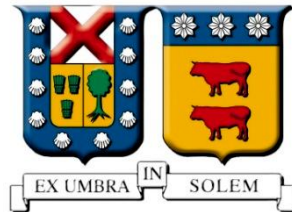


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL  
VALPARAÍSO - CHILE



**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA  
MEJORA DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA EN  
CIRCUITO DE FONDO DE FRACCIONADORA  
E-701 EN ENAP REFINERÍAS ACONCAGUA**

**FELIPE ESTEBAN CERNA MARTÍNEZ**

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL QUÍMICO**

**PROFESOR GUÍA: DANIEL RAMÍREZ LIVINGSTON**

**INGENIERO CORREFERENTE 1: CAROLINA MELO MOLINA**

**INGENIERO CORREFERENTE 2: PABLO REVECO ZEPEDA**

Valparaíso, Octubre 2016



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

## Título de Memoria

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA MEJORA DE INTEGRACIÓN  
ENERGÉTICA EN CIRCUITO DE FONDO DE FRACCIONADORA E-701

Autor:

FELIPE ESTEBAN CERNA MARTÍNEZ

**Trabajo de Memoria**, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el título de Ingeniero Civil Químico de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Daniel Ramírez Livingston

---

Carolina Melo Molina

---

Pablo Reveco Zepeda

---

Valparaíso, Octubre de 2016



## Dedicatoria

A mis padres por ser el pilar de mi desarrollo humano y profesional, a mi hermano Diego por todo el apoyo entregado y a mis abuelos por estar siempre con nosotros, han sido parte de este proceso de formación, esta memoria va dedicada a ellos.

*“Hay algo que yo sé de ti que quizá tú no sepas de ti mismo.*

*Dentro de ti, tienes más recursos de energía de los que nunca has utilizado,*

*Más talento del que nunca has aprovechado,*

*Más fuerza de la que nunca has puesto a prueba,*

*Y más que dar de lo que nunca has dado...”*

## Agradecimientos

Esta sección de la memoria agradecer a todos los que han formado parte de este proceso. En primer lugar a mis padres, mi hermano Diego, abuelos Alfredo, Beatriz y Alberto, mis tías Brenda y Evelyn, a mis primas, a mi familia en general ya que si no fuera por ellos no habría logrado cumplir esta meta, siempre me inculcaron los valores y transmitieron que la responsabilidad debe ser un pilar fundamental si se quieren hacer las cosas bien.

Agradecer al profesor Daniel Ramírez por otorgarme esta gran oportunidad de desarrollar mi memoria en la Refinería Aconcagua, por confiar en mí y tal como me dijo al comenzar este proceso, “me saqué la lotería” ya que aprendí muchas cosas tanto en lo técnico como en lo humano.

Agradecer a Carolina y a Pablo por poder trabajar con ellos en el área de Energía, en especial a Pablo por haber sido con quién más trabajé y que desempeñó una gran labor de tutor durante estos 6 meses, siempre preocupado de mis avances y de corregir los errores día a día.

Agradecer al personal de ingeniería de plantas, en primer lugar a Christian Lafuente quien fue casi un tercer tutor durante gran tiempo de mi estadía en la refinería, a Michel por aclarar muchas dudas acerca de la planta de suministros, a don Jorge quien me ayudó en todo lo relacionado con el la implementación del control, a Alejandro por la información facilitada, a Carlitos López por la colaboración, a Xavier, Gabriela, Osvaldo y Kiron por sus distintas colaboraciones y a Fernando por su ayuda en el comienzo sobre el diseño de intercambiadores. Agradecer también sino trabajé directamente con ellos a don Eduardo, Juan Pablo y la Eli por su buen trato y cordialidad en mi estadía en la refinería. A la gente de construcción Victor y Aquiles por su ayuda entregada.

Agradecer a los memoristas Marcelo, Luis y Javier por su ayuda en aclarar dudas, a la Paulina por su ayuda en establecer los formatos de este documento.

A mis amigos del colegio Nicho, Pietro, Carlos, Bob, Pato, Rodri, Chelo, Negro, Wala y la abuela. A los amigos y compañeros de la universidad Diego, Nico Soto, Felipe, Lorca, Oscar, Rami, Sire, Luli, Andrés, Rocío, Yossebann, Michael, Vasco, a la Coté mi gran amiga, a la Poly por ayudarme en todo en la última parte de esta etapa como estudiante, a Francisca y a los demás compañeros de carrera con los que compartí durante mi estadía en la Universidad Santa María. Finalmente un agradecimiento especial a la Ale por dedicarse a corregir la redacción y formatos de este documento, muchas gracias por su tremenda voluntad y disposición.



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

## Resumen Ejecutivo

En el marco de la agenda energética propuesta por el Ministerio de Energía, que promueve el uso eficiente de esta, ENAP ha definido realizar la evaluación de una alternativa de mejora correspondiente a la integración energética en el proceso de precalentar agua desmineralizada previo a su ingreso al Desaireador F-278. Los beneficios de esta integración implican la disminución en el consumo de vapor de 50# en la etapa de desaireación y agua de refrigeración en la etapa de enfriamiento.

Para lograr este objetivo se analizan 4 propuestas de integración energética, considerando finalmente aquella que otorga mayores beneficios de acuerdo a la inversión estimada. La alternativa seleccionada corresponde a precalentar el agua desmineralizada con el circuito de fondo de la fraccionada E-701 de la unidad de *Cracking* Catalítico.

Para la implementación de la alternativa seleccionada, se estima una inversión de USD 717.000. Esto incluye la instalación de 2 intercambiadores de tubos y coraza de acero inoxidable 316 en serie, junto con su respectivo sistema de control. También incluye la instalación de una nueva línea 6" de acero inoxidable 316, que transporte el agua desmineralizada desde la planta de suministros hasta la planta de *Cracking* y que luego retorne a la zona de suministros. Además, una nueva línea de 3" de acero al carbono, que transporte el aceite decantado desde la salida del intercambiador C-751 hasta el nuevo intercambiador, y posteriormente sea conectada a la existente, para ser enviada a almacenamiento.

El beneficio monetario promedio por ahorro de vapor y agua de refrigeración es del orden de USD 365.300 y USD 12.000, respectivamente en un año de operación. Por lo tanto el beneficio total anual estimado es de USD 377.300.

Evaluando la propuesta en un horizonte de 15 años, con una tasa de descuento de 9,1%, se obtiene un Valor Actual Neto del orden de USD 2.107.000, una Tasa Interna de Retorno de 52%, con *payback* de 3 años y un IVAN de 2,9, siendo este último índice el determinante en la elección de la propuesta a desarrollar.



## Glosario

ASME: *American Society of Mechanical Engineers*

ASTM: *American Society for Testing and Materials*

API: *American Petroleum Institute*

AACE: *Association for Advancement of Computing in Education*

COL: *Cycle Oil Liviano*

ENAP: *Empresa Nacional del Petróleo*

FCCU: *Fluid Cracking Catalitic Unit*

HDT: *Unidad de tratamiento de diesel*

MHC: *Mild Hydrocracking*

HC: *Heat Conservation*

HTRI: *Heat Transfer Research, Inc*

PLC: *Programmable Logic Controller*

ST: *Steam Tracing*

STD: *Standard*

SAC: *Strongly Acidic Cation*

SBA: *Strongly Basic Anion*

TEMA: *Tubular Exchange Manufacturers Association*

WAC: *Weakly Acidic Cation*

WBA: *Weakly Basic Anion*



## Índice

<b>Dedicatoria</b> .....	iii
<b>Agradecimientos</b> .....	iv
<b>Resumen Ejecutivo</b> .....	v
<b>Glosario</b> .....	vi
<b>Índice</b> .....	vii
<b>Capítulo 1</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	1
1.1    Introducción.....	1
1.2    Objetivos.....	2
1.2.1    Objetivo General .....	2
1.2.2    Objetivos Específicos .....	2
<b>Capítulo 2 DESARROLLO DEL TEMA</b> .....	3
2.1    Descripción del proceso.....	3
2.2    Intercambiadores de Calor.....	11
2.2.1    Tipos de Intercambiadores de Calor.....	13
2.2.2    Intercambiadores de tubos y carcasa.....	15
2.3    Condiciones generales .....	22
2.3.1    Criterios de diseño intercambiador .....	22
2.3.2    Clases .....	22
2.3.3    Presión de Diseño.....	23
2.3.4    Temperatura de diseño .....	24
2.3.5    Largo de los tubos .....	25
2.3.6    Diámetro de los tubos.....	25
2.3.7    Espesor de tubos.....	25
2.3.8    Layout de los tubos patrón .....	26
2.3.9    Pitch de tubos .....	26
2.3.10    Baffles .....	27



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

2.3.11	Caída de presión .....	28
2.3.12	Velocidades recomendadas .....	28
2.3.13	Número de pasos .....	29
2.3.14	Selección del fluido por tubo o coraza .....	29
2.3.15	Erosión y Corrosión .....	30
2.3.16	pH, alcalinidad y dureza.....	32
2.3.17	Solidos disueltos y en suspensión. ....	33
2.3.18	Selección de material .....	34
2.3.19	Diseño de tuberías .....	35
2.3.20	Dimensionamiento de Válvulas de Control .....	37
2.4	Levantamiento de la simulación en Aspen HYSYS.....	37
2.4.1	Listado de componentes y elección del paquete termodinámico .....	38
2.4.2	Validación de Simulación .....	40
2.5	Propiedades de los Fluidos .....	42
2.6	Condiciones de Diseño .....	42
2.7	Condiciones de Operación.....	43
2.8	Descripción del Problema Alternativa 1 .....	44
2.9	Descripción Propuesta Alternativa 1 .....	45
2.10	Descripción del Problema Alternativa 2.....	50
2.11	Descripción Propuesta 2 .....	52
2.12	Descripción Propuesta 3 .....	56
2.13	Descripción Propuesta 4 .....	59
2.14	Ahorros Energéticos .....	61
2.14.1	Ahorro Energético Alternativa 1 .....	61
2.14.2	Ahorro Energético Alternativa 2 .....	62
2.14.3	Ahorros Energéticos Alternativa 3 .....	63
2.14.4	Ahorros Energéticos Alternativa 4 .....	64
2.15	Evaluación Económica .....	65



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

2.15.1	Antecedentes Financieros.....	65
2.15.2	Inversión Estimada Alternativas .....	65
2.15.3	Egresos Operacionales .....	68
2.16	Criterios de Evaluación Económica .....	68
2.16.1	Valor Actual Neto .....	68
2.16.2	Tasa Interna de Retorno .....	69
2.16.3	Payback .....	69
2.16.4	IVAN.....	69
2.17	Flujo de Caja.....	70
2.17.1	Evaluación Indicadores Rentabilidad.....	71
2.18	Recomendaciones de Inversión .....	71
2.19	Especificaciones .....	72
2.19.1	Procesos.....	72
2.19.2	Balance Hidráulico .....	72
2.20	Diagrama de Flujo del Proceso.....	76
2.21	Diagrama de Cañerías e Instrumentos .....	77
2.22	Instrumentación .....	80
2.22.1	Lista de Instrumentos .....	80
2.22.2	Válvulas de Control.....	81
2.23	Lista de Nuevos Puntos en TDC.....	82
2.24	Lógica de Control .....	83
2.25	Diagrama de Lazos .....	87
2.26	Datasheet de Equipos.....	92
2.27	Especificación Material de Cañerías .....	93
2.28	Listado de Clasificación de Línea .....	96
2.29	Listado de Tie Ins .....	96
2.30	Plot Plan.....	97
2.31	Listado de Inversiones .....	98



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

<b>Capítulo 3</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	100
<b>Capítulo 4</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	102
<b>Capítulo 5</b>	<b>MATERIAL COMPLEMENTARIO</b> .....	104
5.1	Anexos.....	104
5.1.1	Distribución Variables Operación Aceite Decantado .....	104
5.1.2	Distribución Variables Operación Agua Desmineralizada .....	106
5.1.3	Datasheet de Instrumentos y Válvulas de Control .....	108
5.1.4	Planos Mecánicos Intercambiador C-01 .....	118
5.1.5	DataSheet Intercambiadores Alternativa 2 y 3.....	121
5.1.6	Fotos Tie Ins.....	123
5.1.7	Rating y Simulación reemplazo intercambiador C-708 .....	127
5.1.8	Cotizaciones .....	129

## Índice de Figuras

Figura 2.1:	Diagrama Simplificado Fraccionadora .....	7
Figura 2.2:	Proceso de desmineralización - desaireación .....	10
Figura 2.3:	Perfil de Temperatura Co-Corriente .....	11
Figura 2.4:	Perfil de Temperatura ContraCorriente .....	12
Figura 2.5:	Proceso de Enfriamiento Aceite Decantado .....	44
Figura 2.6:	Propuesta de integración energética alternativa 1 .....	47
Figura 2.7:	Simulación Alternativa 1 .....	49
Figura 2.8:	Proceso Enfriamiento COL.....	50
Figura 2.9:	Condiciones de Operación Alternativa 2.....	53
Figura 2.10:	Simulación Alternativa 2 .....	55
Figura 2.11:	Propuesta de integración energética alternativa 3 .....	56
Figura 2.12:	Simulación Alternativa 3 .....	58
Figura 2.13:	Propuesta de integración energética alternativa 4 .....	59



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Figura 2.14: Simulación Alternativa 4 .....	60
Figura 2.15: Hidráulica Sistema Propuesta .....	74
Figura 2.16: Caracterización propuesta.....	83
Figura 2.17: Caracterización propuesta.....	84
Figura 2.18: Respuesta Sugerida.....	85
Figura 2.19: Lógica de control .....	86
Figura 2.20: Distribución Inversión Requerida.....	99
Figura 5.1: Histograma Flujo Volumétrico Aceite Decantado .....	104
Figura 5.2: Histograma Temperatura Entrada.....	105
Figura 5.3: Histograma Temperatura de Salida .....	105
Figura 5.4: Histograma Flujo Agua Desmineralizada.....	106
Figura 5.5: Historial Condiciones de Operación.....	107
Figura 5.6: Plano Mecánico Intercambiador C-01 A .....	118
Figura 5.7: Plano Mecánico C-01 B.....	119
Figura 5.8: Layout de Tubos .....	120
Figura 5.9: Vista 3D intercambiador C-01 .....	120

## Índice de Tablas

Tabla 2.1: Comparación Tipos de Intercambiador .....	13
Tabla 2.2: TEMA .....	20
Tabla 2.3: Cuadro comparativo selección de Intercambiadores .....	21
Tabla 2.4: Criterios de diseño intercambiadores tipo R.....	23
Tabla 2.5: Espesor Recomendado según material.....	26
Tabla 2.6: Velocidades Recomendadas.....	28
Tabla 2.7: Clasificación de dureza del agua.....	32
Tabla 2.8: Clasificación Índice Langelier .....	33
Tabla 2.9: Composición Acero 316.....	34
Tabla 2.10: Propiedades Acero 316 .....	34



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Tabla 2.11: Temperatura de Diseño .....	35
Tabla 2.12: Espesor tubería.....	35
Tabla 2.13 Espesor de corrosión .....	36
Tabla 2.14: Reglas para dimensionamiento tuberías.....	36
Tabla 2.15: Listado de componentes.....	38
Tabla 2.16: Curva Destilación ASTM D1160 02/08/2016 .....	39
Tabla 2.17: Curva de destilación ASTM 86 19/05/2016 .....	40
Tabla 2.18: Validación Simulación Aceite Decantado .....	41
Tabla 2.19: Validación Simulación COL.....	41
Tabla 2.20: Propiedades de los Fluidos.....	42
Tabla 2.21: Condiciones de Operación .....	43
Tabla 2.22: Condiciones Diseño C-752 A/B C-753 A/B .....	45
Tabla 2.23: Datos de Proceso Alternativa 1 Condición Alta .....	47
Tabla 2.24: Datos de Proceso Alternativa 1 Condición Promedio.....	48
Tabla 2.25: Datos de Proceso Alternativa 1 Condición Baja .....	48
Tabla 2.26: Condición de diseño C-708.....	51
Tabla 2.27: Condición Diseño C-709.....	51
Tabla 2.28: Condición Diseño C-710.....	51
Tabla 2.29: Datos de Proceso Alternativa 2 .....	53
Tabla 2.30: Datos de Proceso Alternativa 3 .....	57
Tabla 2.31: Datos de Proceso Alternativa 4.....	60
Tabla 2.32 Ahorro en servicios condición diseño .....	61
Tabla 2.33 Ahorro en servicios condición alta.....	61
Tabla 2.34 Ahorro en servicios condición promedio .....	61
Tabla 2.35 Ahorro en servicios condición baja.....	61
Tabla 2.36 Ahorro en servicios condición diseño .....	62
Tabla 2.37 Ahorro en servicios condición alta.....	62
Tabla 2.38 Ahorro en servicios condición promedio .....	62



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Tabla 2.39 Ahorro en servicios condición baja.....	62
Tabla 2.40 Ahorro en servicios condición diseño.....	63
Tabla 2.41 Ahorro en servicios condición alta.....	63
Tabla 2.42 Ahorro en servicios condición promedio.....	63
Tabla 2.43 Ahorro en servicios condición baja.....	63
Tabla 2.44 Ahorro en servicios condición diseño.....	64
Tabla 2.45 Ahorro en servicios condición alta.....	64
Tabla 2.46 Ahorro en servicios condición promedio.....	64
Tabla 2.47 Ahorro en servicios condición baja.....	64
Tabla 2.48: Monto de Utilities.....	65
Tabla 2.49: Comparación Inversión Alternativas.....	66
Tabla 2.50: Estimaciones inversiones propuestas de Axens.....	66
Tabla 2.51: Clasificación Estimación de Costos.....	68
Tabla 2.52: Flujo Caja Alternativa 1.....	70
Tabla 2.53: Flujo Caja Alternativa 2.....	70
Tabla 2.54: Flujo Caja Alternativa 3.....	70
Tabla 2.55: Flujo Caja Alternativa 4.....	70
Tabla 2.56: Evaluación Económica Alternativas.....	71
Tabla 2.57: Balance de Materia y Energía.....	72
Tabla 2.58 Hidráulica Línea Agua desmineralizada – Intercambiador.....	73
Tabla 2.59 Hidráulica Línea <i>By Pass</i> Agua.....	73
Tabla 2.60 Hidráulica extensión circuito aceite decantado.....	73
Tabla 2.61: Hidráulica Condición Diseño.....	74
Tabla 2.62: Hidráulica Condición Promedio.....	75
Tabla 2.63: Hidráulica Condición Baja Aceite.....	75
Tabla 2.64: Hidráulica Condición Baja Aceite.....	75
Tabla 2.65: Listado de Instrumentos.....	80
Tabla 2.66: Listado Válvulas de Control.....	81



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Tabla 2.67: Condiciones Diseño Válvulas de Control sin bombas .....	81
Tabla 2.68: Condiciones Diseño Válvula de Control con bombas .....	81
Tabla 2.69: Nuevos Puntos TDC.....	82
Tabla 2.70: Caracterización propuesta TV-05A .....	84
Tabla 2.71: Caracterización propuesta TV-05B.....	84
Tabla 2.72: Datasheet intercambiador C-01 A/B .....	92
Tabla 2.73: Nueva línea Aceite Decantado .....	93
Tabla 2.74: Nueva Línea Agua Desmineralizada.....	94
Tabla 2.75: Línea By Pass Agua Desmineralizada .....	95
Tabla 2.76: Inversiones Alternativa 1 .....	98
Tabla 5.1: Estadística Flujo Aceite Decantado .....	104
Tabla 5.2: Estadística Temperatura de Entrada.....	105
Tabla 5.3: Estadística Temperatura de Salida .....	105
Tabla 5.4: Rating reemplazo C-708 .....	127
Tabla 5.5: Simulación reemplazo COL.....	128

## Capítulo 1

# INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1 Introducción

La agenda energética establecida por el Ministerio de Energía tiene como objetivo fomentar el uso eficiente de esta. Lo que el gobierno busca es reducir el consumo de energía proyectado al 2025 para el sector industrial, residencial y transporte en un 20%. La eficiencia energética es uno de los principales retos que se tiene como país, siendo un factor elemental en la productividad que se aspira.

ENAP es una empresa del Estado de Chile, por lo tanto, como empresa estatal se debe enfocar en lograr el desafío propuesto por el Ministerio. Es por esto que en el mes de Julio del año 2014, se firma el Convenio de Cooperación entre ENAP y el Ministerio de Energía, buscando impulsar el uso eficiente de los recursos energéticos vía gestión energética, uso de equipos eficientes, fomento de proyectos que contribuyan a la innovación y cultura en el buen uso de la energía en ENAP.

Los principales compromisos adquiridos por ENAP fueron:

- ✓ Definir encargado de la Gestión Energética de ENAP.
- ✓ Realizar Auditorías Energéticas.
- ✓ Implementar Sistema de Gestión de Energía.
- ✓ Establecer una Política Energética.
- ✓ Implementar un Plan de Eficiencia Energética.
- ✓ Actividades permanentes de sensibilización a toda la organización.
- ✓ Diseñar una metodología para la evaluación de proyectos que incorpore medidas de eficiencia energética.

Es por esto que en el año 2015, con el fin de detectar oportunidades de captura de brechas energéticas, se realizaron auditorías en Refinerías Aconcagua, con apoyo de la consultora Axens.

Las iniciativas identificadas por la auditoría energética, que presenta un gran potencial de ahorro, corresponden a los asociados a la integración energética de precalentar agua desmineralizada. Se plantea utilizar como fluido caliente un hidrocarburo obtenido en la planta de *Cracking*, considerando como alternativa la utilización de COL o Aceite Decantado, ambos

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

obtenidos en la torre fraccionadora E-701. Estos fluidos previo a su almacenamiento son enfriados utilizando agua de refrigeración. Esta integración energética presenta beneficios asociados a la disminución en el consumo de vapor de 50# y agua de refrigeración.

El presente trabajo de memoria se enfoca en evaluar estas alternativas propuestas por la auditoría y, posteriormente, desarrollar a nivel de ingeniería básica la propuesta que otorga los mayores beneficios de mejora en la integración energética.

### 1.2 Objetivos

#### 1.2.1 Objetivo General

Aprovechar la energía disponible del producto de fondo de la torre fraccionadora E-701, a través de la implementación de una integración energética, para precalentar agua desmineralizada previo a su ingreso al Desaireador F-278.

#### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar y caracterizar corrientes de proceso del área *Cracking* y Suministros.
- Proponer y especificar a nivel de ingeniería básica un nuevo equipo para la integración de energía.
- Definir a nivel de ingeniería básica el *layout* del proyecto, especificación de cañerías, interconexiones e instrumentación requerida.
- Verificar la factibilidad técnica de la alternativa propuesta.
- Evaluar el beneficio económico y energético de incorporar un nuevo intercambiador de calor para la integración de energía.

## Capítulo 2 DESARROLLO DEL TEMA

### 2.1 Descripción del proceso

ENAP Refinerías Aconcagua se ubica en la comuna de Concón a 135 km de la Región Metropolitana.

El crudo es recepcionado en el terminal portuario de Quintero, el cual es transportado mediante oleoductos hasta las instalaciones de la refinería. Una vez recibido el crudo se almacena en 5 estanques, 4 con una capacidad de 20.000 m<sup>3</sup> y otro con capacidad de 40.000 m<sup>3</sup>.

En una primera instancia se encuentra la zona de fraccionamiento, denominadas *Topping 1* y *Topping 2*, compuesta por torres de destilación que operan a presión atmosférica y vacío. En estas unidades se aprovechan las propiedades físico-químicas del crudo para separar la mezcla en diferentes subproductos. Las unidades de *Topping* poseen una capacidad de refinación de 104.000 barriles/día de crudo, obteniendo como productos de la destilación atmosférica Gasolina, Nafta, Kerosone, Diesel, *Gas Oil* atmosférico y Crudo Reducido. Este último hidrocarburo se alimenta a la torre de vacío, obteniéndose por el tope Gases Ácidos, en la zona intermedia *Gas Oil* Liviano, *Gas Oil* Mediano y *Gas Oil* Pesado, por el fondo de esta torre se obtiene *Pitch*.

La torre de vacío en cuanto a fraccionamiento debe cumplir con producir un *Gas Oil* de buena calidad para alimentar las unidades de *Cracking* Catalítico, *Hydrocracking* y MHC.

El *Gas Oil* procesado en la Unidad de *Cracking* Catalítico Fluidizado (FCCU) proviene de las unidades *Topping 1* y *2*, *Coker*, *Hydrocracking* y MHC. FCCU posee una capacidad máxima de 5000 m<sup>3</sup>S/d. Este proceso lo componen 3 secciones:

- 1) Reactor - Regenerador
- 2) Fraccionamiento
- 3) Recuperación de Livianos

El *Gas Oil* debe contener un mínimo de metales y de productos pesados, debido a que estos son venenosos para el catalizador de la Unidad de *Cracking* Catalítico.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

El *Cracking* Catalítico es un proceso en el cual hidrocarburos de alto peso molecular son separados en otros más livianos, por aplicación de calor, en contacto con un catalizador pulverizado de zeolita USY. El *Cracking* se lleva a cabo en un convertidor, que cuenta de 2 unidades: un Reactor D-702 y un Regenerador D-701.

Las reacciones de *Cracking* son promovidas por el catalizador, comenzando inmediatamente al momento del contacto de la carga con este, en un ducto del reactor denominado *Riser-Cracking*. Producto de esta reacción se obtienen gases, vapores de hidrocarburos y coque residual. Las reacciones de *Cracking* son endotérmicas, por lo cual el calor requerido para la iniciación de la reacción se obtiene a partir de la combustión controlada del coque en el regenerador. De este modo se produce un balance térmico en el sistema Reactor-Regenerador. En el tope del reactor existen ciclones encargados de separar los gases del catalizador que pudo ser arrastrado con ellos.

En la sección de fraccionamiento la mezcla de hidrocarburos resultante del proceso anterior es alimentada por la zona inferior de la torre fraccionadora E-701, la cual es similar a la torre de *Topping* 1 con la diferencia de que los vapores deben ser enfriados antes de ser fraccionados y, además, una gran cantidad de gases ligeros pasan por el tope con Gasolina.

El flujo de vapor de hidrocarburos craqueados que provienen del reactor asciende por una sección de *baffles* en contra corriente con el reflujo de barro y reflujo interno. Desde la sección inferior hasta el tope de la torre, los vapores se van enfriando de manera gradual al estar en contacto con el líquido que desciende, efectuándose una vaporización parcial. Este enfriamiento y condensación continúa a lo largo de la torre, produce que los hidrocarburos más livianos continúen en estado vapor y los pesados en estado líquido. Con esto se controla la temperatura y, por consiguiente, el proceso de destilación en la fraccionadora cuenta con reflujo en el tope, fondo y laterales. Los productos obtenidos de esta fraccionadora desde el tope hasta el fondo son vapores que contienen LPG y Gasolina, Nafta, COL, COP y Aceite Decantado.

La zona de fraccionamiento la componen 38 bandejas en 3 colectores, donde la Nafta se obtiene en las bandejas 7 y 8, el *Cycle Oil* Liviano bajo la bandeja 21 y el *Cycle Oil* Pesado bajo la bandeja 29. La zona de *baffles* se ubica en la parte inferior y su objetivo es eliminar el catalizador arrastrado por los vapores que ascienden desde el fondo con el reflujo de barro.

Por el tope de la torre se obtiene vapor de hidrocarburos y de agua que circulan por una serie de enfriadores de aire y agua. Una vez enfriado es almacenado en el tambor acumulador de producto de tope F-704.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

De la torre fraccionadora se obtienen diferentes corrientes intermedias, como es el caso de la nafta colectada sobre la bandeja N°8 saliendo de la línea de extracción para bifurcarse en 2 direcciones: la primera al *stripper* de nafta E-704 y la segunda como reflujo de nafta de la torre fraccionadora.

El *Cycle Oil* Liviano (COL) sale del colector ubicado entre las bandejas N°21 y N°22, se divide en 2 corrientes. La primera es alimentada en la bandeja 1 del *stripper* de COL, E-703, mientras que la otra corriente es bombeada por las bombas J-756/A ingresando al rehervidor C-754 del *stripper* E-723, para posteriormente retornar a la torre fraccionadora.

El *stripper* E-703 cuenta con alimentación de COL y nafta pesada, ambas corrientes provenientes de la torre fraccionadora. Además se inyecta vapor a 150 psig con el fin de separar vapor por el tope, el cual es recirculado a la fraccionadora. Se obtiene un producto intermedio correspondiente a nafta pesada que posteriormente es enfriada en el aerofriador C-713 y en el intercambiador C-714. El producto de fondo del *stripper* E-703 es impulsado por las bombas J-708/A hacia el intercambiador de tubos y coraza C-708, donde cede calor a una corriente de agua que alimenta la caldera U-751. El COL enfriado es dividido en 2 corrientes, siendo la mayor parte enviada a Hidrotatamiento (HDT). La fracción restante vuelve a ser enfriado con aire en la unidad C-709, para luego ser enfriado con agua de refrigeración en el intercambiador C-710. Finalizado el enfriamiento una fracción es conducida para ser almacenado en un estanque y la otra dirigirse como *Blending* al área 600 (*Topping 2*).

El *Cycle Oil* Pesado (COP) se ubica entre las bandejas N° 29 y 30 resultando una línea que es dividida en 2. La primera es succionada por la bomba J-706B que descarga en: *Flushing Oil*, *Combustor* como *torch oil*, reciclo al reactor, reflujo caliente bajo el colector de COP y al rehervidor de la torre desbutanizadora. Para este último caso el COP ingresa al rehervidor C-736 para calefaccionar el fondo de la torre. Al salir del intercambiador retorna como reflujo a la unidad E-701.

La otra corriente que fue dividida es alimentada al *stripper* E-751, resultando por el tope vapor que retorna a la torre bajo el colector de COP y por el fondo la bomba J-751 succiona flujo de extracción a *Blending* sin enfriamiento y flujo a caldera C-705 para generar vapor de 150 psig. Finalmente es enfriado con agua de refrigeración para ser almacenado en estanque.

Por el fondo de la torre E-701 se obtienen 3 corrientes que a su vez poseen 3 bombas J-704, J-704A y J-704B. Las 2 primeras son accionadas por vapor de media presión y la última a través de un motor eléctrico. Además, cuentan con el sistema de inyección *Flushing Oil*, aceite de

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

lavado que limpia posibles arrastres de catalizador y erosiones en las bombas a causa del decantado.

Las corrientes del fondo de la fraccionadora son divide en los siguientes puntos:

- La primera línea se destina al intercambiador C-702 donde cede calor a la carga de gas móvil y luego retorna a la torre E-701 como reflujo de barro a través de la línea común existente para esto.
- La segunda corriente genera vapor de 150 psig en el intercambiador C-703 y C-704 y luego retorna como reflujo a la torre fraccionadora.
- Al circuito de carga del horno.
- Aguas abajo y antes de las válvulas de control de flujo de las calderas C-703 y C-704 se cuenta con un arranque que se junta en una, dirigiéndose como *quench* al fondo de la torre.
- Línea de barro que se envía posteriormente a estanque de almacenamiento.

Esta última alternativa de corriente es enviada por la bomba J-704/A al *stripper* E-702 denominado “*stripper* de fondo de la torre fraccionadora” para ser alimentada en el plato 1. Se utiliza vapor de media presión con lo que se obtienen por el tope vapores que son recirculados hacia la torre fraccionadora, siendo alimentada en el plato N°34.

El producto de fondo del *stripper* E-702 circula mediante las bombas J-705 o J-705A siendo dividida en 3 corrientes. La primera ocasionalmente es enviada como *Blending* al *Coker*, la segunda como reciclo al reactor *Riser* y la tercera hacia el intercambiador de tubos y coraza C-751. A este intercambiador el aceite ingresa por los tubos y precalienta una corriente proveniente del acumulador de carga F-702, la cual circula por la coraza y luego alimenta el horno B-751. El aceite es enfriado en intercambiadores de tubo y carcaza, C-752A, C-752B, C-753A, C-753B, que poseen una configuración de 2 en serie y 2 en paralelo. Este proceso utiliza como servicio agua de refrigeración proveniente de las torres de enfriamiento. Finalmente, el aceite decantado se divide en 2 corrientes, donde es almacenado en un estanque o enviado a la unidad de *Topping 2*. La Figura 2.1 resume lo mencionado anteriormente.

# Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

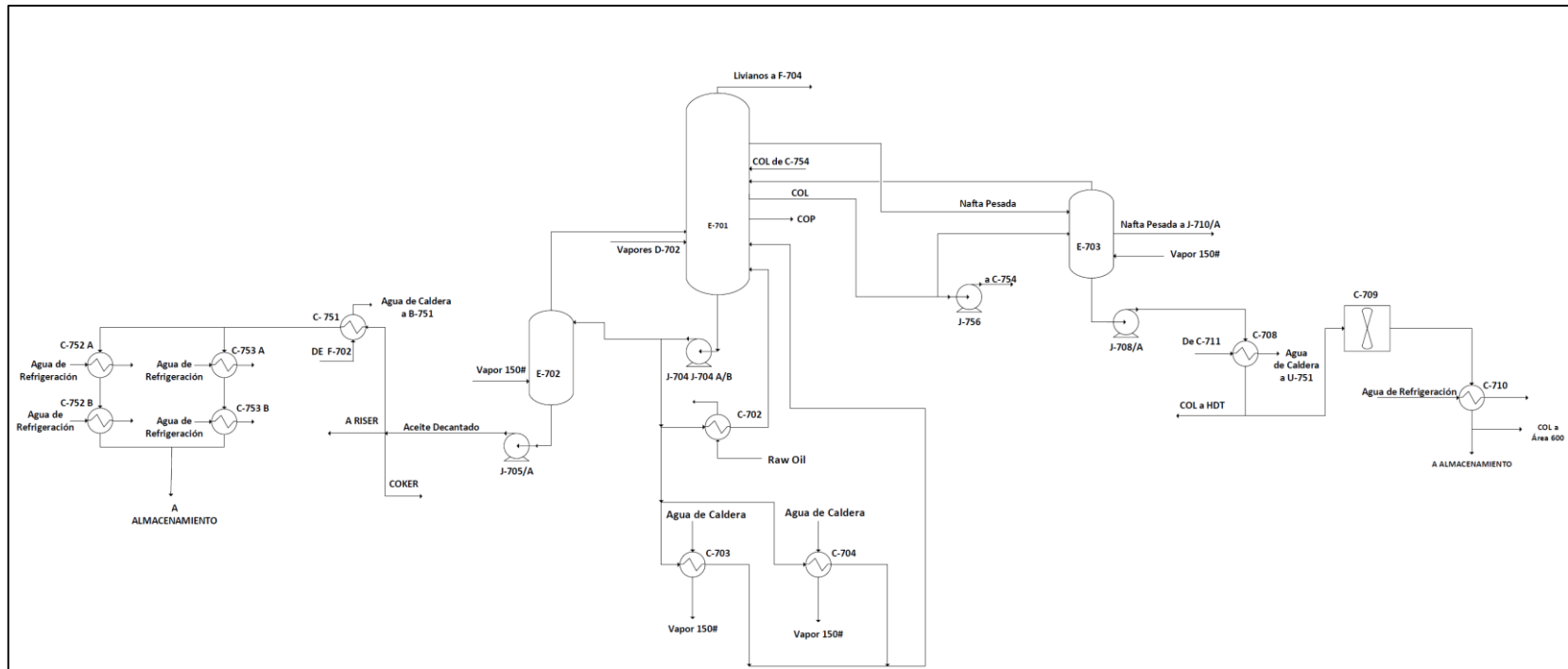


Figura 2.1: Diagrama Simplificado Fraccionadora



## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Por otro lado, Enap Refinerías Aconcagua cuenta una planta de suministros cuyo objetivo es poder abastecer a la refinería de los servicios requeridos, es decir, agua de refrigeración y vapor.

Dentro de la planta de suministros se realiza el proceso de desmineralización, el cual es fundamental puesto que permite realizar la remoción de durezas y contaminantes presentes en el agua cruda. Esta remoción permite evitar corrosión o desgaste de materiales a causa de la presencia de estas.

La desmineralización consiste en el intercambio iónico realizado a través de una serie de reacciones reversibles, donde las impurezas contenidas en el agua son captadas por resinas de intercambio iónico que poseen una configuración Multicompartimiento *Amberpack*. Este sistema se compone por resinas columnares débilmente ácidas (WAC) y débilmente básicas (WBA) que ofrecen una alta capacidad útil y son de fácil regeneración. Las resinas débiles son combinadas con resinas fuertemente ácidas (SAC) y básicas (SAB) para mejorar la eficiencia de la planta. Las resinas de intercambio iónico poseen un radical fijo y un ión móvil o ión de sustitución. El ión móvil es aquel que es intercambiado por iones que desean eliminarse de la solución. Este intercambio funciona solo entre iones de igual carga eléctrica.

Al producirse el intercambio iónico, la capacidad de remoción de la resina comienza a decrecer, llegando a un punto en el que se satura. Para recuperar esta capacidad de remoción de iones de las resinas desgastadas, se realiza un proceso de regeneración, el cual puede ser a co-corriente o contracorriente, siendo esta última la más eficiente debido a que la resina a tratar resulta con una mejor calidad, además de otorgar un ahorro en el consumo de reactivos utilizados en el proceso de regeneración. Los reactivos requeridos corresponden ser ácido sulfúrico 95% y soda caustica 50% resina catiónica y aniónica respectivamente.

Para lograr el proceso de desmineralización, la sección de suministros cuenta con 2 unidades desmineralizadoras: 2 plantas *Sybron* y 2 plantas *Devre*. Actualmente se encuentran operativas las plantas *Devre* puesto que al operar a contracorriente resultan más eficientes. Cada tren está diseñado para procesar 160 m<sup>3</sup>/h obteniendo una producción máxima de agua tratada para la generación de vapor de 320 m<sup>3</sup>/h. Para la obtención del agua desmineralizada, esta se obtiene a partir de 3 afluentes provenientes de Bocatoma, Lajarilla y Tabolango. El agua se capta a partir de pozos y posteriormente son almacenados en un estanque T-254. En caso de existir un déficit de caudal por parte de estos afluentes, es posible disponer de agua por parte de la empresa ESVAL.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Luego de ser almacenada, el agua se filtra e ingresa por el fondo de la unidad de resina catiónica, la cual opera a contracorriente donde gracias a la WAC se remueve la dureza temporal y la segunda etapa SAC remueve el resto de los cationes (Calcio, Magnesio y Sodio) presentes, generando un protón  $H^+$ .

El producto ingresa a una torre descarbonatadora donde se agrega aire mediante ventiladores con el objetivo de remover el carbonato y dióxido de carbono presente. El agua descarbonatada se almacena en una cisterna y posteriormente a través de la bomba J-205/A se envía hacia la unidad de intercambio aniónico.

El agua ingresa por el fondo atravesando la resina débilmente básica, la que elimina solo los ácidos fuertes, luego atraviesa la resina fuerte para eliminar ácidos débiles y finalmente sale por la trampa de resinas, removiendo el Cloruro y Fosfato presente. En esta segunda etapa el intercambiador iónico en su condición alcalina separa los iones bajo la forma de sus correspondientes ácidos, ya sean bases fuertes o bases débiles. Intercambiadores aniónicos de base débil solo pueden separar ácidos fuertes, pero un intercambiador base fuerte puede separar ácidos fuertes y débiles, con estos se libera  $OH^-$  dado los aniones que capta ( $Cl^-$ ,  $PO_4^{3-}$ )

El proceso de desmineralización se desarrolla de manera semiautomática, esto es, puesto que si bien la operación de la planta está controlada mediante un PLC, existen acciones que son ejecutadas por operadores como son: poner en operación o en pausa las unidades desmineralizadoras y regenerarlas.

Finalizada la etapa de intercambio iónico, el agua desmineralizada se divide en 2 corrientes. La primera es enviada al estanque acumulador de condensados F-275 donde se realiza el enfriamiento de una corriente de condensados, los cuales posteriormente son bombeados al Desaireador F-278. Actualmente la otra corriente de agua desmineralizada se alimenta directamente, siendo el flujo regulador del nivel de este Desaireador. Existe la propuesta de realizar una modificación a la alimentación de esta corriente, que consiste en alimentar un estanque acumulador T-250 antes de que ingrese al F-278. Luego de ser almacenada el agua se distribuye al Desaireador por las bombas JT-272 A/B, JM-272C estando esta última en *spare*.

El agua a tratar es alimentada por el tope y es pulverizada a través de un rociador transformándola en finas gotas. Junto con esto, por la sección central se agrega vapor de baja presión 10 psig y 50 psig, este último regula la presión de operación del Desaireador mediante una válvula de control que regula la adición de vapor.

