



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén

Proyecto Final

*Obtención de butadieno por
deshidrogenación catalítica de n-butano.*

Ingeniería Química

Integración V

Profesores:

Ing.Spesot, Horacio

Ing.Krumrick, Ezequiel

Ing.Silva, Cristian

Ing.Garrido, Juan

Autores:

Carosio-Araneda, Facundo Angel Gabriel

Mucci, Giulliano Enrique

Índice

1. Marco teórico	12
1.1 Justificación del Proyecto	12
1.1.1. Ubicación de la Planta	12
1.1.2. Producto a ofrecer	12
1.1.3. Subproductos del proceso	14
1.2 Bibliografía	15
2. Estudio de Mercado	16
2.1 Demanda, producción, importación y consumo aparente	16
2.2 Mercado Proveedor	20
2.3 Mercado Competidor	23
2.4 Mercado Distribuidor	24
2.5 Mercado Consumidor	25
2.5.1 Subproducto	26
2.5.2 Empresas Compradoras	27
2.6 Módulo de producción	28
2.7 Bibliografía	28
3. Descripción del proceso	29
3.1 Tecnologías para la obtención del producto	30
3.1.1 Craqueo al vapor (Haldor Topsoe Technology)	30
3.1.2 Síntesis a partir de Etanol	31
3.1.3 Deshidrogenación oxidativa a partir de n-buteno	32
3.1.4 Deshidrogenación catalítica de n-butano y n-buteno (Método Catadiene) 32	32
3.2 Elección de la tecnología a implementar en el proyecto	33
3.3 Materia prima del proceso	34
3.3.1 n-Butano	34
3.3.2 Oxígeno	35
3.4 Producto del proceso	36
3.4.1 Butadieno (1,3-butadieno)	36
3.4.1.1 Riesgo a la exposición y manipulación	36
3.4.1.2 Propiedades Fisicoquímicas	36

3.5	Etapas del proceso	37
3.5.1	Etapa I.....	38
3.5.2	Etapa II.....	38
3.5.3	Etapa III	39
3.5.4	Etapa IV	40
3.6	Bibliografía.....	40
4.	Diagrama de Flujo del proceso.....	42
4.1	Codificación de equipos	43
4.2	Bibliografía.....	44
5.	Balance de Masa y Energía del Proceso	45
5.1	Simulación.....	45
5.1.1	Flowsheet.....	45
5.2	Balance de Masa.....	47
5.2.1	Balance de Masa Global	47
5.2.2	Balance de Masa y Energía.....	48
5.3	Bibliografía.....	55
6.	P&ID.....	56
6.1	Introducción.....	56
6.2	Definiciones.....	56
6.2.1	Elementos de los sistemas de control	56
6.2.2	Instrumentos	57
6.2.3	Clasificación de la instrumentación.....	57
6.2.4	Líneas de conexión	57
6.2.5	Nomenclatura de instrumentos	58
6.2.6	Simbología de instrumentación	60
6.2.7	Identificación de equipos.....	61
6.2.8	Indicadores locales.....	63
6.2.9	Transmisores.....	64
6.2.10	Switches	65
6.2.11	Válvulas	66

6.2.12	Identificación de cañerías.....	67
6.3	Diseño de Diagrama de Tubería e Instrumentación	69
6.4	Bibliografía.....	71
7.	Seguridad de la Planta	72
7.1	Introducción.....	72
7.2	Clasificación de fuegos	73
7.3	Protección contra incendios.....	73
7.3.1	Equipos de Protección Activa.....	74
7.3.1.1	Protección Activa Zona I	75
7.3.1.2	Protección Activa Zona II	76
7.3.1.3	Protección Activa Zona III.....	76
7.3.1.4	Protección Activa Zona de edificios	77
7.3.1	Protección Pasiva.....	77
7.3.2.1	Zona I	77
7.3.2.2	Zona II.....	78
7.3.2.3	Zona III	79
7.4	Puesta a tierra	79
7.5	Pararrayos	80
7.6	Paro de planta	80
7.6.1	Sistema de emergencia	80
7.7	Bibliografía.....	82
8.	LayOut	83
8.1	Introducción.....	83
8.2	Localización de la planta	83
8.3	Distribución de área en planta	83
8.3.1	División del proceso de obtención de Butadieno por etapas	83
8.3.2	División de áreas.....	84
8.3.3	Equipos críticos del proceso	84
8.4	Diagrama de interrelaciones entre equipos	85
8.5	Distancias recomendadas	87
8.5.1	Distancias entre tanques	89
8.5.2	Diseño de recintos de tanques.....	90

8.6	Red contra incendios y puntos de encuentro	90
8.7	Distribución de áreas de la planta.....	91
8.8	Descripción del LayOut.....	91
8.9	Distribución de equipos de la Planta	93
8.10	Bibliografía.....	95
9.	Ingeniería Básica e Ingeniería de Detalle	96
9.1	Intercambiador de Calor	97
9.1.1	Características Generales	97
9.1.2	Tipos de Intercambiadores de Calor	97
9.1.2.1	Intercambiadores de Calor de Doble Tubo	97
9.1.2.2	Intercambiadores de Calor de Tubo y Coraza.....	98
9.1.2.3	Intercambiadores de Calor de Placas	99
9.1.3	Criterios de Diseño:	100
9.1.4	Elección del Tipo de Intercambiador de Calor	100
9.1.5	Elección de la trayectoria de cada fluido.....	102
9.1.6	Partes principales de los intercambiadores de calor de Tubo y Coraza	103
9.1.6.1	Tubos.....	103
9.1.6.2	Pitch	103
9.1.6.3	Placa de tubos.....	103
9.1.6.4	Numero de pasos	104
9.1.6.5	Coraza	104
9.1.6.6	Deflectores	104
9.1.6.7	Cabezal de Distribución	105
9.1.6.8	Cabezal de Retorno	105
9.1.7	Calculo detallado del Intercambiador de Calor	105
9.1.7.1	Método de Kern	105
9.1.7.2	Software HRTI.....	110
9.1.7.3	Diseño Mecánico.....	116

9.1.7.3.1	Tubos.....	116
9.1.7.3.2	Coraza	118
9.1.7.3.3	Dimensionamiento de Cabezales	119
9.1.7.3.4	Dimensionamiento de Boquillas y Bidas.....	120
9.1.7.3.5	Soportes y orejas de izaje.....	122
9.1.7.3.6	Resumen de Cálculos	123
9.1.8	Bibliografía	125
9.2	Flare (Antorcha)	126
9.2.1	Características Generales.....	126
9.2.2	Tipos de Antorchas	127
9.2.2.1	Verticales	127
9.2.2.2	Horizontales	128
9.2.2.3	De Llama Oculta	128
9.2.2.4	Monopunto o Multipunto	128
9.2.2.5	Sin Humo y Con Humo.....	128
9.2.2.6	Endotérmicas.....	129
9.2.3	Criterios de Diseño para el Flare	129
9.2.4	Partes principales del Flare.....	129
9.2.4.1	Quemador.....	129
9.2.4.2	Fuste	130
9.2.4.3	Sello Molecular	130
9.2.4.4	Pilotos.....	130
9.2.4.5	Plataformas y Escaleras	131
9.2.4.6	Sistema de Seguridad	131
9.2.4.7	Sistema de Encendido	132
9.2.5	Calculo detallado de Flare y Knock Out Drum	132
9.2.5.1	Diseño detallado de Flare.....	132

9.2.5.1.1	Calculo del diámetro y altura	132
9.2.5.1.2	Calculo del caudal de descarga a antorcha.....	136
9.2.5.1.3	Calculo de Consumo de Gas	137
9.2.5.1.4	Calculo de la contaminación sonora	138
9.2.5.1.5	Área segura	139
9.2.5.2	Diseño detallado del Knock Out Drum (KOD)	140
9.2.5.2.1	Calculo de diámetro y longitud.....	141
9.2.5.2.2	Calculo de espesores	142
9.2.5.2.3	Diseño de Silletas.....	144
9.2.5.2.4	Instrumentación del equipo.....	144
9.2.6	Bibliografía	146
10.	Estudio de Impacto Ambiental.....	147
10.1	Proyecto.....	147
10.1.1	Recursos demandados y Cuantificación	148
10.1.2	Efluentes.....	149
10.1.2.1	Emisiones	149
10.1.2.2	Vertidos	149
10.1.2.3	Residuos	149
10.2	Identificación y Valoración de los Impactos	150
10.2.1	Arboles de Acciones y Factores.....	150
10.2.2	Identificación de Impactos	152
10.2.3	Valoración de los Impactos.....	157
10.2.4	Calculo de la Importancia	157
10.2.5	Impactos por Contingencias.....	162
10.3	Declaración de Impacto Ambiental.....	167
10.3.1	Impactos Operativos	167
10.3.2	Impactos por Contingencias.....	169
10.4	Plan de Gestión Ambiental.....	171
10.4.1	Medidas de Minimización de Impactos	171

10.4.1.1	Generación de Ruidos y Vibraciones.....	171
10.4.1.2	Afectación de la calidad del aire por emisión de polvo	171
10.4.1.3	Afectación de la calidad de aire por emisión de gases.....	171
10.4.1.4	Accidente Laboral	172
10.4.1.5	Afectación por residuos de abandono	172
10.4.1.6	Afectación de la calidad del suelo por vertido de efluentes...	172
10.4.2	Programa de Vigilancia.....	173
10.5	Bibliografía.....	174
11.	Tratamiento de Efluentes	175
11.1	Identificación y Cuantificación de los Efluentes.....	175
11.2	Caracterización del Efluente	175
11.3	Calculo de DQO y DBO.....	176
11.3.1	Demanda Química de Oxígeno Total (DQO)	179
11.3.2	Demanda Biológica de Oxígeno Total (DQO)	179
11.4	Uso del Efluente	181
11.5	Descripción de la Planta de Tratamiento de Efluentes (PTE).....	181
11.6	Diagrama de flujo de la PTE	182
11.7	Descripción de los equipos utilizados en la PTE	182
11.7.1	Contactador Rotativo Biológico (BCR).....	183
11.7.1.1	Introducción	183
11.7.1.2	Diseño	184
11.7.1.3	Dimensionamiento del Contactador Rotativo Biológico.....	186
11.7.2	Filtro de Arena Lento	186
11.7.2.1	Introducción	186
11.7.2.2	Diseño	188
11.7.2.3	Dimensionamiento del Filtro de Arena Lento	189
11.7.3	Cámara de Cloración.....	190
11.7.3.1	Introducción	190
11.7.3.2	Diseño	192
11.7.3.3	Dimensionamiento del Laberinto de Cloración	193

11.8	Cuadro de Resultados	194
11.9	Cuadro de Resultados Comparativos	194
11.10	Bibliografía.....	195
12.	Estudio Económico Financiero.....	197
12.1	Introducción.....	197
12.2	Estudio de Rentabilidad.....	198
12.2.1	Formulación del Proyecto	198
12.2.1.1	Capital de Inversión	198
12.2.1.1.1	Equipos	198
12.2.1.1.2	Obras Físicas	200
12.2.1.1.3	Sistema contra incendios.....	201
12.2.1.1.4	Planta de Tratamiento de Efluente	201
12.2.1.1.5	Subestación Eléctrica	201
12.2.1.1.6	Válvula Reductora y Medidor de Gas.....	202
12.2.1.1.7	Activos Fijos	202
12.2.1.2	Capital de Trabajo.....	202
12.2.1.2.1	Mano de Obra	203
12.2.1.2.2	Mantenimiento	204
12.2.1.2.3	Insumos	205
12.2.1.3	Amortización.....	207
12.2.1.4	Ingresos	208
12.2.2	Etapa de Preparación del Proyecto: Flujo de Caja.....	209
12.2.3	Etapa de Evaluación del Proyecto.....	210
12.2.3.1	EBITDA	211
12.2.3.2	Valor Actual Neto (VAN).....	211
12.2.3.3	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	212
12.2.3.4	Relación VAN – TIR	212
12.2.3.5	Resultados	213
12.2.4	Punto de Equilibrio	214

12.2.5	Análisis de Sensibilidad	216
12.2.5.1	Variación en Precio de Materia Prima	216
12.2.5.2	Variación en Precio de Butadieno.....	217
12.2.5.3	Variación en Sueldo de Personal	218
12.3	Conclusión.....	219
12.4	Bibliografía.....	220
ANEXOS	221

Agradecimientos

Luego de un largo recorrido, el cual estuvo lleno de obstáculos tanto a nivel académico como personal, puedo decir que se cierra una etapa, que es un punto y final a tanto sacrificio. En todo el camino transitado he aprendido mucho no solo profesionalmente sino como persona, por eso, siempre le voy a estar agradecido a cada uno de los docentes y no docentes que forman parte de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional del Neuquén. En especial a los profesores de la cátedra de Integración V: Ing. Krumrick Ezequiel, Ing. Silva Cristian e Ing. Spesot Horacio. Como también a todos los profesores que aportaron su granito de arena.

Todo esto no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de mi familia, principalmente de mi mamá, pero también de mis hermanas, tíos, primos y todo aquel que estuvo en los buenos y malos momentos. También agradecerle a Carosio Facundo, compañero de principio a fin de esta hermosa aventura y a Ing. Garrido Juan, quien fue una persona importante para que pueda cumplir este sueño.

No quiero olvidarme de mis amigos, quienes siempre estuvieron cuando más los necesite, especialmente a Daniel, Emanuel, Erick, Ezequiel, Gastón, Javier, Luciano, Samir. Además a Julieta, quien fue un pilar importante y me acompañó en todo momento.

Por último, me hubiese gustado compartir este momento tan especial con mi papá y hermana, pero sé que desde el cielo me guiaron y estarán súper orgullosos.

1. Marco teórico

A continuación se dará una breve introducción para interiorizar los conceptos en los cuales se basó la elección del proyecto.

1.1 Justificación del Proyecto

El presente proyecto tiene como fin la implementación de una planta de deshidrogenación catalítica, tomando como materia prima el n-butano producido en distintas plantas ubicadas en la provincia del Neuquén.

El fin de la selección se basa en fomentar la utilización de recursos con la que cuenta la zona aledaña, ya que, el mayor porcentaje de las riquezas extraídas tienden a exportarse, inhibiendo la posibilidad de un desarrollo industrial, que potenciaría el desarrollo económico local.

Mediante la construcción de una planta de producción de butadieno buscamos abastecer las necesidades locales y a nivel país debido a que no hay ninguna empresa nacional que produzca, lo que nos pondría en una posición favorable en el mercado nacional y a través del desarrollo local poder llegar a introducirnos y ser competentes en el mercado internacional.

1.1.1. Ubicación de la Planta

La ubicación seleccionada de la planta se sitúa en las inmediaciones de la ciudad de Cutral-Cò, en el denominado “Parque Industrial” de dicha localidad. Se tomó la decisión de este asiento, teniendo en cuenta factores importantes, como lo son, la distancia próxima de traslado de la materia prima, ya que, se cuenta en las proximidades con una amplia cantidad de plantas de tratamiento de gas natural operadas por diversas empresas, como por ejemplo, Capex S.A, PlusPetrol, YPF, de donde se extraería el n-butano, el cual es la principal materia prima del proceso. Si hablamos de conveniencia la planta más inmediata es la planta de fraccionamiento Loma Negra operada por la empresa YPF S.A. situada a dos kilómetros al noroeste de la ciudad de Cutral-Cò.

1.1.2. Producto a ofrecer

Para introducirnos en tema, se dará una reseña histórica del butadieno, para conocer su origen y así, detallar la importancia que tuvo y que tiene actualmente en el ámbito industrial.

El descubrimiento de éste compuesto tiene como primer registró el año 1863, donde un químico francés lo aisló de la pirolisis del alcohol amílico. Sin embargo,

aún no había sido reconocido como tal, se lo identifico como butadieno gracias a Henry E. Armstrong en el año 1886, quien logró aislar de la pirolisis del petróleo, éste y otros productos petroquímicos.

Este producto se comenzó a industrializar en años previos a la Segunda Guerra Mundial, debido a que cantidad de país, notaron que, en caso de que se inicie una guerra (que al final fue lo que sucedió.), podrían resultar afectados por el desalojo de las plantaciones de caucho natural controlado por el imperio británico. Por este motivo se buscó comenzar a producir caucho sintético, producto del cual, el butadieno es un reactivo de suma importancia.

En el año 1929, Edward Tshunker y Bock Walter, trabajando en la empresa alemana IG Farben, lograron formar un copolimero de estireno y butadieno, que provocaría que se dispare la producción mundial, por su rentabilidad en la fabricación de neumáticos de automóvil.

El butadieno (1,3 butadieno) es un producto muy significativo en la industria petroquímica debido a que conforma el hidrocarburo C4 insaturado más importante económicamente. Su uso principal es como monómero en la fabricación de cauchos o elastómeros sintéticos suponiendo aproximadamente el 70% de butadieno. Los polímeros más destacados son Estirenobutadieno (uso en la fabricación de neumáticos), Policloropreno (uso desde aparatos ortopédicos hasta aislamiento eléctrico) y caucho de nitrilo (uso desde mangueras hasta elaboración de adhesivos). Aunque también es muy importante como intermediario en la producción de algunos productos químicos (Sulfolano, 1,4-Hexadieno o Ciclodoeicatrieno) ya que presenta una alta reactividad química por su doble enlace, aunque la elaboración de productos químicos ingresaría a un terreno del plano internacional, en el cual, se planea introducirse a futuro.

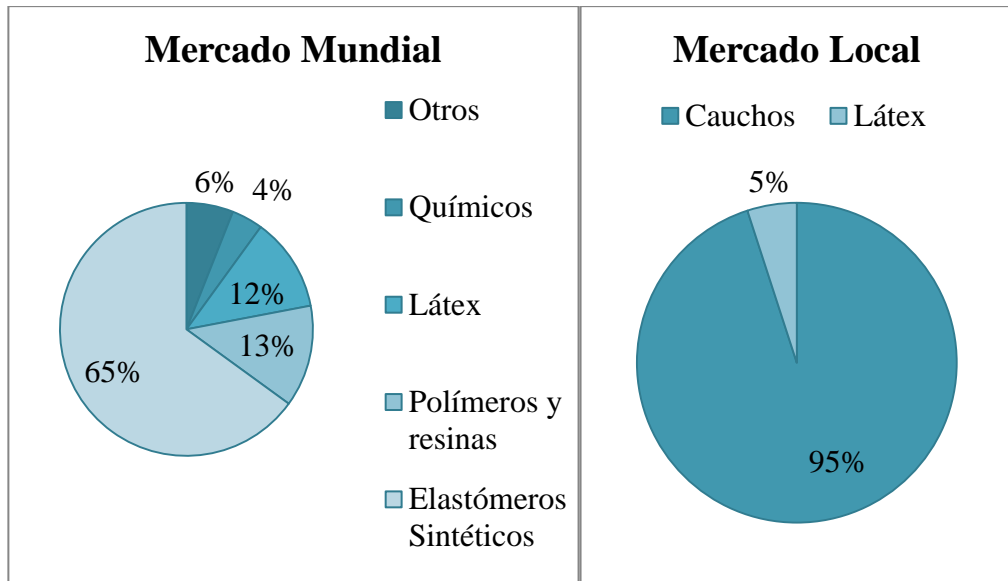


Fig.1: Grafico del uso mundial de butadieno (Izquierda) y Grafico de uso local de butadieno (Derecha).

1.1.3. Subproductos del proceso

Este proyecto a su vez tiene subproductos como son los vapores de recuperación, que se aprovecharán para optimizar el consumo energético de la planta y luego, serán descartados (normalmente se queman como combustibles), dentro de los cuales, se destaca el hidrogeno formado dentro del primer reactor del proceso, que bajo la combustión con oxígeno se reutiliza inmediatamente para aplicar el calor necesario para establecer los parámetros de presión y temperatura del mismo, y así, lograr establecer un balance energético eficiente.

Por otro lado, en la primera etapa del proceso, se debe realizar un tratamiento de separación de la materia prima, ya que, presenta una mezcla de isómeros de butano (65% de n-butanos y 35% de iso-butanos) para elevar el porcentaje de n-butanos en la corriente de alimentación al primer reactor, dejando como subproducto iso-butano, el cual, se determinara bajo una serie de análisis si será tratado para ser reutilizado, o se comercializara.

1.2 Bibliografía

Quimicafacil.net. (8 de Septiembre de 2020). Recuperado el 13 de Marzo de 2021,
de <https://quimicafacil.net/compuesto-de-la-semana/13-butadieno/>

Izquierdo Herrera, M. (2016). *Ingeniería básica de una planta de producción de butadieno a partir de la deshidrogenación de n-butanos*. Tesis, Universidad de Sevilla, Ingeniería Química y Ambiental, Sevilla.

2. Estudio de Mercado

En este capítulo, se buscara ratificar la importancia del estudio de mercado, el cual, se considera, un factor crítico a la hora de establecer los parámetros con los cuales se estructurara el proceso. Los objetivos particulares de dicho estudio van a ser, ratificar la posibilidad real de colocar el producto en el mercado, conocer los canales de comercialización que es posible que se utilicen, determinar la dimensión del módulo de producción que podría esperarse, como también, conocer a los potenciales consumidores.

El análisis se consta de varios puntos que forman la estructura de este estudio. Estos son:

- Demanda, producción, importación y consumo aparente
- Mercado proveedor
- Mercado competidor
- Mercado distribuidor
- Mercado consumidor
- Módulo de producción

2.1 Demanda, producción, importación y consumo aparente

En esta sección se hará un enfoque en las estadísticas de los 10 últimos años que nos brinda el anuario de Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química Argentina del Instituto Petroquímico Argentino (IPA) 2021 acerca de la demanda, producción, importación y consumo aparente. Donde las estadísticas corresponden al periodo de 2011-2020.

BUTADIENO

NCM: 2901.24.10

AÑO	PROD UCCI ÓN (t)	IMPOR TACIO N (t)	EXPORT ACIÓ N (t)	CONSU MO APARE NTE (t)	VALOR COMERCIO EXTERIOR (U\$/t)	
					IMPO RTAC IÓN (CIF)	EXPORT ACIÓ N (FOB)
2011	-	30.980	-	30.980	2.903	-
2012	-	30.652	-	30.652	2.365	-
2013	-	32.008	-	32.008	1.499	-
2014	-	24.070	-	24.070	1.442	-
2015	-	21.868	-	21.868	832	-
2016	-	18.380	-	18.380	852	-
2017	-	21.357	-	21.357	1.405	-
2018	-	16.534	-	16.534	1.420	-
2019	-	16.560	-	16.560	956	-
2020	-	23.382	-	23.382	715	-

Tabla n°1: Datos anuales de Butadieno (IPA, 2021).

El consumo aparente es una forma de medir la cantidad de producto del que dispone un país para su consumo, donde para calcularlo se suma la producción nacional más importación y se resta las exportaciones.

$$CA = P + I - E \quad 2.1$$

Dónde:

CA= Consumo Aparente

P= Producción

I=Importación

E=Exportación

Como se puede observar no existe la producción de Butadieno en Argentina como así tampoco se exporta, por lo tanto, el consumo aparente es igual a la importación.

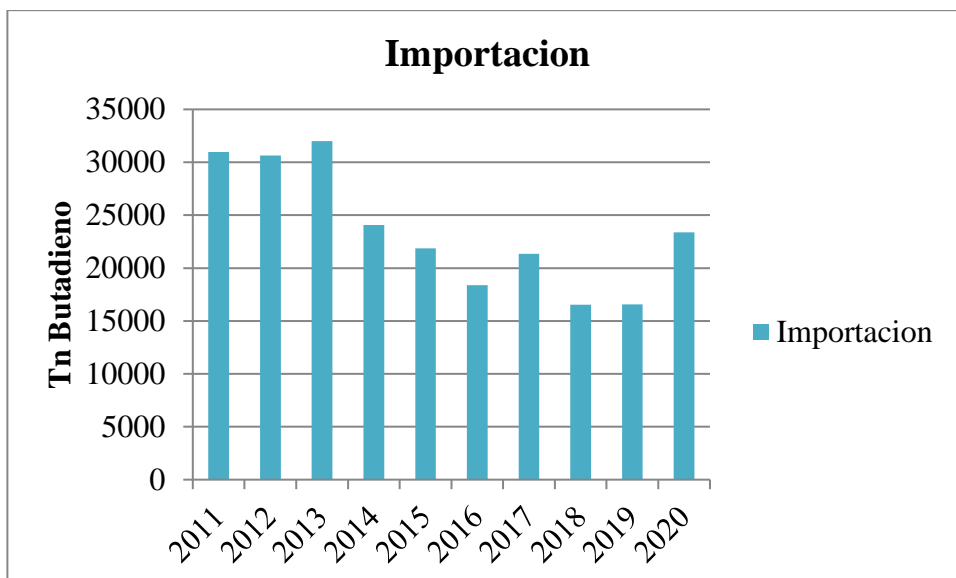


Figura n°2: Importación anual de Butadieno (IPA, 2021).

También se puede observar que la importación ha ido variando a lo largo de los años, aumentando o disminuyendo su valor, pero por el momento se observa una tendencia que oscila entre las 20000 y las 25000 toneladas por año demandadas. Esta tendencia, se apreciará de una manera más legible a través de la siguiente figura.

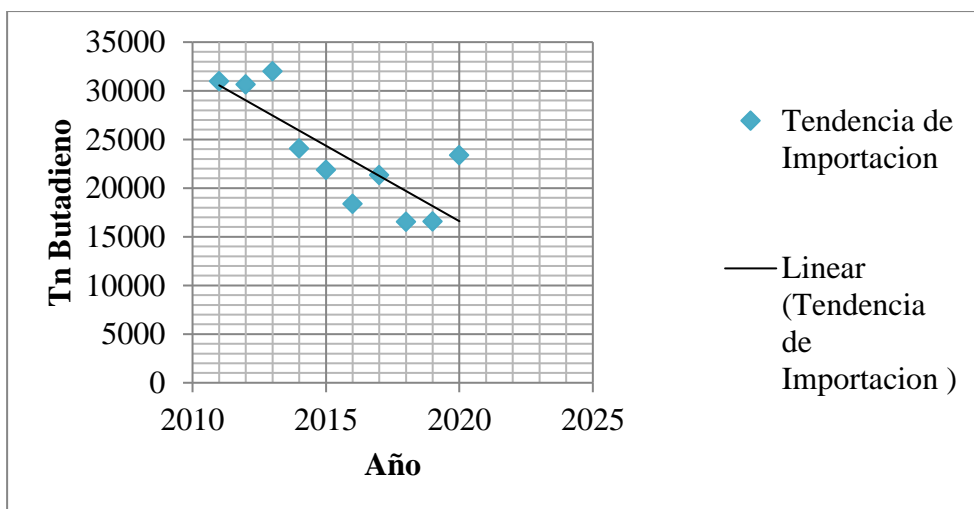


Figura n°3: Tendencia de butadieno (IPA, 2021).

Si solo se toma como referencia la importación del producto que se piensa ofrecer, las proyecciones a futuro se deben a un carácter incierto, pero no es el único punto de análisis. También se tiene en cuenta, según la información que publico el Ministerio de Producción de Argentina la obtención de gas natural en la Provincia del Neuquén hasta el año 2019 fue de forma ascendente, generando un impacto positivo en este proyecto. Esto trae como consecuencia, una mayor producción de

líquidos del gas natural y significa una mayor cantidad de butano producido. Otro punto a favor que incentiva al desarrollo de este proyecto es el estudio realizado y plasmado en un informe, de la corporación Market Desk en diciembre del año 2020, donde evalúa el crecimiento durante el periodo de 2020 a 2026. El estudio ofrece una revisión a lo largo de todo el mundo, dividido en sectores geográficos con la industria del butadieno, definiciones de mercado, estructuras de costos, avance en estrategias y planes, que en conclusión presenta un crecimiento dentro del mercado. En él, se muestran como jugadores claves, empresas de producción como lo son ExxonMobil, Braskem, TPC Group, Shell Chemical, entre otras.

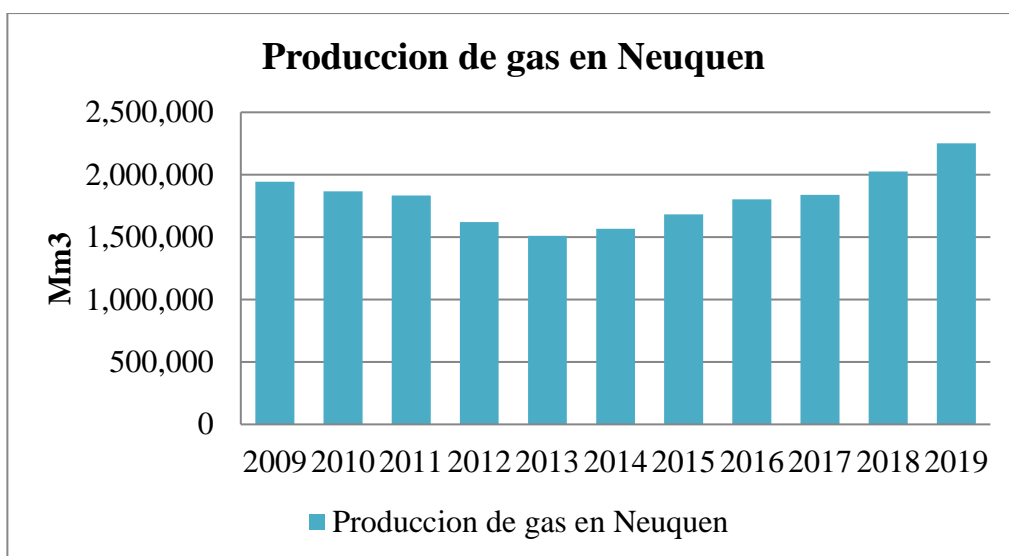


Figura n°4: Producción de Gas natural en Neuquén (estadisticas.produccion.gob.ar).

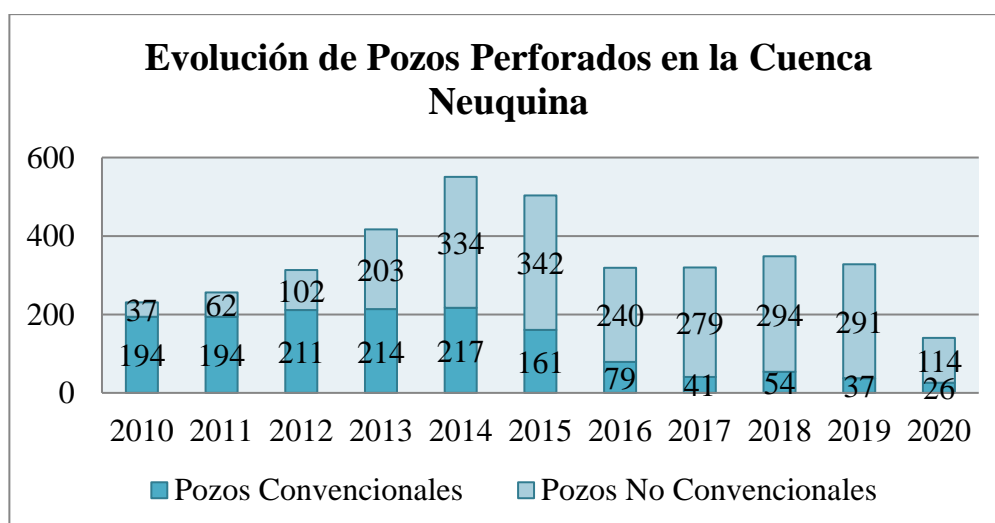


Figura n°5: Evolución de Pozos Perforados en Neuquén (Subsecretaria de Energía, Minería e Hidrocarburos, 2021).

Como se observa en la figura N° 4 en los últimos años se ha notado una producción estable y con un número de pozos considerable, cabe aclarar, la particularidad de la caída en la cantidad de perforaciones del año 2020 debido a la pandemia mundial del Covid-19, la cual no opaca, las ambiciosas proyecciones a futuro, para la producción en la zona, ya que, de acuerdo a estudios realizados por el Instituto Argentino de la Energía la producción de gas natural ira incrementado a lo largo de los años, generando el mismo impacto anteriormente dicho, siendo a su vez, respaldado por la ley N° 24.076 “Marco Regulatorio de la Actividad. Privatización del Gas del Estado Sociedad del Estado. Transición. Disposiciones Transitorias y Complementarias” que tiene como objeto abastecer la totalidad de la demanda Nacional priorizando el mercado interno, considerando para la exportación la producción remanente. Esta ley garantizara que no exista una caída de producción de gas debido a factores externos a la industria (Climáticos, Políticos, etc.).

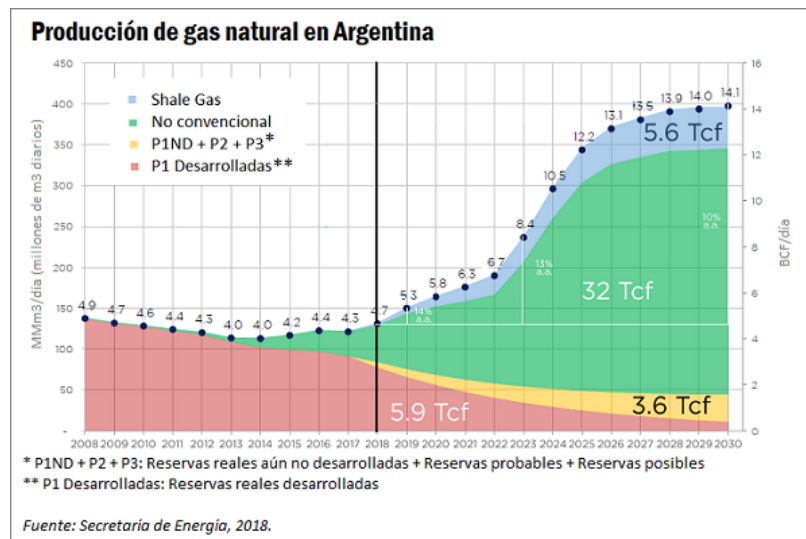


Figura n°6: Producción de Gas natural periodo 2008-2030 (Secretaria de energía, 2018).

2.2 Mercado Proveedor

Este mercado toma importancia, de manera crítica en muchos proyectos, debido a que estos pueden llegar a depender demasiado de la calidad, el costo, la oportunidad de recepción y la cantidad de la materia prima necesaria para realizar el proceso. En el caso de la planta propuesta, como se mencionó en la introducción, se cuenta con una ubicación óptima para la obtención del principal reactivo requerido, que es el n-butano en este caso, debido a que se encuentra en un sector que dispone de múltiples opciones de plantas de tratamiento de gas, el cual será

seleccionado luego, de un exhaustivo análisis (distancia, módulo de producción, etc.).

A continuación, se exhibirá un mapa de la provincia de Neuquén, que brinda las diferentes cuencas hidrocarburífera, donde se destacan los sectores principales de explotación.

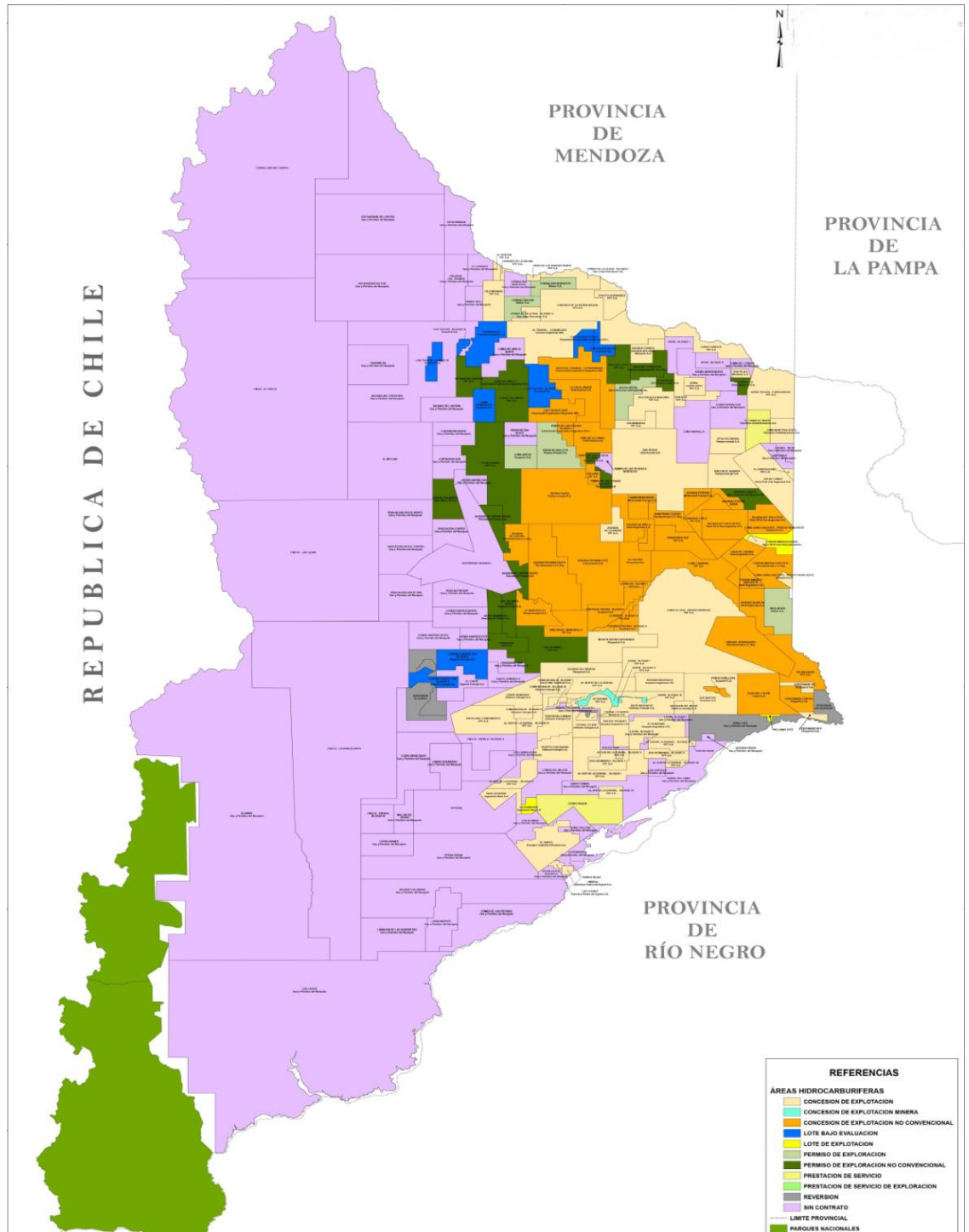


Figura n°7: Sectores de explotación provincia del Neuquén (Subsecretaría de energía, minería e hidrocarburos, 2021).

Las empresas que se encargan del tratamiento de gas natural, y que fueron seleccionadas como potenciales proveedores del proyecto, son:

- YPF S.A. (Loma Negra)
- Capex S.A.
- PlusPetrol
- YPF S.A. (El portón)

En la siguiente tabla, se detallan los datos de producción mensual más recientes, que constan del mes de febrero del año 2021, consultados en el Ministerio de Energía, Minería e Hidrocarburos de la Nación. Se determinó una distancia estimativa, ya que, la ubicación exacta de la planta se definirá una vez realizado el layout de la misma.

Operadora	Ubicación (NQN)	Producción (Ton/Mes)	Distancia Estimativa (Km)
YPF S.A.	Cutral-Cò	1350	1,9
Capex S.A	Agua del Cajón	708,51	90,8
PlusPetrol S.A	Centenario	844,00	104
YPF S.A	El Portón	1257,00	377

Tabla n°2: Datos de principales proveedores (Fuente propia, 2021).

La operadora seleccionada para comercializar el envío de n-butano del proyecto es YPF, la planta de fraccionamiento de gas de loma negra.

Los motivos de la elección se deben, a que, ofrecen un caudal importante, son los suficientemente convenientes para abastecer el módulo de producción estimado y constan de una distancia sustancialmente menor a las otras 3 operadoras en cuestión, la distancia es tan conveniente, que se maneja la idea de realizar una inversión de un circuito de cañerías para el traslado del reactivo, lo cual, beneficiaría trascendentalmente los costos de este ítem.

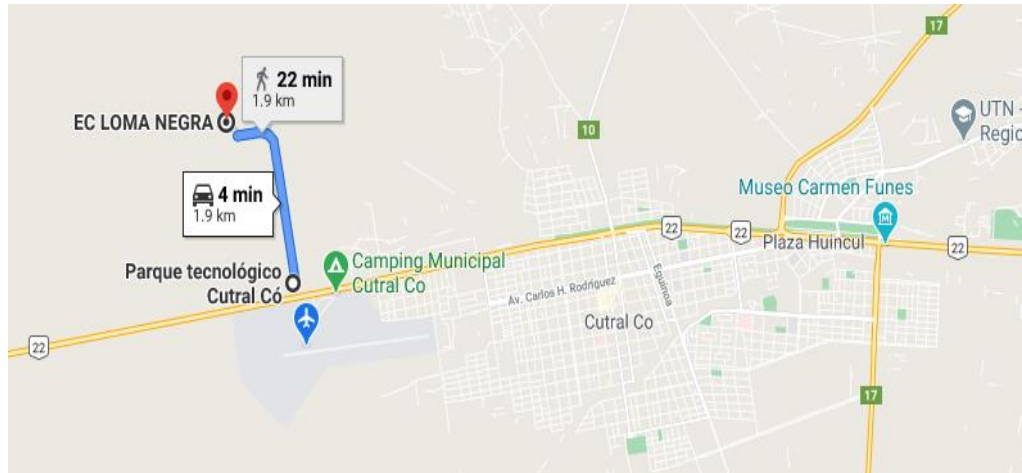


Figura n°8: Mapa de distancia estimativa con empresa operadora (Google Maps, 2021).

Otro análisis que se tuvo en cuenta a la hora de la elección, es el rápido acceso que se tendrá a la Ruta Nacional n°22, lo cual tendrá suma importancia en la comercialización del producto final.

2.3 Mercado Competidor

El mercado competidor directo, se comprende a las empresas que elaboran y venden productos similares a los ofrecidos por el proceso elegido. Al igual que el mercado proveedor toma mucha importancia para considerar la preparación y evaluación de un proyecto. Conocer del competidor la mayor cantidad de información (costos de créditos ofrecidos, descuentos por volúmenes, canales de distribución empleados para colocar sus productos en el mercado, etc.) permite elaborar estrategias que sean positivas para el proyecto.

La producción de butadieno en el país aún no es empleada, por lo que, iniciar con el plan de producción, permitirá una introducción asequible en el mercado en este aspecto. Sin embargo, cabe aclarar que las importaciones de este producto químico en el país están a cargo de dos grandes empresas con las que se competirá de manera directa.

Estas empresas petroquímicas son:

- Braskem (Brasil)
- Pemex (México)

El principal proveedor nacional es Braskem, esta empresa es la principal productora petroquímica en Latinoamérica y octava a nivel mundial. Esta compañía está firmemente asentada en Sudamérica, ya que, cuenta con firmas de

comercialización en Chile, Colombia y México, con vista a futuro de establecerse también en Perú.



Figura n°9: Mapa de Sucursales de Braskem (Fuente: Braskem).

Dicha empresa, además, de ofrecer productos de petroquímica básica (etileno, propileno, butadieno, benceno, etc.) también brinda productos de mayor valor agregado, como lo son, resinas termoplásticas y conversores plásticos.

En el caso de Pemex, se lo toma como un competidor teniendo en cuenta la visión de una futura expansión de nuestra producción, ya que, esta empresa se encuentra principalmente asentada en México y Centroamérica. Sin embargo, puede existir la posibilidad que la empresa pueda ampliar su frontera de oferta abarcando Sudamérica y llegando a ser un competidor más directo de lo estimado.

2.4 Mercado Distribuidor

Este ítem del rubro hace referencia a los agentes del mercado que permiten el traslado del producto ofrecido por el productor a los consumidores. Este estudio

requiere de un menor número de variables, pero no por eso, deja de ser importante, debido a que, influirá mucho en el valor con el que saldrá al mercado.

En el caso del proyecto se comenzara terciarizando este rubro teniendo como opción en la zona, las siguientes empresas:

- Tortoriello.
- Transchemical.
- Transol.
- Arioni.
- Laboratorios Quimicos.

2.5 Mercado Consumidor

El desarrollo de este ítem es el más importante dentro de todos los anteriormente mencionados, debido a que, mediante el comportamiento del consumidor se podrá establecer la cantidad demandada, como así también el precio del producto. Por lo tanto, la viabilidad del proyecto reside principalmente de este estudio.

La idea principal del proyecto se enfoca más que nada en abastecer en gran porcentaje el consumo de butadieno a nivel nacional.

Si bien el producto ofrecido tiene muchos usos en cuanto a producción de polímeros a nivel mundial, la producción nacional se basa en la industria del caucho (En mayor porcentaje), utilizando el butadieno para producir distintos tipos de copolímeros combinándolos con otros productos químicos (Estireno y Acrilonitrilo principalmente) y en menor porcentaje, para la producción de látex y profilácticos.

A continuación se detallara una tabla, mencionando a los potenciales compradores del butadieno en el país y su distancia a una futura ubicación de la planta.

Operadora	Ubicación	Distancia Estimativa (Km)
Alergom S.R.L.	Buenos Aires	1274
Buco S.A.	Buenos Aires	1252
Buhl S.A.	Buenos Aires	1257
Caufit	Buenos Aires	1271
Causer S.A.	Santa Fe	1292
Elastomeros S.R.L.	Córdoba	1231
Kopelco S.A.	Buenos Aires	1269
Simko	Buenos Aires	1260

Tabla n°3: Datos de principales consumidores (Fuente propia, 2021).

Como se puede observar en la tabla recién ilustrada, las distancias estimativas desde la ubicación de la planta hasta los potenciales compradores, denota en un elevado costo a la hora de hacer llegar a cada una de las empresas el producto final ofrecido. Sin embargo, es un costo asumible debido al ahorro concedido en la elección del proveedor, generando así, un balance positivo para continuar adelante con el proyecto.

2.5.1 Subproducto

El flujo de alimentación abastecido cuenta con una mezcla de isómeros de butano (iso-butano y n-butano), del cual, el de importancia para el proceso es el n-butano, por lo tanto, es necesario la separación, del iso-butano del proceso. Dicha separación, se da en la etapa previa a la alimentación del primer reactor, donde se ingresa la corriente en una columna de separación. Una vez separado, se poseen dos opciones para aplicar:

- La primera opción es transformar el iso-butano en n-butano, a través, de un reactor de isomerización, que se incorporara al proceso en la alimentación al primer reactor de deshidrogenación.
- La segunda opción, consta de utilizar el iso-butano para su comercialización como materia prima para el proceso de alkylación, que se realiza en la Refinería de Lujan de Cuyo (Mendoza) bajo la empresa operadora de YPF.

Evaluando las dos opciones se puede observar que la primer opción, cuenta con una ventaja productiva, ya que, permite mejorar la eficiencia de producción, abasteciendo una mayor cantidad de n-butano, lo cual, derivaría en una mayor cantidad de butadieno producido, para la misma alimentación. Como punto negativo, se estima que el proceso de transformación cuenta con un sistema complejo de tres etapas de trabajo, las cuales, conllevarían un elevado costo de inversión inicial.

Por otro lado, la segunda opción es más eficiente y económica, a su vez, sería la opción seleccionada para este proyecto, debido a que, permite realizar un mejor balance económico en cuanto a inversión y producción, y además contribuye con las preocupaciones y necesidades ambientales, ofreciendo un producto importante en la mejora de mezclas combustibles, forzando la disminución de productos formados a partir de reactivos aromáticos, los cuales son nocivos para el medio ambiente en su combustión.

2.5.2 Empresas Compradoras

Como se mencionó en la tabla n°3, se detallara los campos de producción que abarca cada empresa, las cuales, utilizaran el producto ofrecido como materia prima en su proceso de elaboración.

- Alergom S.R.L.: Productora de piezas moldeadas, inyectadas, trafiladas y/o troqueladas. Ofrece una amplia gama de piezas originales y repuestos para electrodomésticos y línea blanca. (Bombeadores, Refrigeración, Sifones automáticos, etc.).
- Buco S.A.: Esta empresa presenta uno de los mayores abanicos de campo de aplicación para el caucho, ya que, ofrece productos con relación a la industria Agrícola (Cubiertas, ruedas, tubos, telescopicos, etc.), Automotriz(Diafragmas, fuelles de suspensión, cubetas), Mangueras(Hidráulicas, multipropósito, PVC), Gas y Petróleo(Anillos de empaquetadura, gomas para gaveta de bop, copas, limpiador, sello para bop, etc.), y Vías Férreas(Sistemas de fijación, anti vibración y aislación).
- Buhl S.A.: Productora centrada en comercializar materiales para el ámbito sexual (preservativos, juguetes de silicona, etc.).

Es la principal distribuidora de profilácticos de la marca PRIME del país.

- **Caufit:** Es una empresa que ofrece diversos productos químicos, ya sea de tipo básico y algunos bienes químicos de elaboración más complejas (Colorantes, Desmoldantes de base acuosa, Resinas, etc.). Entre ellos, una amplia gama de cauchos en donde el butadieno cumple un rol fundamental.
- **Causer S.A.:** Es una empresa dedicada al diseño, producción, comercialización y distribución de compuestos de caucho. Entre sus productos ofrecidos, se encuentran, correas y mangueras para automotores y máquinas agrícolas, burletes, cubiertas para todo tipo de uso, anillos O-Ring.
- **Elastomeros S.R.L.:** Productora de artículos de caucho para el proceso industrial (Burletes, juntas, mangueras, etc.).
- **Kopelco S.A.:** Es una empresa que fabrica, importa, exporta, comercializa y distribuye una gran variedad de productos que van desde el cuidado de la salud y los primeros auxilios, hasta la industria textil y la diversión.
- **Simko:** Productora que ofrece una amplia variedad de cauchos, desde cauchos naturales hasta cauchos sintéticos (Butadieno Estireno, Butadieno Acrilo Nitrilo, Etileno-Propileno-Terpolimero, Caucho cis-Polibutadieno, Acrilonitrilo).

2.6 Módulo de producción

En este apartado, se procede a englobar, luego de un análisis de los ítems previamente mencionados, definiendo un flujo productivo de 8.033 Tn/año de butadieno, abasteciendo el 34% de la demanda nacional, con una visión a largo plazo de aumentar el suministro hasta el 50%, debido a las oportunidades que nos ofrece el mercado proveedor.

2.7 Bibliografía

(2021). *Informe Enero 2021*. Neuquen: Subsecretaria de Energía, Minería e Hidrocarburos.

Braskem. (s.f.). Obtenido de <https://www.braskem.com/Principal/home-es>

- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principios de administracion de operaciones* . Pearson Educacion .
- Instituto Petroquimico Argentino . (2020). *Informacion Estadistica de la Industria Petroquimica y Quimica de Argentina*. Buenos Aires.
- ITC. (s.f.). *Trade Map*. Recuperado el 12 de Abril de 2021, de https://www.trademap.org/Product_SelProductCountry.aspx?nvpm=3%7c032%7c%7c%7c%7c40%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1%7c1%7c1%7c1%7c1
- Kompass. (s.f.). *Empresas-Productos de caucho-Argentina*. Recuperado el 1 de Abril de 2021, de <https://ar.kompass.com/a/productos-de-caucho/18/#:~:text=%20Empresas%20%20-%20%20Productos%20de%20caucho,19%20CAUSER%20S.A.%2020%20CIRUBON%20S.A.%20More%20>
- Ministerio de Energia y Recursos Naturales. (2021). *Areas Hidrocarburiferas-Provincia del Neuquen*. Neuquen.
- Ministerio de Produccion y Trabajo. (s.f.). *Estadisticas Productivas*. Recuperado el 20 de Abril de 2021, de <http://estadisticas.produccion.gob.ar/>
- Pemex. (s.f.). Obtenido de <https://www.pemex.com/Paginas/default.aspx>
- Sapag Chain, N., & Sapag Chain , R. (2008). *Preparacion y evaluacion de proyectos* . Bogota: McGraw-Hill.

