

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA	Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com	 POLIPROPILENO
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO			Año de cursada: 2020	
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva, Ing J. Garrido	Versión: 4 Fecha: 17/02/2023

Tabla de Contenidos:

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	8
1.2 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	8
1.2.1 Herramientas de Selección	8
1.2.2 Microlocalización.....	10
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	15
1.4 CARACTERISTICAS GENERALES	16
1.5 CARACTERÍSTICAS DE ESTE TIPO DE INDUSTRIAS.....	18
1.6 LAS OPORTUNIDADES ARGENTINAS	19
1.7 CONCLUSIÓN	19
1.8 BIBLIOGRAFÍA.....	20
2. ESTUDIO DE MERCADO	22
2.1 INTRODUCCIÓN	22
2.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE MERCADO	22
2.3 NECESIDADES DEL MERCADO INTERNACIONAL	22
2. 4 PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO EN ARGENTINA	26
2.5 IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE PP EN ARGENTINA.....	27
2.6 CONSUMO APARENTE DE PP EN ARGENTINA.....	28
2.8 COMPETENCIA NACIONAL Y MODELO DE PRODUCCIÓN	30
2.9 MERCADO PROVEEDOR DE MATERIAS PRIMAS	32
2.10 PRODUCTOS A COMERCIALIZAR	33
2.11 MERCADO CONSUMIDOR.....	34
2.12 ANÁLISIS FODA.....	37
2.13 SISTEMA DE COMERCIALIZACIÓN DE LA PLANTA	38
2.14 ANÁLISIS DE ECONOMÍA A ESCALA	40
2.15 Bibliografía.....	41
3. TECNOLOGÍAS DEL PROCESO	43
3.1 TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE PROPILENO (OLEFINAS).	43
3.1.1 El proceso UOP/Hydro MTO.....	43
3.1.2 El proceso Lurgi-MTP	45

3.2 TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE POLIPIPILENO.....	46
3.2.1 Procesos en solución	47
3.2.2 Proceso en Suspensión o “Slurry”	48
3.2.3 Proceso en masa multietapas.....	51
3.2.3.1 Con monómero en fase líquida.....	51
3.2.3.2 Con monómero en fase Gas	51
3.2.3.2.1 Proceso LIPP-SHAC (Shell), proceso por unidad de destilación.	52
3.2.3.2.2 Proceso Novolen	53
3.2.3.2.3 Proceso Unipol	54
3.2.3.2.4 Proceso Amoco-Chisso	55
3.2.3.2.5 Proceso Innovene PP de Ineos	56
3.2.3.2.6 Proceso Hypol de Mitsui	57
3.2.3.2.7 Proceso Spheripol de Basell.....	58
3.2.3.2.8 Proceso Spherizone	60
3.3 SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS A EMPLEAR EN EL PROCESO	63
3.4 Catalizadores empleados en la Producción de Propileno.....	64
3.5 Catalizadores empleados en la producción de polipropileno.	65
3.5.1 Catalizadores heterogéneos (Z/N).....	65
3.5.1.1 Evolución de los catalizadores para la producción de Polipropileno.....	66
3.5.2 Catalizadores homogéneos de metalloceno.....	67
3.6 Bibliografía.....	70
4. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....	73
4.1 INTRODUCCIÓN	73
4.2 DEFINICIÓN DE COMPUESTOS	73
4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	74
4.3.1 Etapa de Obtención de Propileno	75
4.3.2 Etapa de Obtención de Polipropileno.....	76
4.4 SIMULADOR ASPEN HYSYS V9	77
4.4.1 Secuencia de la Simulación.....	77
4.4.2 Ambiente de Simulación	83
4.4.3 Torres de Destilación.	85
4.5 BALANCE DE MASA- Tabla de Corrientes.	88
4.6 BALANCE GLOBAL DEL PROCESO	93
4.7 BIBLIOGRAFÍA.....	94
5. SERVICIOS AUXILIARES DE LA PLANTA.....	96
5.1 ANÁLISIS DE INTEGRACION TÉRMICA	96
5.2 AGUA	107

5.2.1 Sistema de agua potable para oficinas.....	108
5.2.2 Sistema de RCI.....	108
5.2.3 Sistema de Agua de Enfriamiento.....	110
5. 2.3.1 Cálculo del agua de enfriamiento.....	112
5. 2.3.2 Tratamiento del agua.....	117
5.2.4 Sistema de Agua a tratar para riego.	119
5.3 ENERGÍA ELÉCTRICA	119
5.4 GAS NATURAL.....	119
5.5 AIRE COMPRIMIDO.....	120
5.6 BIBLIOGRAFÍA.....	121
6. DISEÑO DE LAY OUT. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA.....	123
6.1 Objetivos	123
6.2 Separación entre equipos.....	123
6.3 Separación entre diferentes instalaciones.....	127
6.4 Dimensiones del Terreno.	133
6.5 Esquema de Lay Out de la Planta de Producción de Polipropileno.	134
6.6 Bibliografía.....	135
7. SEGURIDAD DE LA PLANTA	137
7.1 INTRODUCCIÓN	137
7.2 GENERALIDADES Y CLASIFICACIÓN DE RIESGOS DE la Materia Prima, Subproductos y Producto.	137
7.2.1 Metanol.....	138
7.2.2 Hidrógeno.....	139
7.2.3 Etileno	140
7.2.4 Etano.....	141
7.2.1 Polipropileno.	142
7.3 LEY 13660.	146
7.4 RCI	151
7.5 Análisis: WHAT IF?	156
7.6 Procedimiento de emergencia operacional.....	158
7. ANÁLISIS HAZOP	160
7.7 Seguridad e Higiene ocupacional de los empleados	162
7.7.1 Condiciones generales de construcción y sanitarias	163
7.7.2 Iluminación.....	163
7.7.3 Ruido	163
7.7.4 Ventilación	163
7.7.5 Contaminantes Químicos en Ambientes de Trabajo	164

7.7.5 Plan de Emergencia.....	164
7.7.7 Señalización	165
7.7.8 Elementos de Protección Personal (EPP).....	165
7.8 bibliografía	166
8. DIAGRAMAS DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION	169
8.1 INTRODUCCION	169
8.2 COMPONENTES UTILIZADOS EN UN P&ID	169
8.3 INSTRUMENTOS	171
8.3.1 Clasificación de la instrumentación	172
8.3.2 Simbología de instrumentación.....	173
8.3.3 Indicadores locales	174
8.3.4 Transmisores	174
8.3.5 Switches	175
8.4 IDENTIFICACION DE EQUIPOS	176
8.5 VALVULAS	180
8.6 IDENTIFICACION DE CAÑERIAS	181
8.6.1 Nomenclatura de las tuberías	181
8.6.2 Descripción del Fluido	185
8.6.3 Número de área	186
8.6.4 Elección del tipo de material de las tuberías	187
8.7 NUMERACIÓN DE PLANOS	190
8.8 SISTEMA DE CONTROL.....	191
8.9 BIBLIOGRAFÍA.....	192
9. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	195
9.1 EFLUENTES DEL PROYECTO.....	195
9.1.1 Emisiones	195
9.1.2 Vertidos	195
9.1.3 Residuos	195
9.2 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS	197
9.2.1. Identificación de impactos	197
9.2.2Árbol de acciones	197
9.2.3. Factores afectados	199
9.2.4. Identificación de impactos.	200
9.3 VALORACION DE LOS IMPACTOS OPERATIVOS.....	203
9.3.1 Cálculo de la Importancia	203
9.3 IMPACTOS DE CONTINGENCIAS	210
9.4.1 Estimación de los riesgos	210

9.4 DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	215
Impactos Operativos.....	215
Impactos por Contingencias	216
9.5 PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL.....	218
9.6.1. Etapa de Abandono.	219
9.7. TRATAMIENTO DE EFLUENTES	221
9.7.1. Lodos Activados.....	221
9.7.2. Cálculos.....	222
9.8 BIBLIOGRAFÍA.....	228
10. INGENIERÍA DE DETALLE	230
10.1 Intercambiador de Calor.....	230
10.1.2 Componentes básicos de los intercambiadores de calor	230
10.1.3 Norma TEMA	233
10.1.4 Selección de la trayectoria del flujo	234
10.1.5 Procedimiento de cálculo	235
10.1.6. Diseño con HTRI	238
10.1.7. Diseño Mecánico.....	240
10.1.8. Dimensionamiento de los cabezales.....	242
10.1.9. Estimación del peso del intercambiador de calor.....	243
10.1.10. Dimensionamiento de Boquillas y bridas.....	245
10.1.11. Soportes y orejas de izaje	246
10.1.12. Silletas.	247
10.2 SEPARADOR VERTICAL	249
10.2.1 Componentes básicos de los separadores.....	249
10.2.2 Parámetros que intervienen	250
10.2.3 Cálculos para el diseño del Separador V-401.	252
10.2.4 Calculo dimensional HYSYS.....	255
10.2.5 Cálculos constructivos.....	257
10.3 Bibliografía.....	259
11. ESTUDIO FINANCIERO.....	261
11.1. INVERSIONES DEL PROYECTO.....	261
11.1.2. Inversiones previas a la puesta en marcha	261
11.2. AMORTIZACIONES	265
11.3. INGRESOS	266
11.4. EGRESOS	266
11.4.1. Costos Fijos.....	267
11.4.1.1. Costos de recursos humanos	267

11.4.1.2. Costos de Mantenimiento.....	268
11.4.2. Costos Variables.....	269
11.4.2.1 Costos de materias primas, energía, agua y gas natural	269
11.4.3. Resumen de egresos	270
11.5 INDICADORES ECONÓMICOS	270
11.5.1 Valor Actual Neto (VAN).	271
11.5.2 Tasa Interna de retorno TIR.	271
11.5.3 Plazo de recuperación (PAYBACK).....	271
11.6. FLUJO DE CAJA.....	272
11.7. PUNTO DE EQUILIBRIO (PE).....	273
11.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	275
11.8.1 Análisis de sensibilidad de TIR Y VAN según la variación de flujos netos de fondo	276
11.8.2 Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación del precio del producto	277
11.8.3 Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación del precio de la materia prima	278
.....	
11.8.4 Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación de la producción.	279
11.8.5 Conclusiones sobre los casos de Sensibilidad.....	280
11.9. CONCLUSION	280
11.9. BIBLIOGRAFÍA.....	281
12. ANEXOS.....	283

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva, Ing J. Garrido		Versión: 4 Fecha: 17/02/2023		

Capítulo N°1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto de grado establecerá las bases para la construcción de una planta de Producción de Polipropileno (PP), la cual tendrá dos etapas, la primera es de producción de propileno y la segunda de obtención del producto final en forma de granos de Polipropileno que, permitirá abastecer el mercado local, nacional y realizar exportaciones a países que así lo requieran.

Las decisiones tomadas respecto al proyecto, se plantearán teniendo en cuenta las necesidades actuales.

Actualmente, el polipropileno se considera un compuesto interesante de analizar debido a la gran cantidad de aplicaciones que tiene en la industria y su importante crecimiento en el mercado petroquímico argentino.

1.2 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

La planta de producción de polipropileno se localizará tan cercana al mercado productor de las materias primas, como sea posible. Además, se considerará la demanda del mercado consumidor a nivel local. Se realizará un estudio de las alternativas para lograr la mejor ubicación para llevar a cabo este proyecto.

A la hora de la elección de la ubicación de la planta, se deberá tener en cuenta la superficie, su distribución en planta, el costo y forma de adquisición (alquiler, compra, etc.) de la edificación, la reglamentación que puede afectarle, así como una eventual ampliación de la empresa. De manera global, para determinar la localización de la planta, se debe tener en cuenta dos aspectos muy importantes que son los costos y los ingresos, con el objetivo principal de minimizar los primeros y maximizar los últimos.

1.2.1 Herramientas de Selección

Se realizará un análisis para elegir la localización más idónea para la planta. Para esto, es necesario efectuar un estudio detallado de algunos factores, entre los que destacan:

- ✓ La proximidad al mercado y a los clientes.
- ✓ Suministro de servicios de la zona, como agua, vapor, luz, teléfono, entre otros servicios utilizados para la producción.

- ✓ Las posibilidades de acceso a las materias primas y compradores, cercanía de los proveedores. Este factor facilita y reduce los gastos de aprovisionamiento derivados del transporte.
- ✓ La tasa de desempleo, disponibilidad de mano de obra calificada, posibilidades de subcontratación.
- ✓ Las ayudas económicas y fiscales, las subvenciones y los incentivos municipales.
- ✓ Además, se deben valorar otros factores como el comportamiento del mercado al ingresar una competencia nueva, así como la forma de competencia que deberá abordar.

Si bien el mercado comprador está concentrado en Argentina, se suman también varios países latinoamericanos, como Chile, Brasil, Perú, Paraguay y Bolivia.

Los asentamientos industriales en el país en los últimos tiempos, responden a una política de desarrollo de determinadas áreas del territorio, para lo cual se han implementado numerosas medidas para favorecer su instalación; surgen así los parques industriales que, al estar dotados de infraestructura, servicios y urbanización, han facilitado la radicación de pequeñas y medianas empresas (Juan, 2013).

La localización adecuada de la empresa, puede determinar el éxito o fracaso de un negocio. Por ello, la decisión de dónde ubicar el proyecto obedecerá no solo a criterios económicos, sino también a criterios estratégicos, institucionales, etc. Con todos ellos, se busca determinar aquella localización que maximice la rentabilidad del proyecto.

La mayoría de las nuevas industrias se establecen dentro de un área industrial, por las ventajas que trae aparejadas esta elección.

Un área industrial es un agrupamiento físico de empresas en un espacio determinado. Según las características, funciones u objetivos existen diferentes tipos de aglomerados. Entre los más conocidos se encuentran los complejos, polos, parques, zonas y áreas industriales.

Los beneficios pueden dividirse en cuatro grandes ramas: fiscales, jurídicos, ambientales y de seguridad.

En función de lo analizado, se localizará la planta en la provincia de Neuquén, el objetivo fundamental es abastecer al mercado consumidor interno de Argentina, además de promover la creación y desarrollo de un emprendimiento sustentable que contribuya a la generación de valor económico, social y ambiental para la comunidad. (NEUQUÉN)

1.2.2 Microlocalización

Se examinarán los parques industriales (potenciales a llevar a cabo este proyecto) de nuestra provincia para definir la Microlocalización de la industria en cuestión.

La Provincia del Neuquén cuenta con seis Parques Industriales Provinciales.

Las empresas que en ellos se encuentran radicadas, contribuyen significativamente a la generación de empleo y de valor agregado a nuestra producción provincial.

La Subsecretaría de Industria, dependiente del Ministerio de Producción e Industria del Neuquén, siendo uno de los eslabones más importantes en la cadena de la estructura del Estado Provincial es quien está a cargo de velar por la Red Parque Industriales. (Industria, 2019)



Ilustración 1.1. Red de Parques Industriales de la Provincia del Neuquén

Fuente: Dirección Provincial de Desarrollo y Fortalecimiento Industrial

Seguidamente, presentaremos los Parques Industriales Provinciales existentes:

Parque Industrial	Superficie Total (hectáreas)	Empresas Radicadas	Observaciones
Neuquén	552	269	Se ha convertido en uno de los centros de radicación de empresas que más crecimiento ha tenido en los últimos años, acompañando el desarrollo industrial de la Provincia al estar ubicado en la ciudad Capital, en torno a la evolución de la explotación hidrocarburífera de la formación denominada “Vaca Muerta”.
Neuquén Sector Z1	300	33	Es el más dinámico del Parque Industrial, en la actualidad cuenta con una alta radicación de inversiones y se encuentra en obra la realización del tendido eléctrico de media tensión.
Añelo	736	-	Dado lo vertiginoso de la actividad ligada al desarrollo de Vaca Muerta, se localiza estratégicamente el Parque Industrial Provincial Logístico y de Servicios, el cual está destinado a actividades hidrocarburíferos. El mismo se encuentra próximo a ser licitado.
Zapala	61.2	7	Se convierte en una gran oportunidad para todas las actividades logísticas vinculadas a los hidrocarburos no convencionales debido a la localización estratégica de Zapala, por su vinculación con Chile a través del paso Pino Hachado y el corredor Bioceánico. Dentro del parque provincial próximamente se ubicará la Zona Primaria Aduanera y frente al mismo la Zona Franca.

