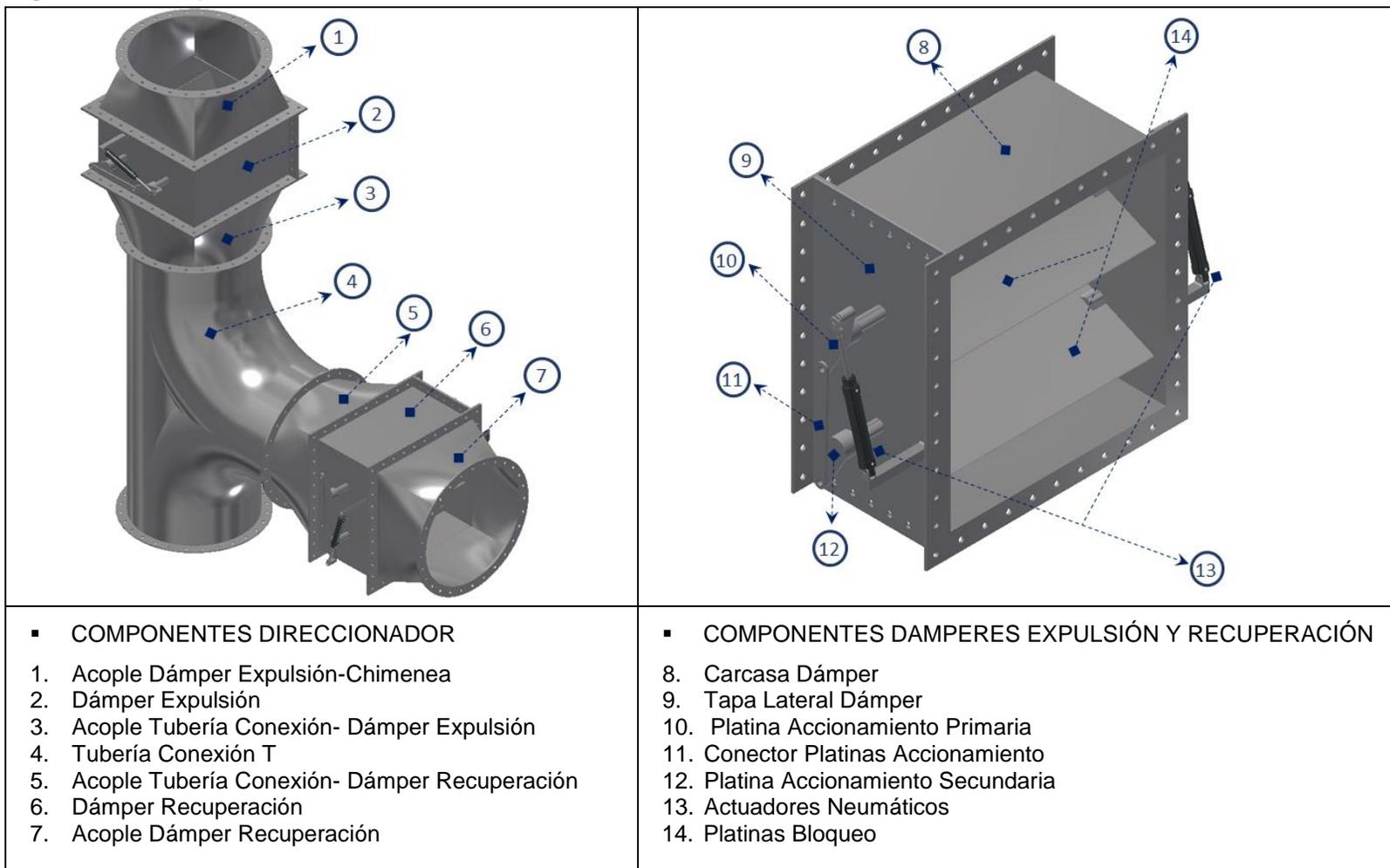
Figura 17. Direccionador chimenea - tubería recuperación



Fuente: Elaboración propia

Esta pieza está compuesta por una sección de tubería tipo T con dos dámperes de regulación de circulación de aire accionados por pistones neumáticos y sus respectivos acoples a la tubería de recuperación y chimenea (Figura 18); estos dámperes tendrán posición de completamente abiertos o completamente cerrados debido a que uno de los requerimientos del proceso es que la regulación de presión de la brasa debe seguirse garantizando por las válvulas que actualmente ya tiene el sistema y se encuentran justo antes del punto de conexión del direccionador.

Figura 18. Componentes direccionador chimenea-tubería

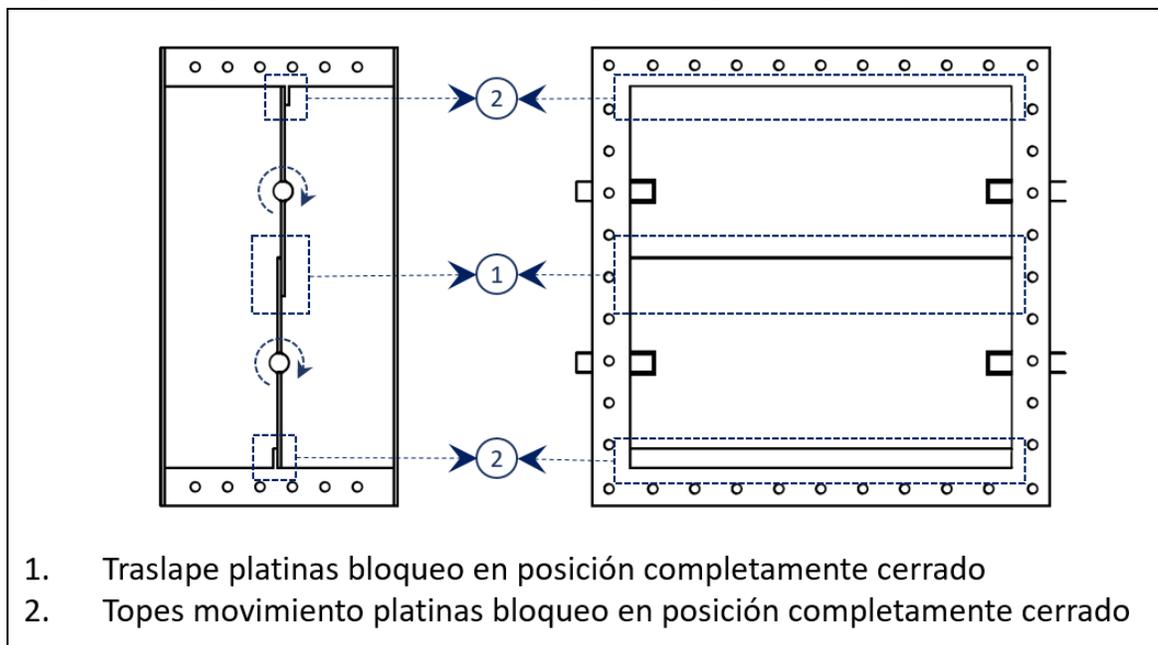


Fuente: Elaboración propia

Todos las extensiones y prolongaciones de la tubería se realizan del mismo material de la tubería de extracción de la brasa, Acero SAE 304 de espesor 6 mm y por un diseño basado en los requerimientos geométricos y de acople entre las tuberías, los dámpers, y la chimenea, el detalle de cada una de estas piezas se encuentra en los planos de fabricación y ensamble del anexo M.

Para el diseño de los dámpers de expulsión y de extracción el principal requerimiento es que deben garantizar completa hermeticidad en su posición cerrado, por lo que para garantizar esta condición se define que el dámper se realizará en sección cuadrada de lado de la sección interna igual al diámetro interno de la tubería (1000 mm) y funcionará con dos platinas de bloqueo traslapadas y con topes de movimiento para la posición completamente cerrados (Figura 19).

Figura 19. Esquema funcionamiento dámpers expulsión y recuperación



Fuente: Elaboración Propia

En busca de poder calcular la resistencia mecánica para el diseño de esta pieza se analiza la condición crítica en la que el sistema debe soportar toda la carga proveniente del flujo de aire siendo bloqueado para ser recirculado hacia el sistema de recuperación.

Para obtener la componente de fuerza total aplicada sobre las platinas de bloqueo, se realiza el análisis a la temperatura de operación más baja registrada por el sistema (750°C) para así garantizar que cuando el aire es más denso, el sistema tendrá un comportamiento adecuado, obteniendo que la carga total sobre las dos platinas de bloqueo será;

$$F_{aire} = A_{tub} \rho_{aire} v_{aire}^2$$

$$F_{aire} = \left( \frac{\pi * (1,0 \text{ m})^2}{4} \right) * 0,345 \text{ Kg/m}^3 * \left( \frac{2,61 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (1,0 \text{ m})^2}{4}} \right)^2$$

$$F_{aire} = 2,99 \text{ N} \quad \rightarrow \quad F_{aire} \cong 3,00 \text{ N}$$

Dónde;

$F_{aire}$ : Fuerza aplicada por el flujo de aire caliente siendo redireccionado

$A_{tub}$ : Área de sección transversal de la tubería

$v_{aire}$ : Velocidad del aire caliente dentro de la tubería

Teniendo claro la fuerza que ejerce el aire caliente sobre las dos compuertas se supone como caso crítico para el diseño que toda la fuerza es recibida por una sola aleta y se procede a calcular el torque ejercido sobre el eje de soporte de la platina de bloqueo sabiendo que la platina tiene un alto total de 550 mm y su eje de giro se encuentra ubicado en el centro de esta altura;

$$T_{Plat} = F_{aire} \cdot l_{plat}$$

$$T_{Plat} = 3,00 \text{ N} * 0,225\text{m}$$

$$T_{Plat} = 0,675 \text{ Nm}$$

Dónde;

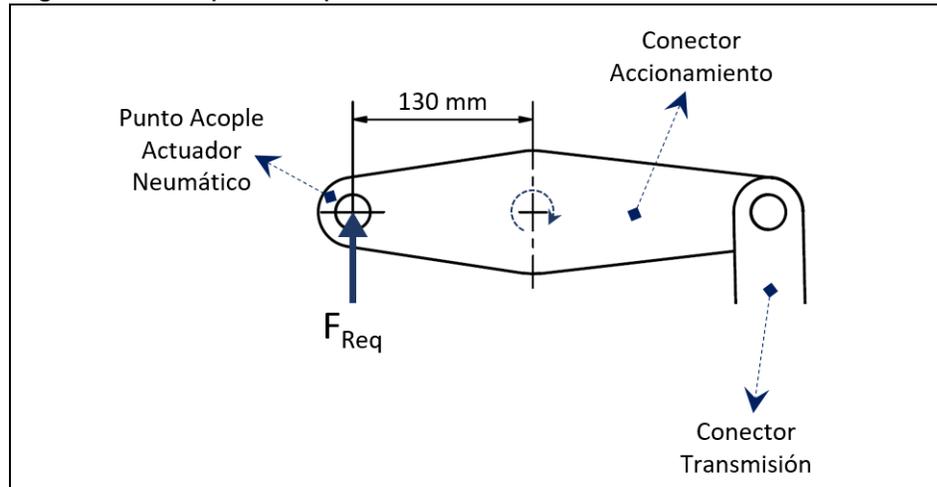
$T_{Plat}$ : Torque ejercido sobre el eje de soporte de la platina de bloqueo

$F_{aire}$ : Fuerza aplicada por el flujo de aire sobre la platina de bloqueo

$l_{plat}$ : Radio de giro de la platina de bloqueo

Una vez obtenido el torque al que está sometido el eje de soporte de la platina de bloqueo se procede a calcular la fuerza requerida en el punto de acople del actuador neumático que se encargará de realizar la activación del dämpner sabiendo que la fuerza ejercida deberá accionar las dos platinas de bloqueo y que la distancia entre el punto de acople del actuador neumático y eje de soporte de la platina están a 130mm (Figura 20); adicionalmente como el actuador neumático deberá vencer la inercia del sistema se deben adicionar los pesos de cada uno de los componentes que van a ser movilizadas de acuerdo al cuadro 14.

Figura 20. Esquema aplicación fuerza sistema accionamiento



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 14. Peso componentes sistema accionamiento

COMPONENTE	Kg	Cant.
Platinas Bloqueo	49,8	2
Platina Accionamiento Primaria	3,75	1
Conector Platinas Accionamiento	1,81	1
Platina Accionamiento Secundaria	2,98	1

Fuente: Elaboración propia

$$F_{Req} = \frac{2T_{plat}}{l_{acc}} + (2m_{pb} + m_{pa} + m_{cp} + m_{ps})g$$

$$F_{Req} = \frac{2 * 0,375 Nm}{0,130 m} + (2 * 49,8 Kg + 3,75 Kg + 1,81 Kg + 2,98 Kg) * 9,81 m/s^2$$

$$F_{Req} = 1.066,62 N$$

Dónde;

$l_{acc}$ : Longitud entre el punto de acople del actuador y eje de soporte platina bloqueo

$m_{pb}$ : Masa platinas de bloqueo

$m_{pa}$ : Masa platina accionamiento primaria

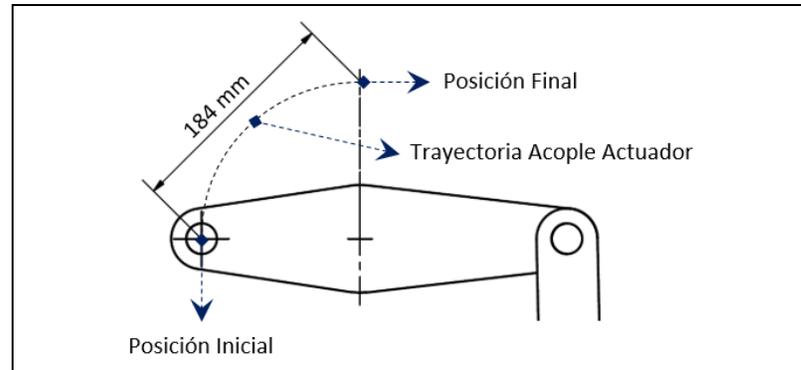
$m_{cp}$ : Masa conector platinas accionamiento

$m_{ps}$ : Masa platina accionamiento secundaria

$g$ : Gravedad

Una vez definida la fuerza necesaria perpendicular al radio de giro del conector de accionamiento para obtener el torque necesario en las platinas de bloqueo, se procede a seleccionar en el catálogo de actuadores neumáticos tipo cilindro de doble efecto de la compañía Festo un cilindro que cumpla con la longitud de desplazamiento requerida de 184mm (Figura 21);

Figura 21. Esquema desplazamiento requerido por el actuador

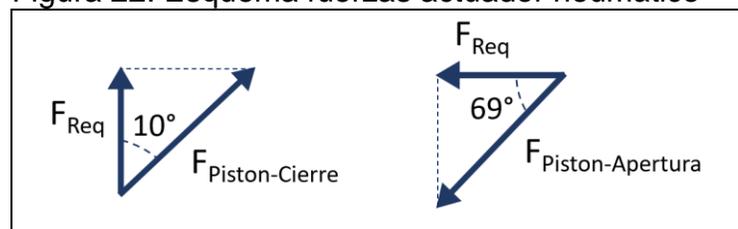


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo anterior se realiza la selección de un cilindro redondo con una carrera normalizada de 200mm, con detección de la posición por medio de sensores de proximidad. Con las anteriores características del actuador ya es posible determinar la posición donde se deberá anclar a la estructura de la válvula reguladora y de esta forma obtener el ángulo desde donde ejercerá la fuerza el pistón (Figura 23);

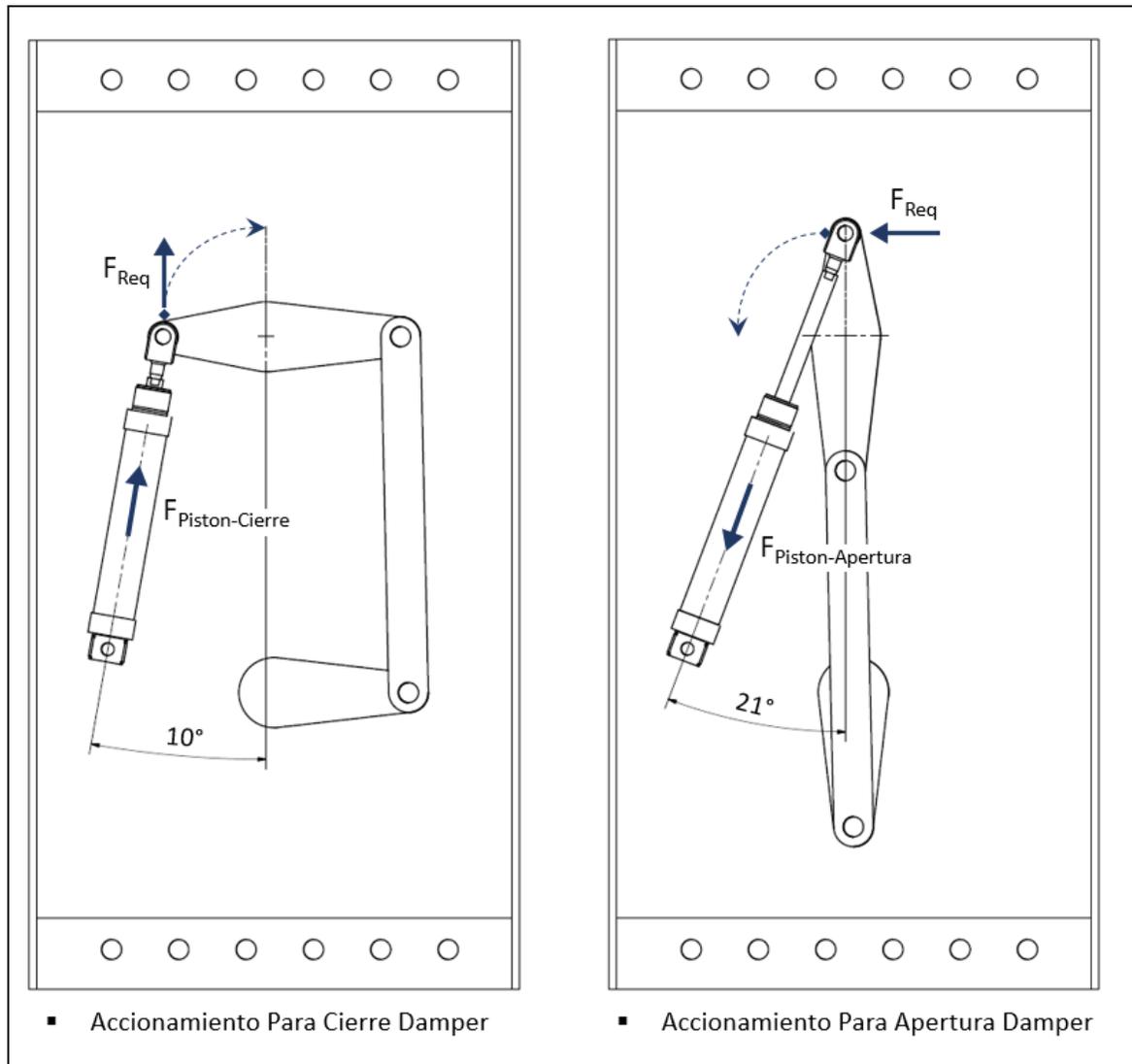
Para realizar los cálculos de fuerza requerida por el pistón y finalmente definir el diámetro del embolo requerido para el sistema se evalúan las fuerzas requerida en el pistón tanto en la apertura como en el cierre suponiendo que la fuerza requerida para las dos operaciones es la misma ( $F_{Req}$  calculada en la sección anterior) y de acuerdo al diagrama de fuerzas presentado en la Figura 22;

Figura 22. Esquema fuerzas actuador neumático



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Esquema operación actuador neumático



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo anterior se tiene que la fuerza del pistón al cierre será de;

$$F_{Piston-Cierre} = \frac{F_{Req}}{\cos(10^\circ)}$$

$$F_{Piston-Cierre} = \frac{1.066,62 \text{ N}}{\cos(10^\circ)}$$

$$F_{Piston-Cierre} = 1.083,07 \text{ N}$$

De acuerdo a lo anterior se tiene que la fuerza del pistón a la apertura será de;

$$F_{Piston-Apertura} = \frac{F_{Req}}{\cos(69^\circ)}$$

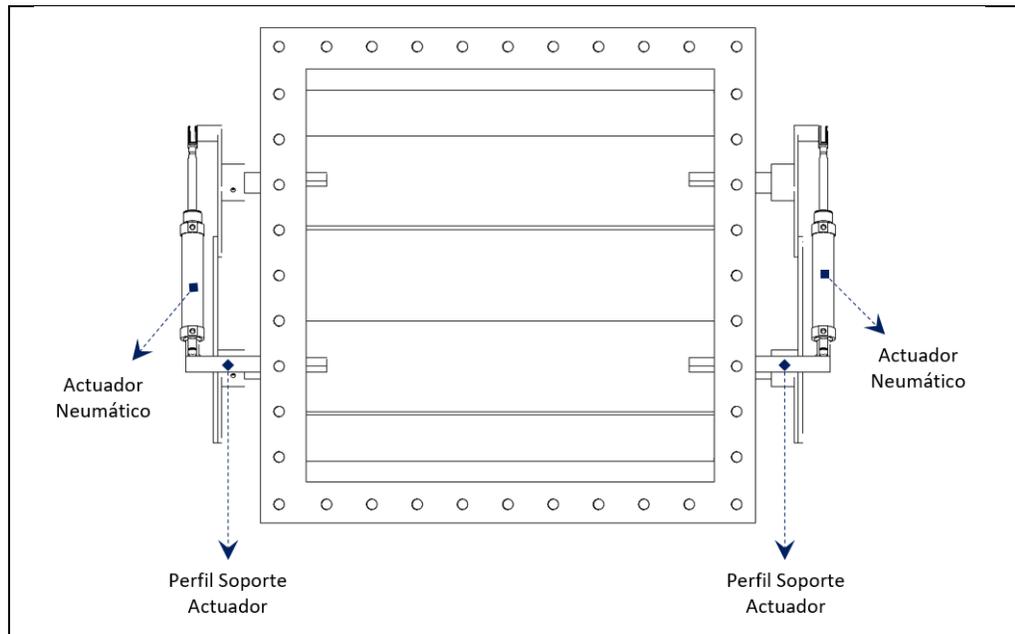
$$F_{Piston-Apertura} = \frac{1.066,62 \text{ N}}{\cos(69^\circ)}$$

$$F_{Piston-Apertura} = 2.976,32 \text{ N}$$

Al revisar el catalogo del actuador neumático seleccionado (Anexo C), se tiene que la máxima fuerza alcanzable para un pistón de la carrera seleccionada al retroceso (Apertura Dámper) es de 1.681,9 N y se requiere un diámetro de embolo de 63 mm a una presión de 6 bar. Sabiendo que el sistema neumático de la planta de utilidades puede entregar presiones de hasta 7 bar, se define que el sistema de regulación de flujo de aire, requerirá el uso de 2 pistones DNSU 63-200 P-A ubicados a cada costado del sistema tal y como se presenta en la Figura 24.

Finalmente se calcula la presión requerida para cada uno de los pistones sabiendo que, para la apertura del dámper, cada pistón deberá ejercer la mitad de la fuerza requerida para esta operación;

Figura 24. Esquema distribución actuadores neumáticos en válvula



Fuente: Elaboración propia

$$P_{Op-Damp} = \frac{F_{Piston-Apertura}}{2(A_{Emb} - A_{Vas})}$$

$$P_{Op-Damp} = \frac{2.976,32 \text{ N}}{2 \left( \frac{\pi * \left( \frac{63 \text{ mm} * m}{1.000 \text{ mm}} \right)^2}{4} - \frac{\pi * \left( \frac{15 \text{ mm} * m}{1.000 \text{ mm}} \right)^2}{4} \right)}$$

$$P_{Op-Damp} = \frac{2.976,32 \text{ N}}{2(2,94E^{-3} \text{ m}^2)}$$

$$P_{Op-Damp} = 506.176,87 \text{ Pa} = 5,10 \text{ Bar}$$

Dónde;

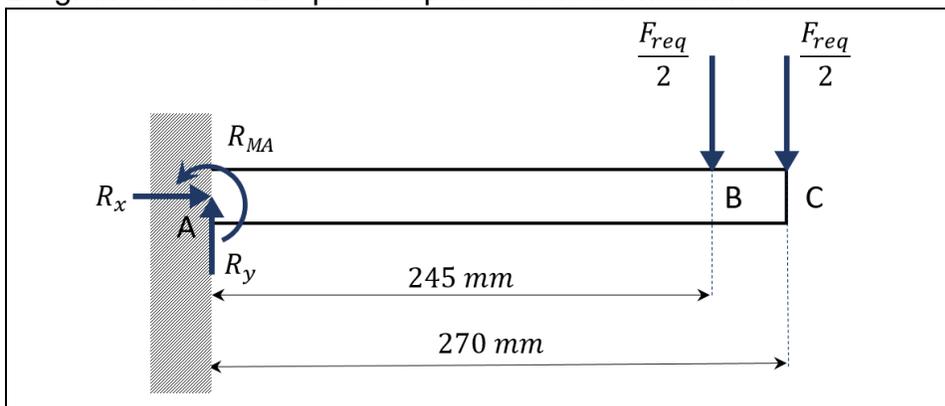
$P_{Op-Damp}$ : Presión de operación del aire comprimido del dámper

$A_{Emb}$ : Área del embolo del actuador neumático

$A_{Vas}$ : Área del vástago del actuador neumático

El pistón ira soportado sobre un perfil que ira anclado a la carcasa del Dámper, la longitud de este perfil será de 270 mm, que vienen determinados por la ubicación del punto de conexión de los actuadores y la longitud de los ejes de transmisión a las platinas de bloqueo del Dámper. Adicionalmente a lo anterior se tiene que el pistón tiene un punto de anclaje por unión de perno, que necesariamente deberá ir montado sobre dos platinas distribuyendo de esta manera la fuerza ejercida por el actuador neumático en el perfil de soporte en 2 componentes, una máxima vertical que se dará cuando el pistón cierra y una máxima horizontal que se dará cuando el pistón realiza su apertura, las dos de igual valor que corresponden a la fuerza requerida para accionar el sistema como se presentó en el diagrama 7.

Diagrama 7. Fuerzas perfil soporte actuador neumático



Fuente: Elaboración propia

Teniendo el diagrama de cuerpo libre presentado en el diagrama 7, se calculan las reacciones en el apoyo del perfil de soporte;

$$\sum \mathcal{U}^+ Fy = Ry - \frac{F_{req}}{2} - \frac{F_{req}}{2}$$

$$Ry = F_{req}$$

$$Ry = 1.066,62 \text{ N}$$

Dónde;

$Ry$ : Fuerza reacción en el eje Y en el punto A

$F_{Req}$ : Componente máxima de fuerza actuante sobre el perfil de soporte

$$\sum \mathcal{U}^+ Ma = R_{MA} - \left( \frac{F_{Req}}{2} \cdot 245 \text{ mm} \right) - \left( \frac{F_{Req}}{2} \cdot 270 \text{ mm} \right)$$

$$\sum \mathcal{U}^+ Ma = R_{MA} - \left( \frac{F_{Req}}{2} \cdot (245 \text{ mm} + 270 \text{ mm}) \right)$$

$$\sum \mathcal{U}^+ Ma = R_{MA} - \left( \frac{F_{Req}}{2} \cdot 515 \text{ mm} \right)$$

$$R_{MA} = \frac{F_{Req}}{2} \cdot 515 \text{ mm}$$

$$R_{MA} = \frac{1.066,62 \text{ N}}{2} \cdot 515 \text{ mm}$$

$$R_{MA} = 274.654,65 \text{ Nmm} = 274,65 \text{ Nm}$$

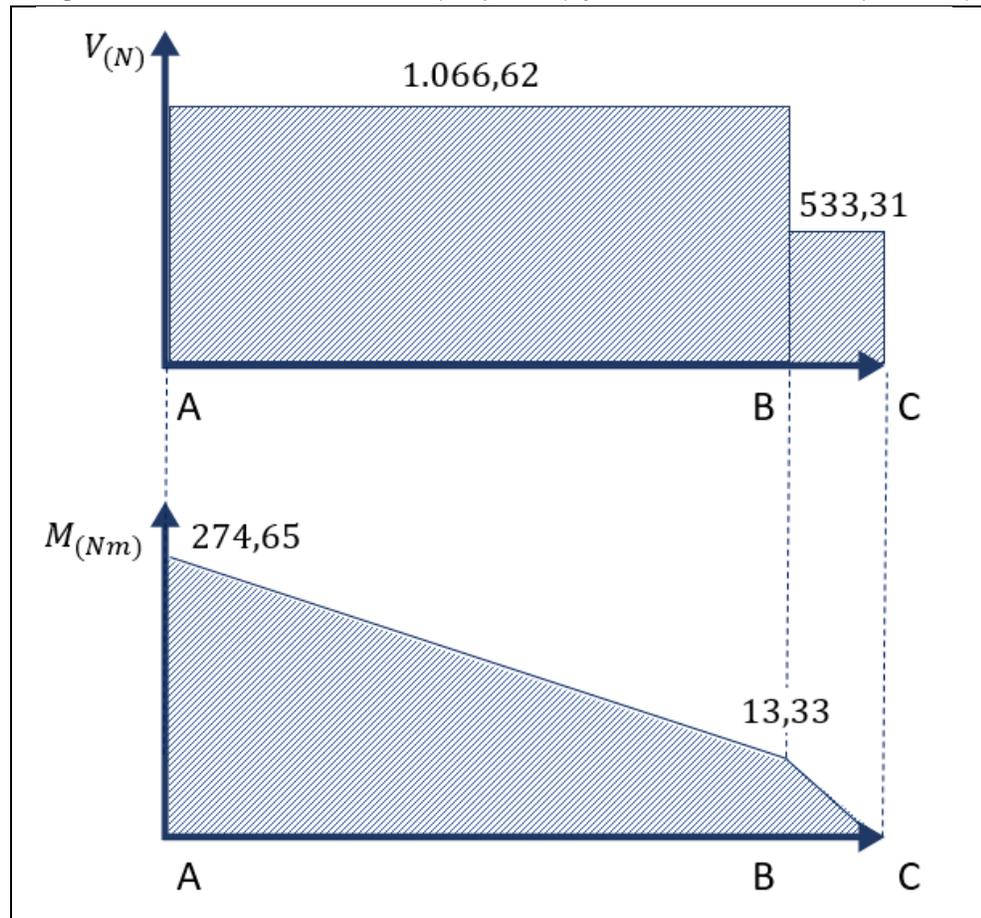
Dónde;

$R_{MA}$ : Momento reacción en el punto A

$F_{Req}$ : Componente máxima de fuerza actuante sobre el perfil de soporte

Una vez calculadas las reacciones en el apoyo se proceden a realizar los diagramas de cortante y momento flector que se presentan en el diagrama 8.

Diagrama 8. Fuerza Cortante (Superior) y Momento Flector (Inferior)



Fuente: Elaboración propia

Ahora de acuerdo al procedimiento establecido en el Diseño de elemento de máquinas de Mott<sup>4</sup>, se calcula la sección mínima requerida teniendo en cuenta que se utilizara para el perfil soporte del actuador neumático un acero ASTM A36 y un factor de seguridad de 2 ya que se conocen todos los esfuerzos, el entorno y las cargas a las que estará sometido;

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{250 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{perm} = 125 \text{ MPa}$$

<sup>4</sup> MOTT, Robert L. Análisis de esfuerzos y deformaciones. *Diseño de elementos de máquinas*. México D.F. Prentice Hall, pp.83, ISBN 970-26-0812-0

Dónde;

$\sigma_{Perm}$ : Esfuerzo permisible en el perfil soporte del actuador neumático

$\sigma_{Flu}$ : Limite de fluencia acero ASTM A36

$F.S.$ : Factor seguridad de la viga

Finalmente se tiene que la sección mínima requerida estará dada por;

$$S_{Min-Req} = \frac{M_{Fl-Max}}{\sigma_{Perm}}$$

$$S_{Min-Req} = \frac{274,65 Nm}{125 MPa}$$

$$S_{Min-Req} = 2,1972 E^{-6} m^3 = 2,20 cm^3$$

Donde;

$S_{Min-Req}$  = Modulo de sección mínimo requerido para el perfil de soporte

$M_{Fl-Max}$  = Momento flector máximo del sistema

Teniendo el módulo de sección mínimo requerido para el perfil de soporte y sabiendo que las platinas de soporte del perno de anclaje del actuador neumático tienen un ancho mínimo de 28 mm, se selecciona un perfil tipo L 1/4" x 1 1/2" (Figura 25) del catálogo de la compañía Perfiles y Vigas S.A.S (Anexo D).

Figura 25. Selección ángulo tipo americano de lados iguales

ÁNGULO TIPO AMERICANO DE LADOS IGUALES																
PERFILES EN L	Dimensiones y propiedades para el diseño															
	DIMENSIONES			DISTANCIAS DE LOS EJES			AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS							
	ALTURA=ALA		RADIOS						EJE X-X = Y-Y			EJE W-W			EJE Z-Z	
DESIGNACIÓN	h	s	r1	x=y	w	z	cm2	kg/mt	lx	Sx	rx	lx	m	lz	Sz	rz
	mm	mm	mm	cm	cm	cm			cm4	cm3	cm	cm4	cm	cm4	cm3	cm
L 1/4" X 1"	25.4	6.35	3.20	0.86	1.79	1.21	2.80	2.22	1.54	0.92	0.74	2.49	0.91	0.83	0.69	0.48
L 1/4" X 1 1/4"	31.75	6.35	4.70	1.02	2.24	1.44	3.72	2.86	3.21	1.49	0.94	4.99	1.16	1.24	0.86	0.60
L 1/4" X 1 1/2"	38.10	6.35	4.70	1.19	2.69	1.68	4.40	3.48	5.63	2.20	1.14	8.74	1.42	2.49	1.48	0.73

Fuente: PERFILES Y VIGAS. Catalogo Perfileria [Sitio WEB]. [04, abril, 2018].  
 Disponible en: <https://www.perfilesyvigas.com/images/stories/pdf/angulos.pdf>

Para definir la soldadura que unirá el perfil, se tiene que el material de los elementos base es acero estructural A36 el cual tiene una resistencia ultima a la tensión de 58.000 - 80.000 PSI, por lo que se procede a buscar un electrodo en el catálogo de la compañía West Arco (Anexo E) que tenga valores de resistencia cercanos (Figura 26).

Figura 26. Selección electrodo para la soldadura del perfil

 					
		WEST ARCO caso de no el ★ para pasa ac : Corrier dcep: Corri			
		CONSUMIBLES COMUNES PARA SOLDAR			
Especificación	Clasificación <b>AWS</b>	Nombre <b>WEST ARCO</b>	Características y Aplicaciones	Resistencia a la Tracción (psi)	Limite de Fluencia (psi)
<b>ELECTRODOS REVESTIDOS PARA SOLDAR            ACEROS INOXIDABLES (AWS A5.4)</b>	<b>E308L-15</b>	<b>CROMARCO 308L - 15</b>	El CROMARCO 308L-15 se usa para soldar aceros de las clases AISI 304 y 304L, en todas las posiciones, en especial en vertical ascendente.	75.000 90.000	
	<b>E308L-16</b>	<b>CROMARCO 308L - 16</b>	El CROMARCO 308L-16 se usa para soldar aceros de las clases AISI 304 y 304L. Puede emplearse también para la soldadura de aceros AISI 204, 301, 302, 308 y 308L.	75.000 90.000	
	<b>E309-16</b>	<b>CROMARCO 309 - 16</b>	Está diseñado para soldadura de aleaciones tipo 309, se usa en la unión de aceros al carbono con inoxidable. Tiene propiedades de resistencia a la corrosión a temperatura ambiente. Resiste la oxidación severa a alta temperatura. Es muy usado para unir aleaciones al 12% de cromo con aceros al carbono. Otra aplicación es la soldadura de Clad Steel, tipo AISI 304.	80.000 96.000	
	<b>E312-16</b>	<b>CROMARCO 312 - 16</b>	El Cromarco 312-16 se utiliza para la unión de aceros inoxidables con aceros al carbono y otros tipos de uniones disimiles. Se usa también como colchón para recubrimientos duros. En reconstrucción de dientes de engranajes, piñones, ejes, etc.	105.000 120.000	
	<b>E316L-16</b>	<b>CROMARCO 316L- 16</b>	Para soldar aceros inoxidables AISI 316 y 316L. La resistencia al "Pitting" hace esta aleación útil en la industria textil, de papel e industrias químicas.	70.000 90.000	
	<b>E347-16</b>	<b>CROMARCO 347-16</b>	Para soldar aceros inoxidables AISI 347 y 321. Pueden utilizarse también en las mismas aplicaciones del Cromarco 308L-16.	75.000 90.000	
	<b>E308L-16</b>	<b>CROMARCO 308L-16 PREMIUM</b>	El Cromarco 308L-16 se usa para soldar aceros de clase AISI 304 y 304L. Puede emplearse también para la soldadura de aceros AISI 204, 301, 302, 308 y 308L.	75.000 90.000	
	<b>E309L-16</b>	<b>CROMARCO 309L-16 PREMIUM</b>	Está diseñado para soldaduras de aleaciones tipo AISI 309L y 309. Se usa en la unión de aceros al carbono con inoxidable. Tiene propiedades de resistencia a la corrosión a temperatura ambiente. Resiste la oxidación severa a alta temperatura. Es muy usado para uniones disimiles entre los aceros inoxidables y aceros al carbono o de baja aleación. Otra aplicación es la unión de soldadura Clad Steel, Tipo AISI 304L y 304.	75.000 88.000	
	<b>E312-16</b>	<b>CROMARCO 312-16 PREMIUM</b>	El Cromarco 312-16 se utiliza para la unión de aceros inoxidables con aceros al carbono y otros tipos de uniones disimiles. Se usa también como colchón para recubrimientos duros. En reconstrucción de dientes de engranajes, piñones, ejes, etc.	105.000 120.000	
	<b>E316L-16</b>	<b>CROMARCO 316L-16 PREMIUM</b>	Para soldar aceros inoxidables AISI 316 y 316L. La resistencia al "Pitting" hace esta aleación útil en la industria textil, de papel e industrias químicas.	70.000 90.000	
	<b>E308L-16</b>	<b>WEST INOX 308L - 16</b>	El WEST INOX 308L se usa para soldar tanques, tuberías y reactores de acero inoxidable tipo AISI 304 y 304L. Puede emplearse también para la soldadura de aceros AISI 204, 301, 302, 308 y 308L.	75.000 85.000	
	<b>E309L-16</b>	<b>WEST INOX 309L - 16</b>	Está diseñado para la unión de aceros tipo AISI 309 y 309L. Se usa también para uniones disimiles entre aceros al carbono y aceros inoxidables. Tiene propiedades de resistencia a la corrosión a temperatura ambiente. Resiste la oxidación severa a alta temperatura. Se emplea también para la unión de Clad Steel tipos AISI 304L y 304, lo mismo que para recubrimiento de aceros al carbono.	75.000 85.000	

Fuente: WEST ARCO. Catalogo Electrodo [Sitio WEB]. [04, abril, 2018].

Disponible en:

<http://www.westarco.com/westarco/sp/support/documentation/upload/catalogo-resumido-westarco.pdf>

Como lo plantea el procedimiento de cálculo de soldaduras estáticas de Norton<sup>5</sup>, se procede a calcular el esfuerzo permisible para el electrodo;

$$\begin{aligned}\tau_{Perm-Ex} &= 0,30 \cdot Exx \\ \tau_{Perm-Ex} &= 0,30 \cdot 75.000 \text{ psi} \\ \tau_{Perm-Ex} &= 22.500 \text{ psi}\end{aligned}$$

Donde;

$\tau_{Perm-Ex}$  = Esfuerzo permisible del electrodo  
 $Exx$  = Resistencia a la tensión del electrodo

Debido a que la soldadura estará sometida a un esfuerzo de tipo cortante, se procede a calcular el área requerida de la soldadura para garantizar que cumpla con el esfuerzo permisible de la soldadura y resista la carga ejercida por el actuador neumático. Se selecciona como carga para el diseño la máxima soportada por el perfil de soporte del actuador (1.066,62 N = 239,79 Lbf);

$$\begin{aligned}\tau_{Perm-Ex} &= \frac{P_{Apl}}{A_{Sol}} \rightarrow A_{Sol} = \frac{P_{Apl}}{\tau_{Perm-Ex}} \\ A_{Sol} &= \frac{239,79 \text{ Lbf}}{22.500 \text{ psi}} \\ A_{Sol} &= 0,01065 \text{ in}^2\end{aligned}$$

Donde;

$\tau_{Perm-Ex}$  = Esfuerzo permisible del electrodo  
 $P_{Apl}$  = Fuerza aplicada a la soldadura  
 $A_{Sol}$  = Área requerida de soldadura

Se procede a calcular el ancho de garganta de la soldadura conociendo que la soldadura ira sobre el ala del perfil de soporte del actuador que tiene una longitud de 1,5 in;

$$A_{Sol} = L_{Sol} * t_{Sol} \rightarrow t_{Sol} = \frac{A_{Sol}}{L_{Sol}}$$

---

<sup>5</sup> NORTON, Robert L. Soldaduras. *Diseño de maquinaria*. México D.F. Prentice Hall, pp.83, ISBN 978-970-10-6884-7

$$t_{Sol} = \frac{0,01065 \text{ in}^2}{1,5 \text{ in}}$$

$$t_{Sol} = 7,104 E^{-3} \text{ in}$$

Donde;

$A_{Sol}$  = Área requerida de soldadura

$L_{Sol}$  = Longitud de soldadura

$t_{Sol}$  = Ancho de garganta de soldadura

Debido a que se trata de una soldadura en T, se tiene que será una soldadura en filete, por lo que se procede a calcular el ancho del filete para la soldadura;

$$w_{Sol} = \frac{t_{Sol}}{\cos(45^\circ)}$$

$$w_{Sol} = \frac{7,104 E^{-3} \text{ in}}{\cos(45^\circ)}$$

$$w_{Sol} = 0,010 \text{ in}$$

Donde;

$w_{Sol}$  = Ancho de filete de la soldadura

El perfil de soporte del actuador tiene un espesor de 6 mm (0,236 in) y de la figura 27 se tiene que para espesores de material base menores a 0,25 in, el tamaño mínimo del filete de la soldadura deberá ser de 0,125 in.

Figura 27. Filete mínimo de soldadura

Esesor del metal base (T)	Tamaño mínimo de la soldadura
<u>tamaño en pulgadas</u>	
$T \leq 1/4$	1/8
$1/4 < T \leq 1/2$	3/16
$1/2 < T \leq 3/4$	1/4
$3/4 < T$	5/16
<u>tamaños en mm</u>	
$T \leq 6$	3
$6 < T \leq 12$	5
$12 < T \leq 20$	6
$20 < T$	8

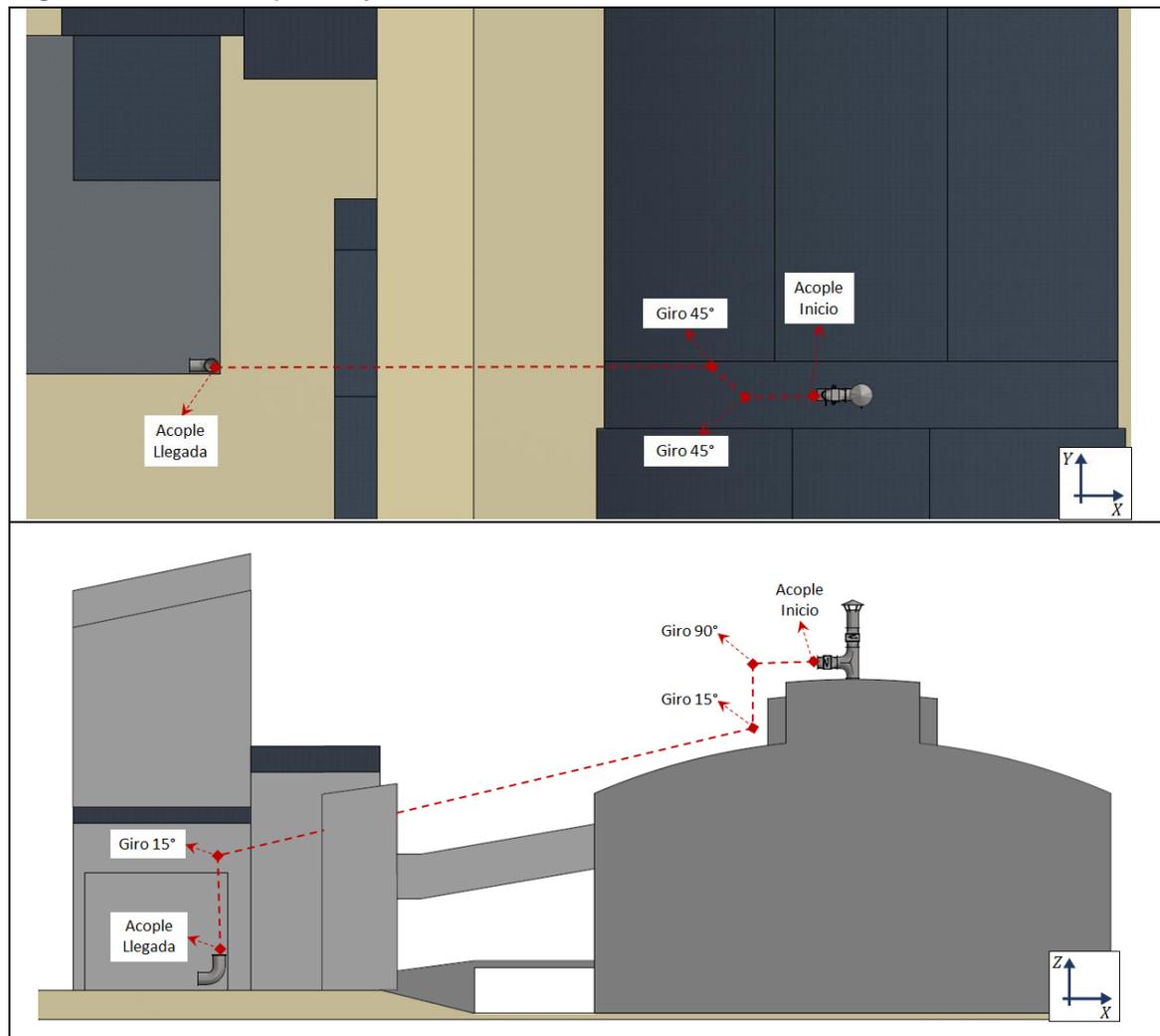
Fuente: NORTON, Robert L. Soldaduras. *Diseño de maquinaria*. México D.F. Prentice Hall, pp.83, ISBN 978-970-10-6884-7

Debido a que la soldadura analizada es la que soporta las cargas más críticas del equipo, cualquier otra soldadura que se requiera, deberá realizarse con ese electrodo y de mínimo el ancho de soldadura obtenido dependiendo del espesor del metal base.

## 7.2 TUBERÍA TRANSPORTE Y PERDIDAS DE PRESIÓN

7.2.1 Definición de recorrido y materiales. Para trazar el recorrido de la tubería de transporte se deben tener en cuenta los puntos de partida y llegada, así como las condiciones estructurales de los edificios cercanos para reducir la fabricación de componentes estructurales nuevos, por lo que se procede a trazar una ruta ideal de cual deberá ser el recorrido de la tubería procurando que se encuentre lo más cercano a los edificios y estructuras disponibles.

Figura 28. Vista superior y frontal del recorrido de la tubería



Fuente: Elaboración propia

Una vez definida la trayectoria y componentes de dirección requeridos, se verifica que comercialmente para la fabricación de las secciones de tubería recta será posible hacerlas de longitudes máximas de hasta 1.500 mm debido a las dimensiones de la chapa de material comercializadas y adicionalmente a que Saint-Gobain recomienda no hacer uniones o acoples con soldaduras para una misma sección de tubería de transporte de gases superiores a 1.500 mm de diámetro para evitar comprometer la estabilidad estructural de la sección durante el transporte o ensamble.

La cantidad de pernos de acople en las bridas de la tubería se mantendrá igual al de la tubería existente y en la sección del diseño de la estructura de soporte se realizará la verificación de la resistencia de los pernos de acuerdo al comportamiento que tenga la sección crítica en el sistema.

Finalmente, se procede a definir la altura de la nueva chimenea de expulsión del aire caliente una vez haya sido procesado en el sistema de recuperación sabiendo que la altura del edificio donde se llevará a cabo el proceso se estima sea de 6 metros de alto y de acuerdo al “Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas”<sup>6</sup>, del ministerio de medio ambiente de Colombia se establece que la altura de la chimenea será;

$$H_{Ch} = 2,5 H_{Edf} \rightarrow H_{Ch} = 2,5 * 6,00 \text{ m} \rightarrow H_{Ch} = 15,00 \text{ m}$$

Donde;

$H_{Ch}$  = Altura de la chimenea

$H_{Edf}$  = Altura del edificio de proceso

El detalle de los componentes de la tubería de transporte se presenta en el cuadro 15.