3. Descripción del proceso

En este rubro, se buscara profundizar, sobre el proceso con el que se lograra la producción de butadieno. En primera instancia, se realizara un breve repaso sobre las tecnologías disponibles para dicha producción, y se justificara la elección de la

misma. Por otro lado, se detallara a fondo, la materia prima a utilizar, así como, los productos y subproductos obtenidos, por la tecnología seleccionada.

También se buscara, mostrar en detalle, cada etapa del proceso, para su comprensión y posterior estudio a lo largo del presente proyecto.

3.1 Tecnologías para la obtención del producto

3.1.1 Craqueo al vapor (Haldor Topsoe Technology)

En este proceso, la herramienta principal para la obtención de butadieno es el Cracking catalítico y térmico en fase vapor de hidrocarburos, donde se trabaja con parafinas tratadas en una planta de fraccionamiento de gas, sometiéndolas a altas temperaturas.

El proceso de cracking consta de la ruptura de enlace y necesitan una cantidad de energía de niveles demasiado elevados, que en este tipo de procesos, se logra con la adición de temperatura, provocando una deshidrogenación de las parafinas por radicales libres para dar como productos olefinas. Cabe aclarar, que la reacción forzada es altamente endotérmica, lo cual, es utilizado para obtener una mejor eficiencia con el agregado de temperatura y la disminución de las presiones de trabajo.

Se adiciona vapor de agua como diluyente, con el fin de reducir los casos de contacto de los hidrocarburos con las paredes de los tubos del reactor.

En el horno se produce el cooking catalítico, que debe darse en superficies metálicas limpias donde, el níquel como otros metales de transición son utilizados para formar las aleaciones de los tubos radiantes, para catalizar la deshidrogenación, pero a su vez, también acelera la formación de coque.

En el horno y la línea de transferencia, se produce un fenómeno de coquificación, el cual, es un problema muy significativo, dentro de este proceso. Este reduce el rendimiento del producto, aumenta el consumo energético, y acorta la vida útil de los tubos del reactor. Se debe en muchos casos, a la materia prima, la temperatura y la dilución de vapor.

Comúnmente se contrarresta este fenómeno, con la adición de anti incrustantes.

La temperatura de salida del horno, se aproxima a los 800° C, donde la corriente de salida se enfría en un intercambiador de calor parcialmente y luego por contacto directo en una torre quench con agua donde el vapor se condensa y se recicla al horno de pirolisis. Luego el gas craqueado es tratado, con el fin, de eliminarle los

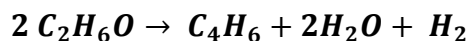
gases ácidos, el hidrogeno y el metano que separan de los productos de pirolisis en la dementanizadora.

3.1.2 Síntesis a partir de Etanol

Esta tecnología es implementada en regiones del mundo como América del Sur, Europa Oriental, China, India, produciendo butadieno a partir de un alcohol muy utilizado comercialmente como lo es el etanol. Este procedimiento cuenta con la ventaja de utilizar menores costes de capital, lo que beneficia que sea rentable para plantas de baja capacidad, ya que, a gran escala no llega a ser competitivo con el método anteriormente descrito porque no es rentable a la hora de producir altos volúmenes. La obtención del butadieno puede darse por dos procesos:

- En el proceso de un solo paso, se trabaja el etanol a una temperatura entre 400-450°C para convertirlo en butadieno, hidrogeno y agua, utilizando un catalizador del tipo oxido-metálico que puede variar según la conveniencia del lugar. Esta técnica se le atribuye al ingeniero soviético Sergei Lebedev.

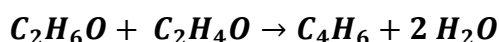
A continuación se detallara la ecuación de formación de esta síntesis:



Durante la Segunda Guerra Mundial, la unión soviética se vio fuertemente beneficiada por este procedimiento, ya que, fue la base de la industria del caucho sintético de dicho país, esta técnica continuo hasta fines de 1970 y poco a poco fue perdiendo importancia hasta que en el año 2017 se dejó de utilizar este procedimiento.

- El otro proceso para la obtención del butadieno utilizando como materia prima al etanol se da en dos etapas, donde se oxida el etanol a acetaldehído que reaccionara con etanol agregado con un catalizador de sílice poroso promovido por tántalo a una temperatura de entre 325-350°C. Esta tecnología fue patentada por el Ruso Ivan Ostromislensky, cuando residió en Estados Unidos luego de su migración del país soviético. Esta técnica fue una de las tres que utilizo el país americano para producir caucho gubernamental durante la Segunda Guerra Mundial.

La ecuación para el desarrollo de esta técnica es la siguiente:



3.1.3 Deshidrogenación oxidativa a partir de n-buteno

Esta técnica de producción de butadieno por deshidrogenación catalítica de butenos normales fue muy utilizada en el programa de cauchos sintéticos de los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial, debido a que era un proceso mucho más económico que el del alcohol o n-butano, la razón por la cual no tuvo la relevancia que corresponde fue porque en esa época competía por el abastecimiento de gasolinas de aviación que demandaba de las moléculas de buteno para el país mencionado.

En el 1960 una empresa de Houston llamada “Petro-Tex” patentó un proceso similar de producción de butadieno a partir de butenos normales mediante la deshidrogenación por oxidación utilizando un catalizador patentado.

Actualmente no se conoce si se practica esta tecnología comercialmente.

Interiorizando en el proceso, el 1-buteno es un compuesto mucho más reactivo que el n-butano, lo cual brindara condiciones menos severas, ya que, se ingresa una corriente de butenos mezclada con aire y vapor atravesando un lecho de catalizador a baja presión y aproximadamente a una temperatura entre 500-600°C.

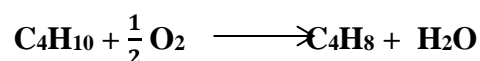
3.1.4 Deshidrogenación catalítica de n-butano y n-buteno (Método Catadiene)

El proceso consiste en un sistema de deshidrogenación en dos etapas, la primera, es la deshidrogenación oxidativa de los n-butanos para obtener n-butenos y la segunda, es la deshidrogenación oxidativa de los n-butenos para producir butadieno. La razón principal por la cual se realizan estas dos etapas, es para obtener el n-buteno, el cual es un compuesto mucho más reactivo y a su vez, permite trabajar a condiciones de operación menos severas.

Se alimenta la corriente de n-butano a la zona de deshidrogenación encargada de conseguir el butadieno. La deshidrogenación no oxidativa de n-butano consiste en una reacción endotérmica trabajando a un rango de temperatura de 600-700°C y una presión de 0.5-0.8 bar.

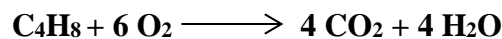
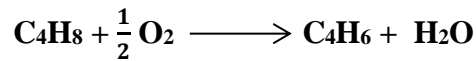
Para realizar la primera reacción es necesaria la adición de oxígeno que se alimentara mediante una corriente previamente tratada

La reacción que se da en el primer reactor es la siguiente:



La corriente obtenida de n-butenos en el primer reactor, es alimentada al segundo reactor, en este reactor se necesita la alimentación de oxígeno para poder llevar a cabo la deshidrogenación oxidativa del n-buteno (1-buteno). Al adicionar oxígeno, mejora la conversión y selectividad de la deshidrogenación de n-buteno eliminando el hidrogeno.

Las reacciones en este reactor son las siguientes



Donde la reacción principal es la formación del butadieno, mientras que la secundaria es la formación del dióxido de carbono, la cual es una reacción indeseada.

La corriente que sale de este reactor, la cual está compuesta por butadieno, n-butano no convertido y otros co-productos, es introducida en un tren de separación que consta de una columna de destilación extractiva con un solvente. En esta torre, por cabeza sale el n-butano sin reaccionar y por fondo el butadieno.

3.2 Elección de la tecnología a implementar en el proyecto

La tecnología elegida para llevar a cabo este proyecto es el Método Catadiene, donde los derechos de su licencia son exclusivos de la empresa norteamericana Lummus Technology.

La elección de esta tecnología trae aparejada numerosas ventajas como lo son:

- Alta conversión de n-butanos y selectividad a n-butadieno: menor inversión y costo operativo.
- Menor consumo de materia prima.
- No se requiere de un pre tratamiento de la alimentación de materia prima.
- Tiempo más rápido para iniciar y fabricar productos.

Otro motivo por el cual se seleccionó dicha tecnología es debido a que es moderna a diferencia de las técnicas restantes y que la materia prima se considera más estable que en el caso de trabajar del n-buteno, que cabe destacar, se estará produciendo dentro del proceso elegido.

El fácil acceso a la materia prima de este método es un factor determinante a la hora de la elección, ya que, abundan alternativas en la ubicación del proyecto, como se mencionó en el exhaustivo análisis de mercado.

3.3 Materia prima del proceso

3.3.1 n-Butano

Se trata de un hidrocarburo saturado, parafínico o alifático, inflamable, gaseoso que se licua a presión atmosférica a $-0,5^{\circ}\text{C}$.

Su composición molecular se da por 4 átomos de carbono y por 10 de hidrogeno, determinando así, su fórmula química C_4H_{10} , espacialmente su cadena carbonada se encuentra de manera lineal, diferenciándose, de su isómero, el iso-butano o metilpropano, con quien es común encontrarlo debido a que cuentan con propiedades físicas y químicas similares.

El butano comercial es un gas licuado, que se obtiene por destilación del petróleo, su composición generalmente ronda entre el 60% de n-butano, 30% de iso-butano, 9% propano y 1% de etano. Para el caso del presente proyecto, la cromatografía brindada por la empresa proveedora, detalla que la corriente de alimentación del proceso constara con una composición de 65% n-butano, un 34,9% de iso-butano y un 0,1% de trazas distribuidas entre propano, n-pentano, que a fines prácticos del proyecto serán desestimados, para el cálculo en el balance de materia del proceso.

Propiedades:

- Un gas de tipo incoloro
- Una sustancia inodora en su estado puro, por lo que en los procesos, para evitar cualquier tipo de accidente por fuga, para su detección se le añade metil percaptano brindándole un olor característico y distinguible.
- Densidad relativa de vapor: 2.1
- Densidad relativa en estado líquido (a 16°C): $0,582\text{ gr/cm}^3$
- Solubilidad en agua: 3,25 ml/100 ml a 20°C
- Punto de ebullición: -1°C
- Punto de fusión: -138°C
- Masa molar: 58 gr/mol
- Poder calorífico superior: 49608 kJ/kg aproximadamente.
- Entalpia de combustión: -2880 kJ/mol

3.3.2 Oxígeno

Es un elemento químico representado en la tabla periódica por el símbolo O y con un número atómico de 8, esta sustancia constituye una gran parte de la atmosfera y resulta necesaria para sostener la vida terrestre.

Esto se debe a que constituye la mayor parte de la masa del agua, por lo que es el componente mayoritario de la masa de los seres vivos. Se encuentra también presente en las moléculas más importantes para el funcionamiento de los mismos, como las proteínas, los ácidos nucleicos, los carbohidratos y los lípidos.

Propiedades:

- Gas de tipo incoloro
- Densidad : 1,429 kg/m³
- Punto de ebullición: -183°C
- Punto de fusión:-223°C
- Entalpia de combustión: 0,4384 kJ/mol
- Conductividad térmica: 0,02674 W/K. M

El 55% de la producción mundial de oxígeno se consume en la producción de acero, mientras que el 25 % se dedica a la industria química y el 20% restante se utiliza en gran parte para aplicaciones medicinales, como oxidante en combustible de cohetes y en tratamiento de aguas.

Como ya se mencionó su presencia en la atmosfera, se encuentra en una mezcla de gases en proporciones variables que dan forma al aire, cuya composición es del 21% Oxígeno, 78% Nitrógeno, 0,93% Argón, 0,04 Dióxido de carbono y trazas de otros gases.

Cabe destacar que se le brinda importancia al aire y su composición, porque será de esta forma, con la cual se abastecerá el oxígeno al proceso del presente proyecto. La selección de este tipo de alimentación es debido a que, el costo de comercialización del oxígeno en estado puro, es elevado para los caudales requeridos, y a su vez, no produce rentabilidad buscar una elevada pureza de ingreso de dicha materia prima, cuando introduciendo aire al proceso se llega a lograr resultados similares.

3.4 Producto del proceso

3.4.1 Butadieno (1,3-butadieno)

Este producto también es conocido como 1,3-butadieno, conforma el hidrocarburo C4 más importante económicamente. Es muy importante en la industria petroquímica, como así también, es un compuesto muy útil en la síntesis de otros materiales debido a su sencilla estructura química, bajo peso molecular y alta reactividad química.

3.4.1.1 Riesgo a la exposición y manipulación

La exposición de este producto se basa principalmente por la inhalación del aire contaminado en un ambiente donde se encuentre presente. Esto puede conllevar, a sufrir alteraciones del sistema nervioso e irritación de los ojos, la nariz y la garganta.

La cantidad de butadieno que ingresa al cuerpo depende directamente del tiempo de exposición y de la cantidad presente en el medio ambiente. Generalmente es expulsado por medio de la orina y del aire que se exhala.

Según estudios realizados por diferentes entidades encargadas de la salud y seguridad laboral, aquellos trabajadores expuestos a dicho producto pueden tener un riesgo más alto al desarrollo de una enfermedad oncológica (Principalmente de estómago, sangre o el sistema linfático).

La EPA (U.S. Environmental Protection Agency) demanda que se le informe en casos de derrames al medio ambiente que contengan como mínimo una libra de 1,3-Butadieno.

A la hora de hablar de su manipulación se deberán tener las siguientes consideraciones:

- Es muy volátil cuando entra en contacto con el aire cuando se escapa durante su producción, uso, almacenamiento, transporte o desecho.
- El tiempo de degradación ronda alrededor de las seis horas, consumiéndose a la mitad.
- Se evapora fuertemente del agua y suelo, por lo que, no existen métodos adecuados para medir las cantidades con precisión de 1,3-butadieno.

3.4.1.2 Propiedades Fisicoquímicas

Algunas de sus propiedades más importantes se muestran a continuación:

Propiedad	Valor
Estado físico	Gas, líquido a presión
Color	Incoloro

Olor	Aromático suave (Hidrocarburo)
Formula molecular	C ₄ H ₆
Peso molecular	54.09
Punto de ebullición normal (a 1 atm)	24.1°F
Punto de fusión	-164°F
Temperatura crítica	305.6°F
Presión crítica	620.3 psia
Volumen critico	0.064 ft ³ /lb
Factor crítico de compresibilidad	0.267
Densidad (Líquido) a 70°F	38.74 lb/ft ³
Presión de vapor a 70°F	36.1 psia
Capacidad de calor líquido a 70°F	0.541 BTU/lb*°F
Capacidad calorífica de gas ideal a 70°F	0.347 BTU/lb*°F
Solubilidad en agua a 70°F	735 ppm
Viscosidad (Líquido) a 70°F	9.90x10 ⁻⁵ lb/ft*s
Viscosidad (Vapor) a 70°F	5.65x10 ⁻⁶ lb/ft*s
Temperatura de autoignición	803.9°F

Tabla n°4: Propiedades Fisicoquímicas básicas del Butadieno (Repsol).

3.5 Etapas del proceso

En este apartado se procederá a realizar una descripción del proceso fraccionado en 4 etapas. Para una mejor visualización del proceso se adjuntara una imagen donde se encuentran diferenciadas las etapas mencionadas.

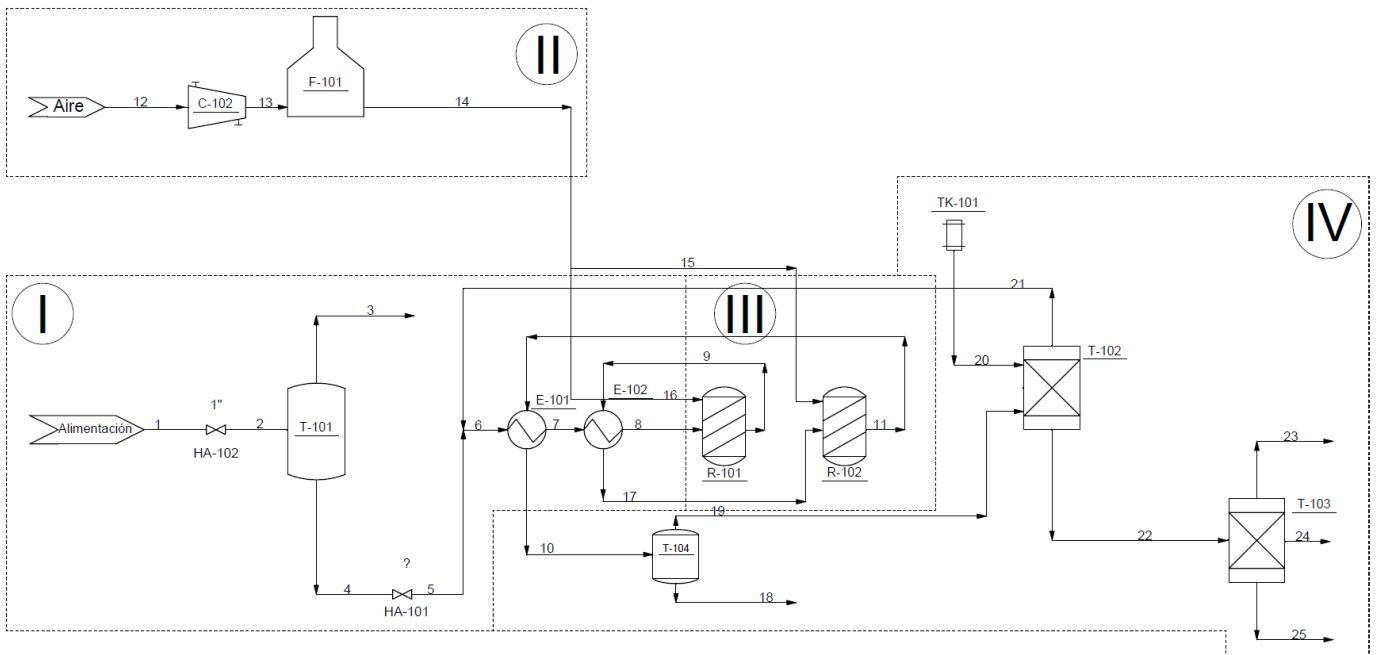


Fig.10: Descripción de las diferentes etapas (Fuente: Propia).

3.5.1 Etapa I

El proceso comienza a partir de la alimentación (1) que consta de una corriente compuesta por un 65% de n-butano y 35 % de iso-butano, que viene en fase líquida a una temperatura de 17 ° C y una presión de 15,72 bar. Se reduce su presión a través de una válvula (HA-102), alcanzando una presión de 8.5 bar, a la salida (2) ingresa a la torre de separadora de platos (T-101), que permite separar los compuestos iso-butano, por cabeza de torre (3) y n-butano por el fondo (4). Esta instancia, tiene un rol determinante para el resto del proceso, debido a que, la pureza del butadieno está íntimamente ligada a la eficiencia de esta separación.

Dicha corriente ingresa en la válvula de expansión (HA-101) para disminuir su presión dando (5), la cual se mezcla con (21), que corresponde a la corriente de reciclo, de allí (6), se eleva su temperatura en el intercambiador de calor (E-101) quedando (7), la cual nuevamente sufre un aumento de temperatura por medio del intercambiador (E-102). Allí queda en las condiciones óptimas de temperatura y presión, las cuales son 500°C y 3,2 bar respectivamente, quedando (8) lista para la siguiente etapa.

3.5.2 Etapa II

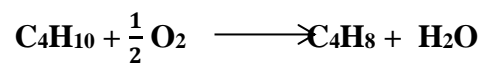
Esta etapa es la encargada de acondicionar el oxígeno que permitirá la reacción en ambos reactores del proceso. La corriente de oxígeno (12) se somete a la compresión en (C-102) dando (13) y se calienta en el horno (F-101), dejando a (14)

en una temperatura de 500 °C lista para ingresar al proceso. Dicha corriente se divide en el separador quedando las corrientes (16) y (15) que alimentaran al reactor (R-101) y (R-102) respectivamente.

3.5.3 Etapa III

Este punto, conlleva lo que será la etapa de mayor importancia, ya que, es donde suceden las reacciones con las que se formara el producto final a ofrecer.

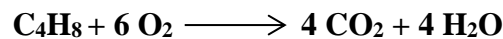
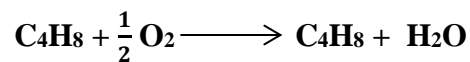
Ingresa (8) donde se combina con (16) que se trata de una corriente gaseosa de oxígeno proveniente de un separador de corrientes, la cual, fue calentada en el Horno (F-101). Las corrientes alimentan al reactor (R-101) donde se lleva a cabo la primera reacción:



Por una cuestión de eficiencia y de tiempos de residencia, se emplea la utilización de catalizadores, que cumplen un papel de soporte y a su vez, otros que se desarrollan como composición activa.

Los catalizadores de soporte, suelen ser óxidos resistentes al calor, o también pueden ser óxidos mixtos. En este caso, se implementará el uso de una mezcla de óxido de aluminio y de cromo.

Los productos obtenidos salen en (9) a una temperatura elevada de 500°C, que son aprovechadas en el intercambiador de calor (E-102) disminuyéndola en (17), la cual, con una corriente de oxígeno (15), que también proviene de TEE-101, se combina en el segundo mezclador (MIX-101). El caudal mezclado (17) alimenta al reactor (R-102) donde se obtendrá el producto deseado y otros compuestos respondiendo a las siguientes reacciones:



La reacción secundaria es indeseada para el proceso, pero no es posible evitarla.

Como se mencionó en el primer reactor, en el segundo, también será necesario el empleo de catalizadores, para este caso se utilizará un sistema de óxido Mo-Bi-Fe-O.

3.5.4 Etapa IV

De allí sale (11) que es aprovechada por su temperatura para alimentar (E-101) disminuyendo a (10) con las condiciones óptimas de 20°C para su posterior separación en un separador bifásico (T-104), donde se obtiene por fondo una corriente acuosa (18) con fracciones de hidrocarburos presentes en el proceso. La corriente gaseosa (19) sufre una caída de presión de 0,6 bar para favorecer el desprendimiento del agua.

La torre absorbidora (T-102) es alimentada por (19) y por (20) que se trata de una corriente de solvente denominado Acetonitrilo, en dicha torre se produce una absorción entre ambas corrientes obteniendo (21) y (22), donde la primera, se trata de gases que no tienen afinidad por el disolvente, sin embargo, contiene una apreciable cantidad de materia prima, como así de otros componentes no deseables. Por este motivo se recircula la corriente (21) nuevamente al proceso. Por otro lado, (22) consta de butadieno, disolvente y agua que no se logró separar en V-101, la cual, ingresa a la torre de destilación (T-103) para la purificación del producto y recuperación del disolvente. De dicha torre obtenemos por cabeza, a través de un separador trifásico (23) el producto con una pureza del 98% y (24) siendo una nueva corriente de agua en este caso pura. Por fondo de torre obtenemos (25) la cual contiene el disolvente puro listo para su reutilización.

3.6 Bibliografía

(2009). *1,3-Butadiene (Interim Acute Exposure Guideline Levels)*. United States Environmental Protection Agency.

- (2012). *Resumen de salud pública 1,3-Butadieno*. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Toxicología y Ciencias de la Salud.
- Quimicafacil.net*. (8 de Septiembre de 2020). Recuperado el 13 de Marzo de 2021, de <https://quimicafacil.net/compuesto-de-la-semana/13-butadieno/>
- Butadieno*. (s.f.). Recuperado el 28 de Abril de 2021, de <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/butadieno/index.cshtml>
- Franco, R. (2014). *Salud y Seguridad en el Trabajo*. Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social.
- Información técnica y comercial del butadieno*. (s.f.). Recuperado el 28 de Abril de 2021, de <https://www.cosmos.com.mx/wiki/butadieno-1-3-butadieno-bietileno-metiletilmetano-cxtr.html>
- Izquierdo Herrera, M. (2016). *Ingeniería básica de una planta de producción de butadieno a partir de la deshidrogenación de n-butanos*. Tesis, Universidad de Sevilla, Ingeniería Química y Ambiental, Sevilla.
- Pissani Sola, C. L. (2015). *Diseño de una planta de deshidrogenación catalítica para la producción de butadieno*. Tesis, Universidad Nacional de Callao, Callao.

4. Diagrama de Flujo del proceso

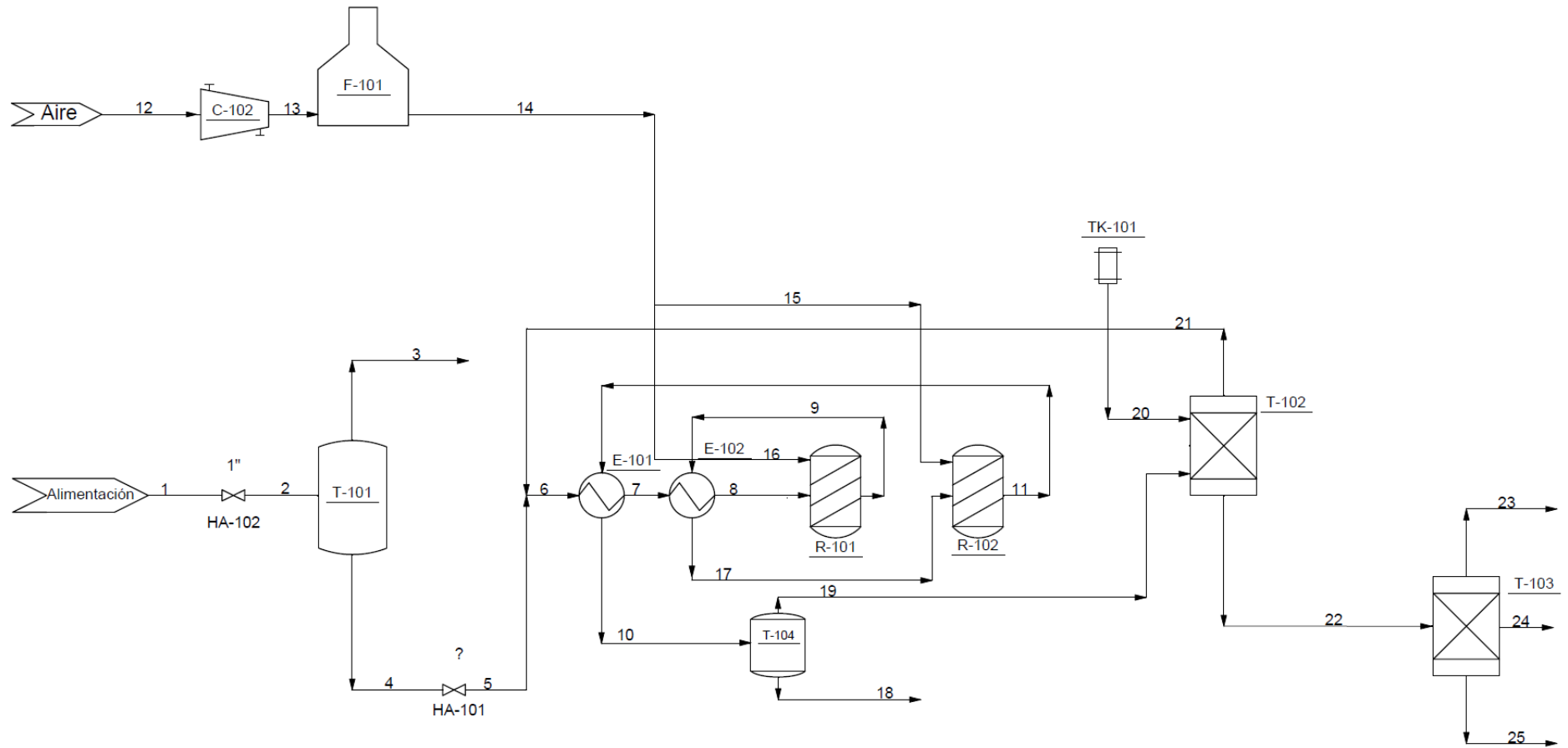


Fig.11: Diagrama de flujo (Fuente: Propia).

4.1 Codificación de equipos

Equipo	Codificación
Válvula de alimentación	H-102
Compresor de Aire	C-102
Intercambiador de calor	E-101
Intercambiador de calor	E-102
Horna de aire	F-101
Válvula de n-butano	HA-101
Reactor de deshidrogenación	R-101
Reactor de deshidrogenación	R-102
Columna de destilación principal	T-101
Columna de separación de solvente	T-102
Absorbedor de butadieno	T-103
Separador Bifásico	T-104
Tanque de almacenamiento de solvente	TK-102

Tabla n°5: Codificación de equipos.

4.2 Bibliografía

- Lummus Technology*. (s.f.). Recuperado el 28 de Mayo de 2021, de <https://www.lummustechnology.com/Process-Technologies/Petrochemicals/Butadiene-Butylene-Production/CATADIENE-n-Butane-Dehydrogenation-to-Butadiene>
- Pissani Sola, C. L. (2015). *Diseño de una planta de deshidrogenación catalítica para la producción de butadieno*. Tesis, Universidad Nacional de Callao, Callao.

5. Balance de Masa y Energía del Proceso

5.1 Simulación

Para la resolución del balance de masa y energía se utilizó el software “Aspen Hysys”, versión V9. Dicho simulador se eligió por su excelente aplicación a las condiciones de operación del presente proyecto.

Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para obtener una óptima simulación son:

- Se utilizó un paquete termodinámico basado en ecuaciones de estado (Peng-Robinson) en gran parte de la simulación, ya que, ajusta mejor con respecto a los datos brindados por las referencias bibliográficas. Únicamente en el absorbedor se utilizó un paquete termodinámico distinto, el cual, es un modelo de coeficiente de actividad (NRTL-RK) debido a la efectividad que se lograba en la separación.
- Para la simulación de la columna de destilación (T-104) se utilizó un separador trifásico como equipo de cabeza del mismo, para lograr la separación del agua y una mayor pureza del producto final.
- Para la simulación de los diferentes equipos se tuvo en cuenta las pérdidas de carga para así obtener resultados más cercanos a la realidad.
- La relación de alimentación de solvente al absorbedor (T-103) es $3,5 \frac{KgSolvente}{KgC_4}$.

5.1.1 Flowsheet

A continuación se adjunta el ambiente representativo obtenido del simulador en el cual, se basó el cálculo del proceso.

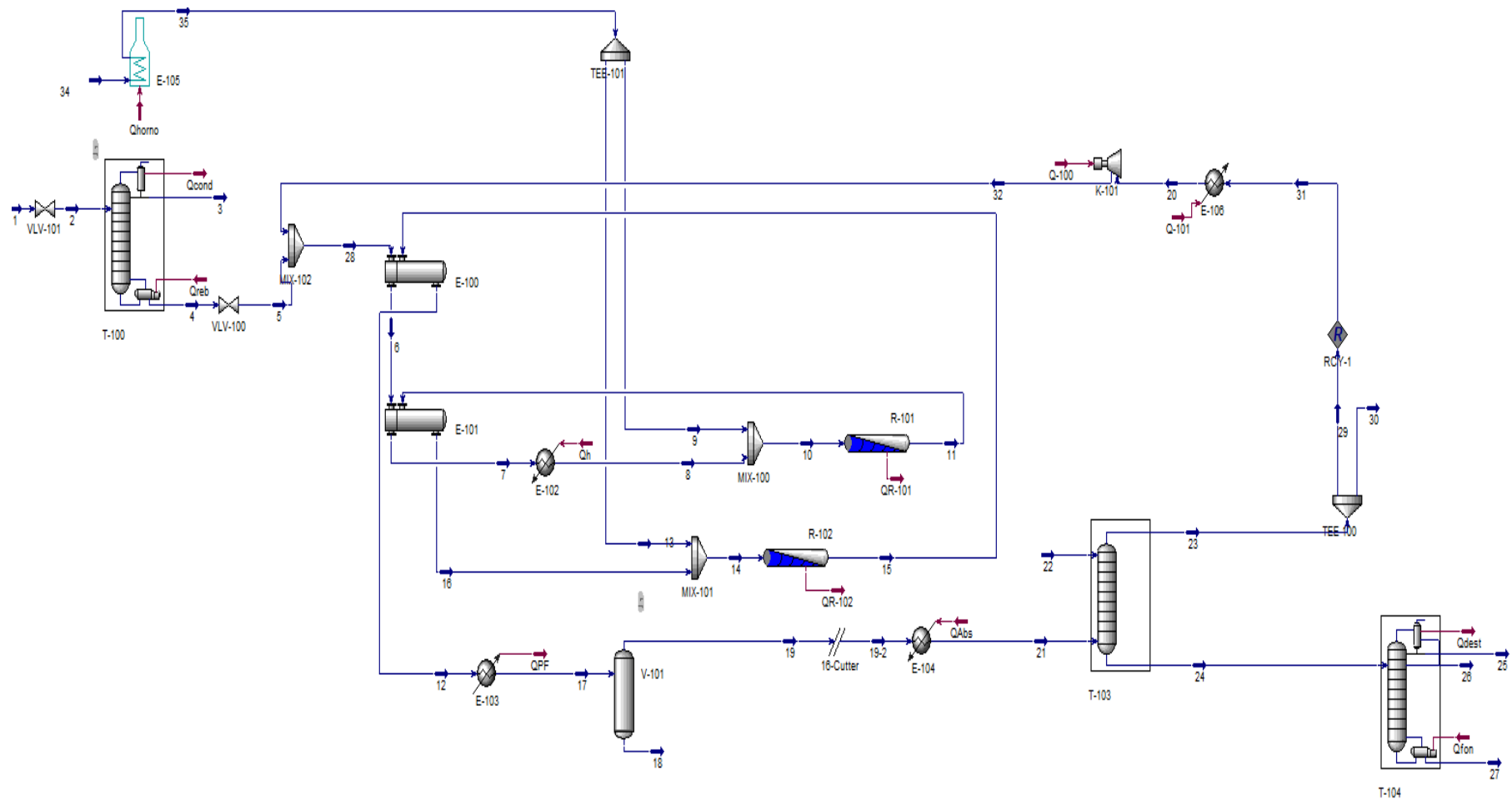


Fig.12: Flowsheet (Fuente: Hysys)

5.2 Balance de Masa

Teniendo en cuenta las siguientes relaciones, como así también, las cantidades de materia prima disponibles, se obtuvo el balance de masa, el cual se detallara de forma global. Luego se adjunta el balance de masa y energía para cada una de las corrientes que participan del proceso.

Reacción	Conversión (%)
$C_4H_{10} + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow C_4H_8 + H_2O$	51,23
$C_4H_8 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow C_4H_6 + H_2O$	88,13
$C_4H_8 + 6O_2 \rightarrow 4CO_2 + 4H_2O$	0,1617

5.2.1 Balance de Masa Global

Caudal (Kg/h)	Entrada			Salida					
	1	34	22	3	18	25	26	27	30
n-butano	1458,1	-	-	6,16	294,22	11,72	-	-	111,76
i-butano	624,9	-	-	610,33	7,97	2,83	-	-	3,77
1-buteno	-	-	-	-	33,44	7,73	-	-	13,82
1,3-butadieno	-	-	-	-	242,78	649,82	-	-	0,00
Oxígeno	-	576,00	-	-	0,29	-	-	-	17,28
Dióxido de Carbono	-	-	-	-	0,41	-	-	-	4,78
Agua	-	-	-	-	620,47	0,06	3,65	-	-
Acetonitrilo	-	-	4885,31	-	8,54	0,03	-	4874,80	1,91
Caudal Másico Total	2083,00	576,00	4885,31	616,50	1208,11	685,90	3,65	4874,80	153,31

Tabla n°7: Balance de Masa Global.

5.2.2 Balance de Masa y Energía

Corriente	1	2	3	4	5
Fracción de Vapor	0	0	0,00	0,00	0,29
Temperatura (°C)	17,00	17,19	48,22	74,56	37,27
Presión (Bar)	15,72	8,50	6,50	9,00	3,50
Flujo Molar (Kmol/h)	35,84	35,84	10,61	25,25	25,24
Flujo Másico (Kg/h)	2083,00	2083,00	616,50	1467,00	1467,00
Flujo Volumétrico (m3/h)	3,61	3,61	1,10	2,52	2,52
Peso Molecular	58,12	58,12	58,12	58,12	58,12
Entalpia Molar (kcal/kmol)	-3,61E+04	-3,61E+04	-3,61E+04	-3,35E+04	-3,35E+04
Flujo de Calor (kcal/h)	-1,19E+06	-1,29E+06	-3,83E+05	-8,46E+05	-8,46E+05
Composición Molar					
i-butano	0,3000	0,3000	0,9900	0,0100	0,0100
n-butano	0,7000	0,7000	0,0100	0,9900	0,9900
1-buteno	-	-	-	-	-
1,3-Butadieno	-	-	-	-	-
Oxígeno	-	-	-	-	-
Dióxido de Carbono	-	-	-	-	-
Agua	-	-	-	-	-
Acetonitrilo	-	-	-	-	-
Composición Másica					
i-butano	0,3000	0,3000	0,9900	0,0100	0,0100
n-butano	0,7000	0,7000	0,0100	0,9900	0,9900
1-buteno	-	-	-	-	-
1,3-Butadieno	-	-	-	-	-
Oxígeno	-	-	-	-	-
Dióxido de Carbono	-	-	-	-	-
Agua	-	-	-	-	-
Acetonitrilo	-	-	-	-	-

Tabla n°8.1: Balance de Masa y Energía.

Corriente	6	8	9	10	11
Fracción de Vapor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Temperatura (°C)	205,00	500,00	500,00	499,90	499,90
Presión (Bar)	3,36	3,22	3,00	3,00	3,00
Flujo Molar (Kmol/h)	40,01	40,01	13,00	53,01	61,90
Flujo Másico (Kg/h)	2240,00	2240,00	416,00	2656,00	2656,00
Flujo Volumétrico (m3/h)	3,75	3,75	0,04	4,12	4,10
Peso Molecular	55,99	55,99	32,00	50,11	42,91
Entalpia Molar (kcal/kmol)	-2,41E+04	-1,17E+04	3,57E+03	-7,94E+03	-1,47E+04
Flujo de Calor (kcal/h)	-9,135E+05	-4,67E+05	4,64E+04	-4,21E+05	-9,11E+05
Composición Molar					
i-butano	0,0145	0,0145	-	0,0109	0,0093
n-butano	0,8669	0,8669	-	0,6543	0,2733
1-buteno	0,0310	0,0310	-	0,0234	0,3071
1,3-Butadieno	-	-	-	-	-
Oxigeno	0,0682	0,0682	1,0000	0,2967	0,1105
Dióxido de Carbono	0,0136	0,0136	-	0,0103	0,0088
Agua	-	-	-	-	0,2871
Acetonitrilo	0,0059	0,0059	-	0,0044	0,0038
Composición Másica					
i-butano	0,0150	0,0150	-	0,0127	0,0127
n-butano	0,8999	0,8999	-	0,7590	0,3702
1-buteno	0,0311	0,0311	-	0,0262	0,4016
1,3-Butadieno	-	-	-	-	-
Oxigeno	0,0390	0,0390	1,0000	0,1895	0,0824
Dióxido de Carbono	0,0107	0,0107	-	0,0090	0,0090
Agua	-	-	-	-	0,1204
Acetonitrilo	0,0043	0,0043	-	0,0036	0,0036

Tabla n°8.2: Balance de Masa y Energía.

Corriente	12	13	14	15	16
Fracción de Vapor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Temperatura (°C)	205,30	500,00	373,00	374,20	373,00
Presión (Bar)	2,72	3,00	2,86	2,86	2,86
Flujo Molar (Kmol/h)	61,90	5,00	66,90	75,31	75,31
Flujo Másico (Kg/h)	2656,00	160,00	2816,00	2816,00	2816,00
Flujo Volumétrico (m3/h)	4,10	0,14	4,24	4,18	4,18
Peso Molecular	42,91	32,00	42,10	37,40	37,40
Entalpia Molar (kcal/kmol)	-1,84E+04	3,57E+03	-1,68E+04	-2,19E+04	-2,37E+04
Flujo de Calor (kcal/h)	-1,91E+06	1,78E+04	-1,12E+06	-1,65E+06	-1,13E+06
Composición Molar					
i-butano	0,0093	-	0,0087	0,0077	0,0077
n-butano	0,2733	-	0,2529	0,2246	0,2246
1-buteno	0,3071	-	0,2842	0,0296	0,0296
1,3-Butadieno	-	-	-	0,2225	0,2225
Oxígeno	0,1105	1,0000	0,1770	0,0436	0,0436
Dióxido de Carbono	0,0088	-	0,0081	0,0089	0,0089
Agua	0,2871	-	0,2656	0,4601	0,4601
Acetonitrilo	0,0038	-	0,0035	0,0031	0,0031
Composición Másica					
i-butano	0,0127	-	0,0119	0,0119	0,0119
n-butano	0,3702	-	0,3491	0,3491	0,3491
1-buteno	0,4016	-	0,3788	0,0444	0,0444
1,3-Butadieno	-	-	-	0,3218	0,3218
Oxígeno	0,0824	1,0000	0,1346	0,0373	0,0373
Dióxido de Carbono	0,0090	-	0,0085	0,0104	0,0104
Agua	0,1205	-	0,1137	0,2216	0,2216
Acetonitrilo	0,0036	-	0,0034	0,0034	0,0034

Tabla n°8.3: Balance de Masa y Energía.

Corriente	7	22	23	24	19
Fracción de Vapor	1,00	0,00	0,95	1,00	1,00
Temperatura (°C)	361,70	0,00	14,80	48,33	12,96
Presión (Bar)	3,22	3,00	2,00	2,30	2,12
Flujo Molar (Kmol/h)	40,01	119,00	66,90	75,31	75,31
Flujo Másico (Kg/h)	2240,00	4885,00	929,20	5564,00	1608,00
Flujo Volumétrico (m3/h)	3,75	6,25	1,49	7,35	2,58
Peso Molecular	55,99	41,05	52,34	42,28	52,98
Entalpia Molar (kcal/kmol)	-2,06E+04	1,23E+04	-2,42E+04	1,37E+04	-4,33E+03
Flujo de Calor (kcal/h)	-6,93E+05	1,46E+06	-4,30E+05	1,80E+06	-1,31E+05
Composición Molar					
i-butano	0,0145	-	0,0221	0,0004	0,0145
n-butano	0,8669	-	0,6565	0,0015	0,3905
1-buteno	0,0310	-	0,0841	0,0010	0,0537
1,3-Butadieno	-	-	-	0,0932	0,4041
Oxígeno	0,0682	-	0,1843	-	0,1078
Dióxido de Carbono	0,0136	-	0,0371	-	0,0217
Agua	-	-	-	0,0016	0,0068
Acetonitrilo	0,0059	1,0000	0,0159	0,9023	0,0009
Composición Másica					
i-butano	0,0127	-	0,0119	0,0119	0,0119
n-butano	0,3702	-	0,3491	0,3491	0,3491
1-buteno	0,4016	-	0,3788	0,0444	0,0444
1,3-Butadieno	-	-	-	0,3218	0,3218
Oxígeno	0,0824	1,0000	0,1346	0,0373	0,0373
Dióxido de Carbono	0,0090	-	0,0085	0,0104	0,0104
Agua	0,1205	-	0,1137	0,2216	0,2216
Acetonitrilo	0,0036	-	0,0034	0,0034	0,0034

Tabla n°8.4: Balance de Masa y Energía.

Corriente	18	17	21	19.2	27
Fracción de Vapor	0,00	0,38	1,00	1,00	0,00
Temperatura (°C)	12,96	20,00	72,00	12,96	103,70
Presión (Bar)	2,12	2,72	2,12	2,12	3,00
Flujo Molar (Kmol/h)	44,95	75,31	30,36	30,36	118,70
Flujo Másico (Kg/h)	1208,00	2816,00	1608,00	1608,00	4875,00
Flujo Volumétrico (m3/h)	1,60	4,18	2,58	2,58	6,23
Peso Molecular	26,88	37,40	52,98	52,98	41,05
Entalpia Molar (kcal/kmol)	-5,47E+04	-3,44E+04	-3,10E+03	-4,32E+03	1,49E+04
Flujo de Calor (kcal/h)	-2,46E+06	-2,59E+06	-9,41E+04	-1,31E+05	1,77E+06
Composición Molar					
i-butano	0,0031	0,0077	0,0145	0,0145	-
n-butano	0,1126	0,2246	0,3905	0,3905	-
1-buteno	0,0133	0,0296	0,0537	0,0537	-
1,3-Butadieno	0,0998	0,2225	0,4041	0,4041	-
Oxígeno	0,0002	0,0436	0,1078	0,1078	-
Dióxido de Carbono	0,0002	0,0089	0,0217	0,0217	-
Agua	0,7662	0,4601	0,0068	0,0068	-
Acetonitrilo	0,0046	0,0031	0,0009	0,0009	1,0000
Composición Másica					
i-butano	0,0066	0,0119	0,0119	0,0119	-
n-butano	0,2435	0,3491	0,3491	0,3491	-
1-buteno	0,0277	0,0444	0,0444	0,0444	-
1,3-Butadieno	0,2010	0,3218	0,3218	0,3218	-
Oxígeno	0,0002	0,0373	0,0373	0,0373	-
Dióxido de Carbono	0,0003	0,0104	0,0104	0,0104	-
Agua	0,5136	0,2216	0,2216	0,2216	-
Acetonitrilo	0,0071	0,0034	0,0034	0,0034	1,0000

Tabla n°8.5: Balance de Masa y Energía.

Corriente	25	26	28	29	30
Fracción de Vapor	0,00	0,00	0,60	0,95	0,95
Temperatura (°C)	14,11	14,11	32,02	14,80	14,80
Presión (Bar)	2,00	2,00	3,50	2,00	2,00
Flujo Molar (Kmol/h)	12,66	0,20	40,01	14,82	2,93
Flujo Másico (Kg/h)	685,90	3,65	2240,00	775,90	153,30
Flujo Volumétrico (m3/h)	1,11	3,65	3,75	1,24	0,25
Peso Molecular	54,18	18,02	55,99	52,34	52,34
Entalpia Molar (kcal/kmol)	1,95E+04	-6,86E+04	-2,97E+04	-2,42E+04	-2,42E+04
Flujo de Calor (kcal/h)	2,46E+05	-1,39E+04	-1,19E+06	-3,59E+05	-7,09E+04
Composición Molar					
i-butano	0,0039	-	0,0145	0,0221	0,0221
n-butano	0,0159	-	0,8669	0,6565	0,6565
1-buteno	0,0109	-	0,0310	0,0841	0,0841
1,3-Butadieno	0,9690	-	-	-	-
Oxígeno	-	-	0,0682	0,1843	0,1843
Dióxido de Carbono	-	-	0,0136	0,0371	0,0371
Agua	0,0003	1,0000	-	-	-
Acetonitrilo	0,0001	-	0,0059	0,0159	0,0159
Composición Másica					
i-butano	0,0041	-	0,0150	0,0246	0,0246
n-butano	0,0171	-	0,8999	0,7289	0,7289
1-buteno	0,0113	-	0,0311	0,0902	0,0902
1,3-Butadieno	0,9674	-	-	-	-
Oxígeno	-	-	0,0390	0,1127	0,1127
Dióxido de Carbono	-	-	0,0107	0,0312	0,0312
Agua	0,0001	1,0000	-	-	-
Acetonitrilo	-	-	0,0043	0,0125	0,0125

Tabla n°8.6: Balance de Masa y Energía.

Corriente	31	35	34	32	20
Fracción de Vapor	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00
Temperatura (°C)	14,80	500,00	25,00	49,65	25,00
Presión (Bar)	2,00	3,00	3,00	3,50	1,93
Flujo Molar (Kmol/h)	14,78	18,00	18,00	14,78	14,78
Flujo Másico (Kg/h)	773,50	576,00	576,00	773,50	773,50
Flujo Volumétrico (m3/h)	1,24	0,51	0,51	1,24	1,24
Peso Molecular	52,34	32,00	32,00	52,34	52,34
Entalpia Molar (kcal/kmol)	-2,42E+04	3,57E+03	-6,75E+00	-2,33E+04	-2,37E+04
Flujo de Calor (kcal/h)	-7,09E+04	6,42E+04	-1,21E+02	-3,44E+05	-3,50E+05
Composición Molar					
i-butano	0,0221	-	-	0,0221	0,0221
n-butano	0,6565	-	-	0,6565	0,6565
1-buteno	0,0840	-	-	0,0840	0,0840
1,3-Butadieno	-	-	-	-	-
Oxígeno	0,1846	1,0000	1,0000	0,1846	0,1846
Dióxido de Carbono	0,0368	-	-	0,0368	0,0368
Agua	-	-	-	-	-
Acetonitrilo	0,0159	-	-	0,0159	0,0159
Composición Másica					
i-butano	0,0246	-	-	0,0246	0,0246
n-butano	0,7289	-	-	0,7289	0,7289
1-buteno	0,0902	-	-	0,0902	0,0902
1,3-Butadieno	-	-	-	-	-
Oxígeno	0,1127	1,0000	1,0000	0,1127	0,1127
Dióxido de Carbono	0,0312	-	-	0,0312	0,0312
Agua	-	-	-	-	-
Acetonitrilo	0,0125	-	-	0,0125	0,0125

Tabla n°8.7: Balance de Masa y Energía.

5.3 Bibliografía

- Izquierdo Herrera, M. (2016). *Ingeniería básica de una planta de producción de butadieno a partir de la deshidrogenación de n-butanos*. Tesis, Universidad de Sevilla, Ingeniería Química y Ambiental, Sevilla.
- Pissani Sola, C. L. (2015). *Diseño de una planta de deshidrogenación catalítica para la producción de butadieno*. Tesis, Universidad Nacional de Callao, Callao.
- Yang, X., & Ouyang, P. (2009). *Simulation of 1,3-Butadiene Production Process by Dimethylformamide Extractive Distillation*. Nanjing: Nanjing University of Technology.

6. P&ID

6.1 Introducción

El P&ID es un diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) es normalmente llamado por sus siglas en inglés (Piping and Instrument Diagram/Drawing), que tiene como fin mostrar cómo funciona el proceso en relación a la instrumentación aplicada, dando una representación gráfica del equipo, la tubería y la instrumentación mencionada.

Para elaborar la confección de este tipo de diagramas se utilizarán símbolos estándar basados en la Norma ISA-5.1. (International Society of Automation).

Los P&ID cumplen con un rol de gran importancia en el mantenimiento y modificación del proceso que describe. Es crucial para demostrar la secuencia física de los equipos y sistemas, así como la forma en que estos sistemas se conectan.

También, durante la etapa de diseño, proporciona la base para el desarrollo de sistemas de control del sistema. La implementación de equipos de control aumenta y garantiza la seguridad en la planta, y la recopilación de información, a lo largo de todo el proceso para corroborar que opere correctamente.

6.2 Definiciones

6.2.1 Elementos de los sistemas de control

Los instrumentos básicos de un sistema de control son los siguientes:

- Sensor: es el primer elemento que tendrá un lazo de control. La función del sensor es la de medir las variables físicas o químicas del sistema.
- Transmisor: envían el valor medido de un sensor a equipos remotos, permitiéndoles controlar y supervisar el proceso.
- Controlador: El controlador recibe la señal de la variable medida y se compara con un valor consigna establecido, emitiendo una acción correctora. Este instrumento puede ser de tipo proporcional, proporcional integral o proporcionar integral derivativo.
- Transductor: este instrumento permite convertir una señal eléctrica en una señal neumática para enviar la señal al elemento final de control.
- Elemento final: Instrumento actuante sobre la variable manipulada.