Tabla 1.1. Localización de Parques Industriales Provinciales

Fuente: Dirección Provincial de Desarrollo y Fortalecimiento Industrial.

Parque Industrial	Superficie Total (hectáreas)	Empresas Radicadas	Observaciones
Rincón de los Sauces	125	-	Se establece una reserva de tierras para la creación del Parque Industrial Provincial en Rincón de los Sauces, a fin de impulsar el desarrollo de la zona, acompañando el crecimiento de la actividad industrial ligada a la actividad hidrocarburífera.
Plaza Huincul	469	1	Se crea para el desarrollo de actividades productivas a partir de los hidrocarburos existentes en el territorio provincial, con la finalidad de obtener productos básicos y sus derivados, procesamiento, transformación e industrialización de los mismos.
Picún Leufú	133	-	Se encuentra en la etapa de planificación para la radicación de empresas de diversa índole que impulsen el desarrollo de la región con el trabajo en conjunto de provincia y municipio.

Tabla 2.2. Localización de Parques Industriales Provinciales

Fuente: Dirección Provincial de Desarrollo y Fortalecimiento Industrial.

Como mencionamos, la proximidad de la materia prima es un factor de suma importancia; mientras más cerca se encuentran los proveedores, menor será el costo de transporte. Este costo depende de los kilómetros recorridos, por lo que la cercanía de los proveedores, es una ventaja importante.

Es por esta razón que se elige el parque industrial Plaza Huincul para la localización de la planta, ya que se cuenta con la Refinería YPF S.A. a pocos kilómetros, que es la abastecedora de la principal materia prima del proceso, el metanol.



Ilustración 1.2. Parque Industrial Plaza Huincul



Ilustración 1.3 Complejo Industrial Plaza Huincul CIPH.¹

¹ Refinería perteneciente a YPF S.A., esta se encuentra en Ruta Provincial n°22, (Km. 1298), situada al oeste de la provincia de Neuquén. La misma cuenta con una unidad de fraccionamiento atmosférico y una unidad de reformación de naftas. Abastece a la región patagónica y al Alto Valle. Tiene una capacidad de refinación de 25.000 barriles por día.



Ilustración 1.4 Ubicación de la planta de producción de Polipropileno.

Fuente: Google Maps.

Dentro del Parque Industrial Plaza Huincul, se contará con:

- Disponibilidad de servicios.

La empresa se ubicará dentro de un área industrial, por lo tanto, existirá disponibilidad de servicios.

- Disponibilidad de acceso de transporte.

La instalación debe contar con espacio suficiente para permitir el desplazamiento de camiones y otros medios de transporte, que permitan el ingreso y la salida, evitando gastos innecesarios de logística.

- Costo y disponibilidad de terrenos.

Este factor de análisis tiene una elevada importancia, dado que hay que tener en cuenta que las áreas industriales ya existen. Se observa que, mientras más alejados se encuentren las áreas industriales de la Ciudad de Plaza Huincul más económicos son los terrenos, pero, como contrapartida, se alejan más del mercado consumidor, lo que repercute en los costos de logística.

- Red Interna de gas.

Recorre las calles internas del parque industrial. Prestador del Servicio: Camuzzi.

- Red de Energía.

La alimentación de Energía Eléctrica al parque proviene de la Estación Transformadora de Plaza Huin cul cuya titularidad ejerce la Empresa Provincial de Energía del Neuquén (EPEN).

- Vías de comunicación.

Ruta Provincial n°22: A 1 km del Parque Industrial Provincial Plaza Huin cul, vincula la ciudad de Plaza Huin cul con Neuquén, Río Negro, La Pampa y Buenos Aires.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal del proyecto es el diseño de una planta de producción de Polipropileno partiendo del metanol como materia prima, que tiene lugar mediante la obtención de propileno seguido de un proceso de polimerización. La planta tendrá una capacidad de producción de 180.000 toneladas de Polipropileno al año, para ser introducida al mercado tanto nacional como internacional y comercializarlo a las industrias que lo requieran.

Este proyecto titulado Planta de Producción de Polipropileno constituye el proyecto de fin de carrera necesario para obtener el título de Ingeniero Químico otorgado por la Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional de Neuquén.

Las pautas a tener en cuenta para la realización de este proyecto son de diversa índole, las cuales se muestran a continuación y se desarrollaran en cada uno de los capítulos subsiguientes del proyecto:

- Se realizará un estudio del mercado tanto a nivel nacional e internacional, la oferta y demanda del producto a producir, para poder determinar la demanda de nuestro producto al ser insertado en el mercado nacional.
- Se detallará la tecnología empleada para el proceso productivo de polipropileno, mencionando las propiedades físicas y químicas y, explicando de donde se obtiene el propileno (monómero) y luego el proceso de polimerización de éste, que es el que finalmente da lugar al polipropileno.
- El proceso empleado se describirá mediante diagrama de flujo del proceso, como así también, la ingeniería básica, simulación, optimización y control de la planta.
- Como tendremos efluentes durante la etapa de producción, se realizará una evaluación ambiental, obteniéndose una caracterización y valorización de impactos ambientales.
- Con respecto a seguridad e higiene, se desarrollarán los requisitos y condiciones necesarias para operar en la industria petroquímica, con los elementos de seguridad pertinentes.

- Posteriormente se realiza el estudio financiero, realizando el cálculo de la inversión inicial fija y, la determinación de los indicadores de rentabilidad tales como TIR y VAN.

1.4 CARACTERISTICAS GENERALES

La cadena de la industria química parte de un insumo base (extraído de la naturaleza) y consiste en una sucesión de etapas de transformación por medio de procesos químicos hasta la obtención de un producto final, con características físico-químicas determinadas.

Dentro de la industria química se suelen distinguir dos grandes familias de productos en función del insumo base que da origen a sus respectivas cadenas productivas. De esta manera, aquellas cadenas que tienen origen en la transformación del petróleo o el gas natural dan lugar a la obtención de petroquímicos (en su gran mayoría corresponden a químicos orgánicos), mientras que el resto de las cadenas, cuyo origen son insumos minerales forman parte de la química propiamente dicha (no petroquímica).

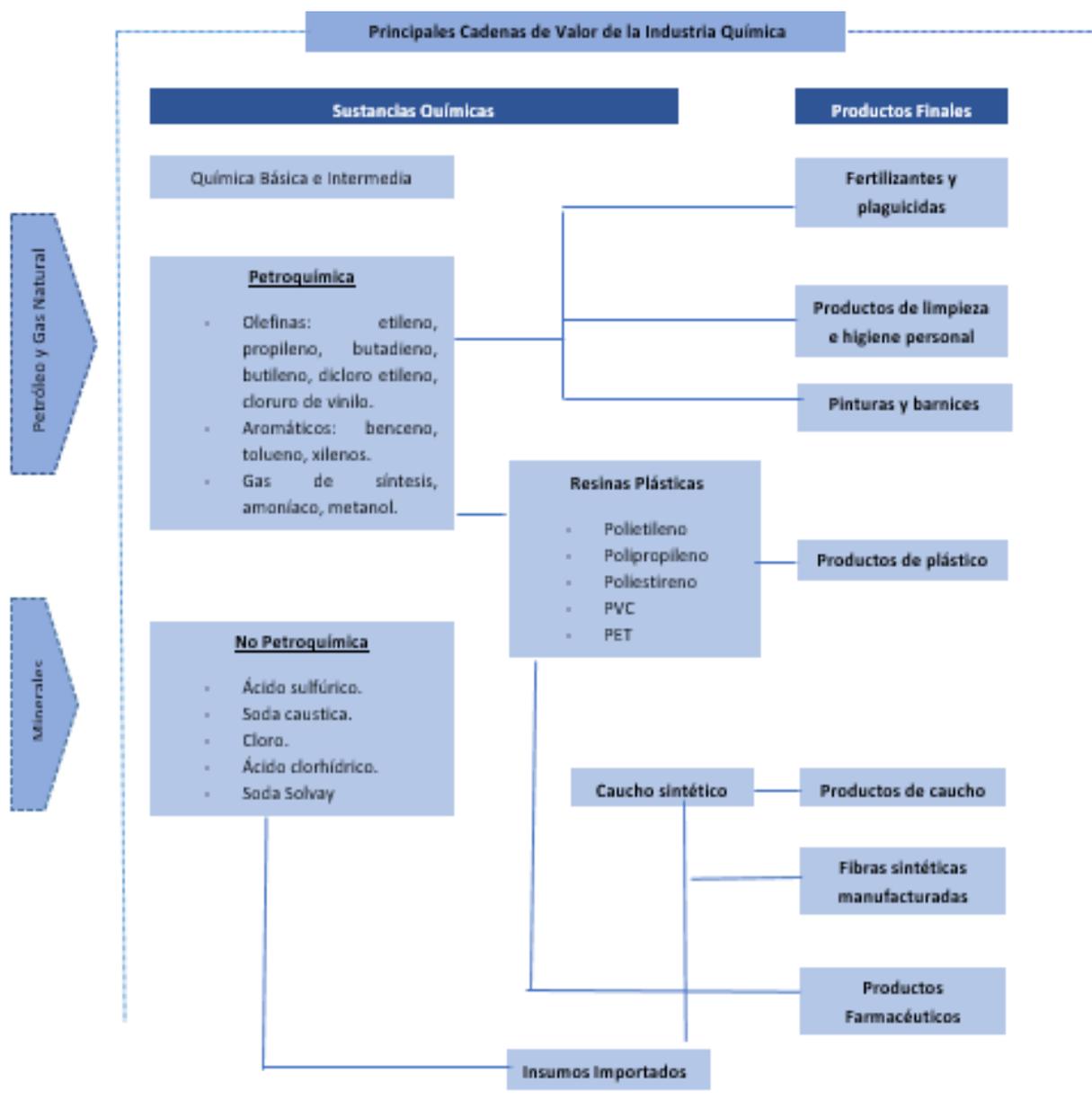


Ilustración 1.5. Cadena de Valor de la Industria Química

Fuente: Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo

Las principales materias primas plásticas producidas y utilizadas en nuestro país son resinas termoplásticas: polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET), policloruro de vinilo (PVC) y poliestireno (PS). (Vicentin, 2021)

La industria plástica, por su parte, elabora a través de distintos procesos productivos, una gran diversidad de productos plásticos, los cuales son utilizados en una proporción significativa como insumo por otras industrias. Los principales procesos de transformación

empleados para la elaboración de productos plásticos son cinco: extrusión, inyección, soplado, calandrado y termoformado. Generalmente, dos de estos procesos son combinados para que un producto tome la forma definitiva. A partir de estos procesos mencionados, se obtiene una diversidad de productos que pueden ser agrupados en cinco categorías: semiterminados; envases y embalajes; tuberías, sanitarios y otros materiales para la construcción; artículos de uso doméstico; otros.

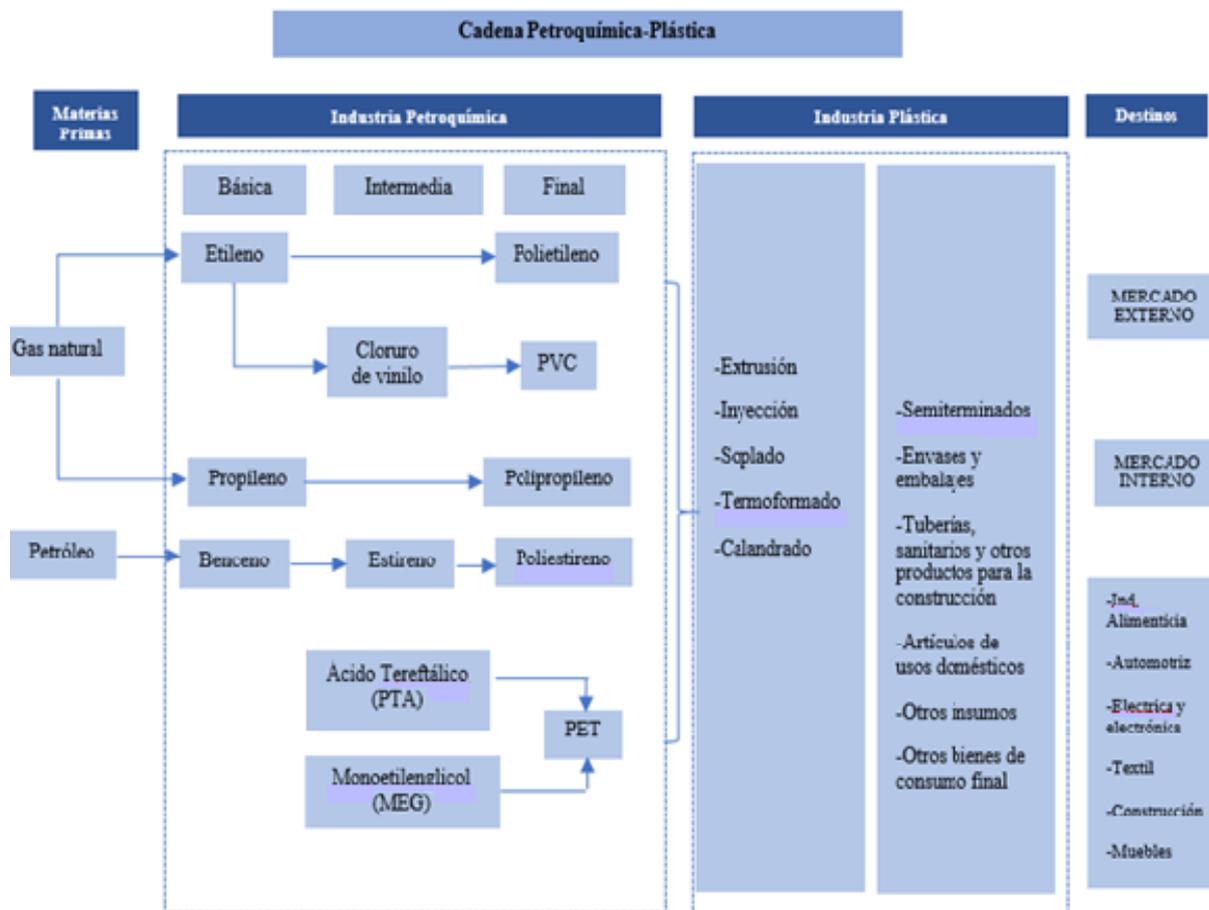


Ilustración 1.6. Cadena petroquímica plástica

Fuente: Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo

1.5 CARACTERÍSTICAS DE ESTE TIPO DE INDUSTRIAS

En la industria petroquímica la oferta de productos petroquímicos reacciona lentamente a los cambios de la demanda debido a que la ampliación de la capacidad instalada en la industria insinúa un período considerable de tiempo. Las materias primas plásticas son, en general, bienes de tipo commodity, es decir, con escasa diferenciación de producto, un grado de trazabilidad alto y donde la competencia se da fundamentalmente vía precio. Este aspecto le confiere cierto

poder para trasladar aumentos de precio a sus clientes, los fabricantes de productos plásticos, en su mayoría pymes.

Cabe señalar que las materias primas plásticas se venden al sector transformador en forma de pellets, cuyo precio interno se encuentra cercano al de paridad de importación, siendo sensible a las variaciones del precio internacional de los hidrocarburos, del tipo de cambio y de la política comercial.

En cuanto a la dinámica tecnológica, hay que señalar que, si bien la industria petroquímica constituye una actividad tecnológicamente fructífera, son importantes las actividades de I+D dedicadas a la mejora de procesos antiguos y, en menor medida, a generar otros nuevos (para reducir costos, aumentar la eficiencia energética o disminuir los niveles de agresión al medio ambiente).

1.6 LAS OPORTUNIDADES ARGENTINAS

Como se dijo previamente, y se desarrollará a lo largo de este proyecto de grado, el aumento en el consumo de este tipo de productos se debe a la incorporación de los mismos en distintas aplicaciones.

Según estudios realizados por la Cámara de la Industria Química y Petroquímica argentina, se proyecta hacia 2025 un crecimiento importante en la demanda nacional de polipropileno, y sabiendo que existe una parte de este consumo que se satisface en base a importaciones, esto representa una importante oportunidad para introducirse en el mercado.