Cuadro 15. Componentes tubería transporte

COMPONENTE	Kg/UND	m <sup>2</sup> Aislar/UND	Cant.	Total m <sup>2</sup>	Total Kg
Sección Recta 1.500 mm	285	4,77	42	200,34	11.970
Sección Recta 820 mm	180	2,53	6	15,18	1.080
Sección Ángulo 90°	555	10,53	5	52,65	2.775
Sección Ángulo 45°	165	2,47	2	4,94	330
Sección Ángulo 15°	130	1,72	2	3,44	260

Fuente: Elaboración propia

<sup>6</sup> MINISTERIO AMBIENTE. Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. [Sitio WEB]. Bogotá D.C. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2EjlbIE>

Los pesos presentados en el cuadro 15 corresponden a los pesos de los componentes sin los acoples estructurales requeridos para cada componente, en la sección de diseño estructural se realizarán los componentes de acople para cada elemento y el detalle de los mismos podrá encontrarse en los planos anexos.

De igual forma es importante mencionar que Saint-Gobain hace uso de tuberías en acero AISI 304 para soportar altas temperaturas a lo largo de los elementos de ventilación, estructurales y ventilación en toda la línea Float por su excelente capacidad térmica sin deformación, para la aplicación puntual de transporte de aire caliente de este proyecto como se presentó en la sección 6.2.2 Vaporizador, donde se trató el tema de las temperaturas de pared dentro del intercambiador se evidencia que la temperatura que alcanza la pared de la tubería de aire no supera más de 150°C, temperatura muy inferior al punto de fusión del material.

Finalmente, debido a las altas temperaturas a las que estará expuesto el sistema se calcula la dilatación térmica a la que estará expuesta las secciones de tubería, teniendo en cuenta que debido a la gran cantidad de secciones que irán ancladas, la dilatación que predominará será de tipo longitudinal cuando se eleva la temperatura desde 15°C hasta 1.100°C;

$$l_f = l_0 \cdot (1 + \lambda \cdot \Delta T)$$

$$l_f = 1.500 \text{ mm} \cdot (1 + (1,73E^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 1.085^\circ\text{C})) \rightarrow l_f = 1.528,16 \text{ mm}$$

Donde;

$l_f$  = Longitud en operación

$l_0$  = Longitud nominal

$\lambda$  = Coeficiente dilatación térmica del acero SAE 304

$\Delta T$  = Delta de temperatura mínima y máxima de operación

Esta variación de 28,16 mm por sección de tubería, deberá ser tenida en cuenta en el ensamble estructural para evitar deformaciones de los componentes.

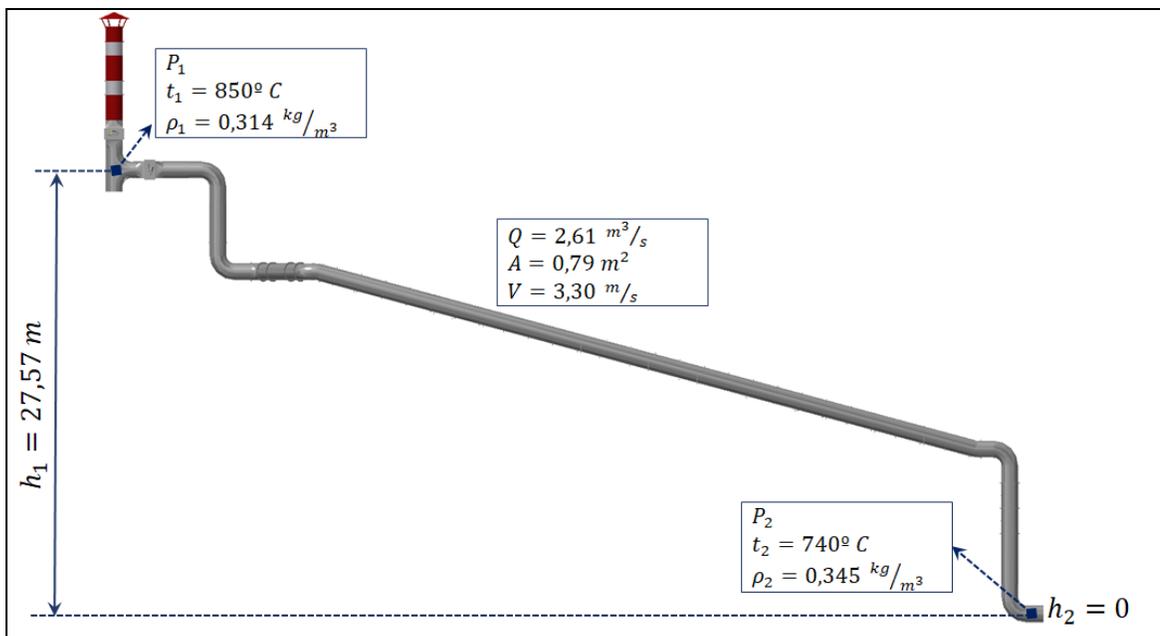
7.2.2 Perdidas de presión en la tubería. Una vez definidos el recorrido y los componentes de la tubería se proceden a calcular las perdidas primarias de presión del sistema haciendo uso de la ecuación general de la energía (Figura 29):

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 V^2 + \rho_1 g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 V^2 + \rho_2 g h_2$$

Donde;

- $P_1$  = Presión del sistema en punto de extracción
- $P_2$  = Presión del sistema en punto de recepción de los intercambiadores
- $\rho_1$  = Densidad del aire en punto de extracción
- $\rho_2$  = Densidad del aire en punto de recepción de los intercambiadores
- $h_1$  = Altura de punto de extracción
- $h_2$  = Altura de punto de recepción de los intercambiadores
- $g$  = Gravedad
- $V$  = Velocidad del aire en la tubería

Figura 29. Caracterización variables proceso para estudio perdidas de presión



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la ecuación general de energía y lo presentado en la Figura 29 se tiene;

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_1 V^2 + \rho_1 g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_2 V^2 + \rho_2 g h_2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho_2 V^2 + \rho_2 g h_2 - \frac{1}{2}\rho_1 V^2 - \rho_1 g h_1 \quad \rightarrow \quad \text{Sabido que } h_2 = 0$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{V^2}{2}(\rho_2 - \rho_1) - \rho_1 g h_1$$

$$\Delta P_{1-2} = \left( \frac{(3,30 \text{ m/s})^2}{2} (0,345 \text{ kg/m}^3 - 0,314 \text{ kg/m}^3) \right) - (0,314 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 27,57 \text{ m})$$

$$\Delta P_{1-2} = 0,17 \text{ Pa} - 84,92 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{1-2} = -84,75 \text{ Pa} = -8,65 \text{ mmH}_2\text{O} = -0,3402 \text{ inH}_2\text{O}$$

Una vez calculadas las perdidas anteriormente presentadas se produce a calcular las pérdidas de presión asociadas a los intercambiadores de calor del sistema recuperador.

7.2.3 Selección de ventilador extractor. Para seleccionar el ventilador apropiado para cubrir las pérdidas de presión de la tubería de transporte se busca dentro del catálogo de la compañía Chicago Blowers Corporation un ventilador de tipo axial que cumpla con los siguientes requerimientos;

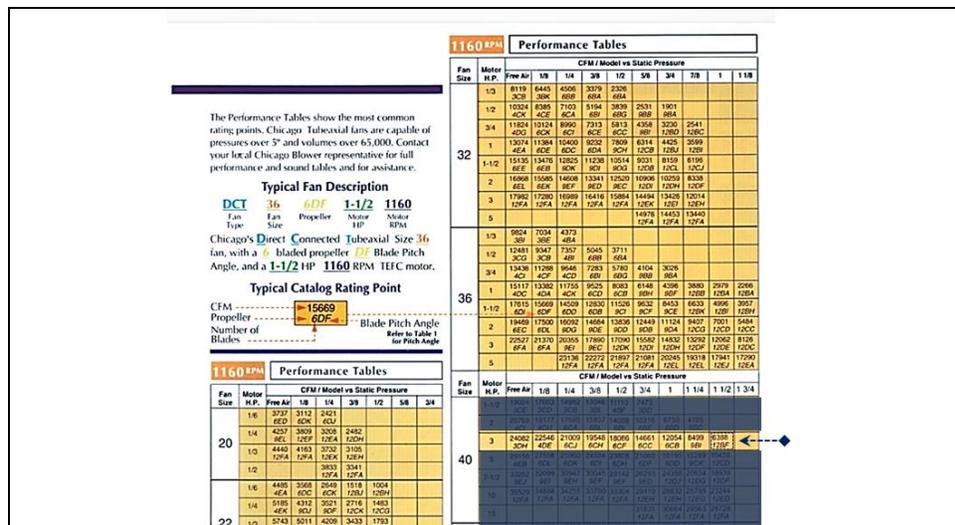
Cuadro 16. Requerimientos extractor

Presión Mínima	84,75 Pa	0,34 in wg
Diámetro Captación Mínimo	1.000 mm	40 in
Caudal Mínimo	2,56 m3/s	5.424,33 CFM
Temperatura Máxima Operación	100°C	

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a lo anterior se encuentra que el ventilador tipo DCT-40-12BF-3-1.160 es el ventilador que ofrece una mejor adaptabilidad al proceso de extracción de aire;

Figura 30. Selección ventilador extractor



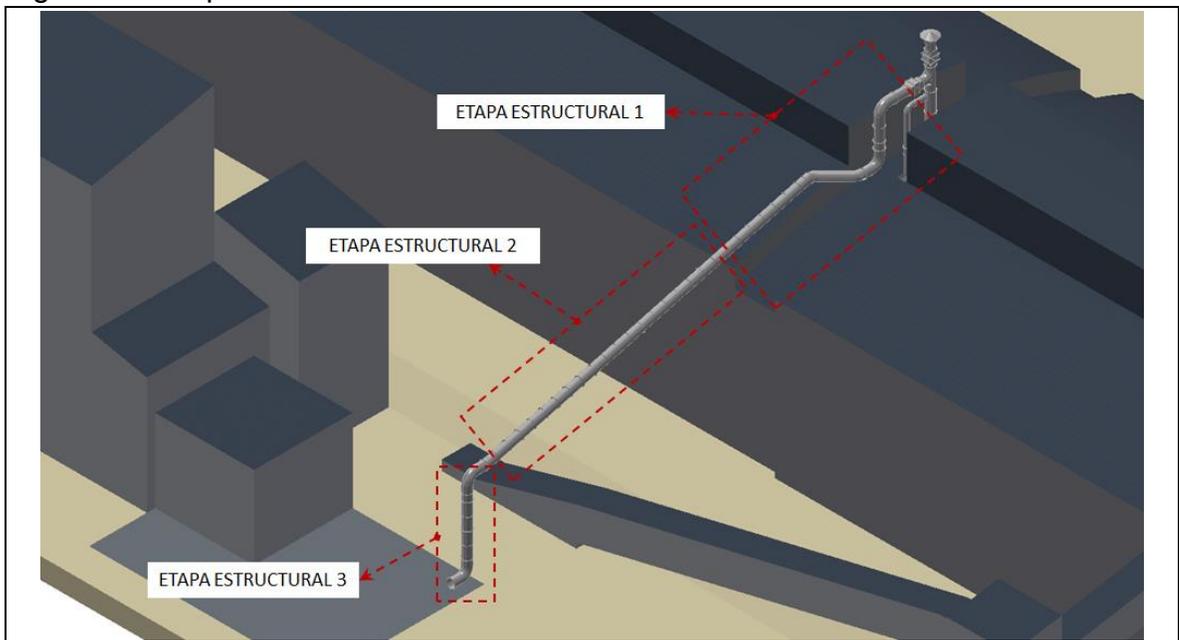
CHICAGO BLOWERS CORPORATION. Blowers Catalogues [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2BKuAaC>

### 7.3 SISTEMA ESTRUCTURAL

Una vez trazado el recorrido es necesario realizar el diseño del sistema estructural de la tubería de transporte, por lo que se proceden a analizar tres etapas fundamentales del sistema estructural de acuerdo al recorrido realizado por la tubería (Figura 29), encontrando que los elementos críticos del sistema se encontrarán en la etapa 2, esta se encuentra caracterizada porque el recorrido de la tubería de transporte se encuentra suspendido a un ángulo de  $15^\circ$  son muy pocos los edificios o estructuras aledañas disponibles para soportar la tubería, en términos estructurales es la etapa más crítica del proceso debido a la cantidad de carga que soporta y su dimensionamiento.

Los componentes a analizar serán la viga de soporte de las secciones de tubería, la viga principal que soporta el conjunto de secciones de tubería en un ángulo de  $15^\circ$  y finalmente, aunque no pertenece a la etapa estructural 2, se encuentran las columnas de soporte de las secciones de tubería en la etapa 3.

Figura 29. Etapas sistema estructural



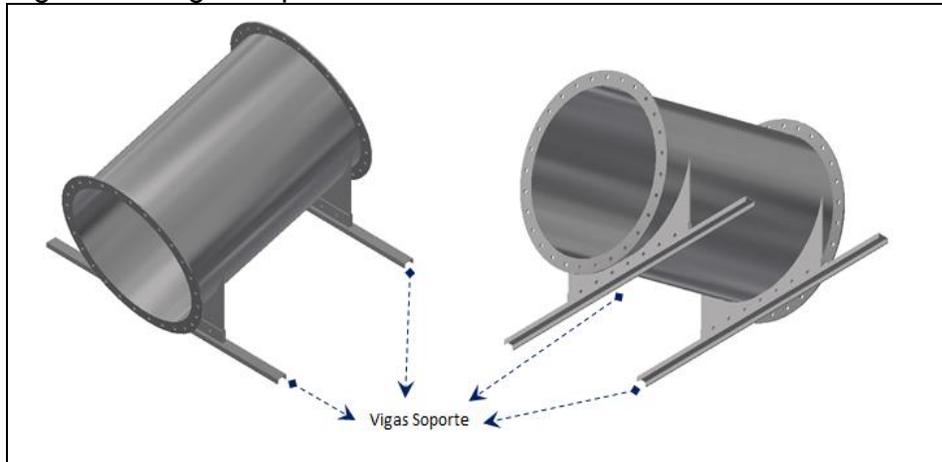
Fuente: Elaboración propia

7.3.1 Viga soporte secciones tubería. La viga de soporte de las secciones de tubería será aquella que entrará en contacto directamente con la tubería y será la encargada de transmitir la carga al sistema estructural.

Conociendo el peso del componente más grande del sistema obtenido de la sección anterior, se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre del elemento, sabiendo que la sección ira soportada sobre 2 vigas iguales ancladas a la sección por dos

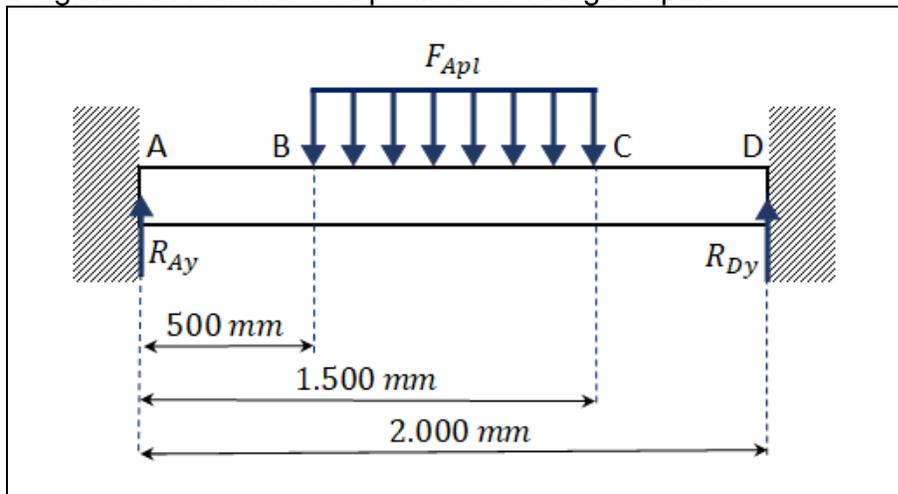
platinas de largo 1.000 mm que distribuirán uniformemente la carga sobre las vigas que a su vez irán empotradas en sus apoyos (Diagrama 9).

Figura 30. Vigas soporte secciones tubería



Fuente: Elaboración propia

Diagrama 9. Análisis cuerpo libre de la viga soporte



Fuente: Elaboración propia

Teniendo el diagrama de cuerpo libre presentado en el diagrama 9, se calculan las reacciones en el apoyo de la viga de soporte, no se tienen en cuenta las reacciones en X ni los momentos flectores debido a que se encuentra doblemente empotrada y la carga se encuentra centrada;

$$\sum F_y = R_{Ay} + R_{Dy} - F_{Apl}$$

$$R_{Ay} = R_{Dy} = R_y \rightarrow 2R_y = F_{Apl}$$

$$R_y = \frac{F_{Apl}}{2} \rightarrow R_y = \frac{277,5 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2}{2}$$

$$R_y = 1.359,75 \text{ N}$$

Dónde;

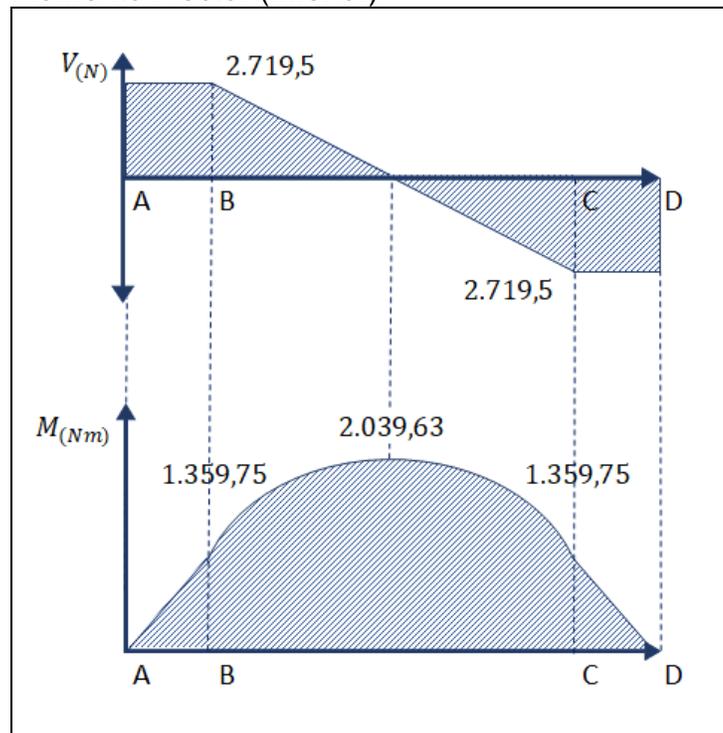
$R_{Ay}$ : Fuerza reacción en el eje Y en el punto A

$R_{Dy}$ : Fuerza reacción en el eje Y en el punto D

$F_{Apl}$ : Componente máxima de fuerza actuante sobre la viga de soporte

Una vez calculadas las reacciones en el apoyo se proceden a realizar los diagramas de cortante y momento flector que se presentan en el diagrama 10.

Diagrama 10. Fuerza Cortante (Superior) y Momento Flector (Inferior)



Fuente: Elaboración propia

Ahora de acuerdo al procedimiento establecido en el Diseño de elemento de máquinas de Mott, se calcula la sección mínima requerida teniendo en cuenta que se utilizara para el perfil soporte del actuador neumático un acero ASTM A36 y un

factor de seguridad de 2 ya que se conocen todos los esfuerzos, el entorno y las cargas a las que estará sometido;

$$\sigma_{Perm} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{Perm} = \frac{250 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{Perm} = 125 \text{ MPa}$$

Dónde;

$\sigma_{Perm}$ : Esfuerzo permisible en el perfil soporte del actuador neumático

$\sigma_{Flu}$ : Limite de fluencia acero ASTM A36

$F.S.$ : Factor seguridad de la viga

Finalmente se tiene que la sección mínima requerida estará dada por;

$$S_{Min-Req} = \frac{M_{Fl-Max}}{\sigma_{Perm}}$$

$$S_{Min-Req} = \frac{1.019,81 \text{ Nm}}{125 \text{ MPa}}$$

$$S_{Min-Req} = 8,158 \text{ E}^{-6} \text{ m}^3 = 8,158 \text{ cm}^3$$

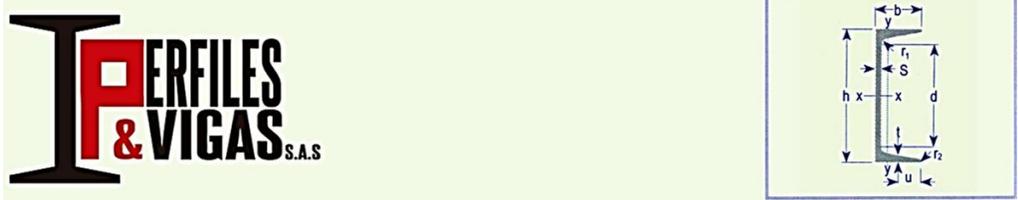
Donde;

$S_{Min-Req}$  = Modulo de sección mínimo requerido para la viga de soporte

$M_{Fl-Max}$  = Momento flector máximo del sistema

Teniendo el módulo de sección mínimo requerido para la viga de soporte, se selecciona un perfil tipo C3"x4,1" (Figura 31) del catálogo de la compañía Perfiles y Vigas S.A.S (Anexo F).

Figura 31. Selección perfil C estándar tipo americano



PERFIL C ESTANDAR AMERICANO - CE																
Dimensiones y propiedades para el diseño																
PERFILES CE	DIMENSIONES							AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						CONS TORS
	ALTIMA		ALA			DISTANCIAS				EJE X-X			EJE Y-Y			
DESIGNACION	h	s	b	t	r1	r2	d	cm2	kg/mt	Ix	Sx	rx	Iy	Sy	ry	Jt
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm2	kg/mt	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm4
C 3 X 4.1	76.20	4.30	35.80	6.90	6.90	2.50	44.00	7.68	6.10	66.40	18.00	2.97	8.32	3.44	1.04	1.12
C 3 X 5	76.20	6.50	38.00	6.90	6.90	2.50	45.60	9.40	7.44	74.90	19.70	2.84	10.40	3.93	1.04	1.79
C 3 X 6	76.20	6.50	38.00	6.90	6.90	2.50	45.60	11.30	8.93	87.40	22.90	2.74	12.90	4.42	1.07	3.04

Fuente: PERFILES Y VIGAS. Catalogo Perfilera [Sitio WEB]. [04, abril, 2018].  
 Disponible en: <https://www.perfilesyvigas.com/images/stories/pdf/perfilu.pdf>

Finalmente se tiene que la cantidad total de elementos requeridos de este tipo se obtiene del ensamble estructural del sistema y es:

Cuadro 16. Cantidad vigas soporte requeridas

ITEM	TOTAL
Unidades	57 Vigas
Longitud/Unidad	2,00 mts / Viga
Longitud Total	114,00 mts
Peso Total	684 Kg

Fuente: Elaboración propia

7.3.2 Pernos anclaje de tubería. Si bien las secciones de tubería se anclaran dejando una sin anclar de por medio para evitar deformaciones en el recorrido de la tubería se deberá verificar que los pernos de anclaje resistan, por lo que sabiendo que el peso mayor de una sección de tubería es de 555 Kg, y que si quedara anclada solamente por los pernos cada lado de la tubería soportaría la mitad del peso, se procede a calcular el área del perno requerida para un lado de la tubería.

$$F_{Apl-Per} = \frac{P_{Tub}}{2} * g$$

$$F_{Apl-Per} = \frac{555 \text{ Kg}}{2} * 9,8 \text{ m/s}^2 \rightarrow F_{Apl-Per} = 2.719,5 \text{ N}$$

Donde;

$F_{Apl-Per}$  = Fuerza aplicada al perno de soporte de un lado de la sección de tubería

$P_{Tub}$  = Peso de la sección de tubería

$g$  = Gravedad

Ahora de acuerdo al procedimiento establecido en el Diseño de elemento de máquinas de Mott, se calcula la sección mínima requerida teniendo en cuenta que se utilizaran tornillos fabricados en acero ASTM A36 y un factor de seguridad de 2 ya que se conocen todos los esfuerzos, el entorno y las cargas a las que estará sometido;

$$\sigma_{Perm} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{Perm} = \frac{250 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{Perm} = 125 \text{ MPa}$$

Dónde;

$\sigma_{Perm}$ : Esfuerzo permisible en el perno de soporte

$\sigma_{Flu}$ : Limite de fluencia acero ASTM A36

$F.S.$ : Factor seguridad de la viga

Ahora se requiere calcular el esfuerzo cortante permisible en el perno;

$$\tau_{per} = 0,57 * \sigma_{per}$$

$$\tau_{per} = 0,57 * 125 \text{ MPa} \rightarrow \tau_{per} = 71,25 \text{ MPa}$$

Donde;

$\tau_{per}$  = Esfuerzo cortante permisible en el perno

El esfuerzo aplicado al perno deberá ser igual al esfuerzo permisible, por lo que sabiendo que las platinas donde estarán montados los pernos tiene un espesor de 10 mm, se tiene que el diámetro requerido para el perno será;

$$\tau_{per} = \frac{F_{Apl-Per}}{2E_{Pla} \cdot D_{Per}} \rightarrow D_{Per} = \frac{F_{Apl-Per}}{2E_{Pla} \cdot \tau_{per}}$$

$$D_{Per} = \frac{2.719,5 \text{ N}}{2 * 0,01 \text{ m} * 71,25 \text{ MPa}} \rightarrow D_{Per} = 1,91 \text{ E}^{-3} \text{ m} = 1,98 \text{ mm}$$

Dónde;

$D_{Per}$  = Diámetro requerido del perno

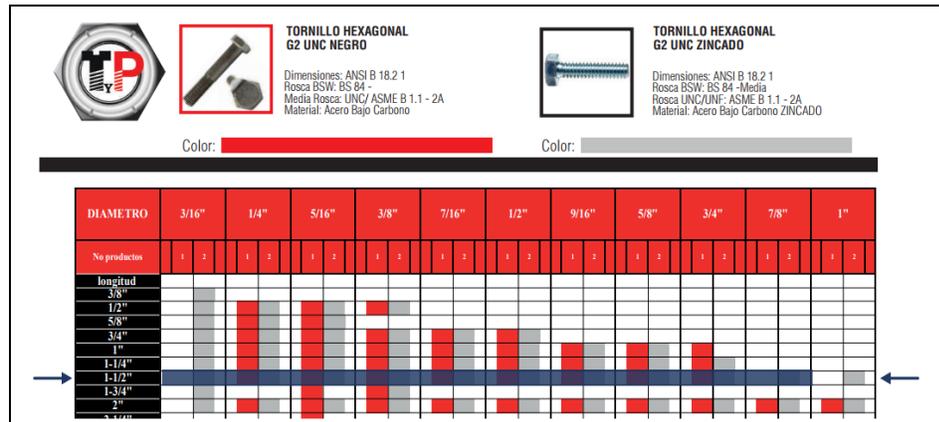
$E_{Pla}$  = Espesor de las platinas de montaje del perno

$\tau_{per}$  = Esfuerzo cortante permisible en el perno

$F_{Apl-Per}$  = Fuerza aplicada al perno de soporte de un lado de la sección de tubería

De lo anterior se tiene que los pernos utilizados por la tubería original (figura 32) cumplen perfectamente con el requerimiento de soporte de una sección de tubería (Anexo G).

Figura 32. Pernos anclaje tubería



Fuente: TORNILLOS & PARTES. Catalogo Sujeción [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2SL8r6u>

Finalmente se tiene que la cantidad total de elementos requeridos de este tipo se obtiene del ensamble estructural del sistema y es:

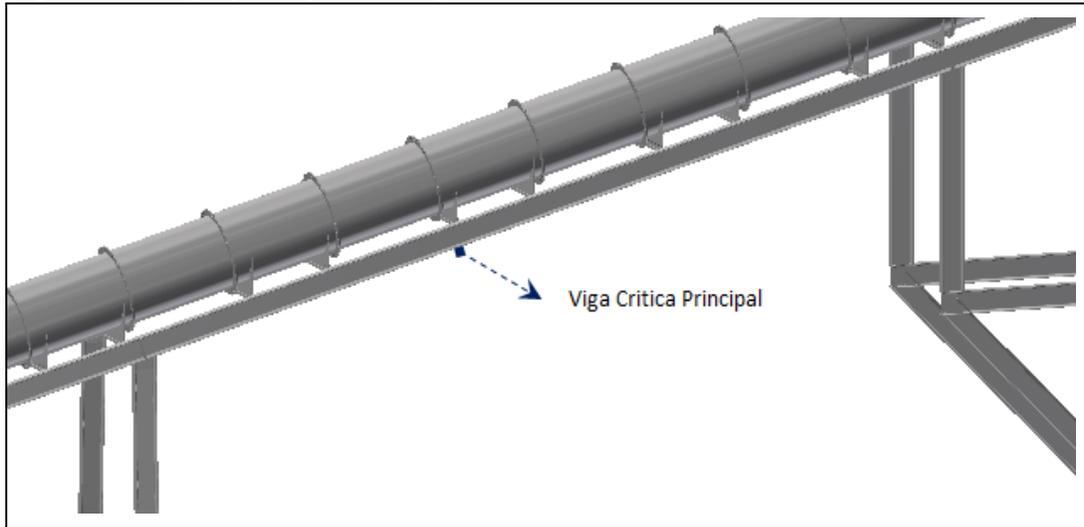
Cuadro 17. Cantidad pernos anclaje requeridos

ITEM	TOTAL
Unidades	3.510 Tornillos
Peso/Unidad	53 Gr
Peso Total	186,03 Kg

Fuente: Elaboración propia

7.3.3 Viga principal de soporte estructural. Sabiendo que las secciones de tubería irán apoyadas dejando una sección de por medio, se tiene que la viga crítica principal donde irán ancladas todas las secciones tendrá una longitud máxima de 12.000 mm estará empotradas en su apoyo derecho y soportada en un patín con deslizamiento al lado izquierdo, esto con el objetivo de poder tener espacio a las dilataciones de tipo térmico y soportara en total el peso de 8 secciones de tubería de las cuales solamente 4 tendrán vigas de soporte (Figura 33), también es importante tener en cuenta que la viga está montada con un ángulo de inclinación de 15°, por lo que deberá girarse ese ángulo en el sentido de las manecillas del reloj y sacar las componentes perpendiculares al eje central de la viga, por lo que teniendo en cuenta la anterior información se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre de la viga (Diagrama 10).

Figura 33. Viga principal de soporte estructural



Fuente: Elaboración propia

Teniendo el diagrama de cuerpo libre presentado en el diagrama 10, se calcula la fuerza individual aplicada sobre la viga;

$$F_{Apl} = \frac{P_{Tub} * g}{\cos 15^\circ}$$

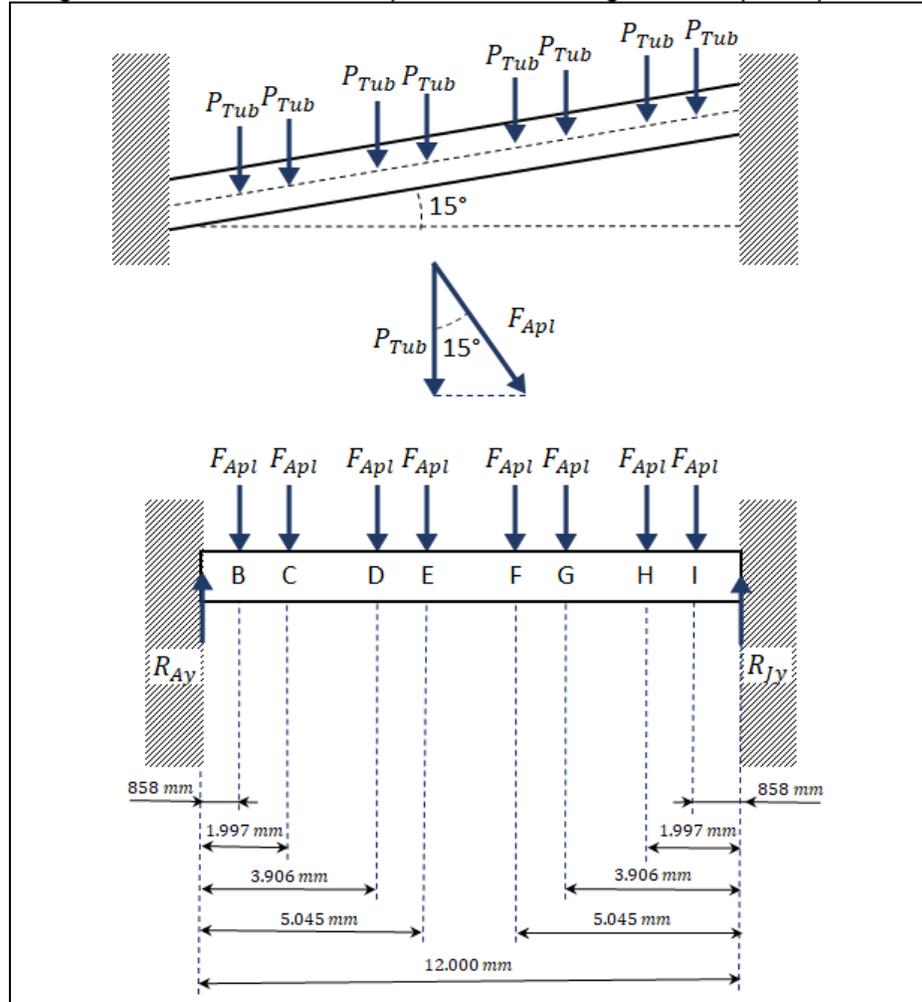
$$F_{Apl} = \frac{555 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2}{\cos 15^\circ} \rightarrow F_{Apl} = 5.630,87 \text{ N}$$

Donde;

$F_{Apl}$  = Fuerza individual aplicada a la viga principal

$P_{Tub}$  = Peso máximo de una sección de tubería

Diagrama 11. Análisis cuerpo libre de la viga crítica principal



Fuente: Elaboración propia

Teniendo el diagrama de cuerpo libre presentado en el diagrama 10, se calculan las reacciones en el apoyo de la viga de soporte, no se tienen en cuenta las reacciones en X ni los momentos flectores debido a que se encuentra doblemente empotrada y las cargas se encuentran simétricamente distribuidas respecto al centro de la viga;

$$\sum^+ Fy = R_{Ay} + R_{Jy} - 8F_{Apl}$$

$$R_{Ay} = R_{Jy} = R_y \rightarrow 2R_y = 8F_{Apl}$$

$$R_y = 4F_{Apl} \rightarrow R_y = 4 * 5.630,87 N$$

$$R_y = 22.523,48 N$$

Dónde;

$R_{Ay}$ : Fuerza reacción en el eje Y en el punto A

$R_{Jy}$ : Fuerza reacción en el eje Y en el punto J

$F_{Apl}$ : Componente máxima de fuerza actuante sobre la viga de soporte

Una vez calculadas las reacciones en el apoyo se proceden a realizar los diagramas de cortante y momento flector que se presentan en el diagrama 13.

Ahora de acuerdo al procedimiento establecido en el Diseño de elemento de máquinas de Mott, se calcula la sección mínima requerida teniendo en cuenta que se utilizara para la viga de soporte principal acero ASTM A36 y un factor de seguridad de 2 ya que se conocen todos los esfuerzos, el entorno y las cargas a las que estará sometido;

$$\sigma_{Perm} = \frac{\sigma_{Flu}}{F.S.}$$

$$\sigma_{Perm} = \frac{250 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{Perm} = 125 \text{ MPa}$$

Dónde;

$\sigma_{Perm}$ : Esfuerzo permisible en la viga de soporte principal

$\sigma_{Flu}$ : Limite de fluencia acero ASTM A36

$F.S.$ : Factor seguridad de la viga

Finalmente se tiene que la sección mínima requerida estará dada por;

$$S_{Min-Req} = \frac{M_{Fl-Max}}{\sigma_{Perm}}$$

$$S_{Min-Req} = \frac{27.298.54 \text{ Nm}}{125 \text{ MPa}}$$

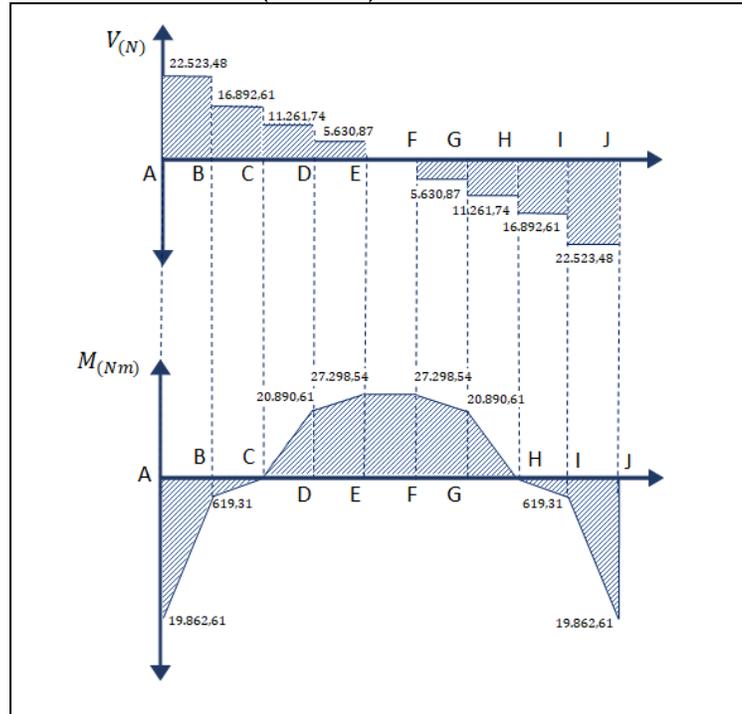
$$S_{Min-Req} = 2,1838 \text{ E}^{-4} \text{ m}^3 = 218,38 \text{ cm}^3$$

Donde;

$S_{Min-Req}$  = Modulo de sección mínimo requerido para la viga de soporte principal

$M_{Fl-Max}$  = Momento flector máximo del sistema

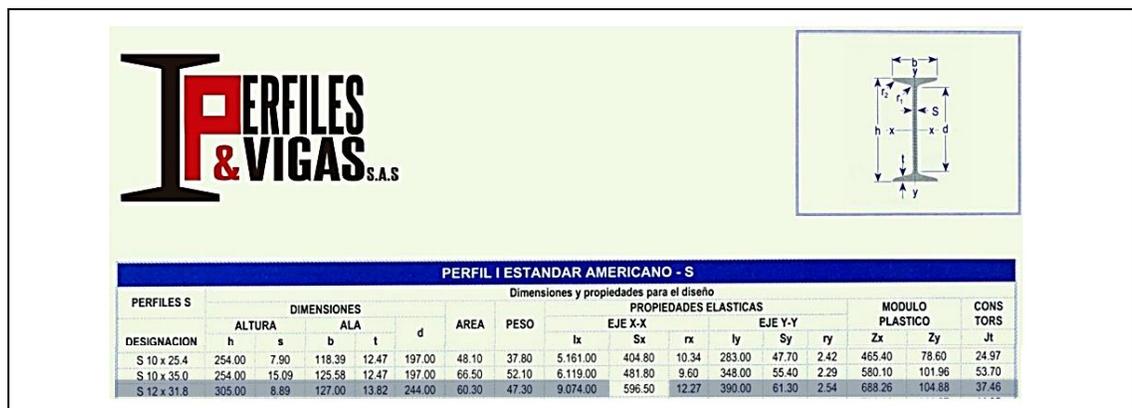
Diagrama 12. Fuerza Cortante (Superior) y Momento Flector (Inferior)



Fuente: Elaboración propia

Teniendo el módulo de sección mínimo requerido para la viga de soporte principal, se selecciona un perfil tipo S12"x31,8" (Figura 34) del catálogo de la compañía Perfiles y Vigas S.A.S (Anexo H) con una distancia interna (d) entre aletas de 244 mm lo cual garantiza que se podrá realizar el montaje de las vigas que soportarán las secciones de tubería.

Figura 34. Selección perfil I estándar tipo americano - S



Fuente: PERFILES Y VIGAS. Catalogo Perfileria [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://www.perfilesyvigas.com/images/stories/pdf/perfilu.pdf>

Finalmente se tiene que la cantidad total de elementos requeridos de este tipo se obtiene del ensamble estructural del sistema y es:

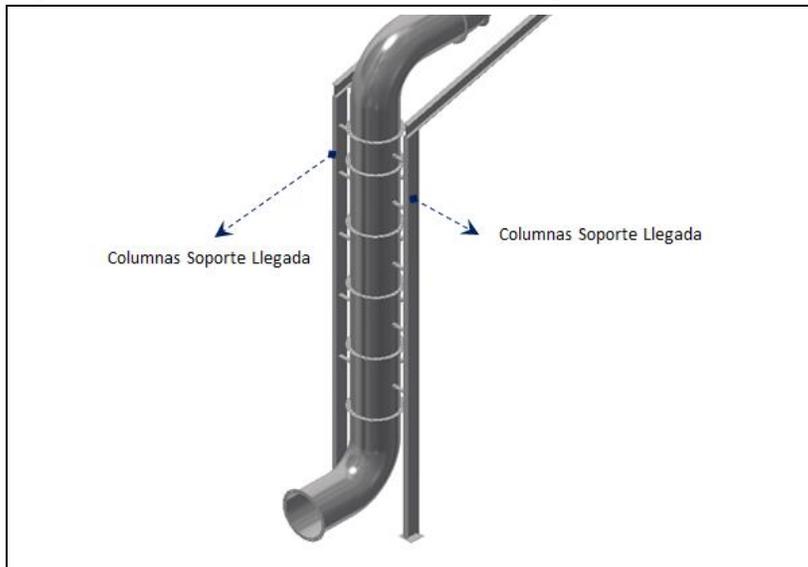
Cuadro 18. Cantidad vigas principales tipo S requeridas

ITEM	TOTAL
Longitud Total	198,72 mts
Peso Total	9.399.45 Kg

Fuente: Elaboración propia

7.3.4 Columna final de soporte estructural. Para el ultimo componente crítico de la estructura se tienen las columnas de soporte de llegada de la tubería (Figura 35).

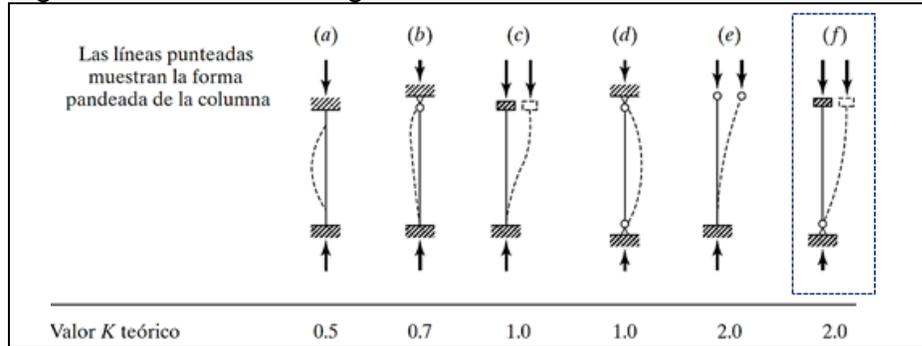
Figura 35. Columnas de soporte de llegada de la tubería



Fuente: Elaboración propia

Se tiene que cada columna soporta 5 secciones de tubería más la reacción vertical de la viga principal de soporte que llega a ese punto por lo que para los análisis se hará uso del valor del peso más alto de las secciones de y la reacción en el punto A de la viga principal de soporte calculada en la sección 7.3.3. Adicionalmente, conociendo la ubicación exacta de la columna y como va a ir apoyada se supone que la columna será un perfil en I estándar americano tipo tipo S12"x31,8", igual al de las vigas principales de soporte calculadas en la sección 7.3.3. Se procede a seleccionar un factor de longitud efectiva para la columna;

Figura 36. Factor de longitud efectiva



Fuente: NORTON, Robert L. Columnas. *Diseño de maquinaria*. México D.F. Prentice Hall, pp.83, ISBN 978-970-10-6884-7

Habiendo obtenido un factor de longitud efectiva se procede a calcular el chequeo por esbeltez. Sabiendo que la columna tiene una longitud de 10 metros y su radio de giro es de 61,30 cm;

$$C_{Esb} = \frac{kL}{Ry}$$

$$C_{Esb} = \frac{2 * 1.000cm}{61,30 cm} \rightarrow C_{Esb} = 32,63$$

Donde;

$C_{Esb}$  = Chequeo por esbeltez  
 $k$  = Factor de longitud efectiva  
 $L$  = Longitud de la columna  
 $Ry$  = Radio de giro de la columna

De acuerdo a McCorman, para miembros sometidos a compresión con valores de esbeltez menores a 200, la relación a verificar será;

$$C_{Esb} \ll 4,17 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$32,63 < 4,17 \sqrt{\frac{2x10^{11}Pa}{3,22x10^8Pa}} \rightarrow 32,63 < 117,4$$

Donde;

$E$  = Modulo de elasticidad

$F_y$  = Esfuerzo de fluecia

Cumplíendose la relación anterior, se tiene que la ecuación para el esfuerzo crítico es;

$$F_{cr} = 0,877F_e$$

Donde;

$F_e$  =Esfuerzo de pandeo critico elástico de la columna

$F_{cr}$  = Esfuerzo crítico de la columna

Se procede a calcular el esfuerzo de pandeo crítico elástico;

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{C_{Esb}^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 2 \times 10^{11} Pa}{32,63^2}$$

$$F_e = 1.853,93 MPa$$

Se retoma el cálculo del esfuerzo crítico;

$$F_{cr} = 0,877(1.853,93 MPa)$$

$$F_{cr} = 1.625,90 MPa$$

Una vez se tiene el esfuerzo crítico de la columna se procede a revisar si el perfil seleccionado para la columna es el adecuado para el diseño;

$$R_d = \emptyset * A_g * F_{cr}$$

$$R_d = 0,90 * 6,030E^{-3} m^2 * 1.625,90 MPa$$

$$R_d = 8,823 E^6 N$$

Donde;

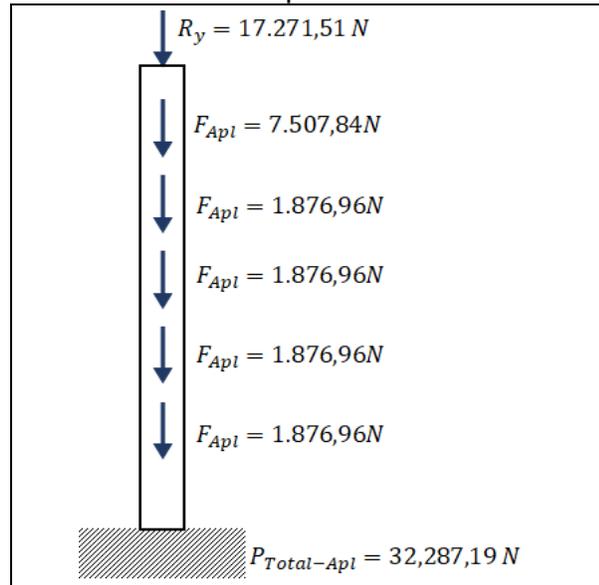
$R_d$  = Resistencia de diseño

$A_g$  = Área de sección transversal

$\emptyset$  = Resistencia a la compresión (0,90)

Conociendo la resistencia de diseño permisible se identifica la carga aplicada sobre la columna para así determinar el factor de seguridad de la misma de acuerdo al diagrama 14.

Diagrama 13. Análisis de cargas columna final de soporte



Fuente: Elaboración propia

$$F.S. = \frac{Rd}{P_{Total-Apl}}$$

$$F.S. = \frac{8,823 E^6 N}{32.287,19 N}$$

$$F.S. = 273,27$$

Donde;

$F.S$  = Factor de seguridad

$P_{Total-Apl}$  = Fuerza aplicada sobre la viga

De lo anterior se tiene que el perfil seleccionado cumple con las condiciones de diseño con un factor de seguridad de 273,27. Aunque un factor de seguridad tan elevado pudiese indicar que el elemento se encuentra sobredimensionado, el perfil utilizado se seleccionó de acuerdo a los requerimientos geométricos y de uniformidad estructural del sistema, por lo que el elemento cumple con los requerimientos de diseño establecidos.

Finalmente se tiene que la cantidad total de elementos requeridos de este tipo se obtiene del ensamble estructural del sistema y es:

Cuadro 19. Cantidad columnas principales tipo S requeridas

ITEM	TOTAL
Longitud Total	90,09 mts
Peso Total	4.261,26 Kg

Fuente: Elaboración propia

7.3.5 Soldadura viga acople columna-tubería. Para definir la soldadura que unirá la viga de acople entre la tubería y la columna final de soporte, se tiene que el material de los elementos base es acero estructural A36 el cual tiene una resistencia ultima a la tensión de 58.000 - 80.000 PSI, por lo que se procede a buscar un electrodo en el catálogo de la compañía West Arco (Anexo E) que tenga valores de resistencia cercanos (Figura 37).