6.2.2 Instrumentos

Los instrumentos de control, como ya se mencionó con anterioridad toman una variable física o química del proceso y la modifican de acuerdo a un valor deseado.

Pueden cumplir distintas funciones:

- Indicar el valor o magnitud de la variable.
- Transmitir la información de la variable da otros instrumentos o sala de control.
- Controlar el proceso.
- Registrar la información sobre el desarrollo del proceso.

Para permitir la identificación de funcional de los instrumentos, se le asigna una letra que incluye una primera letra, la cual es representada por la medida o variable inicial, y una o más letras sucesivas que identificaran las funciones.

6.2.3 Clasificación de la instrumentación

La clasificación de instrumentos consiste en 4 tipos:

- **Primaria:** Consiste en la medición, el monitoreo, el control y el cálculo de dispositivos, Hardware y sus funciones. Estos incluyen transmisores, registradores, controladores, válvulas de control, dispositivos de seguridad auto-accionados que requieren la identificación asignada por el usuario.
- **Secundaria:** Al igual que la primaria, permiten la medición, monitoreo y Hardware que incluyen niveles, manómetros, termómetros y reguladores de presión.
- **Auxiliar:** Son dispositivos y Hardware que miden controlan o calculan y que son necesarios para el funcionamiento efectivo de la instrumentación primaria y secundaria.
- **Accesorias:** Son dispositivos y Hardware que no miden ni controlan, sino que son necesarios para el adecuado funcionamiento del sistema de medición, monitoreo o control.

6.2.4 Líneas de conexión

Las líneas de conexión dentro del diagrama representan la forma en la que se interconectan los diferentes instrumentos, incluyendo las tuberías dentro de un lazo de control. Dichas líneas se ven representadas en la siguiente figura:

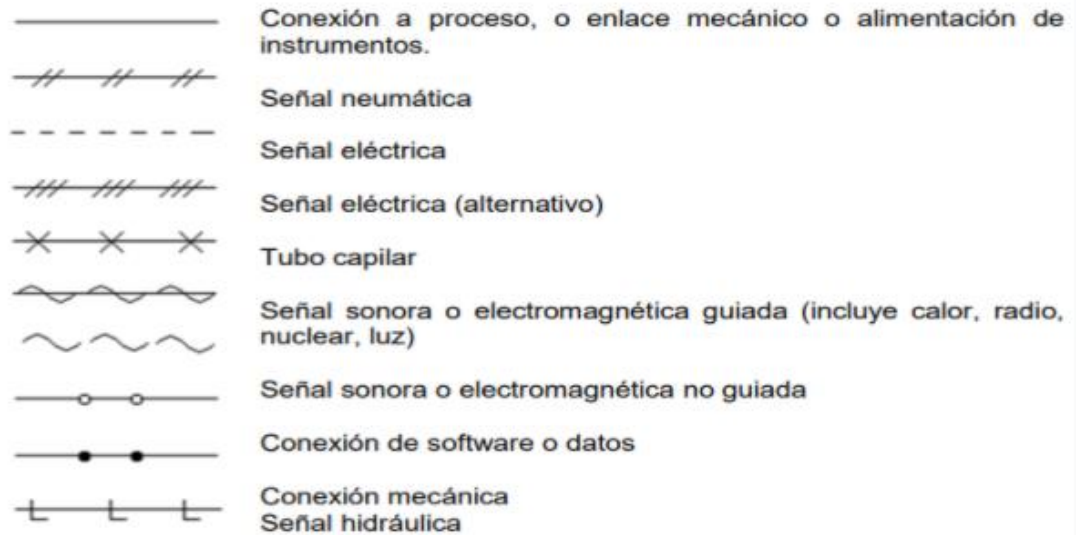


Fig.13: Distintas señales de instrumentación (ANSI/ISA-5.1-1984).

6.2.5 Nomenclatura de instrumentos

Los instrumentos son nombrados mediante números y letras que se encuentran dentro de la descripción del instrumento, que, a su vez, identifican el tipo y la función del dispositivo. Como se mencionó anteriormente, forman bucles o lazos de control, que se encuentran interconectados entre sí con las líneas de conexión, también detalladas con anterioridad.

A continuación, en la siguiente figura representativa se podrá observar este tipo de nomenclatura.

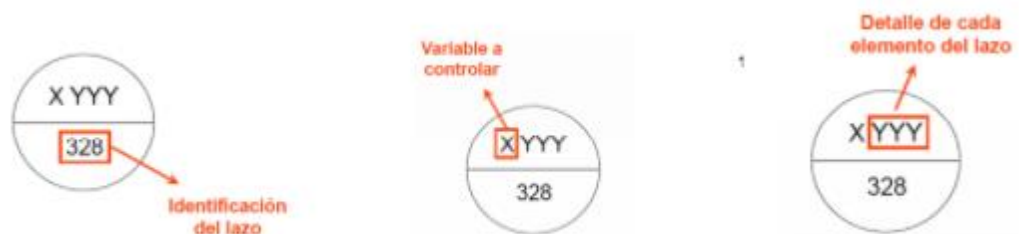


Fig.14: Ejemplo de nomenclatura en la Instrumentación (ANSI/ISA-5.1-1984).

Como se observa en la figura, la primera letra designa la variable medida, y las siguientes identifican las funciones que cumplen. A continuación, se mostrará el significado de cada letra según su posición.

Primera letra		Letras siguientes			
Variable medida	Significado	Letra modificante	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra modificante
A	Análisis		Alarma		
B	Flama o quemador				
C	Conductividad			Control	
D	Densidad	Diferencial			
E	Voltaje		Sensor		
F	Flujo				
G	Calibre		Visor		
H	Manual				Alto
I	Corriente		Indicador		
J	Potencia	Exploración			
K	Tiempo			Estación de control	
L	Nivel		Luz piloto		Bajo
M	Humedad				Medio o intermedio
N	Vibración				
O	Torque		Orificio		
P	Presión		Punto de Prueba		
Q	Cantidad				
R	Radiación		Registrar		
S	Velocidad	Seguridad		Interruptor	
T	Temperatura			Transmisor	
V	Viscosidad			Válvula	
W	Peso		Termopozo		
Y	Libre		Conversor		
Z	Posición		Elem. final control		

Tabla n°9: Tipo de variables y mediciones.

Como quedo detallado en la tabla, la primera letra representa la variable del proceso, las letras posteriores nos indican el tipo de medición y la función del instrumento, estas letras son:

- T: Transmisores.
- C: Controladores.
- AH: Alarma de alta.
- AL: Alarma de baja.
- IC: Controlador en indicador.
- I: Indicador.
- TW: Termovaina o termopozo.
- A: Alarma.

6.2.6 Simbología de instrumentación

Además de la nomenclatura de los instrumentos, también es importante observar la forma del circuito, ya que, nos indicara la posición de los mismos y el alcance del operador con respecto a ellos.





Símbolo	Observación
	Montado localmente en el campo: se encuentra físicamente en el campo de la planta de proceso.
	Montado en el tablero de control de proceso, normalmente se encuentra accesible a este.
	Función de computadora.
	Control lógico programable.

Tabla n°10: Formas de expresar la instrumentación.

Los símbolos, además, también indican la posición en que se deben montar los instrumentos, también es muy representativo si estos símbolos van con o sin líneas como queda descripto en la siguiente tabla.













	Montado en tablero: Normalmente accesible al operador	Montado en campo	Ubicación Auxiliar: Normalmente Accesible al operador.
Instrumento discreto o aislado			
Display compartido, control compartido			
Función de computadora			
Control lógico programable			

Tabla n°11: Controles de instrumentación.

6.2.7 Identificación de equipos

Los equipos también tienen una simbología representativa en la que se pueden diferenciar entre sí, como se observa en la siguiente figura.

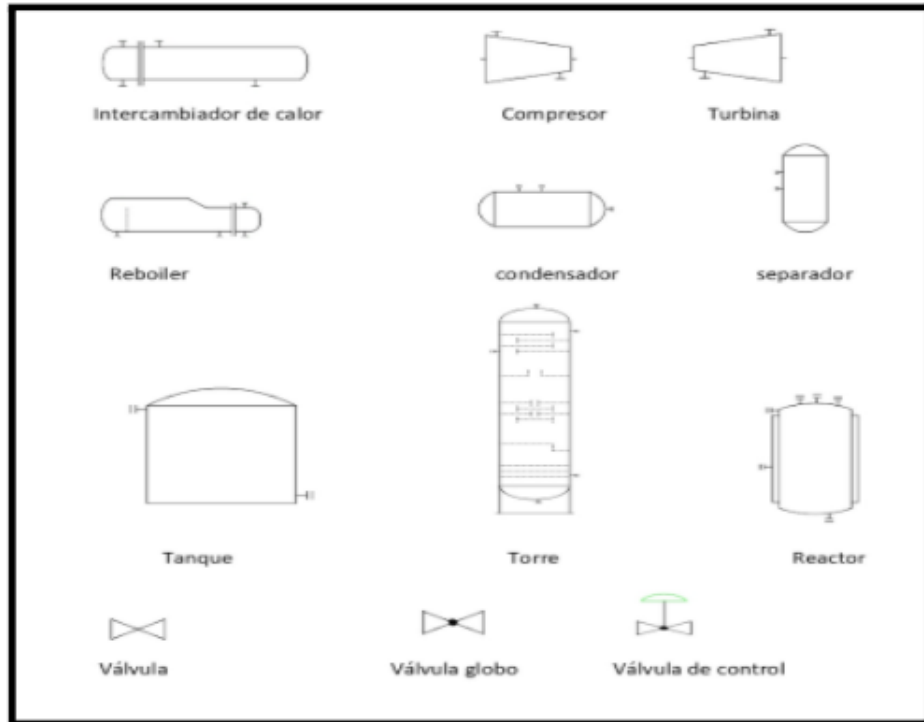


Fig.15: Identificación de los equipos en P&ID (ANSI/ISA-5.1-1984).

De la misma forma que las corrientes de proceso que se detallaron anteriormente, los equipos también tienen su identificación mediante letras y números, similares a los ya mencionados. Para definir dicha clasificación se utiliza la siguiente simbología

- Xx: Letras de identificación de cada equipo
 - Como pueden ser:
 - C: Compresor o turbina
 - E: Intercambiador de calor
 - H: Horno
 - P: Bomba
 - R: Reactor
 - T: Torre
 - TK: Tanque de almacenamiento
 - V: Separador
- Y: Hace referencia al área dentro del proceso al que pertenece
- Zz: Numero designado para cada ítem dentro de la propia área

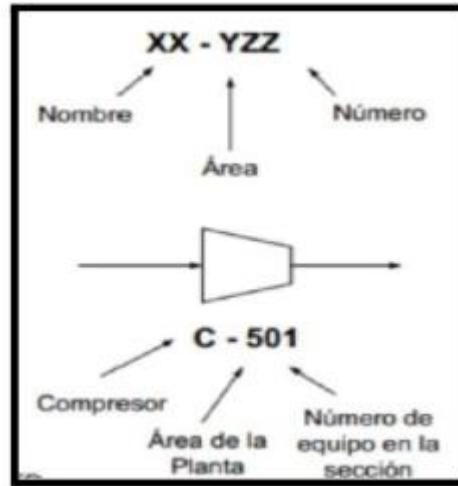


Fig.16: Ejemplo de identificación de un equipo (ANSI/ISA-5.1-1984).

6.2.8 Indicadores locales

Los indicadores locales nos permiten ver los valores medidos en los equipos y en las líneas de proceso. Dichos instrumentos serán muy útiles para el personal de producción y mantenimiento.

<u>EJEMPLO</u>	<u>P&ID</u>	<u>INDICADORES LOCALES</u>
		INDICADOR DE TEMPERATURA
		INDICADOR DE PRESIÓN
		INDICADOR DE CAUDAL
		INDICADOR DE NIVEL

Fig.17: Indicadores locales en P&ID (ANSI/ISA-5.1-1984).

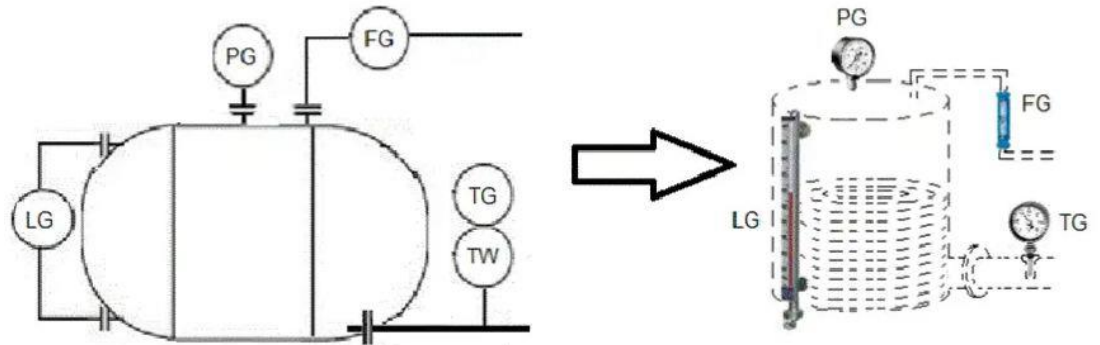


Fig.18: Ejemplo de instrumentación en un equipo (ANSI/ISA-5.1-1984).

6.2.9 Transmisores

Estos instrumentos envían el valor medido a equipos remotos, en los cuales, se puede especificar una indicación local de la medida, permitiendo controlar y supervisar el proceso, además de ver el valor de forma local.

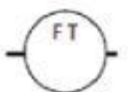
<u>EJEMPLO</u>	<u>P&ID</u>	<u>TRANSMISORES</u>
		TRANSMISORES DE TEMPERATURA
		TRANSMISORES DE PRESIÓN
		TRANSMISORES DE CAUDAL
		TRANSMISORES DE NIVEL

Fig.19: Transmisores en P&ID (ANSI/ISA-5.1-1984).

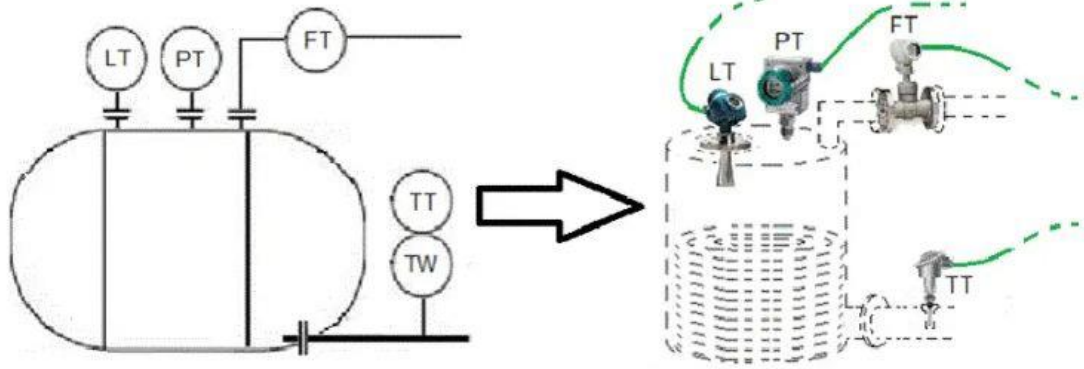


Fig.19: Ejemplo de instrumentación en un equipo (ANSI/ISA-5.1-1984).

6.2.10 Switches

Son interruptores que enviarán una señal digital cuando la variable medida llegue a un valor determinado, ya sea alto o bajo.












EJEMPLO	P&ID	SWITCHES
	 Interruptor de alta temperatura  Interruptor de baja temperatura	SWITCHES DE TEMPERATURA
	 Interruptor de alta presión  Interruptor de baja presión	SWITCHES DE PRESIÓN
	 Interruptor de alto caudal  Interruptor de bajo caudal	SWITCHES DE CAUDAL
	 	SWITCHES DE NIVEL
<p><i>Nota: Cuando tengamos varios altos niveles podemos usar varias "H" por ejemplo LSH para alto nivel y LSHH para muy alto. De la misma forma cuando tengamos varios bajos niveles podemos usar LSL para bajo nivel o LSLL para muy bajo nivel.</i></p>		

Fig.20: Switches en P&ID (ANSI/ISA-5.1-1984).

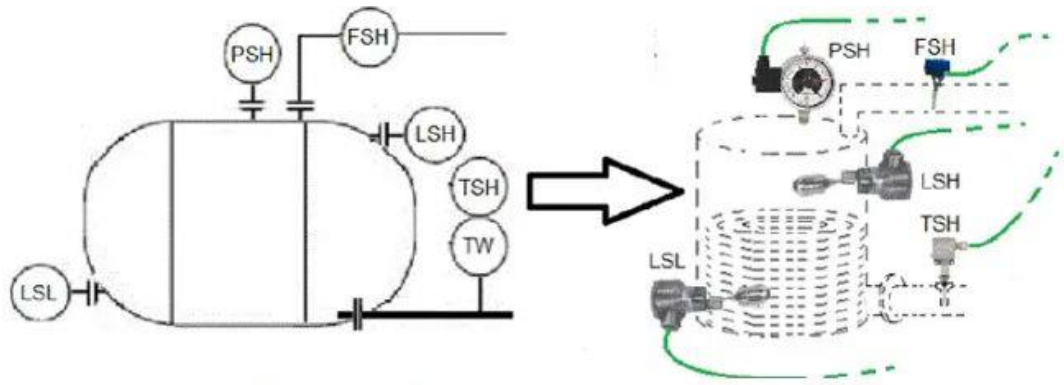
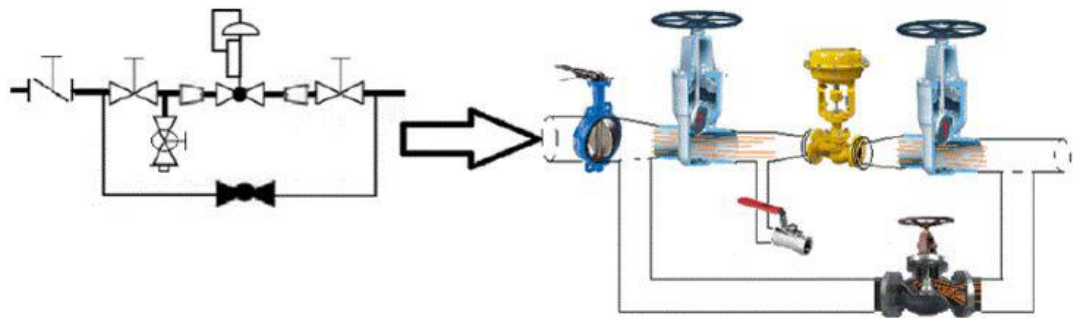


Fig.21: Ejemplo de instrumentación en un equipo (ANSI/ISA-5.1-1984).

6.2.11 Válvulas

Son equipos que nos permitirán regular el flujo de las líneas del proceso. Pueden ser de control o manuales. A continuación, se ejemplificarán como se representarían en el diagrama.



EJEMPLO	P&ID	TIPOS VÁLVULAS
		VÁLVULA GATE
		VÁLVULA GLOBE
		VÁLVULA ANGLE
		VÁLVULA BUTTERFLY
		VÁLVULA BALL
		VÁLVULA PLUG
		VÁLVULA ECCENTRIC ROTARY DISC

EJEMPLO	P&ID	POSICIONADORES Y OTROS ACCESORIOS
		VOLANTE MANUAL
		ACTUADOR DIAFRAGMA
		ACTUADOR VALVULAS ALIVIO Y SEGURIDAD
		POSICIONADOR
		ACTUADOR DE PISTÓN
		ACTUADOR MOTORIZADO
		VÁLVULA DE SOLENOIDE

Fig.22: Distintas válvulas y su forma de expresar en P&ID (ANSI/ISA-5.1-1984).

6.2.12 Identificación de cañerías

Para además de los equipos y los accesorios, también será necesario la identificación de las cañerías mediante una codificación.

Dicha codificación está dada por las normas conjuntas del American Standar Institute y la American Society of Mechanical Engineers ANSI/ASME, ya que, no existe una norma que establezca una codificación universal, si no que queda a elección de cada proyecto, pero básicamente presentan la misma información y difiere la forma de representación.

A continuación se observa la forma seleccionada de codificar las cañerías en el presente proyecto.

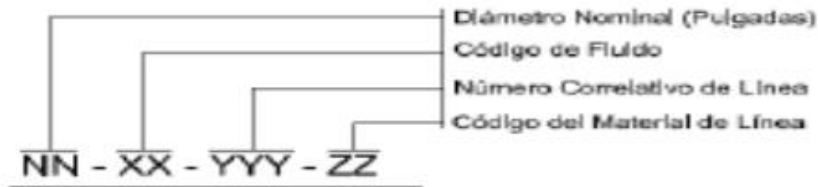


Fig.23: Identificación de cañería (ANSI/ISA-5.1-1984).

Por ejemplo: 2" – ME – 001 – CS quiere indicar que la cañería presenta un diámetro nominal de 2 pulgadas (No siempre coincide con el diámetro interior ni exterior de la tubería, debido a que depende del espesor, tipo de material y libraje). El fluido que transportara será Metanol, el número de línea será el 001 (se asignan de forma secuencial) y el tipo de material será de acero al carbono.

Es fundamental dimensionar correctamente la cañería para garantizar los requerimientos de servicio y a su vez, economizar. Es por eso, que existen diversas técnicas (procedimientos de tanteo iterativo) para calcular el diámetro que permita un cierto flujo requerido a una presión dada. Los métodos más utilizados para el dimensionamiento de las cañerías son: Utilizando como criterio de dimensionamiento las velocidades recomendadas, tanto para líquido como para gas o Utilizando como criterio de dimensionamiento el valor de caída de presión máxima admisible (también se puede utilizar la caída de presión en 100 ft).

Se recomienda al valor obtenido por alguno de los métodos mencionados, agregarle un sobre espesor por si existen futuras pérdidas de carga adicional, factores de seguridad y disposiciones de reserva para aumentos de capacidad en algún futuro.

Para el presente proyecto se optó para el dimensionamiento de las cañerías el método en base a la velocidad máxima recomendadas. Dicho método consiste en estimar un diámetro mediante las ecuaciones de Peters y Timmerhaus, dependiendo que tipo de fluido es (Turbulento o Laminar) y luego calcular las velocidades para compararlas con las recomendadas. En caso que dichas velocidades sean menores o iguales a las recomendadas, el diámetro será el calculado, sino se deberá recalcular hasta que cumpla la condición.

$$d(\text{pulgadas}) = 3,9 * Q^{0,45} \rho^{0,13} \quad 6.1$$

$$d(\text{pulgadas}) = 3,9 * Q^{0,45} \mu^{0,13} \quad 6.2$$

Donde la ecuación 6.1 y 6.2 corresponden a flujo turbulento y laminar respectivamente.

Con respecto a la descripción del flujo, se le otorgara un código a cada tipo para facilitar la identificación de cada flujo en los diagramas adjuntos en el anexo. La nomenclatura quedara definida de la siguiente manera:

Código	Producto
LNG	Gas Natural Licuado
NG	Gas Natural
OX	Oxigeno
AEF	Agua de Enfriamiento
FW	Agua de Fuego
FDP	Fluido de Proceso
GS	Gas de Proceso

Tabla n°12: Código de Fluidos.

Por último, seleccionar el correcto material de cual estarán hechas las cañerías es muy importante en la minimización de riesgos derivados de una fuga accidental. Se recomienda en la práctica, utilizar acero inoxidable de la serie 100, de bajo carbono y estabilizado con Molibdeno. Este tipo de material presenta un alto costo pero ofrece la protección necesaria contra los distintos tipos de corrosión (Generalizada y Localizada) y evita la contaminación de los productos.

6.3 Diseño de Diagrama de Tubería e Instrumentación

A continuación se adjuntara como se diseñó el sistema de control de una de las áreas de la planta, por cuestiones de dimensiones, se adjuntaran como anexo cada una de las áreas que comprenden el proyecto.

Área 700

Equipo	Controlador	Descripción	Cantidad	Situación	Tipo de Señal
V-701	PSV	Válvula Control de Presión	1	Campo	N/A
	LIT	Transmisor Indicador de Nivel	3	Campo	Eléctrica
	LI	Indicador de Nivel	1	Campo	Eléctrica
	LAH	Alarma de Alto Nivel	1	Campo	Digital
	LAL	Alarma de Bajo Nivel	1	Campo	Digital
	LIC	Controlador de Indicador de Nivel	1	Campo	Eléctrica
	PIC	Controlador de Indicador de Presión	1	Sistema de Control	Neumática
P-703	FIT	Transmisor Indicador de Flujo	1	Campo	Eléctrica
	FI	Indicador de Flujo	1	Campo	Eléctrica
	FIC	Controlador de Indicador de Flujo	1	Sistema de Control	Neumática
	PIT	Transmisor Indicador de Presión	2	Campo	Eléctrica

F-702

PI	Indicador de Presión	2	Campo	Eléctrica
PIT	Indicador de Presión Transmisor	1	Campo	Eléctrica
PI	Indicador de Presión	2	Campo	Eléctrica
PAH	Alarma de Alta Presión	1	Campo	Digital
PAL	Alarma de Baja Presión	1	Campo	Digital
BAL	Alarma de Falta de Llama	1	Campo	Digital
BSL	Seguridad de Falta de Llama	1	Campo	Digital

Tabla n°13: Diseño de P&ID del Área 700.

6.4 Bibliografía

- (1992). Instrumentation Symbols and Identification. En *ANSI/ISA-5.1-1984 (R1992)*. American National Standard.
- Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Silva, C. (2021). *Modelado y Simulación de los Procesos - UTN FRN*.

7. Seguridad de la Planta

7.1 Introducción

En este capítulo, se dará un marco teórico, que remarcará la importancia de la seguridad en una planta industrial, la cual, pretende la seguridad y protección de las personas, medio ambiente e instalaciones de la planta.

Este proyecto se encuentra afectado bajo los criterios de la Ley Nacional N°13.660 la cual, “persigue la protección de las grandes industrias en beneficio de la salubridad y seguridad de las poblaciones y la conservación de los combustibles de difícil reposición para la defensa nacional.” (Ley 13.660, 1960).

Según se encuentra establecido en el artículo 4 de la Ley Nacional N° 19.587:

Las normas técnicas y medidas sanitarias, precautorias, aplicadas para la seguridad de los procesos, tienen como fin:

- Proteger la vida, preservar y mantener la integridad de los trabajadores.
- Poder eliminar o reducir los riesgos dentro de los distintos puestos de trabajo.
- Poder desarrollar una actitud positiva respecto a la prevención de los accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral.

A partir de la evaluación, se puede, realizar una clasificación de los riesgos que pueden darse en una instalación:

- Riesgos Químicos-Tóxicos.
- Riesgos Mecánicos.
- Riesgos Eléctricos.
- Riesgos Térmicos.
- Riesgos de potenciales explosiones.

La Ley 13.660 sugiere dividir la planta en estudio en 3 zonas definidas:

- Zona I (Zona de operación): es el área ocupada por los equipos e instalaciones destinados específicamente a realizar el proceso de la destilación.
- Zona II (Zona de tanques de almacenamiento): Es el área ocupa por tanques de almacenamiento de materia prima, productos intermedios o terminados y el conjunto de instalaciones destinadas al movimiento de los fluidos en ellos contenidos.

- Zona III (Zona de servicios auxiliares): Es el conjunto de instalaciones, equipos y edificios no comprometidos en las dos zonas anteriores.

7.2 Clasificación de fuegos

Para una correcta elección del sistema extintor, se procederá a clasificar los fuegos de la siguiente manera:

- Clase A: Incendio en materiales combustibles comunes en los cuales la sofocación y enfriamiento es indispensable por la acción que se obtiene por el simple uso del agua.
- Clase B: incendio de líquidos inflamables, grasa e hidrocarburos en general para el cual, es esencial cubrir la superficie en combustión con un producto que actúe como un manto que la ahogue.
- Clase C: Incendio en equipos eléctricos donde el material extintor no debe ser conductor.

7.3 Protección contra incendios

Teniendo en cuenta las clasificaciones realizadas, se puede ejecutar una serie de medidas regidas por las leyes mencionadas con anterioridad.

Las mismas constan de un conjunto de condiciones de construcción, instalación y equipamiento, que tienen como fin:

- Dificultar la iniciación de incendios.
- Evitar que el fuego se propague como así también, los efectos de gases tóxicos.
- Asegurar la evacuación de las personas.
- Facilitar acceso y tareas de extinción del personal de bomberos.
- Proveer instalaciones de detección y extinción.

Las protecciones que se emplearan para conseguir cumplir estos objetivos serán dos:

- Protección Activa.
- Protección Pasiva.

Para el caso de que se aplique una protección activa, se tendrán en cuenta actuaciones que implican una acción directa para emplear en instalaciones y usar los medios necesarios para la protección y lucha contra los incendios.

Ejemplos claros de este tipo de protección serían: La evacuación, la utilización de extintores, entre otros.

7.3.1 Equipos de Protección Activa

A continuación se definirá el concepto de unidad extintor según lo rige la Ley 13.660.

- Unidad de extintor: Se considera tal, al aparato extintor o al conjunto de aparatos cuya capacidad de extinción de focos de incendio sea equivalente a la espuma ignífuga, generada por un aparato extintor de 10 litros de agentes espumígenos.
- Espuma ignífuga: Es un elemento destinado a formar una capa aisladora entre una superficie incendiada y el aire. Para producirla se puede recurrir al empleo de:
 - a) Mezclas de soluciones conocidas en la industria como A y B (fundamentalmente sulfato de aluminio y bicarbonato de sodio con un estabilizante) almacenadas en tanque específicamente destinado a tal fin.
 - b) Mezclas de soluciones del mismo tipo anterior preparadas con dispositivos especiales en el momento del incendio, usando polvos A y B y agua.
 - c) Soluciones de agua y “Polvo único” formado por una mezcla de polvos A y B. La solución se forma en el momento del incendio usando dispositivos especiales.
 - d) Solución de agua con un emulsivo especial capaz de mezclarse con aire en adecuada cantidad. Este sistema es conocido como espuma mecánica o aeroespuma.

Según la clase de fuego presente se recomienda el empleo de los siguientes extintores:

Extintores de agua → Para fuegos clase A.

Extintores de espuma ignífuga → Para fuegos tipo clase A y B.

Extintores de CO₂ → Para fuegos tipo clase B y C.

7.3.1.1 Protección Activa Zona I

Para esta protección se tiene en cuenta el agua contra incendios y como se menciona en la ley debe existir una red de cañería de agua independiente a la red de agua industrial, pero a su vez puede interconectarse eventualmente.

La red independiente necesariamente de tener:

- Una fuente de agua, almacenada en un tanque de almacenamiento.
- Un equipo para el bombeo del agua.
- Una red de cañerías de distribución.
- Mangueras acordes para dirigir hacia el fuego.

Como se menciona en la ley, el almacenamiento de agua debe asegurar un funcionamiento continuo de 4hs, con la instalación trabajando a máxima capacidad, a partir de dos fuentes diferentes. Por otro lado, la presión mínima deberá ser de 7 Kg/cm² en la toma más alejada.

Como mínimo deben instalarse los dispositivos necesarios para que en cualquier punto de la zona existan disponibles 6 chorros de agua, que provengan de tomas independientes, a su vez, deben asegurar un caudal individual a los 30 m³/h, y el largo de las mangueras no debe tener una longitud superior a 120 m.

La ubicación de los hidrantes, dependerá de la clase, la forma y el tipo de red que se piensa instalar en el sector. Estos parámetros se dividen en:

- Clase I: mangueras de ϕ 2 ½" pulgadas (63,3mm).
- Clase II: mangueras de ϕ 1 ¾" pulgadas (45 mm).
- Clase III: incluye los diámetros indicados en las clases I y II.

A su vez según su tipo de red se clasifica en:

- Red de tipo ramal o abierto: este tipo de red se abre a partir de la fuente de suministro en sucesivos ramales, cada una de las cuales termina en una o varias bocas de incendio.
- Red tipo anillo o cerrada: este tipo de red se extiende siguiendo el perímetro de la superficie a cubrir y en caso de los hidrantes cada uno es alimentado por lo menos por dos cañerías.

Estas redes pueden trabajar con dos tipos de sistemas, húmedo o seco, que pueden estar llenas de agua todo el tiempo (sistema húmedo) o encontrarse con aire y llenarse de agua mediante el accionamiento de válvulas secas u otro dispositivo (sistema seco).

Tipo de red	Diámetro de la boca de incendio	
	45 mm	64 mm
Ramal	20 m	25 m
Anillo	30 m	30 m

Tabla n°14: Diámetros de las distintas bocas.

Se seleccionó para el presente proyecto la clase de hidrantes I, ya que, presenta un diámetro de manguera mayor, también como se puede ver en la tabla abarca un diámetro de incendio más elevado.

También hay que tener en cuenta, que deben existir en la planta, extintores contra fuego, y como lo establece la ley N° 13.660 en el ART 239 debe colocarse un extintor cada 300 m², evitando que se corran más de 20 m hasta un aparato de esta índole. Mientras que en los depósitos que existan hidrocarburos se colocara uno cada 200 m² permitiendo que no haya que recorrer más de 15 m para encontrarse con un aparato extintor.

Zona	Área total (m ²)
Zona I	16.440

Teniendo en cuenta la tabla anterior, la zona I cuenta con un área total de 16.440 m², por lo que requerirá una cantidad de 55 extintores contra fuego.

7.3.1.2 Protección Activa Zona II

Zona	Área total (m ²)
Zona II	7.600

Teniendo en cuenta la tabla anterior, la zona II cuenta con un área total de 7.600 m², por lo que requerirá una cantidad de 26 extintores contra fuego.

7.3.1.3 Protección Activa Zona III

Zona	Área total (m ²)
Zona III	1.240

Teniendo en cuenta la tabla anterior, la zona III cuenta con un área total de 1.240 m², por lo que requerirá una cantidad de 5 extintores contra fuego.

7.3.1.4 Protección Activa Zona de edificios

Se exhibirá una tabla que mostrará la distribución final de extintores, teniendo en cuenta las 3 zonas anteriormente mencionadas y la zona de edificios.

Zona	Área total (m ²)	Cantidad	Clase
Zona I	16.440	55	ABC x 5 Kg
Zona II	7.600	26	ABC x 5 Kg
Zona III	1.240	5	ABC x 5 Kg
Oficinas	990	5	ABC x 5 Kg
Laboratorio	990	5	CO ₂ x 5 Kg
Comedor	990	5	ABC x 5 Kg
Sala de control	990	5	ABC x 5 Kg
Almacén	990	5	ABC x 5 Kg
Sala de control de incendios	990	5	ABC x 5 Kg
Mantenimiento	990	5	ABC X Kg

Tabla n°15: Protección Activa zona de edificios.

7.3.1 Protección Pasiva

Con respecto a la protección pasiva, incluye métodos, los cuales, se encuentran sin implicar ninguna acción directa sobre el fuego, pero están permanentemente presentes.

7.3.2.1 Zona I

Según se encuentra establecido en la Ley Nacional 13.660 Art 216 dicha zona corresponde al sector de operación, donde se buscara implementar defensas pasivas correspondientes al distanciamiento mínimo entre equipos presentes en dicho sector.

Desde	Hasta	Distancia (Metros)
Equipos con fuego de una unidad de elaboración	Equipos con fuego de la misma unidad	6. Medidos de borde a borde
Ídem, ídem	Equipos sin fuego de la misma unidad	10
Unidades de elaboración donde se trabaja con fuego	Unidades de elaboración donde se trabaja con o sin fuego	En recuadros separados por calle
Casa de calderas-usinas	Cualquier unidad de elaboración	30
Central de incendios	Cualquier unidad de elaboración	30
Edificios de envasados y almacenamiento de productos envasados	Cualquier unidad de elaboración	15
Casa de bombas principales	Cualquier unidad de elaboración	15
Plantas de gas, GLP, gasolina, etc.	Cualquier unidad de elaboración con fuego	En recuadros separados por calle
Gasómetros de alta o baja presión. Tanques de almacenamiento de GLP	Cualquier unidad de elaboración sin fuego	Ídem, ídem 20
Piletas principales de recuperación	Cualquier unidad de elaboración	30
Cargadero de camiones y vagones	Cualquier unidad de elaboración	30
Chimenea de emergencia	Cualquier unidad de elaboración	50
Chimenea de combustión	Cualquier unidad de elaboración	50

Tabla n°16: Distanciamiento mínimo entre equipos. (Ley 13.660, 2021).

7.3.2.2 Zona II

Esta zona hace referencia al área donde se encuentran los tanques de almacenamiento, ya sea, de materia prima, productos intermedios o finales. Siguiendo con la Ley mencionada anteriormente, refiriéndose en este caso al Art 322 además de las distancias mínimas entre sí, cualquier tanque deberá estar distanciado:

- Del límite de concesión: $\frac{1}{2}$ diámetro, con un mínimo de 15 metros.

- De los caminos públicos: 1 diámetro, con un mínimo de 15 metros.
- De las vías férreas generales: 1 diámetro y $\frac{1}{2}$, con un mínimo de 45 metros.
- De las casas habitación e instalaciones industriales vecinas: 2 diámetros del tanque mayor.
- De los bosques circunvecinos: en una extensión de 150 metros.

Por otro lado, se debe tener en cuenta, que cada tanque deberá estar contenido en recintos de hormigón que contengan un volumen equivalente a 1,1 (Capacidad del tanque)

7.3.2.3 Zona III

Esta zona está destinada a los servicios auxiliares presentes en la planta, y se detallara las distancias mínimas según es mencionado en el Art 248 de la Ley 13.660:

- Distancia mínima entre instalaciones donde se manipulen o almacenen hidrocarburos y edificios donde existan fuegos. (Distancia recomendada de 30 metros).
- Distancia mínima entre instalaciones donde se manipulen hidrocarburos y edificios donde no existan fuegos. (Distancia recomendada de 10 metros).

7.4 Puesta a tierra

Es un mecanismo de seguridad que se aplicara a las instalaciones eléctricas y consiste en conducir eventuales desvíos de la corriente hacia la tierra, impidiendo que dicha corriente entre en contacto con el ambiente y las personas. Las instalaciones eléctricas dentro de la planta, se conectarán a tierra para lograr prever lo anteriormente mencionado.

Para llevar a cabo este sistema será necesario el empleo de dos elementos fundamentales, la tierra, que es el terreno donde se va a disipar las pertinentes energías o electricidad, y la puesta a tierra propiamente dicha. La conexión o instalación de este sistema se compone de electrodos o jabalinas, los bornes de puesta a tierra, la línea de enlace con la tierra y, por último, los conductores de protección.

Como se menciona en la Ley N°13.660 en el Art 336, para el caso de los tanques metálicos, estos deberán ser conectados a tierra con el número de tomas que determine la Autoridad Competente. El diseño de esta toma será tal que se ponga

en contacto la unidad de proteger con una capa de terreno donde la humedad relativa sea permanentemente superior al 50%.

7.5 Pararrayos

Como lo menciona la Ley N°13.660 en el Art 251, los edificios o estructuras cuya altura sobrepase el nivel medio del resto de las instalaciones, serán protegidos con pararrayos.

La planta del presente proyecto, implementara el sistema de pararrayos de protección para las personas, equipos y edificios de eventuales descargas eléctricas atmosféricas.

Para diseñarlos se tomará como referencia las Normas IRAM 2184 y 2426, con las cuales se cuenta con la información necesaria para su construcción, así como también los materiales necesarios para la instalación de sistemas de protección interna y externa contra las descargas atmosféricas.

7.6 Paro de planta

Para contemplar la posibilidad de que ocurran sucesos que puedan provocar la detención del proceso operativo de la planta, es necesario identificarlos, analizarlos y tratar de disminuir esa posibilidad, debido a los inconvenientes que trae asociados.

Pueden darse por cortes en los suministros de energía de la planta, o algún tipo de pérdida en el proceso por ruptura en un equipo o cañería dentro del mismo.

Para prever esto es necesario el diseño de un sistema de evacuación, para conservar el orden en el desalojo de la zona afectada, y contar con un sistema de seguridad complementario de válvulas de seguridad que conforman los sistemas de alivio, que, a su vez, pueden ser utilizados en operaciones de puesta en marcha, purga y otras operaciones.

7.6.1 Sistema de emergencia

El sistema de emergencia se encuentra definido por etapas con las cuales se tienen en cuenta los sucesos antes mencionados:

- Sistema de alarmas a lo largo de la planta.
- Cierre de válvula de alimentación al proceso, que actuara en conjunto con un tanque de almacenamiento (con una capacidad contemplada de 3 veces la producción diaria) que cumplirá la función de almacenar esta alimentación hasta que se solucione el inconveniente.
- En caso de incendio, deberá accionarse el encendido del motor-bomba de la Red contra incendios.

- Paro de equipos y bombas del proceso.
- Verificación de que el cierre de las válvulas de ingreso sea adecuado.
- Contención de los fluidos del proceso en los equipos.
- Espera de la condición de reset.
- Puesta en marcha de la planta.

7.7 Bibliografía

Ley N° 13.660. Seguridad de las instalaciones de elaboración, transformación y almacenamiento de combustibles sólidos minerales, líquidos y gaseosos. (1949). Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-13660-45288>

Ley N°19.587.Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo. (1972). Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-19587-17612/texto>

8. LayOut

8.1 Introducción

A continuación, se realizará un esquema con el fin de representar la distribución de la planta, para mostrar la disposición de los elementos de la misma, ubicación de los equipos, las áreas de almacenamiento, los espacios comunes, pasillos, y calles donde se puede transitar dentro de una instalación productiva. Esto responde a normativas, las cuales nos estipulan las distancias de seguridad, ubicación según el viento entre otras.

8.2 Localización de la planta

La planta de producción de Butadieno, estará ubicada en la periferia de la localidad de Cutral-Có detrás del Parque Tecnológico de dicha ciudad. Las dimensiones del terreno y ubicación se encuentran representadas en el siguiente esquema:



Figura n°24: Ubicación seleccionada del Proyecto (Google Earth, 2021).

Dicho terreno contará con un perímetro y área de 1.187,5 m y 87.519 m² respectivamente.

8.3 Distribución de área en planta

8.3.1 División del proceso de obtención de Butadieno por etapas

El proceso de obtención de butadieno a partir de la deshidrogenación de n-butano presenta tres etapas bien definidas:

- Etapa de acondicionamiento de materias primas.
- Etapa de reacción (donde se produce la deshidrogenación catalítica del n-butano y 1-buteno respectivamente).
- Etapa de reciclaje y purificación del producto principal.

8.3.2 División de áreas

Para la distribución de equipos fueron seleccionadas áreas que son las que se representaran en el esquema, como se observa en la siguiente tabla:

Descripción del Área	Codificación
Almacenamiento	A-100
Acondicionamiento de materia prima	A-200
Intercambiadores	A-300
Reacción	A-400
Deshidratación	A-500
Separación y Purificación	A-600
Purga y Reciclo	A-700
Servicios Auxiliares	A-800
Salas, comedores, baños, laboratorios	Oficinas
Disposición final de efluente	A-900
Zona de despacho	A-1000
Bombas de red contra incendios	A-1100
Tanque de red contra incendios	A-1200

Tabla n°17 : Descripción de Área (Propia, 2021).

8.3.3 Equipos críticos del proceso

Para la definición de las áreas correspondientes, fue necesario tener en cuenta las distancias de seguridad, las cuales dependen de los riesgos que representan los equipos, por lo cual, es necesario definir los equipos críticos del presente proyecto representados en la siguiente tabla:

Equipos Críticos	Área
Horno oxígeno	H-201
Torre de destilación	T-201
Horno calentamiento	H-301
Reactor n-butano	R-401
Reactor 1-buteno	R-402
Torre destilación	T-601
Torre destilación	T-602
Tanque de almacenamiento	TK-101
Tanque de almacenamiento	TK-102

Tanque de almacenamiento

TK-103

Tabla n°18: Equipos críticos del proceso (Propia, 2021).

8.4 Diagrama de interrelaciones entre equipos

Una vez definidas las áreas y los equipos críticos del proceso, se buscará la relación y precauciones que deben realizarse según el grado de peligrosidad que existe entre sí.

Esto permitirá obtener una aproximación estimada para obtener una primera distribución, que luego se revalidará, utilizando diagramas de distancias mínimas recomendadas.

	<i>Interrelación</i>		<i>Tipo</i>				<i>Acción</i>
	Entre	Tipo	Muy Fuerte	Fuerte	Promedio	Débil	
H-201	Todos	Seguridad	X				Distanciar H-201 de todos los equipos y alrededores
H-201	Área de tanques	Seguridad	X				Mantener tanques de producción y materias primas lejos de zona de alta presión y temperatura
H-201	R-401 R-402	Proceso	X				Distanciar H-201 de todos los equipos y alrededores
T-201	Q-R-201 Q-C-201	Conexión				X	Caudal de bombeo sin problema
T-201	R-401 R-402	Proceso		X			Equipos con alta presión y temperatura
H-301	Todos	Seguridad	X				Distanciar H-301 de todos los equipos y alrededores
H-301	R-401 R-402	Proceso	X				Distanciar H-301 de todos los equipos y alrededores

H-301	Área de tanques	Seguridad	X		Mantener tanques de producción y materias primas lejos de zona de alta presión y temperatura	
R-401	Área de tanques	Seguridad	X		Mantener tanques de producción y materias primas lejos de zona de alta presión y temperatura	
R-402	Área de tanques	Seguridad	X		Mantener tanques de producción y materias primas lejos de zona de alta presión y temperatura	
T-601	R-401 R-402	Proceso		X	Equipos con alta presión y temperatura	
T-601	Q-R-601 Q-C-601	Conexión			X	Caudal de bombeo sin problema
T-602	R-401 R-402	Proceso		X		Equipos con alta presión y temperatura
T-602	Q-R-601 Q-C-601	Conexión			X	Caudal de bombeo sin problema

Tabla n°19: Interrelaciones entre equipos críticos (Propia, 2021).

TK - 101A	-																			
TK - 101B	10,5	-																		
TK - 102A	10,5	10,5	-																	
TK - 102B	10,5	10,5	6	-																
TK - 103A	10,5	10,5	6	6	-															
TK - 103B	10,5	10,5	6	6	6	-														
H - 201	60	60	60	60	60	60	-													
H - 301	60	60	60	60	60	60	NM	-												
R - 401	45	45	45	45	45	45	45	45	-											
R - 402	45	45	45	45	45	45	45	45	15	-										
T - 201	45	45	45	45	45	45	45	45	15	15	-									
T - 601	45	45	45	45	45	45	45	45	15	15	15	-								
T - 602	45	45	45	45	45	45	45	45	15	15	15	15	-							
Of.	60	60	60	60	60	60	30	30	60	60	60	60	60	-						
Lab.	60	60	60	60	60	60	30	30	60	60	60	60	60	NM	-					
Alm.	60	60	60	60	60	60	30	30	60	60	60	60	60	NM	NM	-				
Est.	60	60	60	60	60	60	30	30	60	60	60	60	60	NM	NM	NM	-			
Com.	60	60	60	60	60	60	30	30	60	60	60	60	60	NM	NM	NM	NM	-		
Desp.	45	45	45	45	45	45	60	60	45	45	45	45	45	NM	NM	NM	NM	NM	-	
	TK - 101A	TK - 101B	TK - 102A	TK - 102B	TK - 103A	TK - 103B	H - 201	H - 301	R - 401	R - 402	T - 201	T - 601	T - 602	Ofc.	Lab.	Alm.	Est.	Com.	Desp.	

Figura n°26: Distancias Mínimas entre equipos de la Planta Butadieno (Propia, 2021).

8.5.1 Distancias entre tanques

Específicamente los tanques tienen su propia especificación para el distanciamiento entre sí, la cual se encuentra reglamentada según el diámetro y el tipo de tanque con el que se almacenara las sustancias.

Para el caso del presente proyecto, se emplearán tanques esféricos, debido a que, los productos, subproductos, y la materia prima se manipulan de forma gaseosa y serán almacenados bajo presión. Este tipo de tanques tiene una especificación de distanciamiento de 1,5 multiplicado por el diámetro del tanque, con un valor mínimo de 100' de diámetro.

Para establecer la distancia entre tanques, es necesario conocer el diámetro de cada uno de los tanques existentes en la planta, donde se evaluó una capacidad hecha para almacenar hasta 2 veces la alimentación diaria detallada en el cálculo de balance de materia y fueron calculados a través del simulador modular secuencial HYSYS V7.3, y donde se contará con un tanque idéntico para cada diseño, ya que, se tiene en cuenta la cantidad de cortes y protestas que existen en la zona aledaña.

Tanque	Descripción	Diámetro(m)	Diámetro de diseño (m)	Distancia entre tanques (m)
TK-101 A	Tanque de almacenamiento de materia prima	6,83	7,00	10,50
TK-101 B	Tanque de almacenamiento de materia prima	6,83	7,00	10,50
TK-102 A	Tanque de almacenamiento de iso-butano	3,68	4,00	6,00
TK-102 B	Tanque de almacenamiento de iso-butano	3,68	4,00	6,00
TK-103 A	Tanque de almacenamiento de butadieno	3,89	4,00	6,00

TK-103 B	Tanque de almacenamiento de butadieno	3,89	4,00	6,00
----------	---------------------------------------	------	------	------

Tabla n°20: Diámetros y distanciamiento entre tanques.**8.5.2 Diseño de recintos de tanques**

Una vez establecida la distancia mínima de requerida por los tanques, se calculará las medidas del recinto que contendrá cada depósito.

Cada recinto deberá cumplir con las siguientes características:

- No deben superar los 1,80 m de altura.
- Deben ser construidos a base de hormigón.
- El volumen del recinto debe contener el volumen del tanque más el 10%

Tanque	Volumen de tanque (m ³)	Volumen de recinto teórico (m ³)	Diámetro tanque (m)	Largo de recinto (m)	Ancho de recinto (m)	Alto de recinto (m)	Volumen de recinto diseñado (m ³)
TK-101 A	179,59	197,55	7,00	11,00	11,00	1,65	199,65
TK-101 B	179,59	197,55	7,00	11,00	11,00	1,65	199,65
TK-102 A	33,51	36,86	4,00	5,00	5,00	1,50	37,50
TK-102 B	33,51	36,86	4,00	5,00	5,00	1,50	37,50
TK-103 A	33,51	36,86	4,00	5,00	5,00	1,50	37,50
TK-103 B	33,51	36,86	4,00	5,00	5,00	1,50	37,50

Tabla n°21: Diseño de los recintos para cada tanque.**8.6 Red contra incendios y puntos de encuentro**

Como se mencionó en el capítulo anterior, para la protección activa de la planta, se realizó el cálculo de extintores de fuego por área y se concluyó en el empleo de una red contra incendios a lo largo del proceso, dicha red nace de un tanque de almacenamiento en el área A-1100 para ser impulsada por las bombas del área A-1200 con las cuales se alimentara y llenara por completo, ubicada de tal manera que

se puede abastecer de agua la totalidad de las aras del proceso, sacando monitores de manera estratégica, y con la colocación de hidrantes en la zona de oficinas.

Por otro lado, también se establecieron los puntos de encuentro ante una posible emergencia, según lo rige la Ley Nacional N° 13.660, que se ubicaran en los extremos sur oeste de la planta donde se encuentra la entrada de la planta y da acceso directo a una calle de circulación y en el extremo noreste, como salida de emergencia hacia una picada a campo abierto.