Al realizar el contacto con las gotas de agua, el vapor se condensa cediendo su calor de vaporización al agua, la cual aumenta su temperatura por sobre los  $100^{\circ}C$ . La remoción del

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

oxígeno presente se realiza mediante una transferencia de masa donde el oxígeno disuelto en agua disminuye su solubilidad por un descenso en la presión parcial de este elemento producto de la inyección de vapor de baja presión.

El agua resultante, denominada *Boiler Feed Water* es enviada a las calderas mediante un conjunto de bombas J-240/240A/241/244/245 y J-282 A/B con un contenido máximo de oxígeno de 7 ppb.

En la Figura 2.2 se presenta un diagrama del proceso de desmineralización y desaireación.

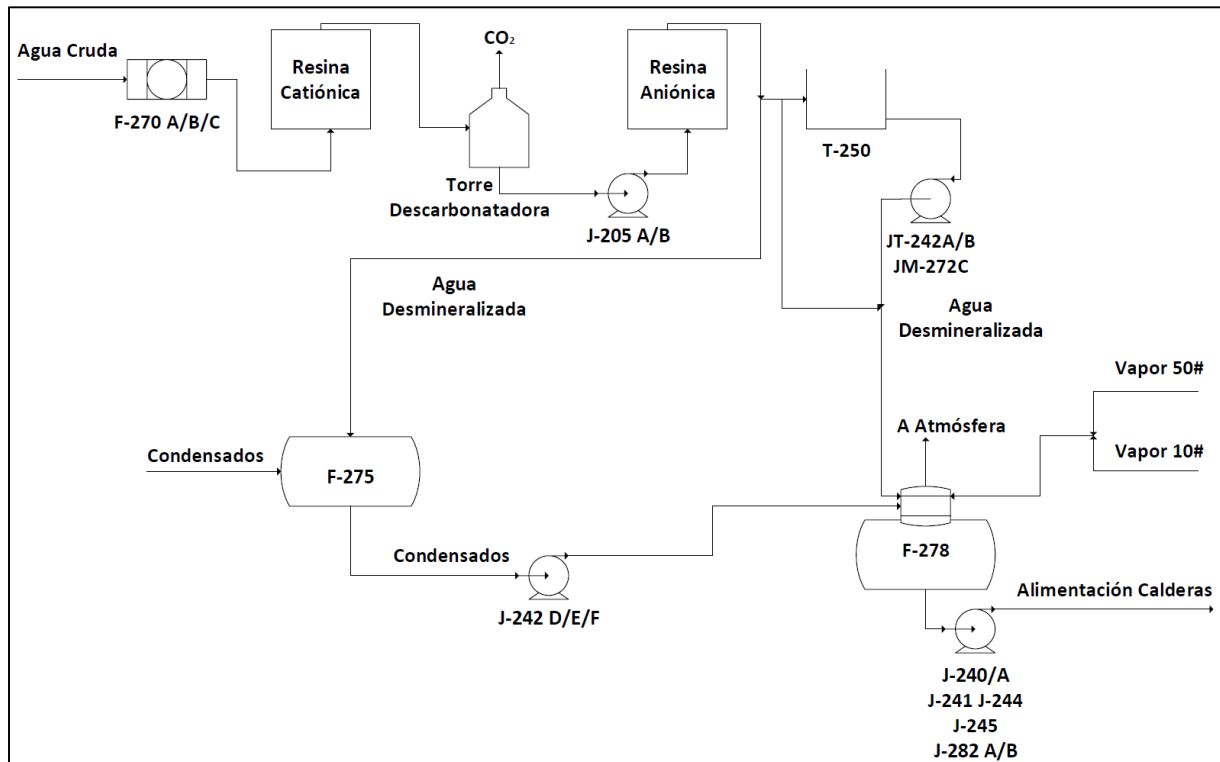


Figura 2.2: Proceso de desmineralización - desaireación

## 2.2 Intercambiadores de Calor

Los intercambiadores son equipos utilizados para transferir calor entre 2 corrientes de proceso que se encuentran a diferentes temperaturas (corriente caliente/ corriente fría). El flujo al interior de un intercambiador puede ser a Cocorriente, Contracorriente y Cruzado.

En el primer caso ambos fluidos ingresan por el mismo extremo del intercambiador y fluyen de manera paralela saliendo por el otro extremo. Las variaciones de temperatura son idealizadas como unidimensionales, existiendo una mayor diferencia de temperatura al ingresar al intercambiador, la cual disminuye en el paso de este. Termodinámicamente es una de las disposiciones menos eficientes, sin embargo, se emplea cuando los materiales son sensibles a la gradiente de temperatura, puesto que se obtiene una temperatura más uniforme, si se desea mantener la eficiencia del proceso independiente de las variaciones de flujos y para procesos de ebullición puesto que favorece la nucleación. El perfil de temperatura a cocorriente se muestra en la Figura 2.3.

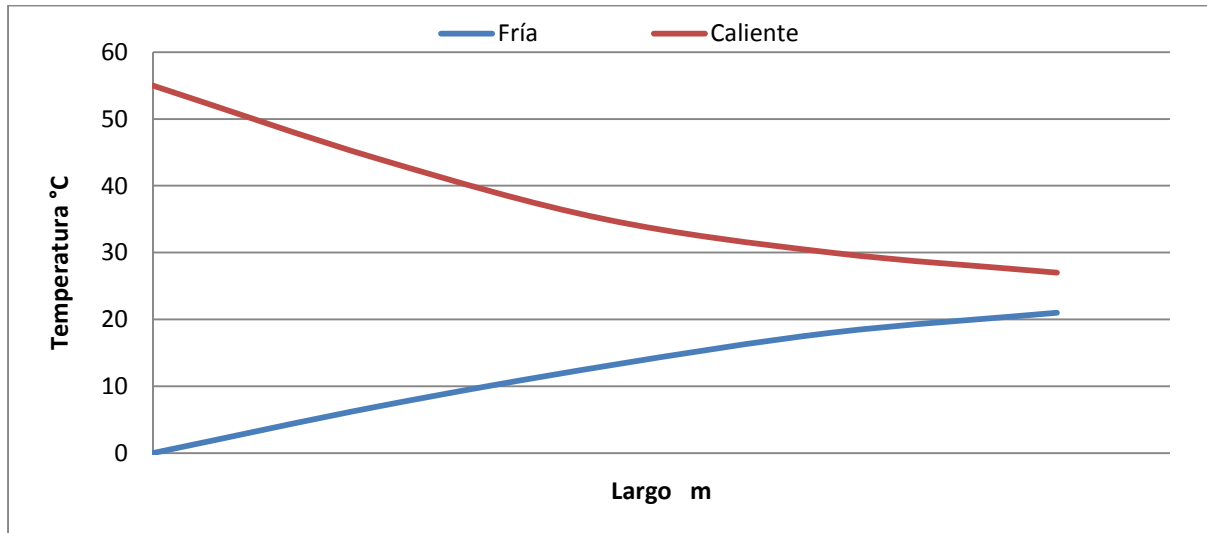


Figura 2.3: Perfil de Temperatura Co-Corriente

Para el caso de contracorriente, los fluidos fluyen en direcciones opuestas el uno al otro. La diferencia de temperaturas entre ambas corrientes se mantiene constante durante el paso de los fluidos por el intercambiador, por lo que resulta ser el arreglo más eficiente. La Figura 2.4 presenta el perfil a contra corriente a lo largo del intercambiador.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

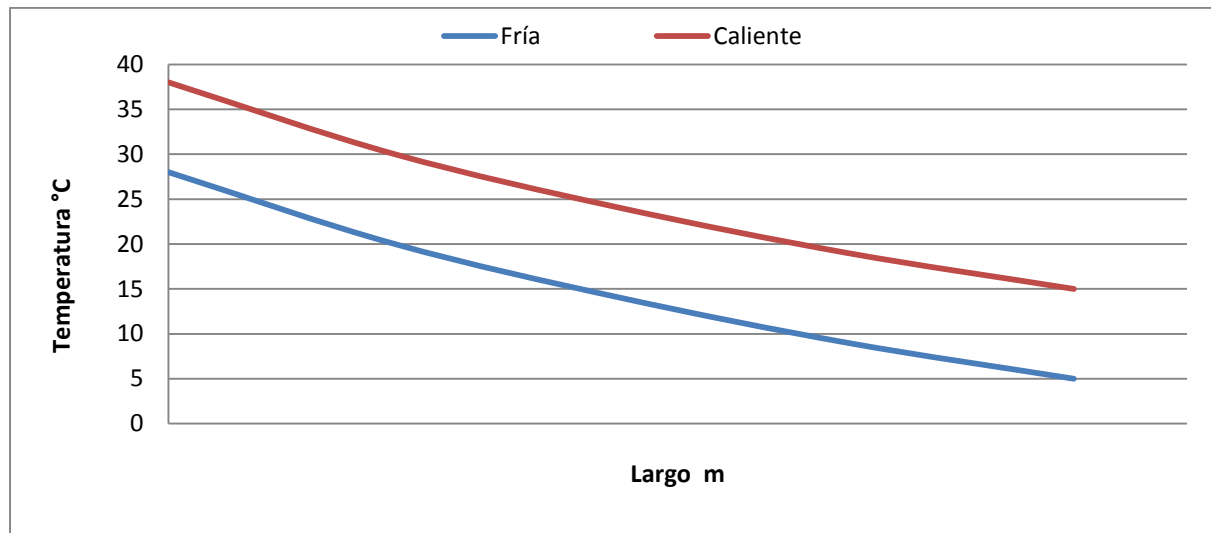


Figura 2.4: Perfil de Temperatura ContraCorriente

Puesto que el flujo a contra corriente es más eficiente que el contracorriente se requiere de una longitud menor para obtener una diferencia de temperatura equivalente.

Finalmente, en el flujo cruzado las corrientes son perpendiculares entre sí, por lo cual las variaciones de temperaturas se consideran bidimensionales. La eficiencia se encuentra intermedia al flujo cocorriente y contracorriente, presentadas anteriormente.

La mayoría de los intercambiadores de calor, no son exclusivamente de un solo tipo, sino que se da una combinación de los tipos de flujos.

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

### 2.2.1 Tipos de Intercambiadores de Calor

Los intercambiadores de calor pueden ser de distinto tipo: de placas, de doble tubo, aéreo enfriadores, de tubos y coraza. La Tabla 2.1 realiza una comparación cualitativa para la elección del tipo de intercambiador más adecuado según las condiciones de operación.

Tabla 2.1: Comparación Tipos de Intercambiador

Tipo de Intercambiador	Característica significativa	Aplicación mejor ajustada	Limitaciones
De tubos fijos	Las 2 placas del tubo están fijas al casco	Condensadores; líquido – líquido; gas líquido; enfriamiento y calentamiento horizontal o vertical; rehervidores	Diferencia de temperaturas en los extremos de 95°C
De cabezal o tubos flotantes	Una placa de tubos “flota” en la coraza, el haz de tubos, puede o no ser desmontable del casco, pero la cubierta se puede quitar para dejar expuestos los extremos del tubo	Diferencia de temperatura mayor a 95°C. Fluidos sucios que requieren una limpieza interior y exterior. Horizontal o vertical.	Las empaquetaduras presentan riesgo de fugas. Las partes flotantes del lado del casco pueden verse afectadas por fluidos corrosivos. Confinados a unidades horizontales.
Tubos en U	Solo se requiere una placa de tubos que es desmontable, doblados en forma de U	Elevadas diferencias de temperaturas que podrían requerir medidas relacionadas con la expansión en las unidades de tubos fijo. Servicio limpio o condiciones para una fácil limpieza tanto en el lado de los tubos como coraza. Presión extrema en	Los dobleces se deben hacer con cuidado o se pueden tener daños mecánicos y peligro de ruptura. Las velocidades por el lado de los tubos pueden causar erosión al interior de las curvas. El fluido no debe tener partículas

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

		un lado Horizontal o vertical	suspendidas. Dificultad de limpieza al interior de tubos y exterior en sector curvo.
Doble tubo	Cada tubo tiene su propia coraza, formando un espacio anular para el fluido del lado de este último.  Uso de tubos con aletas externas	Servicio con área de transferencia de calor relativamente pequeña.  Para presiones en lado del tubo de 400 psig.	Servicios apropiados para tubos con aleta.  Montaje costoso y requiere mayor espacio
De placas	Compuesto de delgadas placas metálicas moldeadas, separadas por empaques, es compacto y de fácil limpieza	Fluidos viscosos, pastosos y corrosivos, con una elevada transferencia de calor.	Ebullición o condensación.  Temperaturas menores a 150-180°C.  Solo para líquido – líquido.
De serpentín	El serpentín para sumersión en una caja de agua o para ser rociado con agua es el tipo de intercambiador más sencillo	Condensación  Cargas de calor sensible relativamente bajas	Bajo coeficiente global de transferencia de calor.  Requiere mayor área de transferencia para una alta carga de calor.
De secciones abiertas de tubos (enfriados por agua)	Los tubos no requieren coraza, solo los cabezales de los extremos, suelen ser largos; el agua se rocía sobre la superficie; los tubos se descascaran por expansión y contracción. También	Condensación  Carga de calor sensible bajas	Bajo coeficiente global de transferencia de calor.  Requiere menor área de transferencia en comparación al serpentín.

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

	se puede usar en caja de agua		
De secciones abiertas de tubos (enfriados por aire)	Los tubos no requieren coraza, solo los cabezales de los extremos.	Condensación; alto nivel de transferencia de calor	Bajo coeficiente de transferencia de calor si la convección es natural, pero puede ser mejorada al ser forzado el aire por los tubos
En espiral	Compacto, de placas concéntricas, no cuenta con tubos de by pass, elevada turbulencia	Flujo cruzado, condensación, calentamiento	Corrosión en Material suspensión

Fuente: Procesosbio

### 2.2.2 Intercambiadores de tubos y carcasa

De los diferentes tipos de intercambiadores existentes, el intercambiador de tubo y carcasa corresponde ser el más utilizado en las refinerías y plantas químicas puesto que proporciona elevados flujos de calor respecto a su peso y volumen, es versátil por lo cual se puede diseñar para ser utilizado en diversas aplicaciones y posee un simple mantenimiento y limpieza.

Estos son diseñados bajo los estándares publicados por la norma TEMA, la que presenta 3 estándares para la construcción mecánica los cuales especifican diseño, fabricación y materiales a utilizar en los intercambiadores de tubo y coraza. La clase R para aplicaciones en refinerías de petróleo, la clase C para aplicaciones en procesos comerciales y la clase B para servicio en procesos químicos.

Además, TEMA propone un sistema de normas para la designación en la configuración de los intercambiadores, compuesta por 3 letras. La primera letra define el tipo de cabezal frontal, la segunda el tipo de coraza y la tercera el tipo de cabezal posterior.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

### 2.2.2.1 Cabezal Frontal

**TEMA A:** Este tipo de cabezal es de fácil reparación y reemplazo. Consiste en ductos cilíndricos con sellos en ambos extremos, uno ubicado entre la placa de tubos y el cabezal, la otra entre el cabezal y el fin del revestimiento. Este tipo de cabezal se utiliza cuando se pretende realizar una limpieza al interior de los tubos o repararlos sin tener que estorbar la cañería. Corresponde ser el cabezal más común entre los cabezales fijos y se aplica con placa de tubos, tubos en U y banco de tubos removibles.

**TEMA B:** Es el más económico, además es más seguro que el tipo A cuando se opera a altas presiones debido a que el cabezal solo tiene solo un sello. Una desventaja es que para tener acceso a los tubos requiere interrumpir el trabajo de la cañería para remover el cabezal, por lo que se utiliza cuando la limpieza al interior de los tubos no es necesaria con gran frecuencia.

**TEMA C:** Esta aplicación se tiene cuando las presiones son mayores a 100 bar. Este permite el acceso a los tubos sin estorbar la cañería, pero es difícil reparar y reemplazar porque el haz de tubos es un parte integral del cabezal.

**TEMA D:** Este tipo de cabezal es el más costoso. Se utiliza para presiones mayores a 150 bar, permite el acceso a los tubos sin estorbar la cañería, pero es difícil reparar y reemplazar porque el haz de tubos forma parte del cabezal.

**TEMA N:** La ventaja que tiene es que se puede acceder sin perturbar la cañería y es más económico que el TEMA A, sin embargo, son difíciles de mantener y reemplazar tanto el cabezal como la placa de tubos, ya que son una parte integral de la coraza.

### 2.2.2.2 Configuración de la Coraza

**TEMA E:** Esta configuración corresponde a un paso del fluido por la coraza. Las boquillas se encuentran ubicadas en el lado opuesto, por lo que el fluido entra por un lado y sale por el otro. Este es el más común y el mejor arreglo para la construcción de intercambiadores, puesto que es el más eficiente y además es el más económico.

**TEMA F:** Este tipo de configuración posee dos pasos por la coraza, puesto que posee un *baffle* longitudinal que divide a la coraza en 2 partes. El fluido entra por un lado de la coraza, atraviesa todo el intercambiador a lo largo de este a través de una mitad de la sección cruzada de la coraza, dobla y fluye por el segundo paso, posteriormente deja por el final del segundo paso. Se obtiene un mayor coeficiente de transferencia de calor debido a la turbulencia generada y, por consiguiente, existe una mayor caída de presión del fluido que circula por la coraza. Este tipo generalmente es usado para flujo a contracorriente y en situaciones en las que

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

hay cruce de temperaturas, es decir, situaciones donde la corriente fría deja el intercambiador a una temperatura más alta que la temperatura de salida de la corriente caliente. El principal problema con este tipo de unidad son las posibles fugas hidráulicas y termales a través del *baffle* longitudinal.

**TEMA G:** Es un *Split Flow*. Esta construcción es usualmente empleada para rehervidores horizontales, denominados termosifón, y donde es necesario que la caída de presión se mantenga baja. Hay solo un plato de soportes centrales continuos, por lo que no hay *baffles*. Este tipo no puede ser usado para intercambiadores con un largo mayor a 3 metros. Generalmente se utiliza para intercambiadores de calor de 1,5 metros, aunque esto varía según el diámetro externo del tubo, espesor y material.

**TEMA H:** Básicamente son 2 TEMA G ubicados lado a lado, de tal forma que hay 2 platos soportes. Se describe como una configuración doble *Split*, puesto que el flujo es dividido 2 veces y recombinado otras 2. Esta construcción es invariablemente empleada para rehervidores horizontales termosifón. La ventaja de esta configuración es la menor caída de presión y no hay *baffles* cruzados.

**TEMA J:** El flujo es dividido en la carcasa, para que entre a la coraza por el centro de esta. Para esto, se divide la corriente de entrada en 2 mitades, lo que reduce la velocidad sobre los tubos y, en consecuencia, reduce la caída de presión y la probabilidad de vibración en el tubo. Luego de la división, una corriente fluye hacia la izquierda y otra hacia la derecha, saliendo en formas separadas. Se puede dar una configuración  $J_{1-2}$ , mencionada anteriormente, o  $J_{2-1}$  donde la corriente puede ser dividida en 2 mitades antes de entrar a la coraza y fluyen hasta el final de la carcasa donde salen del intercambiador en una sola corriente. Esta configuración de coraza se utiliza cuando se excede la caída de presión permitida.

**TEMA K:** Usualmente se utiliza solo para rehervidores tipo *Kettle* para proveer un gran espacio de desacoplamiento en orden de minimizar el líquido cargado.

**TEMA X:** Es un flujo cruzado puro, donde el fluido entra a la coraza por el tope de esta, fluye a través de los tubos y sale por el lado opuesto de la coraza. El flujo podría ser introducido a través de múltiples boquillas ubicadas estratégicamente a lo largo de la carcasa en orden de alcanzar una mejor distribución. La caída de presión es extremadamente baja en la coraza y la existente se genera en las boquillas. Esta configuración es empleada para enfriamiento o condensación de vapores de baja presión, particularmente a vacío.

### 2.2.2.3 Cabezal posterior

**TEMA L:** Este tipo de cabezal es usado solo con la placa de tubos fija, ya que la placa de tubos es soldada a la coraza y el acceso a la parte exterior del tubo no es posible. Su principal ventaja es que para acceder al interior del tubo no hay que remover ninguna cañería. Los espacios libres entre el haz de tubos y la coraza son pequeños, por lo cual se utiliza para fluidos con un bajo coeficiente de ensuciamiento por la carcasa. Tiene la desventaja de que requiere una pieza de expansión laminar más allá del haz tubular para permitir una gran expansión termal, lo cual limita la operación permitida para temperaturas y presión.

**TEMA M:** Este tipo es similar al L, pero ligeramente más barato. Sin embargo, el cabezal debe ser removido para tener acceso a los tubos. Se debe tener un cuidado especial debido a las limitaciones en presión y temperatura.

**TEMA N:** La ventaja de este tipo de cabezal es que se puede tener acceso a los tubos sin interrumpir la cañería. Sin embargo, es difícil para mantener y reubicar, ya que el cabezal y el haz tubular son una parte integrada de la coraza

**TEMA P:** Consiste en un cabezal flotante empacado en el lado exterior. En teoría, este cabezal flotante es de bajo costo, el cual permite acceder al lado interno de los tubos para limpiar y remover el haz tubular. Sin embargo, presenta diversos problemas entre los que se encuentran:

- Alto espacio libre entre el haz tubular y la coraza con el objetivo de sacar el haz.
- Es limitado para baja presión y fluidos no peligrosos, porque el fluido del lado de la coraza tiende a filtrarse a través de los anillos de empaquetadura.
- Solo se permite una pequeña expansión termal.

**TEMA S:** Es la configuración más común y más costosa en la industria de procesos químicos. La cubierta del cabezal flotante es asegurada contra la placa de tubos flotantes por atornillamiento a un ingenioso anillo de respaldo dividido. En este cierre el cabezal flotante es ubicado más allá del final de la coraza y es contenida por la cubierta de la carcasa con el objetivo de soportar las grandes diferencias termales, la placa de tubos se puede mover libremente dentro de la cubierta de la coraza. Para desmantelar el intercambiador de calor, la cubierta de la coraza es removida primero, luego el anillo de división de respaldo y luego la cubierta del cabezal flotante, después el haz de tubos puede ser removido desde el final estacionario.

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

**TEMA T:** Tiene la ventaja de que el haz de tubos puede ser removido desde la coraza sin remover la cubierta de la cabeza flotante, lo que reduce el tiempo de mantenimiento. Este diseño es particularmente sugerido para rehervidores que presenten un coeficiente de ensuciamiento donde los tipo U no pueden ser empleados. Esta construcción tiene el más alto costo de los tipos de intercambiadores debido a que la coraza es de mayor tamaño. Es más económico y más fácil de remover que el tipo S, pero permite una ilimitada expansión termal, lo que hace que haya un gran espacio entre el haz tubular y la coraza. Es más costoso que un cabezal fijo y uno tipo U.

**TEMA U:** Tal como su nombre lo indica, los tubos se disponen en forma de U. El bajo costo de la placa de tubos es opacado por costos adicionales incurridos para la flexión de los tubos, estando unidos a una única placa portadora de tubos. De esta manera los tubos pueden moverse relativamente hacia la coraza eliminando los problemas de movimiento diferencial entre el tubo y esta. Como el haz de tubos puede ser retirado, el exterior de los tubos puede ser limpiado con medios mecánicos, pero usualmente es necesaria la limpieza con medios químicos al interior de los tubos. Por lo anterior, surge la limitante de operar con fluido limpios. Otra restricción es que al poseer una curvatura, se ve impedido el reemplazo de tubos que se encuentran dañados en la parte más interna, por lo que solo deben ser taponeados. Su aplicación directa es donde existe un gran choque térmico y alta caída de presión.

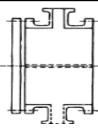
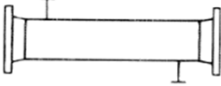
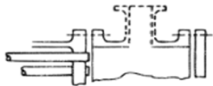
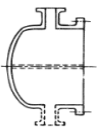
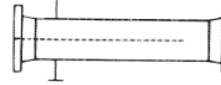
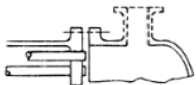
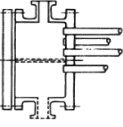
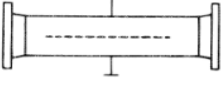
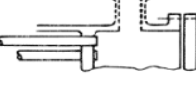
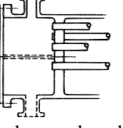
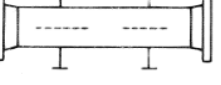
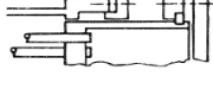
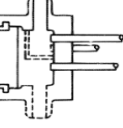
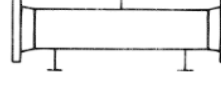
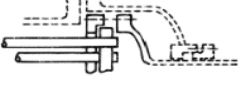
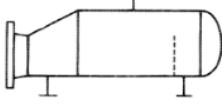
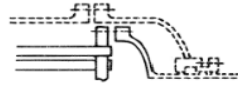

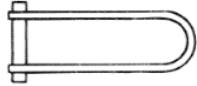

**TEMA W:** Este es un haz tubular flotante empacado con un anillo linterna. Es el más barato de los cabezales flotantes, puede ser utilizado para expansión termal ilimitada y, además, el haz tubular puede ser removido para su limpieza. Los principales problemas de este tipo de cabezal son:

- Gran espacio libre entre el haz tubular y la coraza.
- Está limitado para bajas presiones y para fluidos no peligrosos, porque ambos fluidos tiende a filtrarse a través de los anillos de empaquetadura

Lo anteriormente explicado se resume en la Tabla 2.2 correspondiente a la hoja TEMA.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Tabla 2.2: TEMA

CABEZAL FRONTAL	TIPO DE CORAZA	CABEZAL POSTERIOR
A  Canal y Cubierta Removible	E  Un Paso por la Coraza	L  Cabezal Estacionaria Placa de tubos fijo tipo A
B  Bonnet (Cubierta integrada)	F  Dos Pasos por la Coraza	M  Cabezal Estacionaria placa de Tubos Fijo Tipo B
C  Canal Integrado con placa de tubos y Cubierta Removible	G  <i>Split Flow</i>	N  Cabezal Estacionaria placa de Tubos Fijo Tipo N
N  Canal Integrado con placa de tubos y Cubierta Removible	H  Doble <i>Split Flow</i>	P  Cabezal Flotante Empaquetado en el Exterior
D  Especial para altas caídas de presión	J  Flujo dividido	S  Cabezal Flotante con Dispositivo de Respaldo
	K  Rehervido tipo Kettle	T  Cabezal Flotante Montado Axial
	X  Flujo Cruzado	U  Haz de Tubo en U
		W  Haz de Tubos Externamente Soldado

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

La Tabla 2.3 presenta un cuadro comparativo donde se establecen criterios para seleccionar una configuración de intercambiador de tubos y carcasa.

Tabla 2.3: Cuadro comparativo selección de Intercambiadores

<b>Tipo de diseño</b>	<b>De tubo en U</b>	<b>De tubos fijo</b>	<b>De cabezal flotante empacado en el exterior</b>	<b>De cabezal flotante con anillo de respaldo partido</b>
<b>Medidas para la expansión diferencial</b>	Tubos por separado con libertad de expansión	Juntas de expansión en la coraza	Cabezal flotante	Cabezal flotante
<b>Haz de tubos desmontable</b>	Sí	No	Sí	Sí
<b>Posible reemplazo del haz de tubos</b>	Sí	No es práctico	Sí	Sí
<b>Limpieza interior de los tubos</b>	Difícil en forma mecánica, pero sí química	Mecánica o Química	Mecánica o Química	Mecánica o Química
<b>Limpieza exterior de tubos con arreglo triangular</b>	Química	Química	Química	Química
<b>Limpieza exterior de tubos con arreglo cuadrado</b>	Mecánica o Química	Química	Mecánica o Química	Mecánica o Química
<b>Limitaciones de pasos por los tubos</b>	Solo número par	No tiene limitaciones	No tiene limitaciones	No tiene limitaciones
<b>Empaques internos eliminados</b>	Sí	Sí	Sí	No

## 2.3 Condiciones generales

### 2.3.1 Criterios de diseño intercambiador

La norma TEMA establece condiciones y criterios generales para intercambiadores de calor de tubos y coraza que no deben ser excedidos:

- (1) Diámetro interno de 25.400 mm.
- (2) El producto del diámetro nominal en mm y la presión de diseño en kPa:  $17,5 \cdot 10^6$ .
- (3) Presión de diseño 20.684 kPa.
- (4) Espesor máximo de coraza: 76 mm.

### 2.3.2 Clases

**Clase R:** La TEMA *Mechanical Standard* para clase R especifica el diseño y fabricación de intercambiadores de calor de tubos y coraza con un servicio severo máximo, empleados en la industria del petróleo y aplicaciones relacionadas. La seguridad y durabilidad son aspectos requeridos al momento de diseñar un intercambiador.

**Clase C:** La TEMA *Mechanical Standard* para clase C especifica el diseño de intercambiadores para requerimientos moderados de aplicaciones comerciales y procesos en general.

**Clase B:** La TEMA *Mechanical Standard* para clase B especifica diseño y fabricación de intercambiadores de tubos y coraza para servicios de procesos químicos

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

La Tabla 2.4 presenta criterios de diseño para intercambiadores clase R

Tabla 2.4: Criterios de diseño intercambiadores tipo R

Tópico	TEMA R
Definición	Generalmente para diversos requerimientos de petróleo y aplicaciones relacionadas
Corrosión permitida en acero al carbono	3,175 mm
Diámetro de tubos	19,05; 25,4; 31,75; 50,8
<i>Pitch</i> de tubos	1.25*OD tubo
Mínimo carril de limpieza	6,35 mm
Diámetro mínimo de coraza	203,2 mm
Diámetro mínimo <i>Tie Rods</i>	9,525 mm
Espesor longitudinal de <i>Baffle</i>	6,35 mm
Materiales empaquetadura	Metal enchaquetado o metal sólido
Superficie de contacto periférica empaquetadora	Tolerancia de plenitud especificada
Espesor mínimo de arreglo de tubos con juntas de expansión	Diámetro exterior del tubo
Orificio de tubo ranurado	2 ranuras
Longitud de expansión	Menor a 25,4 mm o espesor de placa de tubos
Paso de partición de placa de tubos ranurados	4,76 mm
Conexiones de toma de tuberías	Acoplamiento 6000 psi con enchufe de acciones barra
Conexión de medidor de presión	Requiere boquillas 2 in & up
Construcción de boquillas	No referidas a los flanges
Mínimo tamaño de tornillo	19,05 mm

### 2.3.3 Presión de Diseño

La presión de diseño de cada componente en un sistema de *piping* deberá ser mayor que la presión a la condición más severa de presión externa e interna esperada durante la operación. La condición más severa corresponde en donde se alcanza el mayor espesor y el *rating* más alto del componente (ASME31.3, 1999).

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Cuando existe más de un set de condición presión - temperatura para un sistema de *piping*, las condiciones que regulan el *rating* de los componentes pueden diferir de las condiciones diseñadas conforme a lo estándar (ASME31.3, 1999).

Cuando una cañería es separada a una cámara individual de contención de presión incluyendo cañerías encaquetadas, la partición del muro será designada en la condición básica más severa de temperatura y diferencial de presión esperadas entre las cámara adjuntas (ASME31.3, 1999).

La presión mínima de diseño para la coraza y los tubos debe ser especificada. Este valor no debe ser inferior a:

- Máxima presión de *shut off* de la bomba, cuando el intercambiador puede ser bloqueado y exponga a un cierre de la bomba.
- 10% más que la máxima presión de operación, donde el intercambiador es protegido por una válvula de *relief* o alivio. Para determinar las condiciones de alivio, es necesario realizar un balance de presiones al calcular la presión de diseño.
- 3,880 kg/cm<sup>2</sup>.

El análisis de procesos riesgosos para intercambiadores de tubos y coraza debe considerar escenarios para evaluar los efectos de una potencial sobrepresión causada por una ruptura de tubo, esto se evita si la razón entre la presión de diseño baja y alta es igual a 10/13 (API521, 2007) .

### 2.3.4 Temperatura de diseño

La temperatura de diseño de cada componente en un sistema de *piping* es la temperatura a la cual, bajo la presión coincidente, se otorga el mayor espesor o el más alto componente de *rating* requerido de acuerdo a los requerimientos de presión, por lo cual representa la condición más severa. La temperatura de diseño incluye la menor temperatura del fluido, la temperatura ambiente, radiación solar, temperaturas medias de calentamiento o enfriamiento (ASME31.3, 1999).

Por lo anterior, la temperatura de diseño no debe ser inferior a:

- Máxima temperatura de operación más 25 °C.
- Temperatura a la cual existe sobrepresión.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

La temperatura mínima de diseño es la más baja temperatura esperada durante el servicio. Esta temperatura puede establecer requerimientos especiales de diseño y calificaciones de materiales. Generalmente, coincide con la temperatura ambiente.

### 2.3.5 Largo de los tubos

Se recomienda para intercambiadores de calor un largo de tubos de 6 a 8 m. La longitud de los tubos usualmente utilizados son 2.438 mm, 3.048 mm, 3.658mm, 4.877 mm y 6.069 mm (TEMA, 2007).

### 2.3.6 Diámetro de los tubos

Mientras menor sea el diámetro de los tubos, menor será el costo del intercambiador, ya que esto implica que se puede acomodar una mayor cantidad de estos en un diámetro de coraza definido, para un número de pasos dados. Pero por otro lado la consideración de la pérdida de carga obliga a tener diámetros de tubos mayores.

Intercambiadores con tubos cuyo diámetro externo sea menor a 19,04 mm no debería ser usado para servicios sucios, ya que no es posible efectuar una limpieza mecánica ni química. El uso de diámetros menores a ½ pulgada se garantiza solo para intercambiadores con un área de 20 a 30 m<sup>2</sup>.

### 2.3.7 Espesor de tubos

El espesor de pared del tubo, debe ser capaz de soportar la presión interna y externa, tensiones longitudinales, consideraciones mecánicas y corrosión. En ningún caso el espesor total deberá ser menor que la corrosión permitida.

Una ecuación básica para el cálculo del espesor mínimo de la pared es la de Barlow (Ecuación 1). En ella se considera un factor de seguridad de 2, donde P corresponde ser la presión interna de diseño, D diámetro externo y  $\sigma_F$  esfuerzo de fluencia del material.

$$\varepsilon = \frac{PD}{2\sigma_F} \quad \text{Ecuación 1}$$

No obstante, el espesor requerido para soportar presiones y tensiones longitudinales hasta 40 kg/cm<sup>2</sup> es menor en comparación al espesor de corrosión. Se suele especificar un espesor de los tubos de acuerdo al diámetro externo y el material seleccionado., tal como lo presenta la siguiente Tabla 2.5.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Tabla 2.5: Espesor Recomendado según material

Material	Diámetro externo mm	Espesor mm
Acero al carbono	19,05	2,108
Acero al carbono	25,4	2,789
Aleaciones de cobre	19,05	1,651
Aleaciones de cobre	25,4	2,1
Acero inoxidable	19,05	1,651
Acero inoxidable	25,4	2,108
Titanio	19,05	1,016
Titanio	25,4	1,651

Fuente: Técnicas Reunidas

### 2.3.8 Layout de los tubos patrón

Al momento de diseñar un intercambiador de calor existen 4 posibles arreglos para la distribución de los tubos: triangular ( $30^\circ$ ), triangular rotado ( $60^\circ$ ), cuadrado ( $90^\circ$ ) y cuadrado rotado ( $45^\circ$ ). Un arreglo triangular o rotado permitirá acomodar una mayor cantidad de tubos que cualquiera de los dos arreglos de tipo cuadrado. Un arreglo triangular produce una turbulencia mayor y consecuentemente un coeficiente de transferencia de calor más alto.

El arreglo triangular limita la limpieza de los servicios que pasan por la coraza, por lo cual se limita para servicios que requieran una limpieza mecánica por este lado, siendo el arreglo cuadrado el más recomendado.

Cuando el número de Reynolds por el lado de la coraza es menor a 2000, es ventajoso emplear un arreglo cuadrado porque produce una mayor turbulencia, lo que se traduce en una alta eficiencia de conversión de la caída de presión en la transferencia de calor.

Integrando lo anteriormente mencionado, un arreglo triangular se recomienda para un intercambiador del tipo tubos fijos, ya que este es apto para servicios limpios. Un arreglo cuadrado se asocia a intercambiadores de cabezal flotante puesto que esta construcción permite el paso de servicios sucios por ambos lados (coraza y tubo).

### 2.3.9 Pitch de tubos

Se define como la distancia más corta entre 2 tubos adyacentes. Para un arreglo de tipo triangular TEMA especifica un pitch mínimo de 1,25 veces el diámetro externo. Esto usualmente es 25 mm para tubos de 19,05 mm de diámetro externo.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Para arreglos de tipo cuadrado TEMA adicionalmente recomienda un mínimo de carril equivalente a  $\frac{1}{4}$  de una pulgada entre tubos adyacentes. El pitch mínimo para un arreglo de este tipo también es 1,25 veces el diámetro externo.

Algunos diseñadores prefieren emplear el pitch mínimo recomendado porque lleva a que el diámetro de la coraza sea más pequeño para un número dado de tubos. Sin embargo, hay casos que el pitch debe ser aumentado para reducir la caída de presión en el lado de la coraza, particularmente para flujos cruzados.

### 2.3.10 Baffles

Dispositivo instalado para dirigir el fluido por el lado de la coraza por fuera de los tubos, ya que optimiza la transferencia de calor. Pueden ser transversales o longitudinales. Estos últimos se utilizan para aumentar el paso del fluido por la coraza, siendo denominados divisores de paso. Los transversales se emplean para soportar, mantener el espaciamiento de los tubos para evitar vibraciones ocasionadas por los vórtices del flujo y dirigir el flujo del fluido en la dirección deseada a través de la coraza. Estos cambios en la velocidad incrementan el coeficiente de transferencia de calor debido a las turbulencias generadas. Los deflectores transversales pueden ser segmentado de diferentes tipos: simple (el más común), doble (usado para obtener una velocidad baja por el lado de la coraza y por consiguiente una menor caída de presión) o triple con o sin tubos en su ventana, multisegmentados o de disco y anillo.

Espaciamiento entre baffles: es la distancia centro a centro entre 2 baffles adyacentes. Es el parámetro en el diseño de intercambiadores de tubo y coraza. La norma TEMA especifica que el espaciamiento mínimo sea de 2 pulgadas o que se encuentre en un rango de  $\frac{1}{5}$  del diámetro interno y el diámetro interno de la coraza. Un espaciamiento pequeño resultará en una pobre penetración del fluido por el lado de la coraza y dificultará la limpieza mecánica en la parte exterior de los tubos. Además un espaciamiento pequeño resultará en una corriente con una pobre distribución. Por el contrario el máximo espaciamiento corresponde al diámetro interior liderará a flujos longitudinales, disminuyendo la caída de presión los cuales lo harán menos la eficiente que en un flujo cruzado.

Corte de baffle: representa la altura de segmento que es cortada en cada baffle para permitir al fluido que va por la coraza atravesar el baffle. Esto es expresado como un porcentaje del área libre neta dentro de la coraza. El corte adecuado fluctúa entre 20% a 35%, este rango se recomienda porque tener un corte menor a 20% para incrementar el coeficiente de transferencia de la coraza o incrementar por sobre el 35% para disminuir la caída de presión termina ocasionando diseños pobres.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

La orientación del corte del *baffle* es importante para intercambiadores de calor horizontales. El corte debe ser horizontal. Cuando el calor transferido en el lado de la coraza es solo calor sensible y no hay cambio de fase, esto causa que el fluido ascienda y descienda, previniendo la estratificación con el fluido más caliente en la parte superior y el más frío en la parte inferior de la coraza.

### 2.3.11 Caída de presión

La velocidad másica influye fuertemente en el coeficiente de transferencia de calor. Para flujos turbulentos, por el lado del tubo el coeficiente cambia en un exponente de 0,8 respecto a la velocidad y para el lado de la coraza en un exponente de 0,55. Altas velocidades generan erosión del material, sin embargo, esto se controla manteniendo una baja caída de presión, impidiendo que la erosión sea alcanzada. Además, la caída de presión es proporcional al cuadrado de la velocidad y el total del largo del viaje.

La caída de presión recomendada es de 0,7 kg/cm<sup>2</sup> para la coraza y para el lado del tubo 1,76 kg/cm<sup>2</sup> por unidad de intercambiador.

### 2.3.12 Velocidades recomendadas

La velocidad promedio de circulación recomendada para cumplir con los criterios respecto a la caída de presión se presenta en la Tabla 2.6:

Tabla 2.6: Velocidades Recomendadas

<b>CORAZA</b>	<b>TUBOS</b>
0,3 a 1 m/s	1 a 2,5 m/s

Para el caso del aceite decantado, la velocidad de diseño a las condiciones normales de operación debe estar entre 1,5 a 2,1 m/s. La velocidad mínima se establece para evitar la sedimentación de partículas en suspensión que puedan tapar los tubos, mientras que la velocidad máxima se establece para evitar la erosión.