Figura 37. Selección electrodo para la soldadura del perfil



Expecificación	Clasificación AWS	Nombre WEST ARCO	Características y Aplicaciones	Resistencia a la Tracción (psi)	Límite de Fluencia (psi)
REVESTIDOS PARA SOLDAR AL CARBONO (AWS A5.1)	E6010	XL 610	Es un electrodo de alta penetración y rápida solidificación. Para soldar aceros de bajo carbono, lámina ordinaria y galvanizada, calderas, estructuras, tuberías de presión y acero fundido.	62.000 72.000	52.000 62.000
	E6010	ZIP 10T	Es un electrodo de muy buena penetración, con polvo de hierro, buena calidad radiográfica especialmente diseñado para oleoductos, gasoductos, construcciones navales, estructuras de acero y recipientes a presión.	62.000 72.000	52.000 62.000
	E6011	ACP 611SS	Se emplea para soldar todo tipo de aceros de bajo carbono en tuberías, estructuras, construcciones navales, recipientes a presión, etc. Especialmente pases de penetración.	63.000 74.000	52.000 60.000
	E6013	SUPER SW 613	Construcciones de hierro en general, carpinterías metálicas con lámina delgada, fabricación de puertas, ventanas, rejas, ductos, ensamble de carrocerías y ornamentación en general.	60.000 74.000	48.000 62.000
	E6013	SW 613	Carrocerías, muebles metálicos, ductos de aire acondicionado, rejas, ventanas y ornamentación en general.	60.000 74.000	48.000 65.000
	E6013	SW 10	Electrodo de tipo europeo de fácil manipulación, desarrollado para toda clase de soldaduras que requieran poca penetración. Se emplea para construcciones de hierro en general, carpinterías metálicas con lámina delgada, fabricación de puertas, ventanas, rejas, ductos, ensamble de carrocerías y ornamentación en general. Puede emplearse la técnica de arrastre para juntas planas y horizontales	60.000 74.000	48.000 62.000
	E7014	ZIP 14	Construcción de maquinaria, marcos de máquinas, implementos agrícolas, trabajos de ornamentación, tubería, recipientes de presión y sus accesorios. Equipos de ferrocarril, construcciones navales y soldadura de aceros estructurales.	70.000 80.000	58.000 68.000

Fuente: WEST ARCO. Catalogo Electrodo [Sitio WEB]. [04, abril, 2018].  
Disponible en: <https://bit.ly/2tv4uE1>

Como lo plantea el procedimiento de cálculo de soldaduras estáticas de Norton, se procede a calcular el esfuerzo permisible para el electrodo;

$$\tau_{Perm-Ex} = 0,30 \cdot Exx$$

$$\tau_{Perm-Ex} = 0,30 \cdot 70.000 \text{ psi}$$

$$\tau_{Perm-Ex} = 21.000 \text{ psi}$$

Donde;

$\tau_{Perm-Ex}$  = Esfuerzo permisible del electrodo  
 $Exx$  = Resistencia a la tensión del electrodo

Debido a que la soldadura estará sometida a cortante, se procede a calcular el área requerida de la soldadura para garantizar que cumpla con el esfuerzo permisible de la soldadura y resista la carga ejercida por la tercera parte del peso de dos secciones. Se selecciona como carga para el diseño la máxima soportada por la viga acople de la tubería (7.507,84 N = 1.687,83 Lbf);

$$\tau_{Perm-Ex} = \frac{P_{Apl}}{A_{Sol}} \rightarrow A_{Sol} = \frac{P_{Apl}}{\tau_{Perm-Ex}}$$
$$A_{Sol} = \frac{1.687,83 \text{ Lbf}}{21.000 \text{ psi}} \rightarrow A_{Sol} = 0,08037 \text{ in}^2$$

Donde;

$\tau_{Perm-Ex}$  = Esfuerzo permisible del electrodo  
 $P_{Apl}$  = Fuerza aplicada a la soldadura  
 $A_{Sol}$  = Área requerida de soldadura

Se procede a calcular el ancho de garganta de la soldadura conociendo que la soldadura ira sobre el ala del perfil de soporte del actuador que tiene una longitud de 1,5 in;

$$A_{Sol} = L_{Sol} * t_{Sol} \rightarrow t_{Sol} = \frac{A_{Sol}}{L_{Sol}}$$
$$t_{Sol} = \frac{0,08037 \text{ in}^2}{3,00 \text{ in}} \rightarrow t_{Sol} = 0,02679 \text{ in}$$

Donde;

$A_{Sol}$  = Área requerida de soldadura  
 $L_{Sol}$  = Longitud de soldadura  
 $t_{Sol}$  = Ancho de garganta de soldadura

Como se trata de una soldadura en T, se tiene que será una soldadura en filete, por lo que se procede a calcular el ancho del filete para la soldadura;

$$w_{Sol} = \frac{t_{Sol}}{\cos(45^\circ)} \rightarrow w_{Sol} = \frac{0,02679 \text{ in}}{\cos(45^\circ)}$$

$$w_{Sol} = 0,0379 \text{ in}$$

Donde;

$w_{Sol}$  = Ancho de filete de la soldadura

El alma de la columna de soporte tiene un espesor de 8,89 mm (0,35 in) y de la figura 38, se tiene que para espesores de material base entre 0,25 in y 0,50 in, el tamaño mínimo del filete de la soldadura deberá ser de 0,1875 in.

Figura 38. Filete mínimo de soldadura

Espesor del metal base (T) de la soldadura	
tamaño en pulgadas	
$T \leq 1/4$	1/8
$1/4 < T \leq 1/2$	3/16
$1/2 < T \leq 3/4$	1/4
$3/4 < T$	5/16
tamaños en mm	
$T \leq 6$	3
$6 < T \leq 12$	5
$12 < T \leq 20$	6
$20 < T$	8

Fuente: NORTON, Robert L. Soldaduras. *Diseño de maquinaria*. México D.F. Prentice Hall, pp.83, ISBN 978-970-10-6884-7.

Debido a que la soldadura analizada es la que soporta las cargas más críticas del sistema estructural, cualquier otra soldadura que se requiera, deberá realizarse con ese electrodo y de mínimo el ancho de soldadura obtenido dependiendo del espesor del metal base.

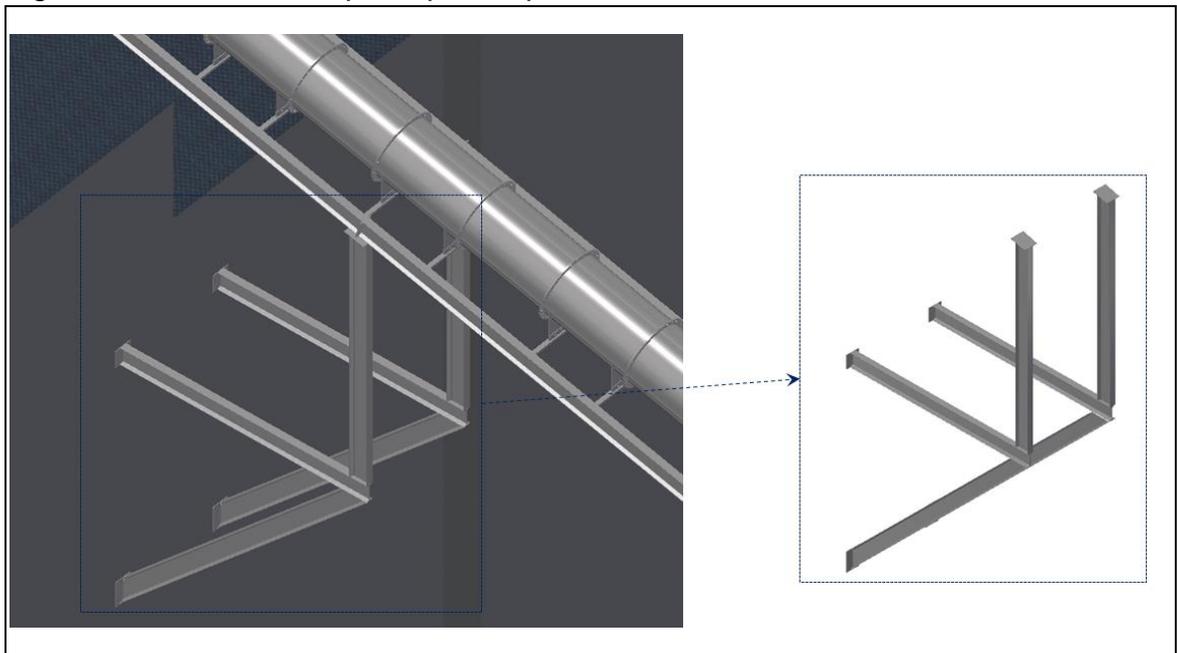
## 8. DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPONENTES CRITICOS

Si bien en el capítulo 7 fueron calculados los componentes que se encontraban sometidos a condiciones más críticas de operación, existen otros elementos que deben ser analizados realizando una simulación de su comportamiento en operación para optimizar su diseño y reducir deformaciones que puedan generar la falla de dichos componentes.

### 8.1 ESTRUCTURA SOPORTE POR EMPOTRAMIENTO

El primer componente crítico del sistema que requerirá ser analizado mediante el método de los elementos finitos es la estructura de soporte que se encuentra empotrada a las columnas estructurales del edificio de la galería del horno y el Float (Figura 39).

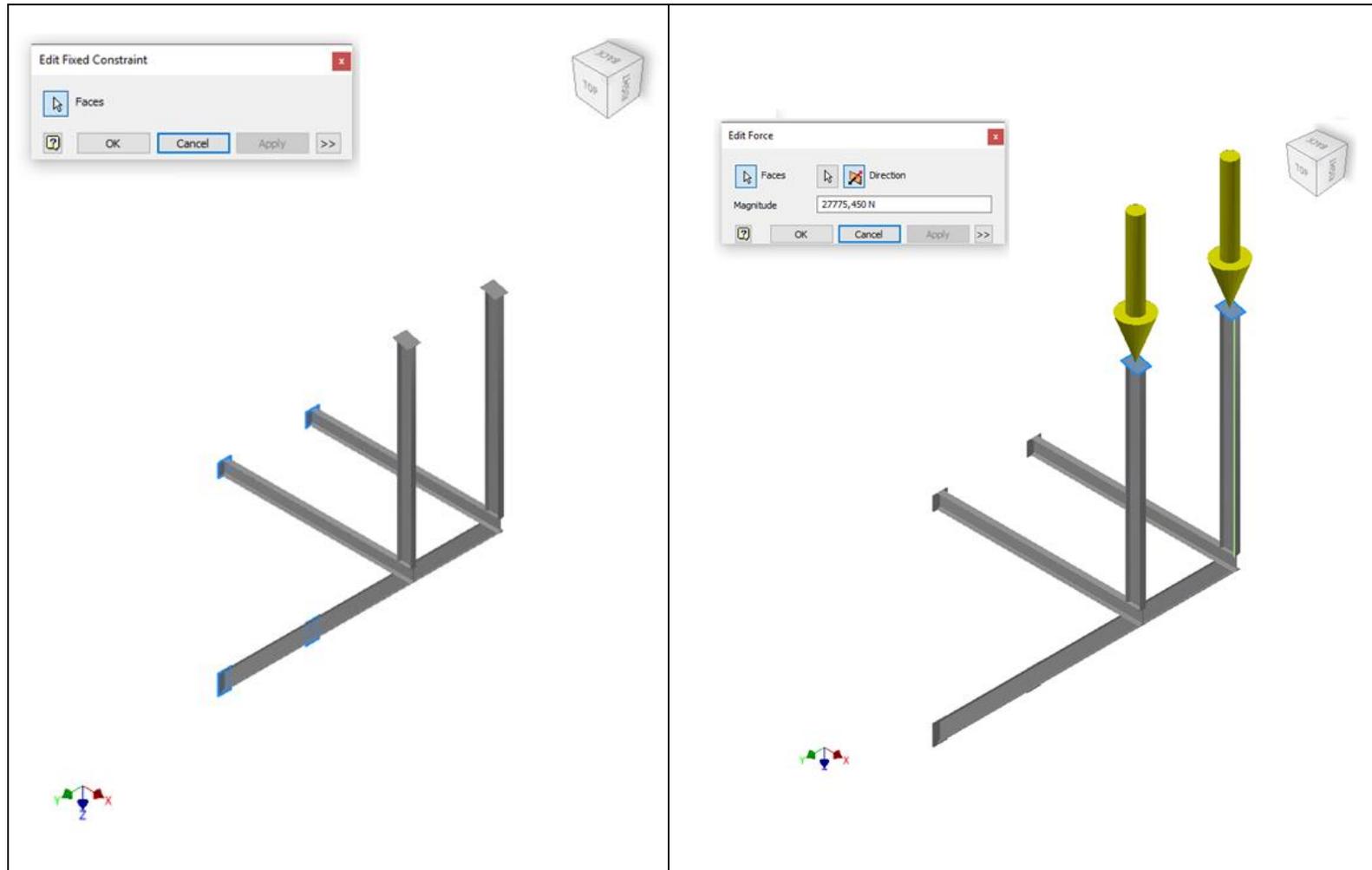
Figura 39. Estructura soporte por empotramiento



Fuente: Elaboración propia

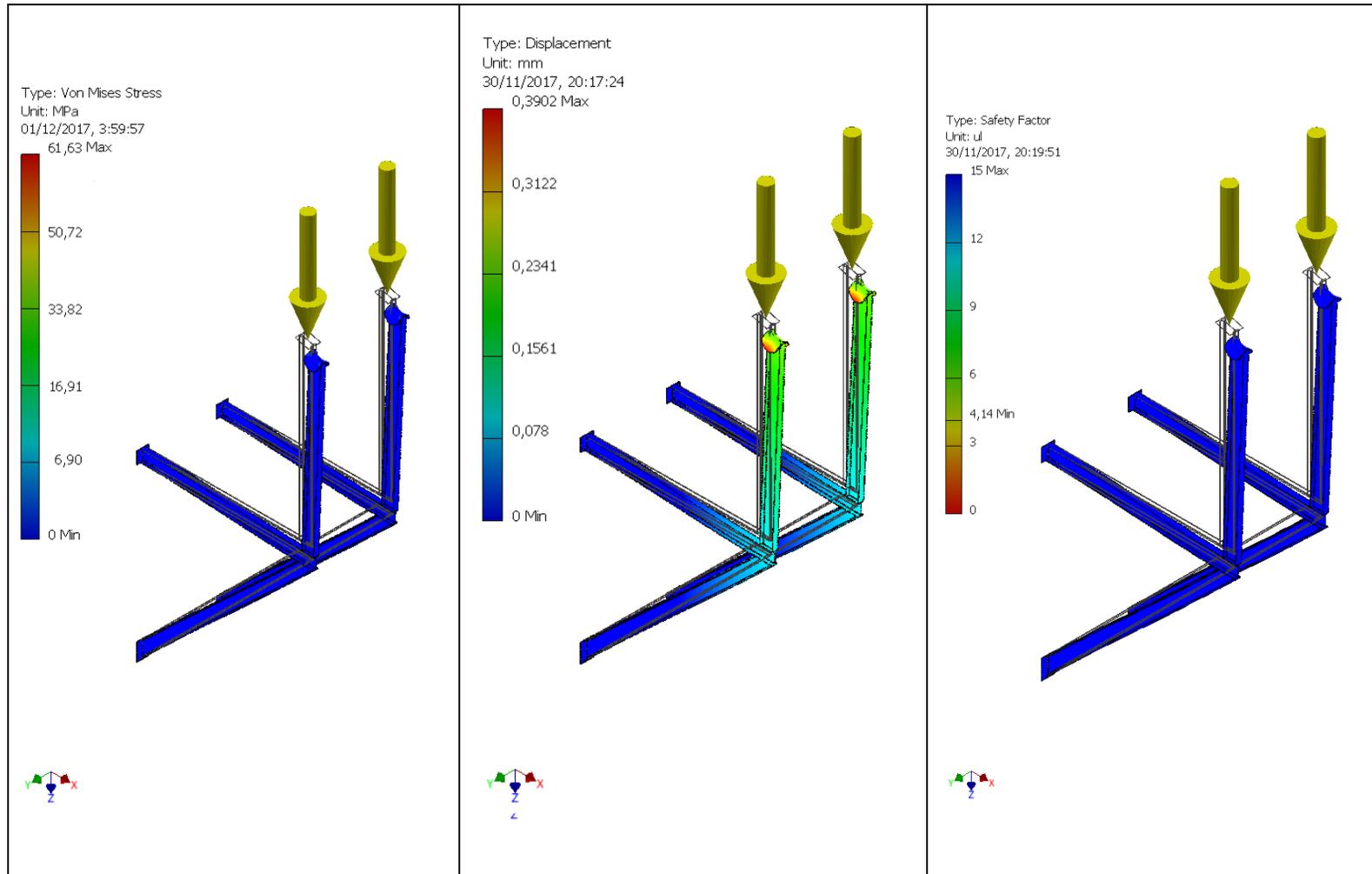
Para proceder a realizar el análisis se coloca la reacción calculada para el apoyo de la viga de soporte crítica que corresponde a 27.775,45 N y se colocan los apoyos como lo presentado en la figura 40.

Figura 40. Restricciones y cargas aplicadas estructura por empotramiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Resultados simulación FEM de estructura soporte por empotramiento



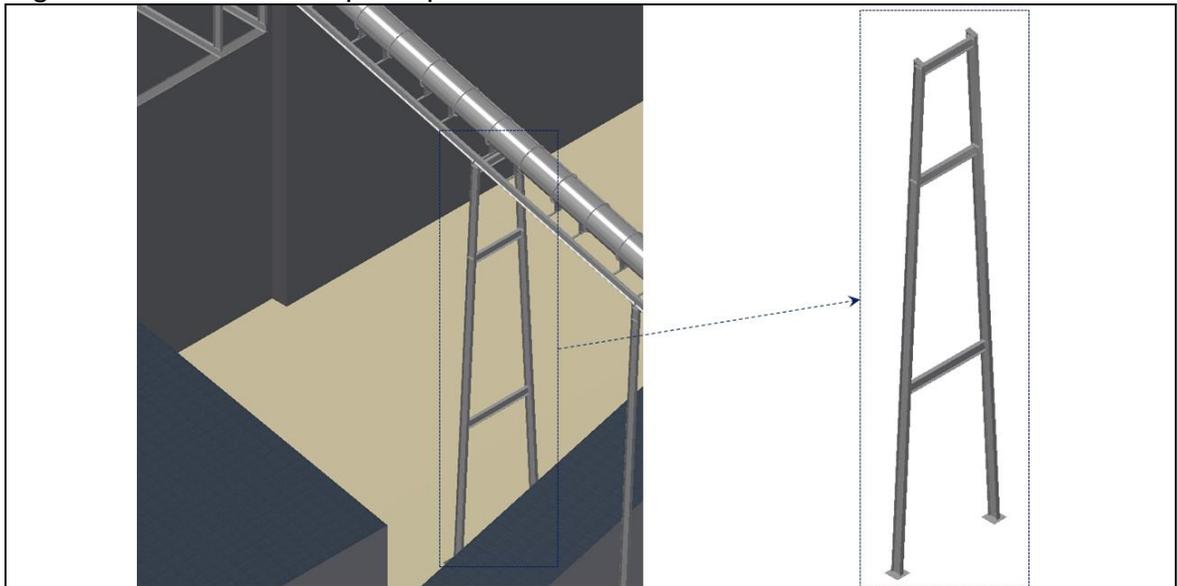
Fuente: Elaboración propia

De los resultados presentados en la figura 41 se tiene que el esfuerzo máximo del sistema es de 61,63 MPa, que comparado con el esfuerzo último del acero estructural que es de 250 MPa, genera un factor de seguridad de 4,06 bastante cercano al 4,14 obtenido por el software. Adicionalmente se tiene un desplazamiento máximo de 0,39 mm, que comparado con las dimensiones del sistema se mantiene como aceptable.

## 8.2 ESTRUCTURA SOPORTE POR ARCO

El segundo componente crítico del sistema que requerirá ser analizado mediante el método de los elementos finitos es la estructura de soporte tipo arco que se encuentra soportando las vigas principales de soporte entre la salida del horno hasta la llegada de la Batch (Figura 42).

Figura 42. Estructura soporte por arco

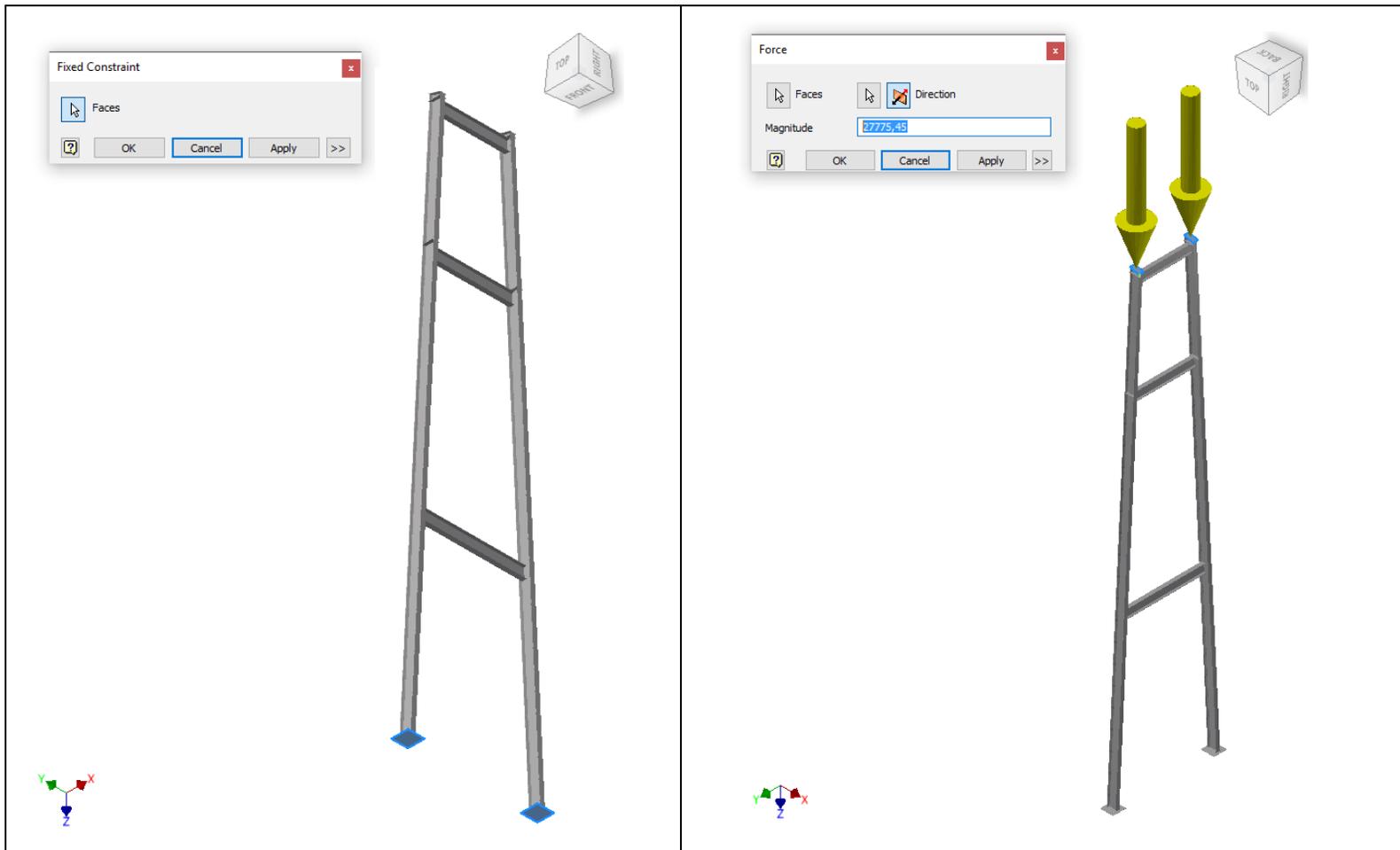


Fuente: Elaboración propia

Para proceder a realizar el análisis se coloca la reacción calculada para el apoyo de la viga de soporte crítica que corresponde a 27.775,45 N y se colocan los apoyos como lo presentado en la figura 43.

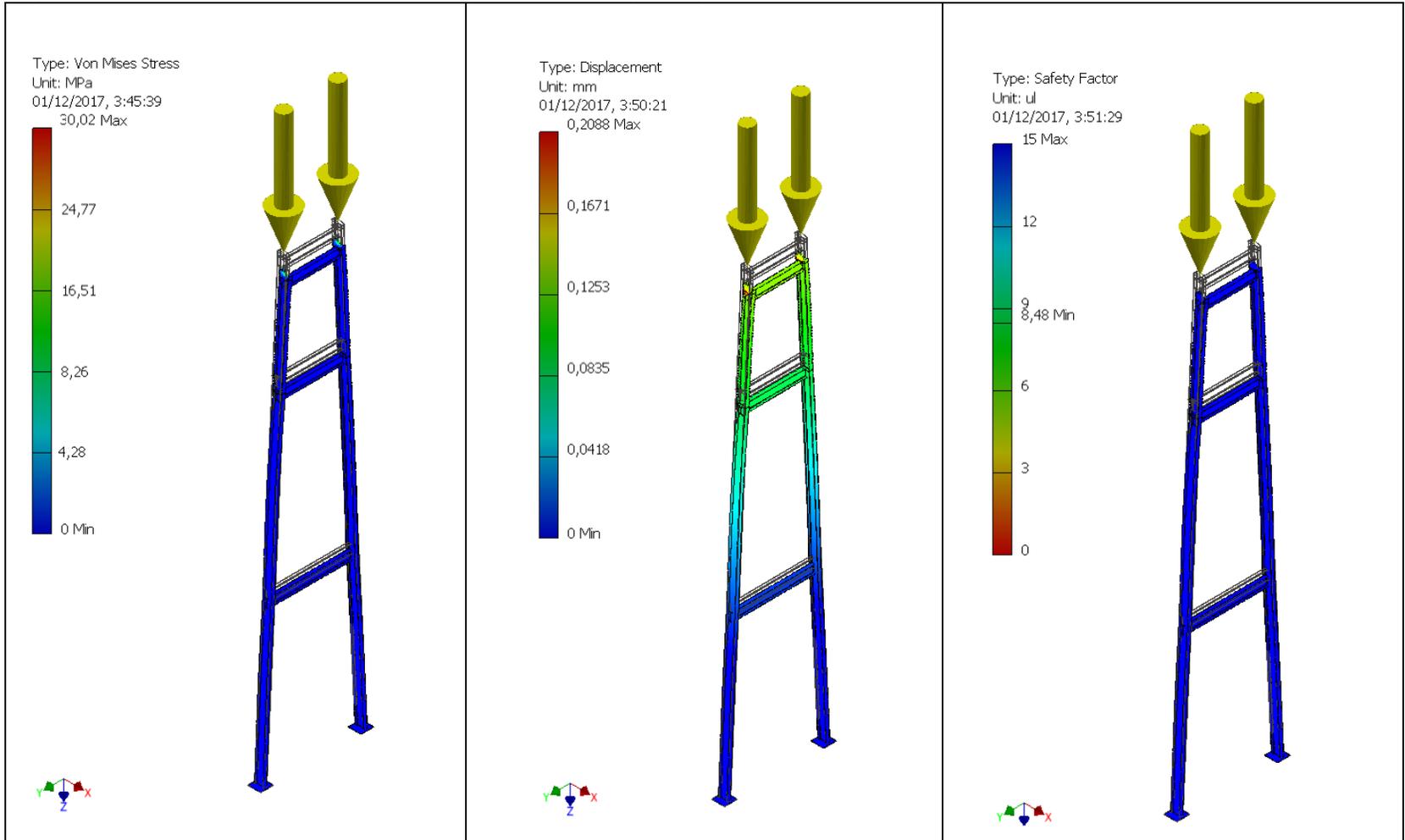
De los resultados presentados en la figura 44 se tiene que el esfuerzo máximo del sistema es de 30,02 MPa, que comparado con el esfuerzo de fluencia del acero estructural que es de 250 MPa, genera un factor de seguridad de 8,32 bastante cercano al 8,48 obtenido por el software. Adicionalmente se tiene un desplazamiento máximo de 0,20 mm, que comparado con las dimensiones del sistema se mantiene como aceptable.

Figura 43. Restricciones y cargas aplicadas en la estructura soporte por arco



Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Resultados simulación FEM estructura soporte por arco



Fuente: Elaboración propia

## 9. SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO

El sistema de control del proceso planteado en esta sección, establece los lineamientos básicos que deberán tenerse en cuenta a la hora de llevar a cabo el proceso de montaje y configuración de los componentes de instrumentación y control en busca de ejecutar el modelo de la mejor manera posible.

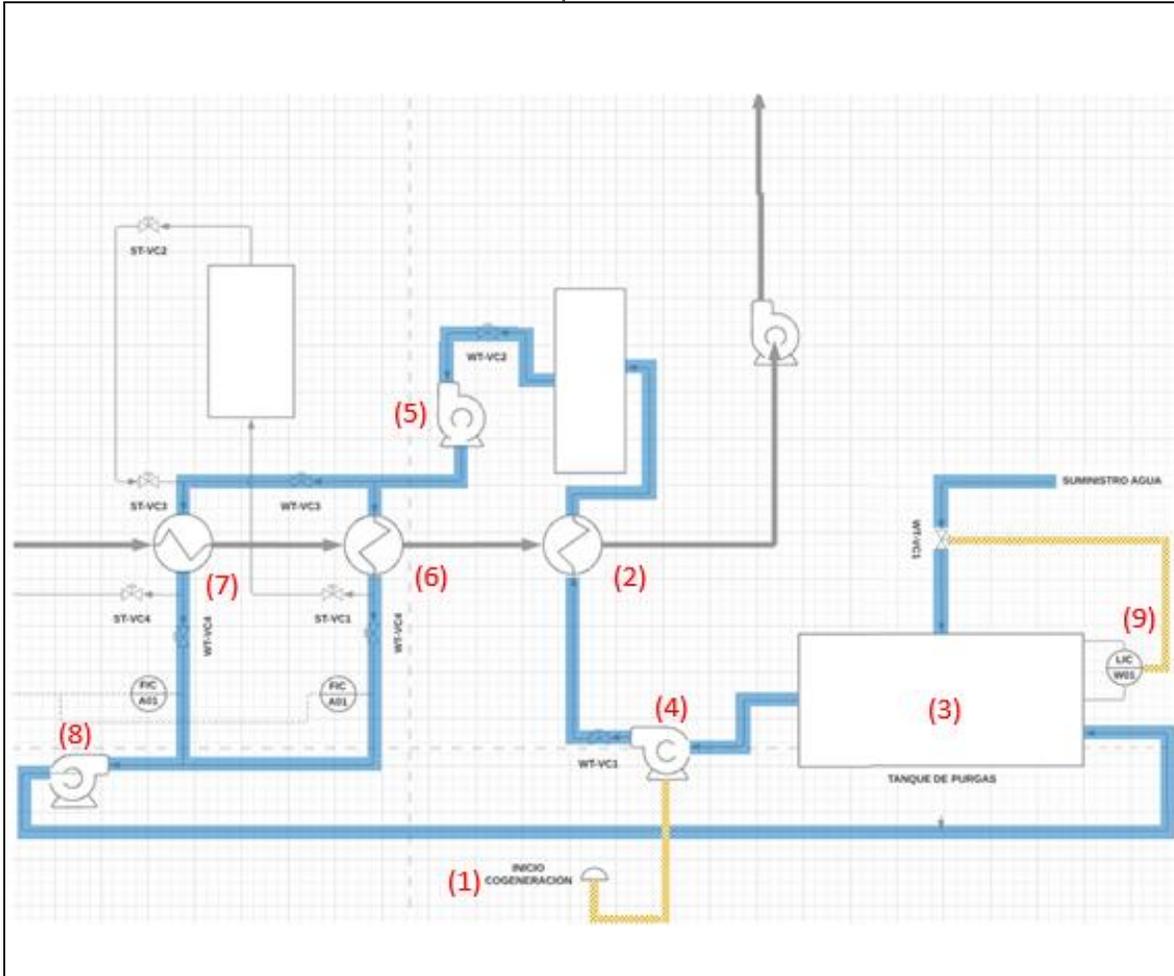
Si bien los sistemas y lazos de control presentados en esta sección corresponden a los modelos más óptimos para garantizar un correcto desarrollo del sistema recuperador, estos lazos están sujetos a verificación y ajuste para etapas futuras del proyecto debido a que en este documento no se le da alcance al diseño de detalle de los equipos de recuperación de calor, sino únicamente a su caracterización térmica.

De esta sección también se obtiene un planteamiento inicial para los equipos de instrumentación control y automatización mínimos requeridos para este proceso, de tal manera que puedan ser incluidos en la evaluación financiera y así tener más elementos de criterio en futuras etapas de diseño; los equipos mencionados en esta sección corresponden a una estimación inicial de lo que se requerirá para darle pleno manejo al proceso de recuperación, no obstante una reevaluación de estos elementos será necesaria, una vez se tenga el detalle técnico completo de los equipos recuperadores de calor.

Para poder dar control al sistema de recuperación de calor se han diseñado 7 lazos principales que se encargarán de dar control a toda la operación del sistema;

- LC1 - Llenado sistema recuperador
- LC2 - Recirculación aire caliente a recuperador
- LC3 - Acumulación inicial vapor saturado
- LC4 - Acumulación inicial vapor sobrecalentado
- LC5 - Entrega vapor sobrecalentado a proceso
- LC6 - Sistema de purgas de control
- LC7 – Sistema de purga de finalización

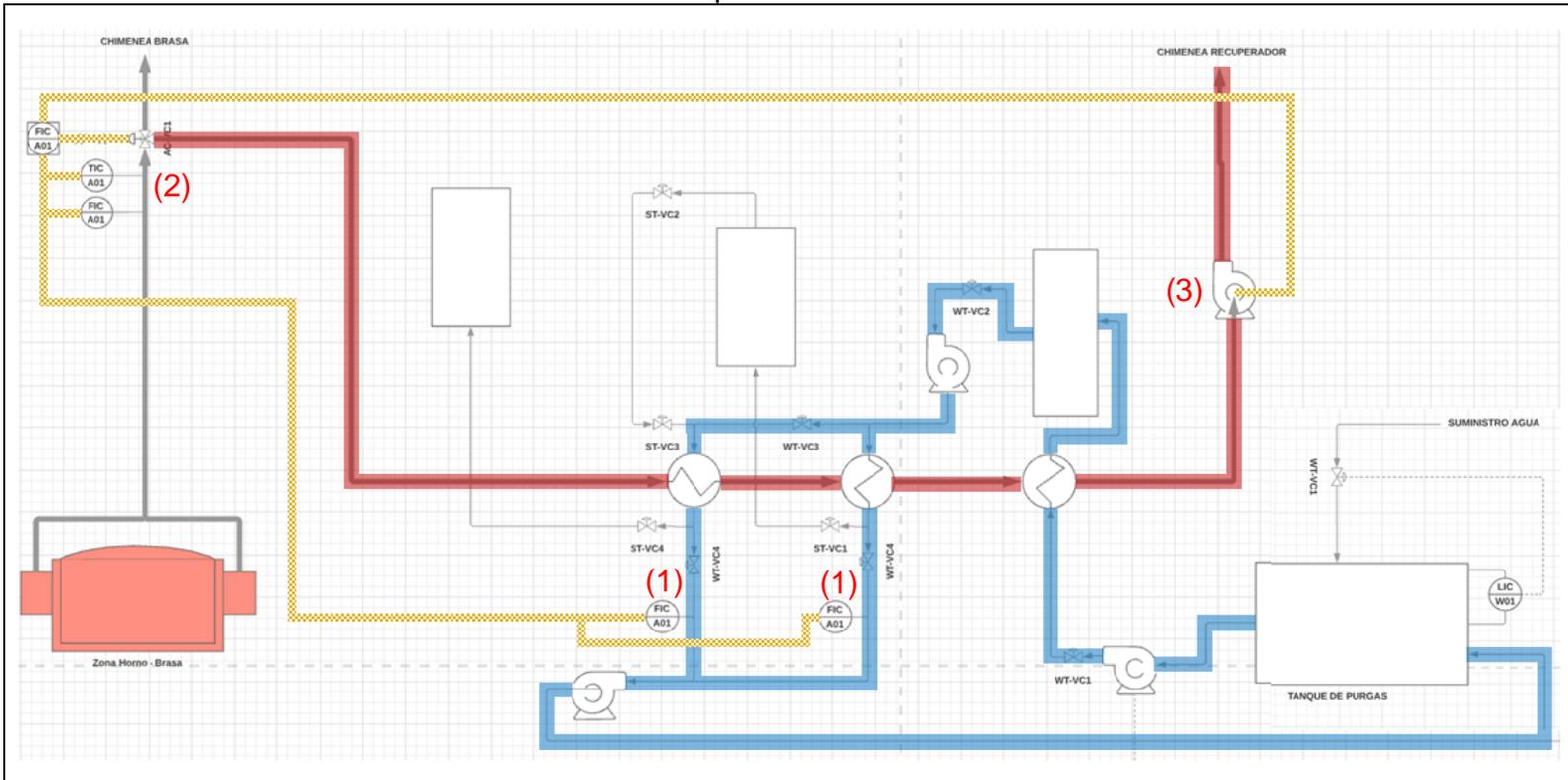
Cuadro 20. LC1 - Llenado sistema recuperador



- Para dar inicio al sistema generador, este deberá activarse de forma manual desde la sala de control y operaciones de la zona caliente (1).
- Lo primero que el sistema empezara a realizar es el llenado del precalentador (2) trayendo el agua suavizada del tanque de purgas o suministro (3) mediante una bomba primaria de proceso (4).
- Luego mediante la bomba de vaporización (5) se enviará el agua de forma paralela al vaporizador (6) y sobrecalentador (7).
- Finalmente, la bomba de purgas (8), podrá ayudar a compensar las pérdidas de presión del sistema y re direccionará el agua directamente al tanque de purgas o suministro.
- El suministro entrante de agua será regulado por un indicador controlador de nivel (9) en el tanque de suministro durante toda la operación del sistema.

Fuente: Elaboración Propia

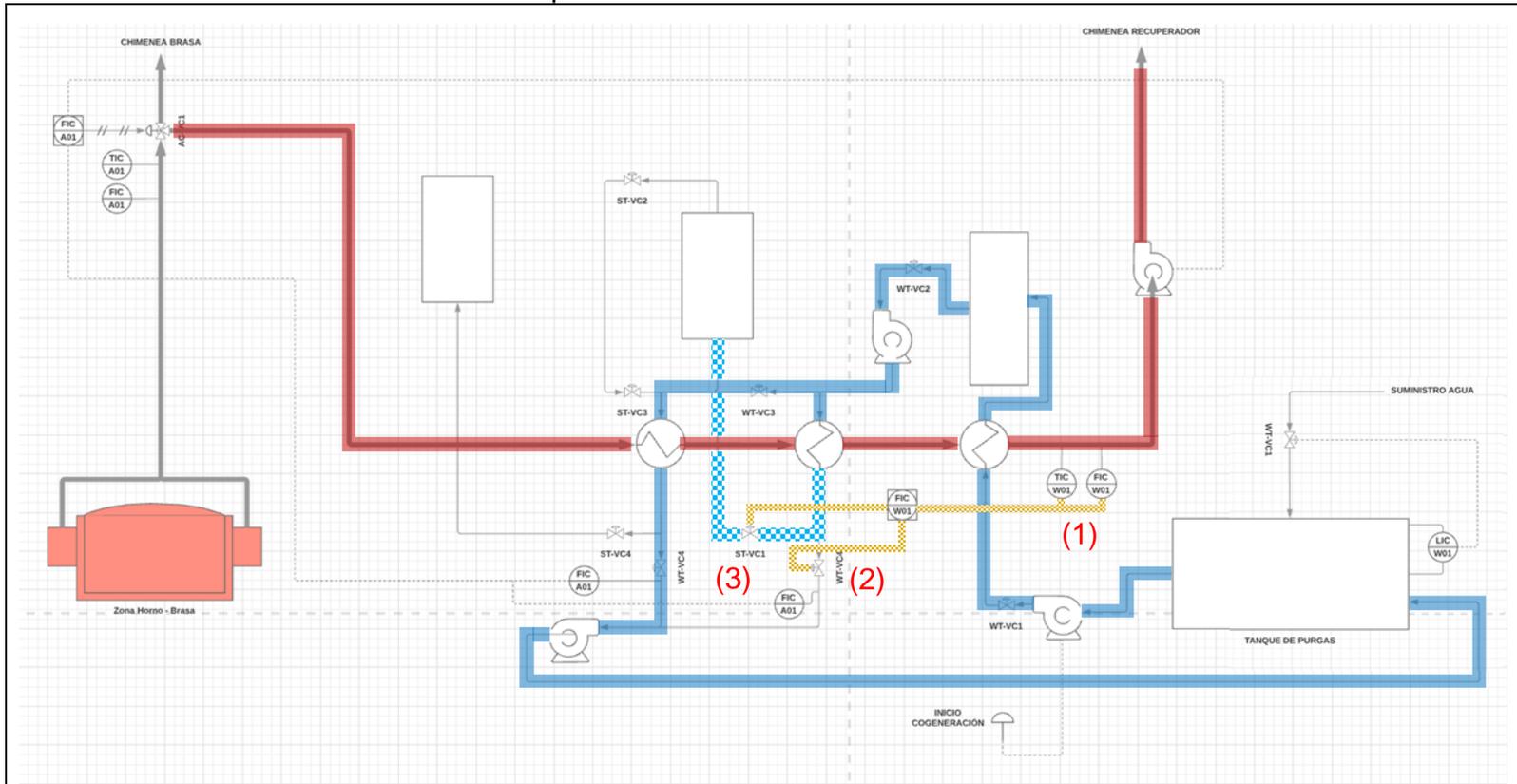
Cuadro 21. LC2 - Recirculación aire caliente a recuperador



- Una vez el sistema recuperador ha sido llenado, dos indicadores controladores de flujo (1) activan la recirculación del aire caliente hacia el sistema recuperador (2), así como el ventilador de extracción (3) que compensara las pérdidas de presión generadas tanto por la tubería como los intercambiadores del sistema recuperador.

Fuente: Elaboración Propia

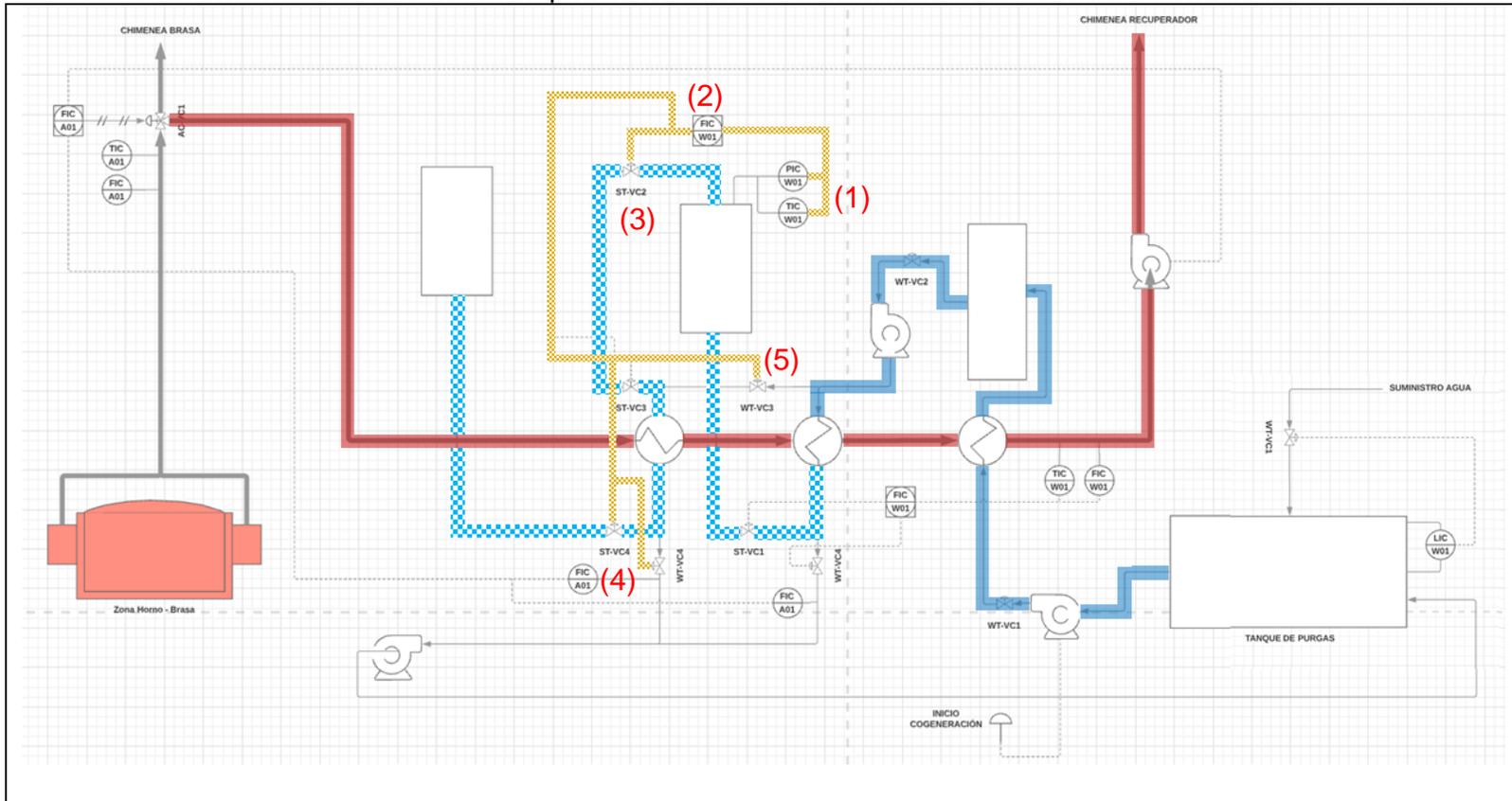
Cuadro 22. LC3 – Acumulación inicial vapor saturado



- Cuando el aire ha sido recirculado por la tubería del sistema recuperador, dos indicadores controladores (Uno de flujo y otro de temperatura) ubicados a la salida de los intercambiadores de calor del sistema recuperador (1), regulan el cierre de la válvula de control de la tubería de llenado del vaporizador (2) y coordina la apertura de la válvula que dirige el flujo hacia el acumulador de vapor saturado (3)

Fuente: Elaboración Propia

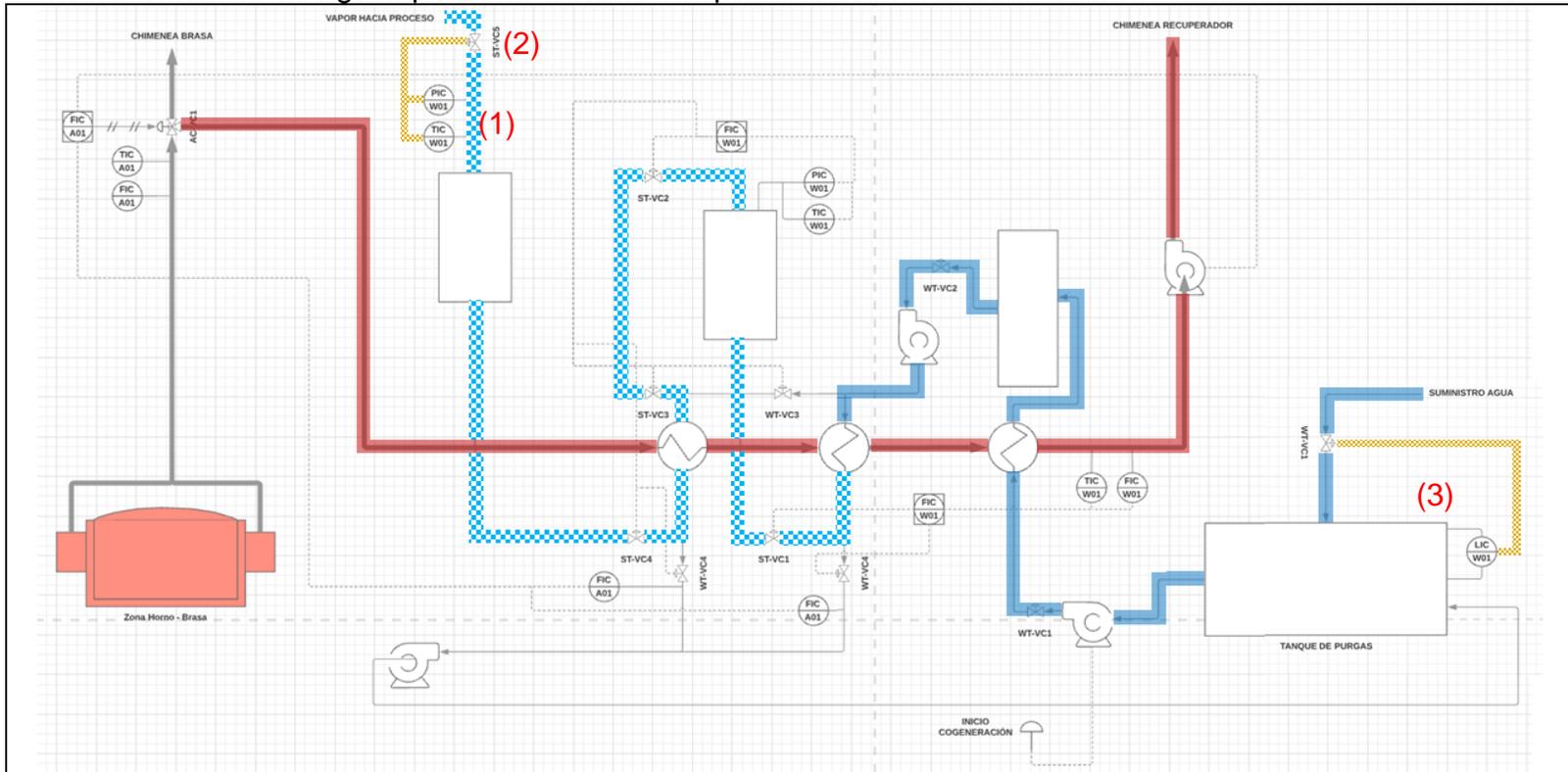
Cuadro 23. LC4 – Acumulación inicial vapor sobrecalentado



- En el tanque de acumulación de vapor saturado, dos indicadores controladores de presión y de temperatura (1), envían la señal a un indicador controlador de flujo de vapor (2) que activa la válvula de circulación de vapor saturado al sobre calentador (3), así como el cierre de las válvula de control de la tubería de llenado del sobrecalentador (4) y la de la tubería de llenado principal (5).