8.7 Distribución de áreas de la planta

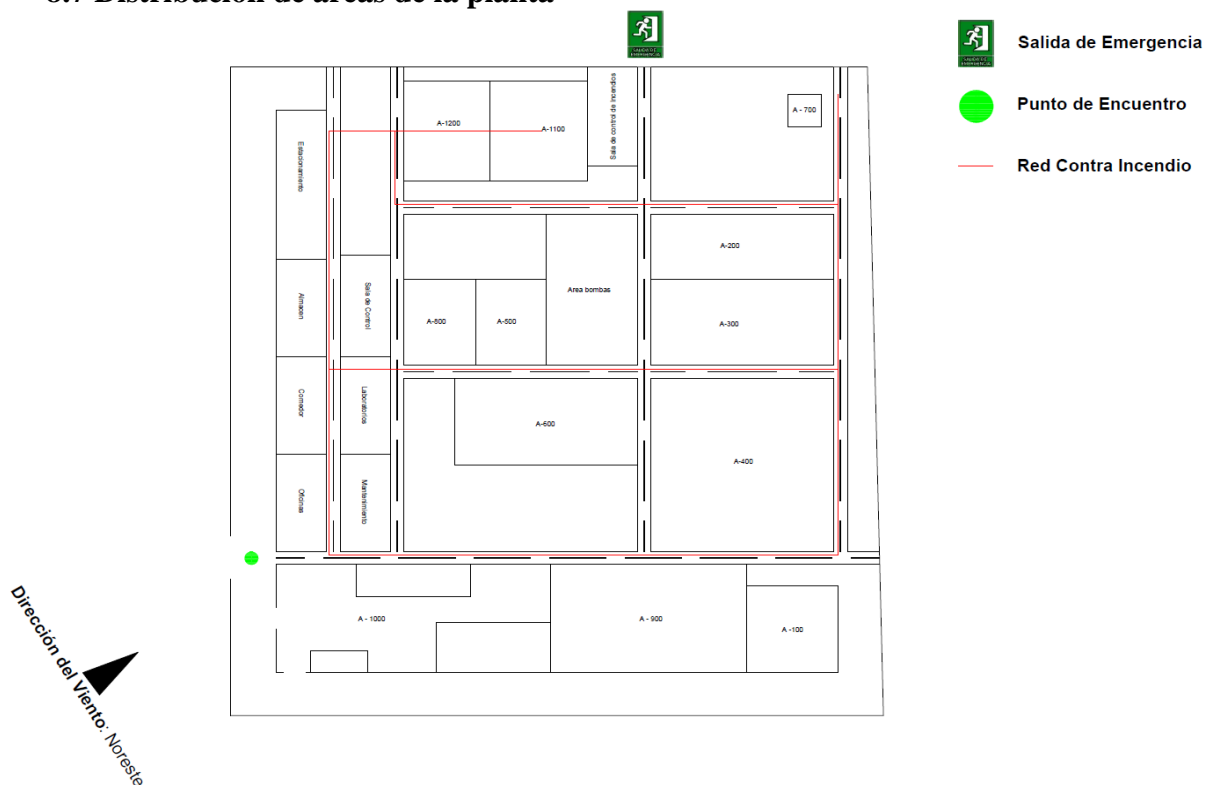


Figura n°27: LayOut General de la Planta Butadieno (Propia, 2021).

8.8 Descripción del LayOut

Como se puede observar en la Figura n° la orientación del viento es en dirección Noreste, por ende, la ubicación de la antorcha se selecciona en base a dicho factor, donde los equipos colindantes a él se ubican a 60 metros.

La torre de destilación T-201 se encuentra a una distancia de 45 metros con respecto al horno H-201 y a 20 metros de los intercambiadores de calor (A-300).

Los reactores R-401 y R-402 se ubican a 15 metros entre sí, y a 60 metros de distancia de los hornos H-201 y H-301, los cuales son los equipos más críticos de la planta.

La zona de intercambiadores del área 300 cuenta con 2 intercambiadores de calor separados entre sí a 7 metros de distancia y a 8 metros del rack de tuberías. A su vez, se encuentran separados a 43 metros del H-301.

La torre absorbidora y de purificación del butadieno T-601 y T-602 respectivamente se encuentran a una distancia de 15 metros entre sí.

Los tanques de almacenamiento, tanto de materia prima, como de productos intermedios y finales fueron diseñados para estar contenidos en un recinto el cual es capaz de soportar el volumen del tanque más un 10% extra. La distancia entre ellos varía según su diámetro, donde los que almacenan la materia prima están a 10.5 metros de distancia de los demás tanques y los de productos tanto intermedio como final se ubican a una distancia de 6 metros.

Se destina un sector para el abastecimiento y monitoreo de la red contra incendio (Línea Roja en LayOut) que cuenta con un tanque de almacenamiento, el cual, se encuentra a una distancia de 20 metros de las bombas que impulsaran el agua necesaria para satisfacer dicha red.

La zona destinada al área de oficinas, laboratorio, almacén, depósito, etc. se encuentra alejada de la zona de mayor riesgo de proceso y cercana al acceso principal de la planta.

El predio cuenta con una salida de emergencia (Figura Representativa en LayOut) por cualquier contingencia y con una entrada/salida para cualquier actividad de mantenimiento que requiera la presencia de vehículos de gran aporte. A su vez, cuenta con un punto de encuentro (Punto verde en el LayOut) en el acceso principal del mismo.

8.9 Distribución de equipos de la Planta



Figura n°28: LayOut Detallado de la Planta Butadieno (Propia, 2021).

Como se detalla en la figura n° los equipos se distribuirán dentro de cada área de la siguiente disposición.

En el Área 100 se encuentra los tanques de almacenamiento tanto de materia prima como de productos intermedios y finales, destinándose dos tanques para cada producto. Dentro del Área 200 se localiza la columna de destilación (T-201) y el horno para el calentamiento del oxígeno (H-201). Siguiendo con el Área 300, donde estarán presente dos intercambiadores de calor (E-301 y E-302) y el restante horno (H-301).

Los reactores (R-401 y R-402) se ubicaran en el Área 400, mientras que el Área 500 se destina para el separador Bifásico (V-501) y dos intercambiadores de calor (E-501 y E-502). El Área 700 contara con el Flear para la quema de los combustibles que no serán procesados en el proceso.

En el Área 900 se situaran los siguientes equipos, Contactor Biológico Rotativo, Filtro de Arena Lento y Laberinto de Cloración. Por último, el Área 1000 y 1100 contarán con un tanque destinado al almacenamiento del agua para abastecer la red contra incendios y las bombas que impulsaran dicho fluido respectivamente.

8.10 Bibliografía

Plant Layout. (1977). McGraw-Hill.

Garrido, J. J. (2021). *Diagramas de Proceso, Instrumentación y Control*.

Universidad Tecnológica Nacional, Integración V, Cutral-Có.

Moran, S. (2017). *Process Plant Layout* (Segunda ed.). Butterworth-Heinemann.

9. Ingeniería Básica e Ingeniería de Detalle

La ingeniería de Detalle se encuentra dentro del ciclo de vida clásico de un Proyecto de Ingeniería, de la cual, se encarga el contratista de diseño. Este concepto es la etapa final de un proyecto de ingeniería, donde se desarrolla el diseño detallado de los equipos que forman parte del proceso en cuestión, teniendo en cuenta toda la documentación técnica necesaria para la construcción y montaje, desde el punto de vista técnico, económico, temporal y legal.

Los entregables que forman parte de ella son:

- Planos.
- Memorias de cálculos.
- Especificaciones técnicas.
- Manuales de operación y mantenimiento.

Esta información se entrega al contratista para un correcto trabajo.

Como se mencionó en la ingeniería de detalle, la ingeniería básica también forma parte de lo que se denomina el ciclo de vida clásico de un proyecto de ingeniería.

Esta ingeniería es la fase en donde se lleva a cabo la alternativa seleccionada, como también, se establecen las dimensiones generales, programación de etapas constructivas, etc.

Los entregables que forman parte de una ingeniería básica son los siguientes:

- Especificaciones técnicas.
- Criterios de diseño.
- Estudios técnicos (Códigos y normas vigentes).
- Bases de diseño.

Estos son algunos de otros tantos entregables que pueden ser brindados al contratista de diseño.

Un ciclo de vida clásico de un proyecto de ingeniería se conforma de la siguiente manera.

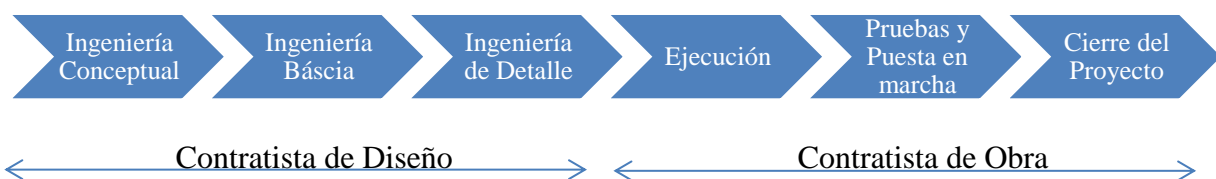


Fig.nº29: Ciclo detallado de un proyecto de ingeniería.

Tanto la ingeniería básica como la de detalle se fundamentan en base a la triple restricción, las cuales son: Tiempo, Costo y Alcance/Calidad.

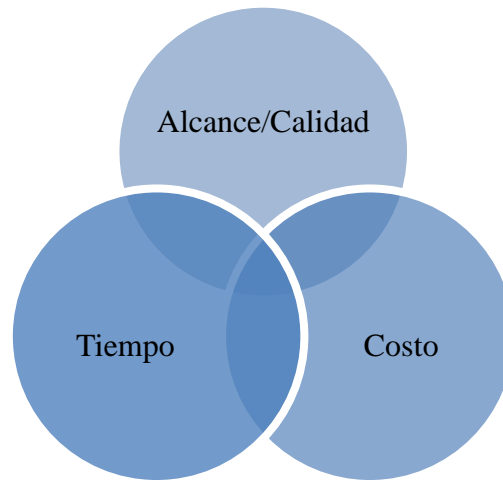


Fig.nº30: Triple restricción de un proyecto de ingeniería.

9.1 Intercambiador de Calor

9.1.1 Características Generales

Un intercambiador de calor es un dispositivo cuya función es la transferencia de calor de un fluido a otro de menor temperatura, como también, entre la superficie de un sólido y un fluido en movimiento, por ende, los mecanismos de transferencia que se dan en estos tipos de equipos son Convección y Conducción. Vale aclarar que el calor solo se transfiere en una sola dirección que es desde el fluido de mayor temperatura al de menor temperatura.

Estas operaciones tienen por objeto producir el calentamiento o enfriamiento de una corriente de proceso (Participan en el balance de masa de la planta), o modificar su estado físico en operaciones de evaporación o condensación.

Es necesario que entre ambos fluidos exista una diferencia de temperatura entre ellos y que estén separados por una superficie a través de la cual pueda transferirse el calor, dicha área recibe el nombre de área de transferencia. Mientras mayor sea dicha diferencia o área mayor será la cantidad de calor que pueda transferirse entre ellos.

9.1.2 Tipos de Intercambiadores de Calor

9.1.2.1 Intercambiadores de Calor de Doble Tubo

Estos equipos se utilizan cuando se requiere de bajas velocidades de transferencia de calor, las partes principales que lo componen son, unión en U para conectar los fluidos que circulan por los tubos internos, prensaestopas y Te para conectar los fluidos que circulan por el tubo anular, como se puede apreciar en la siguiente imagen.

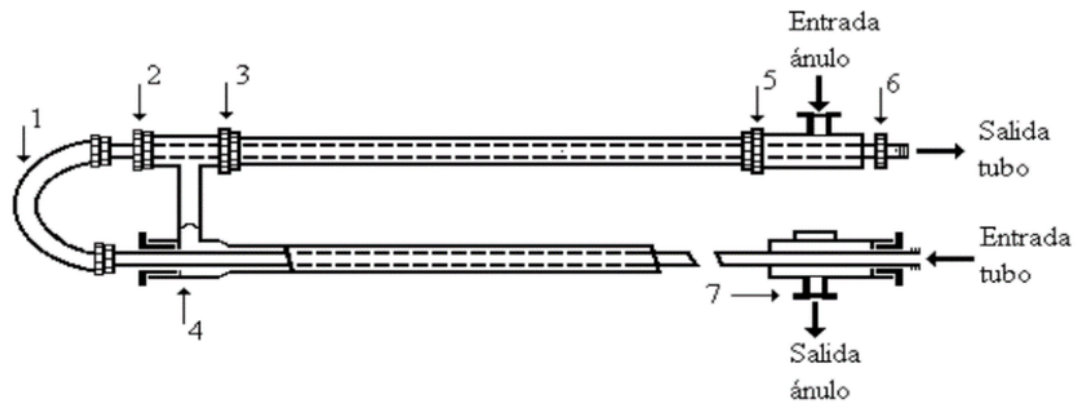


Fig.nº31: Intercambiador de calor de doble tubo (*Kern, D. (1968)*).

Para determinar que fluido pasa por el ánulo y cual por el interior, se debe observar los tamaños relativos de áreas de flujo, que fluido ensucia más (el más sucio va por el interior debido a la facilidad de limpieza), como los coeficientes de transferencia de calor que presenta cada uno (el más bajo va por el lado que más velocidad produzca).

Este equipo se ensambla habitualmente en longitudes efectivas de 12, 15 o 20 pies, siendo esta la distancia en cada rama sobre la que ocurre la transferencia de calor y excluye la prolongación del tubo interior después de la sección de intercambio.

La ventaja principal es que es fácil de desmontar, a su vez cuando opera en contracorriente se logran rendimientos mayores. Su desventaja es la pequeña superficie de transferencia de calor y la alta posibilidad de fugas en los empalmes.

9.1.2.2 Intercambiadores de Calor de Tubo y Coraza

Estos equipos se utilizan cuando se requieren de grandes transferencia de calor, como también son los más utilizados en la industria química por su gran facilidad de limpieza y mantenimiento. En base a su diseño, se adaptan para cumplir con cualquier aplicación.

Se componen de dos partes bien diferenciadas, un haz tubular o serpentín, los cuales, atraviesan los deflectores. Luego los tubos se fijan a la placa porta tubos, ya sea por expansión del tubo contra el agujero de la placa o por soldadura. Suele soldarse una varilla a lo largo del haz tubular con el fin de evitar el movimiento de las placas deflectoras, como también, para aportarle una mayor solides a la estructura de los serpentines. La otra parte, es la carcasa o coraza, donde va introducido el haz tubular. En ellas se colocan la toma o bocas de entrada y salida.

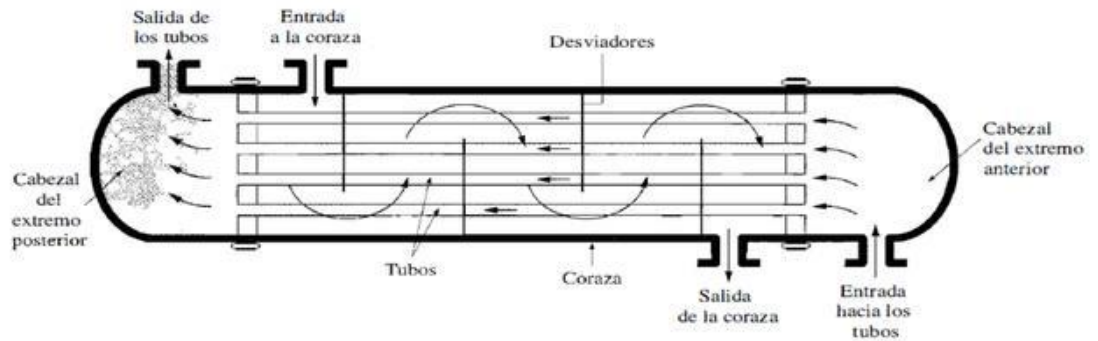


Fig.nº32: Intercambiador de calor de tubo y coraza (*Kern, D. (1968)*).

A su vez, estos equipos se clasifican según su haz de tubos en:

- Haz de tubos fijos: Contienen los dos extremos de los tubos fijos a la carcasa, por ende, no se pueden desarmar para su limpieza o inspección.
- Haz de tubos removible: Contienen un solo extremo de los tubos sujeto a la carcasa, por lo que, permite el acceso a la parte exterior de los tubos para realizar la limpieza de los mismos.

9.1.2.3 Intercambiadores de Calor de Placas

Estos equipos presentan un paquete de placas de metal primordialmente corrugadas y provistas de orificios de paso para los dos fluidos. Su diseño está asentado en sustituir las superficies tubulares por superficies planas con ciertas rugosidades, para provocar una turbulencia en el fluido y así aumentar la eficiencia en la transferencia de calor.

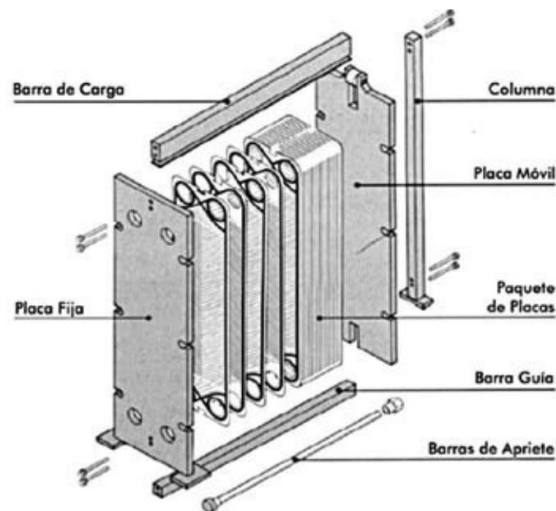


Fig.nº33: Intercambiador de calor de placas (*Kern, D. (1968)*).

Estos tipos de intercambiadores pueden clasificarse según el método usado en el sellado de las placas en:

- Intercambiadores de placas con juntas.
- Intercambiadores de placas termo soldados.

- Intercambiadores de placas enteramente soldados.

9.1.3 Criterios de Diseño:

Como se mencionó anteriormente, estos equipos son empleados para que las corrientes logren la temperatura deseada con el máximo ahorro de energía posible. Por lo que, su eficiencia depende de una buena metodología de diseño y una apropiada selección de los materiales para su construcción, para lograr una óptima eficiencia se debe tener de ante mano las condiciones de operación del equipo, el ensuciamiento y corrosión que pueden causar los fluidos en cuestión, como también, las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales para su construcción.

9.1.4 Elección del Tipo de Intercambiador de Calor

Se tuvieron en cuenta los siguientes factores para la correcta elección del tipo de intercambiador para el proyecto en cuestión, los cuales son:

- Temperatura y presión de trabajo de los fluidos.
- Caudales de los fluidos.
- Estado de agregación de los fluidos.
- Pérdidas de presión admisibles.
- Posibilidades de ensuciamiento del equipo.
- Espacio disponible para la disposición y factor económico.
- Acción corrosiva de los fluidos.

Por lo tanto, para este proyecto se elegirá un intercambiador de tubo y coraza para el diseño detallado del mismo.

Para el diseño de estos equipos se deben tener en cuenta ciertas normas, en Argentina no existe un código que detalle como debe ser dicha construcción, pero habitualmente se rigen por el código ASME (American Society of Mechanical Engineers) para el diseño de recipientes o equipos a presión, específicamente la sección VIII relativa a recipientes a presión (División 1), donde se establecen las normas mínimas de construcción, mientras que, para el diseño de los tubos, se rigen por la norma ANSI B31.3.

Como complemento al código ASME, se encuentran las normas TEMA (Tubular Exchangers Manufacturers Association), las cuales especifican las características mecánicas y térmicas de las condiciones de funcionamiento. Estas normas definen tres clases de intercambiadores de calor del tipo tubo y coraza, y son:

- Clase R: Su diseño busca el máximo de confiabilidad y durabilidad en condiciones de servicio rigurosas (Ej.: Industria petrolera).
- Clase C: Su diseño es adecuado para condiciones de servicio definidas como “usualmente moderadas” (Ej.: Aplicaciones comerciales y de procesos de propósito general).
- Clase B: Su diseño es apropiado para la industria química de procesos.

Los intercambiadores de las clases C y B están diseñados buscando lograr un equipo más compacto y económico que los de la Clase R. Los tres tipos de clases presentan las siguientes limitaciones:

- Presión ≤ 207 bar (3.000 psi).
- Diámetro interno de la carcasa $\leq 1,524$ mm (60 in).
- Relación Presión * Diámetro interno de la carcasa ≤ 105.000 mmbar (60.000 inpsi).

A su vez, las normas TEMA proporcionan una codificación que permite describir un tipo de intercambiador valiéndose de tres letras. La primera letra designa al cabezal anterior o cabezal de entrada, la segunda letra se refiere al tipo de carcasa y la tercera letra designa al cabezal de retorno o cabezal posterior.

Para una descripción completa de estos equipos se sigue el orden de: Diámetro interno de la carcasa/longitud de tubos XXX (Equivalen a las tres letras mencionadas). El diámetro interno de la carcasa debe estar en milímetros y la longitud de los tubos depende del tipo, si son en U, se calculan desde el extremo hasta la tangente que pasa por el fondo de la “U”, en caso contrario, se toma sencillamente la longitud de los tubos.

La elección de cada parte del equipo depende principalmente de algunos factores, como pueden ser, la facilidad de limpieza tanto del equipo como de los tubos internos, prevención de empaaduras en las juntas internas y fundamentalmente de la función a llevar a cabo.

A continuación se observa la figura que ilustra las letras correspondientes para una correcta descripción, según lo pacta la norma mencionada.

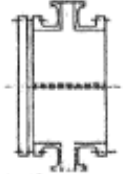

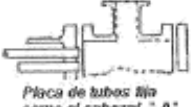
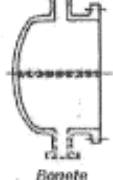
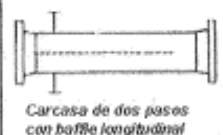
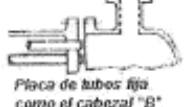

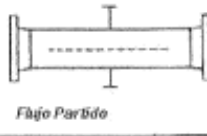


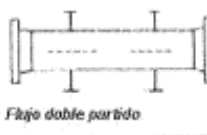

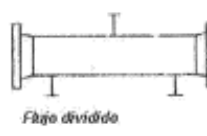

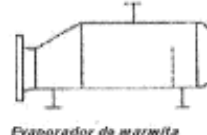

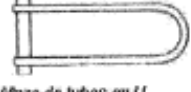
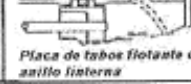
	Cabezal anterior Tipos de cabezales esta- cionarios	Tipos de carcasa	Tipos de cabezal posterior
A	 Canal con tapa	E  Carcasa de un paso	L  Placa de tubos fija como el cabezal "A"
B	 Bonete	F  Carcasa de dos pasos con bafle longitudinal	M  Placa de tubos fija como el cabezal "B"
C	 Sólo para brazo extraíble Sólo para Placa tubu- lar fija Canal integrado a la placa tubular con tapa	G  Fajo Partido	N  Placa de tubos fija como el cabezal "C"
D	 Cierre especial para alta presión	H  Fajo doble partido	P  Cabezal con empacadura externa
		J  Fajo dividido	S  Cabezal flotante con dispo- sitivo de respaldo
		K  Evaporador de marmita	T  Cabezal flotante de arrastre
			U  Mazo de tubos en U
			W  Placa de tubos flotante con anillo interna

Fig.n°34: Norma TEMA ((Kern, D. (1968)).

9.1.5 Elección de la trayectoria de cada fluido

Existe una regla básica para definir que fluido circula por los tubos y cual por la coraza, debido a que es un factor importante para lograr una mejor transferencia de calor y una mayor vida útil del equipo, la cual es:

- El fluido de mayor presión va en los tubos.
- El fluido más corrosivo va en los tubos, ya que, se minimiza el uso de metalúrgica más noble.
- El fluido más sucio va en los tubos, debido a la facilidad de la limpieza mecánica.
- El fluido de menor pérdida de presión va en la coraza.

9.1.6 Partes principales de los intercambiadores de calor de Tubo y Coraza

9.1.6.1 Tubos

Los tubos empleados en la construcción de intercambiadores de calor normalmente responden a las normas dimensionales BWG, siendo los más habituales los de ¾” y 1” de diámetro externo. No resulta aconsejable la utilización de tubos de más de 6 metros de longitud, ya que, la construcción del equipo se hace más dificultosa y también, dificulta las operaciones de limpieza.

Los materiales más comúnmente empleados en la fabricación de tubos son los aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidable, cobre, bronce, níquel y sus aleaciones, pero en aplicaciones donde los medios son muy agresivos, se opta por materiales como titanio, grafito o vidrio.

Como se mencionó anteriormente, los tubos se rigen bajo la normas BWG, dicha norma sugiere diámetros internos, como así también espesores de la pared del tubo en función del diámetro externo elegido. Al espesor sugerido se le debe agregar un sobre espesor por corrosión, el cual, dependerá de los fluidos manejados y del material de los tubos.

Se llama arreglo a la disposición geométrica de los tubos en la placa tubular, por lo que, un arreglo de tubo, queda definido por su tipo, por el diámetro de los tubos y por el paso. Los cuales se clasifican en arreglo en cuadro o arreglo triangular, por lo general, estos últimos permiten lograr mayores coeficientes de transferencia y presentan mayor caída de presión con respecto a los primeros. Los arreglos en cuadro ofrecen la ventaja de permitir efectuar la limpieza del lado exterior de los tubos en forma mecánica. Una forma rápida para la elección del tipo de arreglo puede ser mediante el valor del factor de ensuciamiento, si dicho valor es mayor a 0.0002 ft²-°F/Btu se opta por arreglo en cuadro y si es menor, triangular.

9.1.6.2 Pitch

Este término se lo define como el espacio entre centro a centro dentro de los tubos, los cuales pueden encontrarse en alguno de los arreglos mencionados anteriormente.

9.1.6.3 Placa de tubos

La placa de tubos o también llamada placa porta tubos son placas perforadas y acondicionadas con el objetivo de soportar los tubos, barras espaciadoras, entre otras. Generalmente son construidas de acero de bajo carbono y presenta una capa delgada de aleación metalúrgica anticorrosiva, ya que, deben soportar el ataque

corrosivo por parte de ambos fluidos. También deben ser químicamente compatibles con el material de los tubos.

9.1.6.4 Numero de pasos

El número de paso se define como la cantidad de veces que el fluido cambia de dirección al circular por el interior de los tubos. Habitualmente estos equipos presentan números de pasos igual a 1, 2, 4, 6 u 8.

9.1.6.5 Coraza

La coraza es el recipiente donde circulara el fluido externo, presenta una sección transversal circular, la cual, generalmente es de acero de bajo carbono, sin embargo, pueden construirse de otras aleaciones cuando se presentan altas temperaturas o alta posibilidad de corrosión.

Para el cálculo del diámetro se debe tener en cuenta la disposición y el diámetro externo de los tubos, el pitch, el número de pasos y de tubos. Mientras que el diámetro de la coraza es función del número de tubos estándar. Por último, el espesor se calcula bajo el código ASME, el cual, brinda las formulas correspondientes.

9.1.6.6 Deflectores

Los deflectores también son conocidos como baffles, donde su objetivo principal es orientar el movimiento del fluido en la dirección perpendicular al eje de los tubos para lograr un estado turbulento del fluido y así lograr mayores coeficientes de transferencia de calor. También cumplen la función de soportar a los tubos.

La separación entre deflectores de centro a centro se lo denomina espaciado de deflectores y son de suma importancia, ya que, mientras más juntos se encuentren, tanto menor será el área de flujo por la que tiene que pasar el fluido de la coraza y se alcanzarán mayores velocidades, produciendo un aumento en la pérdida de carga.

Las normas TEMA establecen un mínimo de separación que debe ser igual a 1/5 del diámetro de la coraza, ni tampoco, debe usarse una separación menor a 2 pulgadas.

Los tipos de deflectores más comunes son:

- Deflectores segmentados: Son hojas de metal perforadas donde su altura es generalmente un 75% del diámetro interior de la coraza. Este tipo de deflectores se lo conoce como deflectores con 25% de corte y no es esto lo que determina la velocidad efectiva del fluido sino el espaciado del deflector.

- Deflectores de disco y corona: Presentan una segmentación doble, generalmente cuando la caída de presión del lado de la coraza es elevada se opta por este tipo de deflector, gracias a que reducen considerablemente dicha pérdida.

9.1.6.7 Cabezal de Distribución

El cabezal de distribución es un bloque similar a la coraza, donde su función es recibir el fluido que circula por el interior de los tubos, en este cabezal, se distribuye y se recolecta el fluido para mandarlo fuera de él.

9.1.6.8 Cabezal de Retorno

El cabezal de retorno tiene como finalidad enviar el fluido fuera del intercambiador de calor cuando se cuenta con un solo paso por el lado de los tubos.

Se clasifica en tres clases:

- Fijo: La carcasa y el exterior de los tubos del haz no pueden ser limpiados por método mecánicos ni ser inspeccionados físicamente.
- Flotante: Presentan una gran accesibilidad para limpieza, inspección, mantenimiento y reparación.
- Haz tubos en U: Presentan una gran dificultad para llevar a cabo la limpieza mecánica por el interior de los tubos.

9.1.7 Calculo detallado del Intercambiador de Calor

9.1.7.1 Método de Kern

Este método se lo utiliza como primera instancia para una aproximación al diseño detallado, debido a que puede presentar errores muy elevados pero no deja de ser una estimación confiable para el estudio de factibilidad o preliminar. Luego se recurre al uso de un método más preciso, el cual, será un software llamado "HTRI, donde se tendrán en cuenta los valores arrojados por la primera estimación mencionada.

El método de Kern es uno de los más conocidos y populares, es de uso muy frecuente para el diseño de intercambiadores de calor. Hay factores que afectan al diseño de estos equipos y que no son considerados por dicho método, los cuales son:

- Caudales de bypass y fugas.
- Distribución de tubos.
- Efectos de distorsión de los perfiles de temperatura.

Pero existen distintas correlaciones para perfeccionar el cálculo y así poder tener en cuenta dichos factores.

Como se viene mencionando, el intercambiador de calor a diseñar es de tubo y coraza, el cual presenta las siguientes características:

- 1 Paso por coraza y 2 pasos por tubos.
- Tubos en U, con un diámetro externo de 1” dimensionados según la norma BWG 14.
- Arreglo en cuadro.
- Según la norma TEMA será un intercambiador del tipo BEM, se escogió este tipo de cabezal posterior porque permite la limpieza mecánica de los tubos.

Vale aclarar que todas las propiedades de los fluidos a tratar, como las propiedades operativas fueron extraídas del software Hysys V9.

Los criterios a tener en cuenta para seleccionar de forma correcta que fluido ira por la coraza y cual por los tubos son los mencionados en el ítem 9.1.5. Considerando esos factores, el fluido que ira por los tubos será el producto frio proveniente del separador bifásico, el cual, presenta compuestos orgánicos en estado gaseoso, mientras que por la coraza ira el vapor de agua para lograr el objetivo de calentar dicha corriente fría de 12.96°C a 72°C.

Se comienza el cálculo definiendo las características constructivas del intercambiador de calor:

Características constructivas

Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
d_i	Diámetro interno de los tubos	0,834	in
D_o	Diámetro externo de los tubos	1,000	in
D_s	Diámetro interno de la coraza	10,000	in
N_t	Numero de tubos	25	
n_p	Numero de tubos por paso	13	
B	Espaciado de los Deflectores	13,8	in
P_t	Espaciado de los tubos	1,00	in
	Arreglo de tubos	Cuadrado	
L	Longitud de tubos	6,0	ft
C'	Espaciado entre tubos	0,25	in
n	Numero de pasos en los tubos	2	

Tabla n°22: Características constructivas del equipo.

Luego las propiedades operativas y fisicoquímicas de los fluidos en cuestión:

Intercambiador de Calor

Fluido Caliente (Agua) → Coraza			
Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
W_s	Caudal Másico	2.113	lb/hr
T_1	Temperatura Entrada	392,00	F
T_2	Temperatura Salida	240,40	F
C_c	Capacidad Calorífica	0,4680	Btu/lb-F
k	Conductividad Térmica	0,0193	Btu/hr-ft-F
u	Viscosidad	0,0390	Lb/ft-h
ρ	Densidad	0,0565	lb/ft ³
Fluido Frio (Orgánicos) → Tubos			
Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
w_s	Caudal Másico	3.545	lb/hr
t_1	Temperatura Entrada	55,33	F
t_2	Temperatura Salida	161,60	F
c_c	Capacidad Calorífica	0,3634	Btu/lb-F
k	Conductividad Térmica	0,0089	Btu/hr-ft-F
u	Viscosidad	0,0194	Lb/ft-h
ρ	Densidad	0,3092	lb/ft ³

Tabla n°23: Propiedades de los fluidos.

Una vez definidas tanto las características constructivas como las propiedades de los fluidos, se procede al cálculo térmico del equipo, mediante el procedimiento de cálculo propuesto por Donald Q. Kern para intercambiadores de calor de tubo y coraza 1-2 en su bibliografía Procesos de Transferencia de Calor.

Procedimiento Térmico			
Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
Q	Calor	136.903	Btu/hr
$DMLT$	Media Logarítmica de la Diferencia de Temperaturas	206,91	F
R	Grupo Temperatura	1,43	
S	Grupo Temperatura	0,32	
F_t	Factor de corrección	0,9200	
ΔT	Diferencia de temperatura corregida	190,3554	F

Tabla n°24: Datos térmicos del equipo.

Luego con las temperaturas promedios se estiman las siguientes propiedades del fluido:

Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
T_p	Temperatura Promedio	316,20	F
t_p	Temperatura Promedio	108,47	F
Datos a T_p			
C_c	Capacidad Calorífica	0,4633	Btu/lb-F
k	Conductividad Térmica	0,0171	Btu/hr-ft-F
u	Viscosidad	0,0284	Lb/ft-h

Datos a t_p			
c_c	Capacidad Calorífica	0,3902	Btu/lb-F
k	Conductividad Térmica	0,0104	Btu/hr-ft-F
u	Viscosidad	0,0214	Lb/ft-h

Tabla n°25: Propiedades del fluido a la temperatura promedio.

Calculo del lado de tubos			
Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
a_t	Área de Flujo por tubo	0,5460	in^2
a_t	Área de Flujo	0,0474	ft^2
G_t	Velocidad másica	74.796	lb/h-ft^2
Re	Numero de Reynolds	242.389	
L/D	Relación Largo - Diámetro	86	
$(Cu/k)^{1/3}$		0,9304	
J_h	Factor para transferencia de calor	600,0	
h_i	Coficiente de Transferencia de Calor	83,4555	$\text{Btu/h-ft}^2\text{-F}$
h_{io}	Coficiente de Transferencia de Calor	69,6019	$\text{Btu/h-ft}^2\text{-F}$
t_{io}	Temperatura de la Pared	261,67	F
u_{io}	Viscosidad a t_{io}	0,0274	Lb/ft-h
$(u/u_{io})^{0,14}$	Relación de Viscosidades	0,9663	
h_{io}	Corregido	67,2569	$\text{Btu/h-ft}^2\text{-F}$

Tabla n°26: Obtención del coeficiente de transferencia de calor del lado tubos.

Calculo del lado de la coraza			
Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
A_s	Área de Flujo	0,24	ft^2
G_s	Velocidad Másica	8.833	lb/h-ft^2
D_{eq}	Diámetro equivalente	0,0228	ft
Re_s	Numero de Reynolds	7.073	
J_h	Factor para transferencia de calor	48	
$(Cu/k)^{1/3}$		0,9169	
h_o	Coficiente de Transferencia de Calor	33,0328	
t_{io}	Temperatura de la Pared	261,67	F
u_{io}	Viscosidad a t_{io}	0,0316	Lb/ft-h
$(u/u_{io})^{0,14}$	Relación de Viscosidades	0,9854	
h_o	Corregido	32,5511	$\text{Btu/h-ft}^2\text{-F}$

Tabla n°27: Obtención del coeficiente de transferencia de calor del lado coraza.

Una vez deducido los coeficientes peliculares del lado interno (h_{io}) y externo (h_o) se calculan los coeficientes total limpio (U_C) y de diseño (U_D) para poder obtener

el factor de obstrucción y así compararlo con el recomendado por la bibliografía, ya que, si el calculado es mayor o igual al requerido significa que el cálculo es correcto.

Calculo de Coeficientes

Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
U_C	Coefficiente total limpio	21,93	Btu/h-ft ² -F
a"	Superficie externa/pie lineal	0,2618	ft ²
A	Área de transferencia de calor	39,27	ft ²
U_D	Coefficiente total de diseño	18,31	Btu/h-ft ² -F
$R_{D,R}$	Factor de Obstrucción requerido	0,0015	h-ft ² -F/Btu
$R_{D,C}$	Factor de Obstrucción Calculado	0,0090	h-ft ² -F/Btu
Condición Requerida	$R_{D,R} \leq R_{D,C}$	Cumple	

Tabla n°28: Valores de los distintos coeficientes del equipo.

Como la condición requerida se cumple, se continúa con el cálculo de caída de presión en ambas partes del equipo.

Calculo de Caída de Presión

Calculo del lado de tubos			
Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
f	Factor de Fricción	0,0001	ft ³ /in ²
s	Gravedad Específica	0,95	
ΔP_t	Caída de Presión Tubos	0,0020	Lb/in ²
V^2/g'		0,0030	Lb/in ²
ΔP_r	Caída de Presión Retorno de Tubos	0,0253	Lb/in ²
ΔP	Caída de Presión Calculada	0,0273	Lb/in ²
ΔP	Caída de Presión Permitida	2,0	Lb/in ²
Condición Requerida	$\Delta P_c < \Delta P_r$	Cumple	
Calculo del lado de coraza			
f	Factor de Fricción	0,0020	ft ³ /in ²
s	Gravedad Específica	0,85	
D_s	Diámetro interno de la coraza	0,8333	ft
N	N° Cruce	5,23	
ΔP_s	Caída de Presión Coraza	0,0007	Lb/in ²
ΔP	Caída de Presión Permitida	2	Lb/in ²
Condición Requerida	$\Delta P_c < \Delta P_r$	Cumple	

Tabla n°29: Caída de presión en ambos lados del equipo.

La condición necesaria para corroborar que el diseño térmico está correctamente definido son las caídas de presión tanto en los tubos como en la coraza, las cuales, deben ser inferior a 2 lb/in², como se observa en la tabla anteriormente presentada, dichas caídas de presión cumplen el requisito. Por lo tanto, se da por finalizado la aproximación del cálculo por el Método de Kern, siendo estos datos los que se utilicen para el diseño preciso del intercambiador de calor en el siguiente ítem.

9.1.7.2 Software HTRI

En este apartado se hará el diseño detallado del intercambiador de calor de tubo y coraza, teniendo en consideración las características constructivas mencionadas, las propiedades de los fluidos a intercambiar calor y el sobre diseño por seguridad, el cual, permitirá cualquier modificación del equipo y seguir logrando el intercambio calórico deseado.

El software designado presenta una extensa cantidad de equipos para su diseño detallado, por ende, se comienza eligiendo la opción “New Shell and Tube Exchange”. Luego se cargan las propiedades termodinámicas tanto del fluido caliente como del frío, dichas propiedades son extraídas de la simulación realizada en el software HYSYS V9, ya que, dichos software son compatibles entre sí.

Una vez cargadas las propiedades termodinámicas se procede a asignar las propiedades de proceso, geometría de los tubos, coraza y baffles en la pestaña correspondiente, quedando de la siguiente forma:

The screenshot displays the HTRI software interface for configuring a shell and tube exchanger. The main configuration area is divided into several sections:

- Case Mode:** Radio buttons for Rating (selected), Simulation, and Design.
- Exchanger Configuration:** A dropdown menu for Exchanger service set to "Generic Shell and Tube".
- Process Conditions:**

Flow rate	Hot Shell	2,113	Cold Tube	3,545	1000-lb/hr
Inlet/outlet Y	1	/	1	/	Weight fraction vapor
Inlet/outlet T	392	/	55,33	/	161,6 F
Inlet P/allow dP	28,45	/	42,67	/	2 psia / psi
Fouling resistance	0,001		0,0005		ft ² -hr-F/Btu
- Shell Geometry:**
 - TEMA type: B, E, M (dropdown)
 - ID: 10 inch
 - Orientation: Horizontal (dropdown)
 - Hot fluid: Shellside (dropdown)
- Baffle Geometry:**
 - Type: Single segmental (dropdown)
 - Orientation: Program sets (dropdown)
 - Cut: 25 % ID
 - Spacing: 13,7795 inch
- Tube Geometry:**
 - Type: Plain (dropdown)
 - Length: 6 ft
 - Tube OD: 1 inch
 - Pitch: 1,3333 inch
 - Wall thickness: 0,083 inch
 - Layout angle: 90 degrees
 - Tubepasses: 2 (dropdown)
 - Tubecount: 25

Fig.nº35: Pantalla principal del Software utilizado (HTRI).

Como se observa en la figura, en la parte de “Input Summary”, las propiedades del fluido caliente y frío fueron cargadas satisfactoriamente. También se observa la pestaña dividida en cinco partes, donde cada uno indica:

- Primera parte: Corresponde al tipo de caso de estudio.
- Segunda parte: Se debe indicar que tipo de equipo se quiere diseñar.
- Tercera parte: Se detalla las condiciones de proceso, desde temperatura hasta los coeficientes de ensuciamiento.
- Cuarta parte: Indica la geometría de la coraza, siendo lo más importante el tipo de norma TEMA, como también la geometría de los baffles.
- Quinta parte: Enseña la geometría adoptada para los tubos.

Luego de detallar todo lo mencionado, se realiza una corrida del programa, obteniéndose los siguientes resultados:


		Output Summary Page 1				
		Released to the following HTRI Member Company: <i>Single Work Station</i> <i>Giulliano Mucci</i>				
Xist E Ver. 5.00		19/3/2022 10:48		SN: Friendsl		US Units
Rating - Horizontal Multipass Flow TEMA BEM Shell With Single-Segmental Baffles						
See Data Check Messages Report for Warning Messages. See Runtime Message Report for Warning Messages.						
Process Conditions		Hot Shellside		Cold Tubeside		
Fluid name		Agua Caliente		Producto Frio		
Flow rate	(1000-lb/hr)		2,1130			3,5450
Inlet/Outlet Y	(Wt. frac vap.)	1,000	1,000	1,000		1,000
Inlet/Outlet T	(Deg F)	392,00	241,17	55,33		161,60
Inlet P/Avg	(psia)	28,447	27,881	42,670		42,015
dP/Allow.	(psi)	1,132	2,000	1,311		2,000
Fouling	(ft2-hr-F/Btu)		0,00100			0,00050
Exchanger Performance						
Shell h	(Btu/ft2-hr-F)	46,50	Actual U	(Btu/ft2-hr-F)		22,41
Tube h	(Btu/ft2-hr-F)	56,38	Required U	(Btu/ft2-hr-F)		19,88
Hot regime	(--)	Sens. Gas	Duty	(MM Btu/hr)		0,1470
Cold regime	(--)	Sens. Gas	Area	(ft2)		38,179
EMTD	(Deg F)	193,7	Overdesign	(%)		12,72
Shell Geometry			Baffle Geometry			
TEMA type	(--)	BEM	Baffle type	(--)	Single-Seg.	
Shell ID	(inch)	10,0000	Baffle cut	(Pct Dia.)	25,00	
Series	(--)	1	Baffle orientation	(--)	Parallel	
Parallel	(--)	1	Central spacing	(inch)	13,7795	
Orientation	(deg)	0,00	Crosspasses	(--)	4	
Tube Geometry			Nozzles			
Tube type	(--)	Plain	Shell inlet	(inch)	6,0650	
Tube OD	(inch)	1,0000	Shell outlet	(inch)	6,0650	
Length	(ft)	6,000	Inlet height	(inch)	1,0208	
Pitch ratio	(--)	1,3333	Outlet height	(inch)	1,0208	
Layout	(deg)	90	Tube inlet	(inch)	4,0260	
Tubecount	(--)	25	Tube outlet	(inch)	4,0260	
Tube Pass	(--)	2				
Thermal Resistance; %		Velocities; ft/sec		Flow Fractions		
Shell	48,20	Shellside	73,90	A	0.031	
Tube	47,67	Tubeside	74,43	B	0.574	
Fouling	3,58	Crossflow	70,56	C	0.174	
Metal	0,547	Window	208,52	E	0.067	
				F	0.154	

Fig.nº36: Hoja de datos calculados por el Software (HTRI).

De la Fig.nº los datos más relevantes son:

- Caída de presión de tubos y coraza dentro del rango permitido.
- Coeficiente de transferencia de calor actual superior al requerido.
- Sobre diseño de seguridad de 12,72%, lo que permitiría cualquier modificación en el equipo sin alterar el intercambio de calor requerido.

También se compara los valores obtenidos por la estimación del Método de Kern y los alcanzados por el Software, haciendo hincapié en el área de transferencia de calor y el calor transferido.

Metodología de Calculo	Área de transferencia (ft ²)	Duty (Btu/hr)
Kern	39,270	136.903
HTRI	38,179	147.000

Tabla n°30: Comparación de métodos utilizados.

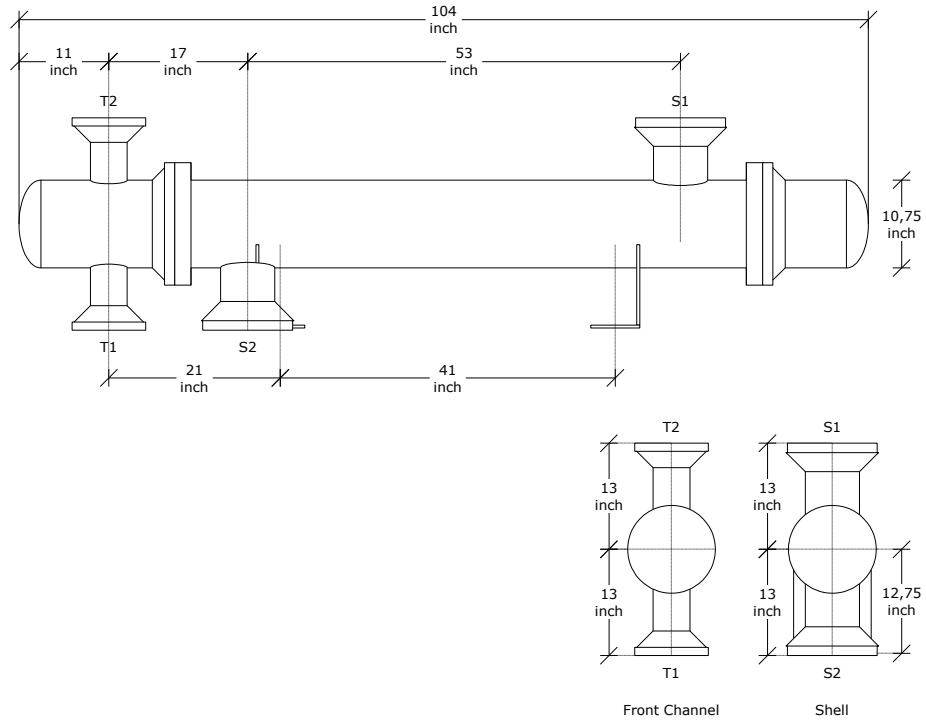
A continuación se adjunta la hoja de especificaciones TEMA que nos brinda el software elegido, la cual se presentaría en la empresa encargada de la fabricación del equipo. Dicha hoja brinda información significativa como es la velocidad con la cual fluirán las corrientes por ambas partes del equipo, la cual no debe superar los 25 m/s por cuestiones de integridad del material y erosión, también ofrece los diámetros a tener en cuenta para las cañerías que se conectaran a las respectivas tomas.

HTRI		HEAT EXCHANGER SPECIFICATION SHEET				Page 1		
						US Units		
Customer		Job No.		Reference No.				
Address		Date		Proposal No.		Rev		
Plant Location		19/3/2022						
Service of Unit		Item No.						
Size 10,000 x 72,000 inch		Type BEM	Horz.	Connected In	1 Parallel	1 Series		
Surf/Unit (Gross/Eff) 39,27 / 38,18 ft2		Shell/Unit 1	Surf/Shell (Gross/Eff) 39,27 / 38,18 ft2					
PERFORMANCE OF ONE UNIT								
Fluid Allocation		Shell Side			Tube Side			
Fluid Name		Agua Caliente			Producto Frio			
Fluid Quantity, Total lb/hr		2113,00			3545,00			
Vapor (In/Out)		2113,00	2113,00	3545,00	3545,00			
Liquid								
Steam								
Water								
Noncondensables								
Temperature (In/Out) F		392,00	241,17	55,33	161,60			
Specific Gravity								
Viscosity cP		0,0161	0,0127	0,0080	0,0097			
Molecular Weight, Vapor								
Molecular Weight, Noncondensables								
Specific Heat Btu/lb-F		0,4666	0,4570	0,3638	0,4169			
Thermal Conductivity Btu/hr-ft-F		0,0192	0,0149	0,0089	0,0120			
Latent Heat Btu/lb		951,819	951,819	172,483	172,483			
Inlet Pressure psia		28,447			42,670			
Velocity ft/sec		73,90			74,43			
Pressure Drop, Allow/Calc psi		2,000	1,132	2,000	1,311			
Fouling Resistance (min) ft2-hr-F/Btu		0,00100			0,00050			
Heat Exchanged Btu/hr		147020			MTD (Corrected) 193,7 F			
Transfer Rate, Service		19,88 Btu/ft2-hr-F	Clean	23,25 Btu/ft2-hr-F	Actual	22,41 Btu/ft2-hr-F		
CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)				
Design/Test Pressure psig		150,000 /		150,000 /				
Design Temperature F								
No Passes per Shell		1		2				
Corrosion Allowance inch								
Connections		In inch	1 @ 6,0650	1 @ 4,0260				
Size & Rating		Out inch	1 @ 6,0650	1 @ 4,0260				
		Intermediate	@	@				
Tube No.	25	OD 1,0000 inch	Thk(Avg) 0,0830 inch	Length 6,000 ft	Pitch 1,3333 inch	Layout 90		
Tube Type	Plain			Material CARBON STEEL				
Shell	ID 10,0000 inch	OD	inch	Shell Cover				
Channel or Bonnet				Channel Cover				
Tubesheet-Stationary				Tubesheet-Floating				
Floating Head Cover				Impingement Plate None				
Baffles-Cross	Type SINGLE-SEG.	%Cut (Diam) 25,0	Spacing(c/c) 13,7795	Inlet 21,2205 inch				
Baffles-Long				Seal Type				
Supports-Tube				U-Bend Type				
Bypass Seal Arrangement				Tube-Tubesheet Joint				
Expansion Joint				Type				
Rho-V2-Inlet Nozzle	295,17 lb/ft-sec2	Bundle Entrance 98,46	Bundle Exit 80,76	lb/ft-sec2				
Gaskets-Shell Side				Tube Side				
-Floating Head								
Code Requirements				TEMA Class				
Weight/Shell	800,06	Filled with Water 1127,55	Bundle 166,32	lb				
Remarks:								
Reprinted with Permission (v5)								

Fig.n°37: Hoja TEMA del equipo diseñado (HTRI).

En la siguiente imagen se observa las medidas constructivas del intercambiador de calor.