TEMA recomienda la instalación de protecciones dependiendo de la energía cinética del fluido. Se deben tomar consideraciones especiales las cuales serán especificadas para los dispositivos con el objetivo de prevenir o minimizar la erosión del haz tubular bajo las siguientes condiciones. Una placa de choque u otro mecanismo de protección de la placa tubular deberá ser instalada si:

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

El producto de la densidad por velocidad al cuadrado  $\rho v^2$  para fluidos no abrasivos de una fase supera los  $2.232 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}$  y para otros líquidos incluyendo un líquido a temperatura de ebullición si supera los  $744 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}$ .

### 2.3.13 Número de pasos

Al incrementar el número de pasos del fluido por los tubos se requiere de una menor cantidad de estos para un diámetro de coraza fijo. La cantidad de pasos por los tubos puede variar desde 1 hasta 10 pasos, donde con una mayor cantidad de pasos, aumenta la velocidad del fluido, y por ende, incrementa el coeficiente de transferencia de calor. Sin embargo se debe tener la consideración de que  $\rho v^2$  no sea menor a  $8.996 \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}$ .

### 2.3.14 Selección del fluido por tubo o coraza

El procedimiento de selección para un diseño específico de intercambiador involucra la consideración de requerimientos en condiciones de procesos, operación y mantenimiento. Dependiendo de la importancia relativa de estos factores, deben ser seleccionados analizarse y evaluarse uno o diversos diseños.

La selección del fluido que circula por el lado de los tubos influenciará la selección del tipo de intercambiador y la evaluación requerida de los factores para alcanzar un diseño satisfactorio. A continuación se presentan los factores a considerar en el momento de seleccionar el paso de un fluido por cada lado del intercambiador de acuerdo a sus propiedades.

- Limpieza: Dada la forma que posee la coraza es difícil de limpiar, por lo cual se sugiere que circule un fluido con el menor coeficiente de ensuciamiento.
- Corrosión: La corrosión o el proceso de limpieza debe dictar el uso de aleaciones costosas y espesores de corrosión; por lo tanto; el fluido más corrosivo requiere de un mayor espesor por lo que se recomienda ubicarlo dentro de los tubos para disminuir el costo asociado.
- Presión: la presión influye en el espesor de la estructura. Por lo tanto, el fluido que genera una mayor presión debe ir por los tubos, ya que si fuera por la carcasa el espesor requerido sería similar, pero el mayor diámetro de esta aumentaría los costos de fabricación.
- Temperaturas: las altas temperaturas reducen el estrés permisible en el material y el efecto es similar al producido por la alta presión en el espesor. Por lo tanto, si el fluido caliente circula por la coraza, podría requerir costosos adicionales para aumentar la

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

seguridad personal. Por lo anterior, se recomienda que el fluido de alta temperatura circule por dentro de los tubos.

- Riesgos o fluidos costosos: se recomienda que los fluidos peligrosos circulen por los tubos, dado que estos permiten contener el fluido en caso de fuga.
- Caída de presión: si la caída de presión en uno de los fluidos es crítica y debe ser pre-establecida precisamente, entonces el fluido debe ser colocado por los tubos.

Sintetizando lo anteriormente descrito se enlista la prioridad que posee cada fluido para circular por el lado de los tubos:

1. Agua de refrigeración.
2. Un fluido corrosivo o que podría tener depósitos de *Coke*, sedimentos u otros sólidos como catalizador.
3. Fluido con un alto coeficiente de ensuciamiento.
4. Aquel que tenga la menor viscosidad, si es que existe en gran diferencia de viscosidad.
5. El fluido a presión más alta, si es que existe en gran diferencia de presión.
6. El fluido más caliente.

### 2.3.15 Erosión y Corrosión

La erosión es la remoción mecánica acelerada de la superficie del material como resultado del relativo movimiento entre el impacto de los sólidos, líquidos y vapor o una combinación de esta.

Para prevenir el desgaste de material, se proponen mejoras en la etapa de diseño, que involucran cambios en la forma, geometría y selección de materiales. Algunos ejemplos son: incrementar el diámetro de la cañería para decrecer la velocidad, racionalización de las curvas, incrementando el espesor de la pared, y utilizar *baffles* de choque reemplazables.

La erosión puede ser causada por un gas borne de partículas catalíticas o por partículas cargadas por un líquido tal como el *slurry* (aceite decantado). En refinerías, esta forma de daño ocurre como resultado del movimiento catalítico en FCC en el sistema reactor/regenerador (válvulas, ciclones, *piping*, reactores), *piping* del aceite decanto y *Coke*. Los intercambiadores de calor utilizan placas instruidas y ocasionalmente tubos *ferrule* para minimizar los problemas de erosión.

La corrosión representa el deterioro mecánico de los materiales de construcción de un intercambiador de calor bajo la influencia del flujo agresivo de un fluido y del ambiente debido al contacto con el material del intercambiador de calor.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

En la mayoría de los casos, la corrosión juega un rol crítico, más importante que la erosión pura, (algunas veces se usa el término abrasivo).

La pérdida de flujo de metales depende de la velocidad y la concentración del impacto medio (esto es partículas, líquidos, gotas, *slurries*, flujo de 2 fases), el tamaño, la dureza y el ángulo de impacto de las partículas están sujetos a erosión.

Aleaciones suaves como el cobre y aluminio son más susceptibles a ser deterioradas, produciéndose daños mecánicos, además están sujetas a tener diferentes pérdidas por condiciones de velocidad altas.

Para cada combinación material-ambiental, existe un límite de velocidad sobre la cual las partículas que impactan producen pérdidas de metal, por lo que al exceder la velocidad más allá de este límite resulta en un aumento de las pérdidas de metal.

Incrementando la corrosividad del ambiente se puede reducir la estabilidad para proteger películas de superficie e incrementar la susceptibilidad a perder metal. Los metales pueden ser removidos desde superficies como iones disueltos o como sólidos corrosivos productos de los cuales son mecánicamente barridos desde la superficie del metal.

Algunos factores que contribuyen a incrementar la corrosividad en el ambiente son la temperatura y el pH, los que pueden incrementar la susceptibilidad a perder metal.

Todos los equipos están expuestos a mover fluidos por lo que están sujetos a la erosión y erosión-corrosión. Esto incluye el sistema de *piping*, particularmente los codos, soporte, reductores, válvulas, bombas e intercambiadores de calor.

Todos los metales, aleaciones y refractores pueden ser afectados a erosión- corrosión, es decir, el daño que ocurre cuando la corrosión contribuye a erosión por remoción protectora de películas o escalas, o por exposición de las superficies de metales, lo que promueve la corrosión combinando ambos tipos de daño.

La erosión y erosión-corrosión son caracterizadas por una localizada pérdida de espesor en forma de agujero, barrancos, olas y valles redondeados. Estas pérdidas a menudo exhiben un patrón direccional. Adicionalmente, las fallas pueden ocurrir en un corto periodo de tiempo.

La erosión-corrosión debe ser mitigada usando aleaciones mayormente resistentes a la corrosión y/o alterando el ambiente para reducir la corrosividad. Por ejemplo, la erosión-corrosión causada por la desaireación, se disminuye mediante la inyección de condensados o

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

adicionando inhibidores. Se debe tener en cuenta que la resistencia a la corrosión generalmente no mejora solo aumentando la dureza.

La corrosión permitida deberá ser mínima 1,6 mm para Acero al Carbono y aleaciones y 1 mm para acero inoxidable.

Si se utiliza revestimiento, incluyendo soldadura incrustada, el espesor del revestimiento debe ser usado como corrosión permitida.

El espesor mínimo de revestimiento del lado del tubo de una placa tubular deberá ser mayor que 10 mm cuando los tubos sufren expansión, y 5 mm cuando los tubos son soldados a la placa tubular (API 660).

### 2.3.16 pH, alcalinidad y dureza

Los índices necesarios para determinar las impurezas del agua de un sistema consideran el pH, la alcalinidad y la dureza. El pH de una solución es una medida de la actividad de iones libres  $H^+$ , expresados en  $gr \cdot mol/L$  de solución. La alcalinidad de una disolución representa una medida de la resistencia al cambio de pH al adicionar un ácido y comúnmente se expresa en  $mg CaCO_3$  de solución.

La dureza del agua se produce por la presencia de iones metálicos polivalentes capaces de originar precipitados jabonosos. Los iones que principalmente contribuyen a la dureza  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$  y  $Al^{+3}$  de los cuales solo  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$  tienen relevancia en aguas naturales. La dureza del agua se puede evaluar en base a los siguientes criterios expresados en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7: Clasificación de dureza del agua

<b>Tipo de Agua</b>	<b>Concentración ppm</b>
Agua blanda	$\leq 50-75$
Agua dura	75-200
Agua muy dura	$>200-300$

### 2.3.17 Sólidos disueltos y en suspensión.

La tendencia a la formación de costras y las características de corrosividad potencial del agua, se pueden determinar en función de la estabilidad de la especie  $\text{CO}_3^{2-}$  aplicando la ecuación de Langelier. Para ello es necesario conocer el contenido de sólidos disueltos, concentración de  $\text{Ca}^{+2}$ , alcalinidad total y pH.

El índice de saturación de Langelier (L.S.I) es la diferencia entre el pH medido y el pH calculado a saturación  $\text{pH}_s$  de  $\text{CaCO}_3$ , expresado en la Ecuación 2.

$$\text{L.S.I} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad \text{Ecuación 2}$$

El valor de  $\text{pH}_s$  se puede obtener mediante la Ecuación 3

$$\text{pH}_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo

$$\begin{aligned} A &= (\log_{10}[\text{TDS}] - 1)/10 \\ B &= -13,12 \cdot \log_{10}(\text{°C} + 273) + 34,55 \\ C &= (\log_{10}[\text{Ca}^{+2}] - 0,4) \\ D &= (\log_{10}[\text{Alcalinidad}_{\text{CaCO}_3}] - 0,4) \end{aligned}$$

El índice de Langelier permite determinar el grado de corrosión o tendencia a generar incrustaciones del agua, como se presenta en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8: Clasificación Índice Langelier

Índice de Langelier	Característica
$-2,0 < \text{L.S.I} < -0,5$	Corrosión seria
$-0,5 < \text{L.S.I} < 0$	Corrosión ligera
$\text{L.S.I} = 0$	Balanceado pero posible corrosión
$0 > \text{L.S.I} > 0,5$	Ligera formación de incrustaciones y corrosiva
$0,5 > \text{L.S.I} > 2$	Formación de incrustaciones pero no corrosiva

### 2.3.18 Selección de material

En la selección del material de los tubos se debe considerar variables operacionales como presión, temperatura y corrosión de cada fluido, dado que ambos están en contacto, ya sea la interior o exterior de los tubos.

El material más común para la construcción de intercambiadores es el acero al carbono, mientras que el acero inoxidable es usado en algunas plantas químicas para los servicios que presentan un alto grado de corrosión. Muchos intercambiadores son construidos de diferentes materiales siendo estas combinaciones satisfactoriamente convenientes para ciertos servicios.

Para aplicaciones donde la corrosión es un agente relevante, es necesario controlar que el contenido de Carbono sea menor a 0,08%. Los aceros austeníticos (serie 300) son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades. Estos se obtienen agregando Níquel al acero por lo que la estructura cristalina se transforma en austenita. La composición de Cromo fluctúa de 16% a 18%, el Níquel de 3,5% a 22% y el Molibdeno de 1,5% a 6%. El contenido de Cromo otorga alta resistencia a la corrosión debido a la formación de una película de óxido, además de permitir que el acero sea maleable, soldable y antimagnético. El Molibdeno es otro elemento anticorrosión que mejora propiedades mecánicas tanto en frío como en caliente como son la resistencia a la tracción, termofluencia, entre otras. Cabe destacar que la composición define el tipo de acero siendo los más comunes el AISI 304, 304L, 316, 316L. En la Tabla 2.9 se presenta la composición del acero 316, mientras que en la Tabla 2.10 se presentan sus principales propiedades.

Tabla 2.9: Composición Acero 316

Acero	%C	%Mn	%P máx.	%S máx.	%Si	%Ni	%Cr	%Mo	%Fe
316	0,08	2	0,04	0,03	0,75	10-14	16-18	2-3	62-69

Tabla 2.10: Propiedades Acero 316

Acero	Carga Rotura MPa	Límite Elástica MPa	Alargamiento 2''	Dureza Brinell	Dureza Rockwell
316	515	205	35	217	95

El material de los espejos, que son las placas perforadas donde remata el haz de tubos, debe ser compatible con el material de los tubos. Sin embargo, para tubos de acero inoxidable los espejos pueden ser fabricados de acero al carbono revestido con alguna aleación metálica. Los *baffles*, barras espaciadoras y listones de sellos deben ser del mismo material que la coraza.

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

### 2.3.19 Diseño de tuberías

Existen criterios para establecer la presión y temperatura de diseño de dichas tuberías, en función del material a emplear, los que se presenta en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11: Temperatura de Diseño

Tipo de material	Temperatura de operación	Temperatura de diseño
Acero al carbono	$T_{OP} < 345\text{ °C}$	$T_{OP} + 25\text{ °C}$
Acero inoxidable	$T_{OP} < 427\text{ °C}$	$T_{OP} + 25\text{ °C}$

La presión de diseño en líneas de impulsión de bombas debe ser mayor a:

- Presión de *shut off* de la bomba, si esta es conocida.
- Presión de succión más 1,2 veces  $\Delta P_{BOMBA}$ .
- Presión máxima de succión +  $\Delta P_{BOMBA}$ .

Para el resto de la línea la presión de diseño puede ser igual a la presión de operación más 1,75 kg/cm<sup>2</sup> o 1,1 veces la presión de operación.

#### 2.3.19.1 Espesor de tubería

La presión de diseño de la tubería define el *Schedule* que debe ser empleado, tal como se muestra en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12: Espesor tubería

ASA Pressure Class psi	Presión equivalente bar	Schedule
$\leq 250$	$\leq 17$	40
300 - 600	20 - 40	80

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

### 2.3.19.2 Espesor de corrosión

Se puede estimar el espesor de corrosión para cada material según técnicas reunidas del documento “criterio para diseño y dimensionamiento de tuberías”, mostrados en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13 Espesor de corrosión

Tipo de material	Temperatura de operación	Espesor de corrosión mm
Acero al carbono	$T_{OP} < 204,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	1,5
Acero al carbono	$T_{OP} > 204,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	3
Acero inoxidable	---	0,25

Para el dimensionamiento de tuberías existen criterios hidráulicos acerca de la caída de presión en válvula de control y líneas de agua, los cuales se presentan en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14: Reglas para dimensionamiento tuberías

Tipo de línea	$\Delta P_{\text{máxima}}$	Restricción
$3,5 < \Delta P_{\text{válvula control}} < 10,5 \text{ kg/cm}^2$	$0,46 \text{ kg/cm}^2 / 100 \text{ m}$	$v < 3,6 \text{ m/s}$
$1,8 < \Delta P_{\text{válvula control}} < 3,5 \text{ kg/cm}^2$	$0,23 \text{ kg/cm}^2 / 100 \text{ m}$	
Líneas de agua cortas	$0,23 \text{ kg/cm}^2 / 100 \text{ m}$	$\Delta P_{\text{máxima}} = 0,14 \text{ kg/cm}^2$
Líneas de agua largas	$0,058 \text{ kg/cm}^2 / 100 \text{ m}$	$\Delta P_{\text{máxima}} = 0,35 \text{ kg/cm}^2$
Tubería diámetro menor a 8"	$0,23 \text{ kg/cm}^2 / 100 \text{ m}$	$0,9 < v < 1,5 \text{ m/s}$

### 2.3.20 Dimensionamiento de Válvulas de Control

Para dimensionar una válvula de control es necesario especificar su  $C_v$  o  $K_v$ . Este último se define como el caudal de agua en  $m^3/h$  (medido entre 5 - 40°C) que circula a través de una válvula a una apertura dada y que genera una caída de presión de 1 bar, lo que se determina por la Ecuación 4 y 5.

$$K_v = 0,865 \cdot C_v \quad \text{Ecuación 4}$$

$$Q = K_v \sqrt{\frac{\Delta P}{s.g}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dimensionar una válvula significa determinar el diámetro del orificio de modo que cuando deba circular el caudal mínimo y máximo, la apertura de la válvula se encuentre entre un 30% y 70% de su carrera. Con estas condiciones de cálculo se asegura capacidad de regulación y rangeabilidad adecuada (razón de  $C_v$  a caudal mayor y caudal menor).

## 2.4 Levantamiento de la simulación en Aspen HYSYS

La torre fraccionadora procesa el efluente del reactor y separa todos los productos que posean un punto de ebullición mayor a la gasolina (COP, COL, Nafta pesada y aceite decantado). Para el caso del COL y la Nafta Pesada poseen un rango de punto de ebullición que es posible analizarlo mediante la curva ASTM D86 (destilación a presión atmosférica).

El aceite decantado tiene un punto de ebullición distinto al COL, por lo que se requiere de un método de análisis distinto. Este es el ASTM D1160 (destilación a presión reducida). Una vez obtenida la temperatura a la cual se recupera obtiene cierto porcentaje de la mezcla, esta debe ser ajustada para poder compararla con el otro método de destilación.

Puesto que el objetivo del *Cracking* es producir la mayor cantidad de gasolina, el foco de las refinerías se encuentra en determinar las pérdidas de COL en el decantado de petróleo, por lo que se realizan puntos de destilación atmosférica para medir la pérdida en el decantado. El muestreo del aceite se efectúa el primer martes de cada mes por lo cual no se realizan análisis de manera rutinaria.

Para obtener las propiedades del COL y del aceite decantado se realiza una simulación en Aspen HYSYS recopilando las curvas de destilación emitidas por laboratorio para ambos compuestos.

### 2.4.1 Listado de componentes y elección del paquete termodinámico

La obtención de las propiedades se realiza mediante una simulación que permita crear pseudocomponentes, puesto que en sistemas formados por compuestos no polares (refinación y procesamiento de hidrocarburos), la mezcla es compleja, y por ende, no se pueden representar la totalidad de sus componentes individualmente.

En estos casos se agrupan por medio de alguna propiedad útil como por ejemplo el punto de ebullición, gravedad específica y peso molecular promedio. De esta manera una mezcla de componentes puede ser reducida a otros pseudocomponentes.

El cálculo de las propiedades se realiza mediante ecuaciones de estado, siendo Peng Robinson el paquete termodinámico seleccionado, ya que es el método ideal para cálculos de Equilibrio Líquido Vapor, como también para cálculos de densidad de líquido de sistemas de hidrocarburos. Puesto que la mayoría de los componentes empleados para obtener los fluidos hipotéticos son alcanos, por ende apolares, salvo el agua, y se encuentran a alta temperatura y a una presión mayor a  $10 \text{ kg/cm}^2$ , se consideran como líquido ideal y un gas real.

Para la creación de los pseudocomponentes se debe agregar un listado componentes de entrada, los cuales son presentados en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15: Listado de componentes

<b>Compuesto</b>	<b>Fórmula química</b>
Agua	$\text{H}_2\text{O}$
Nitrógeno	$\text{N}_2$
Dióxido de Carbono	$\text{CO}_2$
Ácido Sulfhídrico	$\text{H}_2\text{S}$
Metano	$\text{CH}_4$
Etano	$\text{C}_2\text{H}_6$
Propano	$\text{C}_3\text{H}_8$
Butano	$\text{C}_4\text{H}_{10}$
isoButano	$\text{C}_4\text{H}_{10}$
n- Pentano	$\text{C}_5\text{H}_{12}$
isoPentano	$\text{C}_5\text{H}_{12}$
n- Hexano	$\text{C}_6\text{H}_{14}$

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Con el objetivo de caracterizar los pseudocomponentes en las corrientes requeridas, se utiliza la herramienta *Oil Manager* de Aspen HYSYS introduciendo las curvas *Assay*.

Para el caso del aceite decantado se obtiene la curva de destilación D1160, cuyo punto de muestreo equivale al reflujo de barro de la bomba J-704, tal como se detalla en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16: Curva Destilación ASTM D1160 02/08/2016

<b>% Recuperado</b>	<b>Temperatura °C</b>
0	182
5	347
10	364
20	382
30	397
40	405
50	413
60	425
70	442
80	465
90	503
95	559

El grado API de este muestreo no es posible determinarlo por el medidor, siendo  $<0,0$  lo reportado por el laboratorio. Por lo cual para la simulación se asume un grado API igual a cero.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Para el COL se selecciona la curva de destilación ASTM 86 cuyo punto de muestreo equivale al FIC7265. El grado API obtenido para este muestreo equivale a 17,3. Lo anterior se presenta en la Tabla 2.17.

Tabla 2.17: Curva de destilación ASTM 86 19/05/2016

<b>% Recuperado</b>	<b>Temperatura °C</b>
0	184,1
10	234,8
30	267,9
50	287,1
70	307,5
90	335,6
95	346,4
98	348,4

### 2.4.2 Validación de Simulación

Se debe validar la simulación, puesto que las propiedades del aceite decantado y el COL son obtenidas a partir de las curvas de destilación. Es por esto que se contrastan las propiedades entregada por la ingeniería básica de cuando fueron diseñados los intercambiadores actuales versus lo entregado por la simulación de Hysys. Para el aceite decantado, la simulación de las propiedades se efectuó de acuerdo un muestreo obtenido en la bomba J-704, por lo cual se tuvo que simular el *stripper* siendo la corriente de fondo quien otorga las propiedades. Al comparar las propiedades entregadas por la simulación con la ingeniería básica. Se puede verificar que existen diferencias entre densidad y viscosidad, esto se puede deber a la presencia de compuestos aromáticos, que alteran la composición del producto de fondo. Además puesto que para el día seleccionado el grado API no es posible determinarlo directamente con el medidor, existe un error asociado a la determinación de la densidad simulada y por consiguiente el resto de las propiedades. Esto se traduce en un diferencias porcentual de un 30%.

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Tabla 2.18: Validación Simulación Aceite Decantado

Propiedades	Ingeniería Básica		Datos Simulación	
	C-752/C-753			
Temperatura °C	202	80	202	80
Densidad kg/m <sup>3</sup>	921	998	947	1033
Viscosidad cP	2,017	66,572	0,62	19,72
Conductividad Térmica kcal/hm <sup>2</sup> °C	0,088	0,104	0,115	0,124
Calor Específico kcal/kg°C	0,50	0,39	0,49	0,39
Tensión Superficial dina/cm	26,71	33,57	29,92	39,97

En la Tabla 2.19 se puede observar que las propiedades de los fluidos para el caso del COL son similares, por lo cual se considera válida la simulación efectuada.

Tabla 2.19: Validación Simulación COL

Propiedades	Ingeniería Básica		Datos Simulación	
	C-708			
Temperatura °C	206	160	206	160
Densidad kg/m <sup>3</sup>	799	834	809	845
Viscosidad cP	0,405	0,577	0,316	0,521
Conductividad Térmica kcal/hm <sup>2</sup> °C	0,088	0,093	0,099	0,106
Calor Específico kcal/kg°C	0,53	0,49	0,53	0,49
Tensión Superficial dina/cm	18,16	22,06	19,52	23,36

## 2.5 Propiedades de los Fluidos

Las propiedades en las condiciones de entrada del aceite decantado, COL y agua desmineralizada se muestran en la Tabla 2.20.

Tabla 2.20: Propiedades de los Fluidos

Ítem	Aceite Decantado	Cycle Oil Liviano	Agua Desmineralizada
Temperatura, °C	202	206	15
Presión, kg/cm <sup>2</sup>	13,03	19,03	3,5
Densidad @ Op. Temp., kg/m <sup>3</sup>	947	810	1000
Viscosidad cP	0,62	0,32	1,14

Fuente: Elaboración propia basado en simulación HYSYS

## 2.6 Condiciones de Diseño

El flujo de agua desmineralizada debe cumplir la restricción de que la planta desmineralizadora posee una producción de diseño de 160 m<sup>3</sup>/h, de los cuales una fracción es utilizada para enfriar el flujo de condensados que ingresa a F-275. Bajo el supuesto que se debe enfriar el mayor flujo registrado y considerando que estos disminuyen su temperatura de 125°C a 85°C, se establece el flujo másico de agua disponible para precalentar de 72.m<sup>3</sup>/h, además de corresponder ser la condición promedio registrada.

El flujo y temperaturas de entrada y salida del aceite y el COL se establecen de acuerdo a lo especificado por el diseño de la planta *Cracking*.

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

## 2.7 Condiciones de Operación

En la Tabla 2.21 se presentan las condiciones de operación mayor, promedio y menor, registradas por los medidores de flujo, temperatura y presión de las corrientes involucradas durante la operación normal de ambas plantas desde el 1/01/2014 hasta el 30/05/2016.

Tabla 2.21: Condiciones de Operación

Condición	Baja				Media				Alta			
	Flujo m <sup>3</sup> /h	T in °C	T out °C	Presión kg/cm <sup>2</sup> g	Flujo m <sup>3</sup> /h	T in °C	T out °C	Presión kg/cm <sup>2</sup> g	Flujo m <sup>3</sup> /h	T in °C	T out °C	Presión kg/cm <sup>2</sup> g
Aceite Decantado	7,6	169	50		13,1	190	66		22,1	237	94	
COL	16,7	184	18		23,4	197	26		36,9	217	28	
Agua Desmineralizada a F-278	39,8	10			72	15			109,5	20		
Agua Desmineralizada a F-275	55	10			70,3	15			105,3	20		
Condensados a F-275	150	125	83		177,7	125	86		252,1	125	95	
Condensados a F-278	223	83			248	86			251	95		
Vapor 10#	3,1 t/h			0,4	3,9 t/h			1,6	6,0 t/h			1,1
Vapor 50#	16,7 t/h			2,7	24,4 t/h			2,8	41,6 t/h			3,1

Fuente: PI Process Book

En el anexo 5.1.1 se encuentra la distribución del flujo, temperatura de entrada y salida de los intercambiadores C-752 y C-753 del aceite decantado, y la distribución de flujo para el agua desmineralizada.

## 2.8 Descripción del Problema Alternativa 1

Por condición de diseño de la planta *Cracking* el aceite decantado proveniente del intercambiador C-751 posee un flujo de 23.212 kg/h y una temperatura de 202°C. El proceso de enfriamiento del producto de fondo de la torre fraccionadora E-701, se realiza en intercambiadores de tubos y coraza que poseen una configuración de 2 en paralelo y 2 en serie, C-752A/B y C-753A/B, desde 202°C a 80°C utilizando como servicio agua de refrigeración, (ver Figura 2.5). Es por esto que existe un calor transferido disponible equivalente a  $1,26 \cdot 10^6$  kcal/h que puede ser utilizado en una integración energética.

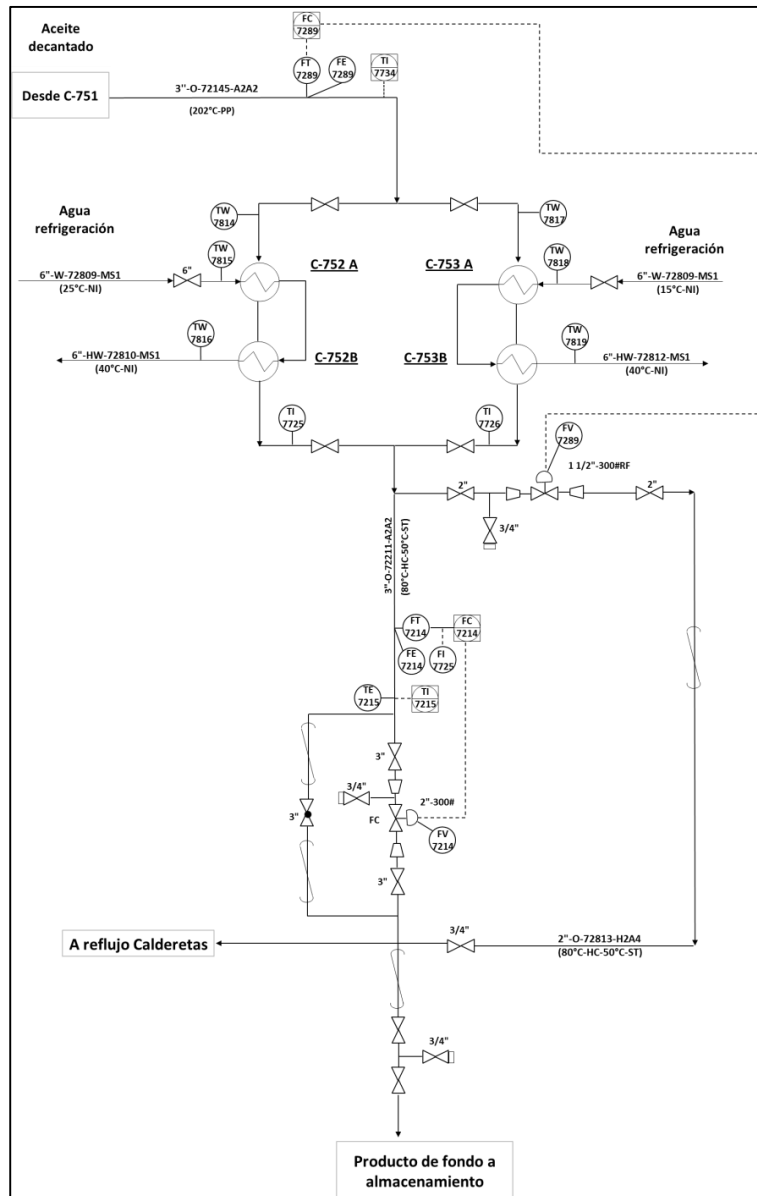


Figura 2.5: Proceso de Enfriamiento Aceite Decantado

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

En la Tabla 2.22 se presentan las condiciones de diseño de los intercambiadores.

Tabla 2.22: Condiciones Diseño C-752 A/B C-753 A/B

Tamaño	440-6096 mm	Tipo AES	Conexión 2 paralelo 2 series	
Área	240 m <sup>2</sup>	Unidades Coraza 4	Área/ unidad 60 m <sup>2</sup>	
<b>C-752A/B C-753 A/B</b>				
Corriente	Aceite Decantado		Agua de Refrigeración	
Ubicación del fluido	Coraza		Tubos	
Flujo kg/h	23.212		84.195	
Temperatura entrada/ salida °C	202	80	25	40
Densidad kg/m <sup>3</sup>	920,9	998,2	998,24	994,52
Viscosidad cP	2,017	66,572	0,898	0,6538
Calor específico kcal/kg°C	0,5	0,39	1,0012	1,0002
Conductividad térmica kcal/h m °C	0,88	0,104	0,517	0,534
Presión kgf/cm <sup>2</sup>	13,9		2,5	
Velocidad m/s	0,15		0,89	
Caída de presión permitida/calculada kgf/cm <sup>2</sup>	0,71	0,143	1,02	0,296
Coefficiente de ensuciamiento m <sup>2</sup> h °C/kcal	0,0006		0,0005	
Calor intercambiador kcal/h	1,26 10 <sup>6</sup>			
Servicio transferido 62,5	Sucio 78,1		Limpio 95,41 kcal/h m <sup>2</sup> °C	

### 2.9 Descripción Propuesta Alternativa 1

De acuerdo a la ingeniería conceptual establecida en la auditoría energética, se establece instalar una tubería de 2 vías de 200 m de 8" acero al carbono para trasladar agua a la salida de la planta de desmineralización a 25° hasta la planta *Cracking*, aguas abajo del intercambiador C-751, con el objetivo de reemplazar el agua de refrigeración y precalentar el agua desmineralizada y que retorne con una temperatura mayor a la actual.

Además se tienen las siguientes consideraciones y requerimientos:

- La temperatura del agua desmineralizada es la misma que la del agua de enfriamiento.
- La carga térmica máxima de intercambio se obtendría a un máximo LMTD. Esto último se incrementa en la medida en que los enfoques de temperatura se incrementan en ambos lados. Por lo tanto, el objetivo será reducir lo más posible el incremento de la temperatura del agua desmineralizada, lo que a su vez aumenta el caudal de agua desmineralizada para mantener la carga térmica.
- El balance de agua de alimentación de caldera muestra que del total de 360 ton/h, este se compone por 27 ton/h de vapor de baja presión, 147 ton/h de agua desmineralizada y 190 ton/h de condensados. Por lo anterior, en una primera instancia se propone precalentar 147 ton/h de agua desmineralizada. Sin embargo, los detalles del intercambiador de calor no se conocen, en específico los límites hidráulicos. Por lo

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

tanto, la propuesta se rige con el mismo caudal que posee el agua de enfriamiento, es decir, aumentar en 15°C la temperatura de 97,2 ton/h de agua desmineralizada, traduciéndose en una recuperación de calor de 1.460.000 kcal/h.

- Es probable que se requiera de una bomba para el transporte de agua de 2 motores entregando 100 ton/h de agua desmineralizada, con un  $\Delta P$  de 5 bar con una potencia requerida de 25 kW.
- Un control de caudal de agua desmineralizada asociado al intercambiador de calor.

Al considerar la propuesta de integración energética establecida por auditoría, que utiliza como fluido caliente el aceite decantado, es posible detectar dos fallas técnicas. La primera es que no es posible precalentar 97 ton/h de agua desmineralizada, debido a existe una restricción en la demanda de agua desmineralizada para poder enfriar los condensados en el estanque F-275. El otro error detectado es que consideran una metalurgia de acero al carbono, lo que presenta el inconveniente de ser más susceptible a la corrosión causada por el agua desmineralizada.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado es que se realiza una modificación a la alternativa, esta consiste en precalentar 72.000 kg/h de agua desmineralizada utilizando toda la energía disponible del Aceite Decantado.

Se propone implementar un nuevo intercambiador de tubos y coraza C-01 A/B que logre integrar dichas corrientes. Para ello se propone realizar una conexión en la salida del intercambiador C-751 implementando una tubería de acero al carbono de 3" que transporte el aceite hasta el intercambiador propuesto y posterior a su enfriamiento el aceite debe retornar a la red que lo envía a estaque de almacenamiento.

Esto implica que se modifica el sistema de enfriamiento actual del aceite, debido a que se reemplaza el requerimiento de agua de refrigeración por agua desmineralizada.

Además, se debe diseñar una nueva de red de tuberías que permita el transporte del agua desmineralizada desde el sector de suministros hasta la planta de *Cracking*, el agua logra recorrer el trayecto propuesto por una diferencia de presión, ya que actualmente cuenta con un  $\Delta P$  disponible de 1,7 kg/cm<sup>2</sup>. Adicionalmente existe la opción de que en el futuro se encuentre en operación el estanque T-250, ubicado posterior a las plantas desmineralizadoras. El agua que sale del estanque se impulsa por las bombas J-272 A/B/C hacia el intercambiador propuesto. Con la instalación de este estanque se logra una estabilidad en el nivel del Desaireador, evitando problemas de alza o baja en este.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Esta configuración, donde el agua es transportada, se establece debido a que el aceite posterior a su enfriamiento debe ser aislado y contar con *Steam Tracing*, ya que posee un punto de escurrimiento de 30°C por lo que se debe evitar dicha condición. Es por esto que comparativamente es menor el costo asociado al transporte del agua que el del aceite, siendo este punto común a lo planteado por la ingeniería conceptual.

Posteriormente, el agua desmineralizada precalentada debe retornar al sector de suministros para ingresar al Desaireador F-278, efectuándolo a una temperatura mayor a la actual.

El beneficio de efectuar esta integración se traduciría en un ahorro energético, puesto que al calentar el agua desmineralizada implicaría en un menor consumo de vapor 50# en la etapa de desaireación y disminución del agua de refrigeración en el enfriamiento del aceite. La descripción de la propuesta se ejemplifica en la Figura 2.6.

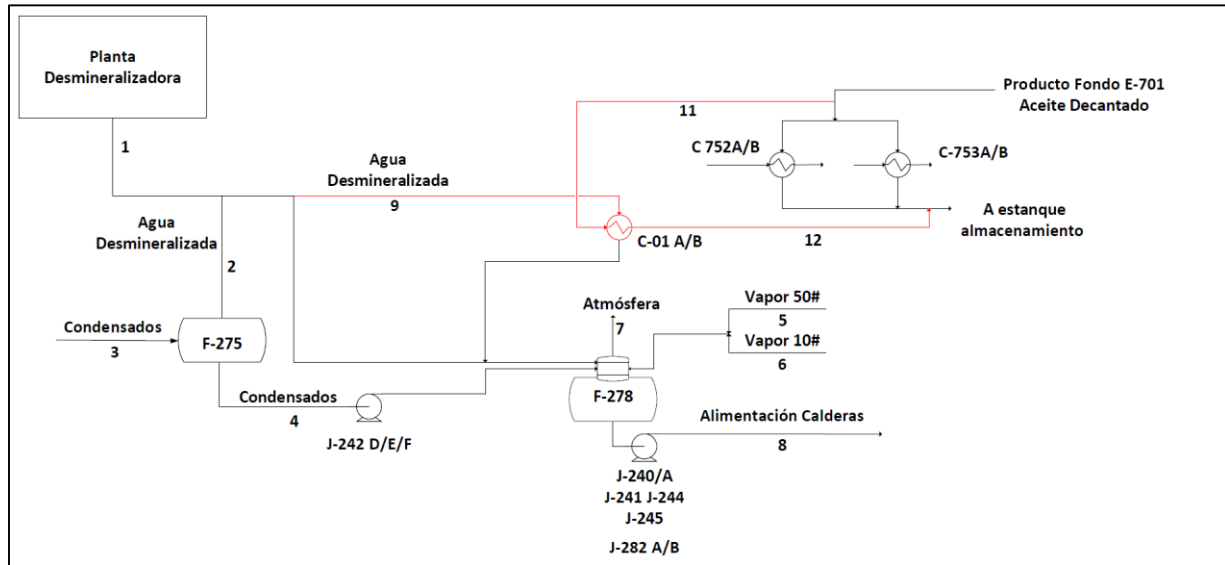


Figura 2.6: Propuesta de integración energética alternativa 1

Se consideran las condiciones de operación alta, promedio y baja, para las corrientes involucradas, las cuales son presentadas en la Tabla 2.23, 2.24 y 2.25.

Tabla 2.23: Datos de Proceso Alternativa 1 Condición Alta

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Flujo ton/h	142,3	70,3	177,7	248,0	23,2	3,9	4,7	342,4	72,0	72,0	20,3	20,3
Temperatura °C	15	15	125	85	150	113	109	109	15	35	237	77
Presión kg/cm <sup>2</sup> g	3,5	3,5	0,4	0,4	2,8	0,7	0,7	0,7	3,5	2,9	13,0	8,8

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Tabla 2.24: Datos de Proceso Alternativa 1 Condición Promedio

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Flujo ton/h	142,3	70,3	177,7	248,0	23,2	3,9	4,7	342,4	72,0	72,0	12,5	12,5
Temperatura°C	15	15	125	85	150	113	109	109	15	25	190	60
Presión kg/cm <sup>2</sup> g	3,5	3,5	0,4	0,4	2,8	0,7	0,7	0,7	3,5	2,9	13,0	10,2

Tabla 2.25: Datos de Proceso Alternativa 1 Condición Baja

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Flujo ton/h	142,3	70,3	177,7	248,0	23,2	3,9	4,7	342,4	72,0	72,0	5,1	5,1
Temperatura°C	15	15	125	85	150	113	109	109	15	20	169	30
Presión kg/cm <sup>2</sup> g	3,5	3,5	0,4	0,4	2,8	0,7	0,7	0,7	3,5	2,9	13,0	6,9

Se establece el diseño de 2 intercambiadores de tubos y coraza en serie TEMA AES clase R, que representa tener un cabezal frontal de tipo móvil, un paso por la coraza y cabezal flotante. Esta configuración de los cabezales se establece en función de las propiedades de los fluidos que circulan al interior del intercambiador. El cabezal flotante permite la remoción del haz de tubos para efectuar una limpieza mecánica y química, tanto por el interior y exterior de los tubos. Para el caso de la coraza se considera una configuración tipo E (un solo paso del agua desmineralizada por la coraza) debido a que es un arreglo térmicamente eficiente, es el más común y de menor costo, además de poseer una baja caída de presión en comparación a otras configuraciones.

Con el objetivo de poder efectuar una limpieza mecánica y química de los tubos en su interior y exterior, se considera un arreglo de tipo cuadrado para facilitar la limpieza en los tubos, disminuir la caída de presión, otorgar una mayor área de transferencia de calor por tamaño de carcasa, permitir una expansión térmica diferencial entre los tubos y coraza, además de realizar un arreglo de pasos múltiples, aumentando la turbulencia y, por consiguiente, la transferencia de calor. De acuerdo a las propiedades que poseen los fluidos que circulan por el intercambiador propuesto es que se asigna el paso del Aceite Decantado por los tubos puesto que representa ser el fluido más caliente, el que posee mayor presión y con mayor coeficiente de ensuciamiento, debido a la presencia de partículas en suspensión. Por consiguiente, el agua desmineralizada circulará por el lado de la coraza.