El nivel de exportaciones es bajo, pero en los últimos años se ha producido un incremento debido principalmente al aumento en los niveles de consumo de materiales plásticos producido a nivel mundial analizados posteriormente.

En este sentido, las exportaciones no superan el 15% de la producción en el periodo 2011-2015, si bien en el período 2016-2019 crecieron significativamente en relación con el período 2011-2015 (15% vs. 40% de participación).

1.7 CONCLUSIÓN

De este primer capítulo puede concluirse que la producción de polipropileno es una oportunidad muy importante para el desarrollo de la industria plástica en Argentina, no sólo por lo que económicamente representa la disminución de importaciones de este tipo, sino por el desarrollo social e industrial que una empresa de esta envergadura representa.

Como se verá en el estudio de mercado, hay un importante crecimiento en la demanda de este producto por lo cual hay un espacio para cubrir con oferta. Es por ello que Argentina cuenta con una gran proyección para este tipo de emprendimientos.

1.8 BIBLIOGRAFÍA

Industria, M. d. (2019). *RED DE PARQUES INDUSTRIALES DE LA PROVINCIA DEL NEUQUÉN*.

Juan, I. T. (2013). *Estructura Económica Argentina*. Buenos Aires, Argentina: UBA.

Nación., P. p. (2017). *INFORMES PRODUCTIVOS PROVINCIALES*.

NEUQUÉN, L. L. (s.f.). Ley 378-1974. Promoción Industrial.

Vicentin, E. (2021). Estrategias para el desarrollo de la petroquímica. *Anuario Centro de Estudios Económicos de la Empresa y el Desarrollo*, 61-91.

Google Maps: <https://www.google.com.ar/maps/@-38.9263239,-69.164409,15z>

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva, Ing J. Garrido		Versión: 4 Fecha: 17/02/2023		

Capítulo N°2

ESTUDIO DE

MERCADO

2. ESTUDIO DE MERCADO

2.1 INTRODUCCIÓN

Se realiza un estudio de mercado del producto que se va a ofrecer, permitiendo evaluar las posibilidades de éxito del bien o servicio evaluado. Es necesario considerar las exigencias y expectativas del mercado, teniendo en cuenta la alta competitividad de productos que existe.

El siguiente estudio ayuda a definir la viabilidad comercial de producción de polipropileno.

2.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO DE MERCADO

Los principales objetivos de este estudio son:

- Analizar el mercado de las materias primas y demás insumos indispensables para el proceso productivo.
- Estudiar el mercado competidor, es decir, a todas las empresas que forman parte de la industria en la que se llevará a cabo el proyecto.
- Caracterizar al consumidor potencial del producto gracias a una previa segmentación del mercado.
- Estimar el comportamiento futuro de la demanda de polipropileno.

2.3 NECESIDADES DEL MERCADO INTERNACIONAL

Los siguientes datos de producción de Polipropileno en Latinoamérica fueron proporcionados por APLA (20, 2020).

- **Brasil.** Empresa productora: BRASKEM S.A. Capacidad: 1975000 t/a

Año	Capacidad	Producción	Importación	Exportación	Consumo
2010	1.975.000	1.586.213	218.849	341.143	1.463.919
2011	1.975.000	1.834.924	266.990	440.737	1.661.177
2012	1.975.000	1.646.617	242.563	424.120	1.465.060
2013	1.975.000	1.627.147	286.646	326.197	1.587.596
2014	1.975.000	1.592.490	306.745	404.196	1.495.039
2015	1.850.000	1.510.362	257.776	382.656	1.385.482
2016	1.850.000	1.592.474	287.538	536.204	1.343.808

Tabla 2. 1 Estadísticas de PP de Brasil. Fuente: APLA

➤ **Chile.** Empresa productora: PETROQUIM S.A. Capacidad: 120000 t/a

Año	Capacidad	Producción	Importación	Exportación	Consumo
2010	120.000	i. n. d	39.678	11.113	i. n. d
2011	120.000	i. n. d	20.712	26.110	i. n. d
2012	120.000	i. n. d	19.591	19.442	i. n. d
2013	120.000	i. n. d	22.572	18.623	i. n. d
2014	120.000	i. n. d	14.397	39.084	i. n. d
2015	120.000	i. n. d	17.764	43.698	i. n. d
2016	120.000	i. n. d	11.710	51.297	i. n. d
2017	120.000	i. n. d	13.027	54.225	i. n. d
2018	120.000	i. n. d	14.187	49.086	i. n. d
2019	120.000	i. n. d	11.678	67.489	i. n. d

Tabla 2. 2 Estadísticas de PP de Chile. Fuente: APLA

➤ **Colombia.** Empresa productora: ESENTTIA S.A. Capacidad: 500000 t/a

Año	Capacidad	Producción	Importación	Exportación	Consumo
2010	500.000	409.000	13.878	142.544	280.334
2011	500.000	402.000	36.709	138.218	300.491
2012	500.000	i. n. d	39.906	173.281	i. n. d
2013	500.000	i. n. d	29.032	171.802	i. n. d
2014	500.000	398.610	37.438	196.048	240.000
2015	500.000	398.610	37.438	196.408	240.000
2016	500.000	381.646	53.550	185.196	250.000
2017	500.000	378.847	49.692	191.539	237.000
2018	500.000	I.N.D	58.216	189.808	I.N. D

Tabla 2. 3 Estadísticas de PP de Colombia. Fuente: APLA

➤ **México.** Empresa productora: INDELPRO S.A. Capacidad: 590000 t/a

Año	Capacidad	Producción	Importación	Exportación	Consumo
2010	590.000	388.626	715.291	76.676	1.027.241
2011	590.000	356.810	745.589	60.254	1.042.145
2012	590.000	399.219	731.218	79.424	1.051.013
2013	590.000	410.088	692.835	66.760	1.036.164
2014	590.000	419.430	731.351	69.141	1.081.640
2015	590.000	409579	773.793	45.724	1.137.647
2016	590.000	503.000	803.747	52.627	1.254.120
2017	590.000	589.397	860.749	39.159	1.410.987
2018	590.000	447.002	1.504.129	37.226	1.913.905

Tabla 2. 4 Estadísticas de PP de México. Fuente: APLA

➤ **Perú.** No hay producción

Año	Capacidad	Producción	Importación	Exportación	Consumo
2010	0	0	137.839	3.814	134.025
2011	0	0	154.099	4.248	149.851
2012	0	0	173.399	5.367	168.032
2013	0	0	179.601	6.832	172.769
2014	0	0	191.986	6.036	185.950
2015	0	0	196.673	5.167	191.506
2016	0	0	194.558	6.238	188.320
2017	0	0	180.712	4.975	175.737
2018	0	0	200.023	5.508	194.515
2019	0	0	177.037	6.862	170.175

Tabla 2. 5 Estadísticas de PP de Perú. Fuente: APLA

➤ **Venezuela.** Empresa productora: PROPILVEN S.A. Capacidad: 144000 t/a

Año	Capacidad	Producción	Importación	Exportación	Consumo
2010	144.000	82.367	4.000	0	86.387
2011	144.000	98.404	22.000	0	120.404
2012	144.000	i. n. d	29.942	105	i. n. d
2013	144.000	i. n. d	0	0	i. n. d
2014	144.000	96.000	23.631	0	119.631
2015	144.000	103.000	1.647	446	104.202

Tabla 2. 6 Estadísticas de PP de Venezuela. Fuente: APLA

➤ **Bolivia.** No hay producción

Año	Capacidad	Producción	Importación	Exportación	Consumo
2010	0	0	15.675	0	15.675
2011	0	0	16.111	0	16.111
2012	0	0	21.140	15	21.125
2013	0	0	23.023	25	22.998
2014	0	0	22.429	68	22.361
2015	0	0	26.715	11	26.704
2016	0	0	25.623	89	25.534
2017	0	0	23.978	49	23.929
2018	0	0	28.652	0	28.652
2019	0	0	28.125	0	28.125

Tabla 2. 7 Estadísticas de PP de Bolivia. Fuente: APLA

➤ **Paraguay.** No hay producción

Año	Capacidad	Producción	Importación	Exportación	Consumo
2010	0	0	4.332	830	3.502
2011	0	0	5.637	548	5.089
2012	0	0	6.181	638	5.543
2013	0	0	7.604	836	6.768
2014	0	0	11.105	1.012	10.093
2015	0	0	16.591	513	16.078
2016	0	0	17.456	331	17.125
2017	0	0	20.837	612	20.225
2018	0	0	21.696	448	21.248
2019	0	0	24.946	1.266	23.680

Tabla 2. 8 Estadísticas de PP de Paraguay. Fuente: APLA

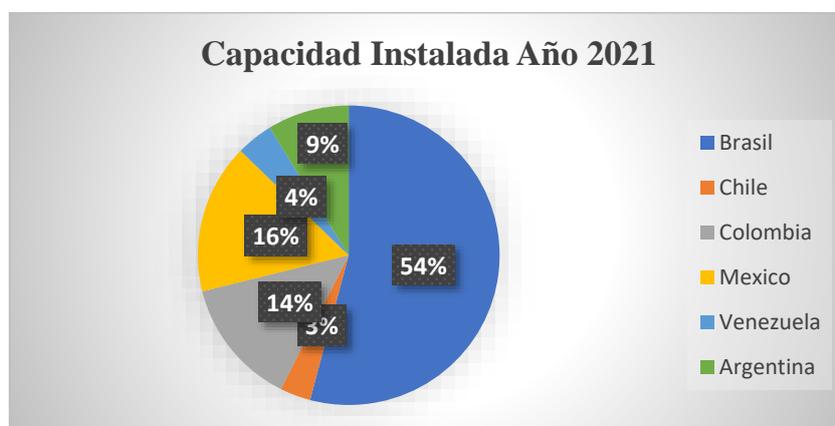


Ilustración 2. 1 Capacidad Instalada de PP. Año 2021. Fuente: APLA

2. 4 PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO EN ARGENTINA

En los años 2020 y 2021, en los cuales se produjo la pandemia del Covid-19 la industria del plástico resultó favorecida. Los ingresos por productos electrónicos de consumo experimentaron un crecimiento de más del 17 % en 2020, en comparación con 2019. Además, la demanda de productos de empaque ha aumentado en aplicaciones médicas y de empaque de alimentos, aumentando así la demanda de polipropileno en el escenario pandémico.

Se presentan los datos de la Producción de Polipropileno en el Argentina, según datos obtenidos por el Anuario del Instituto Petroquímico de Argentina (Petróleo, 2020).

Año	Producción (t)
2012	268.740
2013	251.276
2014	247.827
2015	288.627
2016	285.151
2017	292.529
2018	287.800
2019	261.000
2020	201.800
2021	291.130

Tabla 2. 9 Producción de PP en Argentina. Fuente: Anuario IPA 2022

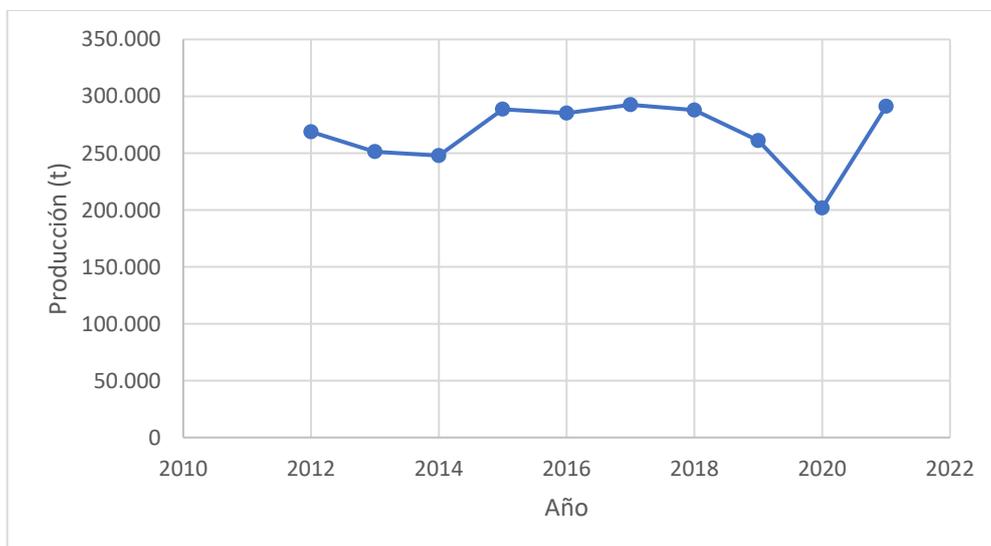


Ilustración 2. 2 Producción de PP en Argentina. Periodo 2012-2022

2.5 IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE PP EN ARGENTINA

Podemos en la tabla, los valores de importación y exportación del Polipropileno

Año	Importación (t)	Exportación (t)
2010	105.027	56.973
2011	115.944	40.511
2012	102.803	27.395
2013	106.688	21.395
2014	97.364	35.200
2015	90.999	33.692
2016	93.080	60.066
2017	124.370	76.257
2018	98.312	100.149
2019	105.907	94.387
2020	145.400	35.438
2021	154.797	70.756

Tabla 2. 10 Estadísticas de PP en Argentina. Fuente: Anuario IPA 2022

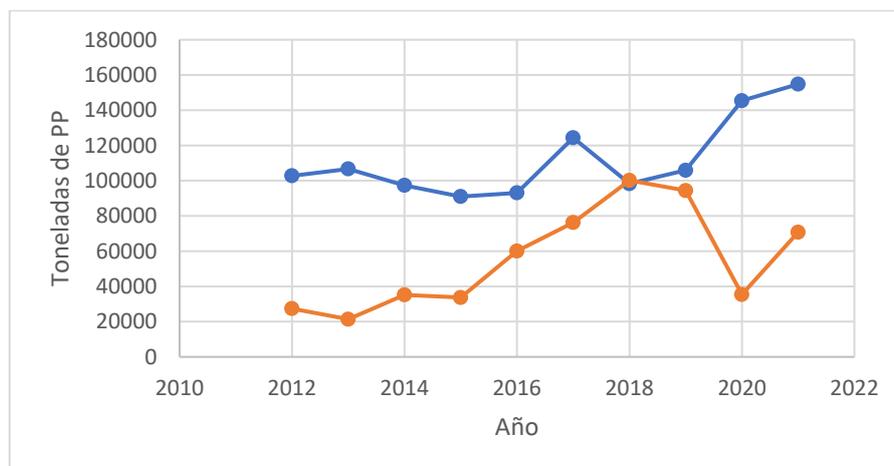


Ilustración 2. 3 Importación y Exportación de PP en Argentina. Periodo 2012-2022

2.6 CONSUMO APARENTE DE PP EN ARGENTINA

Es una manera de medir la cantidad de producto que dispone un país para su consumo (Chase, 2005). Para su valoración se considera la producción nacional y las importaciones como así también las exportaciones.

Para poder calcular el consumo aparente se suma la producción más la importación y se restan las exportaciones.

$$CA = P + I - E$$

Siendo: CA= consumo aparente; P= producción; I= importación; E= exportación

En la siguiente tabla se muestran los valores de consumo aparente de Polipropileno en Argentina para el periodo 2012-2022, obtenidos del Anuario IPA 2022.