Producción de butadieno por deshidrogenación catalítica del n-butano



Nozzles	NPS, in	Rating	Design	Shell	Tube	Weight	lb	Company	Single Work Station	Ref	
S1 Inlet	6	150	Pres (psig)	150	150	Bundle	400	Customer	BEM	Setting Plan	
S2 Outlet	6	150	Temp (F)			Dry	1200	Item			
T1 Inlet	4	150	Passes	1	2	Wet	1500	Service			
T2 Outlet	4	150	Thick (inch)	0,307	0,083			TEMA			
									Date	19/3/2022	By
									Diagram		Rev

Fig.n°38: Plano del equipo (HTRI).

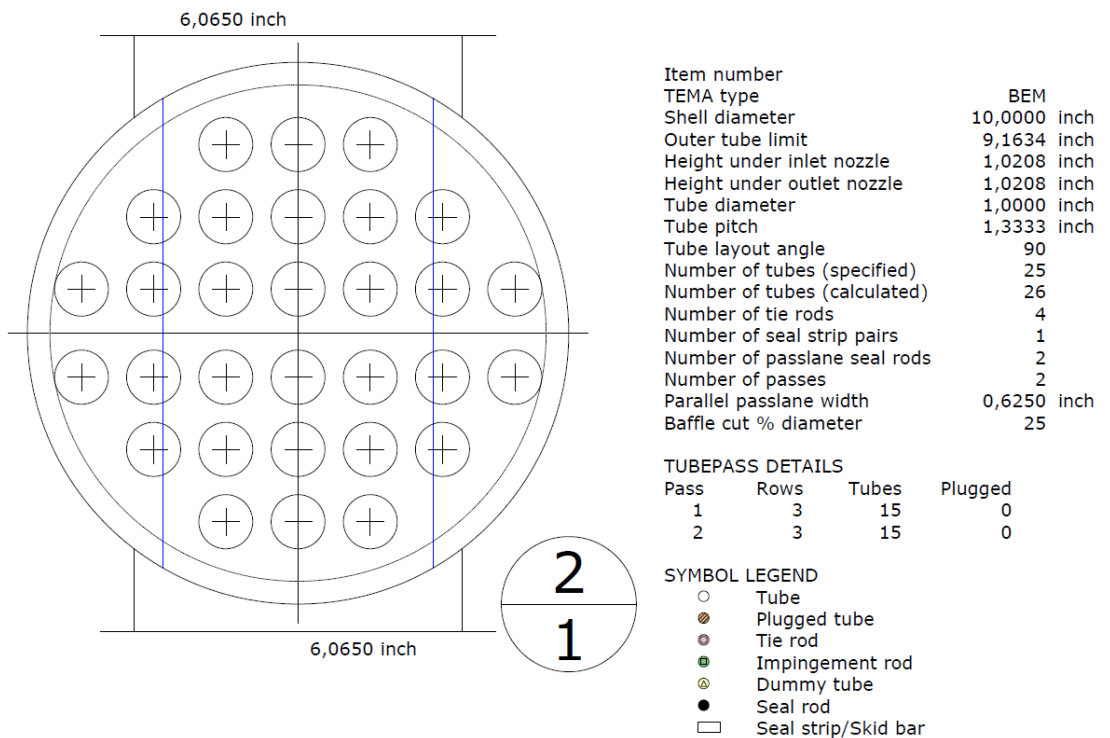


Fig.n°39: Plano de los tubos (HTRI).

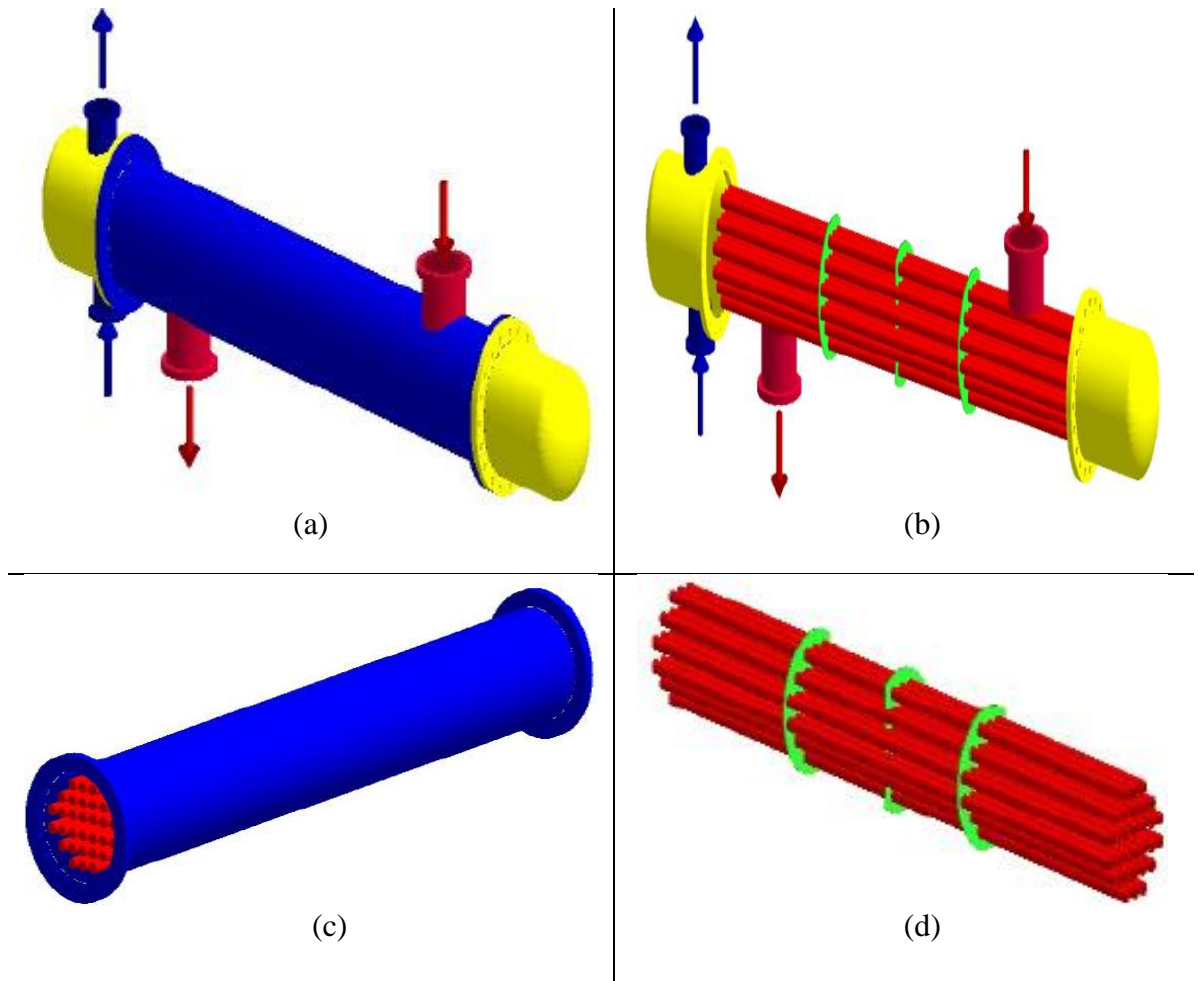


Fig.nº40: Equipo diseñado en 3D (HTRI).

En la Fig.nº (a) se observa el diseño del equipo completo, teniendo en cuenta las tomas de entrada y salida, como así también los cabezales. En la (b) se considera exactamente lo mismo pero sin la coraza, apreciando los tubos y la distribución de los deflectores. Mientras que en la figura (c) y (d) podemos ver la geometría de los tubos sin los cabezales, lo que se haría para la limpieza mecánica del interior de los tubos.

9.1.7.3 Diseño Mecánico

Una vez que se verifica en el HTRI lo estipulado en el método de Kern, se comienza con el diseño mecánico de las distintas partes del equipo.

9.1.7.3.1 Tubos

- Presión de Diseño

Se considera a la presión de operación como el promedio de las presiones de entrada y salida del fluido frío. Dicha presión es superior a la atmosférica, por lo que, la presión de diseño se calcula como:

$$P_d = P_{ope} + 2 = (2,92 + 2)bar = 4,92bar = 492kPa$$

- Temperatura de Diseño

La temperatura de operación se la define como la temperatura máxima que se alcanza en los tubos. Por lo tanto la temperatura de diseño queda definida como:

$$T_d = T_{ope} + 20^{\circ}C = (72 + 20)^{\circ}C = 92^{\circ}C = 197,6^{\circ}F$$

- Espesor de los Tubos

Según el Código ASME B31.1 el espesor de los tubos se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$t(mm) = \left(\frac{P_d * d_o}{2 * S * E + 2 * P_d * y} + c \right) * \frac{1}{1 - \frac{M}{100}} \quad 9.1$$

Donde los términos de las ecuaciones corresponden:

- $P_d(kPa)$ =Presión de diseño.
- $d_o(mm)$ =Diámetro exterior de la tubería.
- $S(kPa)$ =Tensión máxima admisible del material debido a la presión interna.
- $E(Adimensional)$ =Eficacia de la soldadura.
- $c(mm)$ =Espesor por corrosión.
- $M(Adimensional)$ =Tolerancia a la fabricación.
- $y(Adimensional)$ =Coeficiente y.

El valor de S se obtiene por tabla A-1 del código ASME B31.3 para tubos SA-178 (Acero al Carbono), mientras que el valor de E es igual a 1 ya que los tubos seleccionados estarán sin costura. Para M se opta por un valor de 12,5% debido a que son tubos sin costuras. Por último el valor de y se obtiene por tabla según las normas TEMA.

El espesor por corrosión se calcula de la siguiente manera, asumiendo una pérdida por corrosión de 0,12 mm/año y una vida útil de 15 años.

$$c = 0,12 \frac{mm}{año} * 15año = 1,8mm$$

Quedando como resultado final:

$$t = \left(\frac{492kPa * 25,4mm}{2 * 134.452,5kPa * 1 + 2 * 492Kpa * 0,4} + 1,8mm \right) * \frac{1}{1 - \frac{12,5}{100}}$$

$$t = (0,05mm + 1,8mm) * 1,143 = 2,11455 \cong 2,11mm$$

9.1.7.3.2 Coraza

Para el cálculo de la coraza se repite la metodología de cálculo anteriormente aplicada.

- Presión de Diseño

$$P_d = P_{ope} + 2 = (1,94 + 2)bar = 3,94bar$$

- Temperatura de Diseño

$$T_d = T_{ope} + 20^{\circ}C = (115,78 + 20)^{\circ}C = 135,78^{\circ}C = 240,4^{\circ}F$$

- Espesor de la Coraza

El código ASME sugiere utilizar la siguiente ecuación para el cálculo del espesor de la coraza.

$$t(mm) = 6 + c = 7,8mm$$

Otra forma de calcular el espesor es considerando un cuerpo cilíndrico, donde el espesor mínimo del envolvente cilíndrico (coraza) debe ser el de mayor valor entre los calculados para esfuerzos circunferenciales y longitudinales. Los cuales se calculan de la siguiente forma:

- Espesor para esfuerzos circunferenciales

$$t_c(mm) = \left(\frac{P_d * R_i}{S * E - 0,6 * P_d} \right) + C_A \quad 9.2$$

- Espesor para esfuerzos longitudinales

$$t_l(mm) = \left(\frac{P_d * R_i}{2S * E - 0,4 * P_d} \right) + C_A \quad 9.3$$

Donde los términos de las ecuaciones corresponden:

- $P_d(bar)$ =Presión de diseño.
- $R_i(mm)$ =Diámetro interno de la coraza.
- $S(bar)$ =Esfuerzo del material.
- $E(Adimensional)$ =Eficacia de la soldadura.
- $C_A(mm)$ =Tolerancia de corrosión.

Como para los tubos, el esfuerzo del material (S) se obtiene por el código ASME B31.3 y el valor de la tolerancia de corrosión se considera como 2mm.

Los valores de espesor para los siguientes esfuerzos son:

$$t_c = \left(\frac{3,94bar * 127mm}{1.304,1bar - 0,6 * 3,94bar} \right) + 2mm = (0,38 + 2)mm = 2,38mm$$

$$t_l = \left(\frac{3,94bar * 127mm}{2 * 1.304,1bar - 0,4 * 3,94bar} \right) + 2mm = (0,19 + 2)mm = 2,19mm$$

Observando los valores anteriores, se prefiere el espesor de mayor magnitud para la construcción de la coraza, siendo el espesor debido a las tensiones circunferenciales.

9.1.7.3.3 Dimensionamiento de Cabezales

El equipo elegido presenta dos cabezales, el anterior es del tipo Bonete (Designado por la letra B) y el posterior de espejo fijo (Designado por la letra M).

Se eligió esos tipos de cabezales, debido a que por el interior de los tubos circulara fluido sucio, por ende, se deberá retirar con frecuencia el haz de tubos para una correcta limpieza mecánica de los mismos. Como también permite la inspección o limpieza de la coraza.

Según lo sugerido por la norma TEMA y el código ASME el canal y la tapa deben ser del mismo espesor para lograr una unión por soldadura más eficiente. El espesor del canal es función del radio externo y a su vez del diámetro externo del mismo.

$$R_{ex} = 0,5 * d_{ex} \quad 9.4$$

- Espesor mínimo del cabezal

Como se realizó con el espesor de la coraza, se calculara el espesor debido a las tensiones circunferenciales y longitudinales considerando un cabezal cilíndrico, y también considerando un cabezal esférico.

Se consideraran los mismos parámetros que se utilizaron en el cálculo del espesor de la coraza.

- Espesor cabezal cilíndrico

$$t_c = \left(\frac{P_d * R_i}{S * E - 0,6 * P_d} \right) = \frac{3,94bar * 127mm}{1.304,1bar - 0,6 * 3,94bar} = 0,38mm$$

$$t_l = \left(\frac{P_d * R_i}{2S * E - 0,4 * P_d} \right) = \frac{3,94bar * 127mm}{2 * 1.304,1bar - 0,4 * 3,94bar} = 0,192mm$$

- Espesor cabezal esférico

$$t_e = \left(\frac{P_d * R_i}{2S * E - 0,2 * P_d} \right) = \frac{3,94bar * 127mm}{2 * 1.304,1bar - 0,2 * 3,94bar} = 0,191mm$$

Comparando los valores obtenidos, se escoge el valor de mayor espesor, siendo el espesor debido a las tensiones circunferenciales, a dicho valor se le debe sumar el espesor por corrosión, el cual es de 2mm. Quedando como resultado:

$$t = t_c + c = (0,38 + 2)mm = 2,38mm$$

Se puede corroborar que los espesores del cabezal con el espesor de la coraza coinciden como se mencionó.

A continuación se procede a calcular las distintas propiedades de la tapa.

- Calculo del diámetro exterior de la tapa

$$d_{oc} = 0,8 * d_{ecc} = 0,8 * 0,254m = 0,2032m$$

- Calculo del radio exterior de la tapa

$$R_{cc} = 0,9 * d_{ecc} = 0,9 * 0,254m = 0,2286m$$

- Calculo del radio exterior de la curvatura de la tapa

$$r_{cc} = 0,173 * d_{ecc} = 0,173 * 0,254m = 0,0439m$$

- Calculo de la profundidad de la tapa

$$h_1 = 0,25 * d_{ecc} = 0,25 * 0,254m = 0,0635m$$

- Calculo de la extensión de la tapa

$$h_2 = 0,33 * h_1 = 0,33 * 0,0635m = 0,0209m$$

- Calculo de la longitud total de la tapa

$$h_{cc} = h_2 + h_1 = (0,0209 + 0,0635)m = 0,0844m$$

Para determinar la correcta longitud total del cabezal, la cual permitirá una buena distribución del fluido de trabajo en los tubos, se relaciona el diámetro de la coraza.

$$H_c = d_c = 254mm$$

Mientras que la longitud del canal queda definida como:

$$h_c = H_c - h_{cc} = (0,254 - 0,0844)m = 0,1696m$$

9.1.7.3.4 **Dimensionamiento de Boquillas y Bridas**

Generalmente las boquillas que se utilizan en los intercambiadores de calor intuyen una tubería estándar con un extremo soldado al casco o cabezal, con una brida deslizante o de cuello unida al otro extremo. Donde la boquilla puede ser reforzada o forjada, siendo esta última la seleccionada para el diseño de nuestro equipo.

En la siguiente tabla se muestran los diámetros correspondientes de las distintas boquillas utilizadas.

Coraza

Tubos

Corriente	Diámetro de la boquillas (in)	Corriente	Diámetro de la boquilla (in)
De ingreso	6	De ingreso	4
De egreso	6	De egreso	4

Tabla n°31: Diámetros de las distintas boquillas del equipo.

En función a la imagen que se adjuntara se obtienen las proyecciones mínimas recomendadas para boquillas según el diámetro correspondiente.

	PROYECCIONES MINIMAS RECOMENDADAS PARA BOQUILLAS		NORMAS				
			FIGURA No. 35				
LAS TABLAS DAN PROYECCION EXTERIOR MINIMA DE BOQUILLAS, Y EN CASO NECESARIO DEBERA INCREMENTARSE LA PROYECCION, POR ESPESORES DE AISLAMIENTO Y PLACA DE REFUERZO (A CRITERIO DEL DISENADOR)							
PROYECCION EXTERIOR EN PULGADAS PARA BRIDAS WELDING NECK							
	DIAM. NOM. TUBO	RANGO DE PRESION DE LA BRIDA EN LBS					
		150	300	600	900	1500	2500
	2	6	6	6	8	8	8
	3	6	6	8	8	8	10
	4	6	8	8	8	8	12
	6	8	8	8	10	10	14
	8	8	8	10	10	12	16
	10	8	8	10	12	14	20
	12	8	8	10	12	16	22
	14	8	10	10	14	16	
	16	8	10	10	14	16	
	18	10	10	12	14	18	
20	10	10	12	14	18		
24	10	10	12	14	20		

Fig.n°41: Diámetros de las bridas (Código ASME).

Para el caso de las bridas, las cuales son elementos de acero, generalmente de acero inoxidable o al carbono, que permiten la sujeción entre elementos contiguos de una cañería o un equipo y una cañería. Habitualmente en estos equipos se utilizan dos tipos de bridas:

- Bidas con cuello: Comúnmente conocidas como welding neck y son de gran resistencia y muy empleadas donde se requiere seguridad.
- Bidas deslizantes: También se conocen como slip on y se utilizan en equipos donde no son críticos, ya que no soportan grandes presiones y debido a esto son más económicas.

En nuestro equipo se utilizaran bridas deslizables debido a que las presiones de trabajo de los fluidos son relativamente bajas, este tipo de bridas se coloca mediante dos filetes de soldadura, deslizando el tubo en su interior. Por tal motivo, el costo de instalación es menor, como también, la precisión en el corte del tubo.

Primero se adjunta una imagen ilustrativa de la brida seleccionada y luego se adjunta las dimensiones de las bridas con respecto a los tubos y coraza, siendo de acero al carbono serie 150.

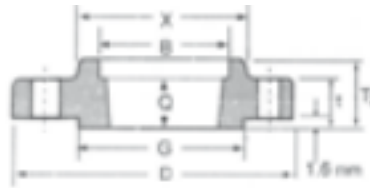


Fig.n°42: Detalle de cada dimensión de la brida.

	d (mm)	d (in)	D	X	G	T	Kg	Lb
Tubo	101,6	4	229	157,2	134,9	23,9	5,75	12,70
Coraza	152,4	6	279	215,9	192,0	25,4	7,38	16,30

Tabla n°32: Valores de dimensiones de las bridas a utilizar.

Los espárragos deben presentar un diámetro interno mínimo de 5/8” según lo sugerido por la norma TEMA para intercambiadores de calor de clase B. Para este proyecto se utilizaran espárragos ASTM A-194 B7 – 2H y tuercas ASTM A194.

	d (in)	L (in)	Cantidad
Tubo	4	3,74	8
Coraza	6	3,94	10

Tabla n°33: Dimensiones de los espárragos.

9.1.7.3.5 Soportes y orejas de izaje

A la hora de hablar de intercambiadores de calor horizontales se sugiere la utilización de soportes tipo silletas, las cuales deben ser diseñadas teniendo en cuenta los esfuerzos por condición de apoyo. Como se especifica en el código ASME, para el diseño de las silletas se debe tener en cuenta tanto el peso del equipo como el diámetro exterior del mismo y cuando se quiere verificar el comportamiento de las silletas se debe considerar un equipo lleno de agua.

Por cuestiones económicas y estéticas se habitúa a utilizar dos silletas, las cuales deben ubicarse a una distancia entre la línea de tangencia de los cabezales y la silleta menor a 0,2 veces la longitud del recipiente.

Como se mencionó con anterioridad, en función al diámetro exterior, el cual es de 10”, se dimensionan las silletas.

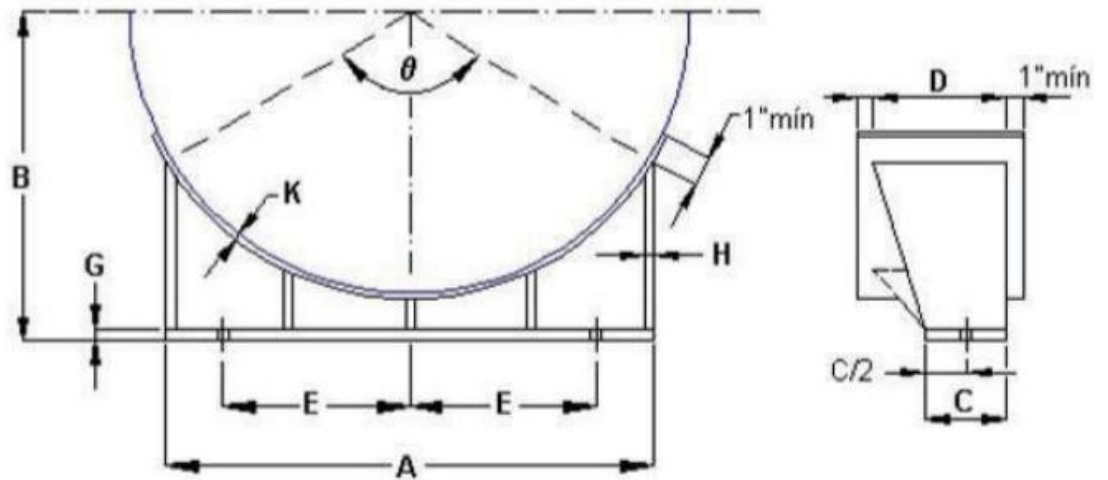


Fig.nº43: Detalle de cada dimensión del izaje (Código Asme).

Diam. Nominal (ft-in)	Dimensiones (ft-in)					Diam. Perno (in)	Numero de Platinas	Espesores de soporte (in)		
	A	B	C	D	E			G	H	K
1-10	1-7	1-5	4	6	0-7	1/2	0	1/4	1/4	-

Tabla nº34: Valores de las dimensiones del izaje.

El ángulo de contacto o ángulo de arco según establecido por el código ASME debe ser como mínimo de 120°.

Con respecto a las orejas de izaje, las cuales se colocan con el objetivo de poder transportar, localizar y dar mantenimiento al equipo, se recomienda utilizar como mínimo 2 en la superficie del equipo.

9.1.7.3.6 Resumen de Cálculos

Como resumen a todo lo mencionado durante el diseño detallado del intercambiador de calor, se adjuntara una tabla resumida con dicho valores.

Características Constructivas

	Tubos Fluido Frio		Coraza Fluido Caliente	
	t ₁ (°F)	55,33	T ₁ (°f)	392,00
t ₂ (°F)	161,60	T ₂ (°f)	240,40	
w (lb/h)	3.545	W (lb/h)	2.113	
d _i (in)	1	d _s (in)	10	
d _o (in)	1	nº Baffles	3	
nº Tubos	25	Espaciado entre Baffles (in)	14	
nº Pasos	2	nº Pasos	1	

Factor de Obstrucción (h-ft ² -F/Btu)	0,0005	Factor de Obstrucción (h-ft ² -F/Btu)	0,001
Caída de Presión (psi)	0,027	Caída de Presión (psi)	0,001
Diseño Mecánico			
P _d (kPa)	492	P _d (kPa)	394
T _d (°C)	92,0	T _d (°C)	135,8
Espesor (mm)	2,11	Espesor (mm)	2,38

Tabla n°35: Resumen de los valores constructivos del equipo.

Características Térmicas

Calor a Transferir (Btu/h)	136.903
Diferencia verdadera de temperatura (°F)	190,36
Coefficiente total limpio (Btu/h-ft ² -F)	21,93
Coefficiente total de diseño (Btu/h-ft ² -F)	18,31
Área de transferencia de calor (ft ²)	39,27
Factor de obstrucción (h-ft ² -F/Btu)	0,0090

Tabla n°36: Resumen de los valores térmicos del equipo.

9.1.8 **Bibliografía**

- Aceros y Tuberías AT. (10 de Marzo de 2022). Catalogo ANSI/ASME.*
- Cao, E. (2004). Transferencia de calor en ingeniería de procesos (Primera ed.). Argentina.*
- Engineers, T. A. (2010). Tuberías de proceso - Código ASME para tuberías a presión, B31.3.*
- Haasen. (s.f.). Intercambiadores de Calor a Placa.*
- Kern, D. (1968). Procesos de transferencia de calor. Mexico: McGraw Hill Book Company, Inc.*
- Lopez, A. P. (2015). Evaluación de escenarios y determinación de contingencia crítica para el diseño de un sistema de alivio de una planta destiladora de crudo. Proyecto Final, Escuela Politécnica Nacional, Quito.*
- Loyola, E. L. (2014). Modelo Matemático para Diseño Térmico de Calderas . Trabajo Final de Graduación , Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.*
- Megyesy, E. (2001). Pressure Vessel Handbook (Decimosegunda ed.). Oklahoma.*
- Popular, F. (s.f.). Conexiones y Bridas.*
- Rocha, G., & Jara, H. (1985). Dimensionamiento de intercambiadores de calor de coraza y tubos, con ayuda de computador. Ingeniería e Investigación, 43-52.*

9.2 Flare (Antorcha)

En este apartado se procede al diseño detallado del sistema de alivio del respectivo proyecto, el cual consta del Flare o también conocido como Antorcha, el Knock Out Drum (KOD) y su respectivo sistema de seguridad basado en una correcta instrumentación.

Para el diseño detallado de la antorcha se utiliza como estructura la Norma API 521, mientras que para el KOD también se utiliza la Norma mencionada y como complemento se utilizó la Norma ASME VIII División 2, Parte 4, Edición 2013.

9.2.1 Características Generales

Toda planta que genere, almacene o manipule gas debe contar con un dispositivo de inertización de gases para disminuir los riesgos de daños ambientales o seguridad industrial y a su vez cumplir con la finalidad de ser un sistema de alivio de presión y despresurización de vapor.

Una antorcha se la define como un mecanismo o sistema que tiene como objetivo eliminar hidrocarburos gaseosos o líquidos mediante una combustión completa, de forma segura y medioambientalmente satisfactoria. Mediante este sistema una planta tiene una segura y eficiente gestión de los gases o líquidos liberados. Es esencial que nuestra planta contenga un sistema crítico que pueda evitar una interrupción en la planta y así impedir una catástrofe.

Este equipo está pensado para un funcionamiento durante las 24 horas del día, y prestar un servicio durante varios años sin necesidad de hacer una parada para su mantenimiento, ya que, deberá estar siempre disponible para quemar los gases de alivio de una instalación industrial, cuando la misma se encuentre en un paro de planta o interrumpida por cierto motivo.

Es de suma importancia un correcto diseño, funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de emergencia de las antorchas, debido a que son una barrera de seguridad tanto para el personal de la planta, como para la comunidad circundante. Mediante su diseño se debe asegurar cumplir las siguientes funciones:

- Sistema de Inertización de Gases: Reducir las concentraciones de sustancias peligrosas con respecto al nivel del suelo.
- Sistema de Seguridad: Proporcionar seguridad tanto en la gestión como en el transporte de sustancias inflamables.
- Medida Medioambiental: Reducir las emisiones de hidrocarburos y también los compuestos volátiles orgánicos.

A la hora de hablar del KOD o también conocido como tanque separador, estamos refiriéndonos a un equipo que compone el sistema de alivio y despresurización de una planta, con el objetivo de la separación gas-líquido del flujo que proviene del colector principal o líneas de alivio. El gas de residuo es enviado a la antorcha para su posterior quemado y el condensado puede tomar dos caminos, uno es ser enviado a un reservorio para luego mediante un camión especial ser succionado y tratado o directamente despacharlo a la planta de tratamiento de efluentes.

9.2.2 Tipos de Antorchas

A continuación se detallara las distintas formas de antorchas y una breve descripción de cada una.

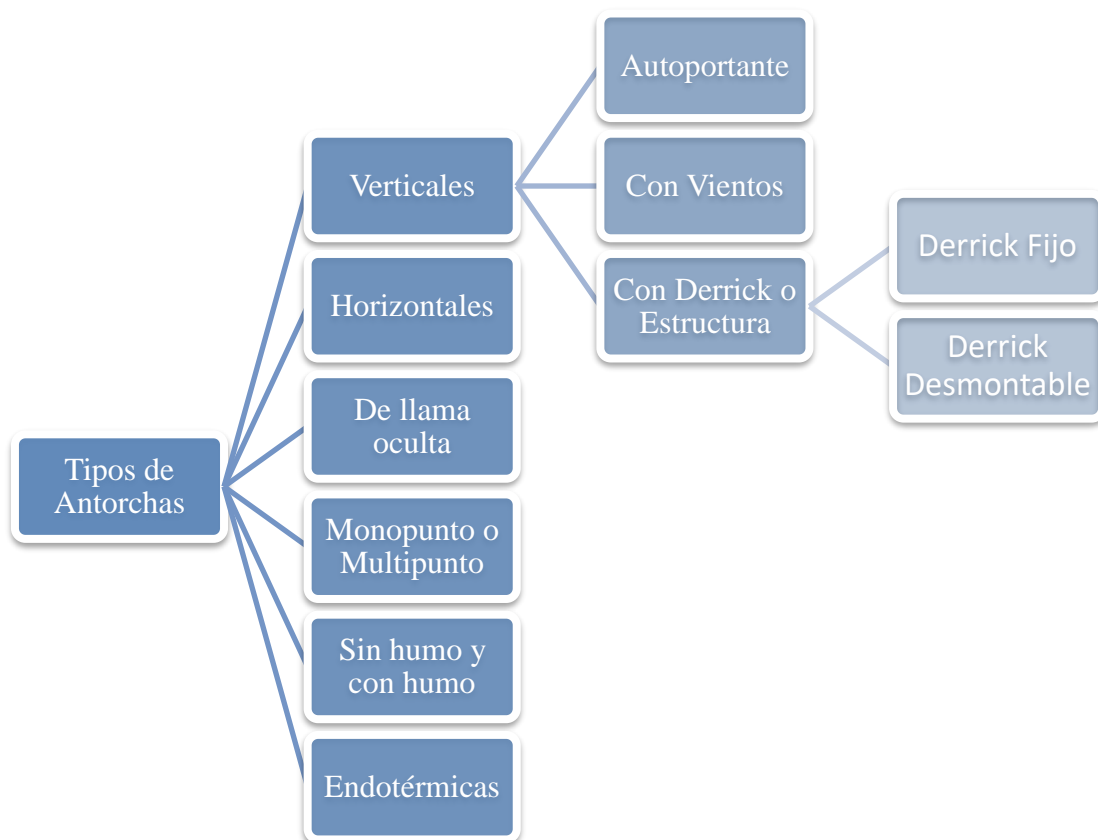


Fig.n°44: Clasificación del Flare (Propia).

9.2.2.1 Verticales

Son aquellas donde el gas circula verticalmente hasta el punto de descarga, la cual, se encuentra en una posición elevada en relación al nivel del suelo circundante y/o del próximo equipo.

- **Autoportante:** Presentan básicamente un fuste que está diseñado mecánicamente y estructuralmente para soportar el quemador.
- **Con Vientos:** El fuste está sustentado por cables con el objetivo de limitar la desviación de la estructura. Dichos cables se encuentran con un desfase de 120°, dando un plano triangular para proporcionar una fuerte sustentación.
- **Con Derrick o Estructura:** Presentan una estructura de acero acoplada para soportar el fuste, generalmente fabricadas en perfiles de acero estructural o tubo, y presentan una base triangular o cuadrangular. Como se observa en la figura puede ser fijo, donde el fuste es permanentemente sustentado por el derrick y para su mantenimiento se debe sacar de servicio la antorcha o desmontable donde los tramos de fuste están montados sobre una brida que permite desacoplar tramo a tramo la antorcha para su mantenimiento.

9.2.2.2 Horizontales

En este tipo de antorchas, tanto el gas como el líquido es transportado en forma horizontal hacia su correspondiente quemador, el cual descarga en una excavación u hoyo.

9.2.2.3 De Llama Oculta

Como lo indica su nombre, este tipo de antorcha se construye con el fin de que la llama no se vea de forma directa, además reducen el ruido y la radiación.

9.2.2.4 Monopunto o Multipunto

Cualquiera de las tres antorchas mencionadas anteriormente debe contener alguno de estos dos sistemas. Donde la antorcha monopunto presenta un solo punto de salida y generalmente son verticales o las multipunto que consiguen una mejor combustión y así evitan los humos.

9.2.2.5 Sin Humo y Con Humo

Las primeras eliminan cualquier tipo de humo por encima de un rango estipulado de flujo, para lograr dicha combustión sin generar humos se debe utilizar aire, vapor, presión o algún otro medio que provoque turbulencia y entrada de aire en la corriente de gas en la antorcha. Mientras que las segundas no presentan ningún tipo de sistema que las asista para mejorar la combustión, dando así en determinadas condiciones la presencia de humos.

9.2.2.6 Endotérmicas

Este tipo de antorchas necesita de un aporte energético en forma de calor, siempre y cuando estén quemando flujos de residuos con bajo poder calorífico.

9.2.3 Criterios de Diseño para el Flare

Para un correcto diseño del equipo en cuestión, se debe tener en cuenta los criterios de diseño y como impactan cada uno de ellos entre sí, como también la conformidad con las funciones más básicas que debe cumplir una antorcha. A continuación se enumeran los criterios más importantes a tener en cuenta.

- Combustión Eficiente y Fiable.
- Pérdida de Carga.
- Eliminación de líquidos.
- Infiltración de Aire.
- Radiación de la llama.
- Eliminación de humos.
- Recuperación de los gases de la antorcha.
- Ruidos y luz visible.

9.2.4 Partes principales del Flare

Cuando se habla de la antorcha como un sistema de inertización de gases, se está refiriendo a un equipo, el cual consta de los siguientes subsistemas o elementos esenciales.

9.2.4.1 Quemador

El quemador tiene como finalidad mezclar el combustible y aire a ciertas velocidades, turbulencias y concentraciones pretendidas para establecer y mantener una ignición apropiada, como así también una combustión estable. Además debe ser capaz de encender y quemar los vapores que se liberaran de la planta en condiciones de emergencia o contratiempo. Por lo que, esta parte mecánica del flare debe controlar el proceso de combustión a las condiciones específicas de escape y así garantizar una alta eficiencia en la destrucción de los hidrocarburos.

Se definen en función de su diámetro, generalmente expresado en pulgadas y por su forma de ser asistido, ya sea por aire, por vapor, etc. Su diámetro se define principalmente a criterios de nivel de radiación a cierto punto de referencia y a la pérdida de carga en la línea.

Se construyen con materiales que presenten una alta resistencia a la fatiga y a temperaturas elevadas, siendo los más comunes, aceros inoxidable austeníticos o altamente aleados con níquel (Generalmente aleaciones Cr-Ni, por ejemplo, Inconel, Incoloy o Hastelloy).

Además cuentan con pantallas antiviento donde cumplen la función principal de cubrir el cuerpo del quemador, como también el cuerpo de los pilotos, de los lametazos de la llama y así evitar el debilitamiento estructural dándole mayor vida útil.

9.2.4.2 Fuste

El fuste es una tubería o conducto con el fin de transportar los gases que se liberan hacia el quemador de una antorcha elevada, proveniente del sello hidráulico o en caso de no contar con este desde el rack de gas. Su función es brindarle soporte a las tuberías que sirven servicio al quemador, por ejemplo, frente de llama. Drenaje de sello molecular, gas a pilotos. Vapor de supresión de humos o aire, entre otros.

9.2.4.3 Sello Molecular

Este sello presenta un vaso invertido, generando a través de dos cambios de dirección de flujo del gas de purga, un impedimento al paso del aire. Se considera a dicho sello un tapón, el cual es generado con el gas de purga más pesado o más ligero que el aire, de tal forma que el mismo no logre ser desplazado por el aire.

9.2.4.4 Pilotos

Es el encargado del encendido de forma fiable y segura de la antorcha, se encuentra adyacente al cuerpo del quemador y deben encontrarse prendidos continuamente, ya que si este falla, tanto los gases tóxicos como los hidrocarburos no quemados pueden liberarse a la atmosfera, generando una nube de vapores explosiva, efectos negativos para la salud o problemas de olor en la zona aledaña. Por ende, este sistema de pilotos debe ser lo más confiable posible para poder operar durante varios años sin mantenimiento.

Su diseño presenta una amplia variedad, donde la mayoría son de liberación constante de calor, quemadores premezcla y auto-aspirantes.

Un piloto para avalar un correcto funcionamiento y encendido de la antorcha debe poder liberar como mínimo 47.478 kJ/h de poder calorífico inferior siempre que se esté trabajando con hidrocarburos con un poder calorífico inferior de 11.178 hJ/m³ o superior a este. Generalmente un piloto maneja un rango de liberación de calor que va desde 47.478 hasta 369.270 kJ/h. También debe garantizar que la llama principal de la antorcha se mantenga encendida cuando existan condiciones

desfavorables, como por ejemplo, velocidades de viento de 161 y 137 Km/h sin o con lluvia respectivamente.

La cantidad de pilotos necesario para ofrecer un encendido fiable de la antorcha, sin depender de la dirección del viento, es función del diámetro, a mayor diámetro mayor cantidad de pilotos. Pero generalmente se añaden más pilotos de los recomendados por la norma API 521, dando una mayor seguridad con respecto a la liberación de hidrocarburos no quemados. A continuación se adjunta una tabla con la cantidad mínima de pilotos según el diámetro del quemador.

Número mínimo de pilotos recomendados	Diámetro del quemador (in)	Diámetro del quemador (cm)
1	Hasta 8	Hasta 20,32
2	Hasta 24	Hasta 60,96
3	Hasta 42	Hasta 106,68
4	Hasta 60	Hasta 152,4

Tabla n°37: Cantidad de pilotos mínimos según el diámetro (API 521).

9.2.4.5 Plataformas y Escaleras

La plataforma por recomendación debe ser instalada a 360°, ubicada cerca de la parte superior de la antorcha, siempre y cuando tengan como mínimo una altura de 15 metros. A su vez, debe ser ubicada por debajo de la brida de montaje del quemador, de tal forma que se puede usar durante las inspecciones, sustitución del quemador o mantenimiento.

Para el acceso a dicha plataforma se puede colocar una escalera (preferentemente de tipo gato con quitamiedos), siendo esta opcional, ya que, se existen formas alternativas para acceder, como por ejemplo, por medio de un helicóptero o una grúa con cesta.

9.2.4.6 Sistema de Seguridad

Un sistema de seguridad dentro de la antorcha, cumple la función de evitar la emisión de oxígeno hacia el interior de la antorcha y aguas arriba de la misma, de esta forma impide el fenómeno de retroceso de la llama y cualquier riesgo de explosión por la combinación de dos de los elementos que componen el triángulo de fuego, como son el comburente y combustible.

Dentro de este sistema se cuenta con los siguientes subsistemas:

- Gas de purga y Sellos economizadores.
- Knock Out Drum.

- Sello Hidráulico.
- Sistema de enfriamiento o Snuffing.
- Sistema antirretorno de llama.

9.2.4.7 Sistema de Encendido

Un sistema de encendido debe brindar una segura y fiable encendido de o los pilotos. Los sistemas más comunes para prender los pilotos de una antorcha son:

- Encendido por chispas en el quemador del piloto (Electrodo).
- Encendido por chispa de una porción de la mezcla combustible/aire del piloto previo al quemador del mismo.
- Generador de frente de llama de aire comprimido.
- Generador de frente de llama autoaspirante.

9.2.5 Calculo detallado de Flare y Knock Out Drum

Debido a que se realiza el diseño tanto de la antorcha como del separador gas-líquido, se dividirá esta sección en dos partes diferentes, para un mayor orden y entendimiento de los cálculos.

9.2.5.1 Diseño detallado de Flare

El tipo de antorcha que se seleccionó, fundamentalmente por los fuertes vientos que afectan a dicha zona, es del tipo vertical con vientos. A continuación se adjunta una imagen ilustrativa del mismo.

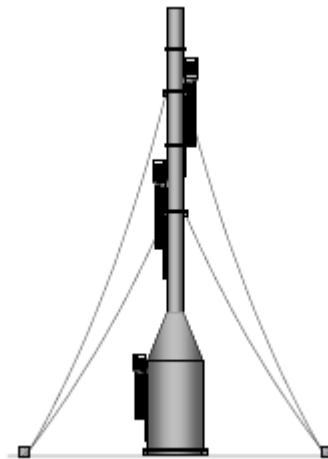


Fig.nº45: Imagen representativa del tipo de Flare seleccionado (Gómez Fernández, D.).

9.2.5.1.1 Calculo del diámetro y altura

Las consideraciones más importantes que se tuvieron en cuenta a la hora del desarrollo del cálculo fue el efecto provocado por la radiación térmica en humanos y equipos, y el caudal de descarga a la antorcha es situaciones extremas o de emergencia. También la dirección predominante del viento, ya que, todo equipo que

pueda liberar sustancias inflamables deberá ubicarse viento abajo de la antorcha, por este motivo, se recomienda que generadores, bombas de agua, suministro de aire comprimido y calderas estén a una distancia mínima de 75 metros y a viento arriba. Otra recomendación es todo sector que cuente con la presencia de personal, como una oficina, taller, laboratorio, etc. también se encuentre viento arriba para su protección.

Con respecto al efecto de la radiación térmica en humanos, Buettner realizó pruebas en personas para lograr obtener datos experimentales que brinden información acerca de los tiempos de exposición para alcanzar el umbral de dolor con respecto a la intensidad de la radiación. Dichos valores son detallados en las siguientes tablas.

Intensidad de la radiación en $\frac{kW}{m^2}$	Tiempo hasta alcanzar el umbral de dolor en segundos
1,74	60
2,33	40
2,90	30
4,73	16
6,94	9
9,46	6
11,67	4
19,87	2

Tabla n°38: Tiempo de residencia del operador según la intensidad de la radiación.

Nivel de diseño admisible (K) en $\frac{kW}{m^2}$	Condiciones
15,77	Estructuras y zonas donde no es probable que estén los operarios realizando ningún servicio, y donde haya disponible un refugio o protección del calor, por ejemplo, detrás de un equipo.
9,46	Zonas a las que tengan acceso las personas, por ejemplo, en el suelo debajo de la antorcha, o en una plataforma de servicio de una torre cercana. La

	exposición debe estar limitada a unos cuantos segundos, suficientes únicamente para escapar.
6,31	Zonas donde puede requerirse una acción de emergencia de duración inferior a 1 minuto, por parte de personal sin protección pero con ropa adecuada.
4,73	Zonas donde puede requerirse una acción de emergencia de varios minutos de duración, por parte de personal sin protección pero con ropa adecuada.
1,58	Situaciones donde el personal con ropa adecuada puede estar expuesto de manera continuada.

Tabla n°39: Consideraciones de precaución según la intensidad de radiación.

Para comenzar con el cálculo detallado, cabe aclarar que una antorcha definida como terminal de sistema de alivio e inertización de gases, viene definida por la determinación de dos parámetros primordiales como son la altura y diámetro del mismo. Como ocurrió con el diseño del intercambiador de calor, toda propiedad del gas de antorcha se obtiene del Software Hysys V9.

Se comienza el cálculo definiendo las propiedades del gas de antorcha, condiciones de emplazamiento y, propiedades de la llama y del medio.

Antorcha (Flear)			
Propiedades del Gas de Antorcha			
Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
Tipo de gas	Mezcla (Mayoritariamente C4)		
Peso Molecular	M_v	52,21	g/mol
Poder Calorífico inferior	q	10.938	kcal/kg
Temperatura del gas	T	287,80	°K
Presión de alimentación de gas a antorcha	P_o	200,00	kPa
Densidad	p	4,78	kg/m ³
Viscosidad Dinámica	u	8,60E-06	Pas
Caudal másico de diseño para radiación	m	28.843	kg/h
Coefficiente Isentrópico	γ	1,1250	Adim.
Factor de Compresibilidad	Z	0,9587	Adim.
Condiciones del emplazamiento			
Presión en el quemador	P_2	101,30	kPa
Velocidad del Viento (10 m de altura)	U_{inf}	14,00	m/s
Radiación admisible a nivel del suelo	K	6,00	kW/m ²
Altura de Rack de Tuberías	h_{rack}	5,80	m
Propiedades de la llama y del medio			
Emisividad	F	0,19	Adim.
Transmitividad del medio	τ	1,00	Adim.

Tabla n°40: Recopilación de datos para el diseño.

Luego mediante un proceso iterativo se obtienen los diámetros para las condiciones extremas, las cuales están definidas según el número de Mach, donde un valor de 0,2 me asegura la operación normal y frecuente, y el máximo valor admisible es de 0,5.

Procedimiento Iterativo

Constante	cte	3,23E-05	Adim.
Diámetro mínimo	d_{\min}	0,2824	m
Diámetro Máximo	d_{\max}	0,1997	m

Tabla n°41: Diámetro mínimo y máximo según número de Mach.

Una vez encontrado esos diámetros, se busca un valor comercial más próximo a dicho resultados. El valor de diámetro seleccionado para la antorcha es cuestión debe estar entre los valores 0,2189 y 0,3239 metros.

Una vez seleccionado dicho diámetro, se procede al cálculo de la altura de la antorcha de la siguiente manera.

Diámetro elegido	d	0,2731	m
Área	A	0,0586	m ²
Velocidad de Propagación	U_j	59,3	m/s
Numero de Reynolds	Re	9.005.395	Adim.
Caída de presión en TÈ			
Rugosidad Relativa		1,83E-04	
Coefficiente de fricción	f_t	0,09	Adim.
Constante K_{TE}	K_{te}	5,40	Adim.
Caída de presión en Té	ΔP_{te}	21,92	kPa
Caída de presión en Quemador			
Densidad del gas a Presión Atmosférica	p	2,31	kg/m ³
Caudal Volumétrico	V	12.507	m ³ /h
Velocidad de Propagación	U_j	59,33	m/s
$K_{quemador}$	K_q	0,989	
Caída de presión en Quemador	ΔP_q	4,013	kPa
Caída de presión en Sello Molecular			
Caída de presión en Sello Molecular	ΔP_{sm}	50	kPa
Caída de presión en Descarga			
$K_{descarga}$	K_d	1,00	Adim.
Caída de presión en Descarga	ΔP_d	4,06	kPa
Caída de presión en Fuste			
Caída de presión en Fuste	ΔP_f	120	kPa
Altura de la Antorcha			
Longitud del Fuste	L_{fuste}	43	m

Altura de Rack de Tuberías	h_{rack}	3	m
Largo del quemador	L_q	3,0	m
Largo del Sello Molecular	L_{sm}	4	m
Altura de Antorcha	$H_{antorcha}$	52,8	m
Liberación de calor	Q	366.907	kW
Longitud de la llama	L	40,4	m
n° Match		0,27	m
Velocidad del Sonido	U_s	222,37	m/s
Velocidad de salida del quemador	U_j	15,86	m/s
Distorsión de la llama por viento	R	0,88	Adim.
Componente Horizontal en relación a la longitud de la llama	R_x	1,13	Adim.
Componente Vertical en relación a la longitud de la llama	R_y	0,12	Adim.
Componente Horizontal	Δx	45,8	m
Componente Vertical	Δy	5,0	m
Distancia de referencia	R	0,0	m
Distancia horizontal del centro geométrico de la llama al punto de referencia	R'	22,9	m
Mínima distancia del centro de llama al punto de referencia	D	30,4	m
Distancia vertical del centro de la llama al punto de referencia	H'	20,0	m
Altura de la Antorcha	H	17,5	m
Longitud del Fuste	L_{fuste}	8,0	m

Tabla n°42: Procedimiento para obtención de diámetro y largo del Flare.

Quedando exployado los valores más importantes en la siguiente tabla, la cual es un resumen de todo el cálculo mencionado anteriormente.

Resumen

Diámetro	d	0,2731	m
Diámetro	d	10,75	in
Altura	H	18	m
Número mínimo de pilotos recomendados	$n^{\circ}P$	2	Adim.
Altura de Rack de Tuberías	h_{rack}	3	m
Largo del quemador	L_q	3,0	m
Largo del Sello Molecular	L_{sm}	4	m
Longitud del Fuste	L_{fuste}	8,0	m

Tabla n°43: Resumen de datos obtenidos.

9.2.5.1.2 Calculo del caudal de descarga a antorcha

En este ítems se identifican los potenciales caudales de descarga a la antorcha cuando existe alguna situación de emergencia o pactada para un correcto paro de planta.

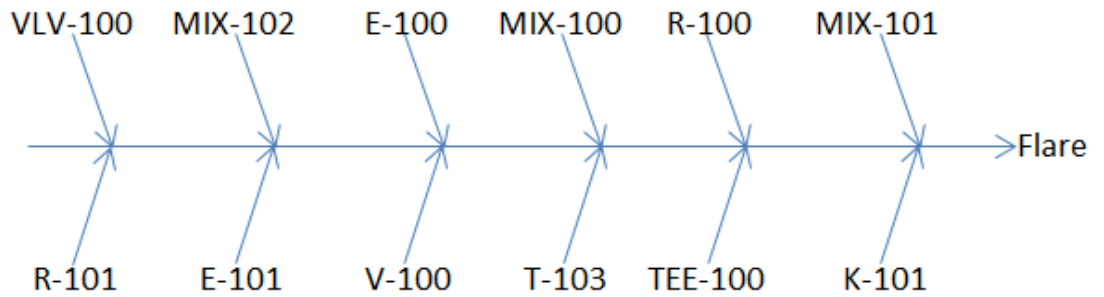


Fig.n°46: Caudales detallados a ventear en caso de emergencia.

A continuación se observaran los valores correspondientes a cada uno de los equipos mencionados.

Caudal másico de diseño para radiación

Proviene	Caudal Másico (kg/h)
VLV-100	1.467
MIX-102	2.240
E-100	4.896
MIX-100	2.656
R-100	2.656
MIX-101	2.816
R-101	2.816
E-101	5.056
V-100	1.608
T-103	929
TEE-100	929
K-101	774
Total	28.843

Tabla n°44: Caudales detallado de cada corriente a ventear en caso de emergencia.

9.2.5.1.3 Calculo de Consumo de Gas

El quemador piloto seleccionado para el encendido de la antorcha es de la empresa Smitsvonk Holland B.V., ya que proporcionan una ignición fiable y una combustión estable, aun cuando las condiciones climáticas no son las más favorables.



Fig.nº47: Piloto Burner (Smitsvonk Holland B.V).

Dicho quemador cuenta con las siguientes características constructivas:

Datos constructivos

Diámetro de la tubería	2"
Diámetro de la tapa de viento	4"
Largo	2326 mm
Diseño	En Angulo o recto
Material	Principalmente 310 SST
Requisitos de aire	Auto-aspiración
Suministro de gas	Gas natural o propano/butano

Tabla n°44: Datos constructivos del piloto.

En función de la potencia máxima del quemador piloto, la cual es de 30.000 W, se procede a calcular la cantidad mínima requerida para una combustión completa, considerando un 30% de aire en exceso.