El diseño del intercambiador está regulado bajo norma TEMA, en donde se especifican criterios para diseño de intercambiadores de tubos y coraza. Además, debe cumplir con el código ASME sección VIII división 1 para diseños de equipos a alta presión.

El intercambiador es completamente de acero inoxidable 316, ya que es un tipo de acero que posee Cromo y Molibdeno, el cual otorga una mayor resistencia a la corrosión generada por el agua desmineralizada y el aceite decantado.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

En la Figura 2.7 se presenta la simulación propuesta para la alternativa 1, utilizada para evaluar el ahorro energético entregado por esta propuesta.

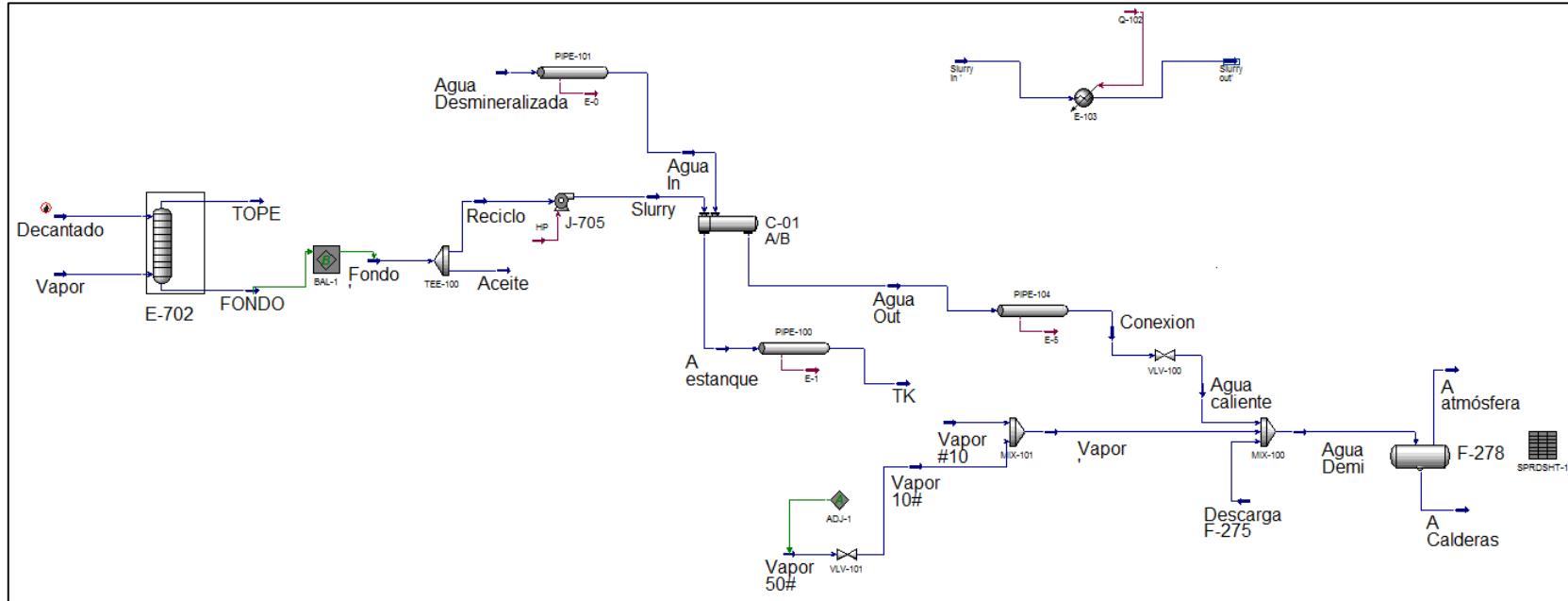


Figura 2.7: Simulación Alternativa 1

## 2.10 Descripción del Problema Alternativa 2

La segunda opción a evaluar para precalentar la corriente de agua desmineralizada, consiste en utilizar una corriente de la sección intermedia de la torre fraccionadora. Esta corresponde a 28.615 kg/h de COL, el cual se enfría en una primera instancia en el intercambiador de tubos y coraza, C-708, desde 206°C a 160°C, utilizando agua de caldera como servicio, la que se precalienta desde 146°C a 155°C. Luego de ser enfriado, la mayor fracción de COL es enviada a la unidad de hidrot ratamiento.

Existe la posibilidad de que en el futuro la caldera U-751 finalice sus operaciones, por lo cual se debe evaluar la opción de incorporar un nuevo intercambiador que reemplace al existente, con el objetivo de enfriar el COL previo a su envío a HDT.

Posteriormente, 26.854 kg/h de COL son enfriados en una primera instancia desde 160 °C a 49°C en un aereoenfriador, C-709, y en una segunda instancia un intercambiador de tubos y coraza, C-710, desde 49°C a 40°C. Finalizado este proceso, el COL puede ser conducido para ser almacenado en un estanque o ser distribuido al área 600 (ver Figura 2.8).

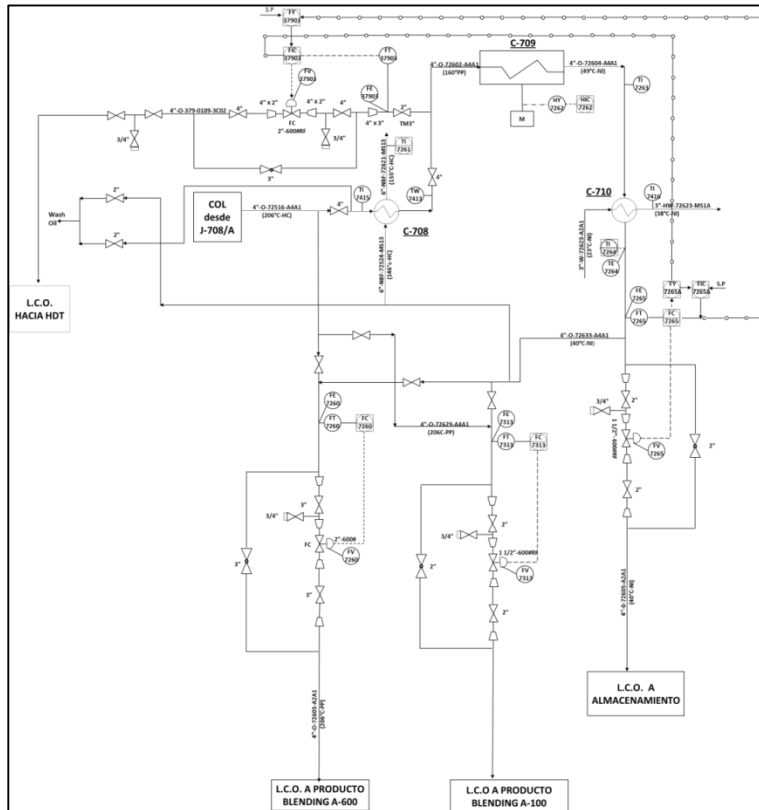


Figura 2.8: Proceso Enfriamiento COL

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

En la Tabla 2.26, 2.27, 2.28 se detallan las condiciones de diseño de los intercambiadores C-708, C-709 y C-710.

Tabla 2.26: Condición de diseño C-708

Tamaño	373,13-6096 mm	Tipo AES	Conexión 1 paralelo 1 series	
Área	78,4 m <sup>2</sup>	Unidades Coraza 1	Área/ unidad 78,4 m <sup>2</sup>	
<b>C-708</b>				
Corriente	COL		Agua de Caldera	
Ubicación del fluido	Coraza		Tubos	
Flujo kg/h	28.615		71.441	
Temperatura entrada/ salida °C	206	160	146	155
Densidad kg/m <sup>3</sup>	799	834,1		
Viscosidad cP	0,405	0,577		
Calor específico kcal/kg°C	0,53	0,49		
Conductividad térmica kcal/h m °C	0,088	0,093		
Presión kgf/cm <sup>2</sup>	16,7		60,1	
Coefficiente de ensuciamiento m <sup>2</sup> h °C/kcal	0,0004		0,0002	
Calor intercambiador kcal/h	6,7 10 <sup>5</sup>			

Tabla 2.27: Condición Diseño C-709

Tamaño	381-6096 mm	Tipo Aeroenfriador	Conexión 1 paralelo 1 series	
Área Externa	2.640.000 m <sup>2</sup>	Unidades Coraza 1	Área Tubo Desnudo 201 m <sup>2</sup>	
<b>C-709</b>				
Corriente	COL		Aire	
Ubicación del fluido	Coraza		Tubos	
Flujo kg/h	28.615			
Temperatura entrada/ salida °C	160	49	27	
Coefficiente de ensuciamiento m <sup>2</sup> h °C/kcal	0,0004			
Calor intercambiador kcal/h	1,39 10 <sup>6</sup>			

Tabla 2.28: Condición Diseño C-710

Tamaño	373,13-6096 mm	Tipo AES	Conexión 1 paralelo 1 series	
Área	36,59 m <sup>2</sup>	Unidades Coraza 1	Área/ unidad 36,59 m <sup>2</sup>	
<b>C-710</b>				
Corriente	COL		Agua de Refrigeración	
Ubicación del fluido	Coraza		Tubos	
Flujo kg/h	26.854		6.232	
Temperatura entrada/ salida °C	49	40	25	40
Densidad kg/m <sup>3</sup>	909	915		
Viscosidad cP	2,511	3,017	0,936	0,681
Calor específico kcal/kg°C	0,412	0,403	0,998	0,998
Conductividad térmica kcal/h m °C	0,107	0,108	0,531	0,541
Presión kgf/cm <sup>2</sup>	15,5		1,5	
Caída de presión permitida/calculada kgf/cm <sup>2</sup>	0,352	0,3	0,7	0,5
Coefficiente de ensuciamiento m <sup>2</sup> h °C/kcal	0,0004		0,0004	
Calor intercambiador kcal/h	9 10 <sup>4</sup>			

## 2.11 Descripción Propuesta 2

Otra de las propuestas emanadas de la auditoría consiste en precalentar 73.000 kg/h de agua desmineralizada, sin embargo, se disminuye a 72.000 kg/h de agua desmineralizada para ser comparable con la propuesta 1. Se propone precalentar agua desmineralizada antes de su ingreso al Desaireador, utilizando el flujo de COL que sale del intercambiador C-708 previo a su ingreso al aerofriador C-709. Para realizar el precalentamiento del agua, es necesario implementar un nuevo intercambiador de tubos y coraza que logre integrar dichas corrientes. Se debe modificar el sistema actual de enfriamiento del COL debido a que, como se menciona anteriormente, se reemplaza el uso de aire y agua de refrigeración proveniente de las torres de enfriamiento.

En primer lugar, se realiza una conexión que permita desviar y transportar el flujo de COL previo a su ingreso al aerofriador, hasta el nuevo intercambiador propuesto. Posterior a la etapa de enfriamiento, el COL se conecta a la línea existente para ser enviado a estanque o como *Blending* en el área 600.

Se debe diseñar una nueva red de tuberías que permita el transporte del agua desmineralizada desde el sector de suministros hasta la planta de *Cracking*. En el momento en que comience la operación del estanque T-250 ubicado posterior a las plantas desmineralizadoras, no es necesario de una bomba impulsora que permita compensar la pérdida de carga producida por la línea y ambos intercambiadores. Posteriormente, el agua desmineralizada ya precalentada debe retornar al sector de suministros para ingresar al Desaireador F-278, efectuándolo a una temperatura mayor a la actual.

El beneficio de efectuar esta integración se traduciría en un ahorro energético, puesto que al calentar el agua 5 °C implicaría un menor consumo de vapor 50#, además del reemplazo del actual sistema de refrigeración. La descripción de la propuesta se ejemplifica en la Figura 2.9, detallando las condiciones de operación en la Tabla 2.29.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

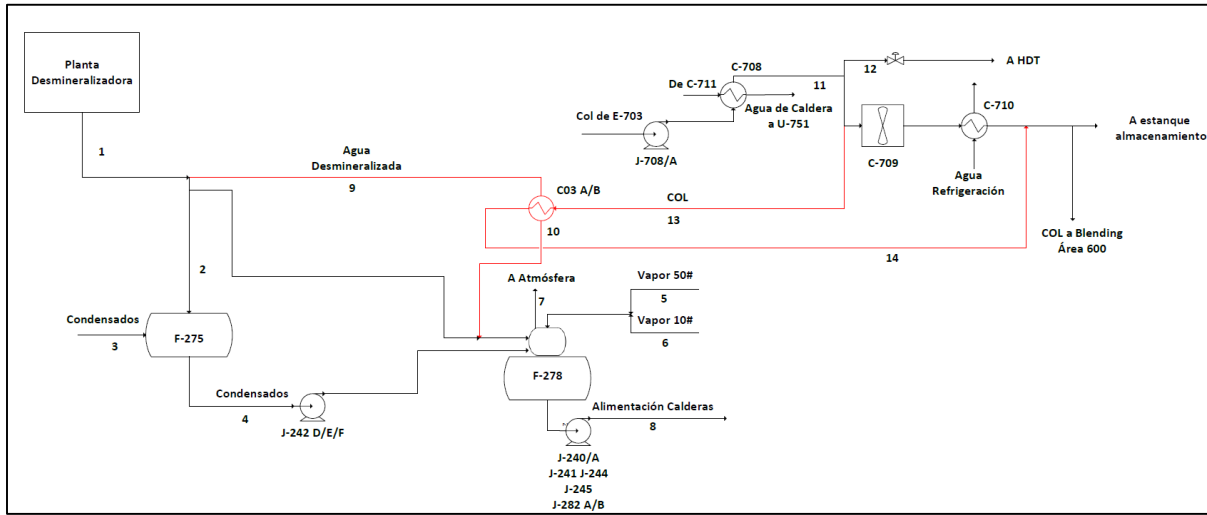


Figura 2.9: Condiciones de Operación Alternativa 2

Tabla 2.29: Datos de Proceso Alternativa 2

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Flujo ton/h	142,3	70,3	177,7	248,0	23,8	3,9	4,8	342,9	72,0	72,0	19,1	13,0	6,1	6,1
Temperatura °C	15	15	125	85	150	115	109	109	15	15	170	170	170	29
Presión kg/cm <sup>2</sup> g	3,5	3,5	0,4	0,4	2,8	0,7	0,7	0,7	3,5	2,7	18,2	18,2	18,2	17,8

Se establece el diseño de 2 intercambiadores de tubos y coraza TEMA AES clase R instalados en serie que representa tener un canal de tipo móvil, un paso por la coraza y cabezal flotante. Esta configuración de los cabezales se establece en función de las propiedades de los fluidos que circulan al interior del intercambiador. El cabezal flotante permite la remoción del haz de tubos para efectuar una limpieza mecánica y química, tanto por el interior y exterior de los tubos. Para el caso de la coraza se considera una configuración tipo E (un solo paso del agua desmineralizada por la coraza) debido a que es un arreglo térmicamente eficiente, es el más común y de menor costo, además de poseer una baja caída de presión en comparación a otras configuraciones.

Con el objetivo de poder efectuar una limpieza mecánica y química de los tubos en su interior y exterior, se considera un arreglo de tipo cuadrado para facilitar la limpieza en los tubos, disminuir la caída de presión, otorgar una mayor área de transferencia de calor por tamaño de carcasa, permitir una expansión térmica diferencial entre los tubos y coraza, además de realizar un arreglo de pasos múltiples, aumentando la turbulencia y, por consiguiente, la transferencia de calor.

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

De acuerdo a las propiedades que poseen los fluidos que circulan por el intercambiador propuesto es que se asigna el paso del COL por los tubos puesto que, representa ser el fluido más caliente, el que posee mayor presión y con mayor coeficiente de ensuciamiento. Por consiguiente, el agua desmineralizada circulará por el lado de la coraza.

El diseño del intercambiador está regulado bajo norma TEMA, en donde se especifican criterios para diseño de intercambiadores de tubos y coraza. Además debe cumplir con el código ASME sección VIII división 1 para diseños de equipos a alta presión.

El intercambiador es completamente de acero inoxidable 316, ya que es un tipo de acero que posee Cromo y Molibdeno, el cual otorga una mayor resistencia a la corrosión generada por el agua desmineralizada y el COL.

En la Figura 2.10 se presenta la simulación propuesta para evaluar los beneficios energéticos otorgados por la alternativa propuesta.

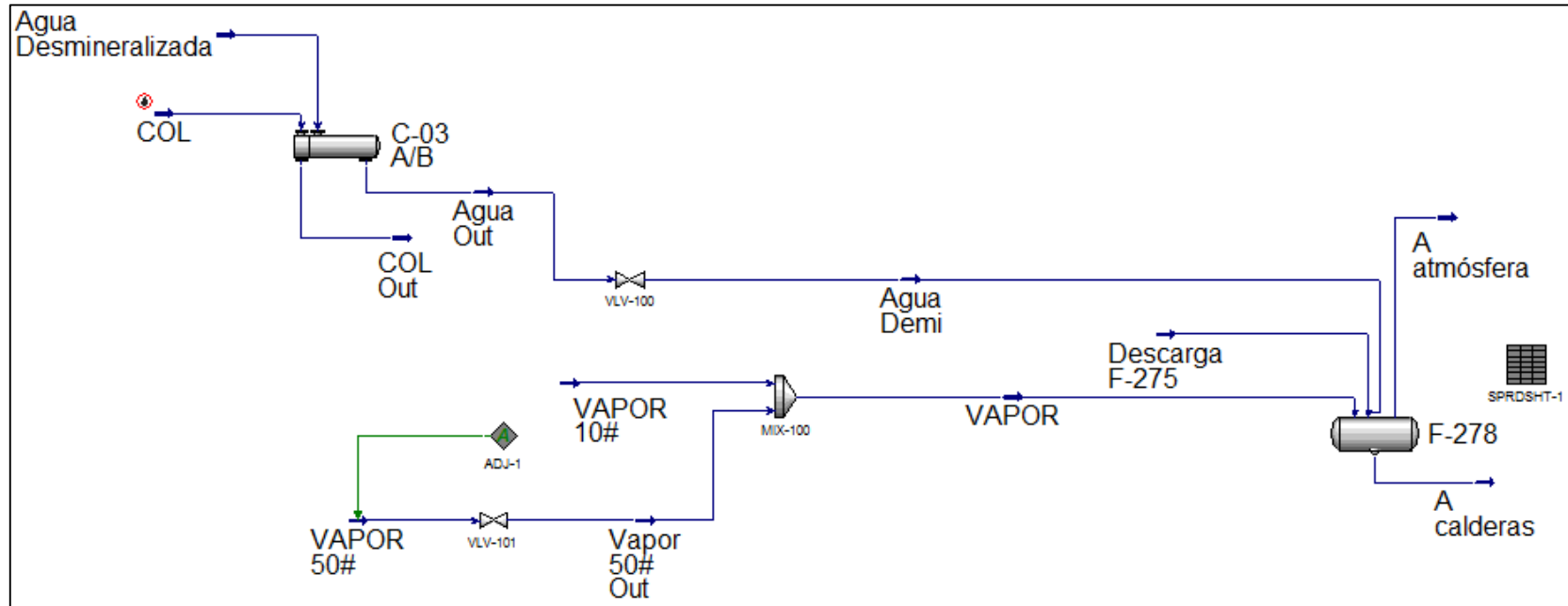


Figura 2.10: Simulación Alternativa 2



## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Tabla 2.30: Datos de Proceso Alternativa 3

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Flujo ton/h	142,3	70,3	177,7	248,0	22,7	4,0	4,8	342,3	72,0	72,0	72,0	72,0	19,1	19,1	6,1	6,1
Temperatura °C	15	15	125	85	150	113	109	109	15	15	25	28	197	117	117	34
Presión kg/cm <sup>2</sup> g	3,5	3,5	0,4	0,4	2,8	0,7	0,7	0,7	3,5	2,6	1,8	18,2	18,0	18,0	17,8	17,8

Se establece el diseño de un primer intercambiador de tubos y coraza TEMA AES clase R, además de 2 intercambiadores en serie que representa tener un canal de tipo móvil, un paso por la coraza y cabezal flotante. Esta configuración de los cabezales se establece en función de las propiedades de los fluidos que circulan al interior del intercambiador. El cabezal flotante permite la remoción del haz de tubos para efectuar una limpieza mecánica y química, tanto por el interior y exterior de los tubos. Para el caso de la coraza se considera una configuración tipo E (un solo paso del agua desmineralizada por la coraza) debido a que es un arreglo térmicamente eficiente, es el más común y de menor costo, además de poseer una baja caída de presión en comparación a otras configuraciones.

Con el objetivo de poder efectuar una limpieza mecánica y química de los tubos en su interior y exterior, se considera un arreglo de tipo cuadrado para facilitar la limpieza en los tubos, disminuir la caída de presión, otorgar una mayor área de transferencia de calor por tamaño de carcasa, permitir una expansión térmica diferencial entre los tubos y coraza, además de realizar un arreglo de pasos múltiples, aumentando la turbulencia y, por consiguiente, la transferencia de calor.

De acuerdo a las propiedades que poseen los fluidos que circulan por el intercambiador propuesto es que se asigna el paso del COL por los tubos puesto que representa ser el fluido más caliente, el que posee mayor presión y con mayor coeficiente de ensuciamiento (presencia de partículas en suspensión). Por consiguiente, el agua desmineralizada circulará por el lado de la coraza.

El diseño del intercambiador está regulado bajo norma TEMA, en donde se especifican criterios para diseño de intercambiadores de tubos y coraza. Además debe cumplir con el código ASME sección VIII división 1 para diseños de equipos a alta presión.

El intercambiador es completamente de acero inoxidable 316, ya que es un tipo de acero que posee Cromo y Molibdeno, el cual otorga una mayor resistencia a la corrosión generada por el agua desmineralizada y COL.

En la Figura 2.12 se presenta la simulación que permite evaluar los ahorros de agua de refrigeración y vapor 50#, otorgados por la alternativa propuesta.

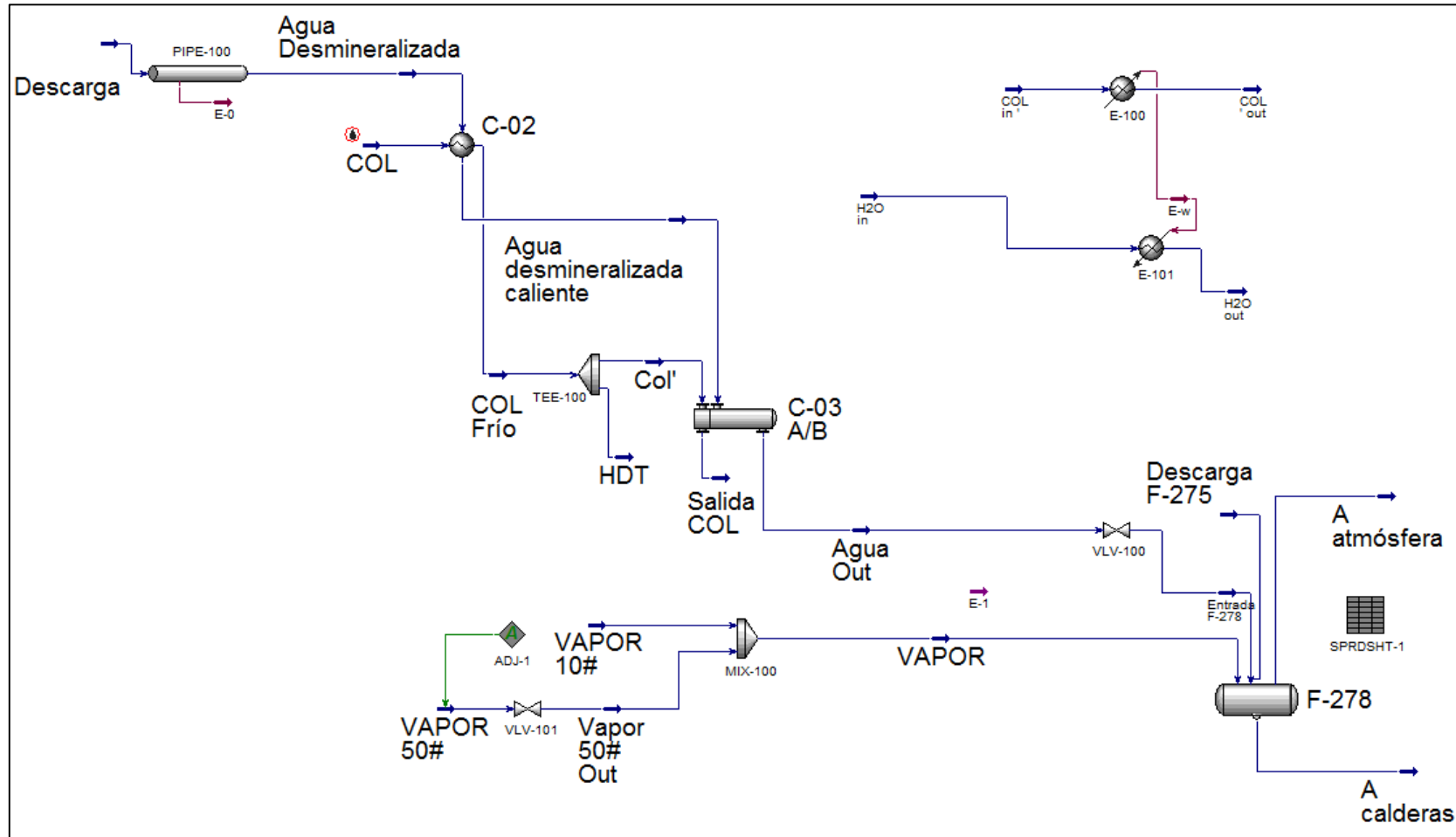


Figura 2.12: Simulación Alternativa 3

## 2.13 Descripción Propuesta 4

Se considera una cuarta propuesta que consiste en aumentar la temperatura de 72.000 kg/h de agua desmineralizada en 2 pasos. Se puede resumir como una combinación de las alternativas 1 y 2, esto significa que en una primera instancia se utiliza todo el flujo de aceite decantado que sale del intercambiador C-751, lo que implica el reemplazo de los intercambiadores C-752 A/B y C-753 A/B y, por consiguiente, el ahorro en agua de refrigeración. Posteriormente, el agua se transporta para ser nuevamente calentada por el flujo de COL que es enviado al estanque. Con esto se reemplazan el aéroenfriador C-709 y el intercambiador de tubos y coraza C-710.

Similar a las propuestas mencionadas anteriormente se transporta el agua desde la zona de suministros hasta la planta *Cracking* mediante una línea de 6" de acero inoxidable 316L. Para el desarrollo de esta alternativa se requiere de la instalación de 4 intercambiadores en serie (2 en serie para cada precalentamiento) con el respectivo sistema de control.

El agua retorna a la zona de suministros con una temperatura mayor a la otorgada por las 3 alternativas antes mencionadas, lo que implica una disminución en el consumo de vapor 50#. Debido a que el ahorro generado es mayor, esta propuesta se puede presentar como una Fase II de integración energética. Lo anterior se describe en la Figura 2.13.

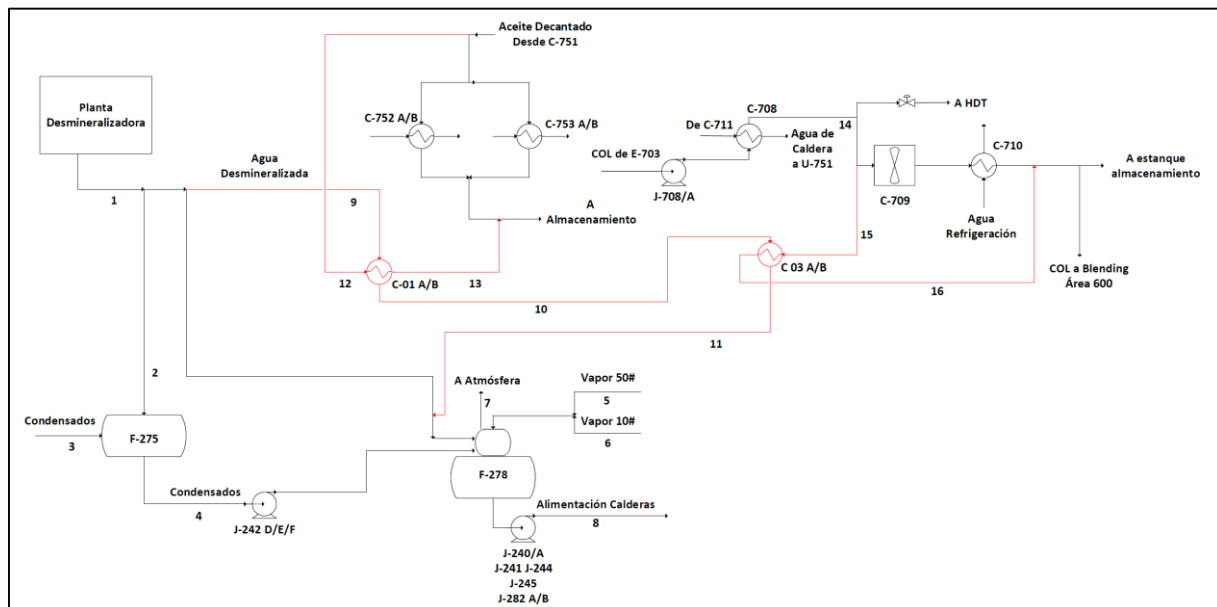


Figura 2.13: Propuesta de integración energética alternativa 4

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Tabla 2.31: Datos de Proceso Alternativa 4

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Flujo ton/h	142,3	70,3	177,7	248,0	23,8	3,9	4,8	342,9	72,0	72,0	72,0	72,0	12,5	19,0	6,1	6,1
Temperatura °C	15	15	125	85	150	115	109	109	15	25	30	190	60	170	170	36
Presión kg/cm <sup>2</sup> g	3,5	3,5	0,4	0,4	2,8	0,7	1,4	1,4	3,5	3,2	2,6	12,0	9,1	19,2	18,9	18,9

En la Figura 2.14 se presenta la simulación que permite evaluar los ahorros de agua de refrigeración y vapor 50#, otorgados por la alternativa propuesta.

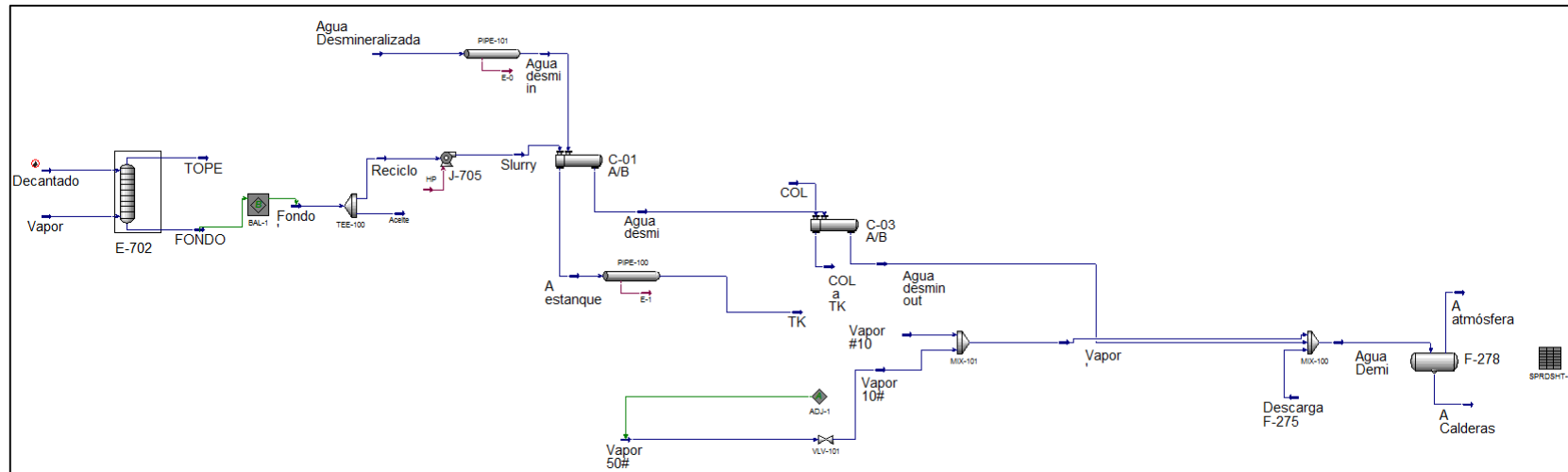


Figura 2.14: Simulación Alternativa 4

## 2.14 Ahorros Energéticos

Mediante la simulación de HYSYS se realiza una evaluación para estimar el ahorro en agua de refrigeración y vapor 50# para distintos escenarios (diseño, alta, promedio y baja) para las 4 alternativas. Se toma como referencia el consumo de vapor promedio, equivalente a 24.410 kg/h.

### 2.14.1 Ahorro Energético Alternativa 1

#### 2.14.1.1 Escenario Condición Base

Tabla 2.32 Ahorro en servicios condición diseño

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
84,89	2,55	22.100	2.310	78,3

#### 2.14.1.2 Escenario Condición Alta

Tabla 2.33 Ahorro en servicios condición alta

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
97,96	2,94	21.710	2.680	90,9

#### 2.14.1.3 Escenario Condición Promedio

Tabla 2.34 Ahorro en servicios condición promedio

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
45,71	1,37	23.180	1.230	41,7

#### 2.14.1.4 Escenario Condición Baja

Tabla 2.35 Ahorro en servicios condición baja

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
19,44	0,58	23.930	480	16,3

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

## 2.14.2 Ahorro Energético Alternativa 2

### 2.14.2.1 Escenario Condición Base

Tabla 2.36 Ahorro en servicios condición diseño

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
9,40	0,282	21.820	2.590	87,8

### 2.14.2.2 Escenario Condición Alta

Tabla 2.37 Ahorro en servicios condición alta

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
6,59	0,198	22.390	2.020	68,5

### 2.14.2.3 Escenario Condición Promedio

Tabla 2.38 Ahorro en servicios condición promedio

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
2,14	0,064	23.780	630	21,4

### 2.14.2.4 Escenario Condición Baja

Tabla 2.39 Ahorro en servicios condición baja

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
0,50	0,015	24.310	100	3,4

### 2.14.3 Ahorros Energéticos Alternativa 3

#### 2.14.3.1 Escenario Condición Base

Tabla 2.40 Ahorro en servicios condición diseño

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
9,40	0,282	20.670	3.750	127,1

#### 2.14.3.2 Escenario Condición Alta

Tabla 2.41 Ahorro en servicios condición alta

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
6,59	0,198	20.930	3.480	118,0

#### 2.14.3.3 Escenario Condición Promedio

Tabla 2.42 Ahorro en servicios condición promedio

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
2,14	0,064	22.710	1.690	57,3

#### 2.14.3.4 Escenario Condición Baja

Tabla 2.43 Ahorro en servicios condición baja

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
0,50	0,015	23.360	1.040	35,3

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

## 2.14.4 Ahorros Energéticos Alternativa 4

### 2.14.4.1 Escenario Condición Base

Tabla 2.44 Ahorro en servicios condición diseño

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
94	2,83	19.690	4.720	160

### 2.14.4.2 Escenario Condición Alta

Tabla 2.45 Ahorro en servicios condición alta

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
105	3,14	19.840	4.570	155

### 2.14.4.3 Escenario Condición Promedio

Tabla 2.46 Ahorro en servicios condición promedio

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
48	1,44	22.520	1.890	64,2

### 2.14.4.4 Escenario Condición Baja

Tabla 2.47 Ahorro en servicios condición baja

Agua de Refrigeración		Vapor 50#		
Flujo m <sup>3</sup> /h	Ahorro USD/h	Flujo kg/h	Ahorro kg/h	Ahorro USD/h
20	0,6	23.770	640	21,7

## 2.15 Evaluación Económica

Se evalúan las 4 alternativas presentadas con el objetivo de evaluar la rentabilidad a fin de poder compararlas utilizando indicadores económicos como los son el VAN, TIR, *Payback*, IVAN.

### 2.15.1 Antecedentes Financieros

#### 2.15.1.1 Tasa de descuento

La tasa de descuento representa el costo de oportunidad de los inversionistas, es una medida del nivel de riesgo del proyecto. La tasa de descuento para la evaluación de los proyectos definida por ENAP Refinerías es de un 9,1%.

#### 2.15.1.2 Horizonte de evaluación

Para este proyecto se considera un horizonte de evaluación de 15 años, puesto que representa ser el periodo establecido por ENAP Refinerías.

#### 2.15.1.3 Valor de Dólar

Se considera un valor de Dólar observado de 678,57 CLP según lo informado por el Banco Central de Chile para el día 1/09/2016 (Banco Central, 2016).

#### 2.15.1.4 Monto de Utilities

En la Tabla 2.48 se presenta el monto de los servicios requeridos (vapor 50# y agua de refrigeración), con el objetivo de estimar el ahorro asociado y requerimiento de energía, según corresponda.

Tabla 2.48: Monto de Utilities

Vapor 50#	Agua de refrigeración
33,9 USD/ton	0,05 USD/m <sup>3</sup>

Fuente: ENAP

### 2.15.2 Inversión Estimada Alternativas

Para la ejecución del proyecto es necesario contar con una inversión inicial, que se divide en Costos Directos y Costos Indirectos.

Los costos directos incluyen los gastos asociados a la adquisición e instalación de equipos, *piping* e instrumentación.

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Los costos indirectos se pueden estimar en un 15% de los costos directos e incluyen los gastos de tipo administrativos en los que incurre la empresa en la adquisición de servicios asociados al montaje de la nueva estructura, es decir, arriendo de maquinaria, seguros, salarios del personal fijo, elementos de protección personal y otros.

Además, se puede considerar un ítem de trabajo complementarios, al cual corresponden las contingencias asociadas a la ejecución y puesta en marcha del proyecto, es decir, todos los imprevistos, ya sea problemas durante la excavación, problemas de unión con las líneas existentes y otros. Este ítem se estima en un 15% de los costos de los costos directos más los gastos generales.

Se realizan cotizaciones de los intercambiadores e instrumentación propuesta (termocuplas, válvulas de control y transmisores), mientras que para el *piping* se estiman montos de acuerdo a lo registrado en sistema SAP. Finalmente se descarta el requerimiento de bombas para las propuestas 2,3 y 4 bajo la suposición de la operación de las bombas impulsoras del estanque T-250.

En la Tabla 2.49 se presenta una comparación de la estimación de la inversión requerida para cada una de las alternativas propuestas.

Tabla 2.49: Comparación Inversión Alternativas

<b>Alternativa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Ítem</b>	<b>Monto USD</b>	<b>Monto USD</b>	<b>Monto USD</b>	<b>Monto USD</b>
Equipamiento	317.036	310.287	319.120	393.062
Instalación de <i>Piping</i> y Equipos	210.081	215.947	235.547	455.502
Instalación Eléctrica y Configuración Puntos DCS	15.000	15.000	15.000	15.000
Gastos Generales	81.318	81.185	85.450	129.535
Contingencia	93.515	93.363	98.267	148.965
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>716.950</b>	<b>715.782</b>	<b>753.384</b>	<b>1.142.063</b>

Por otro lado, la ingeniería conceptual de la empresa Axens para las integraciones propuestas realiza las siguientes estimaciones de inversión mencionadas en la Tabla 2.50.

Tabla 2.50: Estimaciones inversiones propuestas de Axens

Inversión Aceite Decantado MUSD	Inversión COL MUSD
255,2	1.073

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Las diferencias entre las estimaciones de costos de ambas propuestas se pueden justificar de acuerdo a lo siguiente. Si se analiza la clasificación de la estimación de costos, la efectuada por la consultoría es una clase V, que corresponde ser una ingeniería conceptual, donde la información disponible se limita a las plantas involucradas y condiciones de diseño, en otras palabras, se puede definir que el nivel de madurez del proyecto en el momento que se efectúa la estimación, se encuentra entre un 0 a 2%. En esta clase se utilizan diversas técnicas para estimar costos, estas incluyen experiencias, criterios, valores históricos y el rango de precisión de la estimación fluctúa entre un 50% de sobredimensionamiento y 20% de subdimensionamiento, siendo su objetivo principal evaluar diversas alternativas para determinar si el proyecto es técnica y económicamente atractivo.

El trabajo desarrollado aumenta el nivel de madurez del proyecto hasta una estimación de costos clase III. Este estimado se realiza cuando el diseño del proceso ha sido formalizado, es decir, ya se han completado las especificaciones de diseño, se posee un listado de equipos e instrumentos, se tiene un costo semidetallado del equipamiento pertinente, además del diagrama de flujo del proceso. Dentro de esta clase se encuentran los estudios de ingeniería básica y, además, para reducir el error asociado a la estimación de la inversión se realizan cotizaciones de los equipos e instrumentación requerida, con lo que este error disminuye de -15% a +30%.

La AACE Internacional categoriza la estimación de costos por el nivel de definición del proyecto. Las características secundarias están generalmente correlacionadas con el grado de definición. Las 5 clases de estimación de costos relacionada a la identificación de características son presentadas en la Tabla 2.51.

Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

Tabla 2.51: Clasificación Estimación de Costos

Clase de Estimación	Características Primarias	Características Secundarias	
	Nivel de definición del proyecto	Etapas del Proyecto	Rango de Precisión Esperada
Clase 5	0% a 2%	Evaluación/ Identificación de Ideas/ Opciones	-20% a +50%
Clase 4	1% a 15% Ingeniería Conceptual Aprobada	Selección	-15% a +30%
Clase 3	10% a 40% Ingeniería Básica Aprobada	Definición	-15% a +30%
Clase 2	30% a 70% Ingeniería de Detalle Aprobada	Ejecución	-5% a +15%
Clase 1	Obtenido durante la Ejecución (As Built)	Puesta en Marcha/ Evaluación	-3% a +10%

Fuente: (AAE Internacional, 2003)

### 2.15.3 Egresos Operacionales

Para las 4 alternativas, se consideran egresos operacionales, asociados a mantenimiento de los equipos equivalente al 6% del costo de equipamiento. Estos se efectúan de manera periódica cada 5 años.

## 2.16 Criterios de Evaluación Económica

### 2.16.1 Valor Actual Neto

Se define como el Valor Presente del aumento de riquezas del inversionista en caso de efectuar el proyecto. Se consideran criterios para argumentar la recomendación de realizar o no el proyecto.

- $VAN > 0$  : Proyecto Rentable
- $VAN = 0$  : Proyecto Indiferente
- $VAN < 0$  : Proyecto No Conveniente

## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

### 2.16.2 Tasa Interna de Retorno

La tasa interna de retorno (TIR), se conoce como la tasa interna de rentabilidad y simboliza la tasa en la cual el Valor Actual Neto es igual a 0, es decir, cuando el valor presente de los beneficios sea equivalente al valor presente de los costos. De forma análoga al VAN existen criterios para evaluar la rentabilidad del proyecto.

- $TIR >$  tasa de descuento : Proyecto Rentable
- $TIR =$  tasa de descuento : Proyecto Indiferente
- $TIR <$  tasa de descuento : Proyecto No Conveniente

### 2.16.3 Payback

Periodo en el cual el Flujo de Caja acumulado actualizado es positivo. En otras palabras corresponde el año en el cual se recupera la inversión, generando ganancias netas.

### 2.16.4 IVAN

Cuando se tiene un proyecto que posee un mismo objetivo y es posible replicarlo 2 o más veces para decidir entre proyectos con distinta inversión, se recomienda considerar el indicador IVAN (razón entre VAN e Inversión). Se selecciona aquella alternativa que tenga el mayor IVAN.

## 2.17 Flujo de Caja

A continuación se presenta el Flujo de Caja Puro para cada alternativa planteada.

Tabla 2.52: Flujo Caja Alternativa 1

Ítem	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Ingresos Operacionales		377.278	377.278	377.278	377.278	377.278	377.278	377.278	377.278	377.278	377.278	377.278	377.278	377.278	377.278	377.278
Egresos Operacionales						- 19.022					- 19.022					- 19.022
<b>UTILIDAD OPERACIONAL</b>		<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>358.256</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>358.256</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>358.256</b>
Valor Residual																65.675
Inversión	- 716.950															
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	<b>- 716.950</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>358.256</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>358.256</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>377.278</b>	<b>423.931</b>
<b>FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO</b>	<b>- 716.950</b>	<b>345.810</b>	<b>316.966</b>	<b>290.528</b>	<b>266.295</b>	<b>231.777</b>	<b>223.724</b>	<b>205.064</b>	<b>187.959</b>	<b>172.282</b>	<b>149.950</b>	<b>144.740</b>	<b>132.668</b>	<b>121.602</b>	<b>111.459</b>	<b>114.795</b>

Tabla 2.53: Flujo Caja Alternativa 2

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Ingresos Operacionales		187.650	187.650	187.650	187.650	187.650	187.650	187.650	187.650	187.650	187.650	187.650	187.650	187.650	187.650	187.650
Egresos Operacionales						- 18.617					- 18.617					- 18.617
<b>UTILIDAD OPERACIONAL</b>		<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>169.032</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>169.032</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>169.032</b>
Valor Residual																30.987
Inversión	- 715.782															
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	<b>- 715.782</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>169.032</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>169.032</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>187.650</b>	<b>200.019</b>
<b>FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO</b>	<b>- 715.782</b>	<b>171.998</b>	<b>157.652</b>	<b>144.502</b>	<b>132.449</b>	<b>109.357</b>	<b>111.275</b>	<b>101.994</b>	<b>93.487</b>	<b>85.689</b>	<b>70.749</b>	<b>71.991</b>	<b>65.986</b>	<b>60.482</b>	<b>55.437</b>	<b>54.163</b>

Tabla 2.54: Flujo Caja Alternativa 3

Ítem	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Ingresos Operacionales		502.432	502.432	502.432	502.432	502.432	502.432	502.432	502.432	502.432	502.432	502.432	502.432	502.432	502.432	502.432
Egresos Operacionales						- 19.147					- 19.147					- 19.147
<b>UTILIDAD OPERACIONAL</b>		<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>483.284</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>483.284</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>483.284</b>
Valor Residual																88.595
Inversión	- 753.384															
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	<b>- 753.384</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>483.284</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>483.284</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>502.432</b>	<b>571.879</b>
<b>FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO</b>	<b>- 753.384</b>	<b>460.524</b>	<b>422.112</b>	<b>386.903</b>	<b>354.632</b>	<b>312.665</b>	<b>297.940</b>	<b>273.089</b>	<b>250.310</b>	<b>229.432</b>	<b>202.281</b>	<b>192.755</b>	<b>176.677</b>	<b>161.940</b>	<b>148.433</b>	<b>154.858</b>

Tabla 2.55: Flujo Caja Alternativa 4

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Ingresos Operacionales		573.837	573.837	573.837	573.837	573.837	573.837	573.837	573.837	573.837	573.837	573.837	573.837	573.837	573.837	573.837
Egresos Operacionales						- 23.584					- 23.584					- 23.584
<b>UTILIDAD OPERACIONAL</b>		<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>550.253</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>550.253</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>550.253</b>
Valor Residual																100.871
Inversión	- 1.142.063															
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	<b>- 1.142.063</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>550.253</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>550.253</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>573.837</b>	<b>651.125</b>
<b>FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO</b>	<b>- 1.142.063</b>	<b>525.973</b>	<b>482.102</b>	<b>441.890</b>	<b>405.032</b>	<b>355.991</b>	<b>340.283</b>	<b>311.900</b>	<b>285.884</b>	<b>262.039</b>	<b>230.311</b>	<b>220.149</b>	<b>201.786</b>	<b>184.955</b>	<b>169.528</b>	<b>176.316</b>

### 2.17.1 Evaluación Indicadores Rentabilidad

La Tabla 2.56 presenta los indicadores económicos resultantes de la evaluación económica, para cada una de las alternativas planteadas.

Tabla 2.56: Evaluación Económica Alternativas

Alternativa	VAN USD	TIR %	IVAN	PAYBACK años
1	2.106.936	52	2,9	3
2	707.084	25	1,0	5
3	2.233.276	67	3,0	2
4	3.164.141	50	2,8	3

Tal como hace referencia la Tabla 2.56, todas las alternativas son económicamente factibles. La alternativa 2 es aquella que otorga menores ganancias y tarda más en recuperar la inversión tras su fase de operación (5 años). De acuerdo a las alternativas analizadas, la alternativa 4 es aquella que posee un mayor VAN, esto debido a la extensión del aumento en la temperatura del agua, junto con el mayor ahorro en agua de refrigeración. La alternativa 3 recupera la inversión en un menor tiempo, sin embargo, esta propuesta está sujeta a la paralización de operaciones de la caldera U-751. Finalmente la alternativa 1 permite recuperar la inversión al tercer año de operación, siendo aquella que posee el segundo mayor IVAN.

## 2.18 Recomendaciones de Inversión

Como se menciona anteriormente, se analizan los indicadores económicos de las 4 alternativas propuestas. Si bien la alternativa 4 es la que posee mejor VAN, tiene la mayor inversión, debido a que el requerimiento en equipos representa ser de 4 intercambiadores, y por ende, esto provoca que los costos asociados a la instalación de estos sean mayores. La alternativa 3 posee el segundo mayor monto de VAN, pero su implementación está en función a la detención de la caldera, por lo cual no es una propuesta que se pueda implementar en el corto plazo.

Por otro lado, la alternativa 1 es una alternativa que posee una relación de beneficios/ costos de 2,9, es por esto que se termina recomendando la inversión y desarrollo, como una opción estratégica en el corto plazo.

## 2.19 Especificaciones

### 2.19.1 Procesos

#### 2.19.1.1 Balance De Materia y Energía

La Tabla 2.57 presenta el balance de materia y energía de las corrientes involucradas.

Tabla 2.57: Balance de Materia y Energía

Intercambiador	C-01 A				C-01 B			
	Agua Desmineralizada		Aceite Decantado		Agua Desmineralizada		Aceite Decantado	
Flujo másico kg/h	72.000		23.212		70.000		23.212	
Temperatura °C	17,21	30	202	99,83	15	17,21	99,83	80
Calor Transferido kcal/h	1.020.742				176.642			

### 2.19.2 Balance Hidráulico

El nuevo circuito hidráulico permite el traslado del agua desmineralizada desde el área de suministros a la planta de *Cracking*. Se establece que el circuito principal que transporta agua desmineralizada desde la planta de suministros hasta el intercambiador corresponde ser una tubería de 6" Sch. STD, estimando una longitud de 200m, denominada 6"-L01-N1A1. Sin embargo, se plantea la opción de considerar un *by pass* de 4" Sch. STD, denominado 4"-L02-N1A1 de 50m de longitud. La línea que retorna el agua desmineralizada desde el intercambiador hasta la zona de suministros se asigna como 6"-L03-N1A1 de 200m de longitud. Se verifica que se cumple con las recomendaciones establecidas de velocidad y caída de presión, tal como lo presentan las Tabla 2.58 y Tabla 2.59.

Tabla 2.58 Hidráulica Línea Agua desmineralizada – Intercambiador

Condición	Caudal m <sup>3</sup> /h	Velocidad m/s	$\Delta P$ kg/cm <sup>2</sup>
Baja	40	0,6	0,2
Diseño	72	1,1	0,4

Tabla 2.59 Hidráulica Línea *By Pass* Agua

Condición	Caudal m <sup>3</sup> /h	Velocidad m/s	$\Delta P$ kg/cm <sup>2</sup>
Media	30	1,1	0,1
Alta	60	2,0	0,17

En el diseño del intercambiador se consideró un caudal de aceite decantado de 24,51 m<sup>3</sup>/h, el cual es transportado hacia el nuevo intercambiador en una línea de 3” Sch. XS, que es equivalente a la actualmente empleada. La línea que transporta el Aceite Decantado desde el intercambiador C-751 hasta el intercambiador propuesto se asigna como 3”-L04-A2A2, la línea de aceite que retorna enfriada se denomina 3” L05-A2A2. Además, se verifica que el nuevo circuito hidráulico cumple con las recomendaciones establecidas de velocidad y caída de presión, lo cual se presenta en la Tabla 2.60.

Tabla 2.60 Hidráulica extensión circuito aceite decantado

Condición	Caudal m <sup>3</sup> /h	Velocidad m/s	$\Delta P$ kg/cm <sup>2</sup>
Baja	7,61	0,50	0,1
Promedio	13,10	0,85	0,3
Diseño	24,51	1,60	0,7

Lo descrito anteriormente se observa en la Figura 2.15.

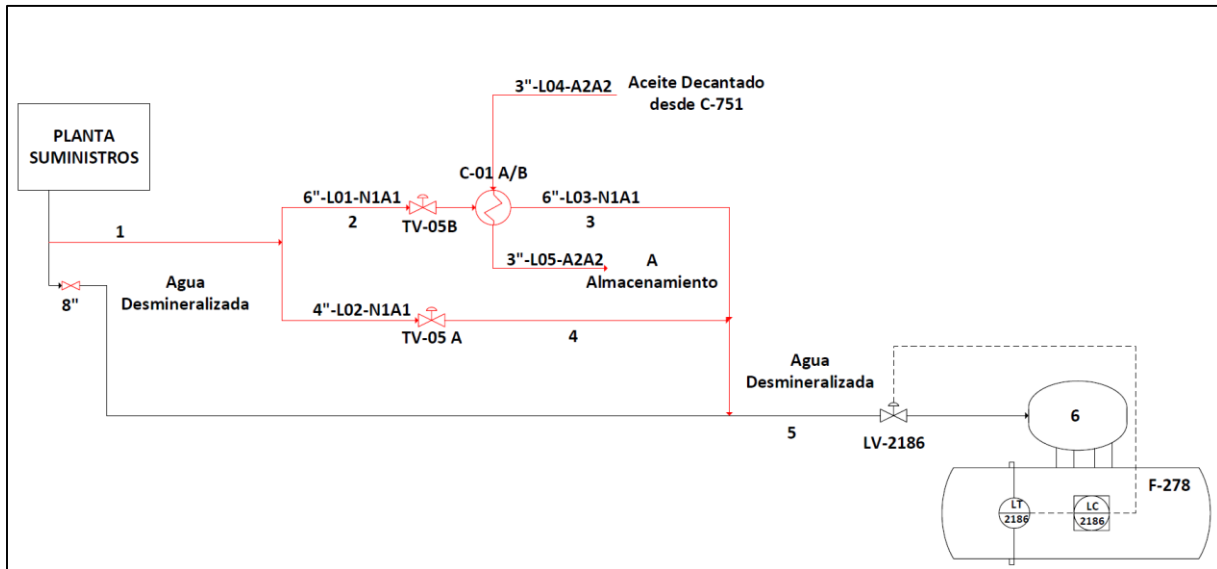


Figura 2.15: Hidráulica Sistema Propuesta

Se efectúa un balance hidráulico para distintos escenarios, presentados en las Tabla 2.61, 2.62 y 2.63 con el objetivo de comprobar la distribución de los flujos por ambos ramales.

Tabla 2.61: Hidráulica Condición Diseño

Corriente	1	2	3	4	5	6
Flujo m <sup>3</sup> /h	100	72	72	28	100	100
Presión kg/cm <sup>2</sup> g	4,58	4,58	3,68	3,68	3,68	0,7
% Apertura Válvula	-	100		32	56	-

Tabla 2.62: Hidráulica Condición Promedio

<b>Corriente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Flujo m <sup>3</sup> /h	72	72	72	0	72	72
Presión kg/cm <sup>2</sup> g	4,88	4,88	3,98	3,98	3,98	0,7
% Apertura Válvula	-	100		0	49	-

Tabla 2.63: Hidráulica Condición Baja Aceite

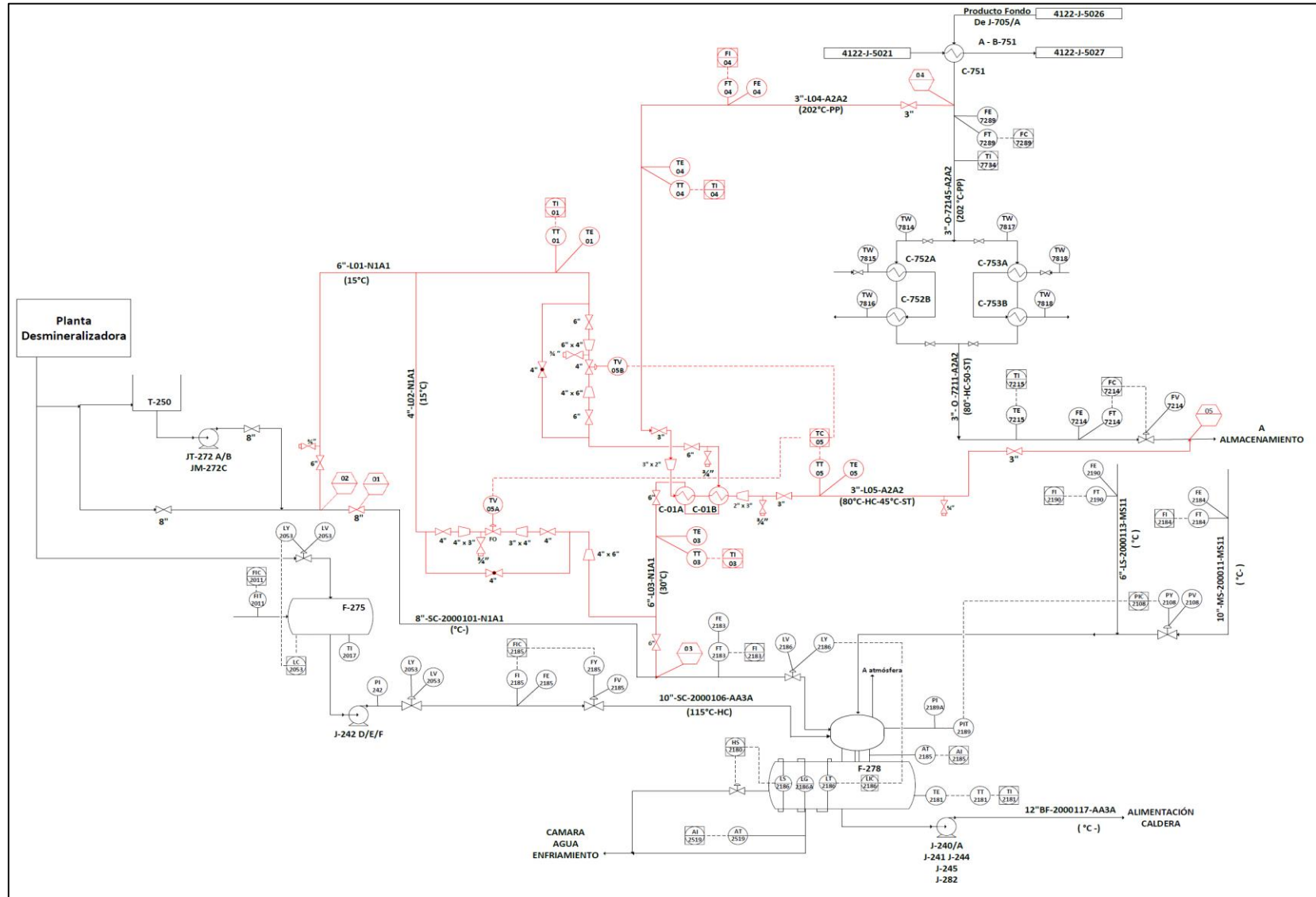
<b>Corriente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Flujo m <sup>3</sup> /h	100	40	40	60	100	100
Presión kg/cm <sup>2</sup> g	4,58	4,58	4,12	4,12	4,12	0,7
% Apertura Válvula	-	65		98	54	-

En caso de falla del aire instrumental, las válvulas TV-05A, TV-05B y LV-2186 quedan 100% abiertas, por lo cual se da la siguiente distribución de flujos, tal como lo presenta la Tabla 2.64.

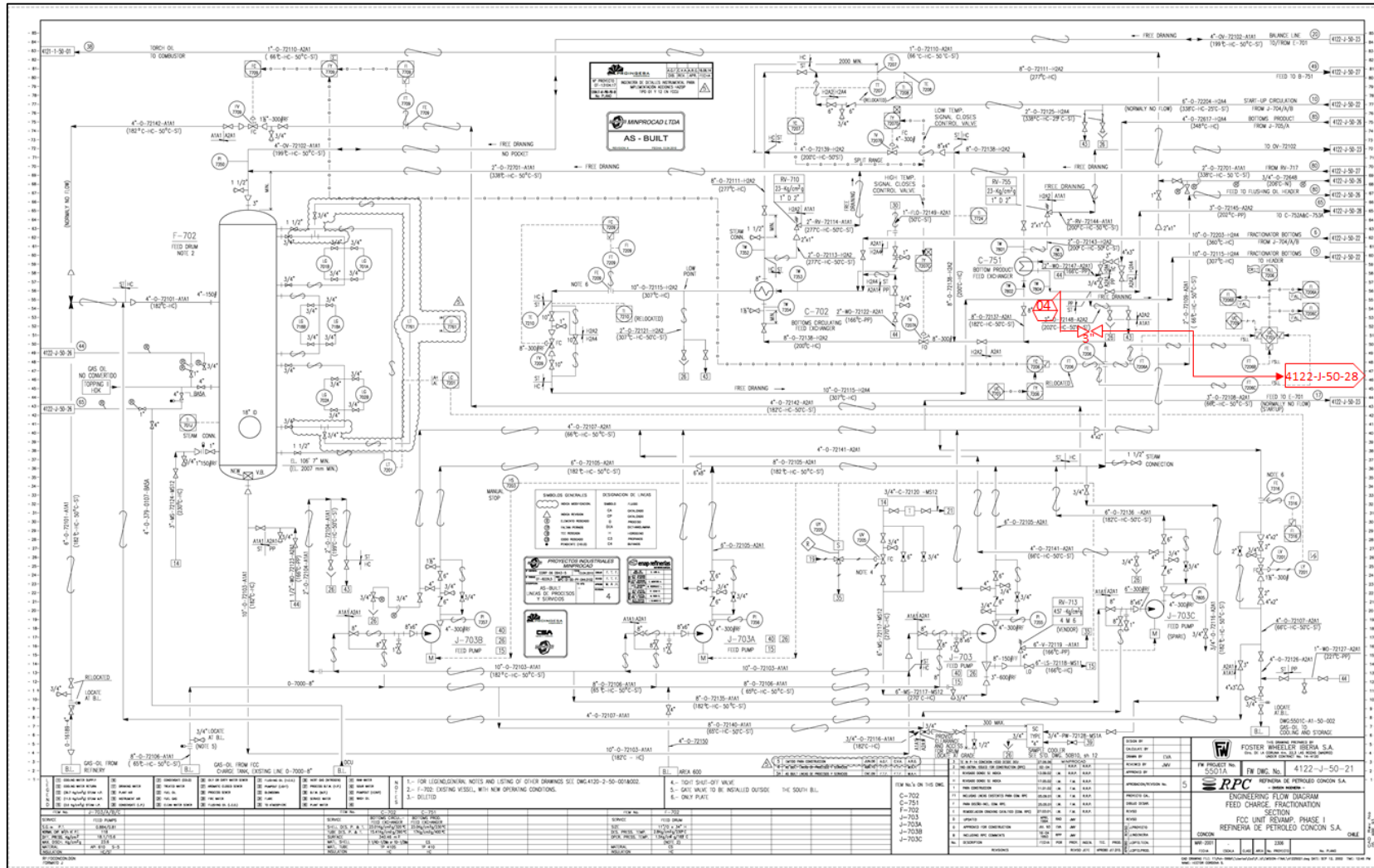
Tabla 2.64: Hidráulica Condición Baja Aceite

<b>Corriente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Flujo m <sup>3</sup> /h	181,6	83,4	83,4	98,2	181,6	18,6
Presión kg/cm <sup>2</sup> g	4,58	4,58	3,88	1,58	1,58	0,7
% Apertura Válvula	-	100		100	100	-

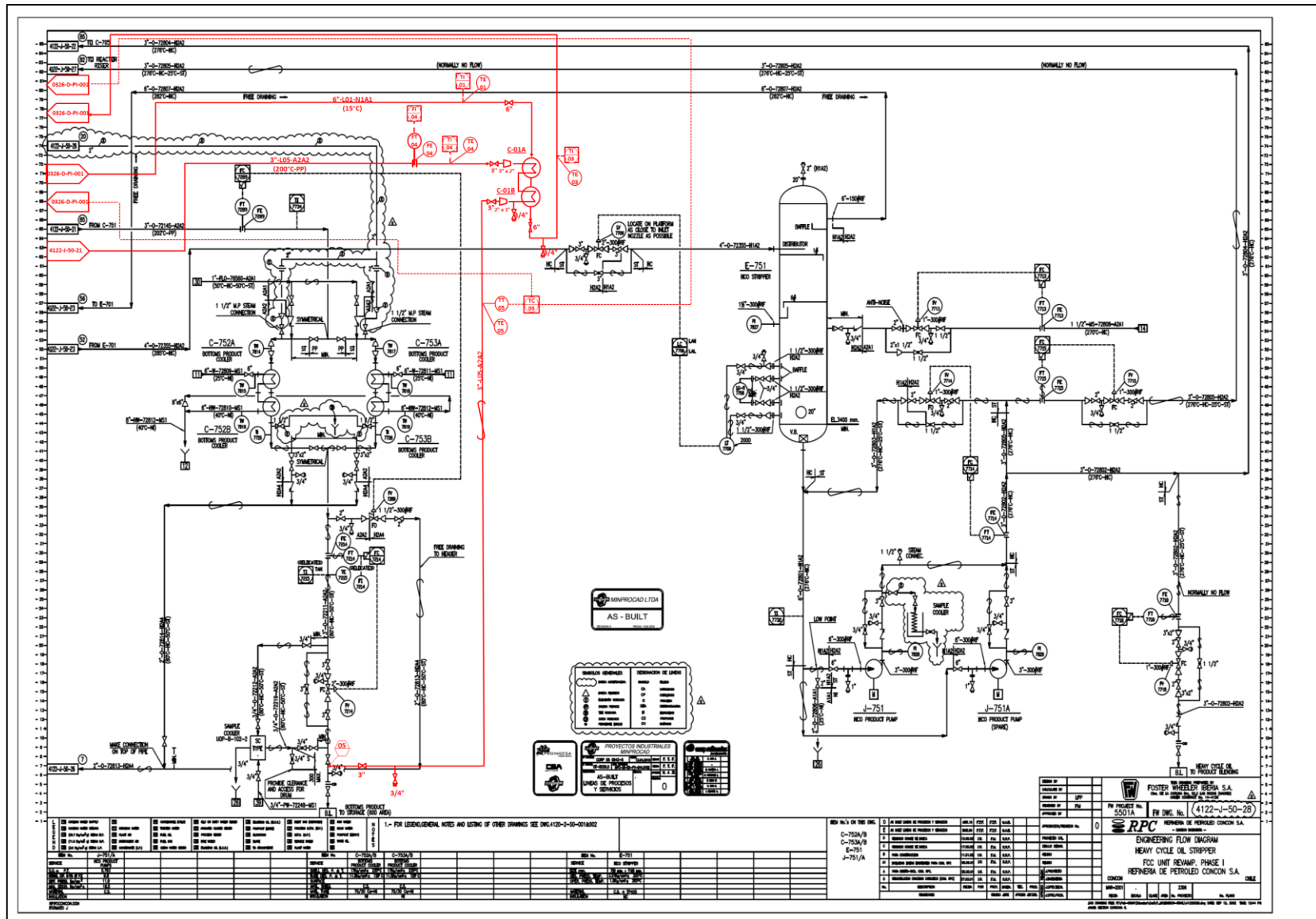
## 2.20 Diagrama de Flujo del Proceso



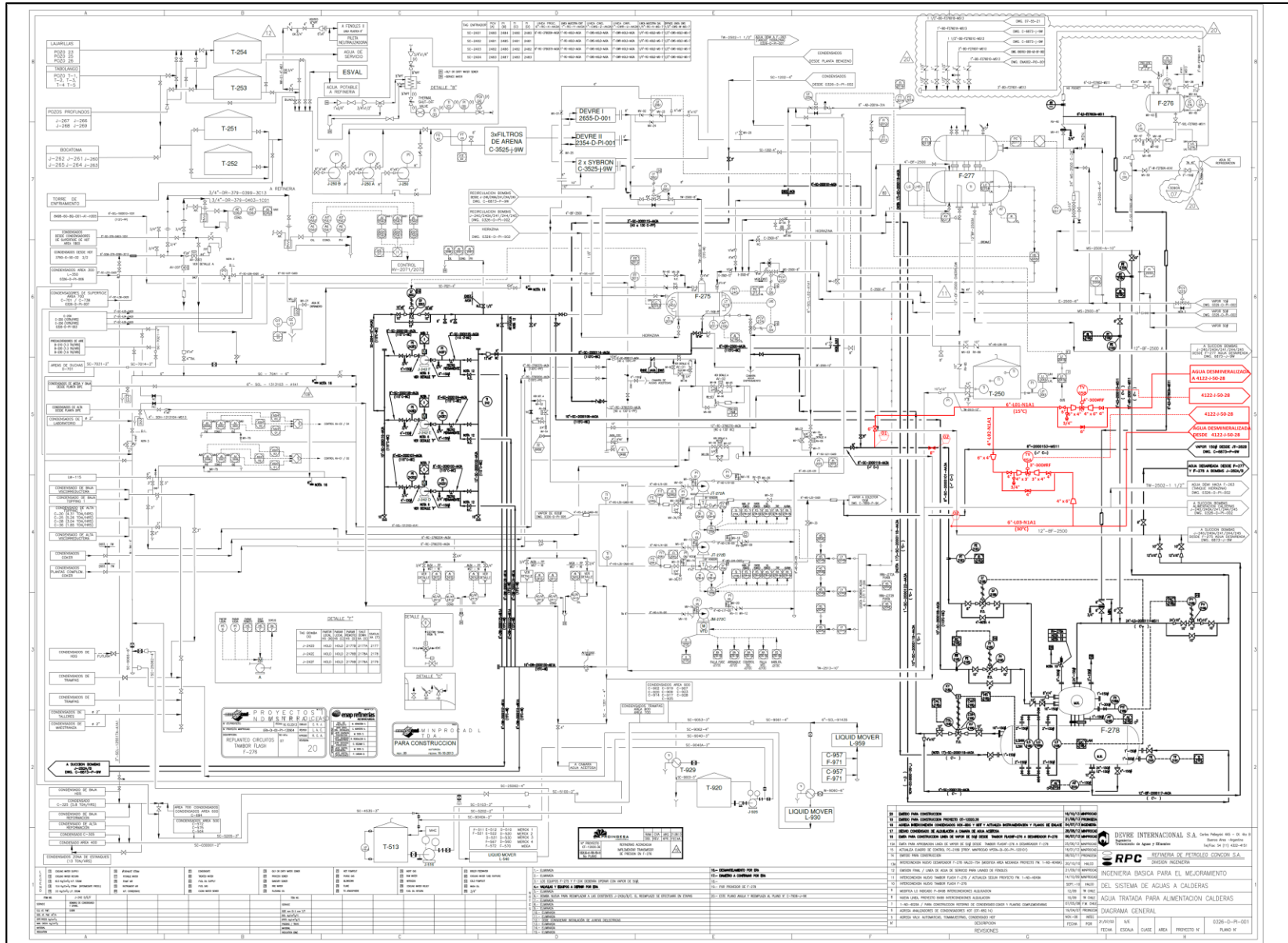
## 2.21 Diagrama de Cañerías e Instrumentos



# Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



# Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



## 2.22 Instrumentación

### 2.22.1 Lista de Instrumentos

Se requieren 4 termocuplas, TE-01, TE-03, TE-04, TE-05, ya que se debe realizar la medición de temperatura en las corrientes de entrada y salida de los fluidos que circulan por el lado del tubo y la coraza del intercambiador. Además, es necesario contar con un controlador de la temperatura para la salida del aceite decantado.

Se mide el flujo en la corriente del fluido caliente por el medidor FE-04, en la línea 3"-L04-A2A2. El listado de los instrumentos requeridos se detalla en la Tabla 2.65.

Tabla 2.65: Listado de Instrumentos

TAG	FLUIDO	RANGO	UNIDAD	FUNCIÓN	LINEA / EQUIPO
FE-04	Aceite Decantado	0-100	in H2O	Medidor Flujo Aceite Decantado	3"-L04-A2A2
FI-04	Aceite Decantado	0-100	in H2O	Indicador Flujo de Aceite Decatando	3"-L04-A2A2
FT-04	Aceite Decantado	0-100	in H2O	Transmisor Flujo Aceite Decantado	3"-L04-A2A2
TE-01	Agua Desmineralizada	0-100	°C	Medidor de Temperatura Entrada Lado Coraza	6"-L01-A1N1
TI-01	Agua Desmineralizada	0-100	°C	Indicador Temperatura Entrada Lado Coraza en DCS	6"-L01-A1N1
TT-01	Agua Desmineralizada	0-100	°C	Transmisor de Temperatura Entrado Lado Coraza	6"-L01-A1N1
TE-03	Agua Desmineralizada	0-100	°C	Medidor de Temperatura Salida Lado Coraza	6"-L03-N1A1
TI-03	Agua Desmineralizada	0-100	°C	Indicador Temperatura Salida Lado Coraza en DCS	6"-L03-N1A1
TT-03	Agua Desmineralizada	0-100	°C	Transmisor de Temperatura Salida Lado Coraza	6"-L03-N1A1
TE-04	Aceite Decantado	0-400	°C	Medidor Temperatura Entrada Lado Tubos	3"-L04-A2A2
TI-04	Aceite Decantado	0-400	°C	Indicador Temperatura Entrada Lado Tubos en DCS	3"-L04-A2A2
TT-04	Aceite Decantado	0-400	°C	Transmisor de Temperatura Entrada Lado Tubos	3"-L04-A2A2
TE-05	Aceite Decantado	0-400	°C	Medidor de Temperatura Entrada Lado Tubos	3"-L05-A2A2
TI-05	Aceite Decantado	0-400	°C	Indicador Temperatura Salida Lado Tubos en DCS	3"-L05-A2A2
TT-05	Aceite Decantado	0-400	°C	Trasmisor de Temperatua Salida Lado Tubos	3"-L05-A2A2

### 2.22.2 Válvulas de Control

Se requiere la instalación de una válvula de control TV-05A, para controlar el flujo de agua desmineralizada ubicada en la línea de *by pass* 4"-L02-N1A1 y otra válvula en la línea 6"-L01-N1A1 para generar una mayor caída de presión a dicha línea con el objetivo de permitir un mejor control en la válvula de *by pass*. Para ello se dimensionan ambas válvulas en una condición baja, media y alta de caudal. Lo anterior se detalla en la Tabla 2.66.

Tabla 2.66: Listado Válvulas de Control

N°	TAG	FLUIDO	DESCRIPCIÓN	LINEA	P&ID
1	TV-05A	Agua Desmineralizada	Controlar Flujo de Agua Desmineralizada	4"-L02-N1A1	0326-D-PI-001
2	TV-05B	Agua Desmineralizada	Controlar Flujo de Agua Desmineralizada	6"-L01-N1A1	0326-D-PI-001

En la Tabla 2.67 y 2.68 se especifican las condiciones de operación para el dimensionamiento de las válvulas de control TV-05A y TV-05B, para los caso con o sin operación de bombas JT-272 A/B y JM-272C

Tabla 2.67: Condiciones Diseño Válvulas de Control sin bombas

Válvula de Control	TV-05A			TV-05B		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Condición						
Caudal m <sup>3</sup> /h	10	28	60	40	72	72
Densidad kg/m <sup>3</sup>	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Presión entrada kg/cm <sup>2</sup> g	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Presión salida kg/cm <sup>2</sup> g	1,81	2,6	2,98	2,98	2,6	2,6
$\Delta P$ kg/cm <sup>2</sup>	1,69	0,9	0,52	0,52	0,9	0,9
Cv calculado	8	34	61	77	128	128

Tabla 2.68: Condiciones Diseño Válvula de Control con bombas

Válvula de Control	TV-05A			TV-05B		
	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
Condición						
Caudal m <sup>3</sup> /h	10	28	60	40	72	72
Densidad kg/m <sup>3</sup>	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Presión entrada kg/cm <sup>2</sup> g	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Presión salida kg/cm <sup>2</sup> g	3,17	3,68	4,3	4,06	3,68	3,68
$\Delta P$ kg/cm <sup>2</sup>	1,43	0,92	0,3	0,54	0,92	0,92
Cv calculado	10	34	61	77	128	128

## 2.23 Lista de Nuevos Puntos en TDC

La instrumentación propuesta de la alternativa seleccionada requiere la instalación de nuevos puntos en TDC, los cuales son detallados en la Tabla 2.69.

Tabla 2.69: Nuevos Puntos TDC

TAG	Descripción	Tipo	Módulo	Vía
TI-01	Indicador de Temperatura	Indicador de Temperatura Entrada Agua Desmineralizada	No Redundante	4-20 mA
FI-04	Indicador de Flujo	Indicador de Flujo Aceite Decantado	No Redundante	4-20 mA
TI-04	Indicador de Temperatura	Indicador de Temperatura Entrada salida Aceite Decantado	No Redundante	4-20 mA
TC-05	Indicador de Temperatura	Indicador de Temperatura Salida Aceite Decantado	Redundante	4-20 mA
TI-03	Indicador de Temperatura	Indicador de Temperatura Salida Agua Desmineralizada	Redundante	4-20 mA
TV-05A	Actuador Válvula de Control	Válvula de Control By Pass Agua Desmineralizada	Redundante	4-20 mA
TV-05B	Actuador Válvula de Control	Válvula de Control Agua Desmineralizada	Redundante	4-20 mA

## 2.24 Lógica de Control

Dada la variabilidad en las condiciones de operación asociada a flujos y temperatura de entrada al intercambiador por parte del aceite decantado, se propone implementar una lógica de control que esté asociada a la operación de los intercambiadores, basado en regular la temperatura de salida del aceite decantado. Se debe asegurar que esta temperatura se encuentre por sobre los 30°C, ya que esta corresponde ser la temperatura de escurrimiento de dicho hidrocarburo. Puesto que este producto se enfría con agua desmineralizada y con el antecedente mencionado, se propone un control de rango dividido, expresado en lazo de control TC-05 cuyos actuadores finales corresponden ser las válvulas de control TV-05A y TV-05B ubicadas en la línea de *by pass* 4"-L02-N1A1 y 6"-L01-N1A1 respectivamente.

La salida del controlador (OP), expresada como porcentaje posee un rango de 0% a 100%. La variación de la abertura de la válvula TV-05B es de 0% a 100% y de 100 a 0% en TV-05A, para equivalente variación de la OP. Para un 30% de la OP coincide la abertura de las válvulas. Lo anterior se expresa en la Figura 2.16.

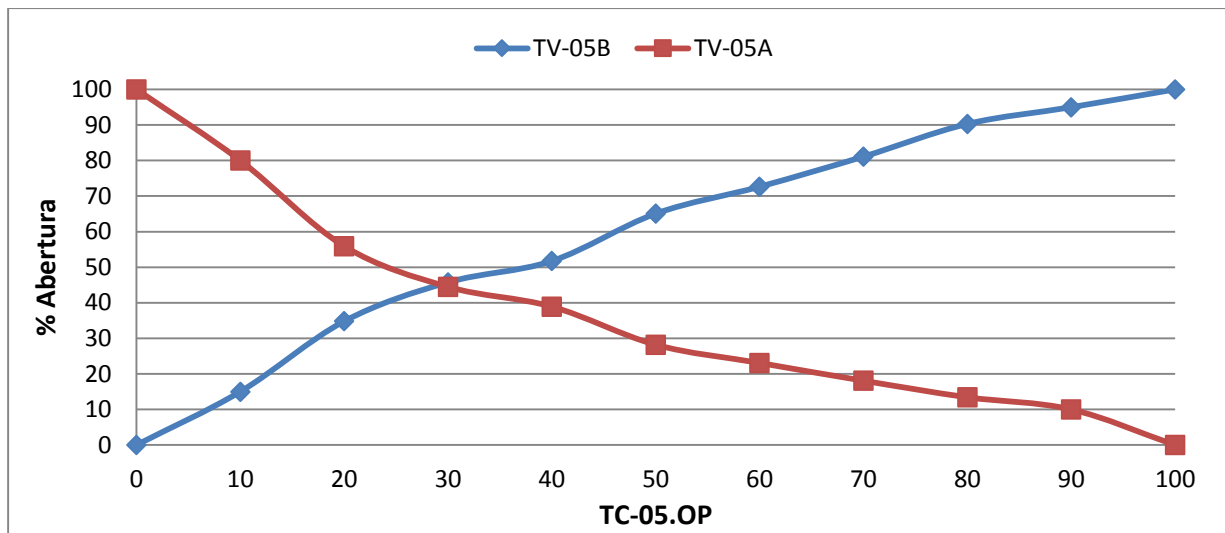


Figura 2.16: Caracterización propuesta

Las válvulas de control corresponden ser de globo, puesto que esta reduce el efecto de la vena contracta, es más adecuada para control de flujo e implica una menor reducción de diámetro respecto al diámetro nominal de la tubería.

La característica de caudal inherente resulta ser una de tipo lineal, puesto que esta es la más adecuada al momento de controlar flujo, cuando más del 40% del  $\Delta P$  del sistema recae en la válvula. De acuerdo a lo anterior, se comprueba que existe esta misma relación entre el % OP

y el Cv, lo que muestra la Figura 2.17 tal como lo ocurre en la relación % abertura versus %OP.