Fuente: Elaboración propia

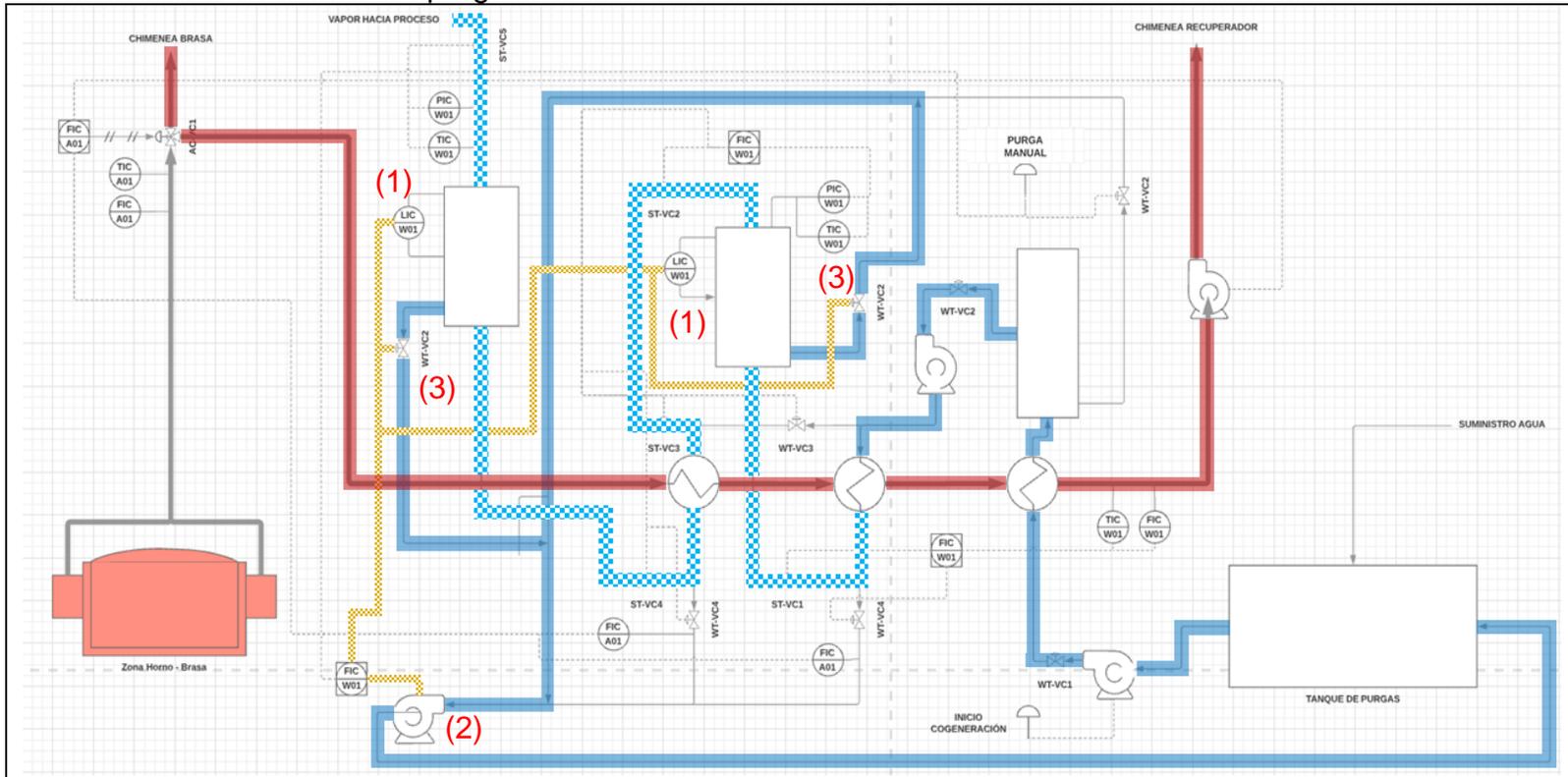
Cuadro 24. LC5 – Entrega vapor sobrecalentado a proceso



- En el tanque de acumulación de vapor sobrecalentado, dos indicadores controladores de presión y de temperatura (1), envían la señal a un indicador controlador de flujo de vapor (2) que activa la válvula de circulación de vapor sobrecalentado hacia el proceso
- Como esta es la primera etapa del proceso donde se genera una pérdida de fluido, se deberá activar el lazo de control LC1 (3) que regula la entrada de agua al tanque de purgas o suministro para ser vaporizada.

Fuente: Elaboración Propia

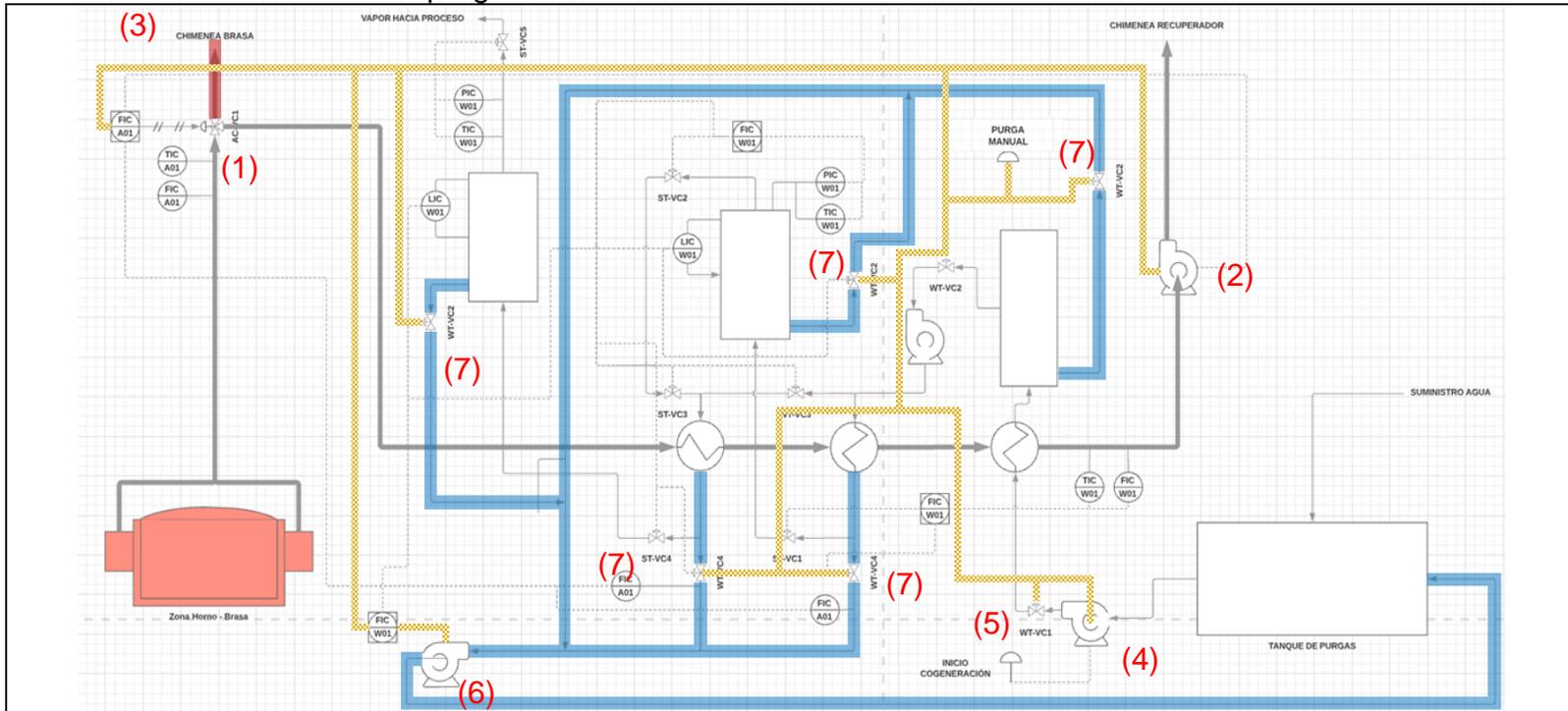
Cuadro 25. LC6 – Sistema de purgas de control



- El sistema de purgas de control, es un sistema que busca controlar la generación de condensados en los tanques acumuladores de vapor saturado y sobre calentado.
- Este sistema de purgas de control funciona mediante indicadores controladores de nivel (1) para los tanques acumuladores, que activan la bomba de extracción del sistema de purgas (2), así como las respectivas válvulas del sistema de purgas de control de los tanques (3).

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 26. LC7 – Sistema de purga de finalización



- El sistema de purga de finalización hace referencia a la detención de la operación del sistema recuperador de calor
- Este sistema de purga de finalización inicia con la desactivación del dámper de recirculación de aire caliente (1) y el ventilador de extracción (2), de tal manera que el aire caliente sea expulsado por la chimenea de la brasa (3).
- Luego se procede con la desactivación de la bomba de suministro (4) y su respectiva válvula de ingreso (5) de agua al proceso.
- Finalmente se realiza el encendido de la bomba de purgas del sistema (6) así como las respectivas válvulas de las tuberías de purgas (7).

Fuente: Elaboración Propia

## 10. EVALUACIÓN DE SEGURIDAD

Para proceder con la evaluación de seguridad del sistema de recuperación de calor se evaluarán las actividades y tareas del proceso de montaje y arranque del sistema. El análisis de seguridad buscará evaluar cuales son las actividades y tareas en las que se está expuesto a un mayor nivel de riesgo y presentara las acciones de contención que deberán ejecutarse para mitigar ese riesgo.

La evaluación de criticidad se realiza mediante la combinación de tres parámetros fundamentales (Cuadro 27); el primero es la probabilidad de ocurrencia del evento, el segundo es la severidad de las lesiones generadas por el riesgo a evaluar, y la tercera es el tiempo de exposición al riesgo evaluado; cada uno de estos ítems tendrá una calificación de 1 a 5 que dará lugar a la criticidad siendo calculado de la siguiente manera.

$$Cr_{Rie} = Pr \cdot Sev \cdot Exp$$

Donde;

$Cr_{Rie}$  = Criticidad evaluada de riesgo

$Pr$  = Probabilidad estimada

$Sev$  = Severidad estimada

$Exp$  = Exposición estimada

Cuadro 27. Parámetro de evaluación de criticidad de riesgos

PUNTAJE	PARÁMETRO		
	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EXPOSICIÓN
5	Muy Alta	Accidente grave con incapacidad mayor a 1 día	Más de 24 Horas/
4	Alta	Accidente con incapacidad menor a 1 día	Entre 8 y 24 Horas/Semana
3	Media	Accidente con atención por primeros auxilios	Entre 8 y 16 Horas/Semana
2	Baja	Accidente con atención ambulatoria sin incapacidad	Entre 4 y 8 Horas/Semana
1	Muy Baja	Casi Accidente	Menos de 4 Horas/Semana

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 28 aparece el listado completo de las actividades a ejecutar durante el proceso antes mencionado con su respectivo listado de las tareas fundamentales que deberán ejecutarse en cada una de las actividades y una calificación total de criticidad de la tarea, obtenida de la evaluación individual de cada uno de los riesgos que se encuentra disponible en el Anexo I.

Cuadro 28. Evaluación de riesgos de salud y seguridad asociados

OPERACIÓN	NO. RIESGOS	SCORE CRITICIDAD
<b>1. INSTALACIÓN Y MONTAJE</b>	<b>61</b>	
<b>1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA</b>	<b>17</b>	
1.1.1 Preparación de puntos de anclaje y sistemas de acople	4	162
1.1.2 Descargue de componentes estructurales y almacenamiento temporal de insumos y materiales	2	72
1.1.3 Montaje e instalación de componentes estructurales	3	132
1.1.4 Anclaje de componentes estructurales	6	243
1.1.5 Inspección de montaje y anclaje	2	100
<b>1.2 MONTAJE DE TUBERÍA</b>	<b>13</b>	
1.2.1 Descargue de secciones de tuberías y almacenamiento temporal de insumos y materiales	2	72
1.2.2 Montaje e instalación de secciones de tubería	3	132
1.2.3 Anclaje de secciones de tuberías	6	243
1.2.4 Inspección de montaje y anclaje	2	100
<b>1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES</b>	<b>11</b>	
1.3.1 Descargue de sistemas recuperadores de calor y almacenamiento temporal de insumos y materiales	2	72
1.3.2 Montaje e instalación mecánica de recuperadores	3	132
1.3.3 Inspección de montaje y anclaje de equipos	2	100
1.3.4 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	2	93
1.3.5 Inspección y comprobación de sistemas de control	2	93
<b>1.4 MONTAJE DE EXTRACTOR DE TIRO INDUCIDO</b>	<b>8</b>	
1.4.1 Descargue y montaje mecánico de extractor	2	72
1.4.2 Inspección de montaje y anclaje de equipo	2	100
1.4.3 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	2	93
1.4.4 Inspección y comprobación de sistemas de control	2	93
<b>1.5 MONTAJE DE CHIMENEA</b>	<b>12</b>	
1.5.1 Descargue de secciones de tuberías y almacenamiento temporal de insumos y materiales	2	72
1.5.2 Montaje e instalación de secciones de tubería	2	72
1.5.3 Anclaje de secciones de tuberías	6	243
1.5.4 Inspección de montaje y anclaje	2	100

Cuadro 28. (Continuación)

OPERACIÓN	NO. RIESGOS	SCORE CRITICIDAD
<b>2. ACOUPLE A LINEA DE PROCESO</b>	<b>36</b>	
<b>2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR</b>	<b>25</b>	
2.1.1 Instalación de sistema de extracción secundaria de brasa	7	291
2.1.2 Montaje e instalación de sistema direccionador de aire caliente	7	291
2.1.3 Inspección de montaje y anclaje	3	148
2.1.4 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	3	141
2.1.5 Inspección y comprobación de sistemas de control	3	141
2.1.6 Recirculación del sistema de extracción secundaria hacia chimenea principal	2	88
<b>2.2 ACOUPLE A LINEA DE VAPOR</b>	<b>11</b>	
2.2.1 Instalación de tubería de vapor	5	219
2.2.2 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	3	141
2.2.3 Inspección y comprobación de sistemas de control	3	141
<b>3. PUESTA A PUNTO</b>	<b>18</b>	
<b>3.1 RECIRCULACIÓN DEL AIRE CALIENTE</b>	<b>9</b>	
3.1.1 Inspección y verificación de ajustes de tubería	3	148
3.1.2 Ajustes de acoples de sección de tubería por dilatación térmica	3	148
3.1.3 Inspección y comprobación de equipos de control	3	148
<b>3.2 GENERACIÓN DE VAPOR</b>	<b>9</b>	
3.2.1 Inspección y verificación de ajustes de tubería	3	148
3.2.2 Inspección y verificación de acumuladores de vapor	3	148
3.2.3 Inspección y comprobación de equipos de control	3	148
<b>TOTAL GENERAL RIESGOS</b>	<b>115</b>	
Riesgos Nivel Riesgo Critico ( $\geq 240$ )	32	
Riesgos Nivel Riesgo Medio ( $240 > X > 100$ )	51	
Riesgos Nivel Riesgo Bajo ( $\leq 100$ )	32	

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro 28 se tiene que la operación de montaje e instalación del sistema recuperador de calor es una operación con altos niveles de riesgo; de un total de 115 riesgos existentes en la operación 83 son evaluados con criticidad Media-Crítica, por lo que se procede a realizar un análisis por tipo de riesgo como se presente en el cuadro 29;

Cuadro 29. Análisis por tipo de riesgo

	<b>NO. RIESGOS</b>	<b>SCORE CRITICIDAD</b>
Trabajo en alturas	22	1320
Objetos que caen	22	1056
Trabajo en caliente	21	1008
Riesgo Eléctrico	14	630
Caídas a mismo nivel	13	520
Aplastamiento	14	336
Gases Tóxicos	6	108
Material particulado	1	48
Proyección partículas	1	30
Atrapamientos	1	24
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>115 Riesgos</b>	

Fuente: Elaboración propia

En el momento de la ejecución de la operación de montaje, instalación y puesta a punto del proceso deberá tenerse un profesional en seguridad que garantizara que para todas las actividades donde exista trabajo en alturas, trabajo en caliente, objetos que caen y riesgo eléctrico se realizarán los respectivos ATS y permisos de trabajo que deberán ser supervisados por un inspector de SISO debido a la cantidad de riesgos que existen asociadas a estas actividades así como su alto valor de criticidad.

Los análisis de tipo de seguridad presentados son estimativos y corresponden a una guía que deberá ser evaluada por el responsable de seguridad y salud ocupacional del proyecto en el momento de iniciar la obra.

El análisis y evaluación de elementos de protección personal requeridos, así como de contenciones y equipos de seguridad requeridos en la operación deberán ser evaluados y suministrados por los encargados de las diferentes empresas asociadas a las obras a realizar.

## 11. EVALUACIÓN DE MEDIO AMBIENTE

Para proceder a realizar una evaluación medio ambiental del proyecto, será necesario evaluar los aspectos e impactos que se generarán en cada una de las etapas del proyecto (Montaje e Instalación, Operación) haciendo uso de la matriz de Leopold que correlaciona todos estos elementos y permitirá obtener el impacto total que tendrá el sistema de recuperación de calor en el entorno de la compañía.

El procedimiento de cálculo del impacto consiste en una correlación entre la magnitud, la importancia (Cuadro 30), y la ponderación de cada uno de los aspectos ambientales que se verá afectado por el desarrollo del proyecto.

Cuadro 30. Criterios de magnitud e impacto para matriz Leopold

	MAGNITUD
Alteración Total (Controlada O No Controlada)	5
Alteración No Controlada	4
Baja Alteración No Controlada	3
Alteración Controlada	2
Baja Alteración Controlada	1
Sin Alteración	0
Magnitud Afectación Positiva	+
Magnitud Afectación Negativa	-

	IMPACTO
Impacto Muy Alto	5
Impacto Alto	4
Impacto Medio	3
Impacto Bajo	2
Sin Impacto	1

Fuente: Elaboración Propia

De tal manera que el cálculo del impacto medio ambiental del proyecto estará dado por;

$$Imp_{Pro} = Imp_{T+} - Imp_{T-}$$

$$Imp_{Pro} = \left[ \sum_{Asp} \%_{Pon} \cdot (M_{Etp+} \cdot I_{Etp+}) - \sum_{Asp} \%_{Pon} \cdot (M_{Etp-} \cdot I_{Etp-}) \right]$$

Donde;

$Imp_{pro}$  = Impacto Total Proyecto

$Imp_{T+}$  = Impacto Total Positivo

$Imp_{T-}$  = Impacto Total Negativo

$\%_{pon}$  = % Ponderación Aspecto

$M_{Etp+}$  = Resultado Magnitud Positiva Etapa

$M_{Etp-}$  = Resultado Magnitud Negativa Etapa

$I_{Etp+}$  = Resultado Impacto Positivo Etapa

$I_{Etp-}$  = Resultado Impacto Negativo Etapa

En el cuadro 31 aparece el resultado total de la matriz de Leopold donde se tiene como resultado que el proyecto tendrá un impacto positivo sobre su medio ambiente de +64,6 puntos, asociados directamente con una mejora de +44,7 puntos de impacto positivo sobre la calidad de temperatura de la atmosfera debido a que luego de haber ejecutado el proyecto se estima que la temperatura de emisión del aire caliente pasaría de 750°C a cerca de 80°C y una mejora de +33,9 puntos positivos de impacto sobre el tema de la calidad de los gases y partículas emitidos a la atmosfera, debido a que la utilización de este sistema, mitigará el uso de la caldera piro tubular operada por gas natural mitigando la combustión de cerca de 40 metros cubico diarios de gas natural.

Dentro de los puntos a considerar con impacto negativo al medio ambiente del proyecto se relacionan con una calificación de -10,8 y - 4,13 puntos de impacto negativo sobre la fauna de insectos y aves de la zona respectivamente, debido a que la emisión de aire a la atmosfera sigue ejecutándose si bien no a tan altas temperaturas como lo hacía antes si a un alto flujo, lo cual puede genera que esta zona del espacio aéreo del proyecto no sea apta para el tránsito de las aves generando problemas de sobre población de insectos y generado algunos desequilibrios en el ecosistema.

Finalmente la segunda calificación más alta de impacto negativo del proyecto está asociada a temas de ruido ya que en todas las etapas del proyecto será un aspecto ambiental que se verá fuertemente afectado, en menor medida durante la etapa final y de operación del equipo, pero no obstante el proceso de vaporización y recirculación de gases, así como la utilización de un extractor para el aire caliente generará una fuente de ruido nueva al medio del proyecto, por lo que a futuro deberá pensarse en proyectos de insonorización en especial para el sistema de extracción de aire caliente en la zona donde se localice el sistema extractor.

Cuadro 31. Matriz de Leopold proyecto recuperación calor

			ETAPAS DEL PROYECTO DE SISTEMA RECUPERADOR DE CALOR						IMPACTO POSITIVO			IMPACTO NEGATIVO			IMPACTO AMBIENTAL TOTAL DEL PROYECTO
			1. MONTAJE E INSTALACIÓN			2. OPERACIÓN			MAGNITUD	IMPORTANCIA	TOTAL	MAGNITUD	IMPORTANCIA	TOTAL	
			1.1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2. ACOPLE A LINEA	1.3. PUESTA A PUNTO	2.1. EXTRACCIÓN AIRE	2.2. GENERACIÓN VAPOR	2.3. EXPULSIÓN AIRE RESIDUAL							
		%													
ATMÓSFERA	Calidad (Gases, Partículas)	30,00%	-3 3	-3 2	+1 3	+5 5	+2 2	+5 5	13	13	169	-8	7	-56	33,90
	Temperatura	30,00%	-1 2	-1 2	+1 3	+5 5	+2 1	+5 5	13	13	169	-4	5	-20	44,70
NIVEL CULTURAL	Empleos	5,00%	+2 5	+2 4	+2 4	+1 3	+1 3	+1 3	9	22	198	-	-	-	9,90
FAUNA	Aves	12,50%	-3 2	-3 2	-3 2	1 2	1 1	1 4	3	7	21	-9	6	-54	-4,13
	Insectos	10,00%	-3 1	-3 1	-3 1	-3 1	-3 1	-3 1	-	-	-	-18	6	-108	-10,80
SERVICIOS	Generación Residuos	5,00%	-2 5	-2 4	+1 3	+1 3	+1 3	+1 3	4	9	36	-4	9	-36	0,00
OTROS	Ruido	2,50%	-4 3	-3 3	-3 2	-3 1	-3 1	-3 1	-	-	-	-19	11	-209	-5,23
AGUA	Subterráneas	2,50%	-1 3	-2 2	-2 2	0 1	-2 4	-2 4	-	-	-	-9	15	-135	-3,38
TIERRA	Suelos	1,25%	-2 3	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	-	-	-	-2	3	-6	-0,08
	Material Construcción	1,25%	-2 3	-1 2	-1 1	0 1	0 1	0 1	-	-	-	-4	6	-24	-0,30
<b>IMPACTO AMBIENTAL TOTAL DEL PROYECTO</b>														<b>+ 64,6</b>	

Fuente: Elaboración propia

## 12. EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera del proyecto se llevará a cabo haciendo uso de un análisis de Valor Presente Neto (VPN) - Tasa Interna de Retorno (TIR) para evaluar la viabilidad y factibilidad del proyecto, analizando tres aspectos fundamentales del proyecto.

### 12.1 ANALISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

12.1.1 Costos de evaluación y diseño. Los costos asociados a la etapa de evaluación y diseño del proyecto hacen referencia a componentes tales como el costo de la mano de obra, del proyectista, asesores de la compañía, orientadores de la universidad, etc. De igual manera también se relacionan los costos de los equipos, transportes e insumos requeridos para la ejecución de los análisis requeridos durante la etapa del diseño (Cuadro 32).

Todas las cotizaciones asociadas a la etapa de evaluación relacionados con maquinaria y equipo, así como para los fungibles podrán encontrarse en el Anexo J.

Los costos asociados al talento humano han sido obtenidos del salario medio anual tanto del orientador de la Fundación Universidad América como el Ingeniero encargado de Vidrio Andino S.A.

Para el costo asociado al salario del proyectista se hace uso de los datos del Observatorio Laboral Para La Educación<sup>7</sup>, en donde se manifiesta que con una tasa de cotizantes del 84,8%, el salario medio para el año 2014 de ingenieros mecánicos recién egresados se cotizaba en \$2'087.904 COPs.

Finalmente se anexa un costo asociado a los costos de transporte por trayecto a la Planta Soacha de Vidrio Andino S.A., que al estar localizada en perímetro rural del municipio de Soacha exige costos de desplazamiento mayores que si se encontrase en perímetro urbano.

---

<sup>7</sup> OBSERVATORIO LABORAL PARA LA EDUCACIÓN. Vinculación Laboral De Recién Graduados. Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2GSRr7o>

**Cuadro 32. Costos de evaluación y diseño**

RECURSO	UND	\$/UNID	CANT.	TOTAL
Proyectista Fundación Universidad América	HH	\$ 7.300,00	2080	\$ 15.184.000,00
Orientador Fundación Universidad América	HH	\$ 15.000,00	32	\$ 480.000,00
Ingeniero Vidrio Andino S.A.	HH	\$ 17.500,00	50	\$ 875.000,00
<b>TOTAL TALENTO HUMANO</b>				<b>\$ 16.539.000,00</b>
Precision Workstation DELL 3420 SFF	UND	\$ 7.608.456,00	1	\$ 7.608.456,00
Autodesk Inventor Professional (Licencia Anual)	UND	\$ 5.472.992,00	1	\$ 5.472.992,00
<b>TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO</b>				<b>\$ 13.081.448,00</b>
Resma Papel Tamaño Carta 72 g x 500	UND	\$ 10.600,00	5	\$ 53.000,00
Tonner Tinta HP Deskjet HP 664 Ink, tricolor	UND	\$ 39.900,00	4	\$ 159.600,00
Tonner Tinta HP Deskjet HP 664 Ink, tricolor	UND	\$ 39.900,00	4	\$ 159.600,00
Bolígrafo Sly Pelikan X12 Rojo	UND	\$ 8.900,00	2	\$ 17.800,00
Bolígrafo Sly Pelikan X12 negro	UND	\$ 8.900,00	2	\$ 17.800,00
Agenda Permanente Campo	UND	\$ 44.200,00	2	\$ 88.400,00
<b>TOTAL FUNGIBLES</b>				<b>\$ 496.200,00</b>
Costo Transporte Por Trayecto	Trayecto	\$ 20.000,00	240	\$ 4.800.000,00
<b>TOTAL OTROS GASTOS</b>				<b>\$ 4.800.000,00</b>
<b>TOTAL ANTES DE IMPREVISTOS</b>				<b>\$ 34.916.648,00</b>
Imprevistos 2-6% (4%)				\$ 1.396.665,92
<b>COSTO TOTAL ETAPA DE EVALUACIÓN Y DISEÑO</b>				<b>\$ 36.313.313,92</b>

Fuente: Elaboración Propia

12.1.2 Costos de equipos y maquinaria. Los costos de equipos y maquinaria hacen referencia a todos los componentes y materiales requeridos para la ejecución y correcto desarrollo del sistema recuperador. En este apartado se hace referencia desde los componentes estructurales que soportarán la tubería de transporte de aire caliente, hasta las estimaciones de los componentes de instrumentación y control requeridos para garantizar el control del proceso.

Debido a que los equipos intercambiadores de calor solo se encuentran dimensionados, se realiza una aproximación del precio de cada uno de estos equipos, tomando como base el precio de la caldera del sistema actual Anexo L por lo que las dimensiones de los intercambiadores se asemejan a las de la carcasa y tubos de la caldera del sistema actual. En la siguiente etapa de este proyecto, cada uno de estos equipos deberá ser cotizado y recalculado en la evaluación financiera del mismo.

### Cuadro 33. Costos de equipo y maquinaria

TASA CAMBIO US/COPs (Máx Mayo 2018)	\$ 2.925,67
TASA CAMBIO €/COPs (Máx Mayo 2018)	\$ 3.444,00

COMPONENTE	UND	COPs/UNID	€/UNID	US/UNID	CANT.	TOTAL (COPs)
Sección Recta 1.500 mm - Acero SAE 304	KG	-	-	\$ 3,20	11.970	\$ 112.064.863,68
Sección Recta 820 mm - Acero SAE 304	KG	-	-	\$ 3,20	1.080	\$ 10.111.115,52
Sección Ángulo 90° - Acero SAE 304	KG	-	-	\$ 3,20	2.775	\$ 25.979.949,60
Sección Ángulo 45° - Acero SAE 304	KG	-	-	\$ 3,20	330	\$ 3.089.507,52
Sección Ángulo 15° - Acero SAE 304	KG	-	-	\$ 3,20	260	\$ 2.434.157,44
Electrodo AWS E308L16 X 1/8"	KG	\$ 10.900,00	-	-	246	\$ 2.683.798,00
Aislamiento Térmico Lana Mineral	M2	\$ 247.194,00	-	-	276,6	\$ 68.361.500,70
<b>TOTAL TUBERÍA DE TRANSPORTE</b>						<b>\$ 224.724.892,46</b>
Perfil Americano C3"x4,1"- Acero ASTM A36	KG	-	-	\$ 0,45	684	\$ 900.942,52
Perfil Americano S12"x31,8" - Acero ASTM A36	KG	-	-	\$ 0,70	13.660	\$ 27.976.710,60
Electrodo AWS E7014 X 1/8"	KG	\$ 7.700,00	-	-	215	\$ 1.656.732,00
Tornillería Hexagonal G2 D1" - 1 1/2"	KG	-	-	\$ 1,10	186	\$ 598.688,63
<b>TOTAL SISTEMA ESTRUCTURAL</b>						<b>\$ 31.133.073,75</b>
Pistones Neumáticos DNSU 63-200 P-A	UND	-	-	\$ 100,00	4	\$ 1.170.268,00
Sección Tubería T Direccionador - Acero SAE 304	KG	-	-	\$ 3,20	683	\$ 6.394.344,35
Acoples Damperes Dirección - Acero SAE 304	KG	-	-	\$ 3,20	1.028	\$ 9.629.526,83
<b>TOTAL SISTEMA DAMPERES DIRECCIÓN</b>						<b>\$ 17.194.139,18</b>
Ventilador Axial Tiro Forzado	UND	-	-	\$ 1.000,00	1	\$ 2.925.670,00
Acoples Tubería Sistema Extracción - Acero SAE 304	KG	-	-	\$ 3,20	1.028	\$ 9.629.526,83
<b>TOTAL SISTEMA EXTRACCIÓN AIRE</b>						<b>\$ 12.555.196,83</b>
Sobrecalentador	UND	-	-	\$ 41.900,00	1	\$ 122.585.573,00
Vaporizador	UND	-	-	\$ 41.900,00	1	\$ 122.585.573,00
Economizador	UND	-	-	\$ 41.900,00	1	\$ 122.585.573,00
Conexión P&ID Recuperador - DCS Planta SCH	UND	-	-	\$ 11.000,00	1	\$ 32.182.370,00
<b>TOTAL SISTEMA RECUPERACIÓN</b>						<b>\$ 399.939.089,00</b>
Indic.-Transm. Temp.: DIN HEAD B PT100, FIXED PT100	UND	-	€ 59,00	-	10	\$ 2.031.960,00
Indic.-Transm. Temp.: CARTRIDGE 17000	UND	-	€ 253,00	-	10	\$ 8.713.320,00
Indic.-Transm. Flujo: MASSFLOW METER 200 SCCM 0-5V	UND	-	€ 1.140,00	-	2	\$ 7.852.320,00

Cuadro 33. (Continuación)

Indic.-Transm. Flujo: SANITARY TURB FTB-401A	UND	-	€ 1.200,00	-	8	\$ 33.062.400,00
Indic.-Transm. Presión: PRESSURE TRANS. 0-50PSID	UND	-	€ 1.030,00	-	3	\$ 10.641.960,00
Controlador: HE-XE105	UND	-	€ 655,00	-	5	\$ 11.279.100,00
Acondic. Señal: DIN RAIL ACI I/P. 4-20MA O/P 230VAC	UND	-	€ 177,00	-	25	\$ 15.239.700,00
<b>TOTAL SISTEMA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL</b>						<b>\$ 88.820.760,00</b>
<b>TOTAL ANTES DE IMPREVISTOS</b>						<b>\$ 774.367.151,23</b>
Imprevistos 2-6% (5%)						\$ 38.718.357,56
<b>COSTO TOTAL DE EQUIPOS Y MATERIALES</b>						<b>\$ 813.085.508,79</b>

Fuente: Elaboración Propia

12.1.3 Costos de montaje y puesta a punto. Para la etapa de montaje se supone el alquiler de equipos con un precio por día de \$145.321 COPs, una cuadrilla de 15 personas y un supervisor de montaje; la operación total de montaje se estima con una duración de 45 días. Respecto a la puesta a punto del equipo se supone una duración de 45 días de operación mediante 3 operadores de control, 2 técnicos de mantenimiento y 1 supervisor de operación.

Cuadro 34. Costos de montaje y puesta a punto

RECURSO	UND	\$/UNID	CANT.	TOTAL
Alquiler Equipos Y Maquinaria	HM	\$ 145.321,00	360	\$ 52.315.560,00
Supervisor Instalación & Montaje (1 Persona)	HH	\$ 14.723,00	360	\$ 5.300.280,00
Personal Operativo Instalación & Montaje (15 Personas)	HH	\$ 4.115,00	5.400	\$ 22.221.000,00
<b>TOTAL MONTAJE Y OPERACIÓN</b>				<b>\$ 79.836.840,00</b>
Supervisor Encargado Sistema Recuperación (1 Persona)	HH	\$ 14.875,00	320	\$ 4.760.000,00
Operador Control Sistema Recuperación (3 Personas)	HH	\$ 4.970,00	960	\$ 4.771.200,00
Personal Técnico Mantenimiento (2 Personas)	HH	\$ 4.578,00	640	\$ 2.929.920,00
<b>TOTAL PUESTA A PUNTO</b>				<b>\$ 12.461.120,00</b>
<b>TOTAL ANTES DE IMPREVISTOS</b>				<b>\$ 92.297.960,00</b>
Imprevistos 2-6% (6%)				\$ 5.537.877,60
<b>COSTO TOTAL DE MONTAJE Y PUESTA A PUNTO</b>				<b>\$ 97.835.837,60</b>

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se tiene que el costo estimado de inversión inicial total del proyecto está dado por;

$$C_{Inv} = C_{Eva} + C_{Eqp} + C_{Mnt}$$

$$C_{Inv} = \$ 36.313.313,92 + \$ 813.085.508,79 + \$ 97.835.837,60$$

$$C_{Inv} = \$ 947.234.660,30 \text{ COPs} = € 275.039,10$$

Donde;

$C_{Inv}$  = Costo de inversión total del proyecto

$C_{Eva}$  = Costos de evaluación y diseño

$C_{Eqp}$  = Costo de equipos y maquinaria

$C_{Mnt}$  = Costo de montaje y puesta a punto

## 12.2 ANALISIS FINANCIERO A CAPACIDAD MEDIA OPERACIONAL ACTUAL

Para realizar el análisis financiero del proyecto se deberá tener en cuenta dos escenarios, el primero a analizar es el escenario en el que la caldera trabaja a la capacidad media operacional actual que exige el proceso.

Normalmente la producción de vapor media para los procesos de humectación y calentamiento de la composición de vidrio es de 394,69 Kg de vapor diarios, con un consumo de gas natural de 30 metros cúbicos al día; si bien Vidrio Andino S.A. hace parte del mercado no regulado de consumo industrial de gas natural, para realizar los cálculos de consumo se tomaran los precios para clientes regulados del municipio de Soacha del mes de Mayo de 2018 de la compañía Gas natural Fenosa Figura 45, donde se indica que el precio del metro cubico de gas natural para dicho mes fue de 1.490,37 COPs para el municipio de Soacha, por lo que el costo de generación actual del sistema a capacidad media operacional estará dado por;

Figura 45. Precio gas natural mayo 2018

<b>GAS NATURAL, S.A. ESP</b>	
<b>Informa para el mes de Mayo de 2018:</b>	
1. La Comisión de Regulación de Energía y Gas definió, mediante Resolución 137 de 2013, la fórmula tarifaria a usuarios regulados	
2. La Resolución CREG 186 de 2010 modificada por la Resolución CREG 186 de 2013 y por la Resolución CREG 186 de 2014, reglamenta el otorgamiento de subsidios para los estratos 1 y 2 del servicio de Gas Combustible por Red de Tubería.	
<b>Mercado relevante compuesto por los municipios de Bogotá, Soacha y Sibaté</b>	
El costo promedio unitario para compras de gas natural destinado a usuarios regulados:	Gm = 645,53 \$/m3
El costo promedio unitario para transporte de gas natural destinado a usuarios regulados:	Tm = 468,59 \$/m3
Las pérdidas reconocidas en el sistema de distribución:	p = 3,20%
Costo por uso del sistema de distribución de gas natural destinado a usuarios regulados:	Dm = 330,04 \$/m3
El cargo variable de comercialización a usuarios regulados:	Cv = -
El cargo de confiabilidad del servicio de gas combustible:	Cc = -
El cargo fijo de comercialización a usuarios regulados:	Cuf = 3051 \$/factura
Factor de Poder Calorífico	Fpc = 1,141

Fuente: GAS NATURAL FENOSA, Tarifas Reguladas y Cargo Distribución. [Sitio WEB]. [04, abril, 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2T6BBMH>

$$C_{Gen-vap} = \frac{(\dot{m}_{G-Nat} \cdot C_{G-Nat})}{\dot{m}_{vap}}$$

$$C_{Gen-vap} = \frac{30 \text{ m}^3/\text{Día} \cdot 1.490,37 \text{ COPs}/\text{m}^3}{394.69 \text{ Kg}/\text{Día}} \rightarrow C_{Gen-vap} = 113,28 \text{ COPs}/\text{Kg}$$

Donde;

$C_{Gen-vap}$  = Costo generación vapor

$\dot{m}_{G-Nat}$  = Consumo medio de gas natural

$\dot{m}_{vap}$  = Generación medio de vapor

$C_{G-Nat}$  = Costo de gas natural

Sabiendo que mensualmente la generación de vapor de la caldera a capacidad media operacional será de máximo 12.235,39 Kg, se tiene que el costo de generación a capacidad media operacional mensual máximo es de;

$$C_{Total-Gen} = \dot{m}_{vap} \cdot C_{Gen-vap}$$

$$C_{Total-Gen} = 12.235,39 \text{ Kg}/\text{Mes} \cdot 113,28 \text{ COPs}/\text{Kg}$$

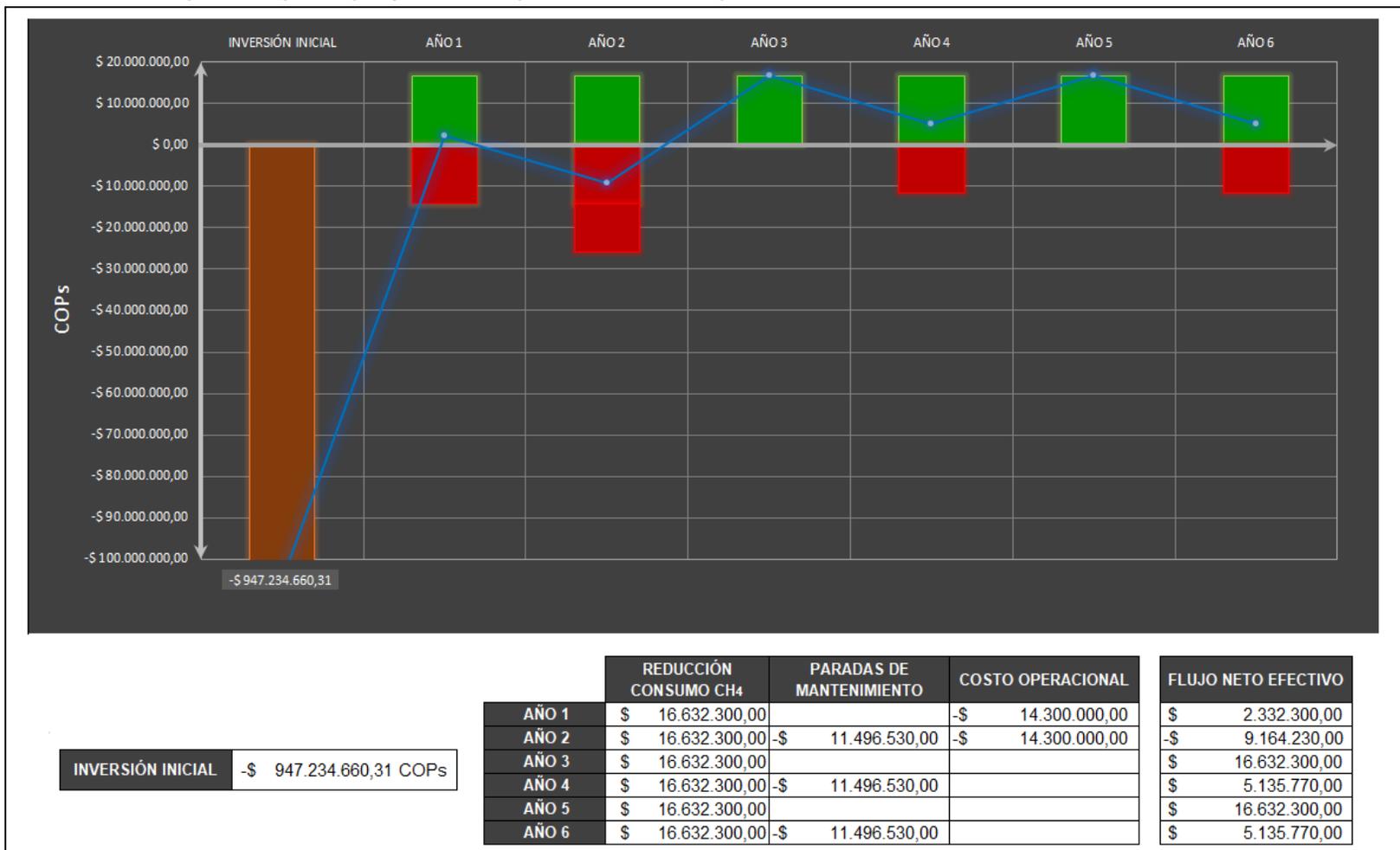
$$C_{Total-Gen} = 1.386.024,97 \text{ COPs}/\text{Mes}$$

Donde;

$C_{Total-Gen}$  = Costo total mensual generación vapor a capacidad media operacional

Debido a que el sistema de recuperación de calor tendrá capacidad de generar todo el vapor que el sistema actual a capacidad media operacional produce, se considera que el sistema generara un ahorro mensual de \$ 1.386.024,97 COPs asociado al consumo actual de gas natural del sistema; luego se tiene que si bien los intercambiadores de calor solo han sido caracterizados térmicamente, se supone un costo asociado al mantenimiento de los equipos de \$ 11.496.530 COPs (\$ 3.916,41 USD) cada dos años tomado de los costos de mantenimiento del sistema actual disponible en el Anexo L; finalmente para los costos asociados a operación del equipo se supone el uso de un operador dedicado al sistema recuperador durante los primeros dos años con un costo anual de \$14.300.000 obteniendo el diagrama de flujo de caja presentado en el Cuadro 35 con un horizonte de 6 años que corresponde al tiempo máximo autorizado por la empresa para retornar la inversión de proyectos industriales.

Cuadro 35. Flujo de caja de proyecto a capacidad media operacional



Fuente: Elaboración propia

Teniendo el flujo de caja anterior, se procede a realizar el cálculo del valor presente neto (VPN) del proyecto, sabiendo que la compañía tiene una tasa aceptable de retorno de inversión (TREMA) del 7,15%;

$$VPN = -C_{Inv} + \sum_{n=1}^6 \frac{f_{Efc}}{(i_{TREMA} + 1)^n}$$

$$VPN = -\$ 947.234.660,30 \text{ COPs} + \frac{\$ 2.232.000 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^1} - \frac{\$ 9.164.230 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^2}$$

$$+ \frac{\$ 16.632.300 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^3} + \frac{\$ 5.135.770 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^4} + \frac{\$ 16.632.300 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^5}$$

$$+ \frac{\$ 5.135.770 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^6}$$

$$VPN = -\$ 920.443.142,68 \text{ COPs}$$

Donde;

$VPN$ = Valor presente neto

$C_{Inv}$ = Costo de inversión total del proyecto

$f_{Efc}$ = Flujo de efectivo del periodo (Ver Cuadro 35)

$i_{TREMA}$ = Tasa aceptable de retorno de inversión

$n$ = Número de periodo

Adicional al desarrollo del cálculo del VPN, se procede a realizar el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR), igualando el valor presente neto a 0 y haciendo uso de un software de cálculo se tiene el siguiente resultado;

$$0 = -\$ 947.234.660,30 \text{ COPs} + \frac{\$ 2.232.000 \text{ COPs}}{(i_{TIR} + 1)^1} - \frac{\$ 9.164.230 \text{ COPs}}{(i_{TIR} + 1)^2}$$

$$+ \frac{\$ 16.632.300 \text{ COPs}}{(i_{TIR} + 1)^3} + \frac{\$ 5.135.770 \text{ COPs}}{(i_{TIR} + 1)^4} + \frac{\$ 16.632.300 \text{ COPs}}{(i_{TIR} + 1)^5}$$

$$+ \frac{\$ 5.135.770 \text{ COPs}}{(i_{TIR} + 1)^6}$$

$$i_{TIR} = -49,03\%$$

Teniendo en cuenta que el valor presente neto del proyecto con un horizonte a 6 años es menor a 0, el proyecto no es viable financieramente, adicionalmente, al realizar la verificación comparando la tasa interna de retorno respecto a la tasa aceptable de retorno de la inversión, se evidencia que la compañía Vidrio Andino

S.A., no puede aceptar el proyecto bajo el modelo actual de producción y generación de vapor.