Año	Consumo Aparente (t)
2012	344.148
2013	336.001
2014	309.991
2015	345.934
2016	318.165
2017	340.642
2018	285.972
2019	272.520
2020	311.762
2021	375.171

Tabla 2. 11 Consumo Aparente de PP. Fuente: Anuario IPA 2022

2.7 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE PP

Se realiza el cálculo de la demanda proyectada a 10 años teniendo en cuenta en consumo aparente del periodo 2012-2022. Regresión lineal de la demanda

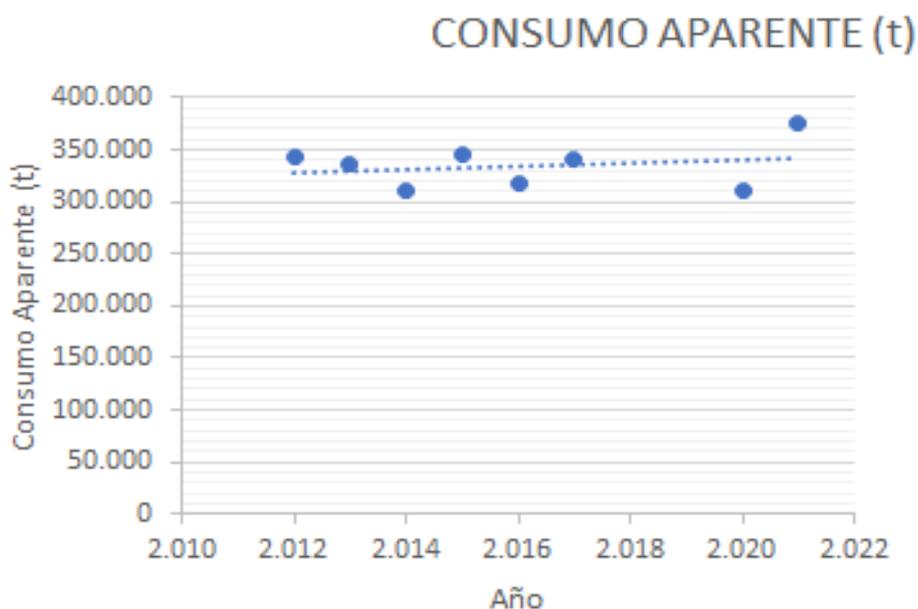


Ilustración 2. 4 Regresión lineal de Consumo de PP

Tomando algunos de los puntos de la tabla para una mejor regresión lineal, obtenemos:

$$y = 1198,3x - 2E+06$$

$$R^2 = 0,0362$$

Con esta ecuación realizamos la proyección a 10 años del consumo aparente, desde el 2023 al 2033:

Año	Consumo Aparente (t)
2023	424.160,90
2024	425.359,20
2025	426.557,50
2026	427.755,80
2027	428.954,10
2028	430.152,40
2029	431.350,70
2030	432.549,00
2031	433.747,30
2032	434.945,60
2033	436.143,90

Tabla 2. 12 Proyección de la Demanda. Periodo 2023-2033

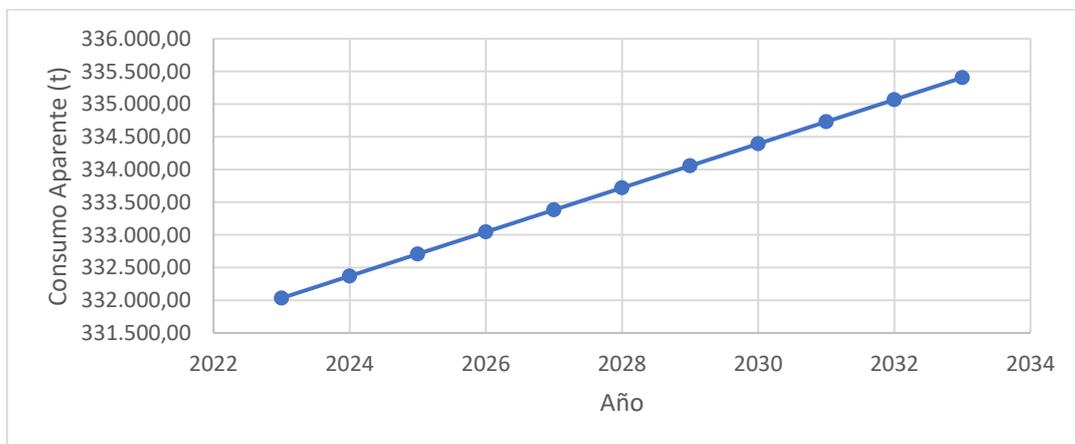


Ilustración 2. 5 Proyección de la demanda de PP

2.8 COMPETENCIA NACIONAL Y MODELO DE PRODUCCIÓN

Las empresas competidores y su capacidad se detallan en la siguiente tabla:

Competidor	Capacidad Instalada (Tn/A)	Capacidad Porcentual
PETROCUIYO SAIC. Luján de Cuyo (Mza.)	130.000	41.94
PETROCUIYO SAIC Ensenada (Bs. As.)	180.000	58.06
Total	310.000	100

Tabla 2. 13 Capacidad de las plantas de PP en Argentina.



Ilustración 2. 6 Segmentos que ocupan las empresas de producción de PP.

La capacidad de la planta será de 160.000 tn/a con el objetivo de cubrir el rango de importación de Polipropileno.

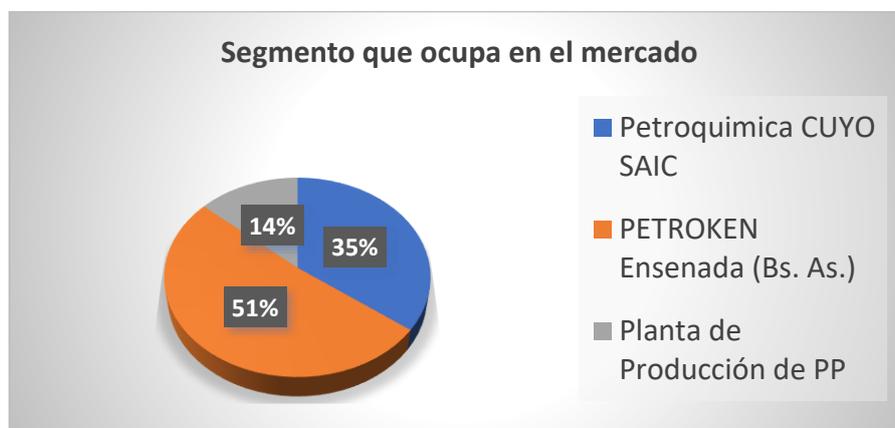


Ilustración 2. 7 Segmentos que ocupará el proyecto en la producción de PP.

2.9 MERCADO PROVEEDOR DE MATERIAS PRIMAS

En el siguiente cuadro se detalla las materias primas que se van a utilizar en la producción de polipropileno y su procedencia.

Materias Primas	Procedencia	Localización
Metanol	YPF SA.	Plaza Huincul Neuquén.
	ARAUCO ARGENTINA SA.	Pto. Gral San Martin. Santa Fe.
Hidrógeno	Corriente de Platforming de YPF S. A	Plaza Huincul Neuquén.
	Polo Petroquímico Bahía Blanca	Bahía Blanca (Bs. As.)
	Polo Petroquímico Ensenada	Ensenada (Bs. As.)
	Polo Petroquímico Campana	Campana (Bs. As.)

Tabla 2. 14. Materias primas para la producción de PP

2.9.1 Metanol

En la producción de polipropileno del proyecto, la materia prima principal es el metanol, y es la disponibilidad de este uno de los principales factores a tener en cuenta a la hora de determinar la capacidad de producción de la planta.

El metanol, en Argentina y en general, se obtiene usando gas natural, mezcla de hidrocarburos líquidos o carbón. Los procesos son los desarrollados por las firmas Lurgi Corp. e Imperial Chemical Industries Ltd. (ICI). El proceso Lurgi, se denomina proceso de baja presión.

El consumo de polipropileno en la Argentina se ve cubierto mayormente por la producción nacional aportada por las dos empresas productoras. Sin embargo, existe una parte de este consumo que se satisface en base a importaciones, lo que genera una oportunidad de ingreso en el mercado.

El nivel de exportaciones es bajo, pero en los últimos años se ha producido un incremento debido principalmente al aumento en los niveles de consumo de materiales plásticos producido a nivel mundial.

Productor	Ubicación	Capacidad Instalada (T/A)	Proceso
YPF S.A.	P. Huincul (Nqn)	411.000	Lurgi
ARAUCO ARGENTINA S.A.-	Pto.Gral. San Martin (Sta.Fe)	50.000	Lurgi

Tabla 2.15 Empresas productoras de Metanol. Fuente: Anuario IPA

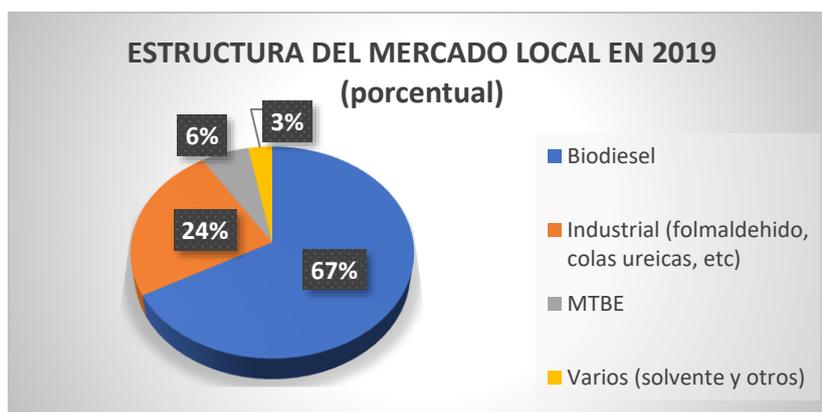


Ilustración 2. 8 Estructura de Mercado de Metanol

2.9.2 Hidrógeno

El hidrógeno se agrega en pequeñas proporciones como un agente de terminación, es decir, para controlar el peso molecular del polímero obtenido. Se adopta como valor de cálculo un 1% en volumen de hidrógeno en relación al monómero ingresado, lo que equivale a 0,476 kg de hidrógeno por tn de propileno.

Uno de los mayores proveedores es Air Liquide, cuenta con 3 plantas en Bahía Blanca, Campana y Ensenada, todas ellas en la provincia de Buenos Aires. Su producción total es de 213.083 Sm³/día, ofrecen 3 tipos de pureza de hidrógeno, de los cuales se toma el Alpaghaz N50, que posee una pureza de 99.9990%.

El transporte lo realiza la misma empresa en estado gaseoso en camiones que tienen cilindros en su interior en los cuales se envasa el hidrógeno a la presión de suministro. Teniendo en cuenta la cantidad de hidrógeno a utilizar en el proceso (120Sm³), se necesitarían 23 semis de 4.000 Sm³ y 1 semis de 1.000 Sm³ de capacidad de hidrógeno. El costo de producción es de 1,4 a 1,8 U\$S/kg.

2.10 PRODUCTOS A COMERCIALIZAR

➤ Polipropileno y Etileno

POLIPROPILENO Valor Del Comercio Exterior (U\$\$/T)			Etileno Valor Del Comercio Exterior (U\$\$/T)	
AÑO	IMPORTACIÓN (CIF)	EXPORTACIÓN (FOB)	IMPORTACIÓN (CIF)	EXPORTACIÓN (FOB)
2012	1.905	1.843	13.383	-
2013	1.955	1.935	22.830	16.113
2014	1.994	1.964	13.420	20.756
2015	1.721	1.583	18	33.659
2016	1.403	1.236	22	66.808
2017	1.480	1.309	18	1
2018	1.631	1.479	16	1
2019	1.430	1.298	66.513	13.290
2020	1.222	1.125	26	20.698
2021	1.874	1.489	33	8.181

Tabla 2. 16. Valor Comercio. Fuente: Anuario IPA 2022.

➤ **Etano**

Se estima que el precio del etano es de USD 9,58/MMBtu.

➤ **Dimetiléter**

Se puede usar para mezclar gas licuado de petróleo (GLP), como combustible para el transporte y la generación de energía, y como propulsor en aerosoles de pintura y otros. Teniendo en cuenta el escenario de la pandemia, la demanda de combustible GLP basado en DME del segmento automotriz se ha reducido, ya que las personas no viajaban con frecuencia. Se estima que el precio del dimetiléter es de 0.863 U\$\$/kg.

2.11 MERCADO CONSUMIDOR

➤ **Polipropileno**

El producto final que se elabora en este proyecto, debe ser transformado para generar distintos productos de consumo que puedan ser empleados directamente por los consumidores. Este proceso de transformación puede hacerse con distintas técnicas dependiendo del producto que se desee obtener y es realizado por la industria transformadora plástica.

Empresa	Categoría Del Producto	Descripción	Ubicación
Estrulam S.A.	Semiterminados	Placas, láminas y hojas	Loma Hermosa, Buenos Aires
Interforming			Isidro Casanova, Buenos Aires
Ravisud	Envases y embalajes	Tapones, tapas, cápsulas y otros dispositivos de cierre	Ciudad Autónoma Buenos Aires
Alusud Argentina S.A.			Don Torcuato, Buenos Aires.
Aluplata S.A.			Pilar, Buenos Aires
Bandex		Bandejas	Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Cotnyl S.A.			San Martín, Buenos Aires
Plásticos Boulevares			Córdoba
Grupo Dema	Tuberías	Cañerías y Accesorios.	San Justo, Buenos Aires.
Industrias Saladillo S.A.			Martínez, Buenos Aires
Polimex			Munro, Buenos Aires.
Colombraro	Uso doméstico	Menaje	San Martín, Buenos Aires
Nuva			José León Suárez, CABA
Mascardi			Carlos Spegazzini, Buenos Aires
Hartman	Resto	Muebles para jardín	Gral. Pacheco, Buenos Aires.
Garden Life			Tortuguitas, Buenos Aires
Dynamit Nobel		Partes para autos	Parque Ind. Ferreyra, Córdoba.
Lodigiani y Leali			Villa Madero, Buenos Aires.
L'Equipe Monteur			Córdoba

Tabla 2. 17. Productos obtenidos con PP

➤ **Etileno**

En el siguiente listado, podemos ver los consumidores de etileno:

EMPRESA	CATEGORIA DEL PRODUCTO	UBICACION
PBBPolisur SA	Polietileno de baja densidad	Bahía Blanca (Bs.As.)
PBBPolisur SA	Polietileno de alta densidad	Pto. Galván (Bs. As.)
UNIPAR INDUPA SAIC	Cloruro de vinilo	Bahía Blanca (Bs.As.)
UNIPAR INDUPA SAIC	Dicloro etileno	Bahía Blanca (Bs.As.)
PAMPA ENERGIA S A	Etilbenceno	Pto. Gral San Martin (Sta. Fe)

Tabla 2. 18. Listado de empresas de Etileno.

➤ Etano

En la siguiente tabla, se encontrarán las empresas que consumidoras de etano:

EMPRESA	UBICACIÓN
PBBPolisur S.A.	Bahía Blanca (Bs.As.)
Mega S.A.	Bahía Blanca (Bs.As.)

Tabla 2. 19 listado de empresas de Etano.

➤ Dimetiléter

El DME se está mezclando con GLP como un aditivo de combustible alternativo para mejorar la combustión y reducir las emisiones peligrosas, además de reducir la dependencia del GLP. Actualmente, alrededor del 15-25 % de DME se utiliza en mezclas de DME-LPG, y se están investigando mezclas de proporciones más altas, ya que una mejor mezcla puede requerir cambios de equipo para su uso. Algunas de las posibles empresas que comprarían DME, son:

EMPRESA	UBICACIÓN
Química del Plata S.A.	San José, Mendoza
Síntesis Química S.A.	Bahía Blanca, Bs.As.
Arquimia S.A.	Puerto General San Martín, Santa Fe

Tabla 2. 20. Listado de empresas de DME.

2.12 ANÁLISIS FODA

Se ha efectuado un análisis FODA para conocer las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas del proyecto, a fin de proporcionar una idea global de los beneficios y riesgos que involucran esta actividad. Las Fortalezas y Debilidades que corresponden a los factores favorables y desfavorables internos con los que cuenta la producción de PP; mientras que las Oportunidades y Amenazas representan las situaciones que provienen del contexto (regional, nacional e internacional) y que son explotables o riesgosas.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo industrial en la zona. - Aprovechamiento de materias primas de la zona. - Inversión en tecnología, elevando el valor agregado del producto, ya que se pueden obtener un producto de mayor calidad. * - Alta diversificación de productos plásticos según el proceso de transformación. - Adecuada capacidad de respuesta para la demanda nacional. - Producto tradicionalmente innovador en el mercado. - No existen competidores directos que ofrezcan las mismas características de nuestro producto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sostenido crecimiento en la demanda de productos plásticos debido al crecimiento de la Industria. - Ingreso de los productos plásticos a nuevos usos y aplicaciones en el mercado. - Oportunidad de expansión dentro del territorio nacional según se incremente su aceptación a mediano o largo plazo. - Capacidad de aceptación para un mismo producto con diferentes características. - Calidad competitiva. - Espacio de crecimiento para el consumo per cápita. - Acceso al mercado nacional e internacional de capitales. - Certificación internacional de calidad. - Contar con ingenieros graduados de la UTN-FRN.