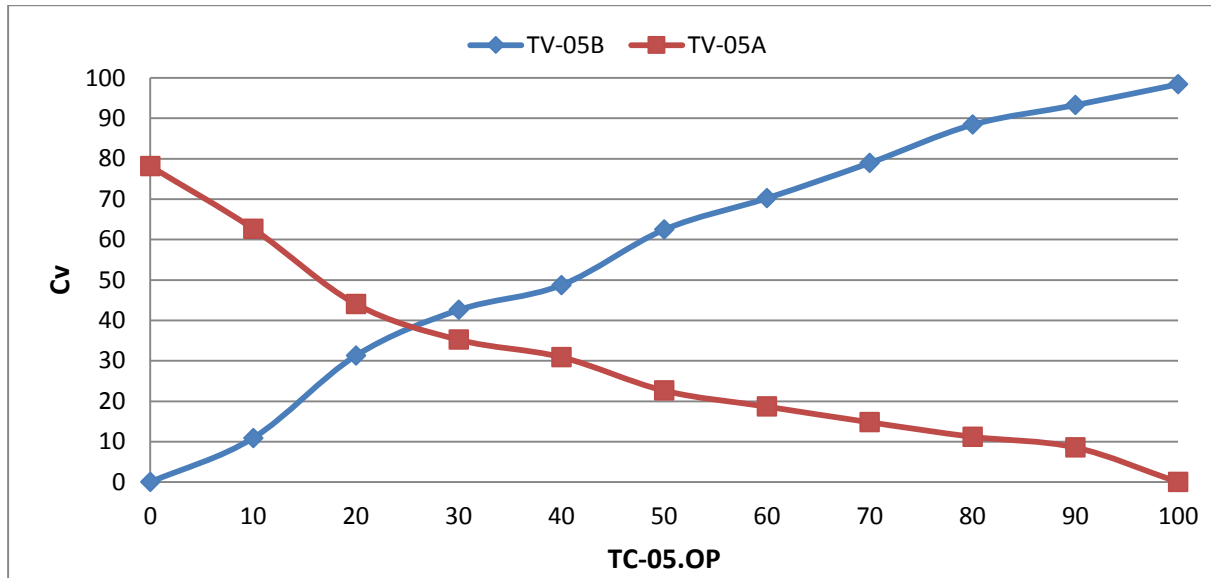


Figura 2.17: Caracterización propuesta

Tabla 2.70: Caracterización propuesta TV-05A

TC-05.OP	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
%Abertura	100	80	56	44	39	28	23	18	13	10	0
Cv <sub>TV-05A</sub>	78	63	44	35	31	23	19	15	11	9	0,01

Tabla 2.71: Caracterización propuesta TV-05B

TC-05.OP	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
%Abertura	0	15	35	46	52	65	73	81	90	95	100
Cv <sub>TV-05B</sub>	0	11	31	43	49	62	70	79	88	93	98

El control de rango dividido consiste en medir la temperatura de salida del aceite por la Termocupla TE-05. Para una operación promedio de la planta *Cracking* y Suministros la válvula TV-05A permanece con una apertura de 0% para permitir el paso del agua por la línea 6"-L01-N1A1 y, por otro lado la válvula TV-05B permanece 100% abierta la mayor parte del tiempo. En caso que la carga de aceite se encuentre por debajo del promedio de 13,1 m<sup>3</sup>/h y que se registre una temperatura menor al *set point* (60°C), el controlador TC-05 envía una señal a la válvula TV-05A para que esta realice una apertura, permitiendo el paso del flujo de agua desmineralizada por la línea de *by pass*. Una vez que la temperatura registrada por TE-05 se encuentre por sobre el *set point*, el controlador envía la señal a la válvula de control TV-

05A para que esta disminuya su apertura, generando una mayor obstrucción al paso del fluido por la línea de *by pass*, por ende, el flujo de agua tenderá a pasar mayormente por la línea 6”L01-N1A1 permitiendo el enfriamiento del aceite.

En caso de llegar a la condición mínima de flujo de aceite decantado de 7,6 m<sup>3</sup>/h, es necesario disminuir la apertura de la válvula TV-05B y aumentar la apertura de la válvula TV-05A. Lo anterior se realiza con el objetivo de generar una mayor obstrucción en la línea y de este modo permitir el control efectivo de la válvula TV-05. Esto se comprueba con la medición del caudal de agua que circula por la línea 6”-L01-N1A1, cuando indique 40 m<sup>3</sup>/h. Una vez restablecida la operación normal del *Cracking*, se ajusta la válvula TV-05B en un 100% de apertura para permitir el paso de agua desmineralizada hacia el intercambiador.

Se requiere la instalación de la válvula TV-05B en la línea 6”-L01-N1A1, puesto que es necesario generar una caída de presión extra a la línea para poder cumplir con el  $\Delta P$  mínimo recomendado (0,7 kg/cm<sup>2</sup>) en una válvula de control, en este caso la TV-05A. Además, es necesario que la válvula TV-05B sea de control, puesto que de esta manera es posible corroborar su caída de presión y apertura para las diferentes condiciones de operación de acuerdo al dimensionamiento efectuado. En caso de que se utilice una válvula de globo manual, no es posible asegurar que una vez instalada genere la caída de presión necesaria para que la válvula de control actúe de manera correcta.

Si se considera el comportamiento de las válvulas más los intercambiadores de calor, se puede considerar el sistema como una válvula de control equivalente, que posee un  $C_{veq}$ , el cual idealmente debería ser constante para el rango de la OP evaluado. Se observa en la Figura 2.18 el  $C_{veq}$  se mantiene constante en 85 para un rango de 10% a 90% de TC-05.OP. Esto significa que la hidráulica del circuito no variará según sea el valor de la señal del controlador en dicho rango.

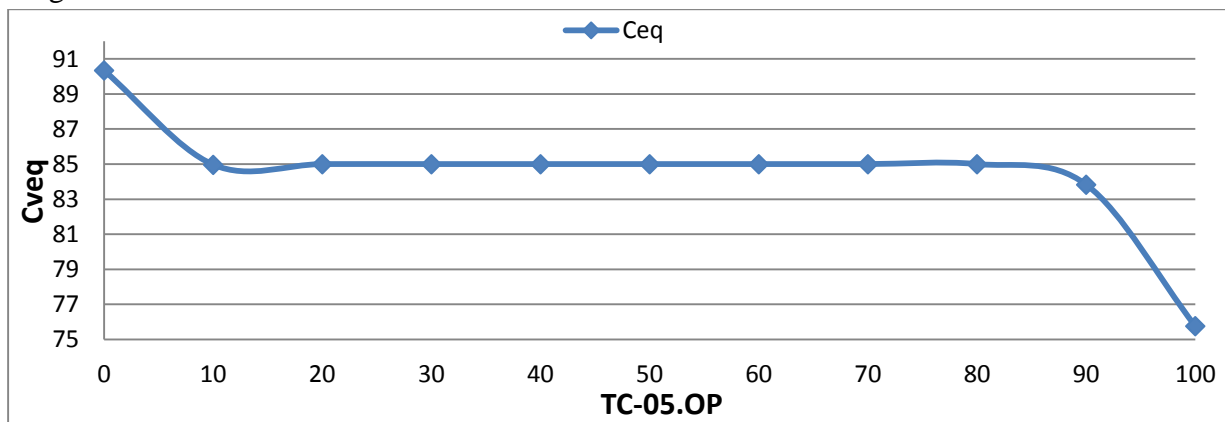


Figura 2.18: Respuesta Sugerida

Finalmente, el flujo de agua desmineralizada disponible para enfriar se regula en función de la válvula de control de nivel del Desaireador LV-2186.

El flujo de aceite decantado que ingresa al Desaireador se mide por el plato orificio FE-04, el cual tiene asociado un transmisor FT-04 que envía la señal al indicador FI-04 para registrar la información en sistema.

Las temperaturas de entrada del agua desmineralizada serán registradas mediante la termocupla TE-01 y el aceite decantado por la TE-04, los cuales mediante su respectivo transmisor TT-01 y TT-04 tienen su respectivo indicador en DCS, con el objetivo de efectuar un seguimiento de dichas variables. Así mismo las temperaturas de salida del intercambiador son medidas por las termocuplas TE-03 y TE-05 y por medio de los transmisores TT-03 y TT-05 es posible registrar la variación de la temperatura en DCS. Lo descrito anteriormente se representa en la Figura 2.19.

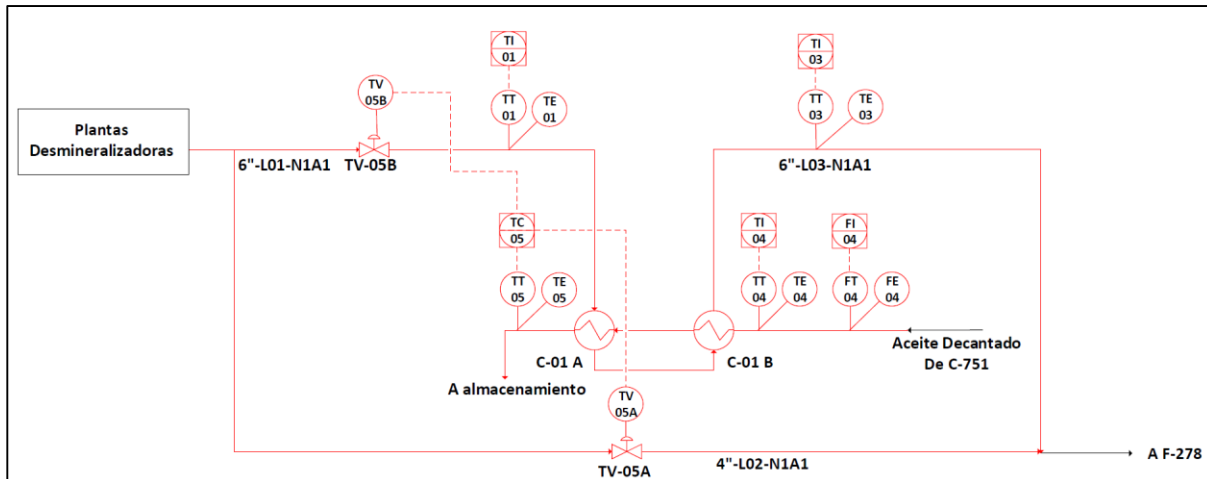
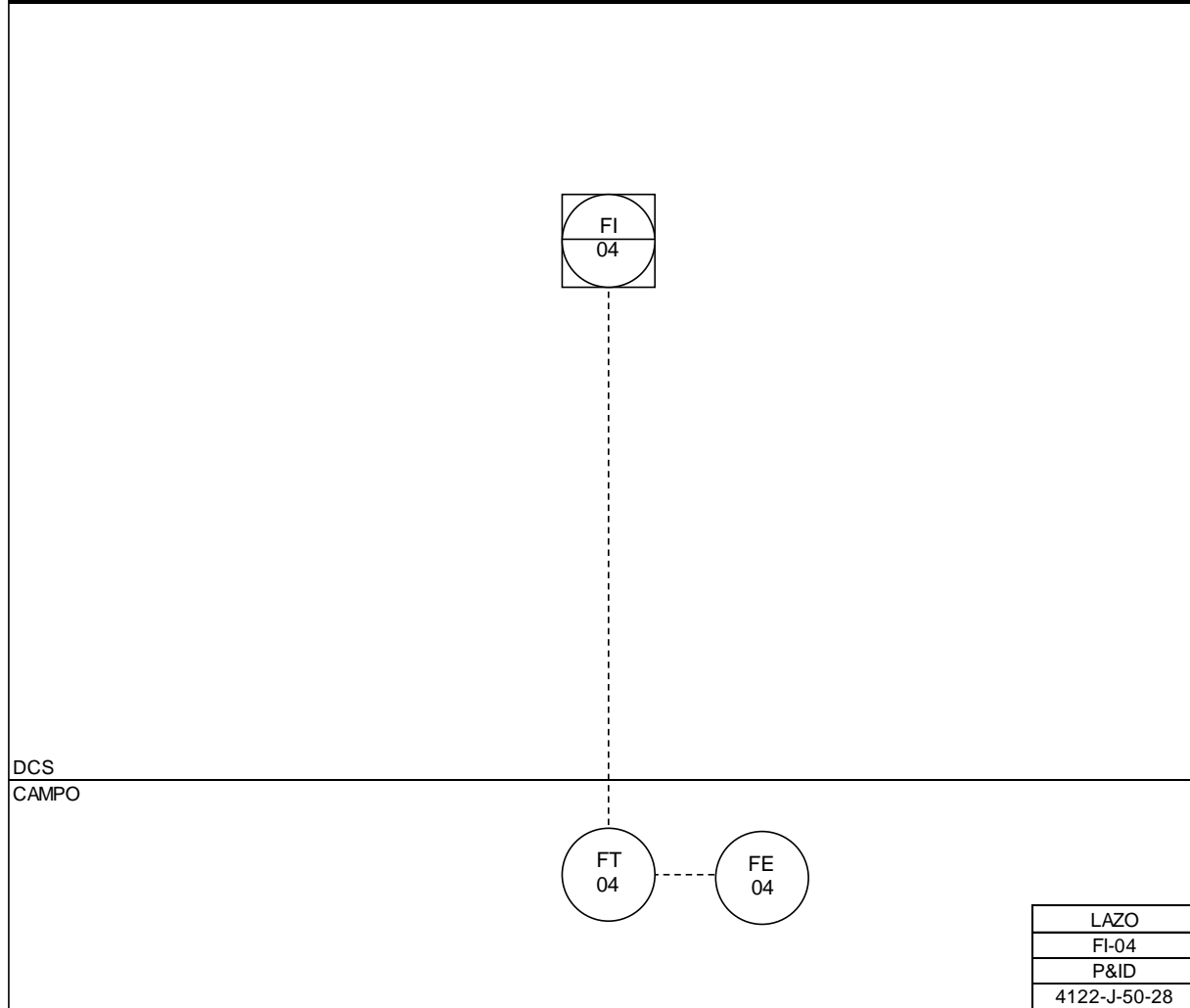


Figura 2.19: Lógica de control



## 2.25 Diagrama de Lazos

TAG	<b>FI-04</b>					
DESCRIPCIÓN	ACEITE DECANTADO					
ALGORITMO	HLAI No Redund.					
RANGO	0 a 31					
UNID. INGEN.	m3/h					
ACC. CONTROL	---					
FALLA AIRE	---					
RANGO INSTRUM.	0 a 100 " H2O					
UCN	(Hold)					
HPM	(Hold)					
MOD / SLOT	(Hold)					
UNIDAD	(Hold)					
GRUPO TRABAJO	(Por Operaciones)					

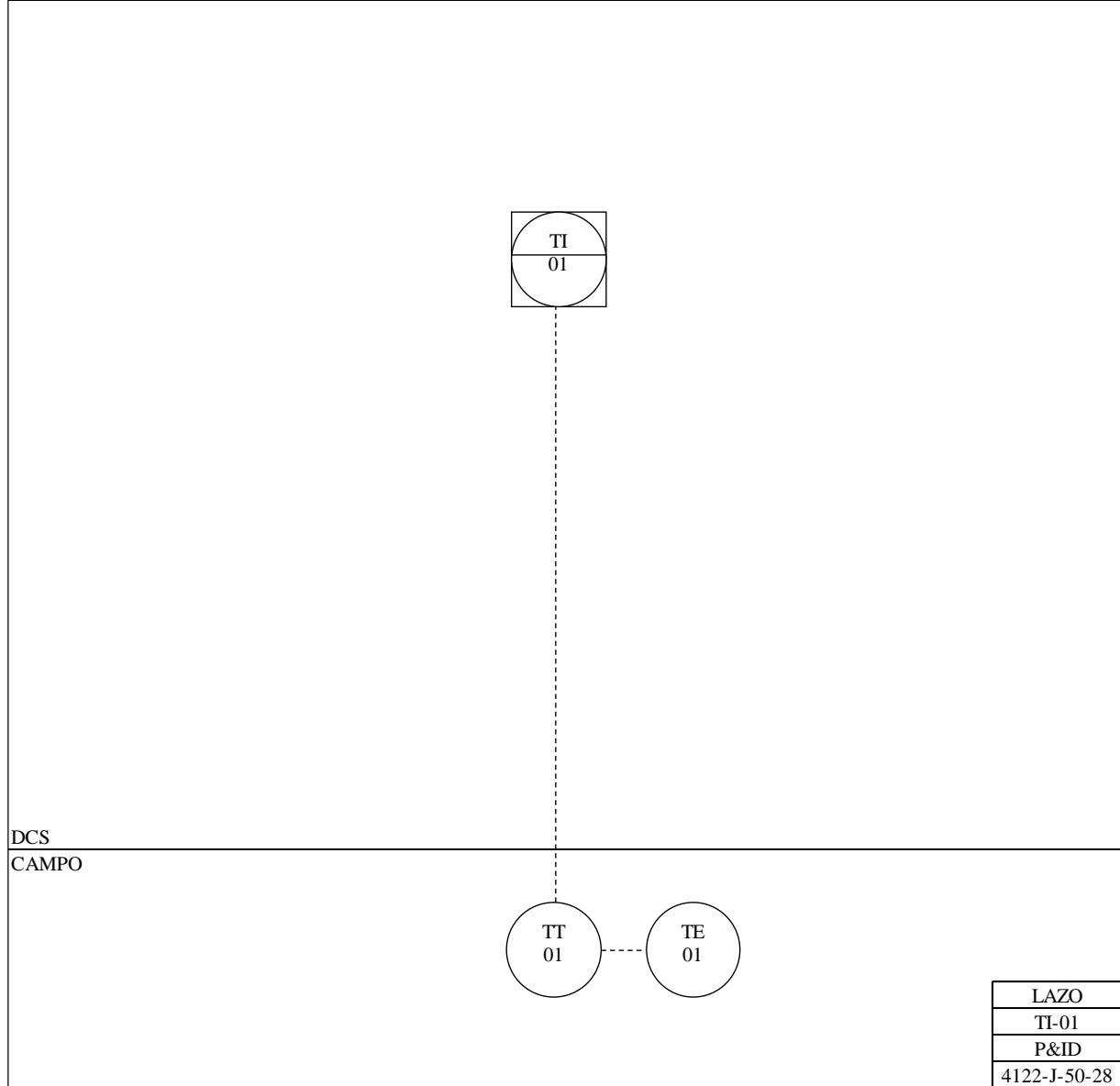




Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



TAG	<b>TI-01</b>					
DESCRIPCIÓN	ENTRADA CORAZA C-01					
ALGORITMO	HLAI No Redund.					
RANGO	0 a 100					
UNID. INGEN.	°C					
ACC. CONTROL	- - -					
FALLA AIRE	- - -					
RANGO INSTRUM.	0 a 100°C Type K T/C					
UCN	(Hold)					
HPM	(Hold)					
MOD / SLOT	(Hold)					
UNIDAD	(Hold)					
GRUPO TRABAJO	(Por Operaciones)					





# Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



TAG	<b>TI - 04</b>					
DESCRIPCIÓN	ENTRADA TUBOS C-01					
ALGORITMO	HLAI No Redund.					
RANGO	0 a 400					
UNID. INGEN.	°C					
ACC. CONTROL	- - -					
FALLA AIRE	- - -					
RANGO INSTRUM.	0 a 400°C Type K T/C					
UCN	(Hold)					
HPM	(Hold)					
MOD / SLOT	(Hold)					
UNIDAD	(Hold)					
GRUPO TRABAJO	(Por Operaciones)					

DCS

CAMPO

LAZO
TI - 04
P&ID
4122-J-50-28



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



TAG	<b>TI - 03</b>					
DESCRIPCIÓN	SALIDA CORAZA C-01					
ALGORITMO	HLAI No Redund.					
RANGO	0 a 100					
UNID. INGEN.	°C					
ACC. CONTROL	- - -					
FALLA AIRE	- - -					
RANGO INSTRUM.	0 a 100°C Type K T/C					
UCN	(Hold)					
HPM	(Hold)					
MOD / SLOT	(Hold)					
UNIDAD	(Hold)					
GRUPO TRABAJO	(Por Operaciones)					

DCS

CAMPO

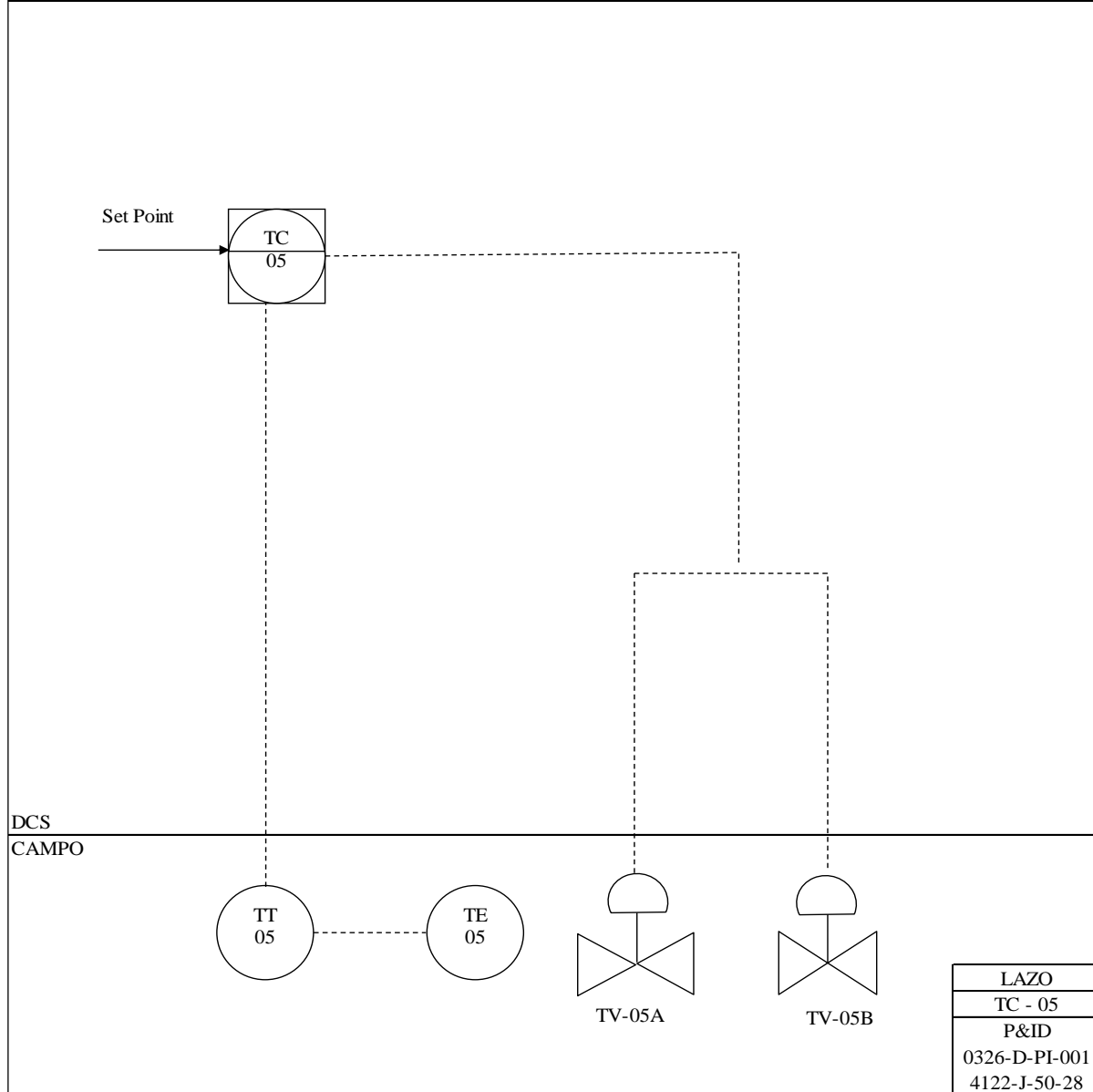
LAZO
TI - 03
P&ID
4122-J-50-28



## Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



TAG	TC - 05		TV-05A	TV-05B		
DESCRIPCIÓN	SALIDA TUBOS C-01		VALVULA BY PASS	ENTRADA CORAZA C-01		
ALGORITMO	PID		Redundante	Redundante		
RANGO	0 a 400		0-50 / 0-100	50-100 / 0-100		
UNID. INGEN.	°C					
ACC. CONTROL	---		---	---		
FALLA AIRE	---		FO	FO		
RANGO INSTRUM.	0 a 400°C Type K T/C					
UCN	(Hold)					
HPM	(Hold)					
MOD / SLOT	(Hold)					
UNIDAD	(Hold)					
GRUPO TRABAJO	(Por Operaciones)					



## 2.26 Datasheet de Equipos

Se presenta el *datasheet* de los intercambiadores propuestos C-01 A/B en la Tabla 2.72.

Tabla 2.72: Datasheet intercambiador C-01 A/B

Tamaño	470-6096 mm	Tipo AES	Conexión 1 paralelo 2 series	
Área	131,34 m <sup>2</sup>	Unidades Coraza 2	Área/ unidad 65,669 m <sup>2</sup>	
<b>C-01 A/B</b>				
Corriente	Agua Desmineralizada		Aceite Decantado	
Ubicación del fluido	Coraza		Tubos	
Flujo kg/h	72.000		23.212	
Temperatura entrada/ salida °C	15	30	202	80
Densidad kg/m <sup>3</sup>	1015	1004	998,24	994,52
Viscosidad cP	1,136	0,797	0,622	19,592
Calor específico kcal/kg°C	1,031	1,031	0,494	0,397
Conductividad térmica kcal/h m °C	0,512	0,532	0,099	0,108
Presión kgf/cm <sup>2</sup>	4,533		13,03	
Velocidad m/s	0,3		1,22	
Caída de presión permitida/calculada kgf/cm <sup>2</sup>	1,4	0,16	3,4	3,439
Coeficiente de ensuciamiento m <sup>2</sup> h °C/kcal	0,0001		0,0006	
Calor intercambiador 1.197.383 kcal/h			MTD(Corregido) 110,7 °C	
Servicio transferido 83,29	Limpio 103,27	Actual 92,76 kcal/h m <sup>2</sup> °C		
<b>CONSTRUCCIÓN DE UNA CORAZA</b>				
	Coraza		Tubos	
Presión diseño/ vacío/ prueba	13/ / 19,5		17 / / 25,5	
Temperatura de diseño [°C]	55		255	
Número de paso por coraza	1		6	
Corrosión permitida [mm]	1,5		5	
Conexiones Tamaño/ Rating	In [mm]	1 128,19/	1 52,553/	
	Out	1 128,19/	1 52,533/	
	Intermedio			
N° Tubos 180	OD 19,05	Espesor 1,651 mm	Longitud 6096 mm	Pitch 25,4 mm
Tipo Tubo Plano	Material Acero Inoxidable 316		Tubo Patrón 90	
Coraza Acero Inoxidable 316	ID 470	OD 483 mm	Cubierta Coraza Acero Inoxidable 316	
Canal Acero Inoxidable 316			Cubierta Canal Acero Inoxidable 316	
Placa Tubular Estacionaria Acero Inoxidable 316			Placa Tubular Flotante Acero Inoxidable 316	
Cubierta Cabezal Flotante Acero Inoxidable 316			Protecciones Rods	
Baffles Acero Inoxidable 316	Tipo Segmentado Single	Corte 29,97%	Espaciamiento c/c 470 Inlet 898,08 mm	
Longitud Baffle	Tipo de sello			
Soportes- Tubo	U- Bend		Tipo Ninguno	
Sello Arreglo Bypass	Juntura Placa Tubular Exp./seal wld 2 grv			
Expansión Combinada	Tipo Ninguno			
Entrada Boquilla $\rho-v^2$	Entrada Haz Tubular $\rho-v^2$	Salida Haz Tubular $\rho-v^2$		
Empaquetadura Lado Coraza				
Empaquetaduran Cabezal Flotante		TEMA Clase R		
Peso Coraza	2478,9 kg	Lleno 3513,0 kg	Haz Tubular 1410,6 kg	

## 2.27 Especificación Material de Cañerías

Se contempla el requerimiento de tubería con especificación A2A2 (acero al carbono) para el aceite de decantado y N1A1 (acero inoxidable 316L) para el agua desmineralizada. Lo anterior se expresa en la Tablas 2.73, 2.74 y 2.75.

Tabla 2.73: Nueva línea Aceite Decantado

<b>3" – L04 - A2A2 / 3" – L05 - A2A2</b>	
<i>Rating/ Facing</i>	300# RF
<i>Facing Finish</i>	PER ASME B16.5 (125÷250 AARH)
<i>Gaskets</i>	SPIRAL WOUND SS316/GRAPHITE.
Corrosión	3.0 mm
<i>Block Valve Trim</i>	F6 stell seat (API #8)
<i>Weld Quality Insp</i>	PER CODE
<i>Stress Relief</i>	NO
<i>Materials</i>	Acero al carbono
<i>Temp/Press Limits</i>	FULL RATING FROM -29 °C a 427 °C

Tabla 2.74: Nueva Línea Agua Desmineralizada

<b>6" -L01- N1A1 / 6" -L03- N1A1</b>	
<i>Rating/ Facing</i>	150# RF
<i>Facing Finish</i>	PER ASME B16.5 (125÷250 AARH)
<i>Gaskets</i>	SPIRAL WOUND SS316/GRAPHITE.
Corrosión	1,5 mm
<i>Block Valve Trim</i>	LF2 stell seat (API #8)
<i>Weld Quality Insp</i>	316L / HFS -316
<i>Stress Relief</i>	NO
<i>Materials</i>	316L SS
<i>Temp/Press Limits</i>	FULL RATING FROM -29 °C a 316 °C

Tabla 2.75: Línea By Pass Agua Desmineralizada

<b>4" –L02- N1A1</b>	
<i>Rating/ Facing</i>	150# RF
<i>Facing Finish</i>	PER ASME B16.5 (125÷250 AARH)
<i>Gaskets</i>	SPIRAL WOUND SS316/GRAPHITE.
Corrosión	1,5 mm
<i>Block Valve Trim</i>	LF2 stell seat (API #8)
<i>Weld Quality Insp</i>	316L / HFS -316
<i>Stress Relief</i>	NO
<i>Materials</i>	316L SS
<i>Temp/Press Limits</i>	FULL RATING FROM -29 °C a 316 °C



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



## 2.28 Listado de Clasificación de Línea

Diámetro in	N° LINEA	ESP.	DESDE	HASTA	OPERACION		DISEÑO		PRESION TEST	AISLACION		STEAM TRACING		P&ID	NOTAS
					T °C	P kg/cm <sup>2</sup> g	T °C	P kg/cm <sup>2</sup> g	P kg/cm <sup>2</sup> g	Tipo	Esp. mm	Diámetro	Número Tubos		
6"	L01	N1A1	8"-AD-2000101-N1A1	INTERCAMBIADOR C-01	15	3,5	40	9,0	13,5	N.I.				0326-D-PI-001	
4"	L02	N1A1	6"-L01-N1A1	8"-AD-2000101-N1A1	15	3,5	40	9,0	13,5	N.I.				0326-D-PI-001	
6"	L03	N1A1	INTERCAMBIADOR C-01	8"-AD-2000101-N1A1	30	2,85	55	9,0	13,5	N.I.				4122-J-50-28	
3"	L04	A2A2	3"-O-72145-A2A2	INTERCAMBIADOR C-01	202	12,0	255	17,0	25,5	PP	50			4122-J-50-28	
3"	L05	A2A2	INTERCAMBIADOR C-01	3"-O-72145-A2A2	80	12,0	220	17,0	25,5	ST	50	1/2	1	4122-J-50-28	ST-LS(45°C)

NOTAS: LS = Vapor 50#

## 2.29 Listado de Tie Ins

N°	DIÁMETRO in	SERVICIO	LÍNEA EXISTENTE	LÍNEA NUEVA	ESPECIF. MATERIAL		P&ID N°	SHUT. (S/N)	ISOMÉTRICO	VAP. (S/N)	TIPO N°
					EXIST	NUEVA					
1	8	AGUA DESMINERALIZADA	8"-AD-2000101-N1A1	8"-AD-2000101-N1A1	N1A1	N1A1	0326-D-PI-001	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1
2	6"	AGUA DESMINERALIZADA	8"-AD-2000101-N1A1	6"-L01-N1A1	N1A1	N1A1	0326-D-PI-001	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1
3	6"	AGUA DESMINERALIZADA	8"-AD-2000101-N1A1	6"-L03-N1A1	N1A1	N1A1	0326-D-PI-001	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1
4	3"	ACEITE DECANTADO	3"-O-72145-A2A2	3"-L04-A2A2	A2A2	A2A2	4122-J-50-21	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1
5	3"	ACEITE DECANTADO	3"-O-72211-A2A2	3"-L05-A2A2	A2A2	A2A2	4122-J-50-28	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1	NOTA 1

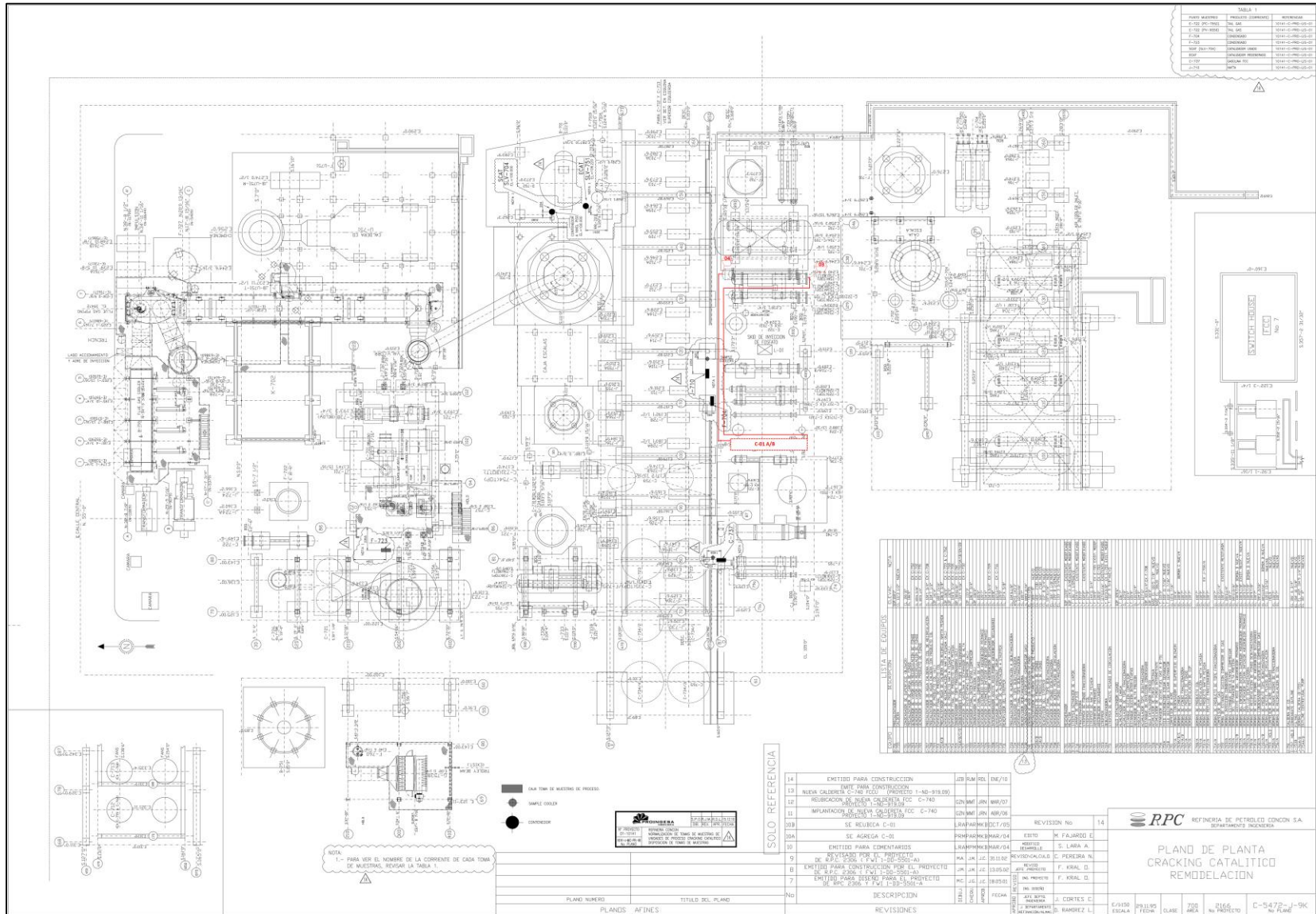
NOTA 1: POR ING. DE DETALLES



# Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética

## en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

### 2.30 Plot Plan



## 2.31 Listado de Inversiones

Tabla 2.76: Inversiones Alternativa 1

Ítem	Cantidad	Monto Unitario USD	Monto Total USD
Cañería Acero al Carbono ¾"	10 m	12	120
Cañería Acero al Carbono 3"	100 m	15	1.500
Válvula Acero al Carbono ¾"	3	125	375
Válvula Acero al Carbono 3"	4	125	500
Flange Acero al Carbono 3"	8	125	1.000
Codos Acero al Carbono ¾"	10	36	360
Codos Acero al Carbono 3"	10	66	660
Cañería Acero Inoxidable 316 ¾"	10 m	96	960
Cañería Acero Inoxidable 316 4"	50 m	180	9.000
Cañería Acero Inoxidable 316 6"	400 m	370	148.000
Válvula Acero Inoxidable ¾"	5	370	1.850
Válvula Compuerta Acero Inoxidable 4"	3	960	2.280
Válvula Compuerta Acero Inoxidable 6"	3	1.250	3.750
Válvula de Globo 4"	1	1.179	1.179
Válvula de Globo 6"	1	1.208	1.208
Intercambiador de Tubos y Coraza 440 x 6096 mm	2	33.073	66.145
Placa Orificio 45,27 mm	1	160	160
Indicador y Transmisor de Flujo	1	6.502	6.502
Flange Acero Inoxidable 4"	6	220	1.320
Flange Acero Inoxidable 6"	6	440	2.640
Codos Acero Inoxidable ¾"	10	96	960
Codos Acero Inoxidable 4"	10	214	2.140
Codos Acero Inoxidable 6"	20	265	5.300
Termocupla	4	3.360	13.440
Transmisor de Temperatura	4	1.623	6.492

Válvula de Control 4"	1	17.082	17.082
Válvula de Control 3" 300#	1	14.552	14.552
Instalación Eléctrica y Control	3	5.000	15.000

En la Figura 2.20 se presenta una distribución de la estimación requerida, siendo el equipamiento quien ocupa el mayor monto con un 44%, luego la instalación de *piping* y equipos con 29%, las contingencias representan el 13%, gastos generales 12% y finalmente el 2% lo lleva la instalación eléctrica y configuración de puntos en DCS:

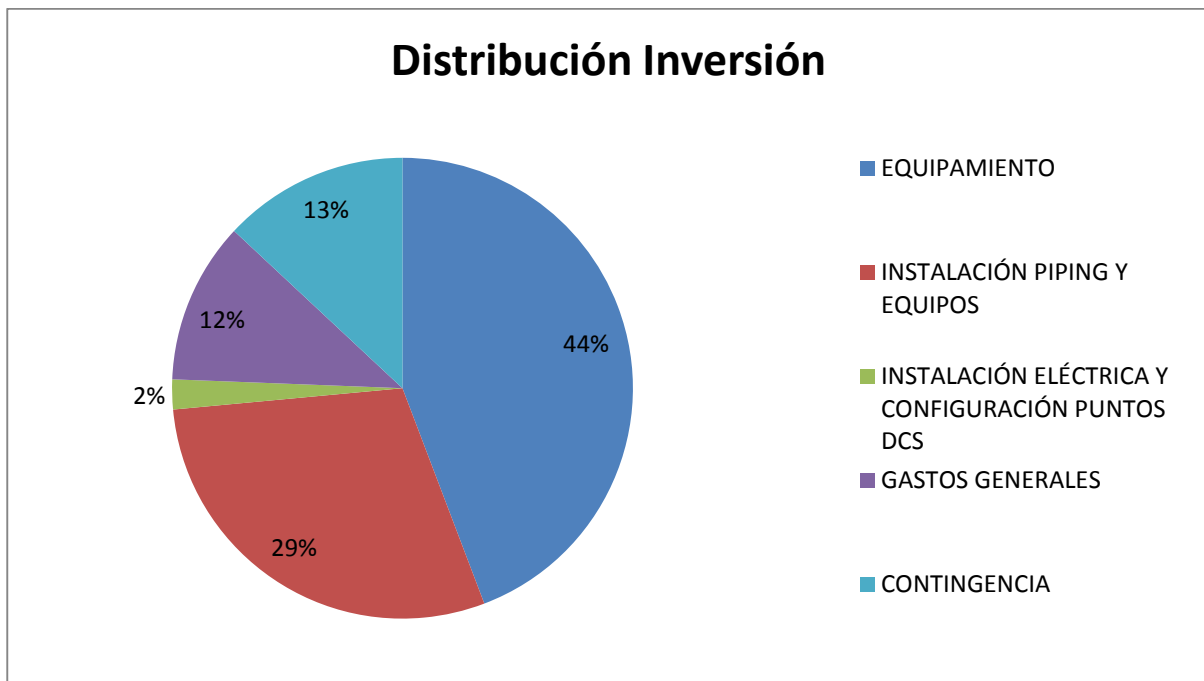


Figura 2.20: Distribución Inversión Requerida

## Capítulo 3 CONCLUSIONES

De acuerdo a lo expuesto en el presente análisis técnico económico se puede concluir y recomendar lo siguiente:

- Se recomienda la inversión en proyectos de corto, mediano y largo plazo, cuyo objetivo sea la búsqueda del uso eficiente de los recursos, puesto que permiten cumplir con la agenda energética promulgada por el Ministerio de Energía. Es fundamental fomentar la eficiencia energética, ya que es la manera más económica, segura y limpia de utilizar la energía. La eficiencia energética es uno de los principales retos que se tiene como país, siendo un factor elemental en la productividad que se aspira.
- Aumentar la temperatura de ingreso del agua desmineralizada al desaireador F-278 implementando cualquiera de las 4 alternativas analizadas, otorga ahorros en el consumo de vapor de 50# y agua de refrigeración.
- La alternativa 1 otorga una reducción porcentual promedio de un 5% en el consumo de vapor y 46 m<sup>3</sup>/h de agua de refrigeración, la alternativa 2 reduce un 2,6% el consumo de vapor y la alternativa 3 un 7%. El ahorro de agua de refrigeración para estos últimos dos casos es de 2 m<sup>3</sup>/h. La alternativa 4 es aquella que entrega los mayores beneficios, pues permite una reducción en un 8% del consumo de vapor y 48 m<sup>3</sup>/h de agua de refrigeración.
- Dentro del horizonte evaluado, las 4 alternativas son factibles técnica y económicamente.
- La alternativa a seleccionar depende de los fondos de inversión disponibles por la empresa. Dentro de las alternativas analizadas, la alternativa 1 y 2 son aquellas que poseen la menor inversión estimada, esta es de USD 717.000 y USD 716.000 respectivamente. Sin embargo, la alternativa 2, tiene la desventaja que tarda mayor tiempo en recuperar su inversión (5 años) por lo cual no es una opción óptima a diferencia de la alternativa 1 que tarda 3 años en recuperar la inversión. De las propuestas analizadas, la alternativa 4 es aquella que posee la mayor inversión estimada, equivalente a USD 1.142.000.
- Si se compara el beneficio monetario de implementar una de las propuestas, el VAN obtenido para la alternativa 1 es de USD 2.107.000, para la propuesta 2 es de USD 707.000, USD 2.233.0000 para la alternativa 3 y USD 3.164.000 para la alternativa 4.