Consumo de Gas

Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
Capacidad calorífica GN	C_{cgn}	7.000	Kcal/m ³
Capacidad del quemador	C_q	25.796	kcal/h
Caudal volumétrico de GN	V_{gn}	3,685	m ³ /h
Densidad del GN a 15°C	ρ_{gn}	0,737	kg/m ³
Caudal másico del GN	m_{gn}	2,716	kg/h
Exceso de aire	exc.	30%	%
Caudal másico de aire	m_a	4,775	kg/h
Caudal másico de aire con el exceso	m_a	6,208	kg/h

Tabla n°45: Consumo de gas y aire.

9.2.5.1.4 Calculo de la contaminación sonora

El origen del ruido de la antorcha es provocado por varios factores, como es la onda turbulenta dentro del fenómeno de la combustión y el ruido del choro, donde estos componentes son los causantes de la resonancia en las estructuras próximas en la frecuencia natural debido a que son una banda ancha y aleatoria.

Para obtener dicho valor se debe calcular la generación de ruido o comúnmente el nivel de potencia acústica, como también el nivel de presión sonora.

La limitación que existe con respecto al ruido a pie de antorcha, es obtener un valor de nivel de presión sonora inferior a 85 dB, a continuación se adjunta el cálculo de dichos valores.

Medida y Cálculo del ruido

Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
Caída de presión en Quemador	ΔP_q	40,134	mbar
Gasto másico de la antorcha	m	8,012	kg/s
Nivel de potencia acústica	L_w	124,513	dB
Nivel de presión sonora	L_p	83,632	dB

Tabla n°46: Contaminación sonora por Flare.

Como se puede apreciar, el nivel de presión sonora está por debajo del límite máximo anteriormente mencionado.

9.2.5.1.5 Área segura

Se debe definir un área estéril, la cual se procede a vallar para evitar el ingreso del personal de planta, en caso de realizarle mantenimiento, la antorcha se va a encontrar fuera de servicio. En el perímetro vallado el nivel de radiación es muy superior a lo admisible para un humano de forma continuada.

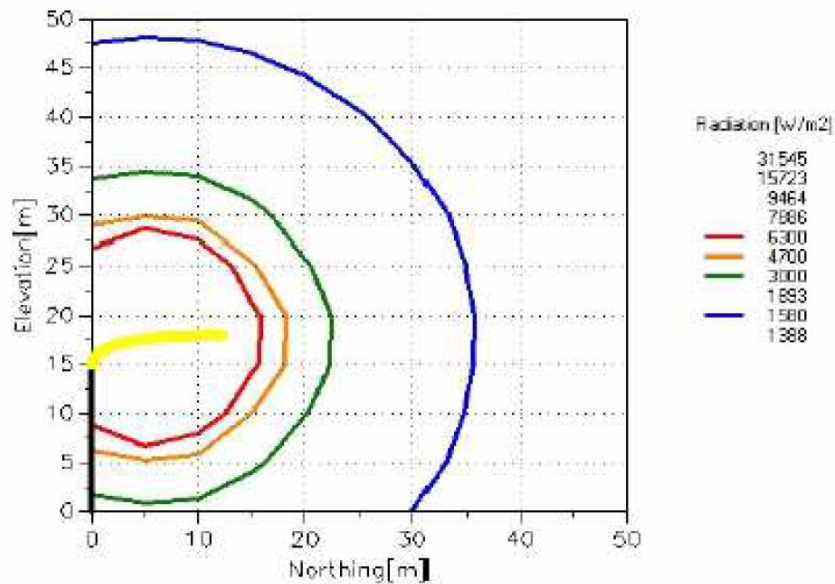


Fig.n°48: Esferas a distintas intensidad de radiación (Gómez Fernández, D.).

Como se puede apreciar en la imagen, la curva que corresponde a una radiación de 1,58 kW/m² corta en el eje x a un valor de 30 metros, por ende, se define el área segura a 30 metros. Todo operario que trabaje fuera de dicha zona deberá contar con ropas de protección adecuadas y en caso de realizar alguna actividad dentro del área estéril, solo podrá permanecer unos minutos.

9.2.5.2 Diseño detallado del Knock Out Drum (KOD)

Generalmente cuando se instala una antorcha se coloca previo a esta, un knock out drum para evitar que se liberen de manera directa a la atmosfera hidrocarburos líquidos. Este recipiente recolector cumple la función de separar el gas del líquido, dando como resultado un líquido condensado y un gas de residuo, el líquido es bombeado a algún reservorio para luego ser extraído por algún camión especial o enviado a la planta de tratamiento de efluente para su posterior tratamiento, mientras que el gas es dirigido hacia la antorcha para su quema segura.

Los factores más importantes que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar el material de cual estará hecho, son la seguridad y la economía. Esta elección se basa principalmente en las propiedades mecánicas (Corrosión, Tenacidad, Fluencia) y térmicas del material.

Para el diseño y selección de materiales se utilizó como referencia la Norma API 521 y la Norma ASME VIII División 2, Parte 4, Edición 2013. Además, de estas dos normas se obtuvieron los datos necesarios para el cálculo de los espesores, tanto del cuerpo cilíndrico, como de los cabezales.

Los criterios que mayor influencia tienen en el diseño del recipiente son los siguientes:

- Recorrido del gas: A mayor recorrido mayor eficiencia de separación.
- Relación de resistencia.
- Presión de fluido estático: A mayor nivel del líquido mayor será la presión en el fondo del recipiente.
- Capacidad Volumétrica.
- Corrosión.
- Costo del material.

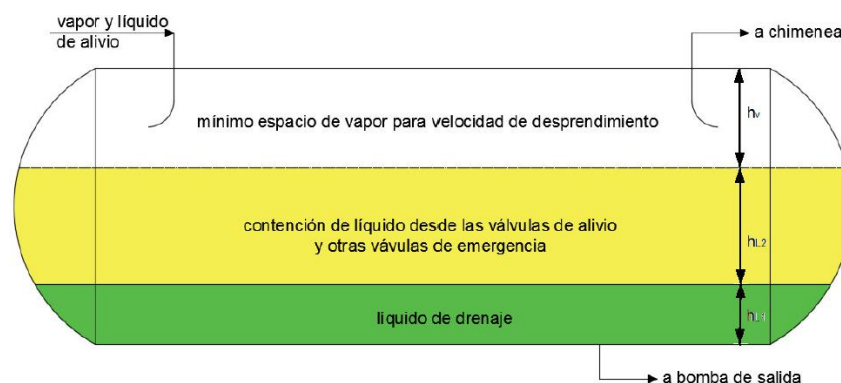


Fig.nº49: Distintas fases en un KOD (Velasco Quezada, S. S.).

9.2.5.2.1 Calculo de diámetro y longitud

Cabe aclarar que el equipo contara con las siguientes partes:

- Boca de ingreso de fluido.
- Boca de egreso de gas.
- Boca de egreso de líquido de drenaje.
- Entrada hombre para inspección.
- Bocas para instrumentación.
- Silletas/Soporte.

Como se recalco con los equipos anteriores, toda propiedad de los fluidos fue extraída del Software Hysys V9.

Primero se recopiló la información necesaria para el correcto desarrollo de la metodología de cálculo, luego se procedió a desarrollar dicha metodología para obtener el diámetro y la longitud del equipo. También se adquirieron los diámetros de las distintas boquillas. Por último, se realizó la verificación de cálculo, donde la relación longitud-diámetro debe estar en el rango de 2 a 4.

A continuación se adjunta el paso a paso del dimensionamiento del equipo mencionado.

Datos de diseño

Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
Temperatura	T	14,8	°C
Presión	P	200,0	Kpa
Aceleración de Gravedad	g	9,80	m/s ²
Densidad del gas	ρ_g	3,586	kg/m ³
Densidad del líquido	ρ_l	976,5	kg/m ³
Flujo másico del líquido	m_l	1,709	kg/s
Flujo másico del gas	m_v	8,012	kg/s
Diámetro de la partícula	d	1,50E-04	um
Viscosidad del gas	μ_g	0,010	cp
Tiempo de residencia	t_r	7.200	s
Flujo volumétrico del liquido	Q_l	1,75E-03	m ³ /s
Flujo volumétrico del gas	Q_v	2,234	m ³ /s

Tabla n°47: Recopilación de datos a considerar en el diseño.

Calculo

Factor relacionado a Reynolds	$C(Re)^2$	1.665	Adim.
Coefficiente de arrastre	C	2,500	Adim.
Velocidad vertical de la gota	U_c	0,459	m/s
Volumen de líquido	Vol	12,601	m ³
Área mínima requerida	A_m	4,864	m ²
Diámetro mínimo	D_m	2,489	m
Diámetro	D	2,540	m
Altura de vapor	h	1,524	m
Angulo	α	3,544	Rad
Relación Área de vapor/Área total	A_v/A_d	0,626	Adim.
Área Total	A_d	5,067	m ²
Área de vapor	A_v	3,174	m ²
Área de liquido	A_l	1,893	m ²
Longitud	L	6,658	m
Relación L/D	L/D	2,621	m

Tabla n°48: Calculo para obtener Diámetro y Largo del equipo.**Boquilla de Entrada**

Densidad de mezcla	ρ_m	3,705	kg/m ³
Velocidad mínima	V_m	36,736	m/s
Diámetro de ingreso	D_i	0,278	m

Boquilla de Salida del Gas

Velocidad de salida de gas	V_g	40,904	m/s
Diámetro de salida	D_v	0,264	m

Boquilla de Salida del Liquido

Velocidad de salida de liquido	V_l	1,000	m/s
Flujo volumétrico de drenaje	Q_d	0,004	m ³ /s
Diámetro de salida	D_l	0,069	m

Boquilla de Inspección

Diámetro	D_{insp}	0,6096	m
----------	------------	--------	---

Tabla n°49: Calculo para obtener los distintos diámetros de las boquillas.**9.2.5.2.2 Calculo de espesores**

Se define un sobre espesor por corrosión, el cual se diseña para brindarle una vida útil mínima de 15 años al equipo.

$$c = 0,12 \frac{mm}{año} * 15año = 1,8mm$$

Es muy importante en el cálculo de espesores, tener definido el material con el cual se construirán las distintas partes del equipo, debido a sus propiedades mecánicas, como el esfuerzo mínimo de tensión o el esfuerzo permisible entre otros. Por lo que, el cilindro y los cabezales estarán contruidos de un material SA-516-70, mientras que las boquillas de SA-105 y 106-B, y toda parte que no esté sometida a presión de SA-36.

- Espesor de cuerpo:

Según el Código ASME VIII División 2 el espesor de diseño del cuerpo del KOD se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$td(mm) = \frac{D}{2} \left(e^{\left[\frac{P_d + P_s}{1000 * S * E} \right]} - 1 \right) + t_c \quad 9.5$$

Donde los términos de las ecuaciones corresponden:

- $P_d(kPa)$ =Presión de diseño.
- $P_s(kPa)$ =Presión hidrostática.
- $D(mm)$ =Diámetro interior del KOD en estado corroído.
- $S(MPa)$ =Esfuerzo permisible del material base a temperatura de diseño.
- $E(Adimensional)$ =Eficiencia de la soldadura.
- $t_c(mm)$ =Espesor por corrosión admisible.

El valor de E es igual a 1, mientras que el valor del esfuerzo permisible a temperatura de diseño del material seleccionado es 165 MPa.

La presión hidrostática se calcula de la siguiente manera:

$$P_s = g * H_s * g_s = 9.8 \frac{m}{s^2} * 2,353m * 0,53 = 12,41kPa$$

Mientras que la presión de diseño, basándose en que la presión máxima de vapor para el GLP es de 1447 kPa y lo sugerido por la Norma NFPA 58 según el párrafo 5.2.4.3 será de 1724 kPa.

Entonces el espesor queda definido:

$$td = \frac{2540}{2} \left(e^{\left[\frac{1724 + 12,41}{1000 * 165 * 1} \right]} - 1 \right) + 1,8 = 15,236mm$$

- Espesor de cabezales:

Como se mencionó en el cálculo anterior, según el Código ASME VIII División 2 el espesor de los cabezales se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$td(mm) = \frac{D}{2} \left(e^{\left[\frac{0,5 * P_d}{1000 * S * E} \right]} - 1 \right) + t_c \quad 9.6$$

Donde los parámetros a utilizar son idénticos a los usados anteriormente, por lo que, reemplazando dichos valores, se obtiene el siguiente espesor.

$$td = \frac{2540}{2} \left(e^{\left[\frac{0,5 * 1724}{1000 * 165 * 1} \right]} - 1 \right) + 1,8 = 8,452mm$$

Por cuestiones relacionadas a los frecuentes errores, luego del conformado de los cabezales, se considera un 10% de sobre espesor, quedando el resultado final de 9,297mm.

9.2.5.2.3 Diseño de Silletas

Cuando se trata de recipientes horizontales, la configuración de las silletas debe ser como soporte continuo por al menos la tercera parte de la circunferencia del cuerpo o que satisfaga la condición de $\theta \geq 120^\circ$. También se le coloca una placa de refuerzo, la cual cumple la función de reducir los esfuerzos en la pared del cuerpo en la parte de los soportes.

Considerando las reglas propuestas para el diseño de soportes o silletas del Código ASME VIII División 2, párrafo 4.15.3 y las dimensiones del equipo en cuestión, se proponen las siguientes dimensiones generales.

Dimensiones generales de Silletas

Nomenclatura	Variable	Valor	Unidad
Distancia entre centros de silletas	L_s	2,77	m
Longitud tangente a tangente	L	6,658	m
Distancia a la tangente de tanque	a	0,5590	m
Altura de silleta	H	1,1	m
Ángulo de contacto de silleta	θ	120	°
Espesor de alma	t_s	12,000	mm
Ancho de silleta	b	0,46	m
Espesor de placa refuerzo	t_r	12,700	mm
Ancho de placa refuerzo	b_r	475,000	mm
Ángulo de contacto con placa refuerzo	θ_1	130	°

Tabla n°50: Dimensiones consideradas para la silleta.

9.2.5.2.4 Instrumentación del equipo

Un buen diseño en la instrumentación del equipo es fundamental para asegurarse una correcta seguridad del proceso, como del equipo mismo. Es muy importante que cada instrumento funcione a la perfección en situaciones normales de operación, recibiendo un constante mantenimiento para evitar cualquier falla en ocasiones de emergencias, por ejemplo, cuando se requiera la capacidad máxima del equipo.

Los instrumentos seleccionados para un correcto monitoreo son los siguientes:

- Indicador de presión en la parte superior del equipo.
- Trasmisor de nivel en la parte superior del equipo.
- Indicador de nivel de alta en hemisferio derecho a una altura de 2508 mm, desde el fondo del recipiente.

- Indicador de nivel de baja en hemisferio derecho a una altura de 150 mm, desde el fondo del recipiente.
- Interruptor de nivel en la parte superior del recipiente.

Los respectivos tamaños son NPS 2” para los indicadores y trasmisores, mientras que para el interruptor es NPS 4”. Dichos tamaños seleccionados son valores estándares para esta clase de equipos.

El flear también contara con una varilla detectora de llama para asegurar que siempre se mantenga encendida, en caso contrario enviara una señal al tablero principal para su reencendido.

A su vez se contara con un rol de emergencia ante cualquier situación donde se vea en riesgo la vida del operador, como la seguridad de la planta. Dicho rol será activado de forma inmediata por el tablerista encargado del monitoreo, ya que se le activaran las alarmas correspondientes. Como se mencionó anteriormente, es muy importante que todo instrumento funcione correctamente, pero también que sean lo justo y necesario para evitar cualquier inhibición por parte del personal encargado de monitorear. Al activarse el rol de emergencia, todo operador debe respetar el área de seguridad mencionado en el ítem 9.2.5.1.5.

9.2.6 Bibliografía

- ANSI/API STANDARD 521. (2007). Pressure-relieving and Depressuring Systems (Quinta ed.).*
- ANSI/ASME B36.10M-2004. (2004). Welded and Seamless Wrought Steel Pipe.*
- Arias, F. (2007). Hojas de Calculo para uso interno. Departamento de Procesos.*
- Crane. (s.f.). Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tuberias. McGraw-Hill.*
- Gómez Fernández, D. (2010). Diseño de una antorcha en instalaciones de regasificación de GNL. Proyecto fin de carrera, Universidad de Carlos III de Madrid, Madrid.*
- Velasco Quezada, S. S. (2017). Diseño de un recipiente separador gas-liquido Knock Out Drum bajo la normativa ASME VIII Division 2. Trabajo final de Graduacion, Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil.*

10. Estudio de Impacto Ambiental

En el presente capítulo se realizara el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) del proyecto en cuestión, ya que, según el Decreto 2656/29 de la provincia del Neuquén, le corresponde un EsIA debido a que presenta un impacto medio/alto.

El mencionado estudio es un documento técnico, de carácter interdisciplinario, que se incluye en el procedimiento administrativo general de la Evaluación de Impacto Ambiental, que está destinado a predecir, identificar, valorar, prevenir y corregir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de la vida del hombre y su entorno.

La ley que rige el procedimiento de un Estudio de Impacto Ambiental es la Ley provincial N°1875, Anexo I Resolución 25, capítulo III. Para realizar un correcto EsIA, se sugiere tener en cuenta la siguiente estructura general:

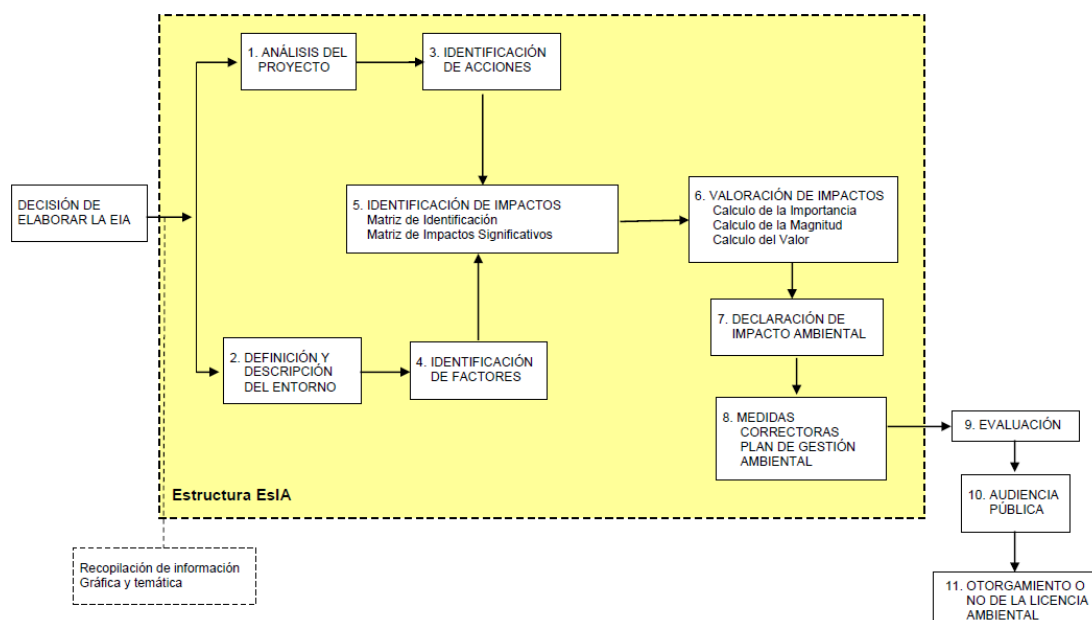


Fig.n°50: Estructura general de un Estudio de Impacto Ambiental (Gomez, D. (2010)).

10.1 Proyecto

Teniendo en cuenta las fases presentes de un proyecto: Proyecto, Construcción, Operación y Abandono, se hará una caracterización de las materias primas, insumos y efluentes (Emisiones y Vertidos), siempre bajo condiciones normales de operación.

A continuación se detalla cada uno de las mencionadas anteriormente.

10.1.1 Recursos demandados y Cuantificación

Materias Primas	Cantidad (Ton/Año)	Transporte	Forma de almacenamiento
i-butano	5.474	Cañería	Tanque esférico
n-butano	12.773	Cañería	Tanque esférico
Oxígeno	3.644	Camión	Tanque

Insumos	Etapas del Proyecto	Consumo Estimado	Unidad de Medida	Observaciones
Mano de Obra	Construcción	25	Personas	Montaje de equipos y cañerías.
Energía Eléctrica	Operación	N/D	-	Usos varios.
Acetonitrilo	Operación	4885,31	Kg/h	Solvente a utilizar en columna absorbadora.
Agua Potable	Operación	100	Lt/Persona/Día	Consumo e Higiene
Gas Natural	Operación		m ³ /h	Alimentación a hornos de proceso.
Mano de Obra	Operación		Personas.	Operación de la planta, Sala de control, Laboratorio y Seguridad.
Mano de Obra	Abandono	25	Personas	Desarme de equipos y cañerías.

10.1.2 Efluentes

10.1.2.1 Emisiones

Emisión	Etapas del Proyecto	Emisión Estimada	Unidad de Medida	Observaciones
Venteo	Operación	153,32	Kg/h	Proveniente de torre absorbidora a Flear.
Ruido	Construcción y Operación	50	dB	Ruido por maquinarias y equipos.

10.1.2.2 Vertidos

Origen de Descarga	Etapas del Proyecto	Volumen Estimado	Unidad de Medida	Observaciones
Efluente	Operación	1,26	m ³ /h	Se lo trata en la PTE para su disposición final como agua de riego.
Cloacales	Construcción, Operación y Abandono	0,417	m ³ /h	Por la Red Cloacal se envía al responsable para su tratamiento.

10.1.2.3 Residuos

Residuo	Etapas del Proyecto	Volumen Estimado	Unidad de Medida	Observaciones
Residuo de Construcción	Construcción	N/D	-	Destino final: Basurero Municipal.
Residuo sólidos urbanos	Construcción y Operación	N/D	-	Se contara con cestos de basura clasificados, cada cesto ira a su destino final correspondiente.

Residuos líquidos de Laboratorio	Operación	N/D	-	Se almacenaran en recipientes y se enviara para su tratamiento.
----------------------------------	-----------	-----	---	---

10.2 Identificación y Valoración de los Impactos

Con el objetivo de identificar, valorar, prevenir y corregir los impactos ambientales que generara el proyecto en estudio, el presente ítem procede a confeccionar una descripción de las acciones que se consideran impactantes dentro de las fases de ejecución, operación y abandono. Como también, a través de un árbol se consideraran todos los factores susceptibles de ser impactados y se identifican y, subjetivan todos los impactos posibles por medio de un listado.

10.2.1 Arboles de Acciones y Factores

Mediante un árbol, el cual estará dividido en dos tablas, se analizan tanto las acciones que por la ejecución del proyecto van actuar sobre el medio, como también, los factores del medio que se consideran que pueden ser afectados por las acciones.

Árbol de Acciones			
	Fase	Elementos	Acciones
Proyecto	Proyecto		
	Construcción	Locación, Playa de tanques, Planta y Caminos de accesos	Tránsito de Maquinaria y Vehículos
			Desmante en locaciones
			Nivelación y Compactación del suelo
			Extracción del material granular de cantera
			Transporte de material granular
			Emisión de ruidos y vibraciones
			Emisión de polvo y gases
			Depósitos de materiales
			Generación de residuos
			Demanda de mano de obra
	Puesta en marcha		Señalización
			Funcionamiento de equipos
			Venteos
			Emisión de ruidos
			Emisión de polvo y gases
	Operación	Planta de Butadieno	Manejo de residuos
			Almacenamiento de materias primas
			Almacenamiento de productos
			Emisión de gases
Tránsito de vehículos			
Operaciones de mantenimiento			
Abandono		Operaciones por contingencias	
		Desmontado de equipos	

		Planta de Butadieno y Playa de Tanques	Traslado de equipos y herramientas
			Generación de residuos de desmantelamiento
			Revegetación de área desmontada
			Despidos

Árbol de Factores				
	Subsistema	Medio	Factor	Subfactor
Medio Ambiente	Físico - Natural	Inerte	Aire	Calidad del Aire
				Confort sonoro
			Clima	Temperatura
				Precipitaciones
				Vientos
				Radiación Solar
				Evapotranspiración
			Geología	Estratigrafía
				Sismicidad
			Hidrología Superficial	Drenaje
		Hidrología Subterránea	Acuíferos	
		Suelos	Características	
			Índice de productividad	
		Biótico	Flora	Grado de desertificación
	Unidad de vegetación			
	Fauna		Mamíferos	
			Aves	
			Reptiles	
			Hábitat	
	Perceptual	Paisaje	Intrínseco	
Socioeconómico y Cultural	Uso del suelo rustico	Economía	Uso extractivo	
			Uso agrícola	
		Uso ganadero		
	Recreativo	Recreo		
	Socioeconómico	Población		
		Recursos Humanos		
		Economía	Actividad económica	
	Socio - Cultural	Recursos culturales		
	Núcleo e Infraestructura	Infraestructura	Servicios	
			Instalaciones	

10.2.2 Identificación de Impactos

En este ítem se identifican aquellas acciones que puede generar el proyecto sobre el medio, las cuales provocan impactos. A su vez, estas acciones se pueden agrupar de dos formas:

- **Acciones Operativas:** Son las que la actividad produce por el solo hecho de su concepción, construcción, operación y abandono.
- **Acciones Accidentales o de Contingencias:** Son de origen natural o humano, donde su ocurrencia involucra un riesgo potencial. Se producen como consecuencia de una emergencia, o sea, lo que acontece cuando, de una circunstancia o combinación de circunstancias, surge un fenómeno inesperado de índole accidental, que debe ser controlado a fin de evitar daños, lo que se denomina contingencia.

A continuación se detallan los impactos positivos como negativos en cada una de las fases del proyecto:

- **Acciones Operativas:**

Planta de Butadieno		
Fase: Construcción		
Elementos: Desmonte, Excavación, Tendido, Prueba de hermeticidad y Tapada		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Procesos	1	Incremento del proceso erosivo por desmonte
Aire	2	Contaminación de la calidad del aire por emisión de polvo y gases de combustión por tránsito de vehículos y operación de maquinaria
	3	Contaminación del confort sonoro por tránsito de vehículos y operación de maquinarias
Suelo	4	Modificación de la calidad por zanjeo y excavación
Vegetación	5	Eliminación de la cubierta vegetal por desmonte, zanjeo y excavación
Fauna	6	Afectación del hábitat de la fauna por tránsito de vehículos y operación de maquinarias
	7	Afectación del hábitat de la fauna por desmonte, zanjeo y excavación
Paisaje	8	Afectación del paisaje intrínseco
Impactos Positivos		

Factores Afectados	Nº	Operativos
Actividad Económica	1	Contratación de mano de obra
	2	Demanda de Bienes y Servicios

Planta de Butadieno		
Fase: Ejecución		
Elementos: Playa de tráiler, Predio recolector, Locación y Acceso		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Procesos	1	Incremento del proceso erosivo por desmonte
	2	Alteración de drenaje por ejecución de locaciones
Aire	3	Contaminación de la calidad del aire por emisión de polvo y gases de combustión por tránsito de vehículos y operación de maquinaria
	4	Contaminación del confort sonoro por tránsito de vehículos y operación de maquinarias
Geomorfología	5	Afectación del relieve por corte y relleno para nivelación de locación
Suelo	6	Modificación de la calidad por desmonte
Vegetación	7	Eliminación de la cubierta vegetal por desmonte
Fauna	8	Afectación del hábitat de la fauna por tránsito de vehículos y operación de maquinarias
	9	Afectación del hábitat de la fauna por desmonte
Paisaje	10	Afectación del paisaje intrínseco
Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Actividad Económica	1	Contratación de mano de obra
	2	Demanda de Bienes y Servicios

Planta de Butadieno		
Fase: Ejecución		
Elemento: Montaje de Planta		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos

Aire	1	Afectación a la calidad de aire por emisiones de polvo y gases de combustión
	2	Afectación al confort sonoro
Fauna	3	Afectación por calor y ruido de maniobras de soldadura
	4	Afectación por ruido de operaciones de montaje
	5	Afectación debido al tránsito de vehículos y maquinaria
Paisaje	6	Afectación del paisaje intrínseco
Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Actividad Económica	1	Contratación de mano de obra
	2	Demanda de Bienes y Servicios

Planta de Butadieno		
Fase: Operación		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Aire	1	Afectación a la calidad de aire por emisiones de polvo y gases de combustión debido al movimiento de vehículos
	2	Afectación de la calidad del aire por emisión de gases de combustión debido a hornos de proceso
	3	Afectación al confort sonoro debido al tránsito de vehículos
Fauna	4	Afectación por calor y ruido de actividades de operación
	5	Afectación por ruido de tareas de mantenimiento
	6	Afectación debido al tránsito de vehículos y maquinaria
Paisaje	7	Afectación del paisaje intrínseco
Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Actividad Económica	1	Contratación de mano de obra
	2	Demanda de Bienes y Servicios

Planta de Butadieno		
Fase: Abandono		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Suelo, Vegetación y Fauna	1	Afectación por residuos de abandono
	2	Afectación por ruidos de desmontaje
Economía	3	Pérdida de ingresos Fiscales
	4	Finalización de demanda de Bienes, Servicio y Mano de Obra

Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Procesos	1	Mejora de las condiciones del terreno para detener los procesos de drenaje y erosión
Vegetación	2	Se favorece la revegetación
Fauna	3	Se favorece la repoblación de la fauna
Paisaje	4	Recomposición de las unidades del paisaje a su estado natural
Recursos Humanos	5	Ocupación de mano de obra

- **Acciones Accidentales:**

Planta de Butadieno		
Fase: Ejecución		
Elemento: Campamento, Locación y Acceso		
Factores Afectado	Nº	Riesgos
Suelo	1	Riesgo de contaminación por vertido no controlado y eventual campamento de residuos
	2	Riesgo de contaminación por derrames no controlados y eventuales de combustibles por maquinarias, equipos y/o vehículos
Recursos Humanos	3	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias, equipos y/o vehículos

Planta de Butadieno		
Fase: Ejecución		
Elemento: Campamento, Locación y Acceso		
Factores Afectado	Nº	Riesgos
Suelo	1	Riesgo de contaminación por vertido no controlado y eventual campamento de residuos
	2	Riesgo de contaminación por derrames no controlados y eventuales de combustibles por maquinarias, equipos y/o vehículos
Recursos Humanos	3	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias, equipos y/o vehículos
Fase: Ejecución		
Elemento: Puesta en Marcha		
Procesos	1	Riesgo de descontrol e incendio
Suelo		

Fauna		
Vegetación		
Recursos Humanos		
Suelo	2	Riesgos por contaminación superficial y por infiltración de fluidos del proceso
Hidrología Subterránea		
Suelo	3	Riesgos de emisiones gaseosas por accidente en la operación de puesta en marcha
Hidrología Subterránea		
Fauna		
Recursos Humanos		
Recursos Humanos	4	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias, equipos y/o vehículos
Fase: Operación		
Suelo	1	Riesgo de derrame de algún producto (Materia prima, subproducto y/o producto)
Fauna		
Vegetación		
Suelo	2	Riesgo de contaminación del suelo por derrames no controlados y eventuales de combustible de maquinarias, equipos y/o vehículos
Vegetación		
Aire y Recursos Humanos	3	Riesgo de emisión de gases nocivos
	4	Riesgo por venteo de emergencia
Suelo	5	Riesgo por derrame de solvente
Recursos Humanos		
Recursos Humanos	6	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias, equipos y/o vehículos
Abandono		
Suelo	1	Riesgo por incendio
	2	Riesgo por derrame
Recursos Humanos	3	Accidente Laboral

10.2.3 Valoración de los Impactos

Cuando se quiere evaluar un impacto ambiental, se realiza a través de su signo y valor, o sea, por su grado de manifestación. Dicho valor relaciona la importancia y la magnitud, donde el primero indica la gravedad de un impacto, mientras que el segundo, la importancia del factor afectado.

Para el proyecto en estudio solo se realiza la evaluación considerando la Importancia del Impacto, es decir, la categoría del efecto de una acción sobre un determinado factor afectado.

10.2.4 Calculo de la Importancia

Este cálculo tendrá en cuenta solamente los impactos negativos, debido a que estos son los que gravitarán sobre la viabilidad del ambiental del proyecto. La expresión matemática para la resolución del mismo es adoptada de la Resolución N° 25/04 de la Secretaria de Energía de la Nación (ANEXO I).

$$Importancia = \pm[3I + 2E + P_E + M + R_V + R_C + S + A + E_F + P_R]$$

Donde

<i>I</i>	Intensidad
<i>E</i>	Extensión
<i>P_E</i>	Persistencia
<i>M</i>	Momento
<i>R_V</i>	Reversibilidad
<i>R_C</i>	Recuperabilidad
<i>S</i>	Sinergia
<i>A</i>	Acumulación
<i>E_F</i>	Efecto
<i>P_R</i>	Periodicidad

A continuación se detalla los criterios de valoración para cada uno de los parámetros que se involucran en el cálculo de la Importancia.

Criterio	Definición	Valor
Intensidad	Grado de perturbación que imponen las acciones del proyecto al valor ambiental asignado al factor	-
Extensión		Puntual
		Parcial

	Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto	Extenso Total Critica
Momento	Es el plazo de manifestación del impacto	Largo Plazo (>5 años) Medio Plazo (1-5 años) Inmediato (<1 año) Critico (Circunstancia critica)
Persistencia	Es el tiempo de permanencia del efecto desde su aparición hasta su posible desaparición	Fugaz (<1 año) Temporal (1-10 años) Permanente (>10 años)
Reversibilidad	Es la capacidad que tiene el factor afectado de revertir el efecto por medios naturales	Corto Plazo (<1 año) Medio Plazo (1-10 años) Irreversible (>10 años)
Periodicidad	Es la regularidad de manifestación del efecto	Irregular o aperiódico y discontinuo Periódico Continuo
Recuperabilidad	Es la posibilidad de revertir el efecto por medio de la intervención humana	De manera inmediata (<1 año) A mediano plazo (1-10 años) Mitigable Irrecuperable

En función a la Tabla nº se procede a realizar las matrices de las diferentes etapas del proyecto.

Fase: Ejecución													
Calculo de la Importancia													
				Impactos									
Atributo	Carácter	Valor	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Signo	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

	Perjudicial	(-)											
Intensidad	Baja	1											
	Media	2											
	Alta	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Muy Alta	8											
	Total	12											
Extensión	Puntual	1											
	Parcial	2											
	Extenso	4	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
	Total	8											
	Critica	(+4)											
Momento	Largo Plazo	1											
	Mediano Plazo	2	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Inmediato	4											
	Critico	(+4)											
Persistencia	Fugaz	1											
	Temporal	2	1	2	4	1	1	4	2	2	1	1	1
	Permanente	4											
Reversibilidad	Corto Plazo	1											
	Mediano Plazo	2	1	2	2	1	1	4	2	2	1	1	1
	Irreversible	4											
Sinergia	Sin Sinergismo	1											
	Sinérgico	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Muy Sinérgico	4											
Acumulación	Simple	1											
	Acumulativo	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Efecto	Indirecto	1											
	Directo	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Perioidad	Irregular	1											
	Periódico	2	1	2	1	4	4	1	1	2	4	4	4
	Continuo	4											
Recuperabilidad	Inmediata	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1

	Medio Plazo	2											
	Mitigable	4											
	Irrecuperable	8											
	Importancia		23	24	24	24	25	21	22	22	22	22	22

Fase: Operación										
Calculo de la Importancia										
				Impactos						
Atributo	Carácter	Valor	Peso	1	2	3	4	5	6	7
Signo	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Perjudicial	(-)								
Intensidad	Baja	1	3							
	Media	2		1	1	1	1	1	1	1
	Alta	4								
	Muy Alta	8								
	Total	12								
Extensión	Puntual	1	2							
	Parcial	2		2	2	2	2	2	2	
	Extenso	4								
	Total	8								
	Critica	(+4)								
Momento	Largo Plazo	1	1							
	Mediano Plazo	2		4	4	4	4	2	2	2
	Inmediato	4								
	Critico	(+4)								
Persistencia	Fugaz	1	1							
	Temporal	2		1	1	2	2	1	1	1
	Permanente	4								
Reversibilidad	Corto Plazo	1	1							
	Mediano Plazo	2		1	1	2	1	1	1	2
	Irreversible	4								
Sinergia	Sin Sinergismo	1	1							
	Sinérgico	2		1	1	1	1	1	1	1
	Muy Sinérgico	4								
Acumulación	Simple	1	1							
	Acumulativo	4		1	1	1	1	1	1	1
Efecto	Indirecto	1	1							
	Directo	4		4	4	4	4	4	4	4
Perioidad	Irregular	1	1							
	Periódico	2		1	1	1	2	1	2	1

	Continuo	4								
Recuperabilidad	Inmediata	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Medio Plazo	2								
	Mitigable	4								
	Irrecuperable	8								
Importancia			21	21	23	23	19	20	20	
Fase: Abandono										
Calculo de la Importancia										
			Impactos							
Atributo	Carácter	Valor	Peso	1	2	3	4			
(-)	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)			
	Perjudicial	(-)								
Intensidad	Baja	1	3	1	1	1	1			
	Media	2								
	Alta	4								
	Muy Alta	8								
	Total	12								
Extensión	Puntual	1	2	2	1	1	1			
	Parcial	2								
	Extenso	4								
	Total	8								
	Critica	(+4)								
Momento	Largo Plazo	1	1	4	1	4	4			
	Mediano Plazo	2								
	Inmediato	4								
	Critico	(+4)								
Persistencia	Fugaz	1	1	1	1	2	2			
	Temporal	2								
	Permanente	4								
Reversibilidad	Corto Plazo	1	1	4	1	4	4			
	Mediano Plazo	2								
	Irreversible	4								
Sinergia	Sin Sinergismo	1	1	1	1	1	1			
	Sinérgico	2								
	Muy Sinérgico	4								
Acumulación	Simple	1	1	1	1	1	1			
	Acumulativo	4								
Efecto	Indirecto	1	1	4	1	1	1			
	Directo	4								
Periodicidad	Irregular	1	1	4	1	4	4			
	Periódico	2								
	Continuo	4								
Recuperabilidad	Inmediata	1	1	1	1	1	1			

	Medio Plazo	2				
	Mitigable	4				
	Irrecuperable	8				
	Importancia		27	13	23	23

10.2.5 Impactos por Contingencias

Como podemos observar en el ítems 11.2.2, se consideraron las acciones por contingencias, las cuales, se evaluarán por medio de la Estimación de Riesgo. Este último se calcula de la siguiente manera:

$$ER = A * V$$

Donde

- ER Estimación de Riesgo
- A Amenaza
- V Vulnerabilidad

- Amenaza (A):

$$A = C + O$$

Donde

- A Amenaza
- C Control
- O Ocurrencia

El valor de la ocurrencia se estima de acuerdo a la siguiente tabla, la cual, relaciona el valor con el periodo de tiempo de duración de la operación.

Ocurrencia	Valor
Muy frecuente	4
Frecuente	3
Poco Frecuente	2
Ocasional	1

El valor de control se obtiene a partir de la siguiente tabla, donde depende de las consideraciones que se mencionaran.

Control	Valor	Observación
---------	-------	-------------

No controlado	5	Cuando no existen Legislaciones Nacionales y/o Provinciales y/o Municipales, Reglamentación Nacional y/o Provincial y/o Municipal, Planes de contingencia, Protecciones o Barreras físicas, monitoreo, etc. que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento
Parcialmente controlado	3	Cuando si existen Legislaciones Nacionales y/o Provinciales y/o Municipales, Reglamentación Nacional y/o Provincial y/o Municipal, Planes de contingencia, Protecciones o Barreras físicas, monitoreo, etc. que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento, pero no son suficientes para evitar que se produzca el impacto ambiental
Controlado	1	Cuando si existen Legislaciones Nacionales y/o Provinciales y/o Municipales, Reglamentación Nacional y/o Provincial y/o Municipal, Planes de contingencia, Protecciones o Barreras físicas, monitoreo, etc. que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento y las mismas son efectivas para un control total del impacto medioambiental

- Vulnerabilidad (V)

$$V = F_r + M$$

Donde

V	Vulnerabilidad
A	Factor Afectado
V	Magnitud

El valor de magnitud se obtiene a partir de la siguiente tabla, la cual, hace referencia a la extensión del daño sobre el factor afectado.

Ocurrencia	Valor
Muy Alta	10
Alta	7
Media	5
Baja	3
Despreciable	1

El valor del factor afectado se obtiene de la siguiente tabla, dependiendo de la característica representativa.

Factor Afectado	Valor
o Aire	10
- Calidad del Aire	
o Agua	
- Superficial	
- Recarga de Acuíferos	
- Cauces aluviones	
- Napa de Agua dulce	
o Proceso	
o Suelo	
- Con actividades agrícolas/ganaderas de magnitud	
o Vegetación	
- Especies vegetales protegidas y/o singulares	
o Fauna	
- Especies protegidas	
- Puntos de paso o rutas migratorias	
o Ecosistemas especiales	
o Socioeconómico	
- Población	
- Recursos Humanos	
o Infraestructura y Núcleos: Asentamientos urbanos	
o Paisaje	8
o Áreas protegidas	
o Patrimonio cultural	
o Suelo	7
- Con actividades agrícolas/ganaderas de escasa magnitud	
- Recreativo	
o Suelo	6
- No comprometidos en los puntos anteriores	
o Vegetación	
- No comprometidos en los puntos anteriores	
o Fauna	
- No comprometidos en los puntos anteriores	
o Infraestructura	
o Agua	3
- Napa con alto contenido salino	
o Suelo	
- Sin actividades agrícolas/ganaderas	
- Extractivo	
o Suelo	1
- Ocupado con instalaciones	

Teniendo en cuenta todos los parámetros mencionados con anterioridad, a continuación se desarrolla el cálculo de la estimación de los riesgos.

Estimación de Riesgos									
Fases	Impactos por Contingencias	Factores Afectados	Amenaza			Vulnerabilidad			Estimación de Riesgo
			Control	Ocurrencia	Suma	Factor afectado	Magnitud	Suma	
Ejecución	Riesgo de contaminación por vertido no controlado y eventual campamento de residuos	Suelo	2	3	5	7	1	8	40
	Riesgo de contaminación por derrames no controlados y eventuales de combustibles por maquinarias, equipos y/o vehículos		2	3	5	7	3	10	50
	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias, equipos y/o vehículos	Recursos Humanos	2	2	4	10	5	15	60
	Riesgo de descontrol e incendio	Procesos	2	1	3	10	3	13	39
		Suelo							
		Fauna							
		Vegetación							
	Riesgos por contaminación superficial y por infiltración de fluidos del proceso	Recursos Humanos	2	1	3	3	5	8	24
Suelo									
	Suelo	2	1	3	10	7	17	51	

	Riesgos de emisiones gaseosas por accidente en la operación de puesta en marcha	Hidrología Subterránea							
		Fauna							
Recursos Humanos									
	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias, equipos y/o vehículos	Recursos Humanos	2	2	4	10	3	13	52
Operación	Riesgo de derrame de algún producto (Materia prima, subproducto y/o producto)	Suelo							
		Fauna							
		Vegetación	2	1	3	10	5	15	45
	Riesgo de contaminación del suelo por derrames no controlados y eventuales de combustible de maquinarias, equipos y/o vehículos	Suelo							
		Vegetación	2	3	5	7	3	10	50
	Riesgo de emisión de gases nocivos	Aire							
		Recursos Humanos	2	2	4	10	5	15	60
	Riesgo por venteo de emergencia	Aire							
		Recursos Humanos	2	1	3	7	1	8	24
	Riesgo por derrame de solvente	Suelo							
Recursos Humanos		2	2	4	7	1	8	32	
Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias,	Recursos Humanos	2	2	4	10	3	13	52	

	equipos y/o vehículos								
Abandono	Riesgo por incendio	Suelo	3	1	4	1	7	8	32
	Riesgo por derrame	Suelo	3	1	4	1	10	11	44
	Accidente laboral	Recursos Humanos	3	1	4	10	10	20	80

10.3 Declaración de Impacto Ambiental

10.3.1 Impactos Operativos

Para confeccionar el enjuiciamiento de los impactos de acuerdo a su valoración, se toma como referencia la jerarquía propuesta por la Resolución N° 25/04 de la Secretaría de Energía de la Nación, la cual, se detalla a continuación:

Jerarquía del Impacto	Valor	Observación
Bajo	0 - 25	Rápida recuperación sin medidas correctoras
Moderado	25 - 50	La recuperación puede tardar de cierto a bastante tiempo, no necesitando medidas correctoras, o en el peor de los casos, ser mitigable necesitando medidas correctoras simples
Critico	> 50	La recuperación requiere bastante tiempo y como mínimo requiere medidas correctoras más complejas, puede superar el umbral tolerante, y en este caso, no es recuperable independientemente de las medidas correctoras

De los impactos tratados y luego valorados resulta el enjuiciamiento detallado en la tabla.

Fase	Impactos Operativos				
	Factores Afectados	Negativos	Signo	Importancia	Categoría del Impacto
Ejecución	Procesos	Incremento del proceso erosivo por desmonte	-	23	Bajo
		Alteración de drenaje por ejecución de locaciones	-	24	Bajo

	Aire	Contaminación de la calidad del aire por emisión de polvo y gases de combustión por tránsito de vehículos y operación de maquinaria	-	24	Bajo
		Contaminación del confort sonoro por tránsito de vehículos y operación de maquinarias	-	24	Bajo
	Geomorfología	Afectación del relieve por corte y relleno para nivelación de locación	-	25	Bajo
	Suelo	Modificación de la calidad por desmonte	-	21	Bajo
	Vegetación	Eliminación de la cubierta vegetal por desmonte	-	22	Bajo
	Fauna	Afectación del hábitat de la fauna por tránsito de vehículos y operación de maquinarias	-	22	Bajo
		Afectación del hábitat de la fauna por desmonte	-	22	Bajo
	Paisaje	Afectación del paisaje intrínseco	-	22	Bajo
Operación	Aire	Afectación a la calidad de aire por emisiones de polvo y gases de combustión debido al movimiento de vehículos	-	21	Bajo
		Afectación de la calidad del aire por emisión de gases de combustión debido a hornos de proceso	-	21	Bajo
		Afectación al confort sonoro debido al tránsito de vehículos	-	23	Bajo
	Fauna	Afectación por calor y ruido de actividades de operación	-	23	Bajo
		Afectación por ruido de tareas de mantenimiento	-	19	Bajo
		Afectación debido al tránsito de vehículos y maquinaria	-	20	Bajo
	Paisaje	Afectación del paisaje intrínseco	-	20	Bajo
Abandon	Suelo	Afectación por residuos de abandono	-	27	Moderado

	Vegetación	Afectación por ruidos de desmontaje	-	13	Bajo
	Fauna				
	Economía	Pérdida de ingresos Fiscales	-	23	Bajo
		Finalización de demanda de Bienes, Servicio y Mano de Obra	-	23	Bajo

10.3.2 Impactos por Contingencias

La estimación del riesgo se llevara a cabo mediante la siguiente jerarquización:

Nivel de Riesgo		
Categoría	Observación	Valor
Irrelevante	No requiere acción específica	≤ 30
Tolerable	No requiere medidas adicionales de control	31 - 70
Moderado	Requiere medidas para reducir el riesgo	71 - 110
Importante	No se puede dar comienzo a la operación hasta reducir el riesgo	111 - 160
Intolerante	Se debe interrumpir la ejecución del proyecto hasta que no se revean las causas que originan el riesgo	> 160

De los impactos tratados y luego valorados, resulta el enjuiciamiento detallado en la tabla.

Fases	Factores Afectados	Riesgo	Estimación del Riesgo	Nivel del Riesgo
Ejecución	Suelo	Riesgo de contaminación por vertido no controlado y eventual campamento de residuos	40	Tolerable
		Riesgo de contaminación por derrames no controlados y eventuales de combustibles por maquinarias, equipos y/o vehículos	50	Tolerable

	Recursos Humanos	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias, equipos y/o vehículos	60	Tolerable	
	Procesos	Riesgo de descontrol e incendio	39	Tolerable	
	Suelo				
	Fauna				
	Vegetación				
	Recursos Humanos				
	Suelo	Riesgos por contaminación superficial y por infiltración de fluidos del proceso	24	Irrelevante	
	Hidrología Subterránea				
	Suelo	Riesgos de emisiones gaseosas por accidente en la operación de puesta en marcha	51	Tolerable	
	Hidrología Subterránea				
	Fauna				
	Recursos Humanos				
	Recursos Humanos	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias, equipos y/o vehículos	52	Tolerable	
	Operación	Suelo	Riesgo de derrame de algún producto (Materia prima, subproducto y/o producto)	45	Tolerable
		Fauna			
Vegetación					
Suelo		Riesgo de contaminación del suelo por derrames no controlados y eventuales de combustible de maquinarias, equipos y/o vehículos	50	Tolerable	
Vegetación					
Aire y Recursos Humanos		Riesgo de emisión de gases nocivos	60	Tolerable	

		Riesgo por venteo de emergencia	24	Irrelevante
	Suelo			
	Recursos Humanos	Riesgo por derrame de solvente	32	Tolerable
	Recursos Humanos	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias, equipos y/o vehículos	52	Tolerable
Abandono	Suelo	Riesgo por incendio	32	Tolerable
		Riesgo por derrame		
	Recursos Humanos	Accidente Laboral	80	Moderado

10.4 Plan de Gestión Ambiental

10.4.1 Medidas de Minimización de Impactos

A continuación se detallara como se propone reducir los efectos del impacto mediante medidas, que dieron como resultado igual o superior a Moderado en la valoración de los mismos, tanto para acciones operativas como accidentales (o Contingencia).

10.4.1.1 Generación de Ruidos y Vibraciones

- Medida Correctiva: Se plantara una barrera vegetal de especies árboles en todo el perímetro de la planta para atenuar en gran medida los ruidos molestos que pueden producir los distintos equipos de la misma. A su vez, tiene la ventaja de otorgar al complejo una barrera de protección contra los fuertes vientos, mayor calidad estética y sombra.

10.4.1.2 Afectación de la calidad del aire por emisión de polvo

- Medida Preventiva: Debido a que se cuenta con una Planta de Tratamiento de Efluentes, la cual producirá un agua con disposición final para riego, se procederá a regar el complejo para disminuir la emisión de polvo.

10.4.1.3 Afectación de la calidad de aire por emisión de gases

- Medida Correctiva: Se realizara un monitoreo diario donde se controlara los niveles de emisión de los gases, en caso de que estos superen los

estándares permitidos se deberán implementar las medidas correctoras para cada caso en particular, como también darle aviso al ente que regula dichos parámetros.

- **Medida Preventiva:** Se implementara la instalación de una antorcha para quemar todos los gases de exceso que no pueden ser procesados, la cual estará encendida con una pequeña llama las 24 horas durante los 365 días del año. Su correcto funcionamiento estará dado por no emitir ningún ruido ni generar humo, en situación de mantenimiento de la planta la llama puede aumentar su tamaño aunque sin ruido ni humo, pero cuando la unidad entra en marcha o en proceso de parada, la antorcha puede llegar a emitir una llama visible en la distancia y generar humo o ruido ocasional.

Contará con un sistema automático de alarma para funcionar en casos de apagado accidental, de modo que una vez ocurrido, pueda procederse a su reencendido por el personal de servicio, aunque también contara con un sistema de encendido automático.

10.4.1.4 Accidente Laboral

- **Medida Preventiva:** Se le otorgara a cada uno de los empleados sus correspondientes elementos de protección personal, como también, se le brindara la correcta seguridad a la hora del trabajo. También se harán inspecciones del tipo informal, como planificada para evitar cualquier situación potencial de accidente.