Tabla 2. 21. Análisis FODA para la Producción de PP.

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> - Producción menor a la competencia, esto provoca que las otras empresas puedan vender su producto a un menor precio. - Altos aranceles de ingreso al mercado. - Bajo conocimiento de potenciales de mercado y tendencias tecnológicas. - Aumento en el costo de las maquinarias a implementarse. - Poco capital propio para iniciar el proyecto. - No contar con una apropiada infraestructura al poner en marcha el proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Potenciales competidores. - Vulnerabilidad ante el ingreso de grandes competidores foráneos. - Cambios en la demanda de los consumidores. - Barreras de entrada al mercado para nuestro producto.

Tabla 2. 22. Análisis FODA para la Producción de PP.

En cuanto a este punto (*), también se contará con personal de producción con experiencia en los diferentes procesos provenientes de las empresas que tienen las patentes, a fin de facilitar la puesta en marcha y operación de la línea de producción de PP.

2.13 SISTEMA DE COMERCIALIZACIÓN DE LA PLANTA

La función de la comercialización tiene dos elementos esenciales:

- Una distribución eficiente, de modo de asegurar que los productos adecuados están disponibles para los proveedores en el momento oportuno y al mejor precio junto con un servicio confiable;
- Y una comercialización activa, proceso continuo por el cual los distribuidores están constantemente buscando nuevas formas de aumentar las ventas no sólo en su propio beneficio sino también en beneficio a las empresas productoras.

Para la planta de PP se tendrán dos líneas para el embalaje:

- La primera de ellas será automática, en bolsas de 25 kg, normalmente paletizados (1.375 kg) sobre una plataforma de madera con cuatro entradas de acceso para grúa horquilla o transpaleta manual. Está formada por 55 sacos de 25 kg. de producto envuelto por un film stretch a su alrededor y un top cover en la pared superior.



Ilustración 2. 9 Bolsas de 25 kg con PP.

Transporte en camiones abiertos máx. 20 pallets cargados con un total de 27.500 kg, o en contenedores de 13 mts aprox., 18 pallets con un total de 24.750 kg.

El almacenamiento a piso y cargado hasta en dos niveles, más niveles o en racks tipo riel, no es recomendable.

- Y la segunda será manual con maxi sacos flexibles para el producto a granel, confeccionado con tela tejida de polipropileno (rafia). Este embalaje posee 4 mangas u orejas para facilitar su manipulación con la monta carga.



Ilustración 2. 10 Maxi sacos con PP.

Transporte en camiones con capacidad máxima de 22 big bags de 1.250 kg, con un total de 27.500 kg por vehículo de carga.

El Almacenamiento se recomienda realizarlo en dos niveles. Más niveles o en racks tipo riel no es recomendable.

Luego de su embalaje serán transportados en camiones de 6 m con una capacidad de 800 sacos por contenedor, hacia las distintas empresas que soliciten el producto en el país.

En el caso de una futura exportación del producto se considerará el traslado mediante camiones o buques.

2.14 ANÁLISIS DE ECONOMÍA A ESCALA

La economía de escala es una situación en la que una empresa reduce sus gastos de producción al expandirse. Se trata de una circunstancia en la que cuanto más se produce, el coste que tiene la empresa por fabricar un producto es menor. Esta reducción del coste de fabricación unitario no se da porque baje el precio de las materias primas, sino por aprovechar un material que tenemos ya comprado y en el que invertimos dinero en el pasado.

Por lo tanto, esta situación se da sobre todo cuando la empresa compra activos fijos. Si adquirimos una maquinaria, por ejemplo, la forma de sacarle partido es produciendo lo más posible. El coste por unidad producida será menor cuanto más produzcamos porque el cálculo se hace con una media dividiendo el gasto de la maquinaria entre el número de producto fabricado (Chase, 2005).

$$\text{Coste unitario} = \frac{\text{Coste máquina}}{\text{Número de productos fabricados}}$$

Por ello, cuantos más productos se elaboren, más barato resultará la producción de PP. Sin embargo, la reducción del coste de fabricación de las economías de escala tiene un límite. Cuando la empresa alcanza un determinado tamaño, aunque la economía de escala haga que los costes unitarios sean menores, empieza a ser más complicado gestionar una empresa enorme por su necesidad de coordinación y naturaleza burocrática.

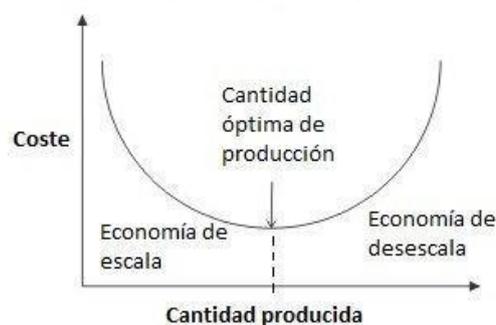


Ilustración 1.11. Cantidad producida vs Coste.

La industria petroquímica es uno de los sectores industriales con más capital intensivo, con importantes economías de escala. Por sus características técnicas, requiere de elevados costos de inversión para alcanzar tamaños de planta que resulten eficientes. Esta condición

genera altas barreras a la entrada, lo que explica la concentración en unas pocas empresas, en su mayoría multinacionales extranjeras.

La industria transformadora plástica está compuesta principalmente por pymes de capital nacional. Las barreras a la entrada en este eslabón son relativamente bajas en la mayoría de los segmentos, aunque es un importante generador de empleo.

La producción de materias plásticas opera en forma regional en los países de Argentina, Chile y Brasil conformando un único mercado. Esta configuración responde tanto a escalas eficientes de producción que exceden el tamaño de mercado nacional como a la fuerte incidencia del Arancel Externo Común en los flujos de comercio.

2.15 Bibliografía

20, A. A. (2020). *Productos Químicos*.

Chase, J. (2005). *Administracion de la Produccion y Operaciones*. McGraw Hill.

Petróleo, I. A. (2022). Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de Argentina. *YPF Química*.

Públicas, M. d. (2016). Informes de Cadenas de Valor. *Petroquímica- Plástica*.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva, Ing J. Garrido		Versión: 4 Fecha: 17/02/2023		

Capítulo N°3

TECNOLOGÍAS DEL

PROCESO

3. TECNOLOGÍAS DEL PROCESO

Detallaremos en este apartado del trabajo primeramente las diferentes tecnologías de producción, teniendo en cuenta que el proceso se divide en dos etapas:

- 3.1 Obtención de Propileno (Olefina).
- 3.2 Obtención de Polipropileno (Polímero)

En primer lugar, se describirán las tecnologías para la obtención de propileno, y, en segundo lugar, las de obtención de polipropileno, para luego seleccionar cuál de ellas será utilizada para el desarrollo del mismo.

3.1 TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE PROPILENO (OLEFINAS).

Los procesos de metanol a olefinas (MTO) y metanol a propileno (MTP) comenzaron a partir del proceso de metanol a hidrocarburos (MTHC) que ligeramente creció al de metanol a gasolinas (MTG). El MTHC fue descubierto a finales de los 70 por el grupo Mobil. Debido a la crisis energética de esa década, por la subida del petróleo, se continuó investigando esta reacción. Así fue como se mejoró al proceso MTG que, a su vez, al emplear diferentes catalizadores originó el descubrimiento del proceso MTO (El-Halwagi, 2015).

La tecnología con la que se estableció el proceso MTG en Nueva Zelanda fue la de reactores de lecho fijo adiabáticos en paralelo, operando en ciclos de reacción-regeneración, pero el proceso MTO fue desarrollado por Mobil con la perspectiva de emplear un reactor de lecho fluidizado, que permite controlar la temperatura de reacción y la circulación del catalizador. La reacción produce una rápida deposición de coque requiriendo la sustitución continua del catalizador por catalizador regenerado, ya que la transformación de metanol es muy exotérmica.

Como resultado, se están realizando cambios significativos para dirigir la transformación de metanol y DME hacia la producción selectiva de propileno. El MTP (Metanol a Propileno) es un proceso multietapa, en el cual las olefinas C2 y C4 son recirculadas al reactor para su transformación en propileno.

A continuación, se describen las tecnologías mencionadas.

3.1.1 El proceso UOP/Hydro MTO

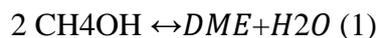
La tecnología MTO desarrollada por UOP e Hydro es un proceso importante, ya que proporciona una alternativa económicamente atractiva para la producción de etileno y propileno a partir de gas natural o carbón.

El proceso UOP/Hydro utiliza un catalizador de SAPO-34 que suministra una selectividad de etileno y propileno de hasta el 80% con una conversión prácticamente total de metanol (Iván Darío Gil Chaves, 2016)

Se emplea un reactor de lecho fluidizado debido a que ofrece una actividad catalítica constante y posibilita la regeneración). Algunas de las ventajas del lecho fluidizado son los tiempos de residencia potencialmente breves, logrando ampliarlos o acortarlos según necesidades, la posibilidad de variar el tamaño del catalizador y la óptima transferencia de masa y calor.

Las condiciones de operación para beneficiar la formación de propileno, son un tamaño de poro mayor y tiempos de residencia mayores. Al emplear tiempos de residencia mayores también se fomenta la obtención de coque en el catalizador con lo que debe regenerarse periódicamente, tras 1-2h de operación (Paulik).

En el proceso tienen lugar dos reacciones importantes. Primeramente, tiene lugar la deshidratación del metanol a DME sobre el catalizador de γ -Alúmina (Dwiwahju Sasongko, 2016):



Seguidamente tiene lugar la conversión del DME a olefinas sobre el catalizador SAPO-34, que sucede a través de un complejo mecanismo de reacción.

Los compuestos de referencia del proceso de metanol a olefinas son los siguientes:

- CO, de la descomposición de DME,
- H₂O, procedente de la deshidratación del metanol;
- CH₄, producto de las reacciones de craqueo;
- etileno, con una elevada demanda en la industria petroquímica;
- etano, procedente de las reacciones de transferencia de hidrógeno;
- propileno, producto de interés;
- butenos (C₄H₈), olefinas de menor interés que el etileno y propileno;
- benceno (C₆H₆) como compuesto aromático de referencia, si bien se formará en pequeñas cantidades debido al pequeño tamaño de poro del catalizador SAPO-34;
- ciclooctano, en trazas debido al pequeño tamaño de poro del catalizador SAPO-34 (C₈H₁₆). Pese a que debido al pequeño tamaño de poro del catalizador solo se crearán trazas de benceno y ciclooctano, se ha decidido incluirlos para hacer la simulación más realista.

Se ha tomado como referencia la distribución de productos a la salida del segundo reactor, para realizar el ajuste estequiométrico de la reacción, y se ha estimado que con el catalizador SAPO-34 se obtiene más propileno que etileno.

El ajuste de la reacción resultaría de la siguiente manera:

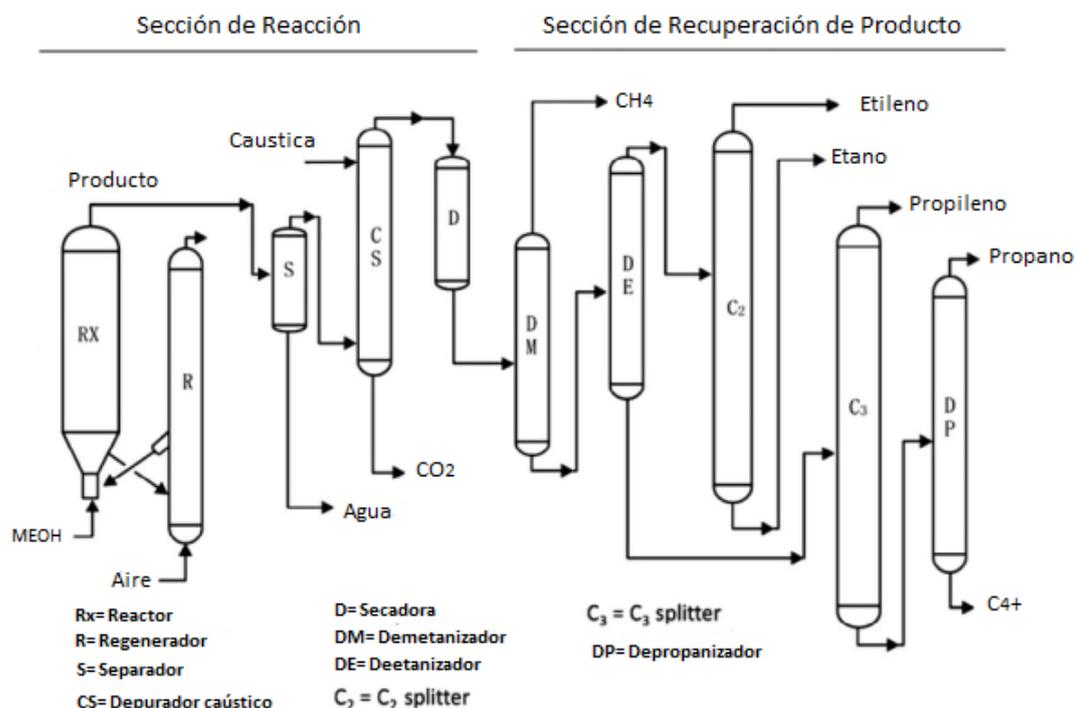
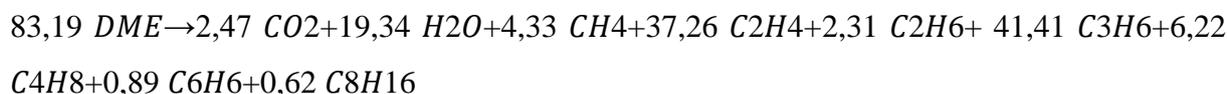


Ilustración 3. 1 Diagrama del proceso OUP/Hydro MTO.

3.1.2 El proceso Lurgi-MTP

La tecnología MTP® de Lurgi se fundamenta en un reactor y un sistema basado en un catalizador de zeolita muy estable.

Consta de una batería de reactores de lecho fijo en paralelo, debido a la facilidad de ampliación del reactor y al menor coste de inversión. La alta selectividad hacia el propileno provoca una baja tendencia a la coquización, una formación limitada de subproductos y, una facilidad de separación.

En primer lugar, se alimenta el metanol a un reactor adiabático donde en presencia del catalizador, sucede la deshidratación del metanol formando DME y agua. Seguidamente esta corriente se alimenta a los reactores junto con una corriente de recirculación de vapor y olefinas.

En el reactor MTP® se obtiene una conversión de más del 99% de DME logrando propileno como producto predominante.

Las condiciones del proceso son análogas en los cinco o seis lechos de catalizador. De los tres reactores dos están funcionando mientras que el tercero está en modo regeneración (tras 500-600 horas de trabajo) o en espera.

Después del reactor se separa el agua, que parte se recircula a la entrada de la batería de reactores y y, la corriente previamente ajustada se alimenta a una torre de fraccionamiento. Obteniendo por cabeza fuel gas, en el siguiente corte propileno con una pureza superior al 97%, luego los hidrocarburos de mediano punto de ebullición que son recirculados a la entrada de la batería de reactores, posteriormente LPG y por cola, gasolina.