### 12.3 ANALISIS FINANCIERO A CAPACIDAD MÁXIMA DE OPERACIÓN

La caldera de generación del sistema actual es una caldera con potencia de 80 BHP y una capacidad de generación máxima de 2.760 Lb/Hra, teniendo en cuenta que el valor por metro cubico de gas natural relacionado en la Figura 45, para el mes de mayo fue de 1.490,37 COPs por metro cubico, se procedé a calcular el costo de generación de vapor del sistema a capacidad máxima de operación.

$$C_{Total-Gen Máx} = \frac{P_{Boi}}{Cp_{G-Nat}} \cdot C_{G-Nat}$$

$$C_{Total-Gen Máx} = \frac{\left(80 \text{ BHP} * 33.471,40 \frac{BTU/hra}{BHP}\right)}{\left(1.150 \text{ BTU}/ft^3 * \frac{1}{0,0283168} \text{ ft}^3/m^3\right)} * 1.490,37 \text{ COPs}/m^3$$

$$C_{Total-Gen Máx} = \frac{2.677.712 \text{ BTU}/hra}{40.611,93 \text{ BTU}/m^3} * 1.490,37 \text{ COPs}/m^3$$

$$C_{Total-Gen Máx} = 65,93 \text{ m}^3/hra * 1.490,37 \text{ COPs}/m^3$$

$$C_{Total-Gen} = 98.266,24 \text{ COPs}/hra = 70.751.692,8 \text{ COPs}/mes$$

Donde;

$C_{Total-Gen Máx}$  = Costo generación vapor a capacidad máxima

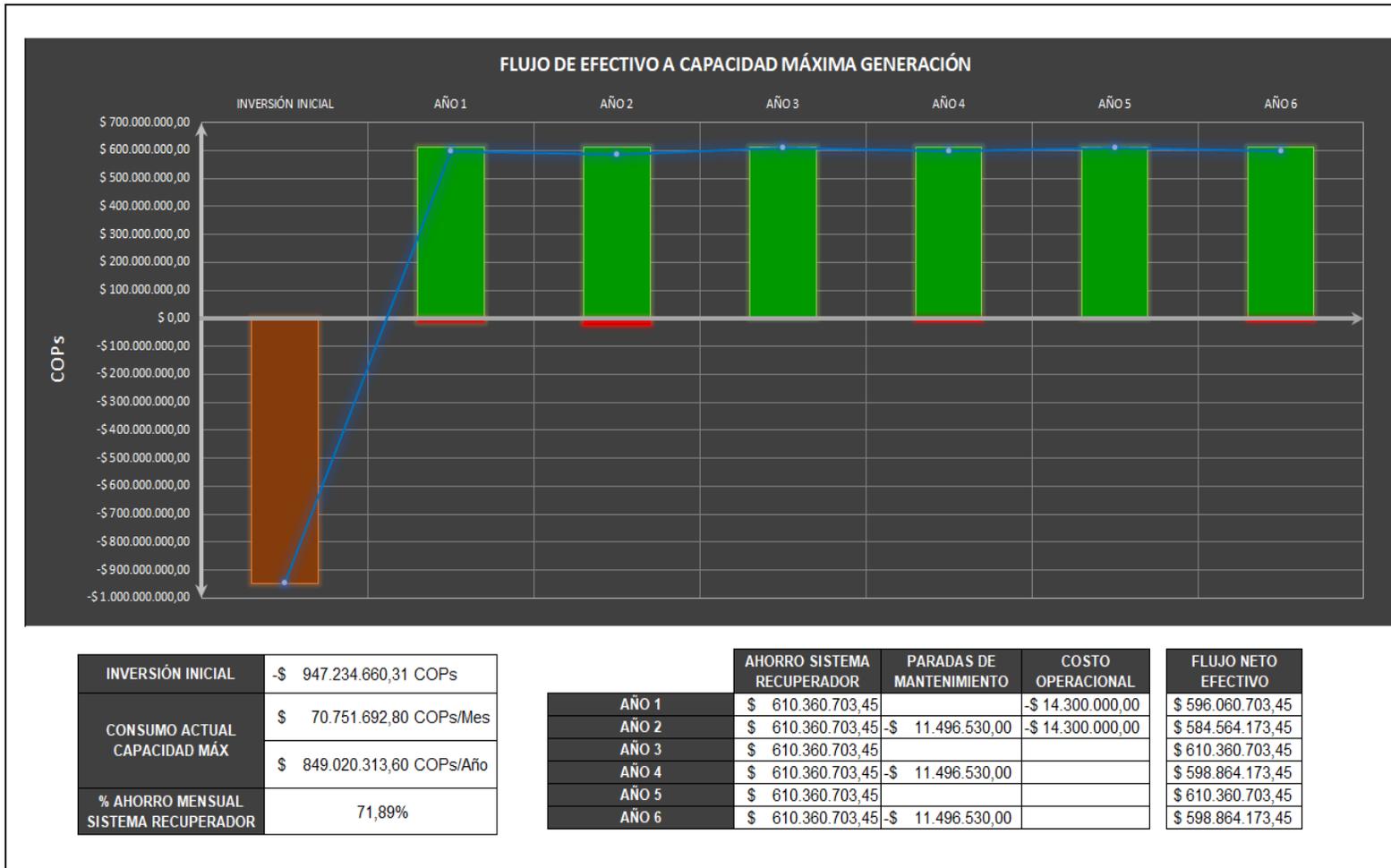
$P_{Boi}$  = Potencia máxima de caldera

$Cp_{G-Nat}$  = Capacidad calorífica media gas natural

$C_{G-Nat}$  = Costo de gas natural

El sistema recuperador de calor está diseñado para una generación máxima de 1.984,16 Lb/Hra por lo que el porcentaje de ahorro respecto al sistema actual de caldera a capacidad máxima será de 71,89%. Suponiendo las mismas condiciones estudiadas en el análisis financiero a capacidad media operacional y reemplazando únicamente el ahorro mensual del proyecto como el 71,89% del costo de generación de vapor a capacidad máxima del sistema actual el diagrama de flujo de efectivo del proyecto será el presentado en el cuadro 36.

Cuadro 36. Flujo de caja de proyecto a capacidad máxima generación



Fuente: Elaboración propia

Teniendo el flujo de caja anterior, se procede a realizar el cálculo del valor presente neto (VPN) del proyecto, sabiendo que la compañía tiene una tasa aceptable de retorno de inversión (TREMA) del 7,15%;

$$VPN = -C_{Inv} + \sum_{n=1}^6 \frac{f_{Efc}}{(i_{TREMA} + 1)^n}$$

$$\begin{aligned} VPN = & -\$ 947.234.660,30 \text{ COPs} + \frac{\$ 596.060.703 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^1} - \frac{\$ 584.564.173 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^2} \\ & + \frac{\$ 610.360.703 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^3} + \frac{\$ 598.864.173 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^4} + \frac{\$ 610.360.703 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^5} \\ & + \frac{\$ 598.864.173 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^6} \end{aligned}$$

$$VPN = \$ 1.897.396.864 \text{ COPs}$$

Donde;

$VPN$ = Valor presente neto

$C_{Inv}$ = Costo de inversión total del proyecto

$f_{Efc}$ = Flujo de efectivo del periodo (Ver Cuadro 36)

$i_{TREMA}$ = Tasa aceptable de retorno de inversión

$n$ = Número de periodo

Adicional al desarrollo del cálculo del VPN, se procede a realizar el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR), igualando el valor presente neto a 0 y haciendo uso de un software de cálculo se tiene el siguiente resultado;

$$\begin{aligned} 0 = & -\$ 947.234.660,30 \text{ COPs} + \frac{\$ 596.060.703 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^1} - \frac{\$ 584.564.173 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^2} \\ & + \frac{\$ 610.360.703 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^3} + \frac{\$ 598.864.173 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^4} + \frac{\$ 610.360.703 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^5} \\ & + \frac{\$ 598.864.173 \text{ COPs}}{(0,0715 + 1)^6} \end{aligned}$$

$$i_{TIR} = 59,11\%$$

Teniendo en cuenta que el valor presente neto del proyecto con un horizonte a 6 años es mayor a 0 y que la verificación de la tasa interna de retorno respecto a la tasa aceptable de retorno de la inversión es mayor, se tiene que el proyecto es viable financieramente y la compañía Vidrio Andino S.A., podría aceptar su ejecución bajo un modelo de generación a capacidad máxima de vapor.

### 13. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la evaluación del sistema de operación actual del proceso productivo de la línea Float de la planta SCH, es posible hacer uso de un sistema recuperación para optimizar sus procesos y rendimiento industrial.
- Actualmente es posible ejecutar y tener la información suficiente Con los sistemas actuales productivos es posible ejecutar simulaciones y evaluaciones de la viabilidad del proyecto
- Una vez revisados los parámetros de diseño y luego de hacer una evaluación de alternativas se determina que la opción más viable para elaborar un proceso de recuperación de calor deberá ser similar a la de una caldera de recuperación tipo HRSG
- Bajo los elementos actuales de la línea de proceso y los requerimientos establecidos del proyecto, térmicamente es viable ejecutar una recuperación de calor de la línea y se caracterizan completamente los procesos térmicos para simular diferentes escenarios
- Los elementos mecánicos que deberá tener el sistema diseñado son viables y aptos para las aplicaciones del sistema recuperador
- Los componentes estructurales diseñados soportan correctamente las cargas a las que encuentran sometidos de acuerdo al sistema elaborado
- A nivel de espacio y aprovechamiento de área superficial de la línea el sistema se adapta a los requerimientos y parámetros de diseño establecidos por la compañía como se presenta en los planos de fabricación y ensamble
- En términos generales el proyecto del sistema recuperador de calor tendrá una afectación baja al medio ambiente, no obstante deberán considerarse proyectos de insonorización y protección de las especies endémicas como aves e insectos de la región
- Para las consideraciones asociadas a seguridad, los trabajos en altura serán las actividades con mayor riesgo a la que el personal operativo se verá enfrentado, por lo que deberán establecerse los controles necesarios para evitar la generación de eventos de seguridad asociadas a este riesgo.
- Bajo el sistema actual de generación de vapor de la caldera, el proyecto no resulta viable para la compañía ya que el resultado del valor presente neto (VPN) es menor a 0 y el resultado de la tasa interna de retorno (TIR) es mucho menor a la tasa aceptable de retorno de inversión (TREMA) establecida por la empresa (-49,03% < 7,15%)

- Si la compañía se viera en la necesidad de utilizar su equipo actual de generación a capacidad máxima, el proyecto resultaría viable para la compañía ya que el valor presente neto (VPN) sería mayor a 0 y el resultado de la tasa interna de retorno (TIR) sería mucho mayor a la tasa de recuperación mínima atractiva (TREMA) establecida por la empresa ( $59,11\% > 7,15\%$ )
- La implementación del proyecto de sistema de recuperación de calor para el calentamiento y vaporización de agua tiene la capacidad de generar una mejoría en los impactos ambientales actuales de la planta en +64,6 puntos principalmente asociados a la reducción de contaminación de tipo térmica a la atmósfera y reducción de emisiones de gases del sistema actual de generación de vapor

## 14. RECOMENDACIONES

- Evaluar la posibilidad de contratar con una compañía especializada en sistemas intercambiadores de calor el diseño mecánico de los sistemas recuperadores caracterizados térmicamente en este proyecto y anexar los costos asociados a este rediseño a la evaluación financiera para volver a evaluar la factibilidad y viabilidad del mismo.
- Evaluar la posibilidad de instalar un sistema de generación eléctrica enfocado a una turbina a vapor para estimar generación eléctrica del nuevo sistema y ahorros estimados en consumo eléctrico de la red nacional.
- Realizar una nueva evaluación completa para el sistema de cogeneración teniendo en cuenta las dos recomendaciones anteriores, para evaluar financieramente la posibilidad de implementación del sistema en una planta nueva del grupo Saint-Gobain y analizar la eficiencia industrial respecto a las plantas actuales.

## BIBLIOGRAFIA

AGC GLASS UNLIMITED. II. Todo sobre el vidrio. [Catálogo]. España, 52 p.

ALSTOM, ENERGY, 2018, Heat Recovery Steam Generators for combined cycle power plants [online]. 1. Baden, Suiza. [Visitado 25 Octubre 2016]. Disponible en: [http://www.mcilvainecompany.com/Decision\\_Tree/subscriber/Tree/DescriptionTextLinks/heat-recovery-steam-generators-hrsg.pdf](http://www.mcilvainecompany.com/Decision_Tree/subscriber/Tree/DescriptionTextLinks/heat-recovery-steam-generators-hrsg.pdf)

BLANCO DÍEZ, JUAN and GARCÍA BIELSA, JOSÉ IGNACIO, 2012, Guía básica de calderas industriales eficientes. [Madrid]: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

BOETCHER, SANDRA K. S, 2014, Natural Convection from Circular Cylinders. 1.

CALVO SANZ, RAQUEL, 2011, Modelado Del Sistema De Caldera HRSG De Un Ciclo Combinado Con El Simulador ECOSIMPRO Y Control Del Modelo. Ingeniera Industrial. Universidad Carlos III Madrid.

ÇENGEL, YUNUS A and GHAJAR, AFSHIN J, 2011, Transferencia de calor y de masa. 3. México D.F. : McGraw Hill.

EDGAR, THOMAS F and HIMMELBLAU, DAVID MAUTNER, 2001, Optimization of chemical processes. Boston, Mass : McGraw-Hill.

FLOREZ ORREGO, DANIEL ALEXANDER, 2011, Diseño Y Construcción De Una Caldera De Paso Continuo De Baja Presión Y Determinación Del Coeficiente Convectivo De Transferencia De Calor Para La Zona De Ebullición De Forma Experimental. Ingeniero Mecánico. Universidad Nacional Colombia.

FORBES. The World's Biggest Public Companies (En línea) Fecha (13 de Junio del 2016). Disponible en (<http://www.forbes.com/global2000/list/#tab:overall>)

GALLARDO CERVANTES, Juan. Formulación y evaluación de proyectos de inversión, un enfoque integrado. México: McGraw Hill. ISBN: 970-10-2025-1.

HIBBELER, Russell. Mecánica de materiales. 8 Ed. México: Pearson. 2011. ISBN: 978-607-32-0559-7.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grados y otros trabajos. Investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: en instituto, 2008, p.1.

KAKAÇ, S, BERGLES, A. E and MAYINGER, F, 1981, Heat exchangers. Washington : Hemisphere Pub. Corp.

MCCORMAC, Jack C. Diseño de estructuras de acero. Método LRFD. 2 Ed. México: Alfaomega. 722 p. ISBN: 970-15-0637-5.

MOFRAD, SAEID RAHIMI, 2014, Erosional Velocity Limit. [online]. 2014. [Visitado 14 Noviembre 2016]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/271112890/Erosional-Velocity-Limit>

MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 4 Ed. México : Pearson Education, 2006. 944 p. ISBN: 970-26-0812-0.

NPTEL, 2018, Process Design For Heat Exchangers [online]. National Programme On Enhanced Technology Learning. [Visitado 13 Marzo 2017]. Disponible en: <http://nptel.ac.in/courses/103103027/pdf/mod1.pdf>

QUINTERO CARRASCAL, ANDRES PABLO, 2013, Diseño Mecánico De Un Generador De Vapor Tipo Acuotubular De Presión Subcrítica Y Baja Producción De Vapor. Ingeniero Mecánico. Universidad Autónoma Del Caribe.

RONCATI, DARIO, 2018, Iterative calculation of the heat transfer coefficient [online]. Ferrara, Italia. [Visitado 8 Mayo 2017]. Disponible en: [https://lisafea.com/pdf/Convection\\_heat\\_transfer\\_coefficient.pdf](https://lisafea.com/pdf/Convection_heat_transfer_coefficient.pdf)

RURY, OCELOVE, 2018, Dimensiones de los tubos. Tubosdeacero.eu [online]. 2018. [Visitado 10 Agosto 2017]. Disponible en: <http://www.tubosdeacero.eu/>

SAINT-GOBAIN | MEXICO. EL Grupo, Colombia (En línea) Fecha (13 de Junio del 2016). Disponible en (<http://www.saint-gobain.com.mx/colombia>)

SAINT-GOBAIN | WORLD LEADER OF HABITAT. Group, About Sain-Gobain (En línea) Fecha (13 de Junio del 2016). Disponible en (<https://www.saint-gobain.com/en/group/about-saint-gobain>)

Sandmeyersteel.com. (2017). Aleación 304H - Heat Plate resistente de acero inoxidable - Sandmeyer Steel. [online] Disponible en: <https://www.sandmeyersteel.com/spanish/304h.html#PropiedadesMecánicas> [Visitado 1 Abril. 2017].

SHARMA, MEETA and SINGH, ONKAR, 2012, Thermodynamic Evaluation of WHRB for it's Optimum performance in Combined Cycle Power Plants. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). 2012. Vol. 2, no. 1.

SHIGLEY, Joseph y MITCHELL, Larry. Diseño en ingeniería mecánica. 4 Ed. México: McGraw Hill. 464 p. ISBN: 968-451-607-X.

SINGH, JASBIR, 1985, Heat transfer fluids and systems for process and energy applications. New York : M. Dekker.

Stock Heat Exchanger Tubes, Boiler & U Bent Tube Supplier | USEL | Tube Supply International, 2018. Tubesupplyinternational.co.uk [online],

Subramanian, R. (2017). Heat transfer in Flow Through Conduit. 1st ed. [En Línea] p.5. Disponible en internet: <http://web2.clarkson.edu/projects/subramanian/ch330/notes/Heat%20Transfer%20in%20Flow%20Through%20Conduits.pdf>

TÁBOAS TOUCEDA, FRANCISCO, 2006, Estudio Del Proceso De Ebullición Forzada De La Mezcla Amoniaco/Agua En Intercambiadores De Placas Para Equipos De Refrigeración Por Absorción. Doctorado Ingenieria Quimica. Universitat Rora I Virgili.

TEMA, 2007, Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association. New York : Tubular Exchanger Manufacturers Association.

TK, CORPORATION, 2018, Technical Data Handbook for Butt Weld Pipe Fittings [online]. Busan, Korea. [Visitado 22 Julio 2018]. Disponible en: [http://www.tkbend.co.kr/sub02/Technical\\_Data\\_Handbook\\_of\\_TK\\_Corporation.pdf](http://www.tkbend.co.kr/sub02/Technical_Data_Handbook_of_TK_Corporation.pdf)

UNIVERSIDAD DE NAVARRA, ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS, 2008, Flujo de aire a traves de tuberias y toberas [online]. Navarra, España. [Visitado 8 Enero 2017]. Disponible en: [http://www4.tecnun.es/asignaturas/Fluidos1/WEBMF/New\\_LMF/Laboratory\\_Scripts/Spanish/GPL\\_2\\_Spanish\\_07\\_08.pdf](http://www4.tecnun.es/asignaturas/Fluidos1/WEBMF/New_LMF/Laboratory_Scripts/Spanish/GPL_2_Spanish_07_08.pdf)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. Facultad arquitectura y urbanismo. Guia metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental. [Lectura]. 1 Ed. 2010

Vidrio Andino | VIDRIO FLOTADO. Quienes Somos (En línea) Fecha (15 de Junio del 2016). Disponible en (<http://vidrioandino.com/quienes-somos/>)  
WEST ARCO. Electrodo para soldar aceros al carbono. (AWS A5.1) [Catálogo]. Bogotá, Colombia.

ANEXOS

ANEXO A  
TAMAÑOS TUBOS INTERCAMBIADORES CALOR ASTM A199

Cold drawn heat exchangers tubes with minimum wall thickness (sizes in inches)

Outside diameter [mm] [inch]	BWG (inch) [mm]	Minimum wall thickness													
		20 (.035) 0,89	18 (.049) 1,24	16 (.065) 1,65	14 (.083) 2,11	13 (.095) 2,41	12 (.109) 2,77	11 (.120) 3,05	10 (.134) 3,40	9 (.148) 3,76	8 (.165) 4,19	7 (.180) 4,57	6 (.203) 5,16	5 (.220) 5,59	
12,70	1/2 lb/ft	0,190	0,256	0,327	0,399	0,441	0,487	0,519	0,555	0,586					
	.500 kg/m	0,283	0,381	0,487	0,594	0,657	0,725	0,773	0,826	0,873					
15,88	5/8 lb/ft	0,242	0,328	0,423	0,521	0,581	0,647	0,696	0,752	0,804					
	.625 kg/m	0,360	0,488	0,630	0,776	0,865	0,964	1,036	1,120	1,198					
19,05	3/4 lb/ft		0,400	0,518	0,643	0,720	0,807	0,872	0,948	1,021					
	.750 kg/m		0,595	0,771	0,957	1,072	1,202	1,299	1,412	1,521					
22,23	7/8 lb/ft		0,472	0,614	0,767	0,864	0,973	1,056	1,158						
	.875 kg/m		0,702	0,913	1,141	1,285	1,448	1,571	1,722						
25,40	1 lb/ft		0,543	0,709	0,887	0,998	1,128	1,225	1,342	1,456	1,587	1,696			
	1.000 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 lb/ft		0,686	0,900	1,131	1,277	1,448	1,577	1,734	1,891	2,071	2,225	2,451	2,607	
	1.250 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 lb/ft		0,830	1,090	1,375	1,556	1,769	1,930	2,128	2,326	2,556	2,753	3,047	3,253	
	1.500 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	
50,80	2 lb/ft			1,472	1,863	2,114	2,409	2,636	2,914	3,196	3,525	3,810	4,241	4,547	
	2.000 kg/m			2,192	2,775	3,148	3,588	3,925	4,340	4,759	5,250	5,674	6,316	6,771	
63,50	2 1/2 lb/ft			1,854	2,351	2,671	3,050	3,341	3,701	4,066	4,494	4,867	5,435	5,839	
	2.500 kg/m			2,761	3,502	3,978	4,542	4,976	5,512	6,055	6,693	7,249	8,094	8,696	
76,20	3 lb/ft				2,840	3,228	3,691	4,047	4,487	4,935	5,464	5,924	6,628	7,132	
	3.000 kg/m				4,229	4,808	5,497	6,027	6,683	7,350	8,137	8,823	9,871	10,622	

ANEXO B  
ESTIMACIONES DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL SISTEMA RECUPERADOR  
(Ver CD Adjunto)

ANEXO C  
CILINDRO NEUMÁTICO DNSU 63-200 P-A - FESTO

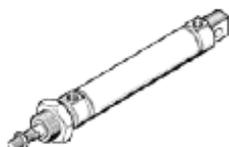
## cilindro normalizado DSNU-12-200-P-A

Número de artículo: 19197

★ Gama básica

según DIN ISO 6432 para detección sin contacto. Diferentes posibilidades de fijación, con y sin elementos de sujeción adicionales. Con anillos amortiguadores elásticos en los fines de carrera.

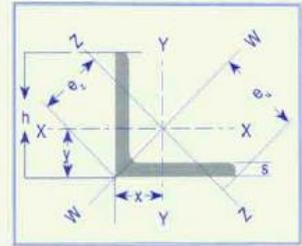
FESTO



### Hoja de datos

Característica	Valor
Carrera	200 mm
Diámetro del émbolo	12 mm
Rosca del vástago	M6
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Corresponde a la norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremo del vástago	Rosca exterior
Construcción	Embolo Vástago Camisa del cilindro
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	vástago simple
Presión de funcionamiento	1,5 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBIK	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Homologación	Germanischer Lloyd
Energía del impacto en las posiciones finales	0,07 J
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	50,9 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	67,9 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	18,5 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	4 g
Peso básico con carrera de 0 mm	75 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	2 g
Tipo de fijación	con accesorios
Conexión neumática	M5
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa	Aleación forjable de aluminio Anodizado incoloro
Información sobre el material de las juntas	NBR TPE-U(PU)
Información sobre el material del vástago	Acero inoxidable de aleación fina
Información sobre el material de la camisa del cilindro	Acero inoxidable de aleación fina

ANEXO D  
ÁNGULOS TIPO AMERICANO DE LADOS IGUALES - PERFILES & VIGAS S.A.S



**ÁNGULO TIPO AMERICANO DE LADOS IGUALES**

Dimensiones y propiedades para el diseño

PERFILES EN L	DIMENSIONES																PROPIEDADES ELASTICAS									
	ALTURA=ALA			RADIOS			DISTANCIAS DE LOS EJES			AREA	PESO	EJE X-X = Y-Y			EJE W-W			EJE Z-Z								
	h	s	r1	x=y	w	z	lx	Sx	rx			lx	m	lz	Sz	rz										
DESIGNACIÓN	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm2	kg/mt	cm4	cm3	cm	cm4	cm	cm4	cm3	cm										
L 1/8" X 3/4"	19.05	3.17	3.20	0.58	1.34	0.82	1.11	0.88	0.37	0.28	0.58	0.58	0.73	0.16	0.19	0.38										
L 1/8" X 1"	25.40	3.17	3.20	0.78	1.79	1.07	1.52	1.19	0.92	0.51	0.79	1.24	0.93	0.41	0.38	0.48										
L 1/8" X 1 1/4"	31.75	3.17	4.70	0.89	2.24	1.25	1.93	1.50	1.83	0.80	0.97	2.91	1.19	0.83	0.66	0.60										
L 1/8" X 1 1/2"	38.10	3.17	4.70	1.07	2.69	1.51	2.34	1.83	3.25	1.18	1.17	5.41	1.47	1.24	0.82	0.73										
L 1/8" X 2"	50.80	3.17	6.30	1.40	3.58	1.97	3.10	2.46	7.91	2.13	1.60	12.49	1.97	3.32	1.68	0.99										
L 3/16" X 1"	25.40	4.76	3.20	0.81	1.79	1.14	2.21	1.73	1.25	0.72	0.76	2.08	0.93	0.41	0.38	0.48										
L 3/16" X 1 1/4"	31.75	4.76	4.70	0.97	2.24	1.37	2.79	2.20	2.54	1.16	0.97	3.74	1.19	0.83	0.61	0.60										
L 3/16" X 1 1/2"	38.10	4.76	4.70	1.12	2.69	1.58	3.43	2.68	4.58	1.64	1.17	7.07	1.44	1.66	1.05	0.73										
L 3/16" X 2"	50.80	4.76	6.30	1.45	3.58	2.00	4.61	3.63	11.45	3.11	1.57	17.48	1.95	4.57	2.28	0.99										
L 3/16" X 2 1/2"	63.50	4.76	6.30	1.75	4.49	2.47	5.81	4.61	22.89	4.92	1.98	36.52	2.46	9.15	3.70	1.24										
L 3/16" X 3"	76.20	4.76	7.90	2.08	5.38	2.94	7.03	5.52	40.01	7.22	2.39	64.38	3.03	16.12	5.48	1.51										
L 1/4" X 1"	25.4	6.35	3.20	0.86	1.79	1.21	2.80	2.22	1.54	0.92	0.74	2.49	0.91	0.83	0.69	0.48										
L 1/4" X 1 1/4"	31.75	6.35	4.70	1.02	2.24	1.44	3.72	2.86	3.21	1.49	0.94	4.99	1.16	1.24	0.86	0.60										
L 1/4" X 1 1/2"	38.10	6.35	4.70	1.19	2.69	1.68	4.40	3.48	5.83	2.20	1.14	8.74	1.42	2.49	1.48	0.73										
L 1/4" X 2"	50.80	6.35	6.30	1.50	3.58	2.10	6.06	4.75	14.57	4.10	1.55	22.47	1.93	5.82	2.77	0.99										
L 1/4" X 2 1/2"	63.50	6.35	6.30	1.83	4.49	2.54	7.68	6.10	29.14	6.39	1.96	45.36	2.43	11.65	4.58	1.24										
L 1/4" X 3"	76.20	6.35	7.90	2.13	5.38	2.97	9.29	7.29	51.60	9.50	2.36	78.66	2.94	20.39	6.86	1.49										
L 1/4" X 4"	101.60	6.35	9.50	2.77	7.18	3.91	12.52	9.92	124.90	17.20	3.18	191.39	3.96	48.10	12.30	2.00										
L 5/16" X 2"	50.80	7.94	6.30	1.55	3.58	2.18	7.42	5.83	17.46	4.92	1.52	26.63	1.90	7.07	3.24	0.99										
L 5/16" X 2 1/2"	63.50	7.94	6.30	1.88	4.49	2.64	9.46	7.44	35.38	7.87	1.93	55.35	2.41	14.66	5.51	1.24										
L 5/16" X 3"	76.20	7.94	7.90	2.21	5.38	3.04	11.48	9.08	62.90	11.60	2.34	96.98	2.92	24.97	8.21	1.47										
L 5/16" X 4"	101.60	7.94	9.50	2.84	7.18	4.01	15.48	12.20	154.40	21.10	3.15	239.33	3.93	61.60	15.36	2.00										
L 3/8" X 2"	50.80	9.53	6.30	1.63	3.58	2.30	8.77	6.99	19.98	5.74	1.50	30.80	1.87	8.32	3.61	0.99										
L 3/8" X 2 1/2"	63.50	9.53	6.30	1.93	4.49	2.71	11.16	8.78	40.79	9.34	1.91	64.09	2.38	17.06	6.29	1.24										
L 3/8" X 3"	76.20	9.53	7.90	2.26	5.38	3.14	13.61	10.72	73.30	13.60	2.31	112.79	2.89	29.55	9.41	1.47										
L 3/8" X 4"	101.60	9.53	9.50	2.89	7.18	4.03	18.45	14.58	181.90	24.90	3.12	283.03	3.91	73.25	18.17	1.98										
L 3/8" X 5"	127.00	9.53	12.70	3.53	8.96	4.97	23.29	18.30	363.80	39.70	3.96	579.60	4.99	148.00	29.80	2.52										
L 3/8" X 6"	152.40	9.53	12.70	4.16	10.76	5.88	28.13	22.17	640.60	57.80	4.78	1018.60	6.02	262.60	44.70	3.05										
L 1/2" X 3"	76.20	12.70	7.90	2.36	5.38	3.32	17.74	13.99	92.40	17.50	2.29	142.76	2.84	38.29	11.53	1.47										
L 1/2" X 4"	101.60	12.70	9.50	2.99	7.18	4.21	24.19	19.05	231.40	32.30	3.10	361.28	3.86	94.48	22.44	1.98										
L 1/2" X 5"	127.00	12.70	12.70	3.63	8.96	5.12	30.65	24.11	468.30	51.60	3.91	746.50	4.94	190.10	37.20	2.49										
L 1/2" X 6"	152.40	12.70	12.70	4.27	10.76	6.03	37.10	29.17	828.70	75.50	4.72	1326.10	5.97	331.30	54.90	2.99										
L 5/8" X 4"	101.60	15.88	9.50	3.12	7.18	4.39	29.74	23.36	277.20	39.30	3.05	433.71	3.81	115.71	26.35	1.98										
L 5/8" X 6"	152.40	15.88	12.70	4.39	10.76	6.20	45.87	36.01	1005.60	92.80	4.67	1604.80	5.92	406.40	65.60	2.98										
L 3/4" X 6"	152.40	19.05	12.70	4.52	10.76	6.38	54.45	42.71	1171.70	109.10	4.65	1859.20	5.85	484.20	75.90	2.98										
L 1" X 6"	152.40	25.40	12.70	4.72	10.76	6.66	70.97	55.66	1476.00	140.00	4.57	2327.80	5.73	624.20	93.70	2.96										

CATALOGO CONSUMIE ANEXO E SOLDAR - WEST ARCO





CONSUMIBLES COMUNES  
PARA SOLDAR

# CARACTERÍSTICAS

WEST ARCO, cuenta con un metal de aporte para cada necesidad; en caso de no encontrar el indicado, consulte con nuestro departamento técnico  
★ para pasar de psi a MPa (N/mm<sup>2</sup>) dividir por 1000 y multiplicar por 6.894757  
ac: Corriente Alterna dcep: Corriente directa electrodo al positivo dcon: Corriente directa electrodo al negativo

Especificación	Clasificación AWS	Nombre WEST ARCO	Características y Aplicaciones	Resistencia a la Tracción (psi)	Límite de Fluencia (psi)	Elongación (%)	Resistencia al Impacto Charpy con estado en T = 10	Posición para soldar	Tipo de corriente	AMPERIOS				
										3/32"	1/8"	5/32"	3/16"	
ELECTRODOS REVESTIDOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO (AWS A5.1)	E6010	XL 610	Es un electrodo de alta penetración y rápida solidificación. Para soldar aceros de bajo carbono, lámina ordinaria y galvanizada, calderas, estructuras, tuberías de presión y acero fundido.	62.000 72.000	62.000 62.000	22 al 50	-29 27 a 100	TODAS	dcep	50-80	70-115	90-160	120-210	
	E6010	ZIP 10T	Es un electrodo de muy buena penetración, con polvo de hierro, buena calidad radiográfica especialmente diseñado para electrodos, gasoductos, construcciones navales, estructuras de acero y recipientes a presión.	62.000 72.000	62.000 62.000	22 al 50	-29 27 a 100	TODAS	dcep	50-80	70-120	90-155	120-180	
	E6011	ACP 611SS	Se emplea para soldar todo tipo de aceros de bajo carbono en tuberías, estructuras, construcciones navales, recipientes a presión, etc. Especialmente pasas de penetración.	63.000 74.000	62.000 60.000	27 al 55	-29 27 a 100	TODAS	ac o dcep	50-80	70-115	90-160	120-210	
	E6013	SUPER SW 613	Construcciones de hierro en general, carpinterías metálicas con lámina delgada, fabricación de puertas, ventanas, rejas, ductos, ensamblaje de carrocerías y ornamentación en general.	60.000 74.000	48.000 62.000	22 al 28	20 40 a 110	TODAS	ac, dcep o dcon	60-100	90-150	120-160		
	E6013	SW 613	Carrocerías, muebles metálicos, ductos de aire acondicionado, rejas, ventenas y ornamentación en general.	60.000 74.000	48.000 62.000	22 al 29	20 50 a 110	TODAS	ac, dcep o dcon	60-90	80-120	110-160	130-210	
	E6013	SW 10	Electrodo de tipo europeo de fácil manipulación, desarrollado para toda clase de soldaduras que requieren poca penetración. Se emplea para construcciones de hierro en general, carpinterías metálicas con lámina delgada, fabricación de puentes, ventanas, rejas, ductos, ensamblaje de carrocerías y ornamentación en general. Puede emplearse la técnica de anastomosis para juntas planas y horizontales.	60.000 74.000	48.000 62.000	22 al 28	20 40 a 110	TODAS	ac, dcep o dcon	60-100	90-150	120-160		
	E7014	ZIP 14	Construcción de maquinaria, marcos de máquinas, implementos agrícolas, trabajos de ornamentación, tuberías, recipientes de presión y sus accesorios. Equipos de ferrocarril, construcciones navales y soldadura de aceros estructurales.	70.000 80.000	58.000 68.000	22 al 28	20 50 a 100	TODAS	ac, dcep o dcon	70-110	110-160	120-200	175-275	
	E7024	ZIP 24	Puentes y equipos pesados, equipo de construcción, implementos agrícolas, tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados, maquinaria de minería, carros de ferrocarril y construcción naval y en general para aceros de bajo contenido de carbono.	70.000 80.000	60.000 70.000	22 al 25	20 45 a 100	PLANA Y HORIZONTAL	ac, dcep o dcon	140-180	180-250	225-300		
	E7018-1	WIZ 18	Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70.000 lb/inch <sup>2</sup> de resistencia a la tensión, en aplicaciones en estructuras, tuberías y tanques a presión especialmente cuando se requiere alta resistencia al impacto a bajas temperaturas.	70.000 80.000	58.000 70.000	22 al 38	-29 -48	100 60	TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
	E7018	WIZ 18 S	Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70.000 lb/inch <sup>2</sup> de resistencia a la tensión, en aplicaciones en estructuras, tuberías y tanques a presión, calderas, vagones de ferrocarril, etc.	72.000 84.000	62.000 72.000	24 al 38	-29 70		TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
ELECTRODOS REVESTIDOS PARA SOLDAR ACEROS DE BAJA ALEACIÓN (AWS A5.5)	E7010-A1	ZIP 710 A1	Tuberías, tanques de alta presión, calderas y aplicaciones a las temperaturas de servicio típicas de los aceros con 0.5% de molibdeno. Aceros de tipo API SLX grados X42, X46 y X52.	70.000 80.000	58.000 68.000	22 al 32	0 60 a 110	TODAS	dcep	50-80	90-120	120-165	160-180	
	EB010 G	XL 810 G	Tuberías y accesorios en aceros API SLX grados X56, X60 y X65 y otros aceros de resistencia al impacto especificada de hasta 90 ksi.	92.000 92.000	67.000 77.000	22 al 29	-10 -29	62 a 100 30 a 70	TODAS	dcep	50-80	90-120	120-165	160-180
	EG010 G	XL 910 G	Tuberías de acero API SLX-X60 o SLX-X70 y otros aceros similares de resistencia a la tracción mínima especificada de hasta 90 ksi.	90.000 100.000	77.000 87.000	18 al 24	0 30 a 100	TODAS	dcep			120-165	160-180	
	E7018-A1	WIZ 718 A1	Se usa en soldadura de aceros ASTM A-250, A-369 grado FPI, A-336 clase F1 y otros cuando se requiere alta resistencia al impacto a temperaturas del orden de 40°C.	77.000 86.000	68.000 72.000	27 al 33		TODAS	ac o dcep		100-145	135-200	150-230	
	E7018 G	WIZ 18 G	Diseñado especialmente para la soldadura de tuberías API SLX grados X60 y X65 cuando se requiere alta resistencia al impacto a temperaturas del orden de 40°C.	mínimo 77.000	mínimo 65.000	mínimo 22	-48	75	TODAS	ac o dcep	80-100	90-145	120-160	
	E7018-W1	WIZ 718 W1	Se utiliza en aplicaciones donde se requiere especial resistencia a las condiciones atmosféricas en la soldadura de aceros ASTM A589, A242, A441, A572 grados 42 y 50 y aceros con contenido de cobre, cuya resistencia a la tensión no supere 70 ksi.	70.000 82.000	57.000 70.000	25 al 30	-18	30 a 140	TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	
	EB018-B1	WIZ 818 B1	Se utiliza para soldar aceros de 0.5% cromo y 0.5% molibdeno tales como los ASTM, A-335 Grado P2, A-389 FP2, A-426 CP2, A-213 grado T2 y A-350 grado 5. También se puede usar para soldar otros aceros de baja aleación con resistencia a la tracción en el rango de 50 a 54 kg/mm <sup>2</sup> (70 a 80 ksi).	80.000 90.000	67.000 77.000	22 al 32			TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	
	EB018-B2	WIZ 818 B2	Trabajos de alta resistencia, partes expuestas a medianas temperaturas, se recomienda para los aceros ASTM A-335 P12, A-369 grados FP11 y FP12, A182 grados F11 y F12, A-217 Gr WC11 y similares.	80.000 90.000	67.000 77.000	22 al 28			TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
	EB018-C1	WIZ 818 C1	Es ampliamente usado en tanques y tuberías que operan bajas temperaturas (-75°F), aceros que contienen 2% de níquel y aceros ASTM A-203 grados A y B.	80.000 90.000	67.000 77.000	22 al 34	-59	50 a 130	TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
	EB018-C2	WIZ 818 C2	Para soldar aceros con 2.5 y 3.5% de níquel. Se emplea en la fabricación de tanques, tuberías y otras piezas que van a ser sometidas a temperaturas hasta de 70°C. Para aceros tales como el ASTM A-202.	80.000 90.000	67.000 77.000	24 al 34	-73	30 a 70	TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270
EB018-C3	WIZ 818 C3	Puede ser usado para soldar aceros ASTM A-148 grado 90-50, y similares. Se utiliza también para aceros de resistencia hasta de 90 ksi, especialmente si debe trabajar a bajas temperaturas, hasta el orden de -40°C.	80.000 90.000	67.000 77.000	24 al 32	-40	30 a 100	TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270	
EB018-B3	WIZ 918 B3	Se recomienda en aplicaciones tales como: ASTM A-182 Grado, F-22, A-213 Grado T3b y otros aceros en piezas que van a trabajar a temperaturas de servicio elevadas.	90.000 100.000	77.000 87.000	20 al 30			TODAS	ac o dcep	70-100	100-145	135-200	170-270	
EB018-G	WIZ 918 G	Se recomienda aplicar en aquellos aceros cuya resistencia a la tracción sea hasta de 90.000 psi. Se puede trabajar en aceros fundidos de alta resistencia mecánica, en aceros para plantas nucleares, etc.	90.000 100.000	77.000 87.000	20 al 30	-20	40 a 160	TODAS	ac o dcep	100-145	135-200	170-270		
EB018-D1	WIZ 918 D1	Especialmente adecuado para la unión de aceros manganeso-molibdeno como el ASTM A302 grado B y en general aceros de bajo carbono o de baja aleación con resistencia a la tracción mínima especificada hasta de 90 ksi, con requisitos de resistencia al impacto a bajas temperaturas.	90.000 105.000	77.000 96.000	24 al 32	-51	27 a 140	TODAS	ac o dcep	100-145	135-200	170-270		
E11018-M	WIZ 1118 M	Especial para soldar aceros de baja aleación y alta resistencia, como el HY-80. Soldadura que brinda alta resistencia al impacto en piezas sometidas a bajas temperaturas. Se usa en carcasas de molinos, pallas mecánicas, estructuras de maquinaria, etc.	110.000 120.000	96.000 110.000	20 al 30	-51	40 a 100	TODAS	dcep	70-100	100-145	135-200	170-270	
ELECTRODOS REVESTIDOS PARA SOLDAR ACEROS INOXIDABLES (AWS A5.4)	E308L-15	CROMARCO 308L - 15	El CROMARCO 308L-15 se usa para soldar aceros de las clases AISI 304 y 304L, en todas las posiciones, en especial en vertical ascendente.	75.000 90.000		40 al 60			TODAS	dcep	70-100	100-125	130-180	
	E308L-16	CROMARCO 308L - 16	El CROMARCO 308L-16 se usa para soldar aceros de las clases AISI 304 y 304L. Puede emplearse también para la soldadura de aceros AISI 204, 301, 302, 308 y 308L.	75.000 90.000		40 al 60			TODAS	ac o dcep	40-70	70-100	100-125	130-180
	E309-16	CROMARCO 309 - 16	Está diseñado para soldadura de aleaciones tipo 309, se usa en la unión de aceros al carbono con inoxidable. Tiene propiedades de resistencia a la corrosión a temperatura ambiente. Resiste la oxidación severa a alta temperatura. Es muy usado para unir aleaciones al 12% de cromo con aceros al carbono. Otra aplicación es la soldadura de Clad Steel, tipo AISI 304.	80.000 95.000		30 al 45			TODAS	ac o dcep	40-70	70-100	100-125	130-180
	E312-16	CROMARCO 312 - 16	El Cromarco 312-16 se utiliza para la unión de aceros inoxidable con aceros al carbono y otros tipos de uniones disímiles. Se usa también como colchón para recubrimientos duros. En reconstrucción de dientes de engranajes, piones, ejes, etc.	105.000 120.000		22 al 30			TODAS	ac o dcep	40-70	70-100	100-125	130-180
	E316L-16	CROMARCO 316L - 16	Para soldar aceros inoxidable AISI 316y 316L. La resistencia al "Pitting" hace esta aleación útil en la industria textil, de papel e industrias químicas.	70.000 90.000		30 al 50			TODAS	ac o dcep	40-70	70-100	100-125	130-180
	E347-16	CROMARCO 347-16	Para soldar aceros inoxidable AISI 347 y 321. Pueden utilizarse también en las mismas aplicaciones del Cromarco 308L-16.	75.000 90.000		30 al 45			TODAS	ac o dcep	45-70	70-100	100-125	130-180
	E308L-16	CROMARCO 308L-16 PREMIUM	El Cromarco 308L-16 se usa para soldar aceros de clase AISI 304 y 304L. Puede emplearse también para la soldadura de aceros AISI 204, 301, 302, 308 y 308L.	75.000 90.000		35 al 60			TODAS	ac o dcep	40-80	70-110	100-145	130-180
	E309L-16	CROMARCO 309L-16 PREMIUM	Está diseñado para soldaduras de aleaciones tipo AISI 309L y 309. Se usa en la unión de aceros al carbono con inoxidable. Tiene propiedades de resistencia a la corrosión a temperatura ambiente. Resiste la oxidación severa a alta temperatura. Es muy usado para uniones disímiles entre los aceros inoxidable y aceros al carbono o de baja aleación. Otra aplicación es la unión de soldadura Clad Steel, Tipo AISI 304L y 304.	75.000 88.000		30 al 48			TODAS	ac o dcep	40-80	70-110	100-145	130-180
	E312L-16	CROMARCO 312L-16 PREMIUM	El Cromarco 312-16 se utiliza para la unión de aceros inoxidable con aceros al carbono y otros tipos de uniones disímiles. Se usa también como colchón para recubrimientos duros. En reconstrucción de dientes de engranajes, piones, ejes, etc.	105.000 120.000		22 al 30			TODAS	ac o dcep	40-80	70-110	100-145	130-180
	E316L-16	CROMARCO 316L-16 PREMIUM	Para soldar aceros inoxidable AISI 316y 316L. La resistencia al "Pitting" hace esta aleación útil en la industria textil, de papel e industrias químicas.	70.000 90.000		30 al 50			TODAS	ac o dcep	40-80	70-110	100-145	130-180
E308L-16	WEST INOX 308L - 16	El WEST INOX 308L se usa para soldar tanques, tuberías y reactores de acero inoxidable tipo AISI 304 y 304L. Puede emplearse también para la soldadura de aceros AISI 204, 301, 302, 308 y 308L.	75.000 86.000		30 al 50			TODAS	ac o dcep	40-80	70-110	100-145	130-180	
E309L-16	WEST INOX 309L - 16	Está diseñado para la unión de aceros tipo AISI 309 y 309L. Se usa también para uniones disímiles entre aceros al carbono y aceros inoxidable. Tiene propiedades de resistencia a la corrosión a temperatura ambiente. Resiste la oxidación severa a alta temperatura. Se emplea también para la unión de Clad Steel tipos AISI 304L y 304, lo mismo que para recubrimiento de aceros al carbono.	75.000 86.000		30 al 45			TODAS	ac o dcep	40-80	70-110	100-145	130-180	

Continúa al respaldo

Especificación	Clasificación AWS	Nombre WEST ARCO	Características y Aplicaciones	Resistencia a la Tracción (ksi)	Límite de Fluencia (ksi)	Elongación (%)	Resistencia al Impacto Charpy con entablado V	Posición para soldar	Tipo de Corriente	AMPERIOS			
										3/32"	1/8"	5/32"	3/16"
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	E4043	WEST ARCO ALUMINIO ELÉCTRICO	El Aluminio Eléctrico West Arco es un electrodo de uso general. Se utiliza para la unión y reparación de piezas de aluminio y aleaciones tales como 1100, 1350, 3030 y aleaciones aluminio - magnesio (hasta 2.5% Mg)	14.000			T a 0 °C	PLANA	dcep	80 - 90			
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	EL 12	WA 60	Se utiliza en la fabricación de vigas, perfiles y estructuras, tanques, cilindros, tuberías etc. La composición química y las propiedades mecánicas del depósito dependen del fundente utilizado.					PLANA Y HORIZONTAL ENFRENTADO	dcep				
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	EM 12K	WA 61	Se utiliza en la fabricación de vigas, perfiles y estructuras, tanques, cilindros, tuberías etc. La composición química y las propiedades mecánicas del depósito dependen del fundente utilizado.					PLANA Y HORIZONTAL ENFRENTADO	dcep				
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	ER70S-6	WA 86	Especialmente adecuado para soldar lámina de aluminio en la reparación de ejes, fabricación de tanques, carrocerías, implementos agrícolas, rines de automóviles, embarcaciones, estructuras, etc.	72.000 86.000	60.000 74.000	22 al 30	-29 27 a 120	TODAS	dcep	0,090"	0,085"	0,040"	0,046"
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	ER70S-6	WA 70 S6	Se emplea para la soldadura de aceros al carbono de resistencia a la tracción hasta de 70.000 psi. Se utiliza con Argón como gas de protección. Las aplicaciones principales se encuentran en uniones de lámina de aluminio o para la ejecución del país de zinc.	mínimo 70.000	mínimo 56.000	mínimo 22	mínimo 27	TODAS	dcep				
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	ENICI	NÍQUEL 100	Para soldaduras en hierro gris donde se requiere una muy buena maquinabilidad. Para juntas y bloques de motores y compresores. Resano de piezas y en general para todo trabajo en hierro fundido gris. Uniones de fundición gris con aceros al carbono.	35.000 45.000	32.000 42.000	3 al 6		TODAS	ac, dcep o dcep	40 - 80	55 - 100	80 - 150	
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	ENICI	NÍQUEL 100 BÁSICO	Para soldaduras en hierro gris donde se requiere una muy buena maquinabilidad. Para bancadas de máquinas herramientas, culatas y bloques de motores y compresores, refino de piezas y en general para todo trabajo en piezas de hierro fundido gris. También se emplea para la unión de hierro gris con acero al carbono.	35.000 45.000	32.000 42.000	3 al 6		TODAS	ac, dcep o dcep	55 - 100			
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	ES1	CASTINGWELD	Se utiliza para el refino de defectos de fundición y para soldaduras de baja exigencia en Hierro fundido gris. Para aplicaciones que no requieren maquinado.					TODAS	ac o dcep	100 - 130	130 - 170	170 - 210	
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	DUROWELD 250	DUROWELD 250	Reconstrucción de ejes, engranajes, rines y ruedas y otras piezas sometidas a fricción especialmente cuando requieren ser maquinadas. Se utiliza también como relleno posterior aplicación de un recubrimiento de mayor durabilidad.					PLANA, HORIZONTAL, en posición para soldar en ángulo	ac o dcep	100 - 140	130 - 190	160 - 240	
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	DUROWELD 350	DUROWELD 350	Reconstrucción de ejes, eslabones, ruedas, etc. Reconstrucción de rodillos, sprockets y piezas sometidas a fricción metal-metal con abrasivos interpuertos.					PLANA, HORIZONTAL, en posición para soldar en ángulo	ac o dcep	100 - 140	130 - 190	160 - 240	
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	DUROWELD 450	DUROWELD 450	Reconstrucción de cadenas de tractores. Rodillos de crugas, sprockets, etc.					PLANA, HORIZONTAL, en posición para soldar en ángulo	ac o dcep	100 - 140	130 - 190	160 - 240	
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	DUROWELD 550	DUROWELD 550	Reconstrucción de arados, carcasas e impulsores de bombas de arena y lodo. Fondo de baldes de dragas, bordes de cuchara. Placas laterales de retroexcavadoras, etc.					PLANA, HORIZONTAL, en posición para soldar en ángulo	ac o dcep	100 - 140	130 - 190	160 - 240	
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	DUROWELD 650	DUROWELD 650	El Duroweld 650 se utiliza para la reconstrucción de labios y dientes de cucharas "almija", excavadoras, cuchillas de niveladoras, cargadores, cuchillas de corte de materiales, rieladamente abrasivos (pantón, tabaco, corcho, papel, etc.), piezas de alta dureza para embutir y conformar metales en frío, reconstrucción de ejes, etc.					PLANA, HORIZONTAL, en posición para soldar en ángulo	ac o dcep	100 - 140	130 - 190	160 - 240	
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	WEST DUR 600	WEST DUR 600	El West Dur 600 está especialmente indicado para la reconstrucción de ejes y juntas homocinéticas. Se utiliza para la recuperación de piezas de corte, embudo y conformado hecho en acero herramienta tales como el AISI H13. Puede utilizarse también en dragas, excavadoras, cargadores y otras piezas sometidas a abrasión.					PLANA, HORIZONTAL, en posición para soldar en ángulo	ac o dcep	100 - 140	130 - 190	160 - 240	
ALUMINIO PARA SAW AWS A5.17 Y A5.23	WEST ARCO SOLDOMANG	SOLDOMANG	Reconstrucción de equipos para movimiento de tierra sometidos a impacto. Reconstrucción, reparación o soldadura de aceros de alto contenido de manganeso (aceros Hadfield). Reconstrucción, reparación o soldadura de trituradoras, martillos para trituradoras, cilindros de trapiche, partes de dragas, zapatas para crugas de bulldozer, muelas de trituradoras, etc.					PLANA Y HORIZONTAL	ac, dcep o dcep	85 - 190	160 - 216	165 - 270	230 - 370

**Consulte en nuestra página web: Recomendaciones para soldar Acero Inoxidable, Fundiciones de Hierro y para soldar con electrodos de Bajo Hidrógeno.**

**SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AWS PARA METALES APORTE**  
 La especificación AWS A5.1, la cual se refiere a los electrodos revestidos para soldar aceros al carbono, trabaja con la siguiente clasificación:  
 E XXXX-R  
 Donde:  
 E: Indica electrodo para soldadura por arco eléctrico, el cual por definición es un conductor de la corriente eléctrica.  
 XX: Dos dígitos que designan la mínima resistencia a la tracción del metal de soldadura depositado, en ksi.  
 Y: Este dígito designa la posición o posiciones de soldadura en que puede trabajarse el electrodo: 1= todas, 2= plana y horizontal en filete y 4= todas y en vertical trabaja en progresión descendente.  
 Q: Este dígito designa el tipo de revestimiento y el tipo de corriente y polaridad adecuado para el electrodo: 0 y 1= revestimiento celulósico; 2, 3 y 4= revestimiento rutílico; 5, 6 y 8= revestimiento básico (bajo hidrógeno).  
 Los designadores después del guión son opcionales:  
 R: Designa que el electrodo E7018, E7018 o E7024 cumple los requisitos de impacto mejorado y de ductilidad mejorada en el caso del E7024.  
 HZ: Indica que el electrodo cumple los requisitos de la prueba de hidrógeno difusible para niveles de 10", de 4, 6 ó 10 ml de H<sub>2</sub> por cada 100 gramos de metal depositado (solo para electrodos revestidos de bajo hidrógeno).  
 RL: Indica que el electrodo cumple los requisitos de la prueba de absorción de humedad a 300° F y 80% de humedad relativa (solo para electrodos revestidos de bajo hidrógeno).  
 La especificación AWS A5.5, que trata los requisitos de los electrodos revestidos para soldar aceros de baja aleación, utiliza la misma clasificación de la AWSA5.1 con excepción de los designadores opcionales. En su lugar, utiliza sufijos que constan de una letra de una y una y un número. (por ejemplo: W, G, M, A1, S1, B2, C1, C2, C3, D1, etc.) los cuales indican la composición química del metal depositado.  
 La especificación AWS A5.4, que trata los electrodos revestidos para soldar aceros inoxidables trabaja con la siguiente clasificación:  
 E XXXX-YY  
 Donde:  
 E: Indica electrodo para soldadura de arco eléctrico.  
 XXX: Indica la composición química del depósito de soldadura puro, la cual se basa en la designación AISI para los aceros inoxidables.  
 (Y): L (bajo contenido de carbono) ó H (alto contenido de carbono).  
 Y1: Dos dígitos que indican la posición de soldar (el primer) y el tipo de corriente y polaridad (el segundo), puede ser 1S, 1P, 1T ó 2S.