- Todas las propuestas presentan una TIR mayor a la tasa de descuento, siendo 52%, 25%, 67% y 50% respectivamente.
- Cuando se dispone de un fondo de inversión limitado se utiliza el IVAN como indicador para seleccionar la alternativa a desarrollar. De acuerdo a lo anterior, la alternativa 3 es aquella que posee el mayor IVAN (3,0), pero su operación está limitada a la finalización de la operación de la caldera U-751, por lo que no se puede establecer el momento de cuando se pueda ejecutar esta propuesta. La alternativa 1 posee un IVAN de 2,9 siendo la alternativa seleccionada a desarrollar a nivel de ingeniería básica puesto que resulta ser más atractiva bajo indicadores económicos, además de que su ejecución no está determinada al desarrollo de otro proyecto.
- Para realizar la integración energética del Agua Desmineralizada y el Aceite Decantado, la alternativa 1 requiere la instalación de 2 intercambiadores de tubos y coraza de acero inoxidable 316 en serie.
- En caso de que la caldera U-751 se encuentre fuera de servicio, se verificó que no existen limitaciones asociadas a la capacidad de intercambio de calor por parte de C-709 y C-710 para lograr la temperatura de salida requerida del COL.
- Al comparar los resultados obtenidos con los resultados preliminares de la auditoría de Axens, se observaron diferencias significativas asociadas a las estimaciones de inversión propuestas para la alternativa 1. Esta diferencia radica en que la efectuada por la consultoría es una de clase V, mientras que la efectuada por la ingeniería básica corresponde ser una clase III. Además existe una diferencia de la metalurgia, ya que la propuesta por Axens corresponde ser acero al carbono, esto produce que la estimación de costos efectuada por ellos sea menor.

## Capítulo 4 REFERENCIAS

*Enggcyclopedia*. (2015). Recuperado el 29 de Septiembre de 2016, de Absolute Pipe Roughness: <http://www.enggcyclopedia.com/2011/09/absolute-roughness/>

AACE Internacional. (2003).  
[https://www.nsf.gov/about/contracting/rfqs/support\\_ant/docs/facility\\_manuals/palmer\\_mcm\\_and\\_southpole/costestimatingssystemaace-208a.pdf](https://www.nsf.gov/about/contracting/rfqs/support_ant/docs/facility_manuals/palmer_mcm_and_southpole/costestimatingssystemaace-208a.pdf). Recuperado el 03 de Octubre de 2016, de [https://www.nsf.gov/about/contracting/rfqs/support\\_ant/docs/facility\\_manuals/palmer\\_mcm\\_and\\_southpole/costestimatingssystemaace-208a.pdf](https://www.nsf.gov/about/contracting/rfqs/support_ant/docs/facility_manuals/palmer_mcm_and_southpole/costestimatingssystemaace-208a.pdf)

Aconcagua, ENAP Refinerías. (2008). *Manual de Operaciones de FCCU en ENAP Refinerías Aconcagua*. Con Con.

API521. (Enero de 2007). American Petroleum Institute. 5th.

ASME31.3. (1999). Design Process Piping. New York.

ASTCORT. (09 de Agosto de 2016). COTIZACIÓN TERMOCUPLAS. Santiago, Chile.

Banco Central. (01 de Septiembre de 2016). *Banco Central de Chile*. Recuperado el 01 de Septiembre de 2016, de <http://www.bcentral.cl>

ENAP. (2016). *Intranet Enap*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016, de <http://intranet.enap.cl/eficiencia/direccion>

ENAP Refinerías Aconcagua. (2012). Manual de Operación Plantas Devre. En D. International. Buenos Aires.

*Engineering Page*. . Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de TYPICAL FOULING FACTORS: [http://www.engineeringpage.com/technology/thermal/fouling\\_factors.html](http://www.engineeringpage.com/technology/thermal/fouling_factors.html)

MAXCONTROL. (05 de Septiembre de 2016). COTIZACIÓN . Viña del Mar, Chile.

Ministerio de Energía. (Junio de 2014). *Agenda de Energía*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016, de [http://www.cumplimiento.gob.cl/wp-content/uploads/2014/03/AgendaEnergiaMAYO2014\\_FINAL.pdf](http://www.cumplimiento.gob.cl/wp-content/uploads/2014/03/AgendaEnergiaMAYO2014_FINAL.pdf)



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



*Procesosbio*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2016, de  
<https://procesosbio.wikispaces.com/>

Técnicas Reunidas. (1993). *Intercambiadores de Calor*. INITEC Industrial.

TEMA. (2007). Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association. 9th.

THERMOPEDIA. (2 de Febrero de 2011). Recuperado el 17 de Agosto de 2016, de  
<http://www.thermopedia.com/content/1121/>

# Capítulo 5

## MATERIAL COMPLEMENTARIO

### 5.1 Anexos

#### 5.1.1 Distribución Variables Operación Aceite Decantado

Se presenta la distribución de las variables operacionales de flujo y temperatura para el aceite decantado, filtrando días correspondientes en los que ocurren paros de planta desde el 01/01/2014 al 30/05/2016.

Tabla 5.1: Estadística Flujo Aceite Decantado

N° de Datos	Media	Desviación Estándar
682	13,10	3,69

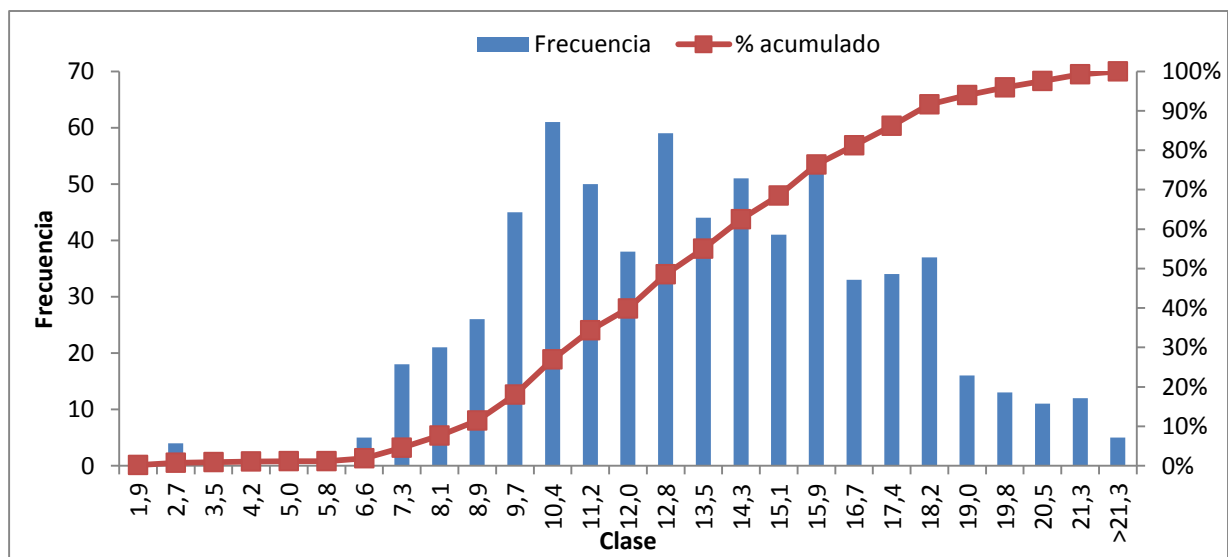


Figura 5.1: Histograma Flujo Volumétrico Aceite Decantado

Tabla 5.2: Estadística Temperatura de Entrada

N° de Datos	Media	Desviación Estándar
682	189,60	21,97

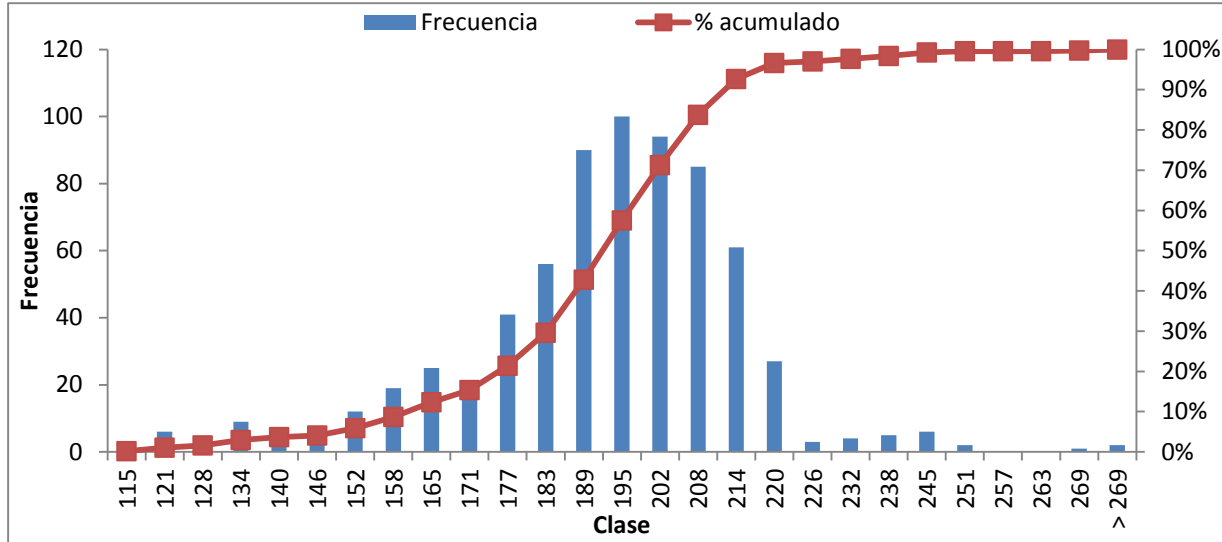


Figura 5.2: Histograma Temperatura Entrada

Tabla 5.3: Estadística Temperatura de Salida

N° de Datos	Media	Desviación Estándar
682	65,96	12,89

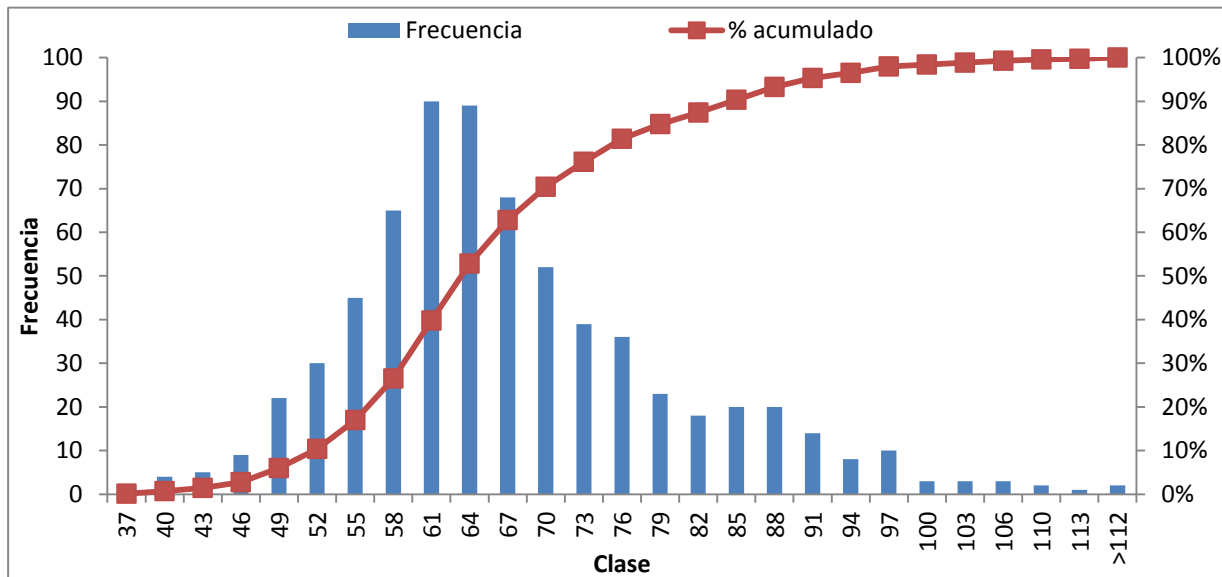


Figura 5.3: Histograma Temperatura de Salida

### 5.1.2 Distribución Variables Operación Agua Desmineralizada

Se presenta la distribución de flujo para el agua desmineralizada, filtrando días correspondientes en los que ocurren paros de planta desde el 01/01/2014 al 30/05/2016.

N° de Datos	Media	Desviación Estándar
682	72.03	16,11

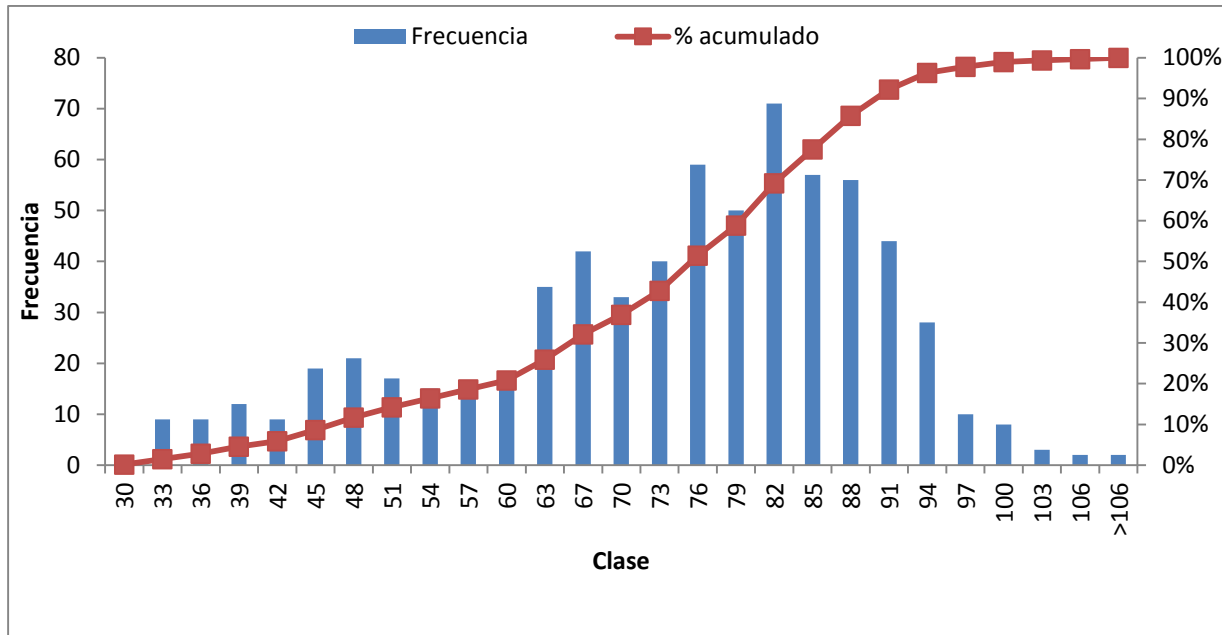


Figura 5.4: Histograma Flujo Agua Desmineralizada

La Figura 5.5 muestra la variación de las condiciones de operación para las variables involucradas en la integración energética en el periodo 01/01/2014 al 30/05/2016, con el respectivo filtro de paro en plantas.

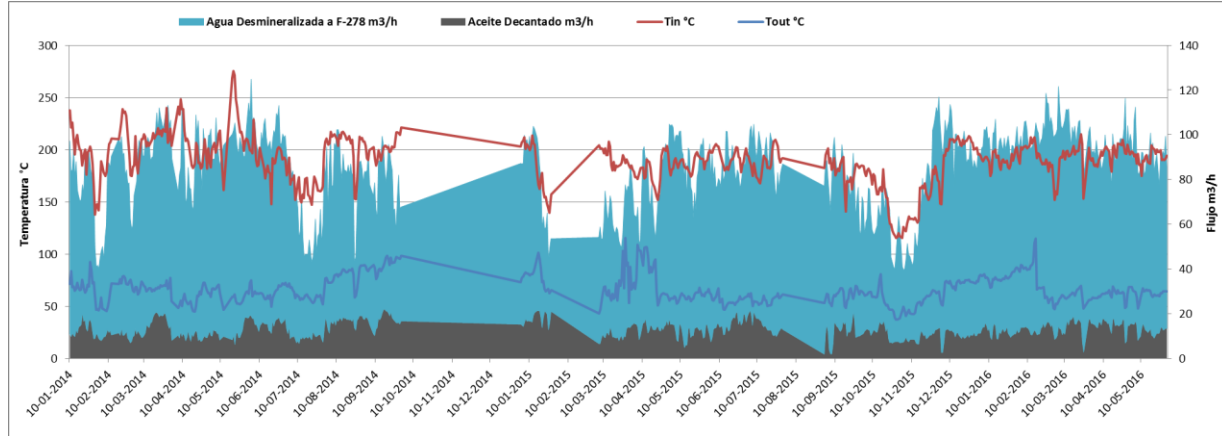


Figura 5.5: Historial Condiciones de Operación



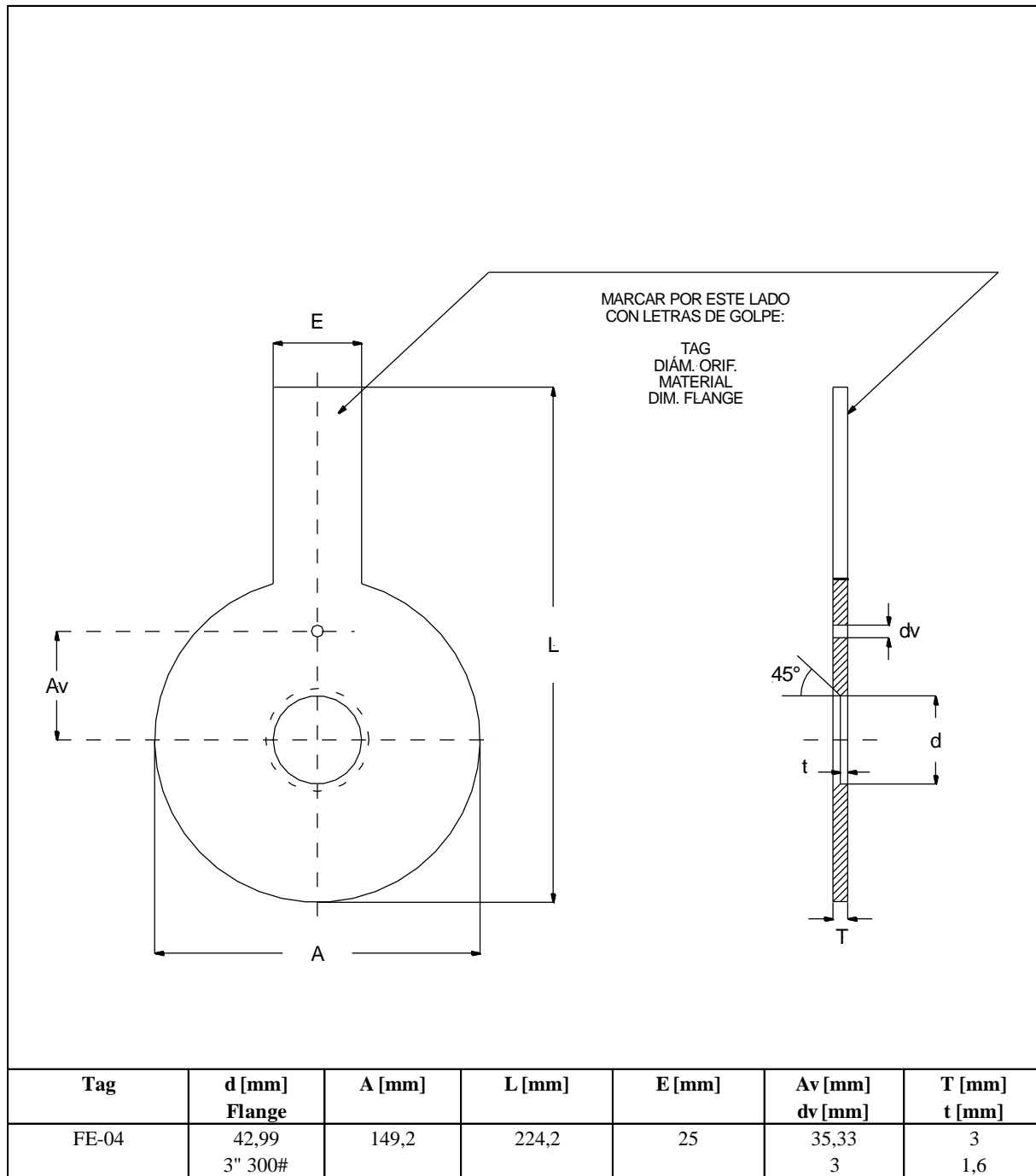
Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



### 5.1.3 Datasheet de Instrumentos y Válvulas de Control

#### 5.1.3.1 Medidor de Flujo FE-04

1	<b>Tag Number</b>	<b>FE-04</b>		
2	Service	Aceite Decantado		
3	Line N°	3" -L04-A2A2		
4	Quantity	1		
<b>FLANGEDATA</b>		Flanges: Included	<input checked="" type="checkbox"/>	By others <input type="checkbox"/>
5	Flange Size	3" 300# RF		
6	Pipe ID, inches	2,9		
7	Flange Type	WNRF		
8	Flange Material	ASTM A105		
9	Bolts Material	A193 Gr. B7		
10	Nuts Material	A194 Gr. 2H		
11	Gasket Material	SPIRAL WOUND SS,316/GRAPHITE		
<b>PLATEDATA</b>				
12	Bore Type	Concentric		
13	Bore Inlet Edge Style	Square		
14	Bore Outlet Style	Bevel		
15	Plate Thickness	3 mm		
16	Plate Material	A240 Tp 316		
17	Vent/ Hole Dia., mm	SI, 3		
18	Beta Ratio	0,584		
19	Orifice Bore, mm	42,99		
20	Quarter Circle radius, mm	N.A.		
<b>PROCESS DATA</b>				
21	Fluid	Aceite Decantado		
22	Liquid, Gas or Steam	L		
23	Maximum Flow, m <sup>3</sup> /d	700		
24	Normal Flow, m <sup>3</sup> /d	535		
25	Op. Temperature, °C	200		
26	Op. Pressure, psia			
27	Sp. Gravity @ Base Temp.	1,076		
28	Sp. Gravity @ Op. Temp.	0,947		
29	Viscosity @ Op. Conditions, cP	0,62		
30	Molecular Weight			
31	Density @ Op. Conditions, lb/ft <sup>3</sup>			
32	Sp. Heat Ratio Cp/Cv			
33	Compressibility Factor Zf			
34	Base Temp/Press.	60°F/14.7 psia		
35	Transmitter dp, inches W.C.			
36	Pressure Loss @ Max Flow, kg/cm <sup>2</sup>			
<b>NOTES:</b>				
1. Vendor shall recalculate all orifice bores.				
2. Applicable Standards: ANSI/API 2530 (AGA 3), ANSI B16.36.				





Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



5.1.3.2 Transmisor Flujo FT-04

Differential Pressure Transmitter Datasheet			
1	Tag Number	FT-04	
2	Service	ACEITE DECANTADO	
3	Line N°	3"-L04-A2A2	
4	Quantity	1	
<b>GENERAL</b>			
5	Type	DIAPHRAGM	
6	Mounting	2" PIPE	
7	Electrical Classification	(See Note 1)	
8	Enclosure	NEMA 4	
9	Air/Electrical Connection	1/2" NPT	
10	Supply	24 VDC, Loop Powered	
11	Output	4-20 mA + HART	
12	Accuracy, Minimum	0,10%	
<b>SERVICE AND INSTRUMENT DATA</b>			
13	Variable Type	FLOW	
14	Temperatura Op/Max. °C	202/255	
15	Pressure Op/max. kg/cm <sup>2</sup> g	12,0/17,0	
16	Calibration max. Output, inches W.C.	0	
17	Calibration max. Output, inches W.C.	100	
18	Instrument Span Inches W.C.		
19	Process Conections	1/2"NPT	
20	Body Material	S.S	
21	Element Material	S.S	
22	Rating	150 psig	
<b>OPTIONS</b>			
23	Integral Manfold	YES 3-valve	
24	Remote Diaphragm Seal	NO	
25	Capillary Lenght	NO	
26	Fill Fluid	NO	
27	Output Meter	INTEGRAL	
28	Meter Factor/ Scale	ELECTRONIC	
<p><b>NOTES:</b> 1. All electronic transmitter shall be certified intrinsically safe, FM, CSA or CENELEC for use in Classified Hazardous Area Class I, Div. 2 Gr. D. Compatible with MTL 4041B safety barrier/galvanic isolator.</p>			

### 5.1.3.3 Termocuplas

Temperature Transmitter Data Sheet							
1. Complete Assembly <input checked="" type="checkbox"/> Other: _____ MFR. & Model No. _____ <b>ELEMENT</b> MFR. & Model No. _____ 2. ISA Type/Wire Size: _____ See Table 3. Sheathed: <u>1/4"</u> OD Material: <u>316 SS</u> Exposed <input type="checkbox"/> Grounded Ungrounded <input checked="" type="checkbox"/> Enclosed <input type="checkbox"/> Beaded Insulators <input type="checkbox"/> Spring Loaded <input type="checkbox"/> 4. Nipples Size: <u>1/2" x 2"</u> Union <input checked="" type="checkbox"/> 5. Packed Connector: _____ <b>HEAD</b>				7. Material: <u>Aluminium</u> Conduit Co: <u>3/4" NPT</u> 8. Terminal Block: Single <input checked="" type="checkbox"/> Duplex <input type="checkbox"/> <b>WELL OR TUBE</b> 9. Material: <u>316H</u> (Well and Flange) 10. Construction: Tapered <input checked="" type="checkbox"/> Straight Drilled <input checked="" type="checkbox"/> Built-Up <input type="checkbox"/> Closed End Tube <input type="checkbox"/> 11. Dimensions: Mfr. Standard <input type="checkbox"/> OD: <u>3/4"</u> ID: <u>0.26"</u> 12. Connection: Process <u>1 1/2" 300#</u> INT <u>1/2" NPT</u> 13. Other Specs.: _____ See Notes _____ Notes:			
6. Screw Cap & Chain <input checked="" type="checkbox"/> Other: _____							
Drawing:							
Rev.	Tag No.	Insertion Length "U"	Element Length	ISA Type	Gage	Service	Notes
0	TE - 01	250 mm	By Vendor	K	18 AWG	Agua desmineralizada	1
0	TE - 03	250 mm	↓	↓	↓	Agua desmineralizada	1
0	TE - 04	250 mm	↓	↓	↓	Aceite decantado	1, 2
0	TE - 05	250 mm	↓	↓	↓	Aceite decantado	1, 2
Notes: 1. Vendor/mfs. Shall inch for mechanical stress under ASME PT 19.3 TW guideline. See process data in attached table. 2. Provide a 1/16" stellite alloy N° 6 overlay on the entire thermowell from flange facing to and including the of the well tip							

Process Data for Thermowells Mechanical Stress Calculations (ASME PTC 19.3 TW)											
TAG	DESCRIPTOR	Pressure [kg/cm <sup>2</sup> g]		Temperature [°C]		PHASE	Qmax	Density	Viscosity	TW INSERTION LENGTH	Pipe size
		design	oper.	design	oper.						
TE-04	ENTRADA LADO TUBOS C-01	17	12	255	202	L	23.212	947	0.62	250	3" Sch XS
TE-05	SALIDA LADO TUBOS C-01	17	12	220	80	L	23.212	1033	19.59	250	3" Sch XS

### 5.1.3.4 Transmisor de Temperatura TT-01

Temperature Transmitter Datasheet					
1	Tag Number	<b>TT-01</b>			
2	Service	AGUA DESMINERALIZADA			
3	Line N°/Vessel N°	6"-L01-N1A1			
4	Quantity	1			
<b>TRANSMITTER DATA</b>					
5	Type	ELECTRONIC			
6	Mounting	2" PIPE			
7	Electrical Classification	(See Note 1)			
8	Enclosure	NEMA 4			
9	Electrical Connection	1/2" NPT			
10	Supply	24 VDC			
11	Output	4-20 mA			
12	Burnout Indicación	Upscale			
13	Calibration. min output, °C	0			
14	Calibration, max output, °C	100			
15	Cold junction compensation	AUTOMATIC			
16	Accuracy, minimum				
<b>PRIMARY ELEMENT</b>					
17	Temperature norm/max, °C	15/40			
18	Element	TYPE K T/C			
19	Grounded/Ungrounded	UNGROUND.			
20	Thermowell	BY OTHERS			
<b>OPTIONS</b>					
21	Integral Output Meter	Yes. Mfr Std.			
<b>NOTES:</b>					
1. All electronic transmitter shall be certified intrinsically safe, FM, CSA or CENELEC for use in Classified Hazardous Area Class I, Div. 2 Gr. D. Compatible with MTL 4041B safety barrier/galvanic isolator.					

### 5.1.3.5 Transmisor de Temperatura TT-03

Temperature Transmitter Datasheet					
1	Tag Number	TT-03			
2	Service	AGUA DESMINERALIZADA			
3	Line N°/Vessel N°	6"-L03-N1A1			
4	Quantity	1			
<b>TRANSMITTER DATA</b>					
5	Type	ELECTRONIC			
6	Mounting	2" PIPE			
7	Electrical Classification	(See Note 1)			
8	Enclosure	NEMA 4			
9	Electrical Connection	1/2" NPT			
10	Supply	24 VDC			
11	Output	4-20 mA			
12	Burnout Indication	Upscale			
13	Calibration, min output, °C	0			
14	Calibration, max output, °C	100			
15	Cold junction compensation	AUTOMATIC			
16	Accuracy, minimum				
<b>PRIMARY ELEMENT</b>					
17	Temperature norm/max, °C	30/55			
18	Element	TYPE K T/C			
19	Grounded/Ungrounded	UNGROUND.			
20	Thermowell	BY OTHERS			
<b>OPTIONS</b>					
21	Integral Output Meter	Yes. Mfr Std.			
<b>NOTES:</b>					
1. All electronic transmitter shall be certified intrinsically safe, FM, CSA or CENELEC for use in Classified Hazardous Area Class I, Div. 2 Gr. D. Compatible with MTL 4041B safety barrier/galvanic isolator.					

### 5.1.3.6 Transmisor de Temperatura TT-04

Temperature Transmitter Datasheet					
1	Tag Number	TT-04			
2	Service	ACEITE DECANTADO			
3	Line N°/Vessel N°	3"-L04-A2A2			
4	Quantity	1			
<b>TRANSMITTER DATA</b>					
5	Type	ELECTRONIC			
6	Mounting	2" PIPE			
7	Electrical Classification	(See Note 1)			
8	Enclosure	NEMA 4			
9	Electrical Connection	1/2" NPT			
10	Supply	24 VDC			
11	Output	4-20 mA			
12	Burnout Indication	Upscale			
13	Calibration. min output, °C	0			
14	Calibration, max output, °C	400			
15	Cold junction compensation	AUTOMATIC			
16	Accuracy, minimum				
<b>PRIMARY ELEMENT</b>					
17	Temperature norm/max, °C	202/255			
18	Element	TYPE K T/C			
19	Grounded/Ungrounded	UNGROUND.			
20	Thermowell	BY OTHERS			
<b>OPTIONS</b>					
21	Integral Output Meter	Yes. Mfr Std.			
<b>NOTES:</b> 1. All electronic transmitter shall be certified intrinsically safe, FM, CSA or CENELEC for use in Classified Hazardous Area Class I, Div. 2 Gr. D. Compatible with MTL 4041B safety barrier/galvanic isolator.					

### 5.1.3.7 Transmisor de Temperatura TT-05

Temperature Transmitter Datasheet					
1	Tag Number	TT-05			
2	Service	ACEITE DECANTADO			
3	Line N°/Vessel N°	3"-L05-A2A2			
4	Quantity	1			
<b>TRANSMITTER DATA</b>					
5	Type	ELECTRONIC			
6	Mounting	2" PIPE			
7	Electrical Classification	(See Note 1)			
8	Enclosure	NEMA 4			
9	Electrical Connection	1/2" NPT			
10	Supply	24 VDC			
11	Output	4-20 mA			
12	Burnout Indication	Upscale			
13	Calibration, min output, °C	0			
14	Calibration, max output, °C	400			
15	Cold junction compensation	AUTOMATIC			
16	Accuracy, minimum				
<b>PRIMARY ELEMENT</b>					
17	Temperature norm/max, °C	80/220			
18	Element	TYPE K T/C			
19	Grounded/Ungrounded	UNGROUND.			
20	Thermowell	BY OTHERS			
<b>OPTIONS</b>					
21	Integral Output Meter	Yes. Mfr Std.			
<b>NOTES:</b> 1. All electronic transmitter shall be certified intrinsically safe, FM, CSA or CENELEC for use in Classified Hazardous Area Class I, Div. 2 Gr. D. Compatible with MTL 4041B safety barrier/galvanic isolator.					