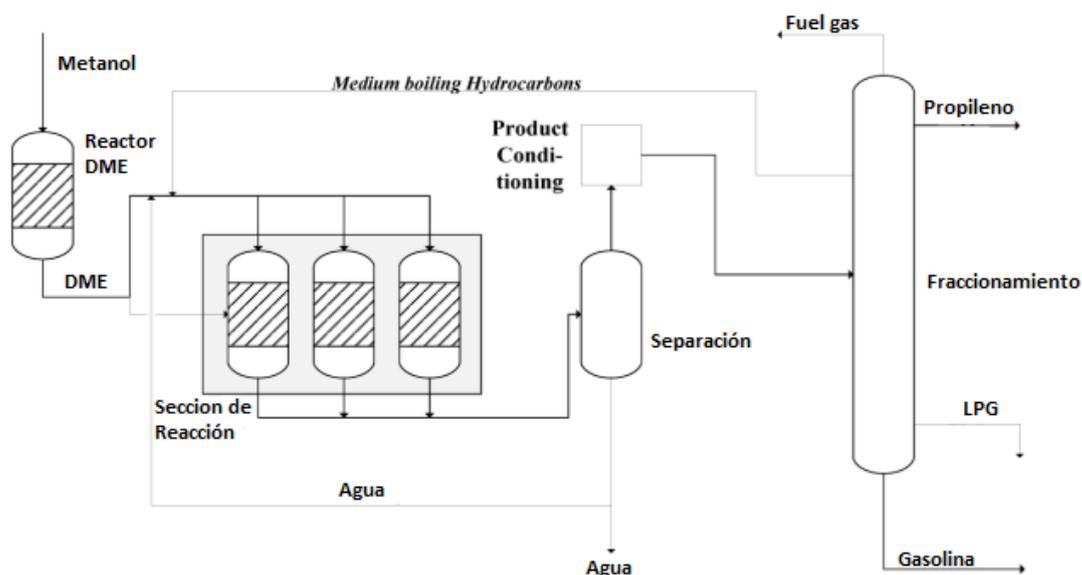


Ilustración 3. 2 Diagrama del proceso Lurgi MTP® (adaptado de Koempel y cols., 2005)

3.2 TECNOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE POLIPIPILENO.

El polipropileno (C_3H_6) n se logra mediante la polimerización de propileno (C_3H_6). La polimerización ocurre por el encadenamiento de las unidades monómeros, que son sustancias no saturadas, por ruptura de sus dobles enlaces o de sus estructuras cíclicas. En todo proceso de polimerización hay tres etapas características (Tripathi, 2012). Las cuales son:

- La reacción de iniciación, es la que origina la activación del doble enlace, proceso previo necesario para el encadenamiento de los monómeros en las reacciones de crecimiento;
- La de crecimiento o propagación en cadena;

- Y la de ruptura o terminación, es la que dificulta el crecimiento ilimitado de la cadena polimérica.

La activación del doble enlace en la reacción de iniciación puede tener lugar por acción de la luz, del calor, de ultrasonidos, de formadores de radicales o por catalizadores ácidos y básicos.

La materia prima y la estructura química limitarán el tipo de PP que se obtendrá. Dependiendo de la materia prima e insumos se puede obtener PP homopolímero o PP copolímero.

Debido a sus propiedades mecánicas y físicas el más producido es el PP homopolímero: Polímero que se obtiene del propileno puro. El PP copolímero es un polímero termoplástico que se logra de la polimerización del propileno y durante la polimerización se le añade entre un 5 % y 30 % de etileno para tener una mayor resistencia al impacto.

Para los PP homopolímeros la estéreo – regularidad en las cadenas lineales dependen del orden en que estén situados los grupos metílicos laterales, así como del catalizador y proceso de polimerización empleado, de ese modo se producen polímeros isotácticos, sindiotácticos y atácticos. Los isotácticos son los más producidos ya que representan la estructura más estereoregular del polipropileno. De esta manera se logra un alto grado de cristalinidad. Como resultado, muchas propiedades mecánicas y de procesabilidad del polipropileno son altamente determinadas por el nivel de isotacticidad y su cristalinidad.

A continuación, realizaremos una breve descripción de los procesos comerciales de obtención de polipropileno que se pueden clasificar en función del medio de reacción y de la temperatura de operación. Estos procesos pueden ser en solución, suspensión y fase gas.

3.2.1 Procesos en solución

Están prácticamente en desuso, son aquellos en los que la polimerización tiene lugar en el seno de un disolvente hidrocarbonado a una temperatura superior al punto de fusión del polímero. El polímero conseguido se encuentra fundido y disuelto en el hidrocarburo. Al terminar la reacción, el catalizador se retira por filtración mientras que el disolvente y el monómero se recuperan por evaporación. En la figura se observa un proceso de polimerización en solución llamado proceso Eastman. Los componentes catalíticos, monómeros y disolvente son alimentados al reactor de polimerización. El monómero que no reacciona se elimina por despresurización de la solución y es recirculado. Se agrega el disolvente adicional para reducir

la viscosidad de la disolución, proporcionando la eliminación de residuos catalíticos por filtración y la solución se concentra en una serie de evaporadores.

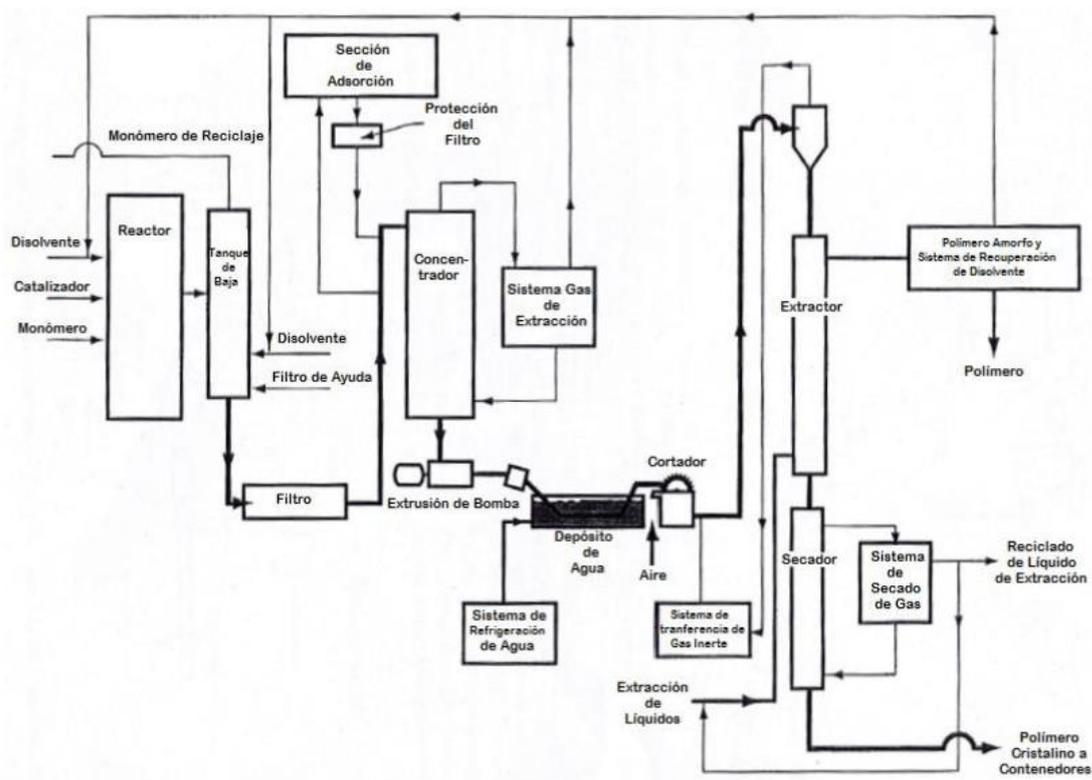


Ilustración 3. 3 Proceso Eastman de fabricación de PP.

3.2.2 Proceso en Suspensión o “Slurry”

Se emplea un solvente como butano, heptano, hexano o inclusive parafinas más pesadas, en el que el polipropileno es casi insoluble. El solvente tiene la función de ser el medio de dispersión del polímero producido en los reactores y disuelve el alto nivel de polímero atáctico en su separación. El empleo de solvente facilita la desactivación del catalizador y su extracción, que implica el contacto del producto del reactor con alcohol y soluciones cáusticas. La reacción se produce a una temperatura inferior a la de fusión del polímero. En este tipo de procesos hay diferencias en la configuración de los reactores (de tipo bucle o autoclave) y en el tipo de diluyente manejado, lo que perturba las características de la operación y al rango de productos que se puede elaborar. El proceso se puede dividir en las siguientes etapas:

- Preparación del catalizador
- Polimerización
- Recuperación del monómero y solvente

- Remoción de residuos del catalizador
- Remoción del polímero atáctico y de bajo peso molecular
- Secado del producto, adición de modificadores y extracción del polímero.

El sistema catalítico consiste en $TiCl_3$ con monoclorodietilaluminio, $Al(C_2H_5)_2Cl$, en solución en heptano.

El propileno se polimeriza en estado líquido a temperatura entre 60 y 80 °C, y presión entre 5 y 12 atm. Este proceso es continuo, se ejecuta en heptano y se emplea hidrógeno para reducir el peso molecular. El lodo (Slurry) que tiene el polímero se pasa a un reactor, el cual separa parte del propileno no reaccionado, se purifica y recicla; el catalizador se descompone por reacción en metanol, con HCl anhidro, y se neutraliza con solución de KOH al 50%. Los solventes se descartan por centrifugación. La mezcla de agua, metanol y heptano que contiene el polímero atáctico se envía a una columna en la cual los solventes son arrastrados por vapor. El polímero atáctico se recupera por el fondo de la columna. El polímero suspendido en agua se centrifuga y se traslada a un secador. Una vez seco, se mezcla con aditivos, se extruye en forma de gránulos y se almacena en silos. Uno de los procesos que encaja en esta clasificación es el de Montecatini, que se muestra a continuación:

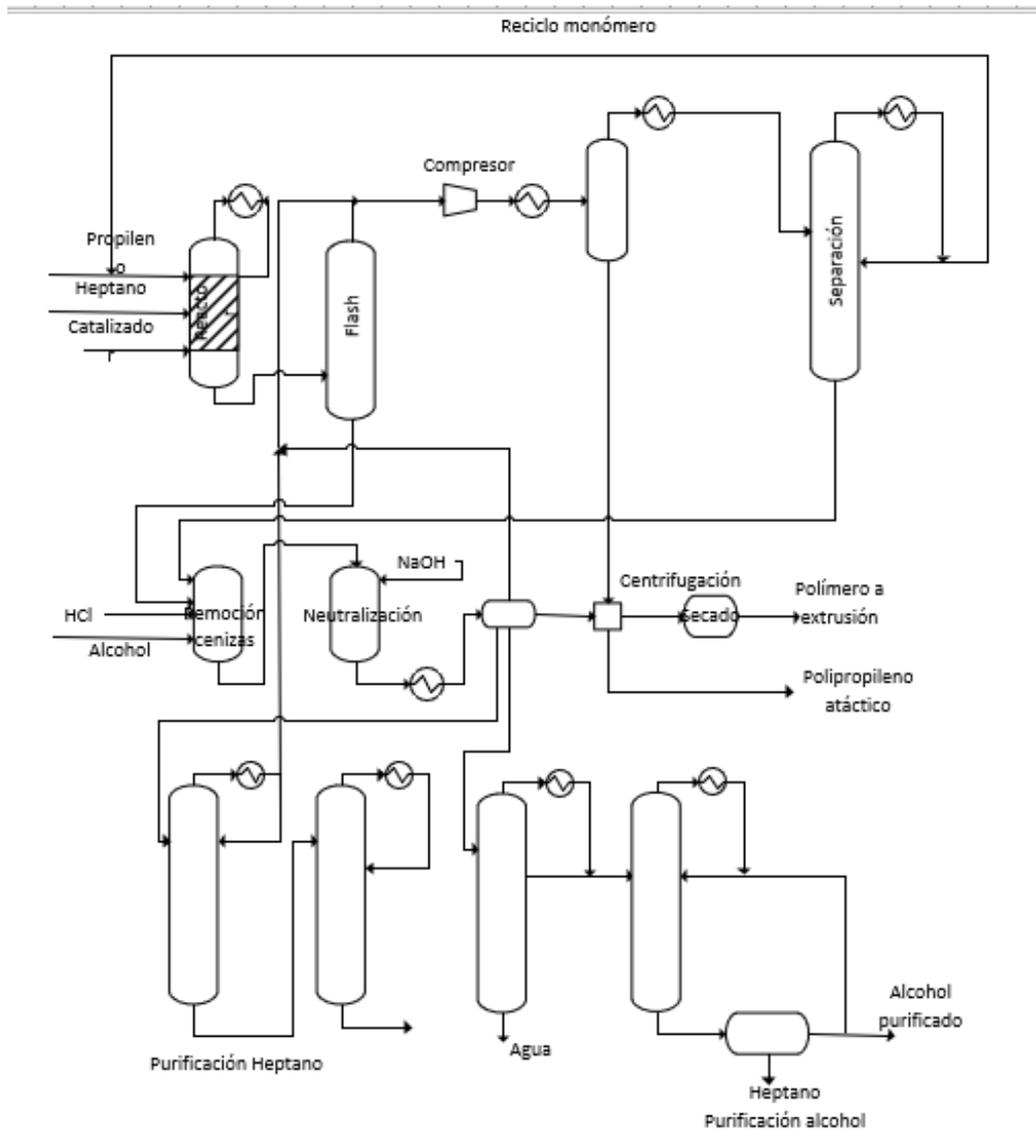


Ilustración 3.4 Proceso en Suspensión Slurry

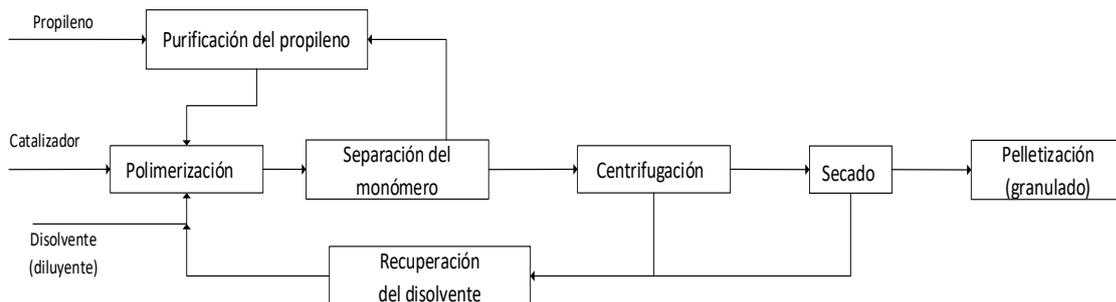


Ilustración 3.5. Esquema de Proceso Slurry

3.2.3 Proceso en masa multietapas

Se basa en el uso de dos o más pasos en la polimerización o en la configuración del reactor. En el primer paso de polimerización o primer reactor se lleva a cabo la síntesis de polipropileno de menor peso molecular, en presencia del catalizador conveniente. Dicha solución vuelve a introducirse en el reactor, donde en presencia de un metaloceno de diferente geometría y bajo ciertas condiciones de trabajo se origina el polipropileno de mayor peso molecular, en la misma solución en la que se halla el polipropileno inicialmente formado.

En primer lugar, se polimeriza en atmósfera de propileno junto con una atmósfera de hidrógeno. El hidrógeno se usa para controlar el peso molecular afectando además a la actividad del catalizador. Se emplean catalizadores Ziegler-Natta. Luego se reemplaza el hidrógeno por propileno y se polimeriza la segunda etapa. (Industries, 2019)

Los procesos industriales multietapas se pueden clasificar según el medio de dispersión: en fase líquida o fase gaseosa.

3.2.3.1 Con monómero en fase líquida

La principal diferencia de este proceso con respecto al de suspensión es la sustitución del solvente por propileno líquido. Esto fue posible ya que con el desarrollo de nuevos catalizadores no fue más necesaria la extracción de catalizador ni la remoción del polímero atáctico. Uno de los procesos que se usa actualmente es el proceso Sheripol (Montell).