La especificación AWS A5.15, electrodos revestidos para soldar fundiciones de hierro, utiliza el prefijo E, seguido de los símbolos químicos de los elementos considerados significativos y finalmente las letras CI (Cast Iron) que indican que el electrodo es para fundiciones de hierro. (Ejemplos: ENI-CI, ENFI-CI, etc).  
 La especificación AWS A5.17 de materiales de aporte por proceso de arco sumergido (SAW) para aceros al carbono, identifica los alambres con el prefijo E (electrodo), seguido de la letra que indica el contenido de manganeso y que puede ser L (bajo), M (medio) ó H (alto), seguido de uno o dos dígitos que den el contenido nominal de aluminio en centésimas de porcentaje.  
 Finalmente, algunos alambres incluyen una letra K, para significar que se acera con aluminio. Las propiedades mecánicas del depósito dependen del fundente que se use con cada alambre.  
 La denominación completa fundente - alambre puede ser por ejemplo: FSA2 EM12K la cual indica:  
 F: Fundente;  
 0: 80.000 psi de resistencia a la tracción mínima.  
 A: Propiedades mecánicas obtenidas sin tratamiento térmico post soldadura (a la welded).  
 2: Resistencia al impacto de 27 J mínimo a - 20° C.  
 E: Electrodo.  
 M: Contenido medio de manganeso.  
 12: 0.12% de carbono (nominal).  
 K: Acero oalmado.  
 Finalmente, la especificación AWS A5.18, la cual trae los requisitos del material de aporte para procesos con protección gaseosa (MIG/MAG, TIG y plasma) clasifica los alambres de la siguiente forma:  
 ER10-SX  
 Donde:  
 ER: Designa el uso como un electrodo y varilla (ER) ó sólo como un electrodo (E).  
 10: La resistencia a la tracción nominal del depósito de soldadura en ksi.  
 S: Indica que el metal de aporte es sólido. Puede ser C para metales de aporte con electrodos o alambres rellenos con polvo rellenos (Metal-Core).  
 X: Es un número que indica la composición química del alambre.

**RECOMENDACIONES PARA EL ALMACENAMIENTO DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS**  
 Todos los tipos de electrodos revestidos son afectados por la humedad, en algunos casos (E7010, E5011, E6012, etc.), la absorción de humedad produce cambios en las características de soldabilidad, estabilidad del arco y en el caso de los electrodos de bajo contenido de hidrógeno, cambios en la apariencia del revestimiento; además de los cambios antes mencionados, se producen mayores pérdidas en las características mecánicas del metal depositado y puede evidenciarse porosidad u otras discontinuidades que lo reflejan por fuera de la aprobación de los ensayos de inspección, ya sean estos visuales, mecánicos o radiográficos.  
 Para el almacenamiento en cajas cerradas de electrodos revestidos y alambres (tal como se reciben del distribuidor), se sugiere que la temperatura de almacenamiento permanezca por encima de la temperatura ambiente, aproximadamente 15°C ó que la humedad relativa no supere el 30%.

**CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO**  
 Se aconseja consumir toda la soldadura una vez abierta la caja; no obstante de ser indispensable guardar soldadura por fuera del empaque original se recomienda hacerlo en las siguientes condiciones:

NOMBRE WEST ARCO	ALMACENAMIENTO DE ELECTRODOS REVESTIDOS DESMERCADOS	RECOMENDACIONES DE ELECTRODOS REVESTIDOS HUMEDOS
XL 610, ZP 107, ZP 710 A1, ACP 8110B, XL 610 G, XL 610 G	Cuanto sacó a temperatura no mayor a 40°C.	NO
SW 619, SUPER SW 619, FF 619, ZP 14, 24, DUROWELD 250, 350, 450, 550, 650, SOLDOMANG	40 a 60°C	120 a 140°C 1 hora
W12 18, W12 18 S, W12 16, W12 18 (C) y demás electrodos revestidos de bajo hidrógeno	120 a 200°C	280 a 340°C 2 a 3 horas
CRAMOXD 308L, 309, 310, 312, 318L, 318, 347, 410, WEST WACK 308L-16, 309L-16	120 a 150°C	180 a 230°C 2 a 3 horas

- PRECAUCIÓN AL ALMACENAR Y/O TRANSPORTAR SOLDADURA**
- NO almacene las cajas sobre el piso, légalas sobre estibas de madera.
  - NO golpee las cajas.
  - NO se pare encima de ellas.
  - NO las exponga a la humedad.
  - Al movilizarlas NO las bote, deslicelas.
  - NO haga armijos de más de ocho cajas una sobre otra.
  - NO almacene soldadura cerca del cemento, yeso, ácidos u otros contaminantes.
  - Utilice o despache la soldadura de tal manera que salga primero la más antigua en ingresar.
  - Durante el transporte protéjala de la lluvia o cualquier líquido.
  - NO utilice electrodos que han perdido el revestimiento.
  - NO utilice electrodos húmedos, reconicionados de acuerdo con las instrucciones especificadas en el cuadro de condiciones de almacenamiento.

**NOTA:** las cajas cerradas y selladas no deben ser expuestas al agua, en cualquiera de sus manifestaciones.  
 Para obtener una óptima condición de humedad en el revestimiento, es recomendable reconicionar los electrodos de bajo hidrógeno de acuerdo con la última columna de la tabla (Condiciones de Almacenamiento) el momento de ser desempacados, a no ser que hayan sido suministrados en tarro metálico.

**GUIA PARA CORREGIR DISCONTINUIDADES USUALES EN LAS JUNTAS SOLDADAS CON SMAW- CAUSAS Y SOLUCIONES**

**POROSIDADES, CAUSAS:**  
 Oscilación demasiado amplia. Arco corto o muy largo. Avance muy rápido del electrodo. Revestimiento húmedo del electrodo.

**SOLUCIONES:**  
 Regular adecuadamente el amperaje. Moderar la longitud del arco. Disminuir la velocidad de avance. Limpiar bien las superficies antes de soldar. Secar el electrodo en horno apropiado.

- DEFORMACIONES, CAUSAS:**  
 Contracción del metal base y la soldadura. Sobrecalentamientos. Mala preparación de la junta.
- MALA PENETRACION, CAUSAS:**  
 Avance muy rápido. Amperaje muy bajo. Electrodo inadecuado. Mala preparación de la junta.
- ORNETAS, CAUSAS:**  
 Tipo inadecuado de electrodo. Juntas muy rígidas. Aceros de baja aleación alta resistencia. Diámetro de electrodo incorrecto.
- SALPICADURAS, CAUSAS:**  
 Amperaje muy alto. Polaridad incorrecta. Humedad en el electrodo y en metal. Ángulo de electrodo incorrecto.
- INCLINACIONES DE ESCORIA, CAUSAS:**  
 Mala limpieza de la escoria en los cordones anteriores. Inclinación deficiente del electrodo metal base también.
- SOCACIONES, CAUSAS:**  
 Demasiado amperaje. Diámetro inadecuado del electrodo en relación con el espesor del material. Incorrecta manipulación del arco.
- SOLUCIONES:**  
 Revisar la pieza, distribuir adecuadamente la soldadura, para contrarrestar efectos del calentamiento. Electrodo y amperaje adecuado según el espesor de la pieza. Observar precauciones antes después de ejecutar la soldadura.  
 Corrija la velocidad de avance. Utilice un electrodo adecuado, gírase debidamente la velocidad de corriente prepare y presente debidamente planchas a soldar.  
 Consultar catálogo de WEST-ARCO y emplear electrodo apropiado al metal base. Usar diámetro correcto. Precautelar el metal base.  
 Emplear el amperaje correcto. Use la polaridad apropiada al tipo de electrodo. Secar o cambiar los electrodos. Decar metal base. Utilizar ángulo del electrodo apropiado.  
 Limpiar muy bien cada cordón de soldadura, corregir la inclinación del electrodo. Limpiar las suciedades del metal base.  
 Emplear amperaje correcto. Emplear diámetro adecuado del electrodo, inclinación y movimiento apropiado.

Edición actualizada diecinueve (19)  
 Siguanos en  
 Facebook: @esabsoldaduraycorte  
 Instagram: @institutowestarco  
 YouTube: ESAB  
 Twitter: @esab

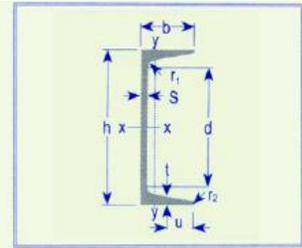
Mayores informes:  
 PBX: (57 1) 417 6288  
 www.westarco.com

**West Arco**  
 Número UNO en soldadura  
 UNA COMPAÑIA ESAB

**Solución Integral en unión y corte de materiales**

**Catálogo Resumido**

ANEXO F  
PERFILES C ESTÁNDAR TIPO AMERICANO - PERFILES & VIGAS S.A.S



**PERFIL C ESTANDAR AMERICANO - CE**

PERFILES CE	Dimensiones y propiedades para el diseño																
	ALTIMA		ALA			DISTANCIAS			AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS				CONS TORS		
	DESIGNACION	h	s	b	t	r1	r2	d			Ix	Sx	rx	Iy		Sy	ry
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/mt	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>
C 3 X 4.1	76.20	4.30	35.80	6.90	6.90	2.50	44.00	7.68	6.10	66.40	18.00	2.97	8.32	3.44	1.04	1.12	
C 3 X 5	76.20	6.50	38.00	6.90	6.90	2.50	45.60	9.40	7.44	74.90	19.70	2.84	10.40	3.93	1.04	1.79	
C 3 X 6	76.20	6.50	38.00	6.90	6.90	2.50	45.60	11.30	8.93	87.40	22.90	2.74	12.90	4.42	1.07	3.04	
C 4 X 5.4	101.60	4.60	40.10	7.50	7.10	2.80	68.80	10.10	8.04	158.00	31.10	3.96	13.30	4.75	1.14	1.66	
C 4 X 7.25	101.60	8.10	43.70	7.50	7.10	2.80	68.80	13.70	10.80	187.00	36.90	3.73	18.30	5.73	1.17	3.41	
C 5 X 6.7	127.00	4.80	44.50	8.10	7.40	2.80	91.80	12.60	10.00	308.00	49.20	4.95	20.00	6.23	1.27	2.29	
C 5 X 9	127.00	8.20	47.90	8.10	7.40	2.80	91.80	17.00	13.40	366.00	57.70	4.65	26.60	7.40	1.62	4.54	
C 6 X 8.2	152.40	5.10	48.80	8.70	7.60	3.00	115.00	15.40	12.20	541.00	70.50	5.94	29.10	8.19	1.35	3.12	
C 6 X 10.5	152.40	8.00	51.70	8.70	7.60	3.00	115.00	19.80	15.60	628.00	82.40	5.64	36.20	9.33	1.35	5.45	
C 6 X 13	152.40	11.10	54.80	8.70	7.60	3.00	115.00	24.60	19.30	720.00	95.00	5.41	45.80	10.70	1.35	10.00	
C 6 X 15	152.40	14.30	58.00	8.70	7.60	3.00	115.00	29.40	23.07	813.00	106.70	5.26	53.30	12.10	1.35		
C 7 X 9.8	177.80	5.30	53.10	9.30	7.90	3.30	138.00	18.40	14.60	878.00	98.30	6.91	40.80	10.30	1.50	4.16	
C 7 X 12.25	177.80	8.00	55.70	9.30	7.90	3.30	138.00	23.10	18.20	1,002.00	113.00	6.58	50.00	11.60	1.47	6.70	
C 7 X 14.75	177.80	10.60	58.40	9.30	7.90	3.30	138.00	27.90	22.00	1,127.00	126.00	6.37	58.20	12.90	1.45	11.20	
C 8 X 11.5	203.20	5.60	57.40	9.90	8.10	3.30	161.00	21.70	17.10	1,344.00	133.00	7.87	54.10	12.90	1.60	5.45	
C 8 X 13.75	203.20	7.70	59.50	9.90	8.10	3.30	161.00	26.10	20.50	1,489.00	147.00	7.59	62.40	14.10	1.57	7.78	
C 8 X 18.75	203.20	12.40	64.30	9.90	8.10	3.30	161.00	35.40	27.90	1,818.00	179.00	7.16	83.20	16.40	1.52	18.20	
C 8 X 21.25	203.20	14.80	67.00	9.90	8.10	3.30	161.00	40.30	31.62	1,988.00	195.70	7.02	93.70	18.20	1.52		
C 9 X 13.4	228.60	5.80	61.70	10.50	8.40	3.60	184.00	25.10	19.90	1,969.00	172.00	8.86	74.90	15.90	1.70	7.03	
C 9 X 15	228.60	7.20	63.10	10.50	8.40	3.60	184.00	28.30	22.30	2,109.00	185.00	8.64	79.00	16.40	1.70	8.70	
C 9 X 20	228.60	11.40	67.30	10.50	8.40	3.60	184.00	37.80	29.80	2,521.00	221.00	8.18	99.80	19.70	1.65	17.90	
C 10 X 15.3	254.00	6.10	66.00	11.10	8.60	3.60	207.00	28.80	22.80	2,785.00	220.00	9.83	95.70	19.70	1.83	8.78	
C 10 X 20	254.00	9.60	69.50	11.10	8.60	3.60	207.00	38.00	29.80	3,267.00	257.00	9.27	117.00	21.60	1.75	15.40	
C 10 X 25	254.00	13.40	73.30	11.10	8.60	3.60	207.00	47.30	37.20	3,775.00	297.00	8.93	142.00	24.60	1.73	28.70	
C 10 X 30	254.00	17.10	77.00	11.10	8.60	3.60	207.00	56.80	44.60	4,287.00	338.00	8.69	167.00	27.50	1.71	50.80	
C 12 X 20.7	304.80	7.10	74.70	12.70	9.70	4.30	252.00	38.90	30.80	5,332.00	351.00	11.70	162.00	27.90	2.06	15.40	
C 12 X 25	304.80	9.80	77.40	12.70	9.70	4.30	252.00	47.20	37.20	5,970.00	392.00	11.30	187.00	31.10	2.00	22.50	
C 12 X 30	304.80	12.90	80.50	12.70	9.70	4.30	252.00	56.70	44.60	6,706.00	441.00	10.90	216.00	34.40	1.95	36.00	
C 15 X 33.9	381.00	10.20	86.40	16.50	12.70	6.11	314.00	63.90	50.40	13,010.00	683.00	14.30	341.00	52.40	2.31	42.00	
C 15 X 40	381.00	13.20	89.40	16.50	12.70	6.11	314.00	75.50	59.50	14,410.00	757.00	13.80	387.00	55.70	2.26	60.80	
C 15 X 50	381.00	18.20	94.40	16.50	12.70	6.11	314.00	94.40	74.40	16,700.00	878.00	13.30	466.00	62.20	2.21	111.00	

ANEXO G  
CATALOGO TORNILLERÍA – TORNILLOS & PARTES S.A.



La herramienta de grandes proyectos.

## Tornillería Aplicaciones Generales

DESCRIPCION	Imagen	Pagina
Tornillo Estufa Laton Bronce Cabeza Plana Tornillo Estufa Laton Bronce Cabeza Redonda		Pag 1
Tornillo Hexagonal Grado 1 Negro Tornillo Hexagonal Grado 1 Zincado		
tornillo Hexagonal G2 Unc Negro Tornillo Hexagonal G2 Unc Zincado		
Tornillo Hexagonal Grado 5 Unc Negro Tornillo Hexagonal Grado 5 Unf Negro		
Tornillo Hexagonal Grado 5 Unc Negro Tornillo Hexagonal Grado 5 Unf Negro		
tornillo Hexagonal Grado 8 Unc Negro Tornillo Hexagonal Grado 8 Unf Negro		
Tornillo Hexagonal Grado 8 Unc Negro Tornillo Hexagonal Grado 8 Unf Negro		
Tornillo Hexagonal Milimetrico Clase 8.8 Paso Ordinario Din 931 - 933 Tornillo Hexagonal Milimetrico Clase 8.8 Rosca Total Din 933		
tornillo Hexagonal Milimetrico Clase 8.8 Paso Ordinario Din 931 - 933 Tornillo Hexagonal Milimetrico Clase 8.8 Rosca Total Din 933		



La herramienta de grandes proyectos.

## Tornillería Aplicaciones Generales

DESCRIPCION	Imagen	Pagina
Tornillo Hexagonal Milimetrico Clase 8.8 Bicromatizado Tornillo Hexagonal Milimetrico 8.8 Paso Fino		
Tornillo Hexagonal Milimetrico Clase 8.8 Bicromatizado Tornillo Hexagonal Milimetrico 8.8 Paso Fino		
Tornillo Hexagonal Milimetrico Clase 10.9 Paso Ordinario Din 931 - 933 Tornillo Hexagonal Milimetrico Cabeza Flange Din 6921		
tornillo Hexagonal Milimetrico Clase 10.9 Paso Ordinario Din 931 - 933 Tornillo Hexagonal Milimetrico Cabeza Flange		
Varilla Roscada Metro Unc Zincada Varilla Roscada Por Metro Unc Varilla Roscada Por 3 Metros Unc Varilla Roscada Por3 Metros Unc Zincada		
Varilla Roscada Milimetrica Din Clase 8,8		



## Tornillería Aplicaciones Generales

La herramienta de grandes proyectos.

DESCRIPCION	Imagen	Pagina
Tornillo Carriage Negro Tornillo Carriage Zincado		
Tornillo Hexagonal Rosca Total --tambor--		
Tornillo Bristol Con Cabeza Unc Tornillo Bristol Con Cabeza Unf		
Tornillo Bristol Con Cabeza Unc Tornillo Bristol Con Cabeza Unf		
Tornillo Bristol Con Cabeza Milimetrico Din 912 Tornillo Bristol Con Cabeza Milimetrico Zincado Din 912		
Tornillo Bristol Con Cabeza Milimetrico Din 912 Tornillo Bristol Con Cabeza Milimetrico Zincado Din 912		
Tornillo Bristol Sin Cabeza Milimetrico Din 913 Tornillo Bristol Cabeza Avellan Milimetrico Din 7991		
Tornillo Bristol Sin Cabeza Unc Tornillo Bristol Sin Cabeza Unf		



## Tornillería Aplicaciones Generales

La herramienta de grandes proyectos.

DESCRIPCION	Imagen	Pagina
Tuerca De Seguridad Unc Zincada Tuerca De Seguridad Unf Zincada		Pag 1
Tuerca De Seguridad Unc Zincada Tuerca De Seguridad Unf Zincada		
Tuerca Cuadrada Zincada Unc Tuerca Cuadrada Zincada Milimetrica Tuerca Cuadrada Para Soldar		
Arandela Plana Negra Por Kilo Arandela Plana Negra Por Unidad		
Arandela Plana Súper Gruesa Por Kilo Arandela Plana Súper Gruesa Por Unidad		
Arandela Plana Especial Bicromatizada Por Kilo Arandela Plana Especial Bicromatizada Por Unidad		
Arandela Plana En Aluminio Por Kilo Arandela Plana En Aluminio Por Unidad Arandela De Seguridad Estriada Bicromatizada		
Wasa De Presion Negra Wasa De Presion Zincada		
Tornillo Prisionero Cabeza Cuadrada Unc		



# Tornillería Aplicaciones Generales

La herramienta de grandes proyectos.

DESCRIPCION	Imagen	Pagina
Tornillo Bristol Cabeza Avellan Unc Tornillo Bristol Cabeza Avellan Unf		
Tornillo Bristol Cabeza Redonda Milimetrico Button		
Tornillo Bristol Cabeza Redonda Unc Button		
Tuerca Hexagonal G2 Negra Unc Tuerca Hexagonal G2 Negra Unf		
Tuerca Hexagonal G2 Zincada Unc Tuerca Hexagonal G2 Zincada Unf		
Tuerca Hexagonal G5 Unc Tuerca Hexagonal G5 Unf		
Tuerca Hexagonal G8 Unc Tuerca Hexagonal G8 Unf		
Tuerca Hexagonal Milimetrica Clase 6 Din 934 Tuerca Hexagonal Milimetrica Clase 8 10,9 Tuerca Hexagonal Milimetrica Bicromatizada Clase 6 Din 934		
Tuerca De Seguridad Milimetrica Zincada Din 985		



Color:

### TORNILLO HEXAGONAL GRADO 1 NEGRO

Dimensiones ANSI B-18.2.1  
Rosca BSW: B584 - MEDIA Rosca  
UNC: ASME B 1.1 - 2A  
MATERIAL: ACERO BAJO CARBONO



Color:

### TORNILLO HEXAGONAL GRADO 1 ZINCADO

Dimensiones ANSI B-18.2.1  
Rosca BSW: B584 - MEDIA Rosca  
UNC: ASME B 1.1 - 2A  
MATERIAL: ACERO BAJO CARBONO ZINCADO

Menu

DIAMETRO	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1-1/8"	1-1/4"
No productos longitud	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2
2-1/4"										
2-1/2"										
2-3/8"										
2-3/4"										
3"										
3-1/2"										
4"										
4-1/2"										
5"										
5-1/4"										
5-1/2"										
6"										
6-1/4"										
6-1/2"										
7"										
8"										
9"										
10"										
11"										
12"										
14"										
16"										
18"										
20"										

Pag. 1



**TORNILLO HEXAGONAL  
G2 UNC NEGRO**

Dimensiones: ANSI B 18.2.1  
Rosca: BSW - BS 84 -  
Media Rosca: UNC/ASME B 1.1 - 2A  
Material: Acero Bajo Carbono

Color: ████████████████████



**TORNILLO HEXAGONAL  
G2 UNC ZINCADO**

Dimensiones: ANSI B 18.2.1  
Rosca: BSW - BS 84 -Media  
Rosca UNC/UNF: ASME B 1.1 - 2A  
Material: Acero Bajo Carbono ZINCADO

Color: ████████████████████

DIAMETRO	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	7/16"	1/2"	9/16"	5/8"	3/4"	7/8"	1"
No productos	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2
longitud											
3/8"											
1/2"											
5/8"											
3/4"											
1"											
1-1/4"											
1-1/2"											
1-3/4"											
2"											
2-1/4"											
2-1/2"											
3"											
3-1/2"											
4"											
4-1/2											
5											
5-1/2											
6											
6-1/2											
7											
8											
9											
10											



**TORNILLO HEXAGONAL  
GRADO 5 UNC NEGRO**

Dimensiones: ANSI B 18.2.1  
Rosca: UNC - ASME B 1.1 - 2A  
Grado de Resistencia 5  
Material: Acero Medio Carbono  
Tratamiento: Templado y Revenido

Color: ████████████████████



**TORNILLO HEXAGONAL  
GRADO 5 UNF NEGRO**

Dimensiones: ANSI B 18.2.1  
Rosca: UNF - ASME B 1.1 - 2A  
Grado de Resistencia 5  
Material: Acero Medio Carbono  
Tratamiento: Templado y Revenido

Color: ████████████████████

DIAMETRO	1/4"	5/16"	3/8"	7/16"	1/2"	9/16"	5/8"	3/4"
No productos	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2
longitud								
1/2"								
5/8"								
3/4"								
1"								
1-1/4"								
1-1/2"								
1-5/8"								
1-3/4"								
2"								
2-1/4"								
2-1/2"								
2-5/8"								
2-3/4"								
3"								
3-1/2"								
4"								
4-1/2								
5								
5-1/2								
6								
6-1/4								
6-1/2								
7								
7-1/2								
8								
8-1/2								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
16								
18								
20								



**TORNILLO HEXAGONAL  
GRADO 5 UNC NEGRO**

Dimensiones: ANSI B 18.2.1  
Rosca: UNC - ASME B 1.1 - 2A  
Grado de Resistencia: 5  
Material: Acero Medio Carbono  
Tratamiento: Templado y Revenido

Color: ████████████████████



**TORNILLO HEXAGONAL  
GRADO 5 UNF NEGRO**

Dimensiones: ANSI B 18.2.1  
Rosca: UNF - ASME B 1.1 - 2A  
Grado de Resistencia: 5  
Material: Acero Medio Carbono  
Tratamiento: Templado y Revenido

Color: ████████████████████

DIAMETRO	7/8"		1"		1-1/8"		1-1/4"		1-3/8"		1-1/2"		1-5/8"		1-3/4"		2"	
No productos	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
longitud																		
1/2"																		
5/8"																		
3/4"																		
1"																		
1-1/4"																		
1-1/2"																		
1-5/8"																		
1-3/4"																		
2"																		
2-1/4"																		
2-1/2"																		
2-5/8"																		
2-3/4"																		
3"																		
3-1/2"																		
4"																		
4-1/2"																		
5																		
5-1/2"																		
6																		
6-1/4"																		
6-1/2"																		
7																		
7-1/2"																		
8																		
8-1/2"																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
16																		
18																		
20																		



**TORNILLO HEXAGONAL  
GRADO 8 UNC NEGRO**

Dimensiones ANSI B 18.2.1  
Rosca: ASME B 1.1 - 2A UNC  
Grado de Resistencia: 8  
Material: Acero Medio Carbono  
Tratamiento: Templado Revenido

Color: ████████████████████



**TORNILLO HEXAGONAL  
GRADO 8 UNF NEGRO**

Dimensiones ANSI B 18.2.1  
Rosca: ASME B 1.1 - 2A UNF  
Grado de Resistencia: 8  
Material: Acero Medio Carbono  
Tratamiento: Templado Revenido

Color: ████████████████████

DIAMETRO	1/4"		5/16"		3/8"		7/16"		1/2"		9/16"		5/8"		3/4"		7/8"	
No productos	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
longitud																		
1/2"																		
3/4"																		
1"																		
1-1/4"																		
1-1/2"																		
2"																		
2-1/4"																		
2-1/2"																		
2-3/4"																		
3"																		
3-1/4"																		
3-1/2"																		
3-3/4"																		
4"																		
4-1/2"																		
5																		
5-1/2"																		
6																		
6-1/2"																		
7																		
7-1/2"																		
8																		
8-1/2"																		
9																		
9-1/2"																		
10																		
11																		
12																		
14																		
15																		
16																		



**TORNILLO HEXAGONAL  
GRADO 8 UNC NEGRO**

Dimensiones ANSI B 18 2.1  
Rosca ASME B 1.1 - 2A UNC  
Grado de Resistencia 8  
Material Acero Medio Carbono  
Tratamiento Templado y Revenido

Color: ████████████████████



**TORNILLO HEXAGONAL  
GRADO 8 UNF NEGRO**

Dimensiones ANSI B 18 2.1  
Rosca ASME B 1.1 - 2A UNF  
Grado de Resistencia 8  
Material Acero Medio Carbono  
Tratamiento Templado y Revenido

Color: ████████████████████

DIAMETRO	1"	1-1/8"	1-1/4"	1-3/8"	1-1/2"	1-5/8"	1-3/4"	2"
No productos	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2
longitud								
1/2"								
3/4"								
1"								
1-1/4"								
1-1/2"								
2"								
2-1/4"								
2-1/2"								
2-3/4"								
3"								
3-1/4"								
3-1/2"								
3-3/4"								
4"								
4-1/2"								
5"								
5-1/2"								
6"								
6-1/2"								
7"								
7-1/2"								
8"								
8-1/2"								
9"								
9-1/2"								
10"								
11"								
12"								
14"								
15"								
16"								



**TORNILLO HEXAGONAL  
MILIMETRICO CLASE 8.8  
PASO ORDINARIO DIN 931 - 933**

Dimensiones DIN 931 - 933  
Rosca DIN 13 (ISO 965) - 6g  
Grado de Resistencia 8.8  
Material Acero Medio Carbono  
Tratamiento Templado y Revenido

Color: ████████████████████



**TORNILLO HEXAGONAL  
MILIMETRICO CLASE 8.8  
ROSCA TOTAL DIN 933**

Dimensiones DIN 933  
Rosca DIN 13 (ISO 965) - 6g  
Grado de Resistencia 8.8  
Material Acero Medio Carbono  
Tratamiento Templado y Revenido

Color: ████████████████████

DIAMETRO	4 (0.70)	5 (0.80)	6 (1.00)	7 (1.00)	8 (1.25)	10 (1.50)	12 (1.75)	14 (2.00)
No productos	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2
longitud								
6								
8								
10								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
20								
25								
30								
35								
40								
45								
50								
55								
60								
65								
70								
75								
80								
85								
90								
100								
105								
110								
120								
125								
130								
140								
150								
160								
170								
180								
190								
200								
210								
220								
230								
240								
250								







**TORNILLO HEXAGONAL MILIMETRICO CLASE 10.9 PASO ORDINARIO DIN 931 - 933**

Dimensiones: DIN 931 / DIN 933  
Rosca: DIN 13 Material: Acero Medio Carbono  
Tratamiento: Temple y Revenido

Color: ████████████████████



**TORNILLO HEXAGONAL MILIMETRICO CABEZA FLANGE**

Dimensiones: DIN 6921  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) -6g  
MATERIAL: Acero Medio Carbono  
Tratamiento: Temple y Revenido y Bicornormalizado

Color: ████████████████████

DIAMETRO	14 (2.00)		16 (2.00)		18 (2.50)		20 (2.50)		22 (2.50)		24 (3.00)		27 (3.00)		30 (3.50)		36 (4.00)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
longitud																		
10																		
12																		
15																		
16																		
20																		
25																		
30																		
35																		
40																		
45																		
50																		
55																		
60																		
65																		
70																		
75																		
80																		
85																		
90																		
95																		
100																		
110																		
120																		
125																		
130																		
140																		
150																		
160																		
170																		
180																		
190																		
200																		
210																		
220																		
230																		
240																		
250																		
260																		
270																		
280																		
290																		
300																		



**TORNILLO BRISTOL SIN CABEZA MILIMETRICO DIN 913**

Dimensiones: DIN 913  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) 6g  
Material: Acero Medio Carbono

Color: ████████████████████



**TORNILLO BRISTOL CABEZA AVELLAN MILIMETRICO DIN 7991**

Dimensiones: DIN 7991  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) 6g  
Material: Acero Medio Carbono

Color: ████████████████████

DIAMETRO	3		4		5		6		8		10		12		14		16		18		20	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
longitud																						
5																						
6																						
8																						
10																						
12																						
14																						
16																						
20																						
25																						
30																						
35																						
40																						
45																						
50																						
55																						
60																						
70																						
80																						
90																						
100																						
110																						
120																						
150																						



**VARILLA ROSCADA MILIMETRICA POR METRO**

Dimensiones: Patron Fabricante  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) Eg  
Material: Acero Medio Carbono.

Color:



**TORNILLO HEXAGONAL GRADO 1 ZINCADO**

Dimensiones ANSI B-18.5  
Rosca BSW: 8984 - MEDIA Rosca  
UNC: ASME B 1.1 - 2A  
MATERIAL: ACERO BAJO CARBONO ZINCADO

Color:

LONGITUDES	1 METROS	3 METROS	3.66 METROS
<b>DIAMETROS</b>			
5mm	0.80		
6mm	1.00		
8mm	1.25		
10mm	1.50		
12mm	1.50		
12mm	1.75		
14mm	2.00		
16mm	2.00		
18mm	2.50		
20mm	2.50		
22mm	2.50		
24mm	1.50		
24mm	3.00		



**VARILLA ROSCADA METRO UNC ZINCADA - VARILLA ROSCADA POR METRO UNC**

Rosca (PULGADAS UNC ANSI B 1.1 2A)  
Material: SAE Grado 2 Negra por Mts

Color:



Rosca (PULGADAS UNC ANSI B 1.1 2A)  
Material: SAE Grado 2  
Tratamiento: Zincado por Mts

Color:

**VARILLA ROSCADA POR 3 METROS UNC - VARILLA ROSCADA POR 3 METROS UNC ZINCADA**



Rosca (PULGADAS UNC ANSI B 1.1 2A)  
Material: SAE Grado 2 Negra por 3Mts

Color:



Rosca (PULGADAS UNC ANSI B 1.1 2A)  
Material: SAE Grado 2  
Tratamiento: Zincado por 3Mts

Color:

LONGITUDES	1 METRO	1 METRO ZIN	3 METROS	3 METROS ZIN	LONGITUDES	1 METRO	1 METRO ZIN	3 METROS
<b>DIAMETROS</b>					<b>DIAMETROS</b>			
1/8"					1-1/8"			
5/32"					1-1/4"			
3/16"					1-3/8"			
1/4"					1-1/2"			
5/16"					1-5/8"			
3/8"					1-3/4"			
7/16"					2"			
1/2"					2-1/4"			
9/16"					2-1/2"			
5/8"					3"			
3/4"								
7/8"								
1"								









**TORNILLO BRISTOL CON CABEZA MILIMETRICO DIN 912**

Dimensiones: DIN 912  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) -6g  
Grado de Resistencia: 8.8 - 10.9 - 12.9  
Material: Acero Medio  
Tratamiento: Templado y Revenido.

Color:           



**TORNILLO BRISTOL CON CABEZA MILIMETRICO ZINCADO DIN 912**

Dimensiones: DIN 912 Rosca: DIN 13 (ISO 965) -6g  
Grado de Resistencia: 8.8 - 10.9 - 12.9  
Material: Acero Medio  
Tratamiento: Templado y Revenido y Recubrimiento de Zincado

Color:           

DIAMETRO	3		4		5		6		8		10		12		14		16		18		20		22		24		27		30		36			
No productos	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
longitud																																		
5																																		
6																																		
8																																		
10																																		
12																																		
14																																		
16																																		
18																																		
20																																		
22																																		
24																																		
27																																		
30																																		
36																																		
40																																		
45																																		
50																																		
55																																		
60																																		
70																																		
75																																		
80																																		
85																																		
90																																		
95																																		
100																																		
110																																		
120																																		
130																																		
140																																		
150																																		
160																																		
170																																		
180																																		
190																																		
200																																		
210																																		
220																																		
230																																		
250																																		



**TORNILLO BRISTOL SIN CABEZA MILIMETRICO DIN 913 DIN 916**

Dimensiones: DIN 913 - 916  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) 6g  
Material: Acero Medio Carbono

Color:           



**TORNILLO BRISTOL CABEZA AVELLAN MILIMETRICO DIN 7991**

Dimensiones: DIN 7991  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) 6g  
Material: Acero Medio Carbono

Color:           

DIAMETRO	3		4		5		6		8		10		12		14		16		18		20	
No productos	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
longitud																						
5																						
6																						
8																						
10																						
12																						
14																						
16																						
20																						
25																						
30																						
35																						
40																						
45																						
50																						
55																						
60																						
70																						
80																						
90																						
100																						
110																						
120																						
130																						





**TORNILLO BRISTOL CABEZA REDONDA MILIMETRICO BUTTON**

Dimensiones: ISO 7380  
Rosca: DIN 13  
Material: Acero Medio

Color:                     

DIAMETRO	3	4	5	6	8	10	12
No productos	1	1	1	1	1	1	1
<b>longitud</b>							
10							
12							
16							
20							
25							
30							
35							
40							
45							
50							
60							
70							
80							



**TORNILLO BRISTOL CABEZA REDONDA UNC BUTTON**

Dimensiones: ASME B19.3 Patron  
Estandar Material: Acero Medio Carbono

Color:                     

DIAMETRO	1/8" (5-40)	5/32" (8-32)	3/16" (10-24)	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
No productos	1	1	1	1	1	1	1
<b>longitud</b>							
1/4"							
3/8"							
1/2"							
5/8"							
3/4"							
7/8"							
1"							
1-1/4"							
1-1/2"							
2"							
2-1/2"							
3"							



**TUERCA HEXAGONAL G2 NEGRA UNC**

Dimensiones: ANSI B 18 2.2  
Rosca: UNC / UNF ASME B 1.1 -2B  
Rosca: BSW BS 84 - Normal  
Material: Acero Bajo Carbono.

Color:                     



**TUERCA HEXAGONAL G2 NEGRA UNF**

Dimensiones: ANSI B 18 2.2  
Rosca: UNF ASME B 1.1 -2B  
Rosca: BSW BS 84 - Normal  
Material: Acero Bajo Carbono.

Color:                     

ROSCAS	UNC	UNF	ROSCAS	UNC	UNF
DIAMETROS			DIAMETROS		
1/8"	( 5 - 40)		7/8"		
1/8"	H-5/16		1"		
5/32"	( 8 - 32)		1-1/8"		
6/32"	( 6 - 32)		1-1/4"		
3/16"	( 10 - 24)	( 10 - 32)	1-3/8"		
1/4"			1-1/2"		
5/16"			1-5/8"		
3/8"			1-3/4"		
7/16"			1-7/8"		
1/2"			2"		
9/16"			2-1/4"		
5/8"			2-1/2"		
3/4"			3"		



**TUERCA HEXAGONAL G2 ZINCADA UNC**

Dimensiones: ANSI B 18 2.2  
Rosca: UNC / UNF ASME B 1.1 -2B  
Rosca: BSW BS 84 - Normal  
Material: Acero Bajo Carbono  
Tratamiento: Recubrimiento de Zin

Color:                     



**TUERCA HEXAGONAL G2 ZINCADA UNF**

Dimensiones: ANSI B 18 2.2  
Rosca: UNC / UNF ASME B 1.1 -2B  
Rosca: BSW BS 84 - Normal  
Material: Acero Bajo Carbono  
Tratamiento: Recubrimiento de Zin

Color:                     

ROSCAS	UNC ZIN	UNF ZIN	ROSCAS	UNC ZIN	UNF ZIN
DIAMETROS			DIAMETROS		
1/8"			7/8"		
1/8"	H-5/16		1"		
5/32"			1-1/8"		
6/32"			1-1/4"		
3/16"			1_3/8"		
1/4"			1-1/2"		
5/16"					
3/8"					
7/16"					
1/2"					
9/16"					
5/8"					
3/4"					





**TUERCA HEXAGONAL MILIMETRICA CLASE 6 DIN 934**

Dimensiones: DIN 934  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) - 6g  
Material: Acero Bajo Carbono

Color:           



**TUERCA HEXAGONAL MILIMETRICA CLASE 8 10,9**

Dimensiones: DIN 934 - Clase 8  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) 6H  
Material: Acero Medio Carbono  
Grado de Resistencia Clase 8.

Color:           



**TUERCA HEXAGONAL MILIMETRICA BICROMATIZADA CLASE 6 DIN 934**

Dimensiones: DIN 934  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) - 6g  
Material: Acero Bajo Carbono  
Tratamiento Bicromatizado

Color:           

TIPO	CLASE 6	CLASE 8	CLASE 6 IRIZ	TIPO	CLASE 6	CLASE 8	CLASE 6 IRIZ
DIAMETROS	Paso	Paso	Paso	DIAMETROS	Paso	Paso	Paso
3-MM	0.50		0.50	18-MM	1.50		1.50
4-MM	0.70		0.70	18-MM	2.50	2.50	2.50
5-MM	0.80		0.80	20-MM	1.50		
6-MM	1.00		1.00	20-MM	2.50	2.50	
7-MM	1.00		1.00	22-MM	1.50		
8-MM	1.00		1.00	22-MM	2.50		
8-MM	1.25		1.25	24-MM	1.50		
10-MM	1.00		1.00	24-MM	3.00	3.00	
10-MM	1.25		1.25	27-MM	3.00	3.00	
10-MM	1.50	1.50	1.50	30-MM	3.50	3.50	
12-MM	1.25		1.25	33-MM	3.50	3.50	
12-MM	1.50	1.50	1.50	36-MM	4.00	4.00	
12-MM	1.75	1.75	1.75	42-MM	4.50	4.50	
14-MM	1.50	1.50	1.50	48-MM	5.00		
14-MM	2.00	2.00	2.00				
16-MM	1.50	1.50	1.50				
16-MM	2.00	2.00	2.00				



**TUERCA DE SEGURIDAD MILIMETRICA ZINCADA DIN 985**

Dimensiones: (METRICA) DIN 985  
Rosca: DIN 13 (ISO 965) -6H  
Grado de Resistencia: Clase 8

Color:           

TIPO TUERCA	SEGURIDAD	TIPO TUERCA	SEGURIDAD
DIAMETROS	PASO	DIAMETROS	PASO
3mm	0.50	18mm	1.50
4mm	0.70	18mm	2.50
5mm	0.80	20mm	1.50
6mm	1.00	20mm	2.50
7mm	1.00	22mm	1.50
8mm	1.00	22mm	2.50
8mm	1.25	24mm	1.50
10mm	1.00	24mm	3.00
10mm	1.25	27mm	1.50
10mm	1.50	27mm	3.00
12mm	1.25	30mm	3.50
12mm	1.50	33mm	3.50
12mm	1.75	36mm	4.00
14mm	1.50	39mm	4.00
14mm	2.00	42mm	4.50
16mm	1.50		
16mm	2.00		



**TUERCA DE SEGURIDAD UNC ZINCADA**

Rosca UNC: ASME B 1.1 2B  
Rosca BSW: BS 84 - Normal  
Rosca UNS: B 1.1  
Grado de Resistencia: 2  
Material: Acero Bajo Carbono.

Color: ██████████



**TUERCA DE SEGURIDAD UNF ZINCADA**

Rosca UNF: ASME B 1.1 2B  
Rosca BSW: BS 84 - Normal  
Rosca UNS: B 1.1  
Grado de Resistencia: 2  
Material: Acero Bajo Carbono.

Color: ██████████

TIPO	TUERCA DE SEGURIDAD UNC ZINCADA			TUERCA DE SEGURIDAD UNF ZINCADA			TIPO	TUERCA DE SEGURIDAD UNC ZINCADA			TUERCA DE SEGURIDAD UNF ZINCADA		
DIAMETROS							DIAMETROS						
1/8"							7/8"						
6/32"							1"						
5/32"							1-1/8"						
3/16"							1-1/4"						
1/4"							1-3/8"						
5/16"							1-1/2"						
3/8"							1-3/4"						
7/16"							2"						
1/2"													
9/16"													
5/8"													
3/4"													



**TUERCA CUADRADA ZINCADA UNC**

Dimensiones: ANSI B 18 2.2  
Rosca: ASME B 1.1 - 2B  
Material: Acero Bajo Carbono.

Color: ██████████



**TUERCA CUADRADA ZINCADA MILIMETRICA**

Dimensiones: Metrica DIN 557  
Rosca: DIN 13 (965) 6H  
Material: Acero Bajo Carbono.

Color: ██████████



**TUERCA CUADRADA PARA SOLDAR**

Dimensiones: DIN 928  
Rosca: DIN 13 (965) 6g  
Material: Acero Bajo Carbono.