10.4.1.5 Afectación por residuos de abandono

- **Medida Correctiva:** Practicar la demolición y el desguace de la mayor parte de las instalaciones de la planta, intentando recuperar y reciclar aquellos materiales y equipos que puedan demandarse en el mercado regional. Mientras que la estructura edilicia resultante del desmantelamiento podrá destinarse, reciclado mediante, a algún uso provechoso, como por ejemplo, depósitos, galpones, etc.

10.4.1.6 Afectación de la calidad del suelo por vertido de efluentes

- **Medida Correctiva:** Se implementara la instalación de una Planta de Tratamiento de Efluentes, la cual tratara dicho efluente para darle un destino final, como se mencionó con anterioridad.

En la siguiente tabla se realiza una síntesis de las medidas minimizadoras de los impactos negativos.

Síntesis de Medidas de Minimización de Impactos						
	Impactos	Tipo de Medida		Factores Afectados	Descripción	Objeto
		Prev.	Cor.			
Operativos	Generación de Ruidos y Vibraciones		X	Aire	Instalación de barreras de árboles, acústicas	Reducir ruidos de altos decibeles
	Afectación de la calidad del aire por emisión de polvo	X		Aire	Riego del suelo	Disminución de la emisión de polvo
	Emisión de Gases	X		Aire	Instalación de antorchas para venteo seguro y controlado	Reducir las emisiones que podrían causar contaminación
	Despidos			Recursos Humanos	Preavisos pertinentes e indemnizaciones correspondientes	Minimización del impacto
Contingencia	Accidente Laboral	X		Recursos Humanos	Correcto uso de los Elementos de Protección Personal y Seguridad	Minimización de los efectos del accidente
	Afectación por residuos de abandono		X	Suelo	Planificación para desmontar la planta	Limpieza del terreno
	Afectación de la calidad del suelo por vertidos de efluentes	X		Suelo	Instalación de piletas API para almacenaje y posterior tratamiento	Tratar vertidos de una adecuada calidad

10.4.2 Programa de Vigilancia

Para un correcto cumplimiento de las medidas correctivas mencionadas en el ítem 11.4.1 y así obtener mejoras en la integración ambiental del proyecto, es necesario implementar un programa donde queden establecidas claramente las pautas de seguimiento durante todo el ciclo de vida útil del proyecto. Este plan será el siguiente:

Para el control de la calidad del aire y ruidos se harán monitoreo anuales y de puestas en marcha de la planta para obtener los valores reales por emisiones

producidas en el aire, como también, se deberá medir periódicamente los niveles de ruidos de los equipos que producen mayor emisión de ruido. Para el control de la contaminación de suelo por derrames de efluentes se inspeccionara semanalmente las áreas consideradas como criticas (Ej. Tanques de almacenamiento, Cargadero) de forma visual y organolépticas de las condiciones del suelo.

10.5 Bibliografía

(1998). *Ley Provincial del Neuquen N° 1875.*

Cancio, G. (2021). Catedra de Evaluacion de Impacto Ambiental - UTN FRN.

Evans, L. (2000). Controles de COVs - Antorchas. En Innovative Strategies and Economics Group. New York: E.H. Pechan and Associates, Inc.

Gomez, D. (2010). Diseño de una antorcha en instalaciones de regasificación de GNL. Proyecto Final, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.

Google Earth. (s.f.). Obtenido de <https://earth.google.com/web/>

(s.f.). Resolución 25/04 . Secretaria de Energia de la Nacion .

11. Tratamiento de Efluentes

En este capítulo se detallara el tratamiento que se le hará a los efluentes producidos en el proceso del presente proyecto, con el objetivo de brindarle una disposición final, la cual será agua de riego.

11.1 Identificación y Cuantificación de los Efluentes

Como se mencionó en el ítem 3.5, en el proceso se llevan a cabo tres reacciones, una en R-101 y las restantes en R-102, donde ambos reactores dan como producto agua, por lo que, en la etapa de separación y purificación debe ser removida del proceso. Esto se lleva a cabo en el equipo V-101 que se trata de un separador bifásico, el cual, opera con un gradiente de presión para favorecer el desprendimiento del fluido acuoso (el cual será efluente a tratar) de la fase gaseosa. Debido a las propiedades de los compuestos se logra una alta eficiencia en la separación, obteniendo la extracción de la primera corriente de efluente acuoso, con un contenido rico en hidrocarburos, y trazas de otras sustancias del proceso. Por otro lado, la cantidad que no se logra remover en esa etapa se separa en la cabeza de T-104 por medio de un separador trifásico, de la cual, se obtiene la segunda corriente de efluente, siendo la misma, un agua de alta pureza.

11.2 Caracterización del Efluente

A continuación se adjuntan tablas donde quedara detallada la composición, como también, los parámetros operativos del efluente a tratar. Los datos fueron obtenidos luego de realizar la respectiva simulación con el Software Aspen Hysys V9.

Compuesto	Composición	Unidad
i-butano	0,0003	Kmol/h
n-butano	0,0142	Kmol/h
1-buteno	0,0017	Kmol/h
1,3-butadieno	0,0154	Kmol/h
Agua	34,4775	Kmol/h
Acetonitrilo	0,1674	Kmol/h
Caudal Total	34,6765	Kmol/h

Tabla n°51: Composición del Efluente (Hysys, 2021).

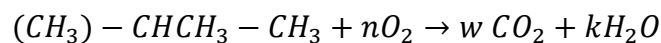
Variable	Valor	Unidad
Temperatura	66,4700	°C
Presión	1,8600	bar
Caudal Másico	629,8000	Kg/h
Caudal Molar	34,6800	Kmol/h
Caudal Volumétrico	634,2000	Lt/h

Tabla n°52: Parámetros operativos del Efluente (Hysys, 2021).

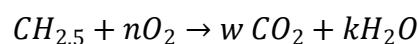
11.3 Cálculo de DQO y DBO

Para el dimensionamiento de los equipos a utilizar en la planta, tanto la demanda química de oxígeno como la demanda biológica de oxígeno son dos parámetros fundamentales, ya que, son estos los que se buscan reducir para cumplir las normativas provinciales y del EPAS (Ente Provincial de Agua y Salinidad).

- Oxidación del i-butano



Expresado en Carbono mol:

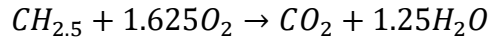


$$C: 1 = 1w \therefore w = 1$$

$$H: 2.5 = 2k \therefore k = 1.25$$

$$O: 2n = 2w + k \therefore n = 1.625$$

Quedando como expresión final;

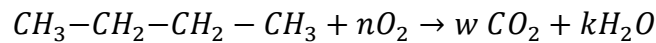


$$\frac{1.625 \text{ Kmol oxígeno}}{1 \text{ Kmol } i\text{-butano}} * 0.0003 \frac{\text{Kmol}}{h} = 0.4875 * 10^{-3} \frac{\text{Kmol}}{h}$$

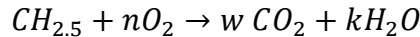
$$0.4875 * 10^{-3} \frac{\text{Kmol}}{h} * \frac{32 \text{ kg}}{1 \text{ Kmol oxígeno}} * \frac{1 * 10^6 \text{ mg}}{1 \text{ kg}} = 15600 \frac{\text{mg}}{h}$$

$$\frac{15600 \frac{\text{mg}}{h}}{634.2 \frac{\text{lt}}{h}} = 24,60 \frac{\text{mg}}{\text{lt}}$$

- Oxidación de n-butano



Expresado en Carbono mol:

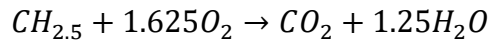


$$C: 1 = 1w \therefore w = 1$$

$$H: 2.5 = 2k \therefore k = 1.25$$

$$O: 2n = 2w + k \therefore n = 1.625$$

Quedando como expresión final:

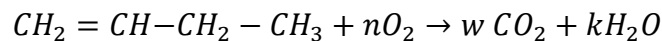


$$\frac{1.625 \text{ Kmol oxígeno}}{1 \text{ Kmol } n\text{-butano}} * 0.0142 \frac{\text{Kmol}}{h} = 0.0231 \frac{\text{Kmol}}{h}$$

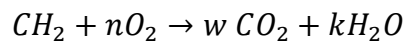
$$0.0231 \frac{\text{Kmol}}{h} * \frac{32 \text{ kg}}{1 \text{ Kmol oxígeno}} * \frac{1 * 10^6 \text{ mg}}{1 \text{ kg}} = 739200 \frac{\text{mg}}{h}$$

$$\frac{739200 \frac{\text{mg}}{h}}{634.2 \frac{\text{lt}}{h}} = 1165.56 \frac{\text{mg}}{\text{lt}}$$

- Oxidación de 1-buteno



Expresado en Carbono mol:

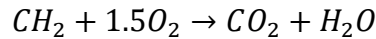


$$C: 1 = 1w \therefore w = 1$$

$$H: 2 = 2k \therefore k = 1$$

$$O: 2n = 2w + k \therefore n = 1.5$$

Quedando como expresión final:

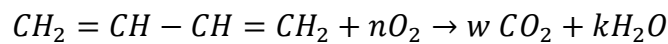


$$\frac{1.5 \text{ Kmol oxígeno}}{1 \text{ Kmol 1-buteno}} * 0.0017 \frac{\text{Kmol}}{\text{h}} = 2.55 * 10^{-3} \frac{\text{Kmol}}{\text{h}}$$

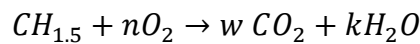
$$2.55 * 10^{-3} \frac{\text{Kmol}}{\text{h}} * \frac{32 \text{ kg}}{1 \text{ Kmol oxígeno}} * \frac{1 * 10^6 \text{ mg}}{1 \text{ kg}} = 81600 \frac{\text{mg}}{\text{h}}$$

$$\frac{81600 \frac{\text{mg}}{\text{h}}}{634.2 \frac{\text{lt}}{\text{h}}} = 128.67 \frac{\text{mg}}{\text{lt}}$$

- Oxidación de 1,3-butadieno



Expresado en Carbono mol:

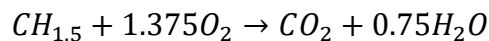


$$C: 1 = 1w \therefore w = 1$$

$$H: 1.5 = 2k \therefore k = 0.75$$

$$O: 2n = 2w + k \therefore n = 1.375$$

Quedando como expresión final:

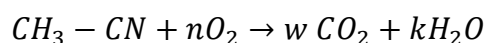


$$\frac{1.375 \text{ Kmol oxígeno}}{1 \text{ Kmol 1,3-butadieno}} * 0.0154 \frac{\text{Kmol}}{\text{h}} = 21.175 * 10^{-3} \frac{\text{Kmol}}{\text{h}}$$

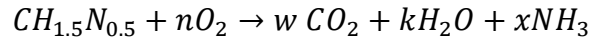
$$21.175 * 10^{-3} \frac{\text{Kmol}}{\text{h}} * \frac{32 \text{ kg}}{1 \text{ Kmol oxígeno}} * \frac{1 * 10^6 \text{ mg}}{1 \text{ kg}} = 677600 \frac{\text{mg}}{\text{h}}$$

$$\frac{677600 \frac{\text{mg}}{\text{h}}}{634.2 \frac{\text{lt}}{\text{h}}} = 1068.43 \frac{\text{mg}}{\text{lt}}$$

- Oxidación de Acetonitrilo



Expresado en Carbono mol:



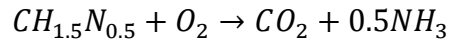
$$C: 1 = 1w \therefore w = 1$$

$$H: 1.5 = 2k + 3x \therefore k = 0$$

$$N: 0.5 = x \therefore x = 0.5$$

$$O: 2n = 2w + k \therefore n = 1$$

Quedando como expresión final:



$$\frac{1 \text{ Kmol oxígeno}}{1 \text{ Kmol acetonitrilo}} * 0.1674 \frac{\text{Kmol}}{\text{h}} = 0.1674 \frac{\text{Kmol}}{\text{h}}$$

$$0.1674 \frac{\text{Kmol}}{\text{h}} * \frac{32\text{kg}}{1\text{Kmol oxígeno}} * \frac{1 * 10^6 \text{mg}}{1\text{kg}} = 5356800 \frac{\text{mg}}{\text{h}}$$

$$\frac{5356800 \frac{\text{mg}}{\text{h}}}{634.2 \frac{\text{lt}}{\text{h}}} = 8446.55 \frac{\text{mg}}{\text{lt}}$$

11.3.1 Demanda Química de Oxígeno Total (DQO)

$$DQO = 24,60 \frac{\text{mg}}{\text{lt}} + 1165,56 \frac{\text{mg}}{\text{lt}} + 128,67 \frac{\text{mg}}{\text{lt}} + 1068,43 \frac{\text{mg}}{\text{lt}} + 8446,55 \frac{\text{mg}}{\text{lt}} = 10833,81 \frac{\text{mg}}{\text{lt}}$$

11.3.2 Demanda Biológica de Oxígeno Total (DBO)

Considerando la información que nos brinda la Tabla n°, la cual, detalla la biodegradabilidad o no de los compuestos orgánicos y considerando que la mayor parte de la materia orgánica presente en el agua es de carácter biodegradable, se trabajara con una relación de $\frac{DBO}{DQO} > 0.6$.

Compuestos	Comportamiento frente a la degradación biológica
Hidrocarburos Saturados	Prácticamente no degradables
Olefinas con 5 a 7 átomos de carbono	Difíciles de degradar
Hidrocarburos clorados	No degradables
Alcoholes	Se degradan bien, salvo excepciones (Alcohol butílico terciario, alcohol amflico)

Fenoles	En general se degradan bien, no así, los clorofenoles, los cuales son difícilmente degradables
Aldehídos	Se degradan bien después de la aclimatación de los microorganismos, salvo excepciones (Benzaldehídos)
Ácidos orgánicos y sus sales y esterés	Se degradan bien, salvo excepciones (Tioácidos)
Esteres	En general son poco degradable, o tan solo se degradan después de la activación de los microorganismos
Cetonas	Ocupan una posición intermedia entre los ácidos, alcoholes y aldehídos
Aminoácidos	Casi siempre son degradables, salvo excepciones (Cistina y Tiroxina)
Aminas, amidas	Se degradan bien
Compuestos cianurados	En general se degradan bien
Compuestos no saturados	Se degradan bien
Sulfato de alcoholo	Se degradan fácilmente
Hidratos de carbono	Se degradan fácilmente

Tabla n°53: Biodegradabilidad de los compuestos orgánicos (Técnicas de Defensa del Medio Ambiente. IV Curso de Ingeniería Ambiental en Huelva).

$$\frac{DBO}{DQO} > 0.6$$

$$\frac{DBO}{10833.81 \frac{mg}{lt}} > 0.6 \therefore DBO = 0.6 * 10833.81 \frac{mg}{lt}$$

$$DBO = 6500.286 \frac{mg}{lt}$$

Por lo tanto, a continuación en la Tabla n° se resumen los valores obtenidos, tanto de la Demanda Química, como Biológica de oxígeno.

Variable	Valor	Unidad
DQO _T	10833,81	mg/lt
DBO _T	6500,29	mg/lt
DBO ₅	5208,56	mg/lt

Tabla n°54: Valores de las distintas demandas (Propia, 2021).

Vale aclarar que debido a que no se cuenta con el valor real de DBO, el cual se obtiene mediante análisis de laboratorio, se adopta la relación mencionada al principio del ítem, siendo así un cálculo de estimación.

11.4 Uso del Efluente

Luego de estudiar los diferentes usos que se le podría otorgar al agua tratada, se optó por reutilizarla como agua de riego, considerando también el bajo caudal de la misma.

Para su reutilización debe cumplir con determinados requisitos que se detallaran a continuación.

Parámetro	Rango o Valor
pH	6 – 7
Detergente	< 3 ppm
Fenoles	< 0.5 ppm
Grasas y Aceites	< 50 ppm
Cl libre residual	0.05 < Cl < 2 ppm
<i>E.Coli</i>	< 250 NMP / 100 ml muestra (NMP: Numero más probable)
DBO ₅	< 100 ppm
DQO	< 250 ppm
N _T (Nitrógeno total)	< 50 ppm
P _T (Fosforo total)	< 5 ppm

Tabla n°55: Parámetros de Agua de riego (EPAS).

11.5 Descripción de la Planta de Tratamiento de Efluentes (PTE)

En este ítem se describe de forma resumida el tratamiento biológico que se le aplicara al efluente del proceso para reducir la Demanda Biológica de Oxígeno a

valores permitidos para su reutilización, como también, los demás parámetros con los cuales debe cumplir por normativa.

El efluente ingresa con un alto contenido de DB0 (6500.29 mg/l) a un Contactor Biológico Rotativo (RBC), el cual, es un reactor biológico que consta de discos con superficie cubierta de biomasa en condiciones aerobias que, en régimen continuo, consumen materia orgánica presente en el agua residual afluente. En este equipo se busca reducir en un 80-95% el contenido de materia orgánica presente en el agua a tratar. Una vez que paso por dicho equipo, la corriente resultante ingresa a un filtro de arena lento con el objetivo de eliminar toda impureza o sólido que pudo haberse generado en la etapa previa, el cual, presenta un mecanismo de medio filtrante que consta de dos etapas, la primera es una capa de arena, mientras que la segunda es una de grava. Luego el agua se retira por el fondo del equipo mediante recolectores, para ingresar a la última etapa de tratamiento. Dicha etapa es la cloración, la cual, es una cámara de cloración con el objetivo de destruir selectivamente los microorganismos que provocan enfermedades u olores desagradables, el cloro es dosificado mediante una solución de NaClO.

Una vez realizado el tratamiento mencionado el agua que ingreso saldrá bajo especificaciones requeridas por normativas para ser reutilizada como agua de riego.

11.6 Diagrama de flujo de la PTE

Para lograr que sea legible el diagrama de flujo de la planta, se adjunta en este ítem únicamente la planta, quedando como anexo al trabajo, el diagrama con el rotulo correspondiente.

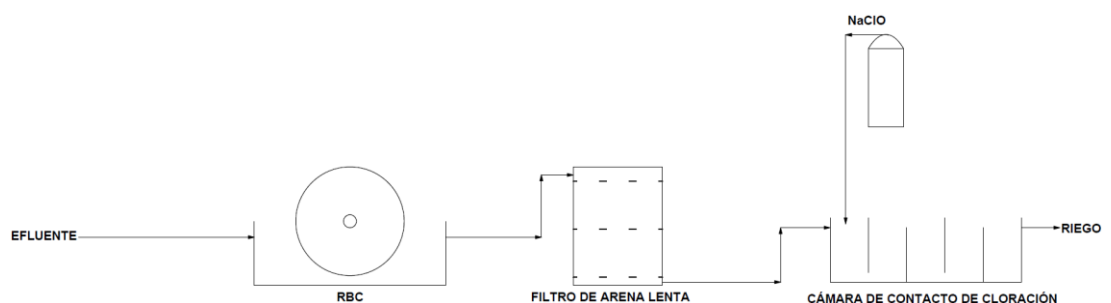


Fig.51: Diagrama de Flujo de la PTE (Propia).

11.7 Descripción de los equipos utilizados en la PTE

Antes de describir los criterios de diseños que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del dimensionamiento de cada uno de los equipos utilizados en la planta, se dará una breve descripción de que son y que función cumple cada uno de ellos.

11.7.1 Contactador Rotativo Biológico (BCR)

11.7.1.1 Introducción

Este sistema aprovecha la utilización de discos rotativos para la eliminación de la sustancia orgánica presente en el agua a tratar. Dichos discos se sumergen parcialmente (40% de su diámetro) en la cuba por donde pasa el agua a depurar, ese contacto entre agua y discos favorece la formación de flora bacteriana sobre estos últimos. Luego la flora debido a la rotación continua de los discos es sumergida de forma alterna en el líquido y es llevada al contacto con el aire (se satura de oxígeno, elemento fundamental en estos procesos). La capa de flora bacteriana, una vez reducida, se separa de forma libre de la superficie de los discos bajo forma de flóculos de fácil sedimentación.

Los factores que afectan el rendimiento del proceso son:

- Velocidad de los discos: El giro de los discos provoca una aireación de la película biológica y oxigenación del líquido residual contenido en los tanques. Pero además desarrollan fuerzas tangenciales que son las responsables de que el exceso de biomasa adherida a los discos se desprenda de los mismos.
- Efecto de la temperatura: Los procesos de oxidación biológica mejoran su rendimiento al aumentar la temperatura. A temperaturas bajas la película que se forma alrededor de los discos puede llegar a congelarse perdiendo así las características óptimas para llevar a cabo el proceso depurador. Para solucionar este inconveniente la instalación debe diseñarse con una cubierta protectora que aisle la instalación de los agentes atmosféricos que influyan en su rendimiento, como lo son, la temperatura, lluvia, granizo, etc.

A continuación se adjuntan imágenes ilustrativas de cómo es un Contactador Biológico Rotativo



Fig.52: Ilustración de un Contactor Biológico Rotativo (Cyclus, 2021).

En esta imagen podemos apreciar como ingresa el agua a tratar por un extremo, tiene el contacto con la secuencia de discos, los cuales van a estar girando continuamente y luego se retira por el otro extremo el efluente tratado.



Fig.53: Contactor Biológico Rotativo industrial (Cyclus, 2021).

11.7.1.2 Diseño

Para llevar a cabo el dimensionamiento del equipo, se tuvieron en cuenta distintas consideraciones de diseño y fórmulas, las cuales se detallaran a continuación.

- Formulas utilizada:

$$\text{Área de discos a tratar (Atd)} = \frac{Q * DBO_5}{f} \quad (11.2)$$

$$\text{Área del disco (Ad)} = \frac{\pi D^2}{4} \quad (11.3)$$

$$\text{Nº de discos(Nd)} = \frac{Atd}{2 * Ad} \quad (11.4)$$

$$\text{Disco por etapa } (n) = \frac{Nd}{Ne} \quad (11.5)$$

$$\text{Área sumergida } (As) = \frac{\pi}{2} * Nd * (D^2 - d^2) \quad (11.6)$$

$$\text{Área sin biopelícula } (Asp) = Atd - As \quad (11.7)$$

$$\text{Longitud de cada etapa } (Le) = e * n + a(n - 1) + 2 * b \quad (11.8)$$

$$\text{Longitud del biorreactor } (lb) = Le * Ne \quad (11.9)$$

$$\text{Volumen del biorreactor } (Vb) = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 * Lb \quad (11.10)$$

Vale aclarar que en la ecuación (7) el significado de cada término es el siguiente:

e = espesor de los discos

n = número de discos por etapa

a = distancia entre discos

b = distancia entre disco – etapa

- Consideraciones de diseño:

En base a distintas bibliografías, las cuales se mencionaran al final del trabajo, se consideraron los siguientes parámetros de diseño para obtener una concentración final de DBO5 de 30 ppm.

Parámetros				
Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad	Rango
Carga Hidráulica	Qh	0,0068	m3/m2h	0,0034 - 0,0068
DBO5		5.208,56	mg/l	
Tiempo de detención hidráulica	th	0,7	h	0,7 - 1,5
Diámetro sumergido		40,0	%	
Numero de etapa	Ne	4	Adimen.	4 ≥
Factor de carga	f	0,017	Adimen.	0,015 - 0,737
Velocidad	Vel	1,60	rpm	1,0 - 5,0
Diámetro de disco	D	3,70	m	2,0 - 4,0
Radio de Superficie no sumergida	rns	0,29	m	
Diámetro de superficie no sumergida	d	0,58	m	
Espesor de discos	e	0,0015	m	0,001 - 0,002
Distancias entre discos	a	0,0200	m	0,02 - 0,03
Distancia entre etapa y disco	b	0,025	m	

Tabla n°56: Parámetros adoptados.

11.7.1.3 Dimensionamiento del Contactor Rotativo Biológico

Teniendo en cuenta los ítems anteriores, tanto los criterios adoptados como las formulas, se dimensiono el equipo, el cual, tiene los siguiente valores de diseño.

Cálculos				
Variable	Ecuación	Valor teórico	Unidad	Valor adoptado
Área de discos a tratar	$A_{td} = \frac{Q \cdot DBO_5}{f}$	4.596,19	m ²	4.597,00
Área del disco	$\hat{A}d = \frac{\pi D^2}{4}$	10,75	m ²	11,00
Nº de disco	$Nd = \frac{A_{td}}{2 * \hat{A}d}$	208,95	Adimen.	209,00
Disco por etapa	$n = \frac{Nd}{Ne}$	52,25	Adimen.	53,00
Área sumergida	$A_s = \frac{\pi}{2} * Nd * (D^2 - d^2)$	4.384,39	m ²	4.385,00
Área sin biopelícula	$A_{sp} = A_{td} - A_s$	212,00	m ²	212,00
Longitud de cada etapa	$Le = e * n + a(n - 1) + 2 * b$	1,17	m	2,00
Longitud de biorreactor	$Lb = Le * Ne$	4,68	m	5,00
Volumen del biorreactor	$Vb = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 * Lb$	53,76	m ³	54,00

Tabla nº57: Resultados del dimensionamiento del BRC.

Como se puede observar en la Tabla nº el equipo contara con 209 discos, los cuales se distribuirán en cuatros etapas en la siguiente disposición: 75, 64, 35 y 35 respectivamente.

Luego se verifico el dimensionamiento del equipo, calculando el valor de la carga hidráulica, el cual, debe estar dentro del rango estipulado por la bibliografía de referencia. A continuación se detalla la confirmación del adecuado diseño.

Verificación				
Variable	Ecuación	Valor teórico	Unidad	Valor adoptado
Área Superficial	A_{sup}	107,52	m ²	108,00
Caudal a tratar	Q	0,6306	m ³ /h	
Carga Hidráulica Real	$Q_h = \frac{Q}{A_{sup}}$	0,0058	m ³ /m ² h	Cumple
Carga Hidráulica Teórica	Q_h	0,0034 - 0,0068	m ³ /m ² h	

Tabla nº58: Verificación del dimensionamiento.

11.7.2 Filtro de Arena Lento

11.7.2.1 Introducción

Los filtros de arena lento son utilizados principalmente para eliminar la turbidez, microorganismos patógenos, como también, compuestos químicos presentes en el agua. Este método se caracteriza por ser uno de los más económicos y eficientes, a su vez, son sencillos y limpios.

Esta tecnología es considerada como limpia, ya que, logra purificar el agua sin crear una fuente de contaminación adicional. Además, es de fácil manejo, funcionamiento y presenta un bajo costo de operación, lo que lo hace un sistema ideal.

El equipo está compuesto por un tanque que contiene una etapa sobrenadante de agua, la cual será desinfectada, un lecho filtrante que consta de dos capas, la primera está compuesta por arena y la segunda por grava, y un sistema para la regulación y recolección del agua a tratar.

En la superficie, el medio filtrante forma una capa que está formada por materia orgánica conocida como “Piel de filtro”, a través de la cual debe pasar el agua a ser tratada, antes de llegar al medio filtrante. Dicha capa, está formada principalmente por algas y otras formas de vida en menor cantidad (Ej. Plankton, Diatomeas, Protozoarios, etc.). El objetivo de estos microorganismos es atrapar, digerir y degradar la materia orgánica contenida en el agua. Luego de pasar por esa “Piel de filtro”, entra al lecho filtrante y requiere de un tiempo considerable, en este transcurso que se lleva a cabo entran en juego procesos físicos y biológicos. Por último el agua ya tratada es retirada por los recolectores para darle fin al proceso de purificación.

En la figura 3 se puede observar de forma ilustrativa lo detallado anteriormente, donde el agua ingresa por la parte superior del equipo, atraviesa la primera capa biológica, luego por el lecho filtrante que consta de las mencionadas capas de arena y grava para ser recolectada por la parte inferior del mismo.

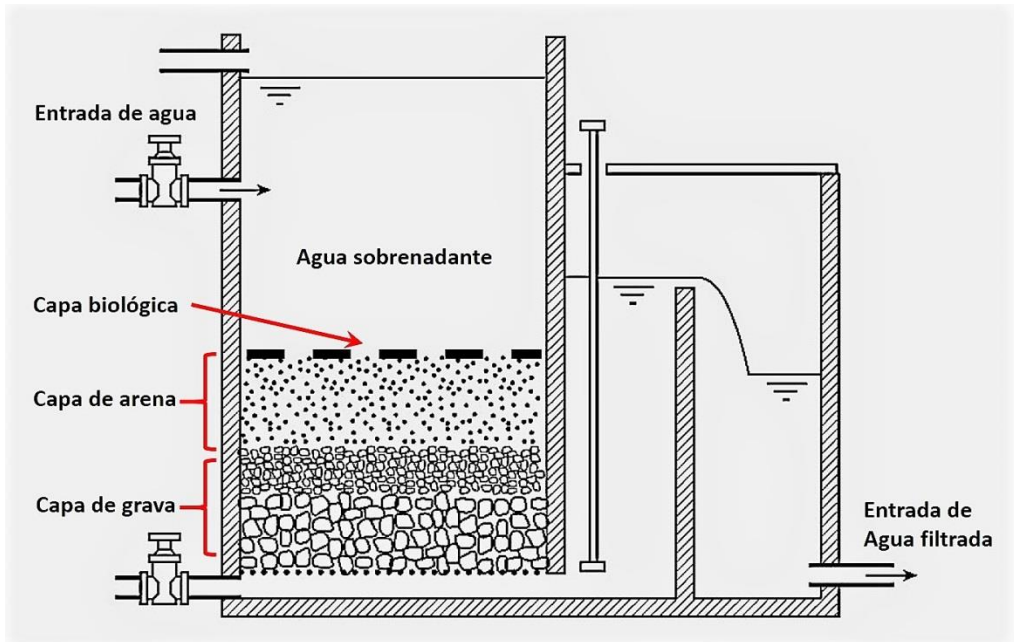


Fig.54: Ilustración de un Filtro de Arena Lento (Google, 2021).



Fig.55: Filtro de Arena Lento (FACSA).

11.7.2.2 Diseño

Para el dimensionamiento del equipo se tuvieron en cuenta ciertas formulas, como así también, consideraciones de diseño, las cuales se mencionaran a continuación.

- Fórmulas utilizadas

$$\text{Área superficial } (A_s) = \frac{Q}{N * V_f} \quad (11.11)$$

$$\text{Coeficiente de costo mínimo } (K) = \frac{2 * N}{N + 1} \quad (11.12)$$

$$\text{Longitud de cada filtro}(Lf) = \sqrt{K * A_s} \quad (11.13)$$

$$\text{Ancho de cada unidad}(Af) = \sqrt{\frac{A_s}{K}} \quad (11.14)$$

Donde tanto en la ec.10 y 11, el valor de N hace referencia al número de filtros a utilizar, el cual es un parámetro a considerar.

- Consideraciones de diseño:

Se hicieron consideraciones de acuerdo a diferentes bibliografías, las cuales, se mencionan al final del trabajo, donde se adoptaron valores recomendados, como las alturas que deben contener cada una de las etapas del equipo.

Parámetros				
Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad	Rango
Caudal	Q	1,75E-04	m3/s	
Velocidad de Filtración	Vf	2,78E-05	m/s	0,1-0,2 m/h
Numero de Filtro	N	2		2 ≥
Altura de Arena	ha	0,80	m	0,8 - 1,0
Altura de Agua	hw	1,25	m	1,0 - 1,5
Capa superior de grava		2,75	mm	0,5 a 4,0
Capa intermedia de grava		9,50	mm	2,0 - 15,0
Capa inferior de grava		25,00	mm	5,0 - 40,0
Altura de Grava	hg	0,04	m	
Altura de Recolectores	hr	0,25	m	0,2 - 0,3
Altura total de la caja del filtro	at	2,34	m	2,0 - 2,70

Tabla n°59: Parámetros adoptados.

11.7.2.3 Dimensionamiento del Filtro de Arena Lento

Teniendo en cuenta los ítems anteriores, tanto los criterios adoptados como las formulas, se dimensiono el equipo, el cual, tiene los siguiente valores de diseño.

Cálculos				
Variable	Ecuación	Valor	Unidad	Valor adoptado
Área Superficial	$A_s = \frac{Q}{N * V_f}$	3,15	m2	4,00
Coefficiente de Costo mínimo	$K = \frac{2 * N}{N + 1}$	1,33	Adim.	
Longitud de cada filtro	$L_f = \sqrt{K * A_s}$	2,31	m	3,00
Ancho de cada filtro	$A_f = \sqrt{\frac{A_s}{K}}$	1,73	m	2,00

Tabla n°60: Resultados del dimensionamiento del filtro de arena lento.

Luego se verifico el dimensionamiento del equipo, calculando el valor de la velocidad de filtración, el cual, debe estar dentro del rango establecido en las consideraciones de diseño.

Verificación				
Variable	Ecuación	Valor teórico	Unidad	Valor adoptado
Área Superficial	A_s	3,15	m ²	4,00
Caudal a tratar	Q	0,63	m ³ /h	
Velocidad de Filtración Real	$v_f = \frac{Q}{A_s}$	0,16	m/h	Cumple
Velocidad de Filtración Teórica	v_f	0,1 - 0,2	m/h	

Tabla n°61: Verificación del dimensionamiento.

Otra forma de verificar el correcto dimensionamiento del equipo, es observando el valor del área de cada filtro, el cual debe estar entre los valores de 5 y 20 m², dando en nuestro caso, un área por filtro de 6m². En la tabla n° se puede apreciar de forma teórica lo mencionado anteriormente.

Criterio	Valores recomendados CINARA	Valores Utilizados ETAPA
Periodo de diseño	10 a 15 años	
Periodo de operación horas / día	24	24
Velocidad de Filtración	0,1 - 0,2 m/h	0,1 - 0,2 m/h
Área superficial del filtro	5 - 20 m ² por filtro	0,64 m ²

Tabla n°62: Datos teóricos del área superficial de cada filtro (Ordoñez & Palacios Perez, 2011).

11.7.3 Cámara de Cloración

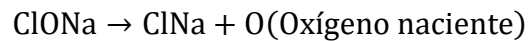
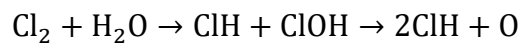
11.7.3.1 Introducción

Estos equipos son estructuras hidráulicas que consisten en un canal rectangular alargado que alterna tramos rectos y curvas de 180° con el objetivo de aumentar el tiempo de contacto entre el agua y algún agente desinfectante para inactivar cualquier patógeno antes de darle la disposición final. El agente más utilizado es el cloro, el cual, puede suministrarse en forma pura, o más habitualmente mediante la adición al flujo de algún compuesto clorado.

Naturalmente, cuanto mayor sea la concentración de desinfectante, más intenso será el tratamiento (como también mayor consumo del mismo). También, cuanto mayor sea el tiempo de contacto, el desinfectante tendrá más tiempo para actuar y por lo tanto el proceso será más eficiente.

Como se mencionó con anterioridad existen diversos compuestos clorados, los cuales pueden ser: NaClO, Ca(ClO)₂, Cl₂(gas), ClO₂. Para el proyecto en cuestión se optó por la primera opción para dosificar el agua.

El cloro activo de un producto clorado es la medida de su poder oxidante expresada como cloro. Para el caso del hipoclorito sódico, se puede por tanto decir que, es la cantidad de cloro puro, en solución acuosa, que tiene el mismo poder oxidante que una cantidad determinada de hipoclorito. Como se observa en las siguientes reacciones:



Una molécula de NaClO tendrá el mismo poder oxidante que una molécula de Cl₂.

Por lo general, el tratamiento más adecuado consiste en un sistema automático de dosificación, medición y control de cloro libre en un depósito de tratamiento mediante recirculación de este. De esta forma, se establecerá como consigna un valor adecuado de cloro libre en el depósito que se mantendrá estable en el tiempo mediante la medición del equipo y la correspondiente actuación de la bomba dosificadora de cloro. A continuación se adjunta una imagen ilustrativa de lo recién mencionado.



Fig.55: Equipo de dosificación de cloro (TECPA).



Fig.56: Laberinto de cloración (TECPA).

11.7.3.2 Diseño

Para el desarrollo del dimensionamiento del laberinto de cloración, se tuvieron en cuenta las siguientes formulas, como así también, las distintas consideraciones de diseño.

$$\text{Altura de tanque } (At) = 1,5 * Tl \quad (11.15)$$

$$\text{Volumen}(V) = tr * Q \quad (11.16)$$

$$\text{Área}(A) = \frac{V}{At} \quad (11.17)$$

$$\text{Velocidad en canales}(Vel. c) = \frac{Q}{A} \quad (11.18)$$

$$\text{Ancho } (a) = \sqrt{\frac{A}{2}} \quad (11.19)$$

$$\text{Largo } (L) = \left(\frac{L}{a}\right) * a \quad (11.20)$$

$$\text{Cantidad de cloro } (Ccl) = DCl * Q \quad (11.21)$$

$$\text{Ancho del canal } (a. c) = \frac{Q}{Vel. c * At} \quad (11.22)$$

$$n^{\circ} \text{ de canales } (n.c) = \frac{L}{a.c} \quad (11.23)$$

Los parámetros de diseño como el tirante de líquido (Tl), Tiempo de retención (t_r), etc. se detallan en la siguiente tabla.

Parámetros				
Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad	Rango
Caudal	Q	0,63	m ³ /h	
Tiempo de retención	tr	0,38	h	0,25 - 5
Tirante de líquido	Tl	1,30	m	1,2 - 1,4
Largo/Ancho	(L/a)	2,00	Adim.	≥2
Dosis de cloro	DCl	2,00	mg/l	2,0 - 6,0
Eficiencia		99,90	%	99 - 99,9

Tabla n°63: Parámetros adoptados.

11.7.3.3 Dimensionamiento del Laberinto de Cloración

Teniendo en cuenta todo lo mencionado en el ítem anterior, el dimensionamiento del equipo quedo definido de la siguiente manera.

Cálculos				
Variable	Ecuación	Valor	Unidad	Valor adoptado
Altura de tanque	$At = 1.5 * Tl$	1,95	m	2,00
Volumen	$V = tr * Q$	0,24	m ³	
Área	$A = \frac{V}{At}$	0,12	m ²	0,50
Velocidad en canales	$Vel.c = \frac{Q}{A}$	1,26	m/h	
Ancho	$a = \sqrt{\frac{A}{2}}$	0,50	m	
Largo	$L = \left(\frac{L}{a}\right) * a$	1,00	m	
Cantidad de cloro	$Ccl = DCl * Q$	1268,40	mg/h	1269,00
Ancho del canal	$a.c = \frac{Q}{Vel.c * At}$	0,25	m	
n° de canales	$n.c = \frac{L}{a.c}$	4,00	Adim.	

Tabla n°64: Resultados del dimensionamiento del laberinto de cloración.

Luego se realiza la verificación del correcto dimensionamiento, calculando el tiempo de contacto, el cual debe estar en el rango estipulado por las bibliografías de referencias.

Verificación				
Variable	Ecuación	Valor teórico	Unidad	Valor adoptado
Volumen	$V = tr * Q$	0,24	m3	0,24
Caudal a tratar	Q	0,63	m3/h	0,63
Tiempo de Retención Real	$tr = \frac{V}{Q}$	0,38	h	Cumple
Tiempo de Retención Teórico	tr	0,25 - 5	h	

Tabla n°65: Verificación del dimensionamiento.

11.8 Cuadro de Resultados

A continuación se adjunta el cuadro comparativo con el grado de degradación de la materia orgánica en cada una de las etapas del proceso propuesto.

Comparación de resultados				
Parámetro	Entrada BRC (mg/l)	Salida BRC/Entrada a FLA (mg/l)	Salida FLA/Entrada a LC (mg/l)	Salida de LC (mg/l)
DBO5	5.208,56	30,00	30,00	30,00
DQO	10.833,81	205,00	205,00	205,00

Tabla n°66: Comparación de DBO₅ en las etapas del proceso.

11.9 Cuadro de Resultados Comparativos

De acuerdo a la planta de tratamiento propuesto para el efluente del proceso, se pudo concluir que fue efectivo, ya que, se logró reducir el valor de la carga orgánica a valores admisibles aptos para irrigación como se mencionó en el ítem 12.4. En la siguiente tabla se realiza la comparación del DBO₅ objetivo y el DBO₅ alcanzado con dicho tratamiento.

Comparación de DBO5			
Parámetro	Obtenido en el tratamiento	Requerido para agua de riego	Logrado Si/No
DBO5 (mg/l)	30,00	100,00	VERDADERO
DBO5 (mg/l)	205,00	250,00	VERDADERO

Tabla n°67: Comparación de DBO₅ final y el permisible.

11.10 Bibliografía

- (2005). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*. Organización Panamericana de la Salud, Lima.
- Aguasresiduales.info. (s.f.). Obtenido de <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/evaluacion-del-tiempo-de-contacto-efectivo-en-camaras-de-cloracion-mediante-simulacion-cfd>
- Ayala, F. J. (1989). *Diseño de un contactor biologico de solidos rotativos (Biodisco)*. Tesis Profesional, Universidad Autonoma de Guadalajara, Guadalajara.
- FACSA. (s.f.). Obtenido de <https://www.facsa.com/facsa-lanza-un-nuevo-proyecto-para-abastecer-a-la-industria-ceramica-con-agua-regenerada/laberinto-de-cloracion-facsa/>
- Gonzales, O. A. (2012). *Mejoramiento de servicio de saneamiento basico en el barrio de Uchcumarca*. Huanta.
- Herrera, M. (2016). *Ingenieria basica de una planta de produccion de butadieno a partir de la deshidrogenacion de n-butanos*. Sevilla.
- Ing. Iraola, F. (29 de Marzo de 2021). *Planta de Fraccionamiento de gas de Loma Negra*. (G. Mucci, & F. Carosio, Entrevistadores)
- Ing. Veller, F. (2020). *Informacion Estadistica de la Industria Petroquimica y Quimica de Argentina*. Buenos Aires: Instituto Petroquimico Argentino.
- Izquierdo Herrera, M. (2016). *Ingenieria basica de una planta de produccion de butadieno a partir de la deshidrogenacion de n-butanos*. Tesis, Universidad de Sevilla, Ingenieria Quimica y Ambiental, Sevilla.
- Lummus Technology. (s.f.). Recuperado el 25 de Marzo de 2021, de <https://www.lummustechnology.com/>
- Lummus Technology. (s.f.). Recuperado el 28 de Mayo de 2021, de <https://www.lummustechnology.com/Process-Technologies/Petrochemicals/Butadiene-Butylene-Production/CATADIENE-n-Butane-Dehydrogenation-to-Butadiene>
- Ordoñez, D. A., & Palacios Perez, J. L. (2011). *Filtros Lentos de Arena*. Tesina, Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Pedreño, A. (2013). *Diseño y Calculo de una estacion depuradora de aguas residuales urbanas en la region de Murcia*. Trabajo Fin de Master, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.

- Pissani Sola, C. L. (2015). Diseño de una planta de deshidrogenación catalítica para la producción de butadieno. Callao.*
- Pissani Sola, C. L. (2015). Diseño de una planta de deshidrogenación catalítica para la producción de butadieno. Tesis, Universidad Nacional de Callao, Callao.*
- Quintero, L. F., Molano, A. F., & Pramparo, L. M. (27 de Marzo de 2019). Diseño hidráulico y evaluación a escala laboratorio de un sistema RBC. Ingeniare. (s.f.). Filtración lenta. En E. (. Saneamiento).*
- TECPA. (s.f.). Obtenido de <https://www.tecpa.es/cloracion-tratamiento-aguas/>*
- Valencia, A. (1992). Diseño de estaciones de cloración. Barranquilla.*
- Yang, X., & Ouyang, P. (2009). Simulation of 1,3-Butadiene Production Process by Dimethylformamide Extractive Distillation. Nanjing: Nanjing University of Technology.*

12. Estudio Económico Financiero

Un proyecto debe contar con una evaluación económica para fundamentar si es viable o no llevarlo adelante. Por ende, en este capítulo se hará el estudio económico de la planta para determinar si se obtendrán beneficios a corto y largo plazo, donde los cálculos se ejecutan a partir de diversas variables y estimaciones, las cuales pueden variar con el tiempo, como también del método utilizado.

Este estudio dependerá de la estimación de los valores a calcular, siendo la inversión inicial, los costes asociados y, los costes con respecto a la puesta en marcha y producción de la planta. También se calculará la rentabilidad en función de los flujos de caja netos (NCF), el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Por último se hará un estudio de sensibilidad.

12.1 Introducción

Dentro de un proyecto son varios los estudios que se deben llevar adelante, como son los de viabilidad comercial, técnica, legal, de impacto ambiental y financiera. Si alguno de estos arroja una conclusión negativa dará por finalizado la viabilidad del proyecto, siendo el de mayor importancia el estudio financiero, ya que, incluye a los demás estudios.

El estudio de factibilidad se divide en dos partes:

- **Pre Factibilidad:** Profundiza en la investigación, y se basa principalmente en información de fuentes secundarias para definir, con cierta aproximación, las variables principales referidas al mercado, a las alternativas técnicas de producción y a la capacidad financiera de los inversionistas, etc.
- **Factibilidad:** Se realiza en función a antecedentes precisos obtenidos mayoritariamente a través de fuentes de información primaria.

El estudio de mercado realizado en uno de los capítulos anteriores tiene el objetivo principal de recopilar información de carácter económico, el cual repercute en la composición del flujo de caja del proyecto. Siendo el más determinante el mercado consumidor porque será quien decida la adquisición del producto que se genere en la planta, por ende, determinará la viabilidad o no del proyecto en cuestión.

12.2 Estudio de Rentabilidad

Un estudio de rentabilidad busca determinar, con un alto grado de precisión, el coste de las inversiones, los costos y beneficios que tendrá dicho proyecto para luego comprarlos y analizar la conveniencia de emprender el proyecto.

Este estudio se divide en tres actividades, las cuales son muy distintas entre sí, pero cualquier error que se cometa en alguna de estas, ocasionara formular conclusiones erróneas. Dichas actividades son: Formulación, Preparación y Evaluación, las cuales se llevaran adelante en los siguientes ítems.

12.2.1 Formulación del Proyecto

12.2.1.1 Capital de Inversión

Un capital de inversión es la suma total de dinero que se requiere para la construcción de una nueva planta, siendo esa suma, el capital fijo de inversión y el capital de trabajo. El primero hace referencia al costo asociado con la construcción de la planta con todos los componentes necesarios para su operación, mientras que el segundo, tiene en cuenta los costos requeridos para iniciar la operación de la planta y financiar los primeros meses antes de que las ganancias por ventas del producto comiencen.

El capital fijo de inversión se subdivide en las siguientes partes:

- Costo Directo: Tiene en cuenta todos los gastos asociados a la instalación de la planta, como la compra de equipos, instalación de equipos, edificios, terreno, entre tantas otras.
- Costo Indirecto: Son aquellos costos que no están relacionados directamente con la instalación de la planta, como cuestiones legales, gastos de construcción, ingeniería y supervisión, honorarios de los contratistas, etc.

El capital de trabajo es aquel que se necesita para financiar el primer mes de operación de la planta, una vez instalada y lista para su funcionamiento. A este capital lo conforman los salarios, compra de materias primas, pago de servicios públicos, impuestos, etc. Este capital se recupera una vez finalizada el ciclo de vida del proyecto.

12.2.1.1.1 Equipos

Se tuvo en cuenta distintas características, como el tipo de material y algunas de las variables del proceso (Ej. Temperatura y Caudal) para obtener el costo de cada uno de los equipos.

Luego, con los datos mencionados anteriormente se buscó una cotización en la página web de venta internacional “Matches”, la cual está en base al periodo 2014, por lo que se utilizó la siguiente ecuación de estimación para obtener el valor al periodo de estudio.

$$C_{\text{año actual}}(\text{u}\$) = C_{\text{año } t} * \left(\frac{CEPCI_{\text{año actual}}}{CEPCI_{\text{año } t}} \right) \quad 12.1$$

Donde el índice CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) regula el costo de una planta de ingeniería en Estados Unidos y calcula todos los años un valor que indica el aumento anual incluyendo la inflación.

Por ende, a continuación se adjunta la tabla con los valores estimativos en dólares de cada uno de los equipos que conforman la planta, como así también la cantidad necesaria de cada uno.

Índice CEPCI 2022	1,3019
Índice CEPCI 2014	1,0542
Relación de Índice CEPCI	1,234961

Tabla n°68: Índices CEPCI.

Costo de Equipos						
Equipo	TAG	Detalle	Unidades	Costo 2014 (u\$)	Relación de Índice CEPCI	Costo 2022 (u\$)
Antorcha	F-700		1	325.000	1,23496098	401.362
	P-101	Centrífuga	1	6.906	1,23496098	8.529
	P-102	Centrífuga	2	3.427	1,23496098	8.466
	P-103	Centrífuga	2	3.427	1,23496098	8.466
Bombas	P-501	Centrífuga	1	1.054	1,23496098	1.302
	P-601	Centrífuga	2	3.427	1,23496098	8.466
	P-602	Centrífuga	1	3.427	1,23496098	4.233
	P-701	Centrífuga	1	3.111	1,23496098	3.842
	P-1100	Centrífuga	1	9.752	1,23496098	12.044
Columnas	T-201	Destilación	1	200.975	1,23496098	248.196
	T-601	Absorbedor	1	192.673	1,23496098	237.944
	T-602	Destilación	1	200.975	1,23496098	248.196
Compresores	K-701		1	43.520	1,23496098	53.746
Condensadores	C-201		1	2.000	1,23496098	2.470
	C-602		1	2.000	1,23496098	2.470
Hornos	H-101		1	225.390	1,23496098	278.348
	H-401		1	225.390	1,23496098	278.348
Intercambiadores de Calor	E-101		5	16.129	1,23496098	99.592
	M-101		1	6.650	1,23496098	8.212
Mezcladores	M-401		1	6.650	1,23496098	8.212
	M-402		1	6.650	1,23496098	8.212
	R-401		1	38.922	1,23496098	48.067
Reactores	R-402		1	38.922	1,23496098	48.067
	H-201		1	2.620	1,23496098	3.236

Separadores	H-601		1	2.620	1,23496098	3.236
	V-601		1	20.086	1,23496098	24.805
	V-701		1	20.086	1,23496098	24.805
Tanques de Almacenamiento	TK-1001/A	Butano	1	85.023	1,23496098	105.000
	TK-1001/B	Butano	1	85.023	1,23496098	105.000
	TK-1002/A	i-Butano	1	42.107	1,23496098	52.000
	TK-1002/B	i-Butano	1	42.107	1,23496098	52.000
	TK-1003/A	Butadieno	1	42.107	1,23496098	52.000
	TK-1003/B	Butadieno	1	42.107	1,23496098	52.000
	TK-1201	Agua	1	48.584	1,23496098	60.000
Total (u\$s)				2.048.090		2.560.871

Tabla n°69: Costos de equipos.**12.2.1.1.2 Obras Físicas**

Considerando la cantidad de equipos necesarios y su respectiva distribución física, la cual me lo brinda el LayOut realizado en el capítulo 8, se determina los costos asociados a cada una de las obras. Para una estimación más precisa, se debe tener en cuenta los m² de construcción, el tipo de construcción, entre otras tantas.

Por lo tanto, en la siguiente tabla se detallara el precio en dólar del m², la cantidad de m² que ocupara cada una de las instalaciones y el precio del terreno a comprar.

Para el costo de m² de terreno se consultó en la dirección de Catastro de la localidad de Cutral-Có.