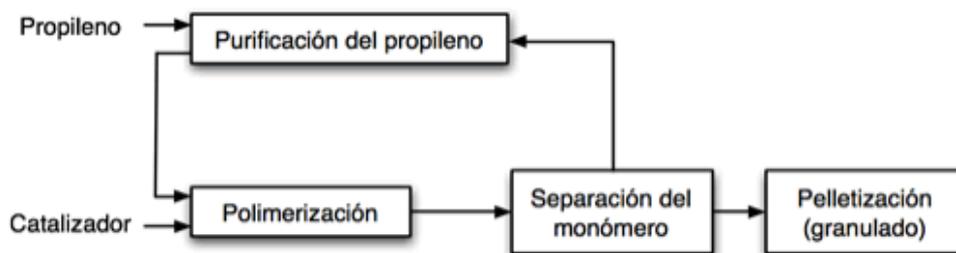


Ilustración 3.6. Esquema Proceso en fase líquida

3.2.3.2 Con monómero en fase Gas

Estos procesos aparecieron casi simultáneamente con los en fase líquida. Fueron revolucionarios porque evitaba completamente la necesidad de un solvente o un medio líquido para dispersar los reactivos y productos del reactor. Además, eliminaba la separación y recuperación de grandes cantidades de solventes o de propileno líquido. El polipropileno producto que se consigue en los reactores de fase gas es seco y sólo requiere la desactivación de una pequeña parte de los residuos del catalizador antes de la incorporación de aditivos y su

pelletización. Consiguiendo de esta manera disminuir la manufactura del polipropileno a pocos pasos esenciales.

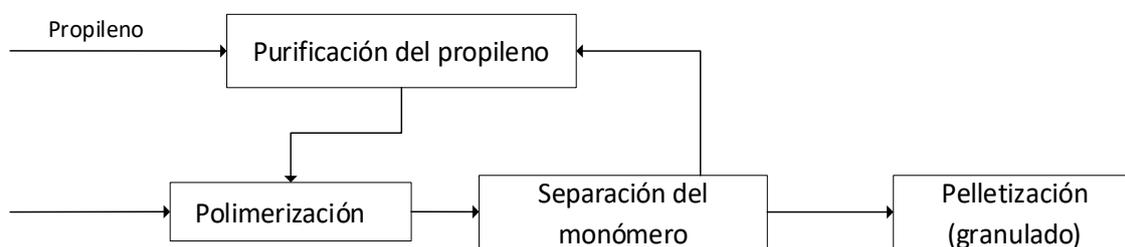


Ilustración 3.7. Esquema Proceso en fase gas

Algunos de los procesos representantes de esta tecnología son los siguientes, que se describirán a continuación:

- *Lipp.*
- *Novolen (BASF).*
- *Unipol (Union Carbide).*
- *Amoco – Chisso.*
- *Innovene.*
- *Mitsui (Hypol).*
- *Spheripol.*
- *Spherizone.*

3.2.3.2.1 Proceso LIPP-SHAC (Shell), proceso por unidad de destilación.

Deriva su nombre de Liquid Propylene Polimerization - Shell High Activity Catalyst. Se usa para la elaboración de homopolímeros y copolímeros al azar. Utiliza como materia prima un corte de Propano-Propileno. Se remueven las impurezas en una serie de equipos. Luego en una columna desmetanizadora se remueven gases livianos. Una columna de destilación produce la separación del propileno del propano.

El sistema de reacción es un reactor tipo tanque agitado. El mismo opera en forma continua, y en él se introducen catalizadores del tipo Ziegler Natta (Pasquini), el propileno fresco y el hidrógeno que regula el peso molecular del polímero distribuido. La polimerización de propileno libera calor, el que es removido por ebullición y condensación del propileno con agua. En esta etapa se forman gránulos de polipropileno alrededor de las partículas de catalizador. La mezcla de polvo de polipropileno y propileno no convertido se elimina del reactor y luego de evaporarse el propileno, el polímero se envía a una serie de recipientes

separadores donde se completa la desgasificación del mismo. El propileno separado en estas etapas se condensa y se recircula nuevamente al reactor.

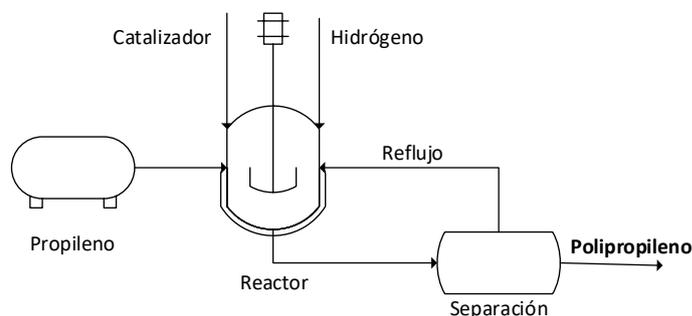


Ilustración 3.8. Proceso LIPP

3.2.3.2.2 Proceso Novolen

Es licenciado por Novolen Technology Holdings C.V., un emprendimiento en conjunto entre ABB Lummus Global y Lyondell (LyondellBasell, 2019). Utiliza uno o dos reactores verticales de fase gas. Los homopolímeros, copolímeros de impacto y al azar de propileno – etileno son manufacturados en uno o dos reactores en cascada, dependiendo de la capacidad deseada y el tipo de productos. Los copolímeros de impacto utilizan dos reactores en series: en el primer reactor, se alimentan los componentes, que deben estar muy bien dispersos en el lecho particulado para evitar la acumulación. Las condiciones de reacción son 70 – 80 °C y 30 – 40 atm para asegurar que el monómero se halle en fase gaseosa dentro del reactor y se polimerizan homopolímeros y copolímeros random; en el segundo reactor, se origina la fase elastomérica polimerizando una mezcla de etileno-propileno. En este se depositan el polímero activo y el gas, operando a 10 – 20 atm menos de presión y a menor temperatura. Habitualmente, la relación propileno/etileno/hidrógeno se ajusta de tal manera que el copolímero gomoso del reactor tenga entre un 40 – 60% en peso de etileno.

El propileno, etileno y otros comonómeros que puedan ser necesarios se alimentan a los reactores que, están provistos con agitadores helicoidales para proporcionar una excelente agitación. Se utiliza catalizadores altamente estereoespecíficos y de elevada actividad que consisten en una combinación de $TiCl_3$, $1/3 AlCl_3$, cloruro de dietilaluminio y un compuesto organomagnesio soportado sobre sílica. Se utiliza hidrógeno para controlar el peso molecular. La temperatura se logra extrayendo propileno gaseoso de la cámara superior del reactor y condensándolo con agua de enfriamiento, y luego recirculando hacia la parte inferior del reactor, donde su evaporación suministra el enfriamiento requerido, como así también la

aireación del lecho agitado. Cada tonelada de polímero producido demanda que se evaporen aproximadamente 6 toneladas de propileno líquido. La descarga continua de polvo y gas asociado del reactor primario va hacia un ciclón de baja presión. El gas propileno portador de este ciclón se recircula hacia el reactor luego de compresión, licuefacción, y algunas veces, destilación. Posteriormente, el polvo pasa a un recipiente de purga donde con un desactivador se apaga toda la actividad del catalizador residual y el nitrógeno elimina trazas de propileno del polvo caliente, que se transporta hacia silos para su estabilización y extrusión en gránulos. La isotacticidad del polímero es superior a 95%, y contiene menos de 20 ppm de titanio.

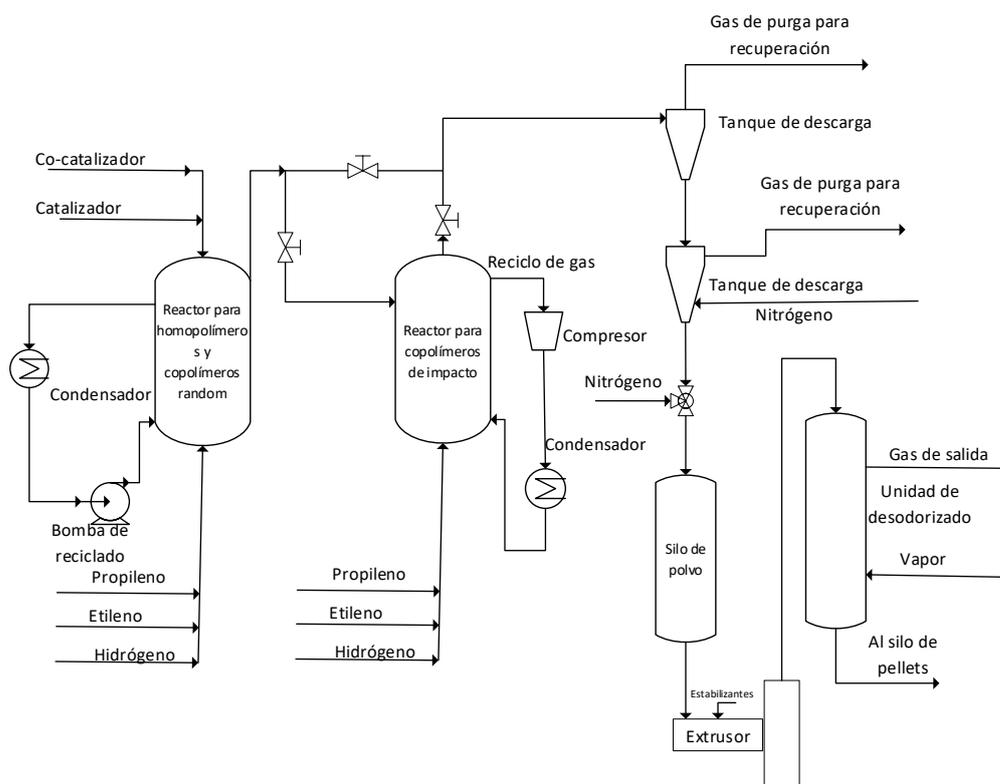


Ilustración 3.9. Proceso Novolen

3.2.3.2.3 Proceso Unipol

Desarrollado por Union Carbide, luego adquirido por Dow Chemical, el cual licencia la tecnología. Se utiliza un reactor para producir homopolímero y productos de copolímeros al azar (random) que trabajan en fase gaseosa en un lecho fluidizado; opcionalmente un segundo reactor puede ser operado en serie con el primero para producir copolímeros de impacto. Al producirse estos, el homopolímero de PP originado en el primer reactor se transfiere al segundo reactor en donde el remanente del catalizador suscita una reacción adicional. En el siguiente diagrama de proceso se muestran los dos reactores en serie, un recipiente de descarga del

polímero en el que se separa el monómero que no reaccionó y se retorna al proceso, un tanque de purga en el que se incorpora nitrógeno, silos de almacenamiento del polvo de PP y una extrusora.

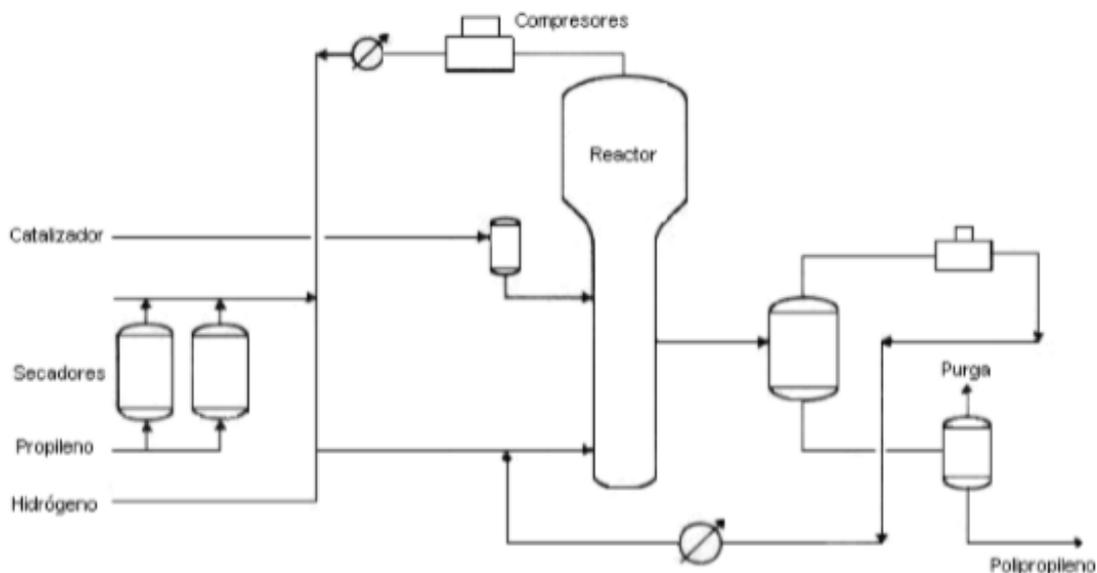


Ilustración 3.10. Proceso Unipol

3.2.3.2.4 Proceso Amoco-Chisso

Emplea un reactor agitado horizontal, en vez del reactor agitado vertical del proceso Novolen. El monómero reciclado condensado se rocía por la parte superior del reactor, promoviendo el enfriamiento necesario, mientras que el monómero no condensado y el hidrógeno se inyectan por la base para mantener la composición del gas. Opera con un reactor de lecho fluidizado con su sección superior expandida para reducir la velocidad del gas y el arrastre de polvo. La alimentación continua de catalizador, hidrógeno y propileno se mezcla en lecho fluidizado de fase densa del polvo. El calor de reacción se remueve con un gran enfriador mediante un bucle de recirculación de gases. En este sistema se dice que el lecho fluidizado actúa como un reactor de mezcla perfecta, sin la necesidad de separación de partículas gruesas y, no se requiere agitación mecánica. Las condiciones de reacción son generalmente 70 °C y 35 atm. El reactor de copolímeros de impacto trabaja a la misma temperatura, pero a presión más baja, aproximadamente 17 atm.

El polvo de producto y el gas se descargan justo debajo del plato distribuidor por válvulas temporizadas hacia un separador ciclónico y luego a un recipiente de purga para

remover el monómero residual. No se necesita la remoción del catalizador ni la extracción del polímero atáctico.

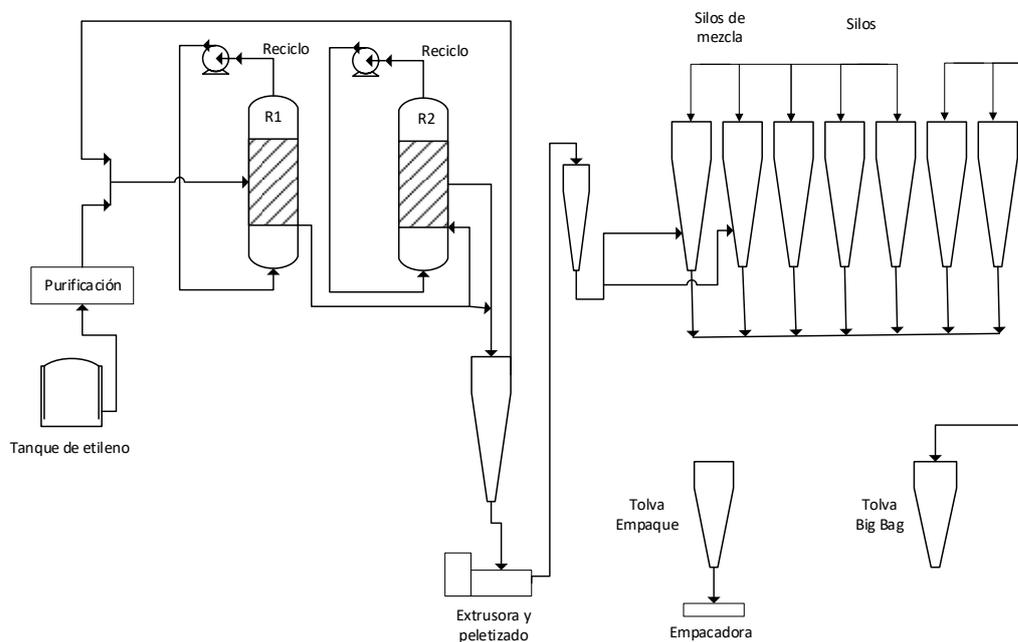


Ilustración 3.11. Proceso Amoco - Chisso

3.2.3.2.5 Proceso Innovene PP de Ineos

Es una combinación de un reactor pistón de fase gaseosa agitado horizontal y catalizadores. El propileno y etileno, en caso de ser requeridos, se hacen pasar primero por un sistema de purificación de la alimentación para remover impurezas. El propileno fresco, junto con el propileno líquido de reciclaje entra al primer reactor donde el catalizador es agregado. El gas caliente de reacción que sale de los domos del reactor 1 es apartado de los finos antes de ser enfriados, los finos son recirculados al reactor 1. El propileno condensado es reciclado al reactor a través de una bomba, mientras que el propileno gaseoso es reciclado a través de un compresor como medio de fluidización. Con un sistema pulmón intermedio de transferencia de homopolímero del reactor 1 es alimentado al reactor 2. Cuando se produce homopolímero, esta reacción continúa en el reactor 2 por adición de propileno fresco y reciclado. Para formar copolímero random o copolímero de impacto, el etileno es agregado como alimentación al segundo reactor. El propileno gaseoso y condensado son reciclados por medio de un arreglo similar al del reactor 1. El polvo de polímero del reactor 2 es separado del gas de reacción en el filtro al tope de la columna de purgado. El gas de reacción es reciclado al reactor 2 por medio de un compresor. Cualquier traza de hidrocarburo que permanece adsorbida en el polvo es

retirada por desgasificación en la columna de purgado. No se requiere tratamiento de desgasificación adicional aguas abajo.