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



**5.1.3.8 Válvula de Control TV-05A**

Tag Number		TV-05A				
1	Fluid	Agua Desmineralizada		Critical Pressure	226,79 kg/cm <sup>2</sup> a	
<b>SERVICE CONDITIONS</b>			Eng. Units	Max. Flow	Norm. Flow	Min. Flow
2	Flow Rate	sm <sup>3</sup> /h		60	28	10
3	Inlet Pressure	kg/cm <sup>2</sup> g		3,5	3,5	3,5
4	Outlet Pressure	kg/cm <sup>2</sup> g		3,98	2,6	1,81
5	Inlet Temperature	°C		15	15	15
6	Sp. Gravity			1	1	1
7	Viscosity	cP		1,14	1,14	1,14
8	Vapor Pressure Pv	kg/cm <sup>2</sup> a		0,02	0,02	0,02
9	Required Cv			52,7	29,5	7,7
10	Stroke	%		92	32	8
11	Allowable Sound Pressure Level	dBA		85	85	85
12	Predicted Sound Pressure Level (*)	dBA				
<b>LINE</b>			<b>ACTUATOR</b>			
13	Size and	In:	4" Sch 40	46	Type (*)	SPRING & DIAPHR
14	Schedule	Out:	4" Sch 40	47	Mfr./Model (*)	
15	Pipe Line Insulation:	NO		48	Size/Eff. Area (*)	
<b>BODY AND BONNET</b>			49	On-Off/Throttling	THROTTLING	
16	Type	GLOBE		50	Spring Action Open/Close	OPEN
17	Size (*)/ANSI Class	/ 300#		51	Max. Allow. Press. (*)	
18	Max. Press/Temp	9 kg/cm <sup>2</sup> g /50°C		52	Min. Reqd. Press. (*)	
19	Manufacturer/Model (*)			53	Available A.S. Press.	60 psig MAX
20	Body/bonnet material (*)	(See Note 2)		54		
21	Liner Material/Thickness			55	Bench Range (*)	
22	End	In:	3"	56	Act. Orientation	TOP
23	Connections	Out:	3"	57	Handwheel Type	NONE
24	Flg. Face Finish	ANSI B16.5		58		
25	End Ext./ Matl.			59	Input Signal	FROM POSITIONER
26	Flow Direction			<b>POSITIONER</b>		
27	Type of Bonnet	STANDARD		60	Type	SMART
28	Lub&Iso Valve			61	Mfr./Model (*)	
29	Packing Material	NON-ASBESTOS		62	Increase/decrease	
30	Packing Type (*)			63	Gauges	YES
31				64	Bypass	
<b>TRIM</b>			65	Input Signal	4-20 mA + HART	
32	Type	SINGLE SEAT, TOP GUIDED		<b>PRESSURE REGULATOR</b>		
33	PortSize (*)			66	Mfr./Model (*)	
34	Characteristic	LINEAR		67	Set Pressure	
35	Balanced/Unbalanced (*)	UNBALANCED		68	Filter	YES
36	Rated (*)	C <sub>v</sub> :	F <sub>L</sub> :	X <sub>T</sub> :	69	Gauge
37	Plug/Ball/Disk Matl.	(See Note 2)		<b>NOTES</b>		
38	Seat Material	(See Note 2)		1. Cv specified on line 9 is for reference only.		
39	Cage/Guide Matl.	(See Note 2)		Vendor/manufacturer must confirm.		
40	Stem Material	(See Note 2)		2. By Vendor		
41				3. Fisher GX Linear		
42						
<b>SPECIALS/ACCESORIES</b>						
43	ANSI/FCI Leakage Class	IV				
44	Hazardous Area Class.	NEC Class I Div. 2 Gr. D				
45	Limit Switch:					

### 5.1.3.9 Válvula de Control TV-05 B

1	Fluid	Agua Desmineralizada		Critical Pressure		226,79 kg/cm <sup>2</sup> a
<b>SERVICE CONDITIONS</b>			Eng. Units	Max. Flow	Norm. Flow	Min. Flow
2	Flow Rate	sm <sup>3</sup> /h		72	72	40
3	Inlet Pressure	kg/cm <sup>2</sup> g		3,5	3,5	3,5
4	Outlet Pressure	kg/cm <sup>2</sup> g		3,68	3,68	2,98
5	Inlet Temperature	°C		15	15	15
6	Sp. Gravity			1	1	1
7	Viscosity	cP		1,14	1,14	1,14
8	Vapor Pressure Pv	kg/cm <sup>2</sup> a		0,02	0,02	0,02
9	Required Cv			114	114	66
10	Stroke	%		100	100	60
11	Allowable Sound Pressure Level	dBA		85	85	85
12	Predicted Sound Pressure Level (*)	dBA				
<b>LINE</b>				<b>ACTUATOR</b>		
13	Size and	In:	6" Sch 40	46	Type (*)	SPRING & DIAPHR
14	Schedule	Out:	6" Sch 40	47	Mfr./Model (*)	
15	Pipe Line Insulation:	NO		48	Size/Eff. Area (*)	
<b>BODY AND BONNET</b>				49	On-Off/Throttling	THROTTLING
16	Type	GLOBE		50	Spring Action Open/Close	OPEN
17	Size (*)/ANSI Class	/ 300#		51	Max. Allow. Press. (*)	
18	Max. Press/Temp	9 kg/cm <sup>2</sup> g / 50°C		52	Min. Reqd. Press. (*)	
19	Manufacturer/Model (*)			53	Available A.S. Press.	60 psig MAX
20	Body/bonnet material (*)	(See Note 2)		54		
21	Liner Material/Thickness			55	Bench Range (*)	
22	End	In:	4"	56	Act. Orientation	TOP
23	Connections	Out:	4"	57	Handwheel Type	NONE
24	Flg. Face Finish	ANSI B16.5		58		
25	End Ext./ Matl.			59	Input Signal	FROM POSITIONER
26	Flow Direction			<b>POSITIONER</b>		
27	Type of Bonnet	STANDARD		60	Type	SMART
28	Lub&Iso Valve			61	Mfr./Model (*)	
29	Packing Material	NON-ASBESTOS		62	Increase/decrease	
30	Packing Type (*)			63	Gauges	YES
31				64	Bypass	
<b>TRIM</b>				65	Input Signal	4-20 mA + HART
32	Type	SINGLE SEAT, TOP GUIDED		<b>PRESSURE REGULATOR</b>		
33	Port Size (*)			66	Mfr./Model (*)	
34	Characteristic	LINEAR		67	Set Pressure	
35	Balanced/Unbalanced (*)	UNBALANCED		68	Filter	YES
36	Rated (*) Cv:	FL:	X <sub>T</sub> :	69	Gauge	
37	Plug/Ball/Disk Matl.	(See Note 2)		<b>NOTES</b>		
38	Seat Material	(See Note 2)		1. Cv specified on line 9 is for reference only.		
39	Cage/Guide Matl.	(See Note 2)		Vendor/manufacturer must confirm.		
40	Stem Material	(See Note 2)		2. By Vendor		
41				3. Fisher GX Linear		
42						
<b>SPECIALS/ACCESORIES</b>						
43	ANSI/FCI Leakage Class	IV				
44	Hazardous Area Class.	NEC Class I Div. 2 Gr. D				
45	Limit Switch:					

### 5.1.4 Planos Mecánicos Intercambiador C-01

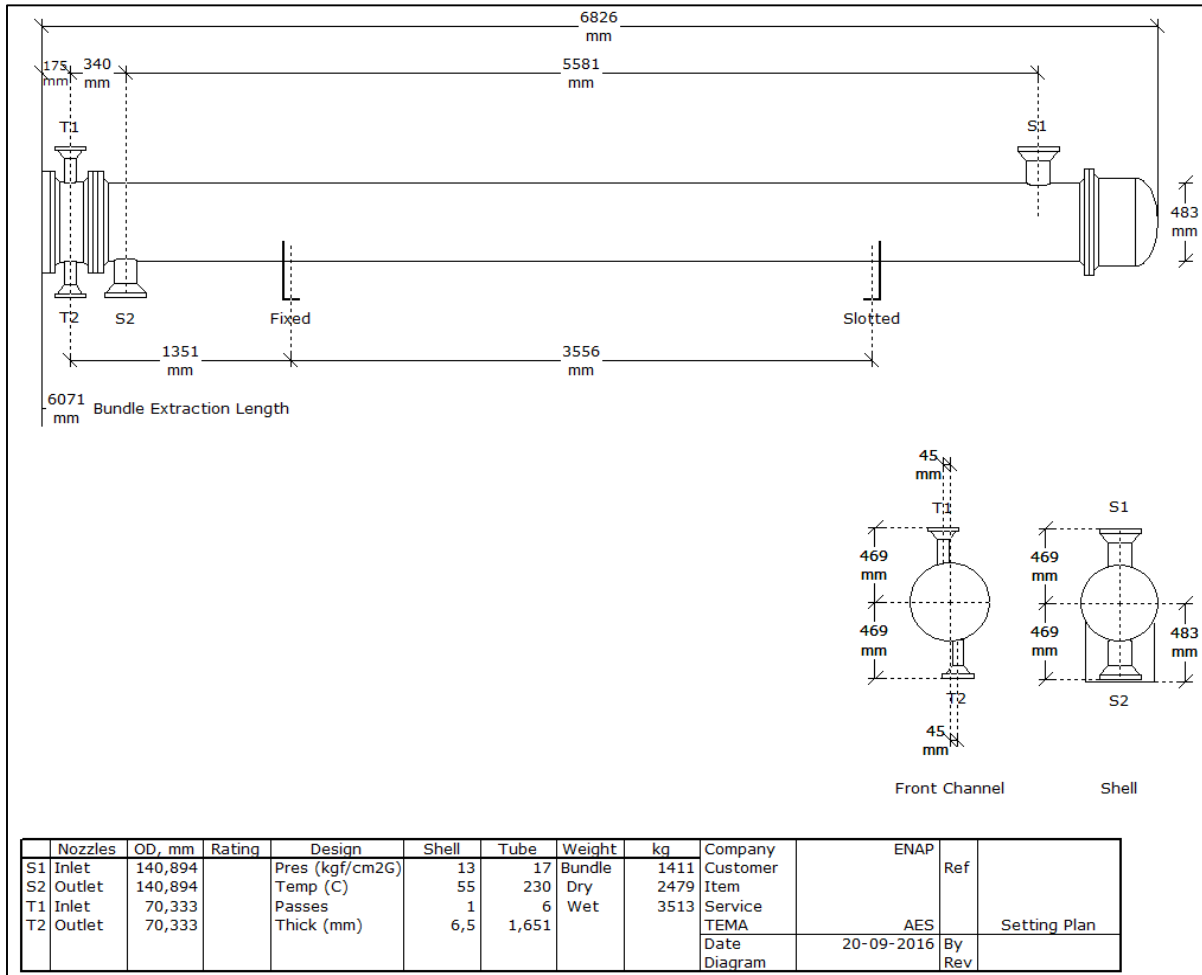


Figura 5.6: Plano Mecánico Intercambiador C-01 A

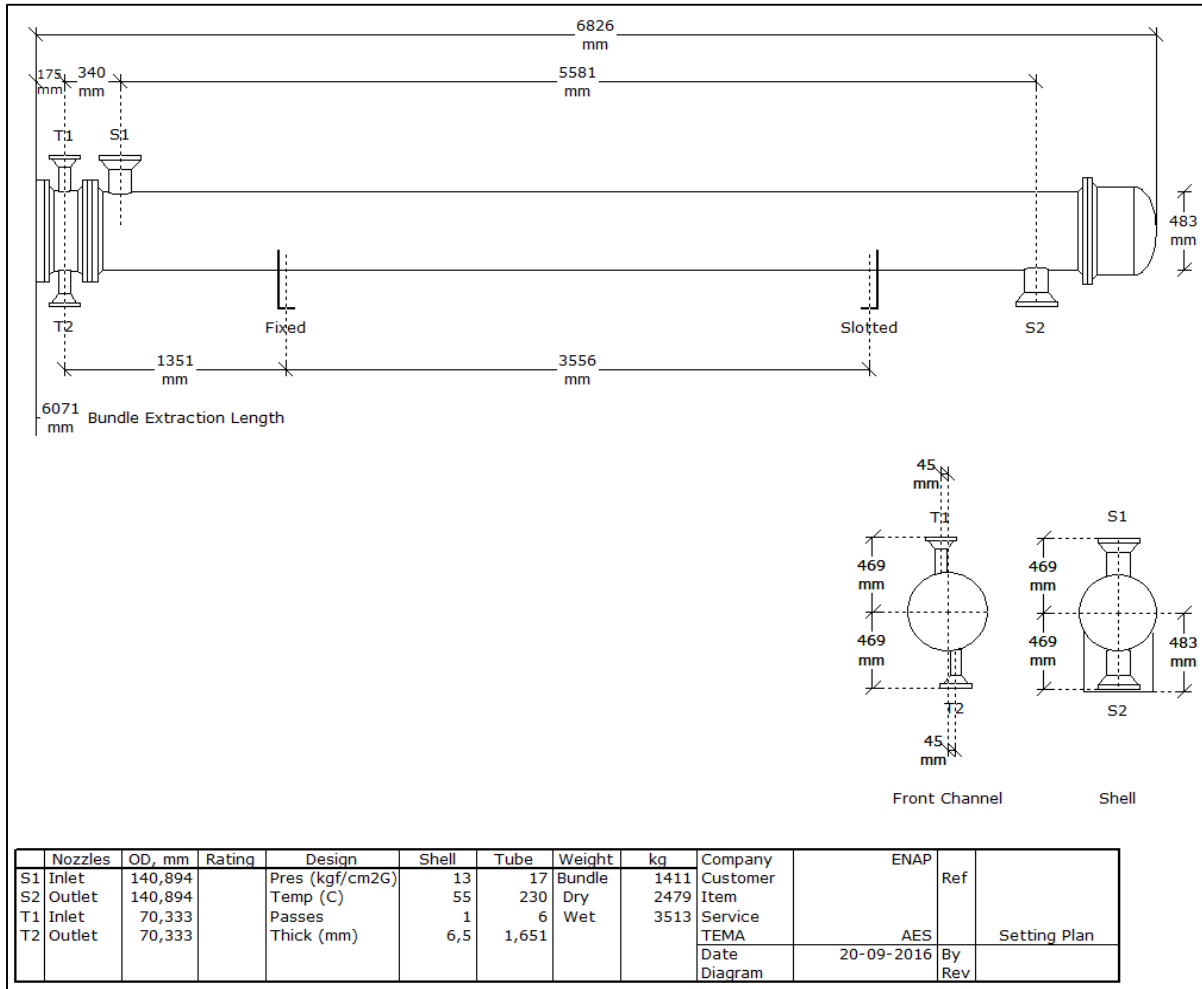


Figura 5.7: Plano Mecánico C-01 B

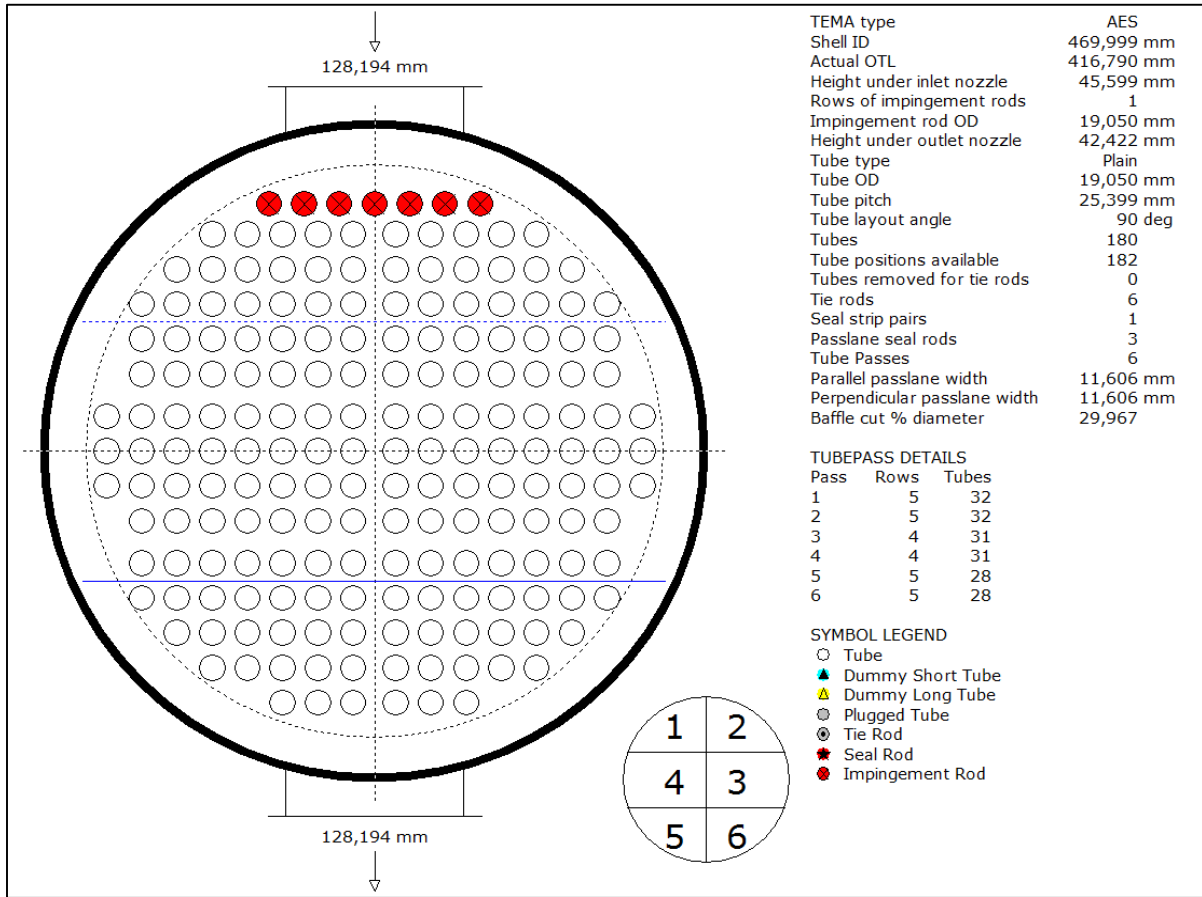


Figura 5.8: Layout de Tubos

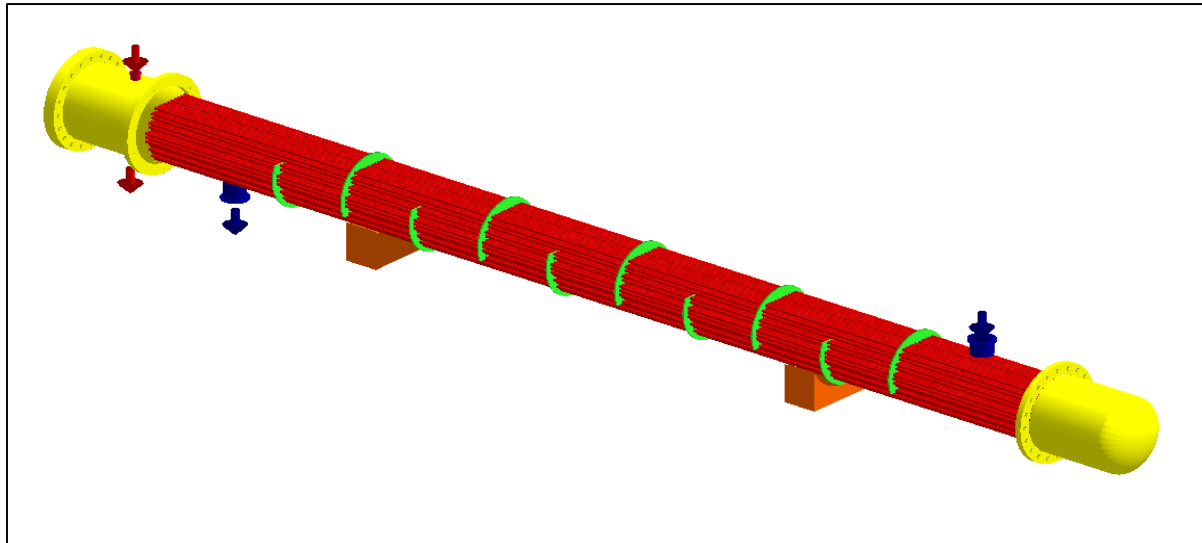


Figura 5.9: Vista 3D intercambiador C-01

### 5.1.5 DataSheet Intercambiadores Alternativa 2 y 3

Tamaño	205 x 4877 mm	Tipo AES	Conexión 1 paralelo 1 series	
Área	12,843 m <sup>2</sup>	Unidades Coraza	1	Área/ unidad 12,843 m <sup>2</sup>
<b>C-02</b>				
Corriente	Agua Desmineralizada		COL	
Ubicación del fluido	Coraza		Tubos	
Flujo kg/h	72.000		28.615	
Temperatura entrada/ salida °C	15	24,47	206	160
Densidad kg/m <sup>3</sup>	1015	1008	810,2	845,9
Viscosidad cP	1,136	0,915	0,3157	0,5208
Calor específico kcal/kg°C	1,031	1,031	0,5388	0,499
Conductividad térmica kcal/h m °C	0,512	0,523	0,0859	0,0908
Presión kgf/cm <sup>2</sup>	4,533		19,03	
Velocidad m/s	1,09		2,24	
Caída de presión permitida/calculada kgf/cm <sup>2</sup>	1,4	0,585	1,7	0,46
Coefficiente de ensuciamiento m <sup>2</sup> h °C/kcal	0,0001		0,0006	
Calor intercambiador	683464 kcal/h	MTD(Corregido) 162,7 °C		
Servicio transferido	329,83	Limpio 1214,5	Actual 706,13 kcal/h m <sup>2</sup> °C	
<b>CONSTRUCCIÓN DE UNA CORAZA</b>				
	Coraza		Tubos	
Presión diseño/ vacío/ prueba	35/ / 52,5		50 / / 75	
Temperatura de diseño °C	55		255	
Número de paso por coraza	1		2	
Corrosión permitida mm	1,5		5	
Conexiones Tamaño/Rating	In mm	1 128,19/	1	77,927/
	Out mm	1 128,19/	1	77,927/
	Intermedio mm			
N° Tubos	44	OD 19,05	Espesor 1,651 mm	Longitud 4877 mm Pitch 25,4 mm
Tipo Tubo	Plano	Material Acero Inoxidable 316		Patrón Tubo 90
Coraza	Acero Inoxidable 316 ID 205 OD 217,7 mm	Cubierta Coraza Acero Inoxidable 316		
Canal	Acero Inoxidable 316	Cubierta Canal Acero Inoxidable 316		
Placa Tubular Estacionaria	Acero Inoxidable 316	Placa Tubular Flotante Acero Inoxidable 316		
Cubierta Cabezal Flotante	Acero Inoxidable 316	Protecciones Rods		
Baffles	Acero Inoxidable 316 Tipo Segmentado Single Corte 36,33%	Espaciamento c/c 310 Inlet 465,04 mm		
Soportes- Tubo	U- Bend		Tipo Ninguno	
Sello Arreglo Bypass	Juntura Placa Tubular Exp./seal wld 2 grv			
Expansión Combinada	Tipo Ninguno			
Entrada Boquilla	2365,9 ρ-v <sup>2</sup>	Entrada Haz Tubular	262,47 ρ-v <sup>2</sup>	Salida Haz Tubular 500,13 ρ-v <sup>2</sup>
Empaquetadura Lado Coraza				
Empaquetaduran Cabezal Flotante	TEMA Clase R			
Peso Coraza	601,61 kg	Lleno	781,36 kg	Haz Tubular 167,83 kg




Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



Tamaño	337-6096 mm	Tipo AES	Conexión 1 paralelo 2 series	
Área	59,832 m <sup>2</sup>	Unidades Coraza 2	Área/ unidad 29,916 m <sup>2</sup>	
<b>C-03 A/B</b>				
Corriente	Agua Desmineralizada		Aceite Decantado	
Ubicación del fluido	Coraza		Tubos	
Flujo kg/h	72.000		26.854	
Temperatura entrada/ salida °C	15	30	160	40
Densidad kg/m <sup>3</sup>	1015	1004	845,61	932,75
Viscosidad cP	1,136	0,797	0,521	4,3
Calor específico kcal/kg°C	1,031	1,031	0,4990	0,39
Conductividad térmica kcal/h m °C	0,512	0,532	0,0908	0,104
Presión kgf/cm <sup>2</sup>	4,533		19,03	
Velocidad m/s	0,73		2,07	
Caída de presión permitida/calculada kgf/cm <sup>2</sup>	1,4	1,062	4	2,531
Coefficiente de ensuciamiento m <sup>2</sup> h °C/kcal	0,0001		0,0006	
Calor intercambiador 1274440 kcal/h	MTD(Corregido) 64,9 °C			
Servicio transferido 333,34	Limpio 780,24	Actual 530,11 kcal/h m <sup>2</sup> °C		
<b>CONSTRUCCIÓN DE UNA CORAZA</b>				
	Coraza		Tubos	
Presión diseño/ vacío/ prueba	35// 52,5		50 // 75	
Temperatura de diseño °C	55		255	
Número de paso por coraza	1		4	
Corrosión permitida mm	1,5		5	
Conexiones Tamaño/Rating	In mm	1 128,19/	1	52,553/
	Out mm	1 128,19/	1	52,533/
	Intermedio mm			
N° Tubos 82	OD 19,05	Espesor 1,651 mm	Longitud 6096 mm	Pitch 25,4 mm
Tipo Tubo Plano	Material Acero Inoxidable 316		Tubo Patron 90	
Coraza 316 Acero Inoxidable	ID 336,55 mm	Cubierta Coraza Acero Inoxidable 316		
Canal Acero Inoxidable 316	Cubierta Canal Acero Inoxidable 316			
Placa Tubular Estacionaria Acero Inoxidable 316	Placa Tubular Flotante Acero Inoxidable 316			
Cubierta Cabezal Flotante Acero Inoxidable 316	Protecciones Rods			
Baffles Acero Inoxidable 316	Tipo Segmentado Single	Corte 25,83%	Espaciamiento c/c 237,11	Inlet 592,58 mm
Longitud Baffle	Tipo de sello			
Soportes- Tubo	U- Bend		Tipo Ninguno	
Sello Arreglo Bypass	Juntura Placa Tubular Exp./seal wld 2 grv			
Expansión Combinada	Tipo Ninguno			
Entrada Boquilla ρ-v <sup>2</sup>	Entrada Haz Tubular ρ-v <sup>2</sup>	Salida Haz Tubular ρ-v <sup>2</sup>		
Empaquetadura Lado Coraza				
Empaquetaduran Cabezal Flotante			TEMA Clase R	
Peso Coraza 2036,3 kg	Lleno 2599,1 kg		Haz Tubular 633,61 kg	

### 5.1.6 Fotos Tie Ins

					<b>FOTOGRAFÍAS DE UBICACIÓN DE TIE INS</b>	
<b>Cliente:</b>					<b>N° Proyecto.:</b> Ingeniería Básica Integración Energética	
<b>Localización:</b> Suministros					<b>Producto de Fondo Fraccionadora - Agua Desmineralizada</b>	
<b>Servicio:</b> Aguas Desmineralizada					<b>N° Unidad.:</b>	
<b>Revisión</b>					<b>N° Tie Ins.:</b> 01,02,03 <b>No. REQ'D:</b>	
<b>Fecha</b>					<b>N° P &amp; I.:</b> 0321-D-PI-001	
<b>Realizado por:</b>						
<b>Revisado por:</b>						
<b>Aprobado por:</b>						
FOTOGRAFÍA						
					<b>TIE INS No.</b> 01,02,03	
					<b>FOTOGRAFÍA</b>	

 <b>ENAP</b> <small>ENERGÍA QUE MUEVE A CHILE</small>					<b>FOTOGRAFÍAS DE UBICACIÓN DE TIE INS</b>	
Cliente:					N° Proyecto.: Ingeniería Básica Integración Energética	
Localización: <span style="color: blue;">Cracking</span>					Producto de Fondo Fraccionadora - Agua Desmineralizada	
Servicio: <span style="color: blue;">Aceite Decantado</span>					N° Unidad.:	
					N° Tie Ins.: <span style="color: blue;">04.</span> No. REQ'D:	
Revisión	0	1	2	3	N° P & I.: <span style="color: blue;">4122-J-50-21</span>	
Fecha						
Realizado por						
Revisado por:						
Aprobado por:						
FOTOGRAFÍA						
						
					TIE INS No.	04.
					FOTOGRAFÍA	

 ENAP ENERGÍA QUE MUEVE A CHILE					<b>FOTOGRAFÍAS            DE UBICACIÓN DE TIE INS</b>	
Cliente:					N° Proyecto.: Ingeniería Básica Integración Energética	
Localización: <span style="color: blue;">Cracking</span>					Producto de Fondo Fraccionadora - Agua Desmineralizada	
Servicio: <span style="color: blue;">Aceite Decantado</span>					N° Unidad.:	
					N° Tie Ins.: <span style="color: blue;">05.</span> No. REQ'D:	
Revisión	0	1	2	3	N° P & I.: <span style="color: blue;">4122-J-50-21</span>	
Fecha						
Realizado por						
Revisado por:						
Aprobado por:						
FOTOGRAFÍA						
						
					TIE INS No.	05.
					FOTOGRAFÍA	



### 5.1.7 Rating y Simulación reemplazo intercambiador C-708

Se evalúa si el aerofriador es capaz de enfriar el COL en caso de que el intercambiador C-708 deje de operar. Para esto se utiliza el modo *Rating* del simulador HTRI considerando las condiciones de diseño del hidrocarburo, puesto que son mayores a las condiciones de operación, es decir, enfriar 26.854 kg/h de COL desde 206 a 49 °C. Se utiliza la velocidad y temperatura de entrada del aire según diseño. Con esto se puede observar que existe un sobrediseño de 20,21%, por lo cual es posible efectuar dicho proceso.

Tabla 5.4: Rating reemplazo C-708

Process Conditions		Outside		COL		
Fluid name	AIRE					
Fluid condition		Sens. Gas			Sens. Liquid	
Total flow rate	1000-kg/hr		242,26		26,854	
Weight fraction vapor, In/Out			1	0	0	
Temperature, In/Out	°C		27	68,32	49	
Skin temperature, Min/Max	°C		28,27	69,68	31,88	
Pressure, Inlet/Outlet	kgf/cm <sup>2</sup> A		1,033	0	15,5	
Pressure drop, Total/Allow	mmH2O   kgf/cm2			0	0,171	
Midpoint velocity	m/s			56,3	0,55	
- In/Out	m/s				0,62	
Heat transfer safety factor	(--)			1	1	
Fouling	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C			0	0,00053	
Exchanger Performance						
Outside film coef	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C		195,28	Actual U	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C	
Tubeside film coef	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C		430,64	Required U	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C	
Clean coef	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C		9,316	Area	m <sup>2</sup>	
Hot regime		Sens. Liquid		Overdesign	%	
Cold regime		Sens. Gas			20,19	
EMTD	° C		64,9	Tube Geometry		
Duty	MM kcal/hr		2,408	Tube type	Continuous Fin	
Unit Geometry				Tube OD	mm	
Bays in parallel per unit			1	Tube ID	mm	
Bundles parallel per bay			1	Length	mm	
Extended area	m <sup>2</sup>		5717,8	Area ratio(out/in)	(--)	
Bare area	m <sup>3</sup>		190,65	Layout	Staggered	
Bundle width	mm		3575	Trans pitch	mm	
Nozzle		Inlet	Outlet	Long pitch	mm	
Number	(--)		1	1	60,33	
Diameter	mm		77,927	77,927	85,307	
Velocity	m/s		2,24	1,92	Number of passes	
R-V-SQ	kg/m-s <sup>2</sup>		3510,1	3001,3	(--)	
Pressure drop	kgf/cm <sup>2</sup>		0,02	0,011	Number of rows	
Fan Geometry					(--)	
No/bay	(--)				413	
Fan ring type					59 / 59	
Diameter	mm				Material	
Ratio, Fan/bundle face area	(--)				Carbon steel	
Driver power	kW				Fin Geometry	
Tip clearance	mm				Type	None
Efficiency	%				Fins/length	fin/meter
Airsides Velocities						433
Face	m/s		Actual	Standard	Fin root	mm
Maximum	m/s		2,63	2,57	Height	mm
Flow	100 m3/min		54,72	53,57	Avg. thickness	mm
Velocity pressure	mmH2O		34,328	33,608	Over fin	mm
Bundle pressure drop	mmH2O				Efficiency	%
Bundle flow fraction	(--)				Area ratio (fin/bare)	(--)
			1		Material	Aluminum 1100-annealed
Airsides Pressure Drop, %					Thermal Resistance, %	
Bundle	0				Air	3,99
Ground clearance	0	Fan guard			Tube	71,46
Fan ring	0	Fan area blockage			Fouling	16,31
					Metal	8,23
					Bond	0
					Louvers	0
					0 Hail screen	0
					0 Steam coil	0

Se realiza la simulación de dicho enfriamiento, con lo cual el COL es enfriado desde 206°C hasta 44°C. El aire aumenta su temperatura desde 27°C hasta 70 °C.

Tabla 5.5: Simulación reemplazo COL

Process Conditions		Outside		Tubeside		
Fluid name	AIRE			COL		
Fluid condition		Sens. Gas		Sens. Liquid		
Total flow rate	1000-kg/hr	242,26		26,854		
Weight fraction vapor, In/Out		1		0		
Temperature, In/Out	°C	27		206		
Skin temperature, Min/Max		27,98		30,51		
Pressure, Inlet/Outlet	kgf/cm <sup>2</sup> A	1,033		15,5		
Pressure drop, Total/Allow	mmH2O   kgf/cm <sup>2</sup>	0		0,175		
Midpoint velocity	m/s	56,11		0,54		
- In/Out	m/s			0,62		
Heat transfer safety factor	(-)	1		1		
Fouling	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C	0		0,0053		
Exchanger Performance						
Outside film coef	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C	195,14		Actual U	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C 7,408	
Tubeside film coef	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C	401,18		Required U	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C 7,396	
Clean coef	kcal/m <sup>2</sup> -hr-C	8,767		Area	m <sup>2</sup> 5717,8	
Hot regime	Sens. Liquid			Overdesign	% 0,16	
Cold regime	Sens. Gas			Tube Geometry		
EMTD	° C	58,7		Tube type	Continuous Fin	
Duty	MM kcal/hr	2,484		Tube OD	mm 25,4	
Unit Geometry			Tube ID	mm 19,3		
Bays in parallel per unit		1		Length	mm 6096	
Bundles parallel per bay		1		Area ratio(out/in)	(-) 39,471	
Extended area	m <sup>2</sup>	5717,8		Layout	Staggered	
Bare area	m <sup>2</sup>	190,65		Trans pitch	mm 60,33	
Bundle width	mm	3575		Long pitch	mm 85,307	
Nozzle		Inlet	Outlet	Number of passes	(-) 7	
Number	(-)	1	1	Number of rows	(-) 7	
Diameter	mm	77,927	77,927	Tube count	(-) 413	
Velocity	m/s	2,24	1,91	Tube count Odd/Even	(-) 59 / 59	
R-V-SQ	kg/m-s <sup>2</sup>	3510,1	2987,2	Material	Carbon steel	
Pressure drop	kgf/cm <sup>2</sup>	0,02	0,011	Fin Geometry		
Fan Geometry			Type	None		
No/bay	(-)	2		Fins/length	fin/meter 433	
Fan ring type		Straight		Fin root	mm 57,15	
Diameter	mm	2440		Height	mm	
Ratio, Fan/bundle face area	(-)	0,43		Avg. thickness	mm 0,28	
Driver power	kW			Over fin	mm 0	
Tip clearance	mm	12,2		Efficiency	% 74,9	
Efficiency	%	65		Area ratio (fin/bare)	(-) 29,992	
Airsides Velocities			Actual	Standard	Material	
Face	m/s	2,63		2,57	Aluminum 1100-annealed	
Maximum	m/s	54,72		53,57	Thermal Resistance, %	
Flow	100 m <sup>3</sup> /min	34,328		33,608	Air	3,8
Velocity pressure	mmH2O				Tube	72,88
Bundle pressure drop	mmH2O				Fouling	15,5
Bundle flow fraction	(-)	1			Metal	7,82
Bundle	0	Airsides Pressure Drop, %			Bond	0
Ground clearance	0	Fan guard		0	Louvers	0
Fan ring	0	Fan area blockage		0	Hail screen	0
					Steam coil	0

## 5.1.8 Cotizaciones

### 5.1.8.1 Cotización Intercambiador

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (\$)	SUBTOTAL (\$)
1.1	SUMINISTRO	UN	1		
<b>1.- MANO DE OBRA</b>					
<b>CATEGORÍAS</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$)</b>	<b>SUBTOTAL (\$)</b>
1.1	SUPERVISOR	HH	135	12.065	1.628.775
1.2	OPERARIO DE MAQUINAS	HH	135	9.332	1.259.820
1.3	MAESTRO CALDERERO	HH	135	8.888	1.199.880
1.4	SOLDADOR	HH	135	8.888	1.199.880
1.5	AYUDANTES	HH	270	4.888	1.319.760
<b>TOTAL MANO DE OBRA (\$)</b>					<b>6.608.115</b>
<b>2.- EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$)</b>	<b>SUBTOTAL (\$)</b>
2.1	SERVICIOS	GL	1	3.084.924	3.084.924
2.2					
2.3					
2.4					
2.5					
<b>TOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (\$)</b>					<b>3.084.924</b>
<b>3.- MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$)</b>	<b>SUBTOTAL (\$)</b>
3.1	CANERIAS AISI 316	KG	537	4.800	2.577.600
3.2	TUBOS AISI 316	KG	846	4.800	4.060.800
3.3	PLANCHAS AISI 316	KG	302	4.000	1.208.000
3.4	FLANGES	GL	1	995.675	995.675
3.5	PERNOS	UNIDAD	60	3.500	210.000
3.6	OTROS INSUMOS	GL	1	570.000	570.000
					<b>9.622.075</b>
<b>4.- OTROS COSTOS</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$)</b>	<b>SUBTOTAL (\$)</b>
4.1	TRANSPORTE	GL	1	1.407.429	1.407.429
4.2	LIMPIEZA QUIMICA	GL	1	208.430	208.430
4.3					
4.4					
4.5					
<b>TOTAL OTROS COSTOS (\$)</b>					<b>1.615.859</b>
<b>PRECIO UNITARIO DE LA PARTIDA (\$)</b>					<b>20.930.973</b>
<b>5.- UTILIDADES Y GASTOS GENERALES</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>SUBTOTAL (\$)</b>
5.1	Gastos Generales		12%		2.511.717
5.2	Utilidades		25%		5.860.672
<b>TOTAL (\$)</b>					<b>8.372.389</b>
<b>PRECIO UNITARIO DE LA PARTIDA CON UTILIDADES Y GASTOS GENERALES (\$)</b>					<b>29.303.362</b>

### 5.1.8.2 Cotización Termocuplas

Ítem	Cant.	DESCRIPCIÓN DE LA OFERTA	Precio Venta Unitario \$USD	Precio Venta Tota \$USD
10		<p><b>Se cotiza exactamente lo solicitado según vuestro data sheet.</b></p> <p>TE-01, Conjunto Termocupla +Cabezal + Thermowell. <b>Marca EIPSA-ESPAÑA</b>            Termocupla tipo K simple, DIAMETRO DE ¼", material de 316SS., NO ATERRIZADA.            Union Niple de ½"x2". Fklange de 1"#300            Thermowell Tipo Conico de material 316 SS, revestido hasta la punta de 1/16" de Stellite N°6.</p>	\$3360	\$3360
20	1	<p>TE-02, Conjunto Termocupla +Cabezal + Thermowell. <b>Marca EIPSA-ESPAÑA</b>            Termocupla tipo K simple, DIAMETRO DE ¼", material de 316SS., NO ATERRIZADA.            Union Niple de ½"x2". Fklange de 1"#300            Thermowell Tipo Conico de material 316 SS, revestido hasta la punta de 1/16" de Stellite N°6.</p>	\$3360	\$3360

30	1	<p>TE-03, Conjunto Termocupla +Cabezal + Thermowell. <b>Marca EIPSA-ESPAÑA</b>  Termocupla tipo K simple, DIAMETRO DE ¼", material de 316SS., NO ATERRIZADA.  Union Niple de ½"x2". Fklange de 1"#300  Thermowell Tipo Conico de material 316 SS, revestido hasta la punta de 1/16" de Stellite N°6.</p>	\$3360	\$3360
40	1	<p>TE-04, Conjunto Termocupla +Cabezal + Thermowell. <b>Marca EIPSA-ESPAÑA</b>  Termocupla tipo K simple, DIAMETRO DE ¼", material de 316SS., NO ATERRIZADA.  Union Niple de ½"x2". Fklange de 1"#300  Thermowell Tipo Conico de material 316 SS, revestido hasta la punta de 1/16" de Stellite N°6.</p>	\$3360	\$3360
<b>VALOR TOTA</b>				<b>\$13440</b>
<p><b>Nota:</b> Si se requiere cálculos de estrés, se debe Realizar cuando EIPSA, vuelva de sus vacaciones, es decir a partir del mes de Septiembre.-  Hacemos notar que los equipos ofertados actualmente, la soldadura es a <b>penetracion completa</b>, no soldadura de sello.  Las Cabezas ofertadas y utilizadas actualmente son en Aluminio fundido Se pueden fabricar de acero inoxidable o de hierro fundido , pero son mas caros.-</p>				

Fuente: (ASTCORT, 2016)



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701



5.1.8.3 Cotización Transmisores de Flujo y Temperatura

<b>MAXCONTROL</b>		<b>COTIZACIÓN: COT-551384</b>			
<b>A PUFFER • SWEIVEN COMPANY</b>		<b>PÁGINA 1 DE 4</b>			
<p>Sres. <b>Enap Refinerías</b> Avenida Borgoño 25777, Con Con</p> <p>Atención: <b>Sr.(a)</b></p> <p>Cotización preparada por: <b>Sr.(a) Victor Gallardo</b> victor.gallardo@maxcontrol.cl</p>		<p><b>Fecha:</b> 05-09-2016 09:06:24 <b>Válida hasta:</b> 05-10-2016 <b>Modalidad:</b> En Plaza <b>Moneda:</b> USA, Dollars (USD) <b>Plazo de entrega:</b> 12 Semanas <b>Lugar de Entrega:</b> Bodegas Enap Aconcagua <b>Forma de Pago:</b> 30 días fecha de Factura</p>			
Item	Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Descuento (USD)	Subtotal (USD)
1	4,00	Rosemount Tag: TT-01; TT-03; TT-04; TT-05 Smart Temperature Transmitter Model: 644HAKBJ6M5Q4	1.622,72	0,00 (%)	6.490,88
2	2,00	Rosemount Tag: FT-01; FT-04 Scalable MultiVariable Pressure Transmitter Model: 3051SMV5M12G3R2A11A1AKDM5Q4 Manifold: Integral Manifold Model: 0305RC32B21B4	6.502,17	0,00 (%)	13.004,34
<b>Subtotal</b>					19.495,22
<b>Impuesto 19,00 %</b>					3.704,09
<b>Total</b>					<b>23.199,31</b>
<p>MAX CONTROL S.P.A. RUT: 76.490.680-2 Comercialización de sistemas de control computacionales y mecánicos www.maxcontrol.cl ventas@maxcontrol.cl</p>		<p>VIÑA DEL MAR Tres Poniente 120 Fono: (+56 32) 317 27 80</p>		<p>SANTIAGO Brigida Walker 1987, Ñuñoa Fono: (+56 2) 246 386 00</p>	

Fuente: (MAXCONTROL, 2016)

### 5.1.8.4 Cotización Válvulas de Control

MAXCONTROL		COTIZACIÓN: COT-551365			
A PUFFER • SWEIVEN COMPANY		PÁGINA 1 DE 3			
<p>Sres. <b>Enap Refinerías</b> Avenida Borgoño 25777, Con Con</p> <p>Atención: Sr. (a)</p> <p>Cotización preparada por: Sr. (a) <b>Victor Gallardo</b> victor.gallardo@maxcontrol.cl</p>		<p>Fecha: 23-08-2016 17:06:04 Válida hasta: 23-09-2016 Modalidad: En Plaza Moneda: USA, Dollars (USD) Plazo de entrega: 14-16 Semanas Lugar de Entrega: Bodegas Enap Aconcagua Forma de Pago: 30 días fecha de Factura</p>			
Item	Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Descuento (USD)	Subtotal (USD)
1	1,00	<p><b>Fisher</b> Válvula de control tipo globo, modelo GX, tamaño NPS 3, material del cuerpo CF3M SST, rating; CL300, shutoff: ANSI CL IV. Incluye actuador modelo GX, tamaño 750, falla cerrada. Con posicionador modelo DVC6200, protocolo de comunicacion HART, nivel de diagnostico: HART Communicating-HC, incluye filtro regulador de aire modelo 67CFR, manómetros y montaje para actuador.</p>	14.552,00	0,00 (%)	14.552,00
<p>MAX CONTROL S.P.A. RUT: 76.490 680-2 Comercialización de sistemas de control computacionales y mecánicos www.maxcontrol.cl ventas@maxcontrol.cl</p>		<p>VIÑA DEL MAR Tres Poniente 120 Fono: (+56 32) 317 27 80</p>		<p>SANTIAGO Brigida Walker 1987, Ñuñoa Fono: (+56 2) 246 386 00</p>	

Fuente: (MAXCONTROL, 2016)

MAXCONTROL		COTIZACIÓN: COT-551365			
A PUFFER • SWEIVEN COMPANY		PÁGINA 2 DE 3			
2	1,00	<p><b>Fisher</b> Se ofrece valvula de control tipo globo, modelo GX, tamaño NPS 4, material del cuerpo CF3M SST, rating; CL300, shutoff: ANSI CL IV. Incluye actuador modelo GX, tamaño 750, falla abierta. Con posicionador modelo DVC6200, protocolo de comunicacion HART, nivel de diagnostico: HART Communicating-HC, incluye filtro regulador de aire modelo 67CFR, manómetros y montaje para actuador</p>	17.082,00	0,00 (%)	17.082,00

Fuente: (MAXCONTROL, 2016)



Análisis Técnico Económico para la mejora de Integración Energética  
en circuito de fondo de Fraccionadora E-701