Construcción de Edificios

Edificio	Área (m2)	Costo (u\$/m2)	Costo Total (u\$)
Almacén	42	1.128	47.366
Cargadero	100	1.128	112.775
Comedor	12	1.128	13.533
Estacionamiento	60	1.128	67.665
Laboratorio	24	1.128	27.066
Mantenimiento	100	1.128	112.775
Oficinas	12	1.128	13.533
Portería	9	1.128	10.150
Sala de Control	21	1.128	23.683
Sala de Control de Red contra Incendios	21	1.128	23.683
Sanitarios	8	1.128	9.022
Montaje de Equipos	N/A	N/A	23.063
Total Edificios (u\$)	429	N/A	484.314
Terreno			

Concepto	Área (m ²)	Costo (u\$/m ²)	Costo Total (u\$)
Terreno	87.519	18	1.575.342
Total (u\$)	87.948	N/A	2.059.656

Tabla n°70: Costo de mano de obra y terreno.

Vale aclarar que el precio de m² para la construcción, incluye desde las gestiones previas a la obra, trabajos preliminares hasta las instalaciones de los distintos servicios esenciales. Dicho valor fue consultado en el Instituto de Estadísticas y Costos del Colegio de Arquitectura de la Provincia de Neuquén.

12.2.1.1.3 Sistema contra incendios

En el costo final de esta estimación, se tiene en consideración la instalación, como también los equipos, siendo hidratantes de columna seca, extintores, boca de incendio equipada, alarmas de emergencias, rociadores automáticos y conexiones.

Sistema contra Incendios

Concepto	Costo Total (u\$)
Equipamiento e Instalación	800.000

Tabla n°71: Costo de instalación y equipos para red contra incendios.

12.2.1.1.4 Planta de Tratamiento de Efluente

En la tabla adjunta, se detalla los costos para la instalación de la PTE, donde se tuvo en cuenta las dimensiones de los equipos calculadas en su respectivo capítulo.

Planta de Tratamiento de Efluentes

Concepto	Costo Total (u\$)
Inversión	535.900
Total	535.900

Tabla n°72: Costo de Planta de Tratamiento de Efluentes.

12.2.1.1.5 Subestación Eléctrica

Teniendo en cuenta que la energía provista por el EPEN será de 13200 V, la instalación contara con una subestación eléctrica para reducir el voltaje a la requerida, la cual será de 380 V para equipos (Bombas) y 220 V para las instalaciones (Oficinas, etc.). El transformador seleccionado contara con un bobinado de cobre.

La inversión considera los valores desde el transformador, celdas para interruptores, cableado, etc..

Subestación Eléctrica

Concepto	Costo Total (u\$)
Inversión	75.262
Total	75.262

Tabla n°73: Costo de Subestación Eléctrica.**12.2.1.1.6 Válvula Reductora y Medidor de Gas**

Se utilizó como referencia para la correcta selección de la válvula, el Código ANSI/ASME B 16.5, ya que, brinda información acerca de la presión máxima admisible en función de la temperatura de proceso que soportaría la brinda. Por lo tanto, la válvula reductora de gas natural será de Clase 600.

En el costo de inversión se considera tanto el precio de dicha válvula, como del medidor de gas, el cual será una placa orificio.

Válvula y Medidor	
Concepto	Costo Total (u\$s)
Inversión	28.752
Total	28.752

Tabla n°74: Costo de Válvula Reductora y Medidor de Gas Natural.**12.2.1.1.7 Activos Fijos**

La suma entre los activos fijos correspondientes a los costos mencionados con anterioridad, desde los equipos necesarios hasta la inversión inicial para el sistema de red contra incendios. A continuación se observa el costo final de activos fijos.

Activos Fijos	
Concepto	Total (u\$s)
Mano de obra de Edificios	484.314
Terreno	1.575.342
Equipos	2.560.871
Sistema de red contra incendios	800.000
Planta de Tratamiento de Efluentes	535.900
Subestación Eléctrica	75.262
Acondicionamiento de Gas Natural	28.752
Acetonitrilo	1.805.883
Total	7.624.264

Tabla n°75: Costo de Activos fijos iniciales.**12.2.1.2 Capital de Trabajo**

Como ya se ha mencionado, este capital lo conforman los recursos que la empresa requiere para su operación. También es conocido como activo corriente y se pueden clasificar en costos fijos y variables.

Un costo fijo es aquel que se debe incurrir en un periodo determinado y son independientes del nivel de producción de la planta. Mientras que un costo variable si depende del nivel de producción, por ejemplo, materia prima, insumos, sueldos. La suma de estos costos da como resultado el costo total del periodo.

Cuando se incrementa cualquier unidad adicional, aumentara el costo variable total y dicha variación se la denomina costo marginal. Toda planta tiene límites de capacidad, donde pueden ir variando la cantidad de insumos ocupados, y por ende, sus costos variables totales, pero dentro de un cierto intervalo los costos fijos pueden mantenerse constante.

Los costos fijos del presente proyecto estarán constituidos por los costos de recursos humanos, mantenimiento, seguros, etc., y en los costos variables tendrán influencia los costos por materia prima, servicios auxiliares (Energía Eléctrica, Gas, Agua, etc.) y otros insumos.

12.2.1.2.1 Mano de Obra

Teniendo en consideración a la hora de la cuantificación del costo de recursos humanos que la planta operara los 365 días del año, las 24 horas del día. También para lograr calcular de forma más eficiente dicho costo, es fundamental saber las funciones y tareas que deben cumplir cada uno de los trabajadores, logrando así la remuneración asociada a cada puesto de trabajo y el régimen a cumplir según lo define el Convenio Colectivo de Trabajo. Donde los trabajadores estarán bajo el convenio de Sindicato de Petroleros Privados (SPP) y Sindicato de Petroleros Jerárquicos (SPJ), donde en este último estarán los de mayor rango.

La distribución de los puestos de trabajo se basa en la cantidad de turnos y sectores a cubrir. En donde dicha distribución estará dada por el siguiente cronograma.

- Diagrama de siete días de trabajo por siete días de descanso con jornadas laborales de 12 horas, de 08 hs a 20 hs y de 20 hs a 08 hs.
- Laboratorista: Dos recursos en el turno diurno y uno en el turno nocturno.
- Operador de Producción: Dos recursos en cada turno.
- Operador de Sala de Control: Un recurso por turno.
- Operador de Seguridad: Un recurso por turno.
- Supervisor de Planta: Un recurso por turno.
- Diagrama de cinco días de trabajo por dos días de descanso con jornadas laborales de 9 horas, de 08 hs a 17 hs.
- Administrativo: Un recurso.
- Contador: Un recurso.
- Coordinador de Laboratorio: Un recurso.
- Gerente de Planta: Un recurso.

- Jefe de Planta: Un recurso.
- Operador de Almacén: Dos recursos.
- Personal de Maestranza: Tres recursos.
- Responsable de Compra y Venta de Insumos: Un recurso.
- Responsable de Recursos Humanos: Un recurso.
- Responsable Técnico: Un recurso.

Donde los puestos enfocados a la producción del proceso cuentan con sus respectivos reemplazos.

En la siguiente tabla se detalla la cantidad de recursos por puesto de trabajo y el resumen de los costos por recursos humanos de la planta.

Costo de Recursos Humanos

Personal	Recurso (Personas)	Sueldo (u\$\$/año*P)	Sueldo Total (u\$\$/año)	Prestación Social Total (u\$\$/año)	Total (u\$\$/año)
Administrativo	1	14.129	14.129	4.239	18.368
Contador	1	14.846	14.846	4.454	19.300
Coordinador de Laboratorio	1	15.987	15.987	4.796	20.783
Gerente de Planta	1	39.630	39.630	11.889	51.519
Jefe de Planta	1	35.199	35.199	10.560	45.758
Laboratorista	6	14.025	84.153	25.246	109.399
Operador de Almacén	3	14.553	43.660	13.098	56.758
Operador de Producción	8	20.029	160.234	48.070	208.304
Operador de Sala de Control	4	16.763	67.053	20.116	87.169
Operador de Seguridad	4	16.763	67.053	20.116	87.169
Personal de Maestranza	3	8.761	26.284	7.885	34.169
Responsable de Compra y Venta de Insumos	1	14.129	14.129	4.239	18.368
Responsable de RRHH	1	14.846	14.846	4.454	19.300
Responsable Técnico	1	22.098	22.098	6.629	28.727
Supervisor de Planta	4	23.871	95.482	28.645	124.127
Total (u\$\$/año)	40	285.630	714.783	214.435	929.217

Tabla n°76: Costo de Recursos Humanos.

12.2.1.2.2 Mantenimiento

Un frecuente y correcto mantenimiento es importante para el óptimo funcionamiento de los equipos del proceso y para alargar su vida útil. Los tipos de mantenimiento que se les brinda a las maquinarias, equipos y piezas son:

- **Mantenimiento Predictivo:** Se realiza una serie de acciones y técnicas con el fin de anticiparse a errores, y así tener repercusiones negativas en el proceso.
- **Mantenimiento Preventivo:** Se realiza en intervalos de tiempo predeterminados con el objetivo de minimizar la frecuencia de las fallas.
- **Mantenimiento Correctivo:** Se realiza en función a la ocurrencia de la falla con el fin de recuperar la funcionalidad u operatividad del equipo, luego que este pierda su capacidad para realizar la función en fin, producto de dicha falla.
- **Mantenimiento de Inspección:** Se realiza en intervalos de tiempo predeterminados y se anotan observaciones, las cuales puedan dar origen a un mantenimiento preventivo.
- **Mantenimiento de Oportunidad:** Este tipo de mantenimiento se realiza a elementos complementarios de un equipo o pieza que se encuentra en un mantenimiento preventivo o correctivo.

Hay diversas formas de estimar un valor correspondiente a los costos por mantenimiento, en este proyecto se opta por tomar como referencia el 7% del capital de inversión (Activos Fijos). A su vez, dicho porcentaje se divide nuevamente en tres porcentajes, siendo un 35% tanto para el mantenimiento predictivo como preventivo, mientras que el restante (30%) es para mantenimiento correctivo.

Por lo tanto el costo por mantenimiento se detallara a continuación.

Costo por Mantenimiento	
Tipo de Mantenimiento	Costo (u\$/Año)
Predictivo	192.725
Preventivo	192.725
Correctivo	165.193
Total (u\$/año)	550.643

Tabla n°77: Costo por Mantenimiento.

12.2.1.2.3 Insumos

Los insumos son parte de los costos variables dentro del capital de trabajo, donde abarcan todos los insumos requeridos en el proyecto, desde materia prima hasta los servicios esenciales (Agua, Energía Eléctrica, Gas Natural, etc.).

- Costos de Materia Prima

Se considera en el cálculo tanto las materias primas como el solvente a utilizar en el proceso. Se investigan los precios de los distintos productos en el mercado, los cuales se tomarán en u\$s y se detallarán en la siguiente tabla.

Costo de Materia Prima			
Compuesto	Consumo (m³/año)	Precio (u\$/m³)	Costo (u\$/año)
Butano	31.624	0,088	2.784
Compuesto	Consumo (m³/año)	Precio (u\$/m³)	Costo (u\$/año)
Oxígeno	4.468	88	393.569
Costo Total (u\$/año)			396.353

Tabla n°79: Costo por Materia Prima.

En el caso del solvente se considerara su gasto como una inversión inicial debido a que se recupera en gran porcentaje y se tendrá en cuenta un gasto fijo del 30% por año de la inversión inicial para sustentar las pérdidas.

Costo de Solvente			
Compuesto	Consumo (m³/año)	Precio (u\$/m³)	Costo (u\$/año)
Acetonitrilo	8.209	66	541.765

Tabla n°80: Costo de Solvente.

- Costo de Energía

Se tendrá en cuenta los gastos energéticos tanto por los equipos y maquinarias, como por el alumbrado e iluminación de los edificios. Según lo estipulado por el EPEN (Ente Provincial de Energía del Neuquén) el precio es de 0,076 u\$/kW.

Para estimar el costo energético del alumbrado e iluminación de los distintos edificios (Comedor, Oficinas, Sanitarios, etc.) se multiplica el costo energético asociado a los equipos por 3 y 2% respectivamente.

Costo de Energía			
Ubicación	Consumo (kWh/año)	Precio (u\$/kWh)	Costo (u\$/año)
Alumbrado	25.927	\$ 0,0760	1.970
Equipos y Maquinarias	864.238	\$ 0,0760	65.671
Edificios	17.285	\$ 0,0760	1.313
Total (u\$/año)	907.450		68.955

Tabla n°81: Costo por Energía.

- Costo de Gas Natural

Para estimar un costo de gas natural, se procede a calcular la cantidad del mismo que se necesita en los diferentes equipos (Hornos y Flare). En el proyecto se considera la compra del gas de boca de pozo, donde su valor es obtenido de la

página del Ministerio de Economía, Energía e Hidrocarburos y es de 0,0690 (u\$/m³).

Costo de Gas Natural			
Utilización	Consumo (m³/año)	Precio (u\$/m³)	Costo (u\$/año)
Flare	32.281	\$ 0,0690	2.227
Hornos	2.639.388	\$ 0,0690	182.118
Total (u\$/año)	2.682.892		185.120

Tabla n°82: Costo de Gas Natural.

- Costo de Agua

Según lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) se debe consumir 150/200 litros por persona al día para satisfacer tanto las necesidades de consumo como de higiene. Por ende, para determinar la cantidad de agua necesaria se tendrá en cuenta la capacidad máxima de personal al mismo tiempo dentro de la planta.

Para estimar el costo de agua, se toma como referencia el valor estipulado por el Ente Provincial de Agua y Saneamiento (EPAS) para la localidad de Cutral-Có, el cual es de 0,2324 u\$/m³.

Costo de Agua				
Utilización	Personas	Consumo Total (m³/año)	Costo (u\$/m³)	Costo (u\$/año)
Consumo	19	1.040	0,2324	242
Total (u\$/año)				242

Tabla n°83: Costo de Agua.

12.2.1.3 Amortización

Una amortización es definida como la pérdida del valor promedio anual para activos, ya que, este comienza a perder valor debido al deterioro normal por el uso y por el paso del tiempo.

Es fundamental identificar que hay activos cuyo valor no disminuye, por ejemplo, el terreno del proyecto, y por ende, no se amortizan. Por lo que, para el cálculo de las amortizaciones se tuvo en cuenta los activos que son susceptibles al deterioro por su uso y por el paso del tiempo, como son los equipos y obras físicas (ítems 12.2.1.1).

Existen diversos métodos para obtener los costos de amortización y sus respectivos intereses, pero para el proyecto en cuestión se eligió el método lineal porque es el más simple de llevar a cabo. Dicho método considera que la

mortificación anual es igual para todos los años del periodo y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$A(\text{u}\$s) = \frac{I}{t} \quad 12.2$$

Donde A expresa el valor de la amortización lineal y la relación I/t es el valor del capital inmovilizado a pagar en una cierta cantidad de años. La cantidad de años que se consideraron para el cálculo fue de 10.

Amortización								
Periodo	Obras y Edificios (u\$)	Equipamiento (u\$)	Red Contra Incendio (u\$)	PTE (u\$)	Subestación Eléctrica (u\$)	Acondicionamiento de Gas Natural	ACN	Total (u\$)
1	48.431	256.087	80.000	53.590	7.526	2.875	53.590	629.098
2	48.431	256.087	80.000	53.590	7.526	2.875	53.590	629.098
3	48.431	256.087	80.000	53.590	7.526	2.875	53.590	629.098
4	48.431	256.087	80.000	53.590	7.526	2.875	53.590	629.098
5	48.431	256.087	80.000	53.590	7.526	2.875	53.590	629.098
6	48.431	256.087	80.000	53.590	7.526	2.875	53.590	629.098
7	48.431	256.087	80.000	53.590	7.526	2.875	53.590	629.098
8	48.431	256.087	80.000	53.590	7.526	2.875	53.590	629.098
9	48.431	256.087	80.000	53.590	7.526	2.875	53.590	629.098
10	48.431	256.087	80.000	53.590	7.526	2.875	53.590	629.098

Tabla n°84: Amortización.

12.2.1.4 Ingresos

Todo proyecto tiene como objetivo o fin principal obtener beneficios, y que como mínimo superen los costos por producción. Los ingresos que se consideran son originalmente los ingresos obtenidos por la venta tanto del producto principal (Butadieno) como del subproducto (iso-Butano).

La cantidad de producto a comercializar se obtuvo mediante la simulación del proceso, detallada en el capítulo 5, mientras que su valor de venta fue obtenido del Anuario de Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de Argentina 2020. Dichos valores son 8.033 Tn/año y 715 u\$\$/Tn respectivamente. Mientras que para el subproducto, se consideró el mismo valor que el de butano, siendo este de 0,088 u\$\$/m³.

Producto Principal	
Periodo 1 al 10 (Año)	Butadieno
Producción (Tn/año)	8.033
Precio (u\$\$/Tn)	715
Total (u\$\$/año)	5.743.595
SubProducto	

Periodo 1 al 10 (Año)	i-Butano
Producción (m3/año)	9.636
Precio (u\$/m3)	0,088
Total (u\$/año)	848
Ingreso Total	
Periodo (Año)	1 al 10
Total Ingreso (u\$/año)	5.744.791

Tabla n°85: Ingreso por Producto, Subproducto y Totales.

Considerando los costos mencionados en el ítem 12.2.1.2 (Capital de Trabajo) y la amortización calculada para la proyección de 10 años, se calcula el porcentaje que representa cada uno frente al precio unitario del producto a ofrecer. Dando como resultado, que se obtiene casi un 50% de ganancias con respecto a los costos de producción.

En el siguiente grafico de torta se podrá observar de forma más ilustrativo lo mencionado anteriormente.

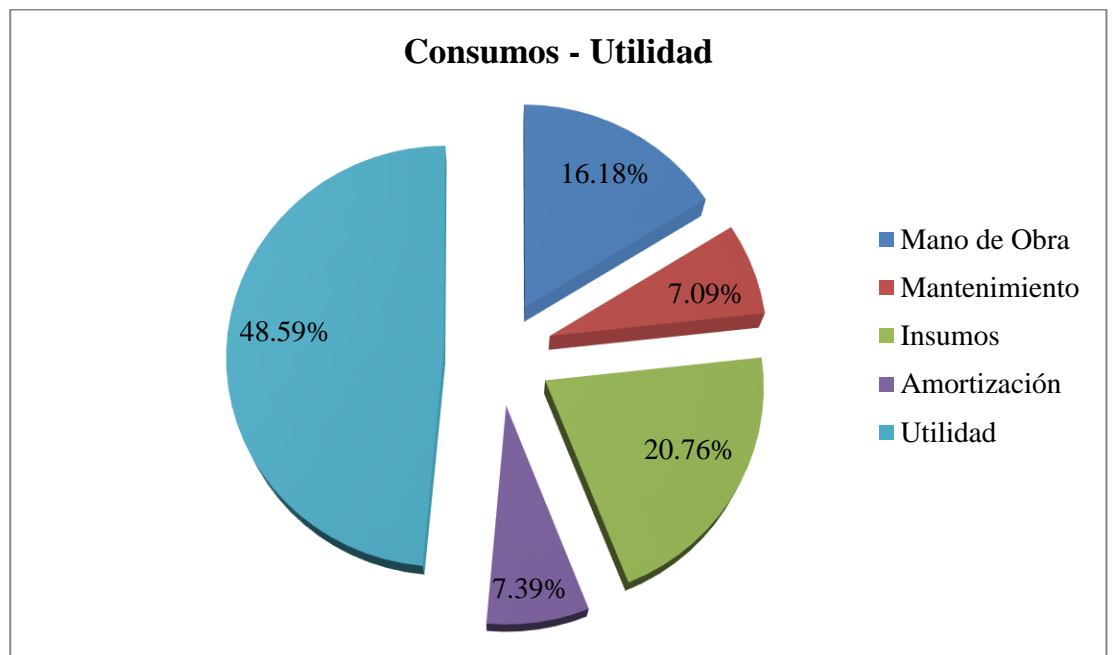


Fig.57: Grafico de torta de Consumos vs Utilidad (Propia).

12.2.2 Etapa de Preparación del Proyecto: Flujo de Caja

La proyección del flujo de caja constituye uno de los elementos más importantes del estudio de un proyecto, donde la información principal para poder llevar a cabo dicha proyección es brindada por los estudios de mercado, técnico y organizacional.

Un flujo de caja para cualquier tipo de proyecto se compone de cuatro elementos esenciales:

- Los egresos iniciales de fondos.
- Los ingresos y egresos de operación.
- El momento en que ocurren estos ingresos y egresos.
- El valor de desecho o salvamento del proyecto.

Donde los egresos iniciales son aquellos que corresponden al total de la inversión inicial requerida para la puesta en marcha de la planta. Generalmente el capital de trabajo es considerado como un egreso en el momento cero. Los ingresos y egresos de operación son aquellos flujos de entradas y salidas reales de caja.

También hay que saber que un flujo de caja se expresa en momentos, donde el momento cero reflejara todos los egresos previos a la puesta en marcha del proyecto.

Es fundamental interpretar de forma correcta las cifras contenidas en este flujo porque darán confiabilidad a la hora de la validez de los resultados, debido a que todos los criterios de evaluación se aplican en función de él.

Para la construcción del flujo de caja de este proyecto se proyecta un tiempo de estudio de 10 años, considerando el año 0 que reflejara todos los desembolsos previos a la puesta en marcha. También se hace uso de todos los datos recopilados a lo largo del capítulo, como son los ingresos y egresos, y los gastos no desembolsables.

Construcción del Flujo de Caja											
Periodo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	Activo Fijo (u\$s)	7.866.324									
	Capital de Trabajo (u\$s)	550.643									
	Total (u\$s)	8.416.967									
Ingresos	Por venta (u\$s)		5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797
	Total (u\$s)		5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797	5.744.797
Egresos	Costo Fijo (u\$s)		1.479.860	1.479.860	1.479.860	1.479.860	1.479.860	1.479.860	1.479.860	1.479.860	1.479.860
	Costo Variable (u\$s)		1.191.660	1.191.660	1.191.660	1.191.660	1.191.660	1.191.660	1.191.660	1.191.660	1.191.660
	Total (u\$s)		2.671.520	2.671.520	2.671.520	2.671.520	2.671.520	2.671.520	2.671.520	2.671.520	2.671.520
Amortización (u\$s)		629.098	629.098	629.098	629.098	629.098	629.098	629.098	629.098	629.098	629.098
Utilidad antes de Impuestos		2.444.179	2.444.179	2.444.179	2.444.179	2.444.179	2.444.179	2.444.179	2.444.179	2.444.179	2.444.179
Impuestos	Ganancia (35%)		855.462	855.462	855.462	855.462	855.462	855.462	855.462	855.462	855.462
	Ingresos Brutos (1,5%)		36.663	36.663	36.663	36.663	36.663	36.663	36.663	36.663	36.663
	Total (u\$s)	0	892.125	892.125	892.125	892.125	892.125	892.125	892.125	892.125	892.125
Utilidad Neta		1.552.053	1.552.053	1.552.053	1.552.053	1.552.053	1.552.053	1.552.053	1.552.053	1.552.053	1.552.053
Amortización (u\$s)		629.098	629.098	629.098	629.098	629.098	629.098	629.098	629.098	629.098	629.098
Flujo Neto de Fondos (u\$s)	-8.416.967	2.181.152	2.181.152	2.181.152	2.181.152	2.181.152	2.181.152	2.181.152	2.181.152	2.181.152	2.181.152
Flujo Neto de Fondos Acumulados (u\$s)	-8.416.967	6.235.815	4.054.664	1.873.512	307.639	2.488.791	4.669.943	6.851.094	9.032.246	11.213.397	13.394.549

Tabla n°86: Proyección de flujo de caja.

12.2.3 Etapa de Evaluación del Proyecto

En la evaluación de un proyecto se busca obtener mediante diferentes métodos o instrumentos, si el flujo de caja previamente proyectado nos dará la rentabilidad deseada y si se recuperara la inversión. Los principales instrumentos que se utilizan para brindar dicha información son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna

de Retorno (TIR). Estos indicadores darán la conclusión final con respecto a si se acepta, posterga o rechaza el proyecto.

A continuación se hará una breve descripción de cada uno de estos conceptos y se detallara los valores obtenidos de los mismos.

12.2.3.1 EBITDA

Otra indicador que se utiliza para analizar y medir la rentabilidad del proyecto es el Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization (EBITDA). Este indicador se obtiene por la diferencia entre los ingresos y gastos sin tener en cuentas variables como: Intereses por deuda, depreciaciones de los activos, amortizaciones de los intangibles e impuestos a las utilidades generadas. Por ende, es un indicador exclusivamente operacional que elimina los efectos derivados de los impuestos y de la estructura de financiamiento.

Existen dos tipos de EBITDA que dependen del resultado del mismo:

- EBITDA Positivo: Esto indica que el proyecto es rentable sin la consideración de los gastos financieros y fiscales.
- EBITDA Negativo: En este caso, es un criterio suficiente para descartar la viabilidad del proyecto.

La fórmula para obtener dicho parámetro de estudio es la siguiente:

$$EBITDA = \text{Ingresos afectos a impuestos} - \text{Costos Directos e Indirectos} \quad 12.3$$

$$EBITDA(u\$s) = 5.744.797 - 2.671.520 = \mathbf{3.073.277}$$

Como conclusión, el EBITDA arroja un valor positivo y un alto valor, por lo que el proyecto tendrá una mayor eficacia operativa y excelentes resultados.

Este indicador sirve como primera instancia para obtener que tan rentable será el proyecto estudiado, pero para la conclusión final con respecto a la rentabilidad del proyecto se calculara el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno, ya que, son indicadores muchos más precisos y sensibles.

12.2.3.2 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto de un proyecto de inversión se define como la sumatoria de los flujos netos de caja medidos en el momento inicial del mismo, menos la inversión inicial que se ha debido efectuar para llevarlo a cabo. Esta herramienta nos permite obtener los futuros ingresos del proyecto, en función de una tasa de interés y determinado periodo, con el objetivo de comparar las ganancias brutas con la inversión inicial realizada.

Donde el VAN dependiendo de su valor, tiene distintas interpretaciones, las cuales son:

- $VAN > 0 \rightarrow$ Rentabilidad superior a la exigida por el inversionista. Es conveniente llevar adelante el proyecto.
- $VAN = 0 \rightarrow$ Rentabilidad idéntica a la exigida por el inversionista. Es opcional llevar adelante el proyecto.
- $VAN < 0 \rightarrow$ Rentabilidad inferior a la exigida por el inversionista, no significa que el proyecto estudiado de pérdidas. Generalmente es preferible no llevar adelante el proyecto.

Como se mencionó, para el cálculo del VAN se debe considerar una Tasa de Descuento, la cual debe ser mayor a la Tasa de Interés de Oportunidad, de esta forma se asegura no verse afectado por cualquier variación no tenida en cuenta hasta el momento de la aprobación del proyecto, dichas variaciones pueden ser la inflación, liquidez, entre otras variaciones.

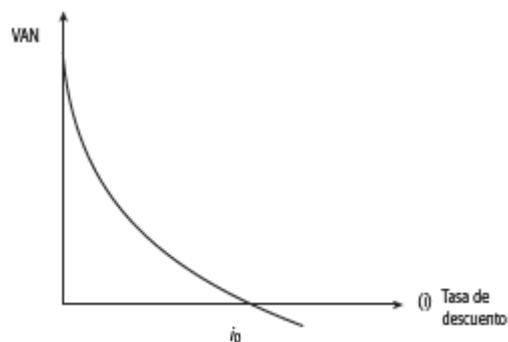
12.2.3.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno es otra herramienta que se utiliza para evaluaciones de proyecto, indica la rentabilidad como porcentaje y representa la máxima tasa exigible que hará que el VAN sea igual a 0. Si dicho valor es alto, indica que el proyecto es rentable y los inversionista quieran invertir en el antes que otros destinos, mientras que si es bajo el TIR, optaran por invertir en otras utilidades.

Para que el proyecto de inversión sea considerado aceptable o factible, la Tasa Interna de Retorno debe superar a la Tasa de Descuento.

12.2.3.4 Relación VAN – TIR

Cuando estos parámetros se utilizan para decidir si se acepta o rechaza un proyecto sin comparación con otros, las dos técnicas proporcionan igual resultado. Esto se puede apreciar en la siguiente imagen.



Ejg.58: Relación entre VAN y TD (Sapag Chain, 2011).

Como se puede observar, a medida que la tasa de descuento es mayor, el VAN va disminuyendo. También cuando se cruza el origen (VAN igual a cero), la tasa de descuento i_0 se iguala a la tasa interna de retorno.

Las situaciones que pueden darse en relación del VAN con el TIR son:

$VAN > 0$ y $TIR > 0$	La rentabilidad es superior a la exigida después de recuperar toda la inversión.
$VAN = 0$ y $TIR > 0$	La rentabilidad es igual a la exigida después de recuperar toda la inversión.
$VAN < 0$ y $TIR > 0$	La rentabilidad es inferior a la exigida después de recuperar toda la inversión.
$VAN < 0$ y $TIR = 0$	La rentabilidad es 0, pero se recupera toda la inversión.
$VAN < 0$ y $TIR < 0$	La rentabilidad es 0 y no se recupera toda o parte de la inversión.

Utilizando los datos del presente proyecto, la gráfica de la relación entre el VAN y la TD quedara definida de la siguiente manera.

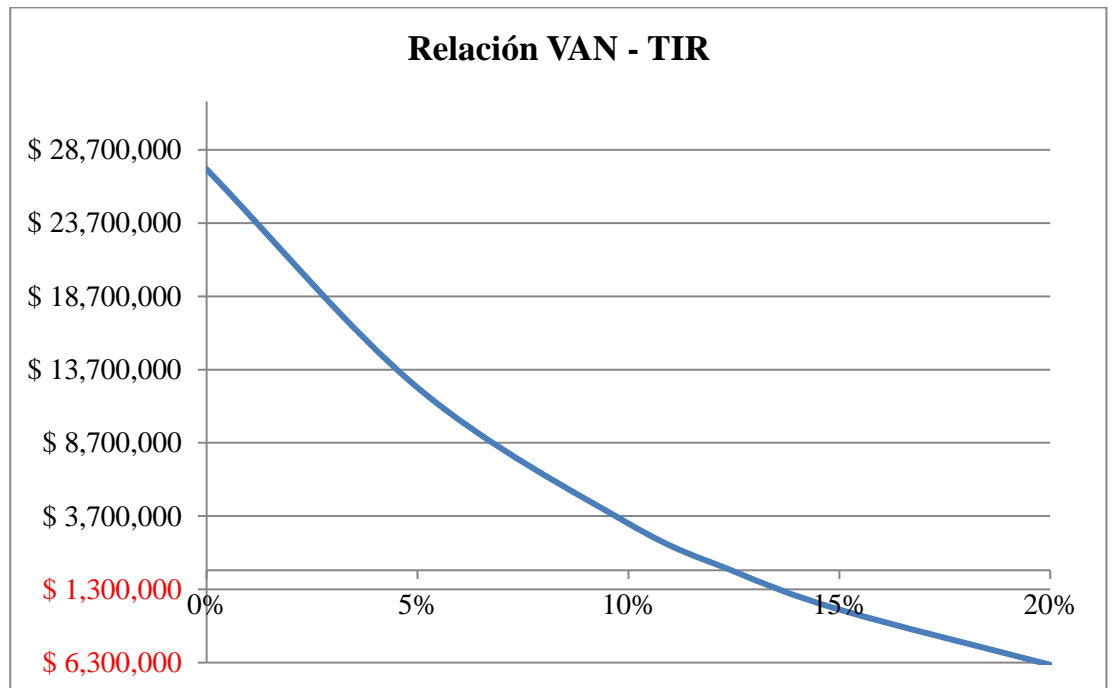


Fig.59: Relación entre VAN y TD (Propia).

12.2.3.5 Resultados

Luego de un exhaustivo análisis y estudio de los datos brindados por diferentes bancos nacionales y mundiales, se tomó un valor de tasa de interés del 10%. Vale aclarar que dicha tasa es considerando como moneda de referencia el Dólar y no el Peso Argentino, ya que, todos los costos detallados anteriormente están dolarizados.

A continuación se adjunta los resultados obtenidos del Valor Actual Neto y Tasa de Interés de Retorno.

Parámetros de Evaluación

Tasa de Interés	10,00%
TIR	12%
VAN (u\$s)	\$ 3.196.135
Relación TIR - TI	PROYECTO RENTABLE

Tabla n°87: Valores de evaluación de proyecto.

Como se puede apreciar en la tabla, el valor de la tasa interna de retorno es superior a la tasa de interés y a su vez, el valor actual neto es positivo (mayor a cero), por lo que se puede considerar al proyecto como aprobado o rentable para el inversionista.

12.2.4 Punto de Equilibrio

Para cerrar la evaluación del proyecto, se procede a obtener el análisis de Costo-Volumen-Utilidad o comúnmente conocido como Punto de Equilibrio. Este análisis muestra las relaciones elementales entre costos e ingresos para diferentes niveles de producción y ventas, considerando constante los valores de ingresos y costos dentro del rango estudiado.

Cuando se analiza este concepto hay que saber que cuanto más lejos se encuentre el nivel de operación del punto de equilibrio, menor es el cambio porcentual en las ganancias. También la intersección entre ambas rectas, punto donde los costos y ventas se igualan, definen dos zonas: A la derecha del punto es la zona de utilidades y a la izquierda la zona de pérdidas.

Para el cálculo de dicho punto se tuvieron en cuenta los siguientes conceptos.

Concepto	Abreviación	Valor
Ingresos por Ventas (u\$s/Día)	I	15.739
Costos Fijos (u\$s/Día)	CF	4.054
Costos Variables (u\$s/Día)	CV	3.265
Producción (Tn/Día)	Q	22
Costos Totales (u\$s/Día)	CT	7.319
CV Unitario(u\$s/Tn)	CV _{Unitario}	148
Ingreso Unitario (u\$s/Tn)	P	715

Tabla n°88: Valores a tener en cuenta para el Punto de Equilibrio.

Las fórmulas matemáticas que se utilizan para obtener el punto de equilibrio de volúmenes de ventas e ingreso de equilibrio son las siguientes respectivamente.

$$PE_{Volumen\ de\ Ventas}\left(\frac{Tn}{Día}\right) = \frac{CF}{1 - \frac{CV}{P * Q}} \quad 12.3$$

$$PE_{Ingresos}\left(\frac{u\$s}{Día}\right) = \frac{CF}{P - CV_{Unitario}} \quad 12.4$$

Donde los valores obtenidos son de:

$$PE_{Volumen\ de\ Ventas}\left(\frac{Tn}{Día}\right) = 7,15$$

$$PE_{Ingresos}\left(\frac{u\$s}{Día}\right) = 5.116$$

Para poder apreciar de formas más simple los valores obtenidos, se procede a realizar una gráfica con respecto a los costos total e ingresos por ventas.

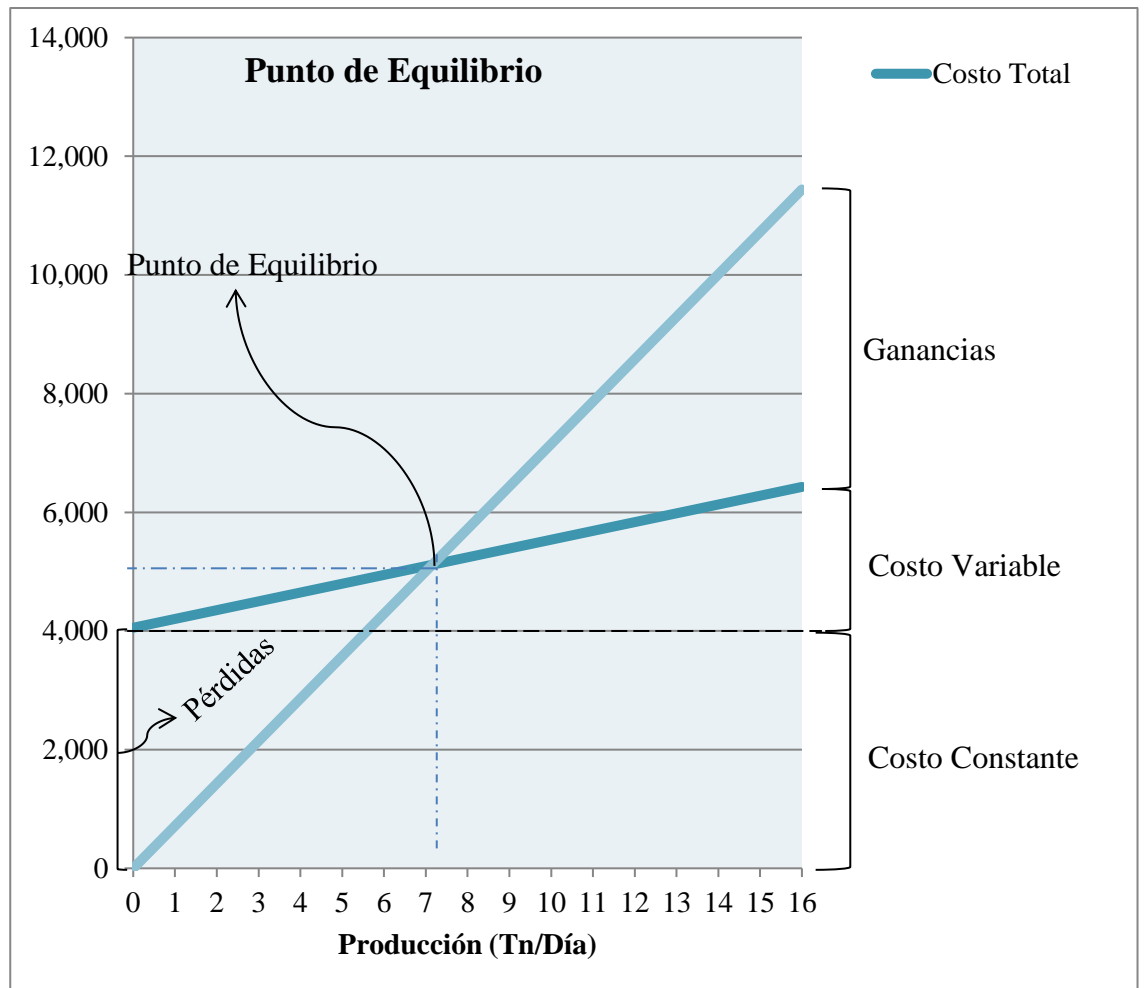


Figura n°60: Punto de Equilibrio y Conceptos (Propia).

12.2.5 Análisis de Sensibilidad

El objetivo que tiene realizar un análisis de sensibilidad al proyecto es evaluar cuan sensible es la estimación realizada a variaciones en uno o más parámetros decisivos. En este proyecto la sensibilidad es estudiada con respecto al carácter económico, pero es aplicable para cualquier variable del proyecto, por ejemplo, la ubicación, el módulo de producción, etc.

Es muy importante representar las variables que tienen mayor efecto con respecto a los diferentes grados de error, ya que, se hará un análisis más profundo de esas variables para reducir el grado de riesgo de error y así mejorar las estimaciones.

Un análisis de sensibilidad se clasifica según el número de variables que se sensibilicen simultáneamente en:

- Análisis Unidimensional: La sensibilización es aplicable a una sola variable.
- Análisis Multidimensional: Se estudia los efectos sobre los resultados que se producen por la incorporación de variables simultáneas en dos o más variables relevantes.

Aunque ambos métodos tienen como fin representar el grado de variabilidad que puede exhibir la proyección del flujo de caja.

Para este proyecto las variables elegidas para realizarle un análisis de sensibilidad son:

- Variación en Precio de Butadieno.
- Variación en Precio de Materia Prima.
- Variación en Sueldo de Personal.

Se considera que estos parámetros son los más importantes a la hora del estudio de la rentabilidad del proyecto. Se toma en cuenta el sueldo del personal como una variable a estudiar, ya que, existen constantes variaciones con respecto a las paritarias acordadas por el sindicato que representa a los trabajadores del proyecto.

12.2.5.1 Variación en Precio de Materia Prima

Porcentaje de Variación (%)	Precio (u\$/m ³)	VAN (U\$S)	TIR (%)
-10,00	139	\$ 4.470.201	13%
0,00	154	\$ 3.196.135	12%
10,00	170	\$ 1.013.963	11%
25,00	193	\$ 1.578.216	9%

45,00 224 \$ 5.034.455 6%

Tabla n°89: Variación del VAN y TIR según el precio de la Materia Prima.

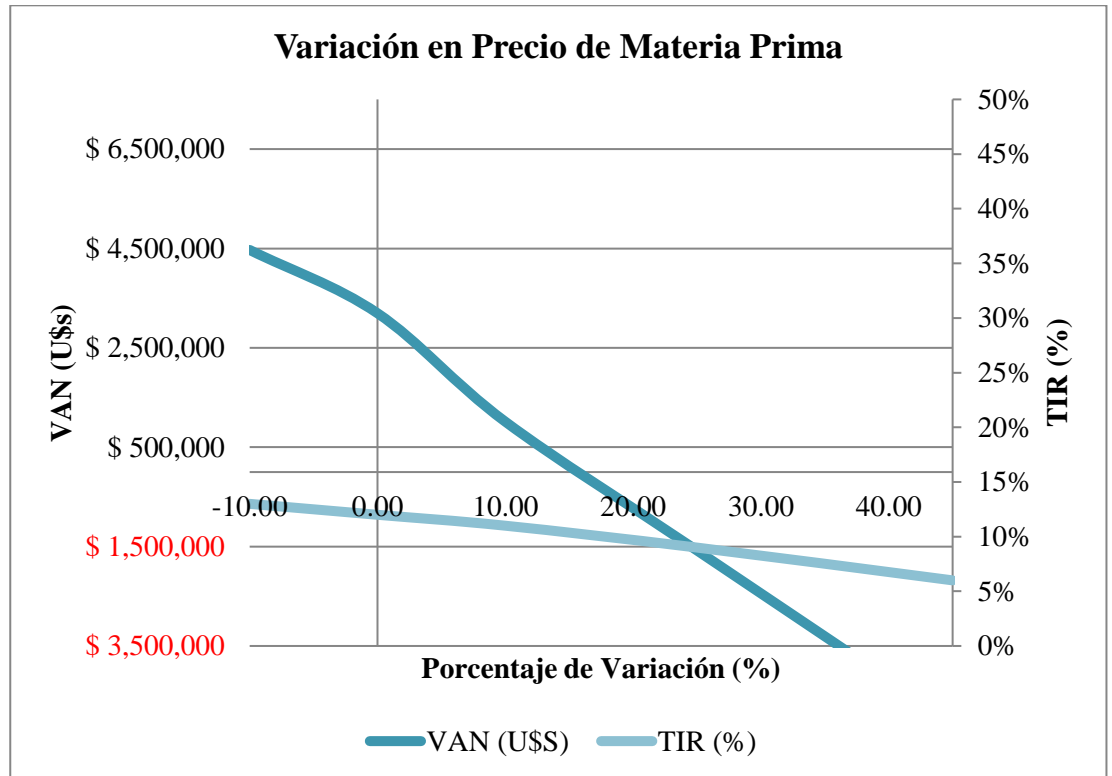


Figura n°61: Variación del Precio de Materia Prima (Propia).

12.2.5.2 Variación en Precio de Butadieno

Porcentaje de Variación (%)	Precio (u\$S/Tn)	VAN (U\$S)	TIR (%)
-10,00	644	\$ 7.848.496	3%
-7,50	661	\$ 5.200.852	6%
-5,00	679	\$ 2.553.207	8%
-2,50	697	\$ 94.437	10%
0,00	715	\$ 3.196.135	12%
5,00	751	\$ 8.037.371	16%
10,00	787	\$ 13.332.660	19%

Tabla n°90: Variación del VAN y TIR según el precio del Butadieno.

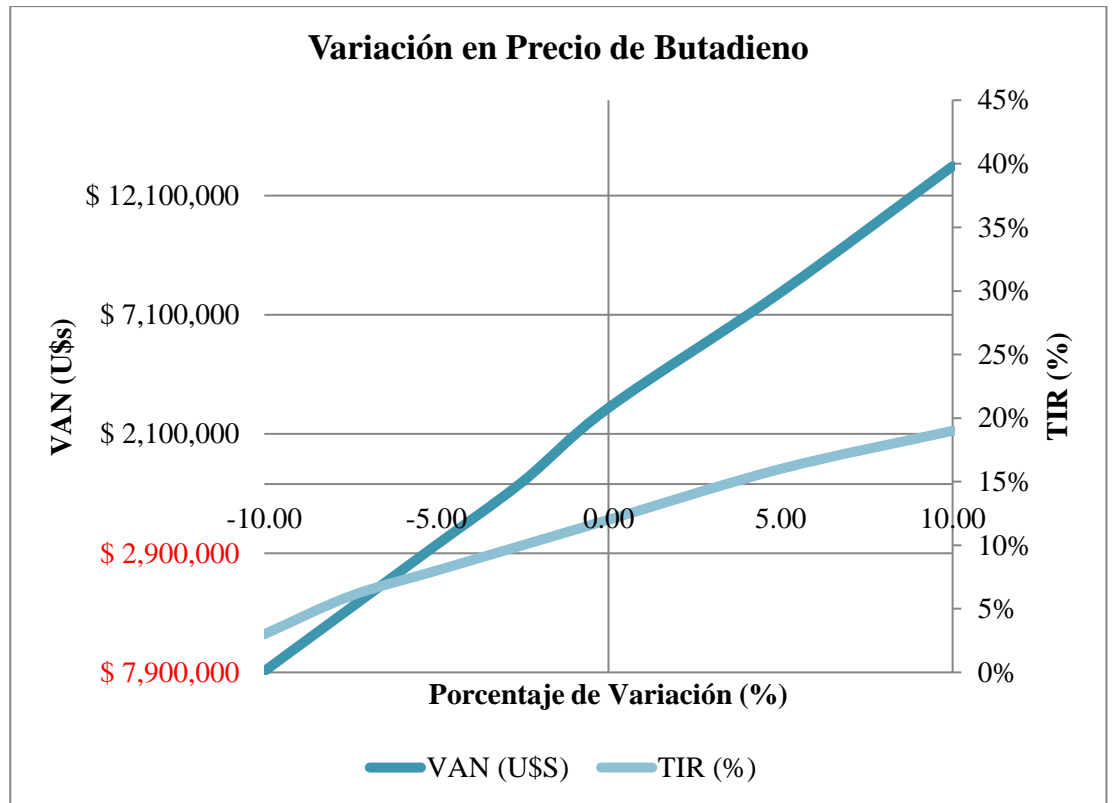


Figura n°62: Variación del Precio del Butadieno (Propia).

12.2.5.3 Variación en Sueldo de Personal

Porcentaje de Variación (%)	Precio (u\$/\$Año)	VAN (U\$)	TIR (%)
-10,00	836.296	\$ 5.311.991	14%
-5,00	882.756	\$ 4.455.355	13%
0,00	929.217	\$ 3.196.135	12%
5,00	975.678	\$ 2.742.082	12%
15,00	1.068.600	\$ 1.028.810	11%
25,00	1.161.522	\$ 684.463	9%
35,00	1.254.443	\$ 2.397.735	8%
45,00	1.347.365	\$ 4.111.008	7%

Tabla n°91: Variación del VAN y TIR según Sueldo de Personal.

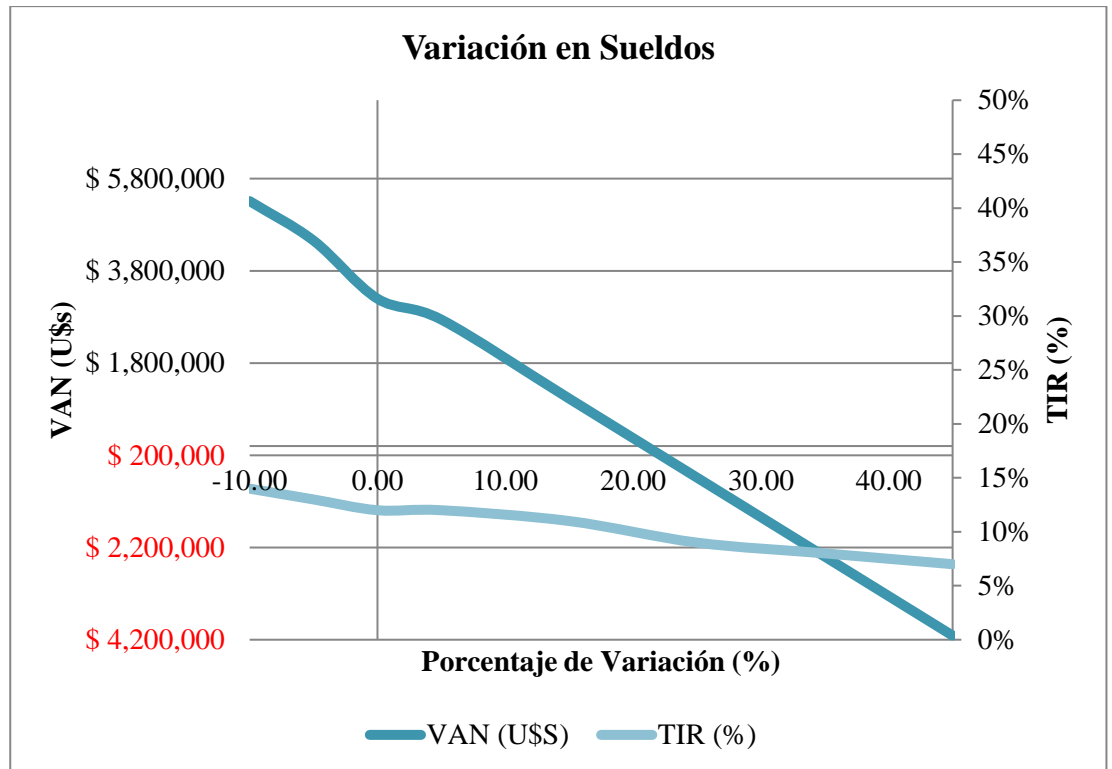


Figura n°63: Variación del Sueldo de Personal (Propia).

12.3 Conclusión

Luego de interpretar los diversos análisis de sensibilidad se puede concluir que:

- El precio del producto principal a ofrecer puede disminuir hasta un 2,5%, después de dicho valor afectara significativamente la rentabilidad del proyecto debido a que el VAN comienza hacer negativo y el TIR menor a la Tasa de Descuento.
- El precio de las materias primas como el del sueldo del personal no tendrán tanta influencia en la rentabilidad del proyecto, ni en un escenario pesimista de un aumento del 25%.

Como conclusión final del estudio económico financiero realizado en el presente capitulo, se puede asegurar que la producción de Butadieno es un proyecto rentable por las siguientes razones.

- Después de 4 años de producción se comienza a obtener ganancias.
- Las variaciones en la materia prima deberán ser muy elevadas para influir en la rentabilidad.

La única variable que puede afectar a la rentabilidad del proyecto es la disminución del precio del Butadieno pero se equilibraría con el aumento en la producción.

12.4 Bibliografía

- Araujo Belles, S. (2021). Planta de Producción de Ácido Oxálico. Proyecto Final, Universidad Autonoma de Barcelona, Barcelona.*
- Argentino, I. P. (2020). Anuario IPA 2020.*
- Banco Central de la República Argentina (BCRA). (s.f.). Obtenido de <https://www.bcra.gob.ar/>*
- Glassdoor. (s.f.). Obtenido de <https://www.glassdoor.com.ar/>*
- Heizer, J., & Render, B. (2004). Principios de administracion de operaciones . Pearson Educacion .*
- Ministerio de Desarrollo Productivo . (s.f.). Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/produccion/financiamiento>*
- Sapag Chain, N., & Sapag Chain , R. (2008). Preparacion y evaluacion de proyectos . Bogota: McGraw-Hill.*

ANEXOS