Color: ██████████

TIPO	CUADRADA -UNC-			TIPO	CUADRADA -MM-			PARA SOLDAR		
DIAMETROS				DIAMETROS						
1/8"				6 MM		1.00				1.00
5/32"				8 MM		1.25				1.25
3/16"				10 MM						1.25
1/4"				10 MM						1.50
5/16"				12 MM						1.25
3/8										
7/16"										
1/2"										
5/8"										
3/4"										
7/8"										
1"										

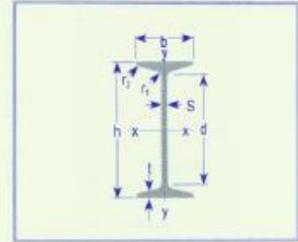








ANEXO H  
PERFILES I ESTÁNDAR TIPO AMERICANO - S - PERFILES & VIGAS S.A.S



PERFIL I ESTANDAR AMERICANO - S																
PERFILES S		Dimensiones y propiedades para el diseño														
DESIGNACION	DIMENSIONES					AREA cm <sup>2</sup>	PESO kg/mt	PROPIEDADES ELASTICAS						MODULO PLASTICO		CONS TORS cm <sup>4</sup>
	ALTURA		ALA					EJE X-X			EJE Y-Y			Zx	Zy	
	h mm	s mm	b mm	t mm	d mm			Ix cm <sup>4</sup>	Sx cm <sup>3</sup>	rx cm	Iy cm <sup>4</sup>	Sy cm <sup>3</sup>	ry cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	Jt
S 3 x 5.7	76.00	4.32	59.18	6.60	41.00	10.80	8.50	105.00	27.50	3.12	18.94	6.40	1.33	32.00	10.70	1.66
S 3 x 7.5	76.00	8.86	63.73	6.60	41.00	14.30	11.20	122.00	32.00	2.92	24.40	7.70	1.31	38.73	13.54	3.75
S 4 x 5.6	100.00	4.50	50.00	6.80	64.00	10.60	8.32	171.00	34.20	4.01	12.20	4.88	1.07	39.67	8.83	1.27
S 4 x 7.7	102.00	4.90	67.64	7.44	64.00	14.60	11.50	253.00	49.80	4.17	31.80	9.40	1.48	57.32	15.80	2.91
S 4 x 9.5	102.00	8.28	71.02	7.44	64.00	18.00	14.10	283.00	55.60	3.96	37.60	10.60	1.45	66.20	18.52	5.00
S 5 x 7.5	120.00	5.10	58.00	7.70	86.00	14.20	11.20	329.00	54.70	4.81	25.16	7.41	1.33	63.73	13.54	2.16
S 5 x 10.0	127.00	5.44	76.30	8.28	86.00	19.00	14.90	512.00	80.60	5.21	50.78	13.30	1.63	92.91	22.45	4.58
S 5 x 14.75	127.00	12.55	83.41	8.28	86.00	28.00	22.00	633.00	99.60	4.75	69.51	16.60	1.57	121.60	30.81	1.33
S 6 x 12.0	160.00	6.30	74.00	9.50	108.00	22.80	17.90	938.00	117.00	6.41	64.45	14.80	1.68	136.00	27.15	5.24
S 6 x 12.5	152.00	5.89	84.63	9.12	108.00	23.70	18.60	920.00	120.80	6.22	75.75	17.90	1.79	138.80	30.32	7.08
S 6 x 17.25	152.00	11.81	90.55	9.12	108.00	32.70	25.70	1,095.00	143.70	5.79	96.15	21.30	1.71	173.70	38.67	15.40
S 7 x 15.3	178.00	6.40	93.01	9.96	130.00	29.00	22.80	1,528.00	172.10	7.26	110.00	23.60	1.95	198.30	40.00	9.90
S 7 x 20.0	178.00	11.43	98.04	9.96	130.00	37.90	29.80	1,765.00	198.30	6.83	132.00	26.90	1.86	237.61	48.51	18.73
S 8 x 17.4	200.00	7.50	90.00	11.30	152.00	33.50	26.30	2,148.00	214.00	8.01	137.90	26.00	2.03	249.60	47.94	10.70
S 8 x 18.4	203.00	6.88	101.63	10.82	152.00	34.90	27.40	2,397.00	236.00	8.28	155.00	30.50	2.11	270.40	51.78	14.15
S 8 x 23.0	203.00	11.20	105.94	10.82	152.00	43.70	34.20	2,701.00	265.50	7.87	179.00	33.90	2.03	316.27	60.30	22.89
S 9 x 21.8	229.00	7.40	110.00	11.60	178.00	40.70	32.44	3,535.00	309.30	9.32	214.80	39.10	2.29	355.30	72.90	13.84
S 10 x 25.4	254.00	7.90	118.39	12.47	197.00	48.10	37.80	5,161.00	404.80	10.34	283.00	47.70	2.42	465.40	78.60	24.97
S 10 x 35.0	254.00	15.09	125.58	12.47	197.00	66.50	52.10	6,119.00	481.80	9.60	348.00	55.40	2.29	580.10	101.96	53.70
S 12 x 31.8	305.00	8.89	127.00	13.82	244.00	60.30	47.30	9,074.00	596.50	12.27	390.00	61.30	2.54	688.26	104.88	37.46
S 12 x 35.0	305.00	10.87	128.98	13.82	244.00	66.50	52.10	9,532.00	626.00	12.00	411.00	63.70	2.49	734.14	111.27	44.95
S 12 x 40.8	305.00	11.73	133.40	16.74	232.00	77.40	60.70	11,321.00	744.00	12.11	566.00	84.60	2.69	870.00	145.00	73.26
S 12 x 50.0	305.00	17.45	139.11	16.74	232.00	94.80	74.40	12,695.00	832.50	11.56	653.00	94.10	2.62	1,003.00	168.80	117.38
S 15 x 42.9	381.00	10.44	138.73	15.80	311.00	81.30	63.80	18,606.00	976.70	15.11	599.00	85.70	2.72	1,136.00	147.81	64.10
S 15 x 50.0	381.00	13.97	143.26	15.80	311.00	94.80	74.40	20,229.00	1,062.00	14.61	653.00	91.30	2.62	1,263.00	163.38	88.24
S 18 x 54.7	457.00	11.71	152.43	17.55	381.00	104.00	81.40	33,465.00	1,465.00	17.96	886.00	113.70	2.90	1,721.00	198.28	98.65
S 18 x 70.0	457.00	18.06	158.78	17.55	381.00	133.00	104.20	38,543.00	1,688.00	17.04	1,003.00	127.00	2.74	2,048.00	236.00	172.24
S 20 x 66.0	508.00	12.83	158.88	20.19	425.00	125.00	98.20	49,532.00	1,950.00	19.89	1,153.00	145.00	3.02	2,294.00	251.00	149.00
S 20 x 75.0	508.00	16.13	162.18	20.19	425.00	142.00	112.00	53,278.00	2,098.00	19.35	1,240.00	152.70	2.95	2,507.00	274.00	191.00
S 20 x 86.0	514.00	16.76	179.32	23.37	425.00	163.00	128.00	65,765.00	2,540.00	20.00	1,948.00	218.00	3.45	3,000.00	377.00	276.40
S 20 x 96.0	514.00	20.32	182.88	23.37	425.00	182.00	143.00	69,511.00	2,704.00	19.58	2,069.00	228.00	3.38	3,245.00	408.00	349.20
S 24 x 80.0	607.00	12.70	177.80	22.10	521.00	152.00	119.00	87,409.00	2,868.00	24.05	1,756.00	198.00	3.40	3,343.00	339.00	203.00
S 24 x 90.0	607.00	15.88	180.98	22.10	521.00	171.00	134.00	93,652.00	3,064.00	23.39	1,869.00	206.00	3.30	3,638.00	365.00	251.40
S 24 x 100.0	607.00	18.92	184.02	22.10	521.00	189.00	149.00	99,479.00	3,261.00	22.91	1,985.00	216.00	3.23	3,933.00	392.00	316.00
S 24 x 106.0	622.00	15.75	200.00	27.69	521.00	201.00	158.00	122,372.00	3,933.00	24.66	3,209.00	321.00	4.00	4,572.00	544.00	420.40
S 24 x 121.0	622.00	20.32	204.47	27.69	521.00	230.00	180.00	131,529.00	4,228.00	23.95	3,467.00	339.00	3.89	5,014.00	593.00	532.80

ANEXO I  
EVALUACIÓN CRITICIDAD RIESGOS DURANTE MONTAJE, INSTALACIÓN Y  
PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA RECUPERADOR

PROCESO	ACTIVIDAD	TAREA	TIPO RIESGO	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EXPOSICIÓN	CRITICIDAD
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.1 Preparación de puntos de anclaje y sistemas de acople	Trabajo en alturas	Anclaje en zonas elevadas del edificio de la galería del horno	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.1 Preparación de puntos de anclaje y sistemas de acople	Atrapamientos	Perforación de estructuras metálicas o lozas de concreto	4	3	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.1 Preparación de puntos de anclaje y sistemas de acople	Material particulado	Perforación de estructuras metálicas o lozas de concreto	4	3	4	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.1 Preparación de puntos de anclaje y sistemas de acople	Proyección particulada	Perforación de estructuras metálicas o lozas de concreto	5	3	2	30
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.2 Descargue de componentes estructurales y almacenamiento temporal de insumos y materiales	Aplastamiento	Transporte y almacenamiento de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.2 Descargue de componentes estructurales y almacenamiento temporal de insumos y materiales	Objetos que caen	Transporte y almacenamiento de cualquier tipo de componente	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.3 Montaje e instalación de componentes estructurales	Trabajo en alturas	Montaje en zonas elevadas del edificio de la galería del horno	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.3 Montaje e instalación de componentes estructurales	Aplastamiento	Caída de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.3 Montaje e instalación de componentes estructurales	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.4 Anclaje de componentes estructurales	Trabajo en alturas	Montaje en zonas elevadas del edificio de la galería del horno	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.4 Anclaje de componentes estructurales	Aplastamiento	Caída de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.4 Anclaje de componentes estructurales	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.4 Anclaje de componentes estructurales	Trabajo en caliente	Soldadura de componentes	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.4 Anclaje de componentes estructurales	Gases Tóxicos	Proveniente soldadura de componentes	3	3	2	18
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.4 Anclaje de componentes estructurales	Riesgo Eléctrico	Sistema alimentación equipo de soldadura	3	5	3	45
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.5 Inspección de montaje y anclaje	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.1 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA	1.1.5 Inspección de montaje y anclaje	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.1 Descargue de secciones de tuberías y almacenamiento temporal de insumos y materiales	Aplastamiento	Transporte y almacenamiento de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.1 Descargue de secciones de tuberías y almacenamiento temporal de insumos y materiales	Objetos que caen	Transporte y almacenamiento de cualquier tipo de componente	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.2 Montaje e instalación de secciones de tubería	Trabajo en alturas	Montaje en zonas elevadas del edificio de la galería del horno	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.2 Montaje e instalación de secciones de tubería	Aplastamiento	Caída de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.2 Montaje e instalación de secciones de tubería	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.3 Anclaje de secciones de tuberías	Trabajo en alturas	Montaje en zonas elevadas del edificio de la galería del horno	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.3 Anclaje de secciones de tuberías	Aplastamiento	Caída de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.3 Anclaje de secciones de tuberías	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.3 Anclaje de secciones de tuberías	Trabajo en caliente	Soldadura de componentes	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.3 Anclaje de secciones de tuberías	Gases Tóxicos	Proveniente soldadura de componentes	3	3	2	18
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.3 Anclaje de secciones de tuberías	Riesgo Eléctrico	Sistema alimentación equipo de soldadura	3	5	3	45
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.4 Inspección de montaje y anclaje	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.2 MONTAJE DE TUBERÍA	1.2.4 Inspección de montaje y anclaje	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.1 Descargue de sistemas recuperadores de calor y almacenamiento temporal de insumos y materiales	Aplastamiento	Transporte y almacenamiento de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.1 Descargue de sistemas recuperadores de calor y almacenamiento temporal de insumos y materiales	Objetos que caen	Transporte y almacenamiento de cualquier tipo de componente	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.2 Montaje e instalación mecánica de recuperadores	Trabajo en alturas	Montaje en zonas elevadas del edificio de la galería del horno	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.2 Montaje e instalación mecánica de recuperadores	Aplastamiento	Caída de componentes sobredimensionados	3	4	2	24

PROCESO	ACTIVIDAD	TAREA	TIPO RIESGO	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EXPOSICIÓN	CRITICIDAD
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.2 Montaje e instalación mecánica de recuperadores	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.3 Inspección de montaje y anclaje de equipos	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.3 Inspección de montaje y anclaje de equipos	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.4 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	Riesgo Eléctrico	Sistema de alimentación y control	3	5	3	45
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.4 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.5 Inspección y comprobación de sistemas de control	Riesgo Eléctrico	Sistema de alimentación y control	3	5	3	45
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.3 MONTAJE DE RECUPERADORES	1.3.5 Inspección y comprobación de sistemas de control	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.4 MONTAJE DE EXTRACTOR DE TIRO INDUCIDO	1.4.1 Descargue y montaje mecánico de extractor	Aplastamiento	Transporte y almacenamiento de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.4 MONTAJE DE EXTRACTOR DE TIRO INDUCIDO	1.4.1 Descargue y montaje mecánico de extractor	Objetos que caen	Transporte y almacenamiento de cualquier tipo de componente	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.4 MONTAJE DE EXTRACTOR DE TIRO INDUCIDO	1.4.2 Inspección de montaje y anclaje de equipo	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros de altura	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.4 MONTAJE DE EXTRACTOR DE TIRO INDUCIDO	1.4.2 Inspección de montaje y anclaje de equipo	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.4 MONTAJE DE EXTRACTOR DE TIRO INDUCIDO	1.4.3 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	Riesgo Eléctrico	Sistema de alimentación y control	3	5	3	45
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.4 MONTAJE DE EXTRACTOR DE TIRO INDUCIDO	1.4.3 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.4 MONTAJE DE EXTRACTOR DE TIRO INDUCIDO	1.4.4 Inspección y comprobación de sistemas de control	Riesgo Eléctrico	Sistema de alimentación y control	3	5	3	45
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.4 MONTAJE DE EXTRACTOR DE TIRO INDUCIDO	1.4.4 Inspección y comprobación de sistemas de control	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.1 Descargue de secciones de tuberías y almacenamiento temporal de insumos y materiales	Aplastamiento	Transporte y almacenamiento de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.1 Descargue de secciones de tuberías y almacenamiento temporal de insumos y materiales	Objetos que caen	Transporte y almacenamiento de cualquier tipo de componente	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.2 Montaje e instalación de secciones de tubería	Aplastamiento	Caída de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.2 Montaje e instalación de secciones de tubería	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.3 Anclaje de secciones de tuberías	Trabajo en alturas	Montaje en zonas elevadas del edificio de la galería del horno	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.3 Anclaje de secciones de tuberías	Aplastamiento	Caída de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.3 Anclaje de secciones de tuberías	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.3 Anclaje de secciones de tuberías	Trabajo en caliente	Soldadura de componentes	4	4	3	48
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.3 Anclaje de secciones de tuberías	Gases Tóxicos	Proveniente soldadura de componentes	3	3	2	18
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.3 Anclaje de secciones de tuberías	Riesgo Eléctrico	Sistema alimentación equipo de soldadura	3	5	3	45
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.4 Inspección de montaje y anclaje	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
1. INSTALACIÓN Y MONTAJE	1.5 MONTAJE DE CHIMENEA	1.5.4 Inspección de montaje y anclaje	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.1 Instalación de sistema de extracción secundaria de brasa	Aplastamiento	Caída de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.1 Instalación de sistema de extracción secundaria de brasa	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.1 Instalación de sistema de extracción secundaria de brasa	Trabajo en caliente	Contacto con flujo de aire caliente proveniente del horno	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.1 Instalación de sistema de extracción secundaria de brasa	Trabajo en caliente	Soldadura de componentes	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.1 Instalación de sistema de extracción secundaria de brasa	Gases Tóxicos	Proveniente soldadura de componentes	3	3	2	18
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.1 Instalación de sistema de extracción secundaria de brasa	Riesgo Eléctrico	Sistema alimentación equipo de soldadura	3	5	3	45
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.1 Instalación de sistema de extracción secundaria de brasa	Trabajo en alturas	Trabajo con elementos o zonas por encima de 1,5 metros de altura	3	5	4	60
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.2 Montaje e instalación de sistema direccionador de aire caliente	Aplastamiento	Caída de componentes sobredimensionados	3	4	2	24
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.2 Montaje e instalación de sistema direccionador de aire caliente	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48

PROCESO	ACTIVIDAD	TAREA	TIPO RIESGO	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EXPOSICIÓN	CRITICIDAD
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.2 Montaje e instalación de sistema direccionador de aire caliente	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.2 Montaje e instalación de sistema direccionador de aire caliente	Trabajo en caliente	Soldadura de componentes	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.2 Montaje e instalación de sistema direccionador de aire caliente	Gases Toxicos	Proveniente soldadura de componentes	3	3	2	18
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.2 Montaje e instalación de sistema direccionador de aire caliente	Riesgo Eléctrico	Sistema alimentación equipo de soldadura	3	5	3	45
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.2 Montaje e instalación de sistema direccionador de aire caliente	Trabajo en alturas	Trabajo con elementos o zonas por encima de 1,5 metros de altura	3	5	4	60
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.3 Inspección de montaje y anclaje	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.3 Inspección de montaje y anclaje	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.3 Inspección de montaje y anclaje	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.4 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	Riesgo Eléctrico	Sistema de alimentación y control	3	5	3	45
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.4 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.4 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.5 Inspección y comprobación de sistemas de control	Riesgo Eléctrico	Sistema de alimentación y control	3	5	3	45
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.5 Inspección y comprobación de sistemas de control	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.5 Inspección y comprobación de sistemas de control	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.6 Recirculación del sistema de extracción secundaria hacia chimenea principal	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.1 INSTALACIÓN DE DIRECCIONADOR	2.1.6 Recirculación del sistema de extracción secundaria hacia chimenea principal	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.1 Instalación de tubería de vapor	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.1 Instalación de tubería de vapor	Trabajo en caliente	Soldadura de componentes	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.1 Instalación de tubería de vapor	Gases Toxicos	Proveniente soldadura de componentes	3	3	2	18
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.1 Instalación de tubería de vapor	Riesgo Eléctrico	Sistema alimentación equipo de soldadura	3	5	3	45
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.1 Instalación de tubería de vapor	Trabajo en alturas	Trabajo con elementos o zonas por encima de 1,5 metros de altura	3	5	4	60
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.2 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	Riesgo Eléctrico	Sistema de alimentación y control	3	5	3	45
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.2 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.2 Montaje e instalación se sistemas eléctricos y de control	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.3 Inspección y comprobación de sistemas de control	Riesgo Eléctrico	Sistema de alimentación y control	3	5	3	45
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.3 Inspección y comprobación de sistemas de control	Objetos que caen	Caída de cualquier tipo de componente durante montaje	4	4	3	48
2. ACOPLA A LINEA DE PROCESO	2.2 ACOPLA A LINEA DE VAPOR	2.2.3 Inspección y comprobación de sistemas de control	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
3. PUESTA A PUNTO	3.1 RECIRCULACIÓN DEL AIRE CALIENTE	3.1.1 Inspección y verificación de ajustes de tubería	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
3. PUESTA A PUNTO	3.1 RECIRCULACIÓN DEL AIRE CALIENTE	3.1.1 Inspección y verificación de ajustes de tubería	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
3. PUESTA A PUNTO	3.1 RECIRCULACIÓN DEL AIRE CALIENTE	3.1.1 Inspección y verificación de ajustes de tubería	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
3. PUESTA A PUNTO	3.1 RECIRCULACIÓN DEL AIRE CALIENTE	3.1.2 Ajustes de acoples de sección de tubería por dilatación térmica	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
3. PUESTA A PUNTO	3.1 RECIRCULACIÓN DEL AIRE CALIENTE	3.1.2 Ajustes de acoples de sección de tubería por dilatación térmica	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
3. PUESTA A PUNTO	3.1 RECIRCULACIÓN DEL AIRE CALIENTE	3.1.2 Ajustes de acoples de sección de tubería por dilatación térmica	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48

PROCESO	ACTIVIDAD	TAREA	TIPO RIESGO	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	EXPOSICIÓN	CRITICIDAD
3. PUESTA A PUNTO	3.1 RECIRCULACIÓN DEL AIRE CALIENTE	3.1.3 Inspección y comprobación de equipos de control	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
3. PUESTA A PUNTO	3.1 RECIRCULACIÓN DEL AIRE CALIENTE	3.1.3 Inspección y comprobación de equipos de control	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
3. PUESTA A PUNTO	3.1 RECIRCULACIÓN DEL AIRE CALIENTE	3.1.3 Inspección y comprobación de equipos de control	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
3. PUESTA A PUNTO	3.2 GENERACIÓN DE VAPOR	3.2.1 Inspección y verificación de ajustes de tubería	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
3. PUESTA A PUNTO	3.2 GENERACIÓN DE VAPOR	3.2.1 Inspección y verificación de ajustes de tubería	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
3. PUESTA A PUNTO	3.2 GENERACIÓN DE VAPOR	3.2.1 Inspección y verificación de ajustes de tubería	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
3. PUESTA A PUNTO	3.2 GENERACIÓN DE VAPOR	3.2.2 Inspección y verificación de acumuladores de vapor	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
3. PUESTA A PUNTO	3.2 GENERACIÓN DE VAPOR	3.2.2 Inspección y verificación de acumuladores de vapor	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
3. PUESTA A PUNTO	3.2 GENERACIÓN DE VAPOR	3.2.2 Inspección y verificación de acumuladores de vapor	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48
3. PUESTA A PUNTO	3.2 GENERACIÓN DE VAPOR	3.2.3 Inspección y comprobación de equipos de control	Trabajo en alturas	Inspección de elementos por encima de 1,5 metros	3	5	4	60
3. PUESTA A PUNTO	3.2 GENERACIÓN DE VAPOR	3.2.3 Inspección y comprobación de equipos de control	Caidas a mismo nivel	Tropezones en escaleras o superficies del mismo con componentes estructurales encontrados	4	2	5	40
3. PUESTA A PUNTO	3.2 GENERACIÓN DE VAPOR	3.2.3 Inspección y comprobación de equipos de control	Trabajo en caliente	Contacto con superficies calientes	4	4	3	48

ANEXO J  
COTIZACIONES ASOCIADAS A LA ETAPA DE EVALUACIÓN Y DISEÑO



## Imprimir Carrito de Compras

[Imprimir esta página](#)

### Descripción

Mouse y teclado inalámbricos Dell Premier, KM717 - Español



Cantidad 1

Precio por unidad COP\$273.675

Manufacturer Part# XR56F  
Dell Part# 580-AFOR

**TOTAL** :COP\$273.675



### Dell Monitor P2715Q

Fecha y hora: jueves 7 junio 2018 21:51

#### COMPONENTES DEL SISTEMA

Dell Monitor P2715Q

Cantidad 1

Dell 27 UltraHD 4K Monitor - P2715Q

Precio por unidad COP\$1.601.626

**Número de catálogo:** 787802 LP2715Q

Módulo	Descripción	<a href="#">Mostrar detalles</a>
Dell 27 Ultra HD 4K Monitor - P2715Q	Dell 27 UltraHD 4K Monitor - P2715Q	
Garantía y Servicios	Servicio de intercambio anticipado por 3 años	

**TOTAL** :COP\$1.601.626



### Precision Workstation 3420 SFF

Fecha y hora: jueves 7 junio 2018 21:49

#### COMPONENTES DEL SISTEMA

Precision Workstation 3420 SFF

Cantidad 1

Dell Precision 3420 Torre XCTO, Windows 10 Pro, 64-bit, Inglés, Francés, Español

Precio por unidad COP\$4.241.240

**Número de catálogo:** 787802 LA\_XCTOP3420SFF

Módulo	Descripción	<a href="#">Mostrar detalles</a>
Procesador	Sexta generación del procesador Intel® Core™ i7-6700 (8MB Caché, hasta 4.00 GHz)	
Sistema Operativo	Windows 10 Pro, 64-bit, Inglés, Francés, Español	
Protección de datos DDPE y Endpoint Security Suite	Dell Data Protection Threat Defense, 1 año	
Software de productividad	Microsoft® Office Trial	

Dell Precision 3420	Dell Precision 3420 Torre XCTO
Teclados y Mouse	Teclado Dell Multimedia KB216, negro, Español
Administración del Sistema	Sin sistema de administración
Etiqueta del Procesador	Etiqueta del procesador Intel® Core™ i7
Memoria	8GB de Memoria DDR4 a 2400MHz, sin paridad [Non-ECC] (1 UDIMM x 8GB)
Disco Duro	Disco Duro SATA de 1TB de 2.5" 7200 RPM
Tarjeta Inalámbrica	Sin Conexión Inalámbrica
Controlador para conexión Inalámbrica	Sin Tarjeta Inalámbrica
Software para Disco Duro	Sin Tecnología Intel® habilitada
Tarjeta de Video	NVIDIA® Quadro® P400, 2GB, 3 Mini DisplayPort (Precision 3420)
Mouse Dell	Mouse Dell óptico MS116, USB, color negro
Monitor Dell adicional	No incluye Monitor Dell
Software para dispositivo óptico	Cyberlink Media Suite Essentials DVD sin Medio
Adaptador de Red	Tarjeta de red Integrada (no incluye Tarjeta de Red dedicada)
Software adicional	Software adicional para Windows 10
DVD de Recursos	DVD de Recursos - Contiene diagnósticos y drivers
Medio de recuperación para Sistema Operativo	Medio de Recuperación para Windows 10, 64-bit - DVD
Cable de Corriente	Cable de corriente (EUA)
Opción de Energía Eficiente	Sin Energy Star
Documentación Dell	Guía de Regulación y Seguridad / Medio Ambiente (Inglés   Español)
Placemat	Guía de referencia rápida
Etiqueta Reglamentaria	Etiqueta Reglamentaria
Información de envío	Cargo de envío EE. UU. no Canadá.
Empacado Dell	ENVÍO Y MANIPULACIÓN
Lector de Tarjetas de Memoria	No incluye Lector de Tarjeta SD interno
Opciones del Chasis	Chasis Dell Precision 3420 en torre, con una eficiencia máxima del 92% a 180 W, v2
Configuración RAID de Disco Duro interno	C2 SATA / Disco de estado sólido (SSD) de 2.5", 2 Disco Duros
IEEE 1394 (FireWire)	Sin Tarjeta FireWire
Volumen de Almacenamiento	Configuración RAID no mayor a 2TB
Etiqueta UPC	Sin etiqueta UPC
Adaptadores de Video	Sin adaptador para Monitor
Conectividad RAID	Sin RAID
Disco Duro adicional (#3)	Sin Disco Duro adicional
Disco Duro adicional	Sin Disco Duro adicional

7/6/2018

Dell - Sitio Oficial

Tarjeta Thunderbolt	No incluye Tarjeta PCIe Thunderbolt
Adaptador de Puerto Serial   PS2	Sin adaptador de Puerto Serial / PS2
Soportes y montajes	No incluye Opción de Soporte
Servicio y Soporte	3 años de Servicio de Hardware con Servicio en el sitio/en casa luego de diagnóstico remoto
Altavoces Dell	No Incluye Altavoces Dell externos
Controlador para Almacenamiento	Controlador integrado Intel® SATA
Unidad Óptica	Unidad óptica delgada 8x (DVD±R/RW)
<b>TOTAL :COP\$4.241.240</b>	

Subtotal	COP\$6.116.542
Gastos de entrega totales	COP\$277.119
Impuestos de Importación	COP\$0
IVA	COP\$1.214.796
<b>Precio total</b>	<b>COP\$7.608.456</b>

[Condiciones Generales de Contratación](#)   [Política de Protección de Datos](#)   [Publicidades y correos electrónicos](#)  
[Informaciones legales](#)   [Políticas](#)   [Cumplimiento del Marco Regulatorio \(en inglés\)](#)   [Reciclaje de Dell](#)  
[Contáctenos](#)   [Mapa del sitio](#)   [Comentarios](#)

[Productos](#)

Precios en pesos colombianos que incluyen gastos de envío y aranceles. \*Los computadores personales de escritorio y portátiles, cuyo valor sea COP\$1,658,000.00 o inferior, están excluidos de IVA. El precio final será mostrado en el carrito de compras. Las exclusiones de IVA previstas en la ley para computadores no son válidas para accesorios y periféricos y sólo aplican para computadoras, en virtud de lo señalado por el decreto 567 de 2007. En caso de órdenes de compra que incluyan tanto accesorios y/o periféricos como computadoras, la exclusión del IVA aplicará únicamente respecto del monto correspondiente a los computadores. Precios promocionales hasta 5 sistemas por orden y cliente y no válidos para distribuidores y revendedores. Dell no es responsable por cargos adicionales por uso de tarjeta o intereses, cargos por mora o penas por caso de retraso de acuerdo con su contrato con el banco. El peso de un portátil varía según la configuración. No pueden combinarse promociones de diferentes medios. Las opciones de financiamiento no son válidas para accesorios y periféricos y sólo aplican para computadoras (ej. desktops, portátiles y netbooks). En caso de órdenes de compra que incluyan tanto accesorios y/o periféricos como computadoras, el financiamiento sólo podrá efectuarse respecto del monto correspondiente a las computadoras. Disponibilidad del Microsoft Office 2010 en español varía por región. Microsoft Office Edición Básica incluye Word, Excel y Outlook.

**IMPORTANTE: los montos de exclusión, impuestos, gravámenes o tributos podrán variar y en ese sentido, serán aplicables los vigentes al momento de la emisión de la factura.**

Ultrabook, Celeron, Celeron Inside, Core Inside, Intel, logotipo Intel, Intel Atom, Intel Atom Inside, Intel Core, Intel Inside, logotipo Intel Inside, Intel vPro, Itanium, Itanium Inside, Pentium, Pentium Inside, vPro Inside, Xeon, Xeon Phi, y Xeon Inside son marcas registradas de Intel Corporation en Estados Unidos y en otros países.. Dell no tiene derechos sobre otras marcas, nombres comerciales y productos de terceros aquí anunciados. Dell no es responsable por cargos adicionales por uso de tarjetas o intereses, cargos por mora o penas en caso de retraso, de acuerdo con su contrato con el banco. Dell no será responsable por aquellos errores tipográficos o fotográficos que se llegasen a presentar. ©2012 Dell Inc. Todos los derechos reservados.

Su pedido implicará la aceptación de los términos y condiciones de venta, servicio técnico y garantía disponibles en [www.dell.com/co/TerminosCondiciones](http://www.dell.com/co/TerminosCondiciones)

snCM13

[https://ecom.dell.com/dellstore/PopUps/popup\\_print\\_cart.aspx?itemtype=SNACFG&s=bsd&i=es&cs=cobstdt1&c=co&marketable=true](https://ecom.dell.com/dellstore/PopUps/popup_print_cart.aspx?itemtype=SNACFG&s=bsd&i=es&cs=cobstdt1&c=co&marketable=true)

3/4

7/6/2018

Checkout

Account Information > Billing & Payment > Review & Submit > Order Complete

### Shopping Cart

Need help? (<http://www.autodesk.com/cart-shopping-order-info>)

PRODUCT	DELIVERY METHOD	QUANTITY	PRICE
 <b>Inventor Professional</b> 1 year subscription  <b>Inventor Professional is included in the Product Design &amp; Manufacturing Collection.</b>  Get Inventor, AutoCAD, HSM, Nastran In-CAD, and more with the Product Design & Manufacturing Collection.  Learn more about the Product Design & Manufacturing Collection ( <a href="http://www.autodesk.com/store/products/product-design-collection">http://www.autodesk.com/store/products/product-design-collection</a> ) \$2,525.00   Upgrade	 Download	<input type="text" value="1"/> 	<b>\$1,935.00</b>
PROMOTION CODE <input type="text"/>  <b>Apply Code</b>		<b>Subtotal</b>	<b>\$1,935.00</b>



PROCEED TO SECURE CHECKOUT >

[Continue Shopping \(https://www.autodesk.com/products\)](https://www.autodesk.com/products)



[Privacy settings \(\)](#)



1

2 INGRESA TU E-MAIL

3 ENVÍO Y PAGO

4 PEDIDO CONFIRMADO

RESUMEN DE LA COMPRA

PRODUCTO	ENVÍO	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
Papel natural tamaño carta de 72 g x 500	a calcular	\$ 10.600,00	<input type="text" value="5"/>	\$ 53.000,00
Bolígrafo Sly Pelikan x 12 negro	a calcular	\$ 8.900,00	<input type="text" value="2"/>	\$ 17.800,00
Bolígrafo Sly Pelikan x 12 rojo	a calcular	\$ 8.900,00	<input type="text" value="2"/>	\$ 17.800,00
Agenda permanente diaria Camo	a calcular	\$ 44.200,00	<input type="text" value="2"/>	\$ 88.400,00
Cartucho HP 664 Ink, tricolor	a calcular	\$ 39.900,00	<input type="text" value="4"/>	\$ 159.600,00
Cartucho HP 664 Ink, negro	a calcular	\$ 39.900,00	<input type="text" value="4"/>	\$ 159.600,00

RESUMEN DE LA COMPRA

Subtotal \$ 496.200,00

Total \$ 496.200,00

SÍGUENOS EN

MEDIOS DE PAGO



SITIO SEGURO



ANEXO K  
COTIZACIONES ASOCIADAS A EQUIPO Y MAQUINARIA



**TECNOAISLAR-A S.A.S.**

JYL 4833-17  
Bogotá D.C., Diciembre 04 de 2017

Señores:  
**VIDRIO ANDINO S.A.**  
Ing.: Julián David Moreno  
Cel.: 317 331 4956  
Ciudad

TECNOLOGIA EN AISLAMIENTOS TERMICOS  
NIT: 830.030.008-8  
"ESTAMOS EN PROCESO DE CERTIFICACIÓN RUC"

**Referencia:** Suministro e instalación de aislamientos térmicos para tuberías.

Respetado Ingeniero:

De acuerdo a su amable solicitud nos permitimos cotizar lo siguiente:

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**MANTA TECH WIRED MAT:**

Manta armada de lana de roca que incorpora por una de sus caras malla de acero galvanizado cosida con hilos de acero.

Conductividad térmica declarada	$\lambda_D$	W/m·k	0,041 - 0,211
Reacción al fuego		Euroclase	A1
Temperatura máxima de servicio		°C	560
Absorción de agua	WS	Kg/m <sup>2</sup>	< 1
Resistencia a la difusión del vapor de agua, $\mu$	MU		1
Estabilidad dimensional, $\Delta\epsilon$		%	< 1

Características de durabilidad: El comportamiento de reacción al fuego y de resistencia térmica de este producto no varía con el tiempo ni al ser sometido a la temperatura máxima declarada.

**FIBRA CERÁMICA**

Aislamientos con fibra cerámica B-8, densidad 8 Lbs/pie<sup>3</sup>, resistente a temperaturas máximo 1200°C.  
Densidad: 6 Lbs/Pie<sup>3</sup> ó 8 Lbs/pie<sup>3</sup>

**PROCEDIMIENTO:**

Una capa de fibra cerámica de 2" de espesor y una capa de manta tech en 4" de espesor, recubrimiento final en lámina de aluminio 0.7mm de espesor, uniones boceladas y traslapadas, aseguradas con tornillo galvanizado N° 8 x 1/2".

**CANTIDADES Y PRECIOS**

ESPESOR	TOTAL M2	VALOR M2	VALOR TOTAL
6"	276,55	\$ 247.194	\$ 68.361.501

**Las medidas se tomaran perímetro final terminado por su longitud y accesorios unitarios según tabla.**

---

Carrera 72M Bis N° 37B-81 Sur - Teléfono: 264 6044 – 321 3905589  
Email: [ventas@tecnoaislar.com](mailto:ventas@tecnoaislar.com) - Bogotá D.C.  
[www.tecnoaislar.com](http://www.tecnoaislar.com)



**TECNOAISLAR-A S.A.S.**  
**TABLA DE ACCESORIOS**

TECNOLOGIA EN AISLAMIENTOS TERMICOS  
NIT: 830.030.008-8  
"ESTAMOS EN PROCESO DE CERTIFICACIÓN RUC"

Codos, tees, reducciones, tolvos, tapas.....área x 1.5

**CONDICIONES GENERALES**

Forma de pago:	50% de anticipo/ 50% contra entrega
Tiempo de entrega:	Alistamiento de material fibra tech wired se requieren de 90 días para la importación y para la fibra cerámica 10 días) Instalación 30 días.
Validez de la oferta:	30 días
I.V.A.:	No está incluido.

**NOTA:**

- Estos precios incluyen SISO y andamios certificados.

Cordialmente,

  
**JOSE LARA M.**  
Celular: 320 835 99 41  
JMS





Compare Box Selected 3/3

This information has been verified.



Compare Results	View: All Features	<input type="checkbox"/> Hide the Same	<input type="checkbox"/> Highlight the Difference
	<p>Remove 400+ 40+ &lt;24h</p>	<p>Remove 100+ 10+ &lt;24h</p>	<p>Remove 1,000+ 20+ 48h-72h</p>
<b>Product Features</b>			
Min.Order Quantity	2 Metric Tons	10 Tons	1 Ton
FOB Price	US \$ 1000-3200/Metric Ton	US \$ 600.0-700.0/Tons	US \$ 350-450/Ton
Port	Shanghai, Qingdao or Tianjin	Tianjin/Qingdao/Shanghai	shanghai,or as your requested
<b>Quick Details</b> fold ^			
Application	Construction, Chemical industry,kitchen, food machine, tank,ect,kitchen,building,construction,elevator,tank,ect	Building	construction,project,industry,.etc.
Brand Name	TISCO JISCO BAOSTEEL ZPSS LISCO	Rizhao Steel/Bao Steel	MaSteel, AnSteel,ShunYunSteel,
Grade	300 Series	Q235	Q235B,Q345B,SS400,S275JR,S235JR,S355JR,ASTM A36,S137-2, S152
Model Number	304,SUS304,TP304,0Cr18Ni9,1.4301,08X18H10,S30400	100*100-900*300	50mm-400mm
Place of Origin	CN;JIA	CN	CN;SHG
Standard	ASTM,AISI,DIN,EN,GB,JIS,UNS	ASTM	AISI,ASTM,BS,DIN,GB,JIS
<b>Supplier Features</b>			
Company Name	✓ Henan Longpeng Marine Metal Materials Co., Ltd.	✓ Gnee (Tianjin) Multinational Trade Co., Ltd.	✓ Shanghai Shunyun Industry Co., Ltd.
Business Type	Trading Company	Trading Company	Trading Company
Payment Terms	L/C D/A D/P T/T Western Union MoneyGram	L/C D/A D/P T/T Western Union MoneyGram	L/C D/A D/P T/T Western Union MoneyGram
Year Established	2008	2016	2010
Supplier Location	✓ China (Mainland)	✓ China (Mainland)	✓ China (Mainland)
Main Products	Carbon Steel Plate Stainless Steel Plate Forged Steel Bar Alloy Steel Plate Color/Cold/Galv Steel	COLD STEEL PLATE GI STEEL COIL HOT ROLLED STEEL PLATE CUTTING PLATE ENGINEERING PROJECT	Plate Steel Structural Steel Pipe Rod
Select to contact	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	<input checked="" type="checkbox"/> Select All	<input type="button" value="Contact Supplier"/>	<input type="button" value="Trade Manager"/> <input type="button" value="TOP"/>

Online Performance			
No. of years with Alibaba.com	9	2	7
Response Rate	84.7%	92.9%	72.1%
Transaction History	7 Transactions for US \$170,000+ in 6 months	1 Transactions for US \$100+ in 6 months	1 Transactions for US \$3,000+ in 6 months
Supplier Types	Gold Supplier Onsite Checked Trade Assurance	Gold Supplier Onsite Checked Trade Assurance	Gold Supplier Onsite Checked
Trade Capability			
Main Customers	SIEMENS	-	-
Year start exporting	2008	2015	2008
Export Markets	Southeast Asia Mid East Oceania South America Domestic Market	Southeast Asia South Asia Africa South America Mid East	Southeast Asia Domestic Market Africa South Asia Oceania
Production Capability			
No. of Production Lines	-	-	-
Factory Size	-	-	-
Contract Manufacturing	-	-	-
Chat with Supplier			

Trade Alert - Delivering the latest product trends and industry news straight to your inbox.



We'll never share your email address with a third-party.

Free APP

Download TradeManager:

Follow Us:

Available on the Google Play

Alibaba.com Site: International - Español - Português - Deutsch - Français - Italiano - हिन्दी - Русский - 한국어 - 日本語 - اللغة العربية - ភាសាខ្មែរ - Türk - Nederlands - tiếng Việt - Indonesian - עברית

Alibaba Group | Taobao Marketplace | Tmall.com | Juhuasuan | AliExpress | Alibaba.com | 1688.com | Alimama | Alitrip  
 Alibaba Cloud Computing | YunOS | AliTelecom | HiChina | Autonavi | UCWeb | Umeng | Xiami | TT Pod | DianDianChong | DingTalk | Alipay  
 Browse Alphabetically: Global Expo | Onetouch | Showroom | Country Search | Manufacturers | Suppliers | Promotion | Wholesaler | Affiliate

Product Listing Policy - Intellectual Property Policy and Infringement Claims - Privacy Policy - Terms of Use

© 1999-2016 Alibaba.com. All rights reserved.

Select to contact				
-------------------	--	--	--	--



Compare Box Selected 2/2

This information has been verified.

Compare Results		View: All Features	<input type="checkbox"/> Hide the Same	<input type="checkbox"/> Highlight the Difference
	<b>Remove</b> 100+ 10+ <24h	<b>Remove</b> 1,000+ 20+ 48h-72h		
<b>Product Features</b>				
Min. Order Quantity	10 Tons	1 Ton		
FOB Price	US \$ 600.0-700.0/Tons	US \$ 350-450/Ton		
Port	Tianjin/Qingdao/Shanghai	Shanghai, or as your requested		
<b>Quick Details</b> fold ^				
Application	Building	construction, project, industry, etc.		
Brand Name	Rizhao Steel/Bao Steel	MaSteel, AnSteel, ShunYunSteel,		
Grade	Q235	Q235B, Q345B, SS400, S275JR, S235JR, S355JR, ASTM A36, St37-2, St52		
Model Number	100*100-900*300	50mm-400mm		
Place of Origin	CN	CN;SHG		
Shape	Long H Beam Shape	U Channel		
<b>Supplier Features</b>				
Company Name	✓ Gnee (Tianjin) Multinational Trade Co., Ltd.	✓ Shanghai Shunyun Industry Co., Ltd.		
Business Type	Trading Company	Trading Company		
Payment Terms	L/C D/A D/P T/T Western Union MoneyGram	L/C D/A D/P T/T Western Union MoneyGram		
Year Established	2016	2010		
Supplier Location	✓ China (Mainland)	✓ China (Mainland)		
Main Products	COLD STEEL PLATE GI STEEL COIL HOT ROLLED STEEL PLATE CUTTING PLATE ENGINEERING PROJECT	Plate Steel Structural Steel Pipe Rod		
Total Annual Sales Volume	US\$1 Million - US\$2.5 Million	US\$10 Million - US\$50 Million		
Number of Employees	Fewer than 5 People	11 - 50 People		
Select to contact				

8/6/2018

Alibaba Manufacturer Directory - Suppliers, Manufacturers, Exporters & Importers

Transaction History	1 Transactions for US \$100+ in 6 months	1 Transactions for US \$3,000+ in 6 months	
Supplier Types	Gold Supplier Onsite Checked Trade Assurance	Gold Supplier Onsite Checked	
Trade Capability			
Main Customers	-	-	Trade Manager <span>TOP</span>
Year start exporting	2015	2008	
Export Markets	Southeast Asia South Asia Africa South America Mid East	Southeast Asia Domestic Market Africa South Asia Oceania	
<b>Production Capability</b>			
No. of Production Lines	-	-	
Factory Size	-	-	
Contract Manufacturing	-	-	
Chat with Supplier			

Trade Alert - Delivering the latest product trends and industry news straight to your inbox.

Your email

Subscribe

We'll never share your email address with a third-party.

Free APP: Available on the APP Store

Available on the Google Play

Download TradeManager:

Follow Us:

Alibaba.com Site: International - Español - Português - Deutsch - Français - Italiano - हिंदी - Русский - 한국어 - 日本語 - العربية - اللغة العربية - עברית - Türk - Nederlands - tiếng Việt - Indonesian - עברית

Alibaba Group | Taobao Marketplace | Tmall.com | Juhuasuan | AliExpress | Alibaba.com | 1688.com | Alimama | Alitrip  
 Alibaba Cloud Computing | YunOS | AliTelecom | HiChina | Autonavi | UCWeb | Umeng | Xiami | TTPod | DianDianChong | DingTalk | Alipay  
 Browse Alphabetically: Global Expo | Onetouch | Showroom | Country Search | Manufacturers | Suppliers | Promotion | Wholesaler | Affiliate

Product Listing Policy - Intellectual Property Policy and Infringement Claims - Privacy Policy - Terms of Use  
 © 1999-2016 Alibaba.com. All rights reserved.

Select to contact				
-------------------	--	--	--	--



Compare Results		View:		
Year start exporting	-	2008	2015	2011
Export Markets	Western Europe Mid East Oceania Africa Southeast Asia	Southeast Asia Mid East Oceania South America Domestic Market	Southeast Asia South Asia Africa South America Mid East	Southeast Asia Domestic Market Africa South Asia Oceania
<b>Production Capability</b>				
No. of Production Lines	Above 10	-	-	-
Factory Size	10,000-30,000 square meters	-	-	-
Contract Manufacturing	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Select All Chat with Supplier	<a href="#">Contact Supplier</a>			Trade Manager

Trade Alert - Delivering the latest product trends and industry news straight to your inbox.



We'll never share your email address with a third-party.

Free APP: Available on the APP Store

Available on the Google Play

Download TradeManager:

Follow Us:

Alibaba.com Site: International - Español - Português - Deutsch - Français - Italiano - हिन्दी - Русский - 한국어 - 日本語 - العربية - اللغة العربية - ភាសាខ្មែរ - Türk - Nederlands - tiếng Việt - Indonesian - עברית

Alibaba Group | Taobao Marketplace | Tmall.com | Juhuasuan | AliExpress | Alibaba.com | 1688.com | Alimama | Alitrip  
 Alibaba Cloud Computing | YunOS | AliTelecom | HiChina | Autonavi | UCWeb | Umeng | Xiami | TTPod | DianDianChong | DingTalk | Alipay  
 Browse Alphabetically: Global Expo | Onetouch | Showroom | Country Search | Manufacturers | Suppliers | Promotion | Wholesaler | Affiliate

Product Listing Policy - Intellectual Property Policy and Infringement Claims - Privacy Policy - Terms of Use  
 © 1999-2016 Alibaba.com. All rights reserved.

Select to contact				
-------------------	--	--	--	--



(/homecenter-co)



(/homecenter-co/myaccount/login)



461



Homecenter.com.co (/homecenter-co) | Carro de compras

(/homecenter-co/cart/)



## Carro de compras

Comprar



**Lincoln**  
**Electrodo 7018 - 1/8 Pulgada X 1 Kilo**



(/homecenter-co/product/07525/Electrodo-7018-1-8-Pulgada-X-1-Kilo)  
 Cantidad:   
 (/homecenter-co/product/07525/Electrodo-7018-1-8-Pulgada-X-1-Kilo)  
 SKU: 07525

**\$2.681.400**

(/homecenter-co/product/07525/Electrodo-7018-1-8-Pulgada-X-1-Kilo)

- Envío a domicilio
- Retira tu compra en tienda

Guardar para después



**Bauker**  
**Electrodo 6011 x 1/8 kilo**



(/homecenter-co/product/103222/Electrodo-6011-x-1-8-kilo)  
 Cantidad:   
 (/homecenter-co/product/103222/Electrodo-6011-x-1-8-kilo)  
 SKU: 103222

**\$1.655.500**

(/homecenter-co/product/103222/Electrodo-6011-x-1-8-kilo)

- Envío a domicilio
- Retira tu compra en tienda

Guardar para después

## Resumen de tu compra

- Precios basados en tienda seleccionada CUNDINAMARCA

- No incluye costos de envío

Precio a Pagar: \$4.336.900

Comprar

Ver más productos (/homecenter-co/)

Medios de pago:

Políticas de seguridad:

### Promociones disponibles para esta compra

Pagando con tus tarjetas del banco Falabella, lleva la jarra acrílica 2.5 litros mango azul o verde SKU 263737 o 263738 en \$19.900. (Aplica 1 unidad por transacción)



(/homecenter-co/product/263737/Jarra-Acristica-2.5-Litros-Clear-Mango-Azul)

SIN MARCA Jarra Acristica  
2.5 Litros Clear M...  
(/homecenter-

**\$19.900 UND**  
Referencia \$29.900 UND

Agregar al carro



(/homecenter-co/product/263738/Jarra-Acristica-2.5-Litros-Clear-Mango-Verde)

SIN MARCA Jarra Acristica  
2.5 Litros Clear M...  
(/homecenter-

**\$19.900 UND**  
Referencia \$29.900 UND

Agregar al carro

Pagando con tus tarjetas del banco Falabella, lleva juego de cubiertos árbol Harmor 6 puestos negro SKU 172043 en \$39.900. (Aplica 1 unidad por transacción)



(/homecenter-co/product/172043/Cubiertos-Arbol-Harmor-6-Puestos-24-Piezas-Negro)

Casa Bonita Cubiertos  
Arbol Harmor 6 Puestos ...  
(/homecenter-

**\$39.900 UND**  
Referencia \$59.900 UND

Agregar al carro

Pagando con tus tarjetas del banco Falabella, lleva Set de 6 vasos Vangogh largo o corto SKU 27913 o 27915 en \$29.900. (Aplica 1 unidad por transacción)



(/homecenter-co/product/27913/Vaso-Cortos-Vangogh-6-unidades-Fondo-Azul)

Cristar Vaso Cortos Vangogh 6 unidades Fo...  
(/homecenter-

**\$29.900 UND**

Referencia \$42.900 UND

Agregar al carro



(/homecenter-co/product/27915/Vasos-Largos-Vangogh-6-Unidades-Fondo-Azul)

Cristar Vasos Largos Vangogh 6 Unidades F...  
(/homecenter-

**\$29.900 UND**

Referencia \$44.900 UND

Agregar al carro

### Otros clientes también compraron



(/homecenter-co/product/73637/Varilla-1-2-pulgada-G-60-w-6-metros-corrugada)

Varilla 1/2 pulgada G-60 w 6 m (/homecenter-co/product/73637/Varilla-

Precio normal:  
**\$14.700 UND**

Agregar al carro



(/homecenter-co/product/116644/Superplaca-3-8)

Superplaca Superplaca 3/8 (/homecenter-co/product/116644/Super

Precio normal:  
**\$17.700 UND**

Agregar al carro



(/homecenter-co/product/205368/Alambre-negro-calibre-17,-rollo-por-30-Kg)

Proalco Alambre negro calibre 17, roll (/homecenter-

Precio normal:  
**\$109.450 UND**

Agregar al carro



(/homecenter-co/product/84303/Varilla-3-8-pulgada-G-60-w-6-metros-corrugada)

Varilla 3/8 pulgada G w 6 m (/homecenter-co/product/84303/Vai

Precio normal:  
**\$8.840 UND**

Agregar al carro



Métodos de Entrega (<http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/>)



Cambios y devoluciones (<http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/>)



Compra 100% segura (<http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/>)



**01 8000 115 150 (tel:01 8000 115 150)**



Todos los derechos reservados a Sodimac S.A. 2016


[Cesta](#) | [Contacto](#)

Tel. gratuito: 800 900 532 (En España) | (+34) 911 776 121 (Fuera de España)

 Referencia  Toda OMEGA  
[Inicio](#) [Pedido rápido](#) [Productos](#) [Búsqueda](#) [Soporte](#) [Sobre Omega](#) [Mi cuenta](#) [Regiones](#)

Nuestro proceso de compra estará temporalmente fuera de línea el día 10 de febrero entre las 13.00 y las 22.00 por mantenimiento.  
Lamentamos cualquier inconveniente, volverá a estar totalmente operativo a partir de las 22.00 del 10 de febrero.

## Cesta de la compra

<b>Envío gratuito*</b> Para pedidos superiores a 200 €, sin IVA, en la compra online <small>* Términos y condiciones</small>	<b>Código promocional a utilizar*</b> <span style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">OFES06R</span>
--	--

Quitar	Código y descripción	Disponibilidad	Precio	Cantidad	Total artículo
	<b>B-P-F-A-9-500-G1/2</b> DIN HEAD B PT100, FIXED PT100 EL. CLASS A, DIA 9MM, LENGTH 500MM, G1/2" THRD	2 semanas	EUR 59,00	<input type="text" value="10"/>	* EUR 560,50
	<b>17000-0</b> CARTRIDGE TEMP. CONTROLLER	5 semanas	EUR 253,00	<input type="text" value="10"/>	* EUR 2.378,20
	<b>FMA-1618A</b> MASSFLOW METER 200 SCCM 0-5V	↑ 7 semanas	EUR 1.140,00	<input type="text" value="5"/>	* EUR 5.358,00
	<b>FTB-401A</b> SANITARY TURB FLOWMETER-TRI-	↑ 9 semanas	EUR 1.200,00	<input type="text" value="8"/>	* EUR 9.120,00
	<b>PX80D5-050DI</b> PRESSURE TRANS. 0-50PSID	13 semanas	EUR 1.030,00	<input type="text" value="3"/>	EUR 3.090,00
	<b>HE-XE105</b> OCS CONTROLLER W/INTERFACE	↑ 5 semanas	EUR 655,00	<input type="text" value="5"/>	* EUR 3.111,25
	<b>DRF-IAC-115VAC-1A-4/20</b> DIN RAIL SIGNAL CONDITIONER ACT I/P. 4-20MA O/P 115VAC	3 semanas	EUR 177,00	<input type="text" value="25"/>	* EUR 3.628,50

\* El descuento de cantidad ha sido aplicado a uno o más elementos en su cesta

† Aunque los **FMA-1618A**, **FTB-401A**, **HE-XE105** no están disponibles para la entrega inmediata en las cantidades especificadas, tenemos sin embargo una menor cantidad actualmente disponible. Si se selecciona "envío parcial" en el pedido le enviaremos todas cantidades disponibles.

Sub Total	EUR 27.246,45
Enviar a	<input type="text" value="COLOMBIA"/>
<b>Ayuda</b>	<input type="text" value="UPS 4-5 días hábiles desde el envío"/>
<b>Ayuda</b> Impuesto sobre el valor añadido (20%)	EUR 0,00
Código promocional:	<input type="text"/> <input type="button" value="Aceptar"/>
<b>Total</b>	<b>EUR 27.576,45</b>
<input type="checkbox"/> ¿Quiere un envío parcial?	

Las órdenes se envían completamente cuando todos los artículos están disponibles.  
Si se prefieren envíos parciales, haga clic en la casilla anterior.  
**Se le cobrará el envío para cada embarque parcial.**

Acondicionadores de señal | Acelerómetro | Adquisición de datos | Anemómetro | Cable tempor | Calibrador | Cámara termográfica | Caudalímetro | Caudalímetro electromagnético | Caudalímetro ultrasónico | Célula de carga | Controlador de temperatura | Datalogger | Etiquetas indicadoras de temperatura | Galgas extensiométricas | Indicadores de panel | Manómetro | Registradores de temperatura | Resistencias de cartucho | Resistencia de silicón | Rotámetro | Sensores criogénicos | Sensores de fibra óptica | Sensor de nivel | Sensor de temperatura | sensores de temperatura industriales | Sensores higiénicos | Sensores inalámbricos | Pt100 | Termistor | Termómetro infrarrojos | Temporar | Transductor de presión

OMEGA Declaración de privacidad | Términos y Condiciones | Cookies de la web de Omega | Política de Cumplimiento de Controles de Exportación

Copyright 2003-2018 Omega Engineering a spectris company

MMV | 78 | 003

Categories

Products What are you looking for

Search

Sign In Join Free My Alibaba

Order Protection 0 Fav

Supplier: Taizhou Caron Electronic Technology ... 4 YRS

Home Company Profile Contact Details English

Home > All Industries > Machinery > General Industrial Equipment > Ventilation Fans > Axial Flow Fans (109528) Subscribe to Trade Alert



View larger image



Add to Compare Share

Industrial axial fan blower

FOB Reference Price: Get Latest Price

US \$100-1,000 / Set | 50 Set/Sets industrial axial fan blower axial flow blower (Min. Order)

Supply Ability: 100000 Set/Sets per Month industrial axial fan blower axial flow blower

Port: Ningbo Port

Contact Supplier

Chat Now!

Seller Support: Trade Assurance - To protect your orders from payment to delivery

Payment: More

Shipping: Less than Container Load (LCL) Service to US Get shipping quote
- Transparent and fair price
- 24/7 online support
- Online tracking

Product Details

Company Profile

Transactions Overview

Report Suspicious Activity

Product Description Other Products Certifications Company Information

Overview

Quick Details

Table with 2 columns: Attribute and Value. Attributes include Type, Mounting, Place of Origin, Model Number, Power, Speed, After-sales Ser..., Brand, Rated voltage, Function, Blade installati..., Electric Current, Blade Material, Brand Name, Voltage, Air Volume, Certification, Name, rated power, color, Warranty, and Material.

Packaging & Delivery

Packaging Details regular packing for industrial axial fan blower axial flow blower
Delivery Time 21-28 days will send industrial axial fan blower axial flow blow

Product Description

1.Simple structure, lower noise, low-pressure .

Trade Assurance

4 YRS Taizhou Ca Technology Co., Ltd. China (Mainland) Ma Trading Company

Contact Supplier

Transaction Level: Chat Now

Supplier Assessments

8 Transactions \$ 1 Browsing History

Response Time Message Center

Response Rate

Visit Minisite Trade Manager

You May Like

FBT Corr US \$ Set 10 S

hvis US \$ Set 50 S

FZY exte US \$ 500

398-Exh: US \$ 5 Se

Mos Whc US \$ Set 50 S

380-280 US \$ 10 S

low dust US \$ 10 S

12 H exh: US \$ Set 50 S

- 2. Difference impeller angle can be choose based your needed, such as 15°, 20°, 25°, 30°, 35°.
- 3. 100% performance test before shipping.
- 4. Total 13 difference types based the impeller dimension, including 280mm dia, 315mm dia, 355mm dia, 400mm dia, 450mm dia, 500mm dia, 560mm dia, 630mm dia, 710mm dia, 800mm dia, 900mm dia, 1000mm dia, 1120mm dia.
- 5. Impellers were drove directly by the power-generating.

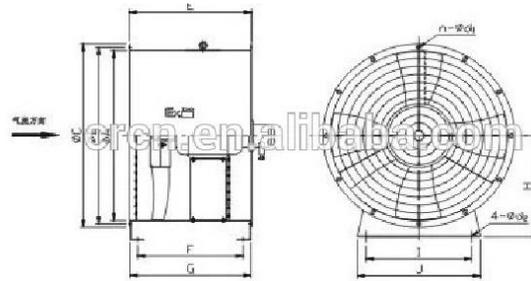
The motor of T35/BT35 axial-flow fan is improved and the loss of air flow is reduced. Therefore, the efficiency of the fans is 89.5% higher when the noise is much lower. We strengthen the welding of blades and impeller so that the blades can avoid breaking. The BT35 series axial fan is divided into 5 kinds of blade installation angle such as 15°, 20°, 25°, 30°, 35°.

BT35 series Axial Fan is widely used in factories, warehouses, offices, residential houses to ventilate or enhance heat dissipation. It is also series installed in longer pipe line. The air transferred shall not be corrosive with notable dust, the temperature of the air should not exceed 40°C.

Parameter sheet

机号 No	转速 rpm	叶片角度 deg	风量 m³/h	风压 Pa	电机功率 kw	噪音 dB(A)	机号 No	转速 rpm	叶片角度 deg	风量 m³/h	风压 Pa	电机功率 kw	噪音 dB(A)
2.5	2900	15	1130	125	0.09	67	5	960	15	2992	54	0.25	62
		20	1451	138	0.09	69			20	3850	61	0.25	64
		25	1861	149	0.12	70			25	4929	62	0.25	65
		30	2009	149	0.12	71			30	5332	66	0.25	66
		35	2272	184	0.18	73			35	6019	81	0.25	68
1450	2900	15	965	31	0.25	52	6	1450	15	7808	180	1.1	62
		20	724	34	0.25	54			20	9990	200	1.1	64
		25	932	35	0.25	55			25	12899	200	1.1	65
		30	1012	37	0.25	56			30	13900	215	1.5	66
		35	1141	46	0.25	58			35	15190	287	2.2	68
3	2900	15	1861	160	0.18	72	7	1450	15	5189	79	0.75	67
		20	2488	199	0.25	74			20	6610	87	0.75	69
		25	3218	202	0.25	74			25	8887	88	0.75	71
		30	3481	215	0.37	76			30	9202	94	0.75	72
		35	3921	266	0.55	77			35	10460	117	0.75	74
1450	2900	15	978	45	0.09	57	8	960	15	12398	245	1.5	78
		20	1249	50	0.09	59			20	15801	272	1.5	79
		25	1609	51	0.09	61			25	20498	274	2.2	80
		30	1729	54	0.09	61			30	21100	284	3	81
		35	1958	67	0.09	64			35	24998	363	4	83
3.5	2900	15	3190	245	0.37	76	9	1450	15	8201	106	0.75	71
		20	3971	272	0.55	78			20	10901	119	0.75	73
		25	5119	274	0.55	79			25	15560	121	0.75	74
		30	5519	292	0.75	80			30	14852	128	0.75	75
		35	6239	363	1.1	81			35	16499	159	1.1	76
1450	2900	15	1552	62	0.06	61	10	960	15	18500	321	3	79
		20	1860	68	0.06	63			20	23689	355	4	80
		25	2560	69	0.06	64			25	30499	359	4	81
		30	2761	74	0.09	65			30	33001	381	5.5	83
		35	3121	90	0.12	67			35	37379	473	7.5	84
4	2900	15	4620	321	1.1	80	11	1450	15	12261	140	1.1	75
		20	5918	355	1.1	82			20	19700	156	1.1	77
		25	7639	359	1.1	83			25	20200	158	1.1	78
		30	8240	382	1.5	84			30	21802	168	1.5	79
		35	9319	473	2.2	85			35	24700	208	2.2	80
1450	2900	15	2318	80	0.25	65	12	960	15	17399	177	1.5	77
		20	2959	88	0.25	67			20	22298	197	2.2	78
		25	3620	90	0.25	68			25	28999	199	2.2	79
		30	4119	95	0.25	69			30	31100	212	3	80
		35	4658	119	0.25	72			35	35100	263	4	81
5	1450	15	4522	125	0.75	71	13	960	15	24001	220	2.2	79
		20	5789	138	0.75	73			20	30701	243	3	80
		25	7469	140	0.75	74			25	36499	246	4	81
		30	8050	149	0.75	75			30	42700	262	5.5	82
		35	9090	184	0.75	77			35	48200	323	7.5	83

Outline and Installation Dimensions



Other Products

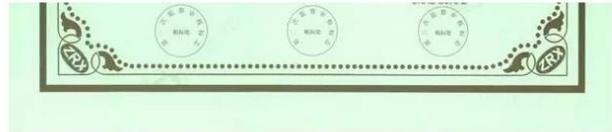
Trade Data For this Supply  
View More >





Certifications





Company Information

SAYI Electric CO., Ltd has over 80 of advanced,secondary and primary professional technical staffs. Our company is the member of fan guild of China, which professional research,produce,sale and service the industrial fan series products.

SAYI has abundant technical force and the topping testing center,R and D center,mould process center,modern standard plant and the advanced production line and large equipment (including painting production line,electrophoresis line,numerical control plasma,fast assemble line,automatic and fast punch and automatic winding equipment)

SAYI is based on the advancement of science and technology and the unique management concept, carrying out the quality management system of ISO9001:2000 widely, and the products carrying out the IEC Standard. So the quality is improving ceaselessly that our company is enlarging ceaselessly

In the recently few years, we nearly cooperate with scientific research branches and colleges. We have been provided with the ability of design testing set. Moreover we mainly based on the industrial fan, and our sales network is all over China, southeast Asia and Middle East. Thus, it is very popular with customers widely.

**Contact us**

<b>Company name</b>	TaiZhou Caron Electronics Technology Co., Ltd.
<b>Address</b>	No.3, AnPing Road, Wenling, China
<b>City</b>	TaiZhou, China.
<b>Zip code</b>	201816
<b>Telephone</b>	+8657686399699
<b>Fax</b>	+8657686399599
<b>Hotline</b>	+8657686399899
<b>Website</b>	www.icaron.cn

<b>International Sales Department</b>	
<b>Melo</b>	Mob/ whatsapp:008618869954643 , Wechat :rubio219 skype:melc.liu01



**Contact:**  
**Mr Melo**  
**Email:**  
**melo@joeygroup.com**  
**Skype: melo.liu01**

Send your message to this supplier

You May Like

13/6/2018

Industrial Axial Fan Blower - Buy Industrial Axial Fan Blower,Marine Axial Fan,Electric Fan Axial Product on Alibaba.com



FBT35-11 Type Corro...  
**US \$100-1000** / Set  
10 Set/Sets



hvis fans  
**US \$100-1000** / Set  
50 Set/Sets



FZY low noise externa...  
**US \$18-50** / Set  
500 Set/Sets



398-17300r  
**US \$30-500**  
5 Set/Sets

Not exactly what you want? 1 request, multiple quotations Get Quotations Now >>

**Related Searches :**

blower  
mini fan blower  
air blower

fan blower price  
inflatable fan blower  
sirocco fan blower

roots blower  
freezer fan blower  
mini blower

**China :**

China fan blower price  
China motor fan blower  
China 24v dc fan blower

China filter fan blower  
China dc 12v fan blower  
China fan blower forging

China windows fan blower  
China inflatable fan blower  
China dc car motor fan blower

**TradeManager:**

Alibaba.com Site: International - Español - Português - Deutsch - Français - Italiano - 日本語 - 한국어 - 日本語 - اللغة العربية - ភាសាខ្មែរ - Türk - Nederlands - tiếng Việt - In

AliExpress | 1688.com | Taobao Global | Alipay | Lazada

Browse Alphabetically: Onetouch | Showroom | Country Search | Suppliers | Wholesaler | Affiliate

Product Listing Policy - Intellectual Property Protection - Privacy Policy - Terms of Use - Law Enforcement Compliance Guide

© 1999-2018 Alibaba.com. All rights reserved.

Supplier: Wenzhou Yiben Pneumatic Co., Ltd. 4YRS

Home Company Profile Contact Details English



MAL mini pneumatic air cylinder

FOB Reference Price: Get Latest Price

US \$5-100 / Piece | 100 Piece/Pieces (Min. Order)



Supply Ability: 1000 Piece/Pieces per Month

Port: Ningbo/Shanghai

Contact Supplier

Chat Now!

Payment: More

Shipping: Less than Container Load (LCL) Service to US

Get shipping quote

- Transparent and fair price • 24/7 online support • Online tracking

View larger image



Add to Compare Share

Product Details

Company Profile

Transactions Overview

Report Suspicious Activity

Overview

Quick Details

Table with 2 columns: Attribute and Value. Attributes include Standard, Power, Maximum Stroke, Place of Origin, Brand Name, Working pressure, Port size, Stroke tolerance, Lubrication, Structure, Body Material, Shaft Diameter, Model Number, Working fluid, Piston speed, Min Working pressure, Working temperature, Proof pressure.

Packaging & Delivery

Packaging Details: MA/MAC/MSA/MTA/MAD/MACD/MAJ/MACJ mini pneumatic air cylinder : Plastic bag->box->Carton->Pallet. Or according custom... Delivery Time: 7-30 days

Main Products

Supplier profile sidebar for Wenzhou Yiben Pneumatic Co., Ltd. including transaction level, assessments, response time, and a 'You May Like' section with product thumbnails and prices.



# YIBEN PNEUMATIC



- Cylinder Series
- Solenoid Valve Series
- Air Treatment Units series
- Pipe Series
- Connector Series

## Product Details

- Application of new seal material and buffer structure
- Low start pressure
- Stable operation
- Fine tightness
- Long service life
- Head and rear cover are specially electrophoresis-coated
- Beautiful appearance
- Widely used in automatic devices, e.g. light industry, chemical industry, textile, electron, machinery, etc



>>Specification

(mm)	Bore	16	20	25	32	40	50	63
Action type		Double action						
Working Fluid		Air						
Mounting style		SDB type			Basis style LB type FA type			
Working Pressure range	MPa	0.1—0.95						
Proof pressure	MPa	1.35						
Working temperature	°C	-20--+100°C						
Working speed	mm / s	50 ~ 800						
Port Size		M5x0.8		PT1 / 8		PT1 / 4		

MAL
CM
32×50
-
S
-
FA

Series name  
 MAL double-acting type  
 MALD double rod type  
 MALJ double rod type (one side adjustable)

Cover type  
 Blank, ring type  
 CM Round-tailed  
 U Flat-tailed

Bore/stroke  
 32×50

Built-in magnets  
 Blank, without  
 S with

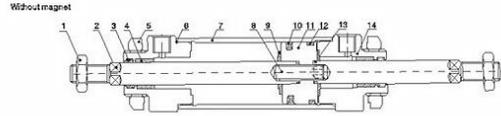
Mounting type  
 Blank, basic type  
 FA front flange type  
 FB rear flange type  
 LB foot bracket type

MODEL  
MALD
MALJ
MAL

>>Overall Dimension

13/6/2018

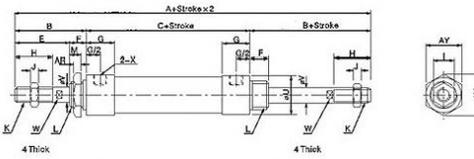
Mal Mini Pneumatic Air Cylinder - Buy Breathing Air Cylinder,Mini Pneumatic Air Cylinder,Small Air Cylinders Product on Alibaba.com



No.	Part name	No.	Part name
1	Nut	8	Bolt
2	Piston rod	9	Cushion rubber
3	Rod packing	10	Piston seal
4	Bush	11	Piston
5	Nut	12	Wear ring
6	Cylinder gasket	13	Rod O'ring
7	Cylinder tube	14	Rod cover

(mm)	Bore	16	20	25	32	40	50	63
Cylinder		Aluminum alloy						
Piston		Aluminum alloy						
Piston Rod		High carbon Steel(industrial chrome plated)						
Piston seal		NBR						
Cylinder gasket		NBR						
Rod packing		NBR						
Bush		Oil Impregnated bearing alloy						
Rod cover		Aluminum alloy						
Wear ring		F4cu						
Magnet		Plastic magnet						
Cushion rubber		NBR						

Φ16-Φ63



Bore/Stroke	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	U	V	W	X	AR	AX	AY
16	122	34	54	22	12	10	16	10	5	M6x1	M16x1.5	14	23	6	5	M5x0.8	6	25	22
20	150	40	70	28	12	16	20	12	6	M8x1.25	M22x1.5	10	29	8	6	PT1/8	7	33	29
25	158	44	70	30	14	18	22	17	6	M10x1.25	M22x1.5	12	34	10	8	PT1/8	7	33	29
32	158	44	70	30	14	18	22	17	6	M10x1.25	M24x2.0	12	38.5	12	10	PT1/8	8	37	32
40	184	48	92	32	14	22	24	17	7	M12x1.25	M30x2.0	12	49.5	16	14	PT1/4	9	47	41
50	199	52	95	32	20	22	24	19	8	M14x1.5	M36x2.0	16	55.5	16	14	PT1/4	11	53	46
63	199	52	95	32	20	22	24	19	8	M14x1.5	M36x2.0	16	59.5	16	14	PT1/4	11	53	46

### More Products



13/6/2018

Mal Mini Pneumatic Air Cylinder - Buy Breathing Air Cylinder,Mini Pneumatic Air Cylinder,Small Air Cylinders Product on Alibaba.com





### Why Choose Us

- 1: Various style for completely series pneumatic products for you to choose.
- 2: High quality with competitive price.
- 3: Sample order & small quantity order is ok.
- 4: Reliable quality assured and active after-sell service.



13/6/2018

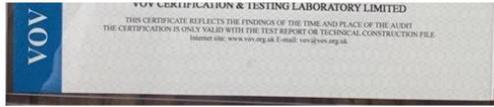
Mal Mini Pneumatic Air Cylinder - Buy Breathing Air Cylinder,Mini Pneumatic Air Cylinder,Small Air Cylinders Product on Alibaba.com



https://www.alibaba.com/product-detail/MAL-mini-pneumatic-air-cylinder\_60420534683.html?spm=a2700.7724838.2017115.230.11f675cenxocDE&s=p

13/6/2018

Mal Mini Pneumatic Air Cylinder - Buy Breathing Air Cylinder,Mini Pneumatic Air Cylinder,Small Air Cylinders Product on Alibaba.com



## Contact Us

**Name:** Doris Liu  
**Tel:** 86-577-57173008  
**Mobile:** 86-13868370001  
**E-mail:** ibn@ybyypc.com

### Send your message to this supplier

To: Doris Liu

\*Message: Enter your inquiry details such as product name, color, size, MOQ, FOB, etc.

For better quotations, include:  
 - A self introduction  
 - Special requests, if any

Your message must be between 20-8000 characters

Quantity:

Recommend matching suppliers if this supplier doesn't contact me on Message Center within 24 hours.

**Request for Quotation**

I agree to share my Business Card to the supplier.

### You May Like

BCN



SCT Series Festo Pne...  
**US \$10-399** / Piece  
 100 Piece/Pieces

BCN



SCD series double pis...  
**US \$5.98-119.98** / Pi...  
 100 Piece/Pieces

BCN



CJPB single acting sp...  
**US \$5-99** / Piece  
 100 Piece/Pieces

BCN



SCT series a  
**US \$10-299**  
 100 Piece/P

Not exactly what you want? 1 request, multiple quotations Get Quotations Now >>

### Related Searches :

smc air cylinders  
 air cylinder seal  
 cylinder

air cylinder bore  
 hydraulic cylinder  
 brass air cylinder

high pressure air cylinder  
 square air cylinder  
 small air cylinders

### China :

China 335 cylinder  
 China air cylinder iso  
 China gpl cylinder

China air cylinder seal  
 China ram cylinder  
 China air cylinder bore

China a d cylinder  
 China water air cylinder  
 China 200 cylinder

ANEXO L  
COTIZACIÓN SISTEMA ACTUAL GENERACIÓN VIDRIO ANDINO S.A.



**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascolombia.com](http://www.calderascolombia.com)

## PROPUESTA TÉCNICA Y COMERCIAL ADENDO 1



**SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR COMPUESTO POR  
UNA (1) CALDERA DE 80 BHP – 150 PSIG  
Y EQUIPOS AUXILIARES**



**PRESENTADA POR:**



**THERMODYNAMICS & ENGINEERING LTDA. - T&E**

Transversal 113 # 66 – 19

Teléfono: (571) 7027280 / (571) 812222

Celular: (57) 314 4432288 / (57) 321 4493924

[contacto@calderascolombia.com](mailto:contacto@calderascolombia.com)

[www.calderascolombia.com](http://www.calderascolombia.com)

**Bogotá D.C., OCTUBRE 19 del 2012**



**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascolombia.com](http://www.calderascolombia.com)

## 1. ÍNDICE DE CONTENIDO

1. ÍNDICE DE CONTENIDO.....	2
2. PRESENTACIÓN DEL ADENDO.....	3
3. TANQUE DE 1200 LITROS FABRICADO EN ACERO AL CARBONO.....	5
4. TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL, TABLERO DE CONTROL "JUNCTION BOX" Y MONTAJE ELÉCTRICO .....	7
5. REPUESTOS PARA DOS AÑOS DE OPERACIÓN .....	10
6. CONTENEDOR PARA TRANSPORTE.....	12
7. GARANTÍA DE LOS EQUIPOS .....	12
8. MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	12
9. CAPACITACIÓN .....	12
10. TÉCNICO HSE DURANTE EL MONTAJE DE LOS EQUIPOS.....	12
11. CERTIFICADOS DE CALIDAD .....	13
12. PRECOMMISSIONING, COMMISSIONING Y STARTUP .....	13
13. VIAJE A LA PLANTA DE HURST BOILER EN EE.UU. PARA INSPECCIÓN DE LOS EQUIPOS SUMINISTRADOS.....	14
15. FIN DEL ADENDO .....	18



**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascolombia.com](http://www.calderascolombia.com)

## 2. PRESENTACIÓN DEL ADENDO

Bogotá D. C., Octubre 19 de 2012

Señores



E.S.M.

Atención: **Ingeniero Mario Villa**  
**Gerente Mantenimiento Proyecto**

**Ingeniero Leonel Miranda**  
**Project Buyer**

**REF: ADENDO 1, PROPUESTA TÉCNICA Y COMERCIAL SISTEMA DE  
GENERACIÓN DE VAPOR UNA (1) CALDERA DE 80 BHP - 150 PSIG Y  
EQUIPOS AUXILIARES**

**COTIZACIÓN: 480 / 2012 ADENDO 1**

Apreciados Señores:

De acuerdo a teleconferencia realizada en el día de hoy con el personal técnico de Vidrio Andino y de T&E anexamos aclaraciones de nuestra oferta y ampliación de la misma incluyendo montaje eléctrico y partes de repuesto.

Cualquier información adicional que ustedes requieran con gusto la suministraremos a su solicitud.

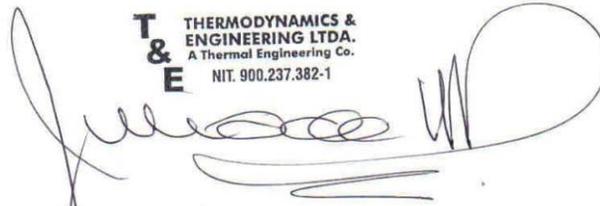


**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascolombia.com](http://www.calderascolombia.com)

De ustedes muy atentamente,

  
**T & E** THERMODYNAMICS & ENGINEERING LTDA.  
A Thermal Engineering Co.  
NIT. 900.237.382-1

**JULIÁN DE LOS RÍOS**  
Gerente General

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING LTDA. - T&E**

Planta: Transversal 113 # 66 – 19

Teléfono: (571) 7027280 / (571) 812222

Celular: (57) 314 4432288

Bogotá D.C., Colombia

[juliandelosrios@calderacolombia.com](mailto:juliandelosrios@calderacolombia.com)

[www.calderascolombia.com](http://www.calderascolombia.com)



Teléfono: (571) 7027280 / 812 2222. Celular: (57) 314 4432288. Transversal 113 # 66 – 19. Bogotá D.C., Colombia  
US Phone Number: (954) 353 1483. Nit: 900.237.382-1. Email: [contacto@calderascolombia.com](mailto:contacto@calderascolombia.com)



### 3. TANQUE DE 1200 LITROS FABRICADO EN ACERO AL CARBONO

T&E realizará el suministro, instalación y puesta en marcha de un (1) tanque para agua caliente con capacidad de 1200 litros para la caldera de 80 BHP - 150 PSIG, con las siguientes especificaciones, a saber:

CANTIDAD	(1) Uno
CAPACIDAD	1200 Litros.
MATERIAL	Acero Carbono A 36
ESPESOR	Cuerpo 5/16" Tapas 5/16"
CONSTRUCCIÓN	Horizontal
DIMENSIONES	1,00 m. por 1,55 m. de longitud
TAPAS	Embombadas y Pestañadas
CONEXIONES	Acero Carbono a saber: Salida de agua caliente Válvula de alivio Manómetro Termómetro Entrada agua fría Drenaje etc.
MANHOLE	Inspección de hombre.
AISLAMIENTO	Fibra de vidrio 2" de espesor
RECUBRIMIENTO EXTERIOR	Lámina brillante calibre 22 Biselado y pestañado.
RECUBRIMIENTO INTERIOR	Pintura epóxica alta temperatura
INTERCAMBIADOR DE CALOR Ó BOQUILLAS:	Según el diseño de Vidrio Andino
CONTROL DE TEMPERATURA	Válvulas termostática dia. ¾ salsom ó similar para vapor ó válvula de control.

El valor del tanque de agua de 1200 litros es de:

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
14	Tanque de agua caliente capacidad 1200 litros construido en acero al carbono	Unitario	1	\$ 39.000.000 NOTA: COP	\$ 39.000.000 NOTA: COP



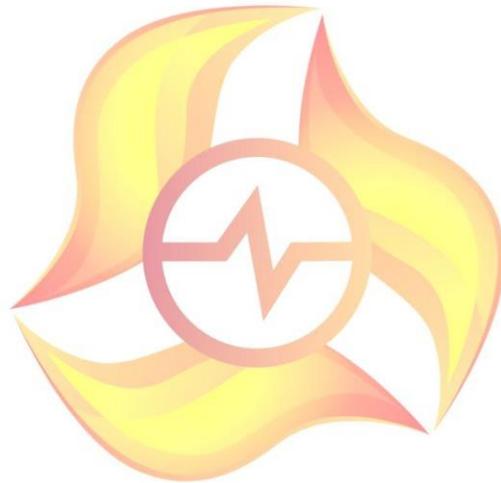
**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascalombia.com](http://www.calderascalombia.com)

Notas:

- El valor del tanque para entrega en Planta de Vidrio Andino
- Condiciones comerciales iguales a **COTIZACIÓN: 480 / 2012** de T&E
- T&E sugiere que se debe construir el tanque en acero inoxidable como el cotizado anteriormente. Los tanques en acero al carbono necesitan limpieza anual y cada dos (2) años volver a pintar el interior del tanque con la pintura epoxica. Esto implica sacar de servicio el tanque por un tiempo de tres (3) días.



#### 4. TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL, TABLERO DE CONTROL "JUNCTION BOX" Y MONTAJE ELÉCTRICO

##### TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL



THERMODYNAMICS & ENGINEERING LTDA. - T&E, efectuará el suministro e instalación de un tablero de distribución principal con la siguientes características.

- Cerramiento Nema 1.
- Medidas estimadas altura 1 mts; ancho: 0,60 mts; profundidad: 0,30 mts.
- Breaker principal de capacidad adecuada a la carga final que se va a recibir, pero con Tableta de protección adecuada a la carga de la primera etapa, que pueda ser remplazada cada vez que se incremente carga.
- Barraje trifásico adecuado a la carga total, con derivaciones para la carga actual pero con longitud y perforaciones para futuras ampliaciones.
- Breakers trifásicos individuales para la alimentación de los Páneles de la Caldera, tanque de condensados y Suavizadores; con espacio para incrementar futuros breakers que cumplan la misma función.
- Un breaker trifásico para derivar un Transformador interno para alimentación de los consumidores actuales y futuros de voltajes menores.
- Un barraje para la alimentación de los voltajes menores.
- Canaletas y accesorios



**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascolombia.com](http://www.calderascolombia.com)

### TABLERO DE CONTROL "JUNCTION BOX"

THERMODYNAMICS & ENGINEERING LTDA. - T&E, efectuará el suministro e instalación de un tablero de control "Junction Box" con la siguientes características.

- Cerramiento Nema 1.
- Medidas estimadas altura 0,50 mts; ancho: 0,50 mts; profundidad: 0,30 mts.
- Borneras para conexión de señales digitales y análogas
- Relevos para señales digitales
- Fuente de 24 VDC para señales digitales
- Canaletas y accesorios

### MONTAJE ELÉCTRICO

THERMODYNAMICS & ENGINEERING LTDA. - T&E, efectuará el montaje eléctrico y de control del sistema de generación de vapor realizando los siguientes trabajos:

- Suministro de material necesario para la instalación: Cable de fuerza, cable de control, conduit, soportes, flexi conduit, terminales y accesorios
- Conexión a malla de tierra existente
- Montaje de tableros de control y de distribución principal
- Cableado de fuerza desde tablero de distribución principal hasta el panel de caldera, tanque de condensados y suavizador, incluyendo el tendido de conduit con su soportería.
- Cableado de control desde tablero de control hasta el panel de caldera, tanque de condensados y suavizador, incluyendo el tendido de conduit con su soportería.
- Conexionado en tableros locales, de control y de distribución principal.

### Notas:

1. El cuarto de calderas debe contar alumbrado desde sus respectivos tableros.
2. El cuarto de calderas debe tener malla de tierra conectada a la general de planta. A esta malla conectaremos nuestros tableros. Si Vidrio Andino lo solicita T&E la puede cotizar.
3. El cuarto de calderas debe tener tomas de corriente conectadas la red de tomas de la planta.
4. La acometida a nuestro tablero de fuerza es del alcance del cliente.
5. Las salidas de señales para la sala de control (DCS) es del alcance del cliente.



**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascalombia.com](http://www.calderascalombia.com)

El valor del Tablero de distribución principal, tablero de control "Junction Box", y montaje eléctrico del sistema de generación de vapor es de:

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
15	Tablero de distribución principal, tablero de control "Junction Box", y montaje eléctrico del sistema de generación de vapor	Unitario	1	\$ 18.000.000 NOTA: COP	\$ 18.000.000 NOTA: COP

Nota: El valor del Tablero de distribución principal, tablero de control "Junction Box", y montaje eléctrico para entrega en planta de Vidrios Andino

Nota: Condiciones comerciales iguales a **COTIZACIÓN: 480 / 2012** de T&E



**5. REPUESTOS PARA DOS AÑOS DE OPERACIÓN**

T&E realizará el suministro de los siguientes repuestos para operación de dos (2) años con la siguientes especificaciones y precios.

ITEM	QTY	DESCRIPTION	DESCRIPCIÓN	UNIT PRICE	TOTAL PRICE
1	1	HBW RELAY SING FUCT 26B1A0F	Tarjeta electrónica de corte por bajo nivel secundario	\$ 118,46	\$ 118,46
2	1	HBW PROBE 3E1B	Electrodo de corte por bajo nivel secundario	\$ 108,02	\$ 108,02
3	1	GA PRESS 6 0-300 1/4 LM BK FLG	Manómetro de Caldera	\$ 142,15	\$ 142,15
4	1	GEMS PROBE KIT 7801370, w/ PR	Kit de electrodos de columna de nivel primario incluye tres electrodos	\$ 129,63	\$ 129,63
5	1	HBW RELAY 1G1EO	Tarjeta electrónica de corte por bajo nivel primario	\$ 280,19	\$ 280,19
6	1	VAL GG SET 34015 UNITED BRASS	Juego de válvulas para visor de nivel de caldera	\$ 53,81	\$ 53,81
7	2	GG 5/8 OD X 10 3/8 CLEAR HI PS	Vidrio de visor de nivel de caldera	\$ 20,50	\$ 41,00
8	8	WASHER TEFLON 5/8	Empaque para visor de nivel de caldera	\$ 11,61	\$ 92,89
9	8	WASHER FRICTION RING 5/8 61000	Anillo para empaque de visor de nivel de caldera	\$ 1,50	\$ 11,97
10	2	SIGHT GLASS 2 3/8" P/N 61000205	Vidrio de mirilla trasera	\$ 10,03	\$ 20,06
11	2	SIGHT GLASS GSKT 2 3/8" P/N 61000240	Empaque para mirilla trasera	\$ 3,28	\$ 6,56
12	4	TUBE BRUSH 2 1/2" P/N 66000110	Churrusco para limpieza de tubería	\$ 27,01	\$ 108,05
13	2	GSKT 12 X 16 X 1 1/4 (HURST LO	Empaque para manhole de caldera	\$ 46,48	\$ 92,96
14	10	GSKT 3 X 4 X 5/8 (HURST LOGO)	Empaque para handhole de caldera	\$ 5,78	\$ 57,80
15	100	GSKT ROPE 1 BRAIDED CERAMIC RO FEET	Empaque para puertas frontales y traseras de caldera (cordón de asbesto)	\$ 3,60	\$ 360,40
16	1	SIEMENS FLAME SENSOR	Fotocelda para caldera	\$ 623,05	\$ 623,05
17	1	SIEMENS ACTUATOR SQM45	Servomotor para caldera	\$ 578,36	\$ 578,36



**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascalombia.com](http://www.calderascalombia.com)

18	1	PRESSURE TRANSMITTER WIKA OR SIEMENS 4-20mA 150PSI	Transmisor de presión para caldera	\$ 968,66	\$ 968,66
19	1	(5) Pack of Replacement 4.0Amp, 250 V 5x20mm Slow-Blow Fuses	Fusibles del control de combustión Siemens	\$ 34,00	\$ 34,00
20	1	IGNITION ELECTRODE	Electrodo de ignición	\$ 88,40	\$ 88,40
<b>TOTAL PRICE USD EXWORKS HURST'S WAREHOUSE</b>					<b>\$ 3.916,41</b>

El valor total de las partes de repuesto para la caldera por un periodo de 2 años es de:

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
16	Partes de repuesto para la caldera por un periodo de 2 años	Unitario	1	\$ 3.916,41	\$ 3.916,41

Nota: Condiciones comerciales iguales a **COTIZACIÓN: 480 / 2012** de T&E



**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascalombia.com](http://www.calderascalombia.com)

#### **6. CONTENEDOR PARA TRANSPORTE**

T&E confirma que el contenedor para realizar importación de todos los equipos de procedencia de EE.UU. es de 20 pies standard.

#### **7. GARANTÍA DE LOS EQUIPOS**

T&E confirma que la Garantía ofrecida cubre el suministro e instalación de todos los equipos dentro del alcance de nuestra oferta por un período de doce (12) meses que se empiezan a contar desde la fecha de arranque de los mismos.

#### **8. MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

T&E informa que se entregará plan de mantenimiento preventivo anual donde se especifique tareas a realizar durante el año, indicando las diferentes trabajos a realizar diariamente, semanalmente, mensualmente, trimestralmente y semestralmente. T&E aclara que el mantenimiento preventivo de los equipos a lo largo del año no ocupará más de ocho (8) horas de trabajo. T&E aclara que el mantenimiento anual donde se realiza deshollinado y limpieza del cuerpo de presión tiene una duración máxima de dos (2) días y se debe realizar cuando la planta acepte parada de la caldera. Todos estos mantenimientos los podrá cotizar T&E si Vidrio Andino lo solicita.

#### **9. CAPACITACIÓN**

T&E aclara que el período de capacitación incluido de nuestra oferta es por un periodo de dos (2) días. Sin embargo T&E informa que si es necesario extender el tiempo de capacitación hasta por cinco (5) días, T&E lo realizará sin costos adicionales. Es un interés de T&E que el personal de operación y mantenimiento de los equipos instalados así como supervisores estén capacitados e informados sobre los equipos suministrados e instalados.

#### **10. TÉCNICO HSE DURANTE EL MONTAJE DE LOS EQUIPOS.**

T&E aclara que dentro de su oferta esta incluida un Técnico HSE durante el tiempo que dure el montaje de los equipos, que se encarga de velar por la seguridad de los trabajadores y de los bienes. También se encargará de realizar permisos de trabajo, asistir a reuniones de seguridad, garantizar que el personal trabaje con seguridad y todas las demás funciones que le competen.



## 11. CERTIFICADOS DE CALIDAD

T&E informa que el equipo ofertado cumple con el estándar de calidad más alto que existe para la fabricación de calderas pirotubulares. La caldera Hurst de 80 BHP – 150 PSIG estará certificada con el ESTAMPE ASME y NATIONAL BOARD desde FÁBRICA. (The chemical and physical properties of all meet the requirements of material specifications of the ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE. The design, construction and workmanship conform to Section I of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2007 Adenda to 2008).

Se entregara copia de los siguientes certificados firmados por inspector con la caldera que garantizan trazabilidad en los materiales de construcción:

- FORM P-2 MANUFACTURES' DATA REPORT FOR ALL TYPES OF BOILER EXCEPT WATER TUBE AND ELECTRIC. As required by the Provisions of the ASME Code Rules, Section I.
- FORM P-7 MANUFACTURES' DATA REPORT FOR SAFETY VALVES. As required by the Provisions of the ASME Code Rules, Section I.
- FORM U-1A MANUFACTURES' DATA REPORT FOR PRESSURE VESSELS. As required by the Provisions of the ASME Code Rules, Section VIII, Division 1.
- FORM U-4 MANUFACTURES' DATA REPORT SUPPLEMENTARY SHEET. As required by the Provisions of the ASME Code Rules, Section VIII, Division 1.

T&E informa que para que la caldera cumpla con el control calidad mencionada anteriormente, la caldera pasa por varias pruebas no destructivas como lo son:

- Radiografía en la totalidad de las soldaduras.
- Ultrasonido
- Prueba hidrostática a 1.5 veces la Presión de Diseño, o sea 225 PSIG.

## 12. PRECOMMISSIONING, COMMISSIONING Y STARTUP

T&E informa que dentro de su protocolo de arranque de los equipos se realizan los siguientes trabajos:

### Precommissioning:

- Verificación de conexionado eléctrico de instrumentos continuidad.
- Pruebas de funcionamiento de instrumentos, válvulas y actuadores (servomotores)
- Pruebas en vacío de motores



**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascalombia.com](http://www.calderascalombia.com)

- Pruebas hidrostáticas de tuberías
- Verificación de la instalación

#### **Commissioning**

- Pruebas de motores con carga
- Calibración de protecciones
- Medición de corrientes y voltajes
- Pruebas de subsistemas, vapor, purga, combustible y agua.
- Ajuste de instrumentos
- Pruebas independientes de lazos de control

#### **Startup**

- Pruebas reales de campo
- Integración de subsistemas
- Calibración final del equipo garantizando máxima eficiencia, menor consumo de combustible y mínimo de emisiones atmosféricas.
- Entrega de informe completo de calibración y de todos los anteriores trabajos realizados

Adicional al protocolo de arranque T&E informa que en fábrica se realizan pruebas de conexiónado y energización de tableros de control.

#### **13. VIAJE A LA PLANTA DE HURST BOILER EN EE.UU. PARA INSPECCIÓN DE LOS EQUIPOS SUMINISTRADOS**

T&E informa que personal de Vidrios Andino será muy bienvenido para realizar visita a la fábrica de HURST BOILER en EE.UU. donde podrán realizar inspección de los equipos suministrados.

**14. ACTUALIZACIÓN DE TABLA RESUMEN DE PRECIOS EN DÓLARES AMERICANOS Y EN PESOS****UNA (1) CALDERA DE 80 BHP – 150 PSIG Y EQUIPOS AUXILIARES PARA ENTREGA EN PLANTA DE HURST BOILER EN USA EN COOLIDGE- GEORGIA**

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Caldera de 80 BHP – 150 PSIG para GAS NATURAL Ó AIRE PROPANADO	Unitario	1	USD \$ 41.900	USD \$ 41.900
2	Sistema LMV 51 para comunicación con el DCS de la Planta de Vidrio Andino y para conocer el Status aumentar la eficiencia de la caldera de 80 BHP en 2%.	Unitario	1	USD \$ 12.000	USD \$ 12.000
3	Sistema de control de nivel de la caldera de 80 BHP en el DCS de la Planta de Vidrio Andino	Unitario	1	USD \$ 7.000	USD \$ 7.000
4	Sistema de control de temperatura del tanque de Agua Caliente en el DCS de la Planta de Vidrio Andino	Unitario	1	USD \$ 4.000	USD \$ 4.000
5	Sistema de agua de alimentación para la caldera de 80 BHP – 150 PSIG	Unitario	1	USD \$ 4.500	USD \$ 4.500
6	Suavizador para la caldera de 80 BHP – 150 PSIG	Unitario	1	USD \$ 4.500	USD \$ 4.500
7	Sistema de enfriamiento y disposición de purgas de fondo (tanque de purgas) para caldera de 80 BHP – 150 PSIG	Unitario	1	USD \$ 6.000	USD \$ 6.000
8	Chimenea para la caldera de 80 BHP – 150 PSIG con plataforma para ensayos Isocinéticos según norma para entrega en Vidrio Andino	Paquete	1	\$ 35.500.000 NOTA: COP	\$ 35.500.000 NOTA: COP



**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascolombia.com](http://www.calderascolombia.com)

9	Tanque de agua caliente capacidad 1200 litros construido en acero inoxidable	Unitario	1	\$ 51.500.000 NOTA: COP	\$ 51.500.000 NOTA: COP
10	Montaje de equipos y redes de interconexión dentro del cuarto de máquinas y montaje de la chimenea y plataforma para la caldera de 80 BHP – 150 PSIG y equipos auxiliares	Unitario	1	\$ 38.500.000 NOTA: COP	\$ 38.500.000 NOTA: COP
11	Ingeniería de detalle y elaboración de planos de montaje para la caldera de 80 BHP y equipos auxiliares	Paquete	1	\$ 0	\$ 0
12	Ingeniería básica y Manual de Operación y Mantenimiento serán entregados sin costo en caso de adjudicación	Paquete	1	\$ 0	\$ 0
13	Capacitación para operación y mantenimiento de la caldera de 80 BHP – 150 PSIG	Paquete	1	\$ 0	\$ 0
14	Tanque de agua caliente capacidad 1200 litros construido en acero al carbono	Unitario	1	\$ 39.000.000 NOTA: COP	\$ 39.000.000 NOTA: COP
15	Tablero de distribución principal, tablero de control "Junction Box", y montaje eléctrico del sistema de generación de vapor <b>NOTA:</b> Tener presente los ítems 9 y 15 son el mismo tanque de agua cliente con diferentes materiales de fabricación.	Unitario	1	\$ 18.000.000 NOTA: COP	\$ 18.000.000 NOTA: COP
16	Partes de repuesto para la caldera por un periodo de 2 años	Unitario	1	\$ 3.916,41	\$ 3.916,41



**T&E**  
Energy & Automation Co.

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascalombia.com](http://www.calderascalombia.com)

**Notas:**

1. Todos los precios cotizados en Dólares de los Estados Unidos.
2. Los precios no incluyen ARANCEL ni IVA por tratarse de una Zona Franca.
3. Todos los elementos cotizados son para entrega en Planta de Hurst Boiler.
4. Los términos Incoterms son Exwork.
5. Los precios cotizados en dólares no incluyen transporte terrestre nacional e internacional.
6. Los precios cotizados en dólares no incluyen transporte marítimo.

**NOTA AHORRO:**

La condición de la Vidrio Andino por estar ubicado en una ZONA FRANCA representa para ustedes un valor agregado porque las calderas actualmente con el TLC tiene un arancel del 9 % más el IVA del 16 % por la nacionalización. La suma de estos dos valores representa un ahorro del 25% y está reflejado en la cotización que le estamos adjuntando en la tabla anterior.

Vidrio Andino suministrará todos los documentos necesarios a T&E para poder hacer efectivo este ahorro.

**NOTA DE EQUIPOS OFERTADOS:**

Thermodynamics & Engineering representa con exclusividad para Colombia todas las marcas y equipos ofertados de procedencia Americana. Contamos con técnicos e ingenieros capacitados en su funcionamiento y mantenimiento.



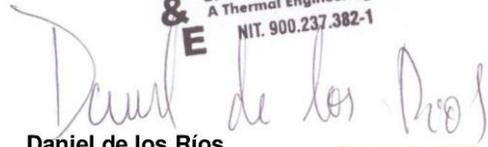
**THERMODYNAMICS & ENGINEERING**

[www.calderascalombia.com](http://www.calderascalombia.com)

**15. FIN DEL ADENDO**

Les agradecemos de antemano la atención, esperamos que nuestra propuesta sea de su entera satisfacción, quedamos a su disposición para resolver aclaraciones o informaciones adicionales que al respecto estimen conveniente.

De ustedes muy atentamente,

  
**THERMODYNAMICS & ENGINEERING LTDA.**  
A Thermal Engineering Co.  
NIT. 900.237.382-1

**Daniel de los Ríos**  
Project Manager

**THERMODYNAMICS & ENGINEERING LTDA. - T&E**  
Transversal 113 # 66 – 19  
Teléfono: (571) 7027280 / (571) 8122222  
Celular: (57) 321 44493924  
Bogotá D.C., Colombia  
[proyectos@calderascalombia.com](mailto:proyectos@calderascalombia.com)  
[www.calderascalombia.com](http://www.calderascalombia.com)



ANEXO M  
PLANOS SISTEMA RECUPERACIÓN DE CALOR