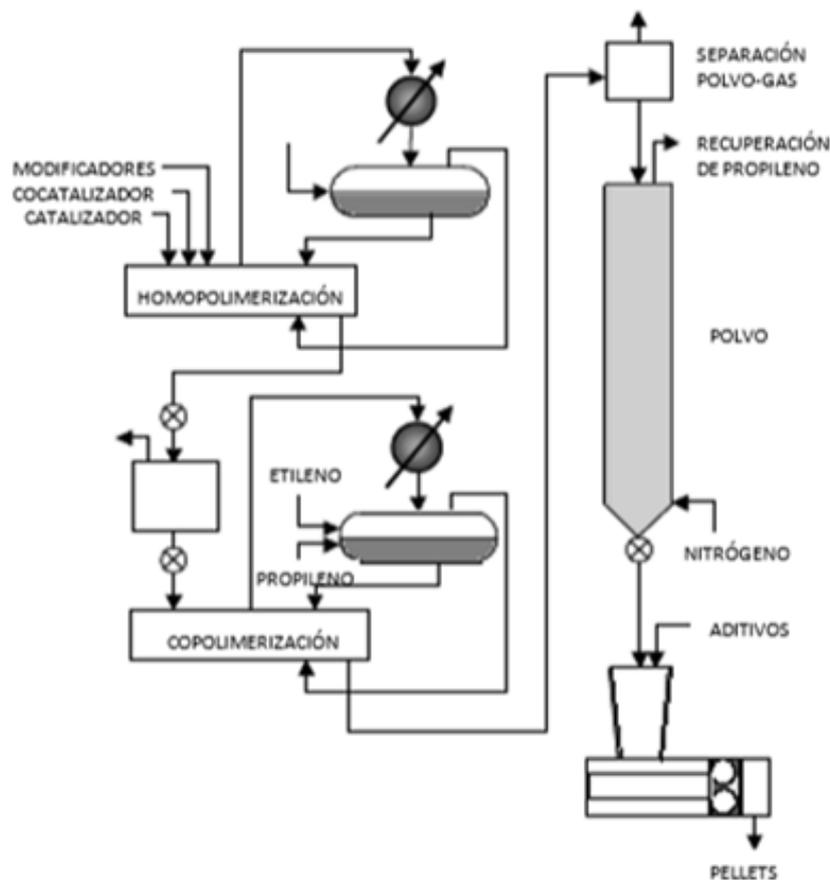


Ilustración 3.12. Proceso Innovene para producción de PP y sus copolímeros

3.2.3.2.6 Proceso Hypol de Mitsui

Se caracteriza por el uso de catalizadores de alto rendimiento, polimerización en dos fases y amplia gama de productos. La materia prima y los catalizadores son introducidos continuamente a la sección de reacción (dos reactores en fase líquida y dos en fase gaseosa). El propileno polimeriza formando polvo de polipropileno, el cual es secado para excluir el material volátil, mezclado con diferentes aditivos dependiendo de la aplicación y expuesto a un proceso de extrusión donde se transforma en gránulos o “pellets”, los cuales son transportados a silos de homogeneización. Los gránulos son finalmente empacados y almacenados para su posterior despacho.

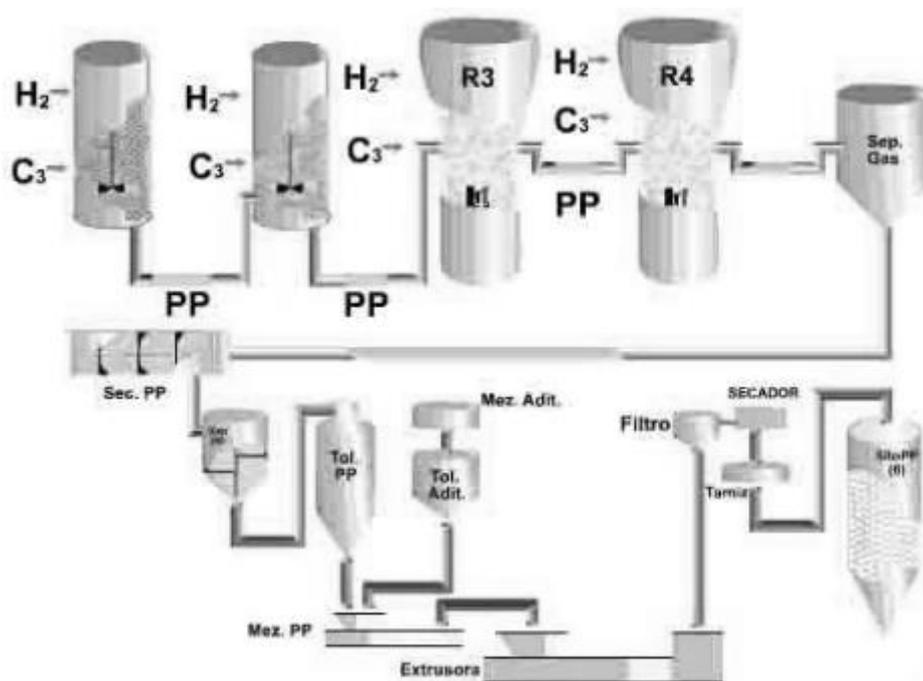


Ilustración 3.13. Proceso Hypol

3.2.3.2.7 Proceso Spheripol de Basell

Produce homopolímeros de polipropileno y copolímeros random y heterofásicos. Este proceso tiene la ventaja de producir esferas de polímero en el reactor en vez de partículas granulares irregulares como los otros procesos. La polimerización en masa utiliza reactores tubulares llenados con propileno líquido para obtener homopolímero y copolímero random o terpolímero, para producir este último se introducen pequeñas cantidades de etileno y/o 1-buteno en el reactor. El calor de reacción es removido por las camisas de agua de enfriamiento del reactor. El reactor fase gas no se usa cuando se producen homopolímeros o copolímeros random. Se opera con un catalizador superactivo de 4^a generación (Ti/MgCl₂, un alquilaluminio, un donador de electrones).

Se utilizan dos reactores en serie: el primero para trabajar en masa y el segundo en fase gas. El primer reactor es de tipo bucle, en el cual se hace circular catalizador y monómero a gran velocidad por una bomba axial (no requiere agitación), para que persistan en suspensión en el diluyente e impedir la deposición de polímero en las paredes del reactor. El tiempo de residencia en el reactor se puede alterar, modificando la velocidad de recirculación. El diluyente es en realidad el propio propileno líquido, el cual, dadas las condiciones de operación, proporciona la evacuación del calor generado por la reacción y al mismo tiempo permite aumentar el rendimiento del sistema catalítico. En este reactor tipo bucle (loop) la mezcla

reaccionante alcanza alta velocidad lo que previene la deposición de polímero en las paredes del reactor; el área de transferencia de calor por unidad de volumen es más alta que en un reactor agitado, lo que permite un mejor control de temperatura y mayor productividad. El tiempo de residencia en el reactor se puede alterar, variando la velocidad de recirculación. El propileno, que se puede diluir en propano (hasta el 40%), se alimenta al reactor en presencia de catalizador e hidrógeno. La temperatura de reacción es de entre 65 y 80 °C, y la presión de 33 atm. La mezcla de reacción circula rápidamente, y contiene hasta 50% de sólidos.

El polímero y monómero que no reaccionan, se separan en un tanque flash a 16 atm. El monómero se recircula al reactor, y se remueve el propano sobrante. El polímero se descarga en forma continua en un ciclón, el propileno remanente del ciclón se recupera, condensa y bombea de vuelta en el reactor tubular (LyondellBasell, 2019).

En el segundo reactor de fase gaseosa, se incorpora el polímero producido en el reactor tipo bucle. En esta fase se preparan copolímeros con características especiales añadiendo un comonómero (por ejemplo, etileno) además del monómero.

Al reactor de lecho fluidizado se incorporan las partículas de polímero y vapor de agua, con el fin de desactivar el catalizador. El secado se ejecuta con nitrógeno. El polímero se logra en forma de partículas esféricas con diámetro entre 1,5 y 2 mm y distribución de tamaño estrecha.

El peso molecular se controla por adición de hidrógeno durante la reacción, y también utilizando compuestos organometálicos derivados de cinc o cadmio.

El diagrama de flujo del proceso es el siguiente:

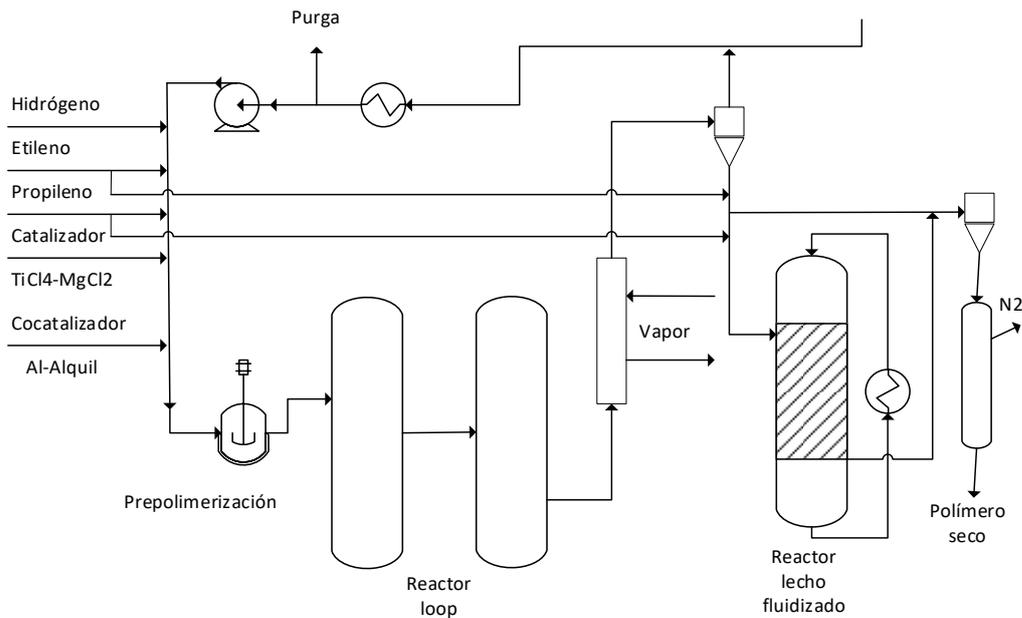


Ilustración 3.14. Proceso Montell Spheripol

Este proceso aporta una serie de ventajas tales como:

- Fabrica homopolímeros de PP de alta pureza y elevada cristalinidad (99%).
- Productos de elevada isotacticidad.
- Bajos costos de producción (se elimina el disolvente y se reducen al mínimo las impurezas).
- Producción de esferas dentro del reactor Vessel.
- Fabricación de una amplia gama de productos: homopolímeros, copolímeros aleatorios (random copolymers), copolímeros de propiedades equilibradas en relación con su excelente resistencia al impacto y rigidez (copolímeros de elevada resistencia al impacto).
- Expansión a múltiples aplicaciones de los nuevos polímeros.
- No es necesaria la peletización del polímero.

3.2.3.2.8 Proceso Spherizone

Es una de las tecnologías de fabricación del polipropileno más actual, puesto a punto por el fabricante Liondell Basell en el año 2004. (Industries, 2019). Este método produce PP de alta calidad con una amplia variedad de propiedades novedosas que ha abierto el campo del polipropileno a nuevas aplicaciones y nuevos mercados.

El proceso “Spherizone” puede producir PP de elevado módulo de elasticidad, así como polímeros dentro de una banda ancha de la función de distribución de peso molecular. Las resinas de polímero tienen estructuras uniformes y homogéneas que mejoran sus propiedades.

El reactor es de lecho fluidizado que se ensancha en la parte superior para reducir la velocidad del gas y así reducir el arrastre de las partículas. Los flujos de catalizador, monómero e hidrogeno se suministran continuamente y se mezclan completamente en el lecho fluidizado. (Nayef M. Ghasem, 2008)

En el proceso Spherizone, se utilizan dos reactores de lecho fluidizado que se disponen en serie y que operan a la temperatura de saturación del propileno y a presiones entre 20-30bar. Se emplea generalmente un catalizador basado en metalocenos, óxidos de zinc.

El primer reactor, es de circulación externa, y combina dos zonas de reacción para controlar la reacción de polimerización, mediante la variación de la concentración de hidrógeno y/o la concentración de comonómero. La primera zona, ocurre en un lecho fluidizado en el que las partículas de catalizador son arrastradas por el gas, siendo éste una mezcla de propileno e hidrógeno para la homopolimerización, también se caracteriza por tener un bajo tiempo de residencia y una alta concentración de hidrógeno, generando de forma tal la producción de componentes de bajo peso molecular (Xinyu, 2014). A la salida los gases se separan de las partículas de catalizador con polímero retenido en un ciclón, los gases se enfrían y se comprimen para recircularlos a la entrada del reactor, las partículas de catalizador con polímero pasan a la segunda zona del reactor, donde mediante el empleo del efecto barrera producido por la adición de propileno saturado, se consigue una zona con baja concentración de hidrógeno. Todo esto, da lugar a que se produzcan componentes de alto peso molecular, de esta zona salen de forma continua las partículas con mayor peso hacia el segundo reactor (esta parte correspondiente a la copolimerización, no será de estudio en el presente trabajo de grado), mientras que el resto son recirculadas a la primera zona mediante el arrastre por el gas de entrada al reactor. El peso molecular del producto final se puede modificar de las siguientes formas: variando las concentraciones de hidrógeno en el reactor, regulando los tiempos de residencia en cada una de las zonas del reactor, lo cual causa una complicación añadida al mantenimiento de la operación con respecto a los reactores de lecho fluidizado tradicionales, pero al mismo tiempo reduce el volumen de reactor necesario. (Nayef M. Ghasem, 2008)

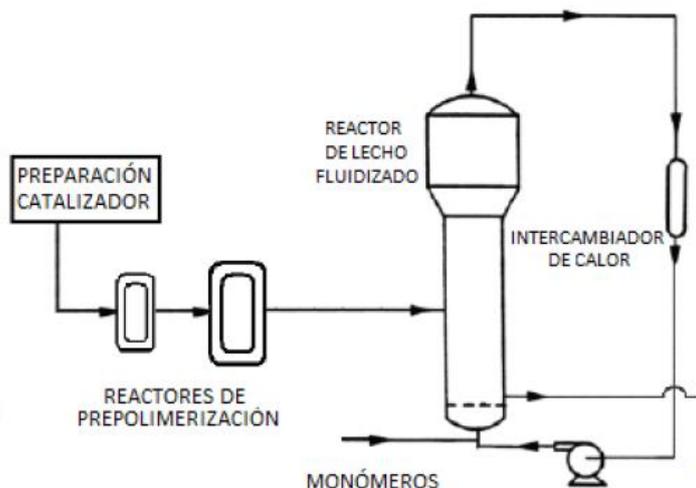


Ilustración 3.15 Proceso Spherizone

Se optará por el agregado de hidrogeno, tomando como valor de cálculo un 1% en volumen de hidrógeno en relación al monómero ingresado, lo que equivale a 0,476 kg de hidrógeno por tonelada de propileno.

Las condiciones de operación varían considerablemente entre distintas plantas, siendo el factor común de todas ellas el hecho de que operan en torno a las condiciones de saturación del propileno.

Las principales características del proceso son:

- Utilización de catalizadores de 5ª generación “Avant ZN Catalyst”.

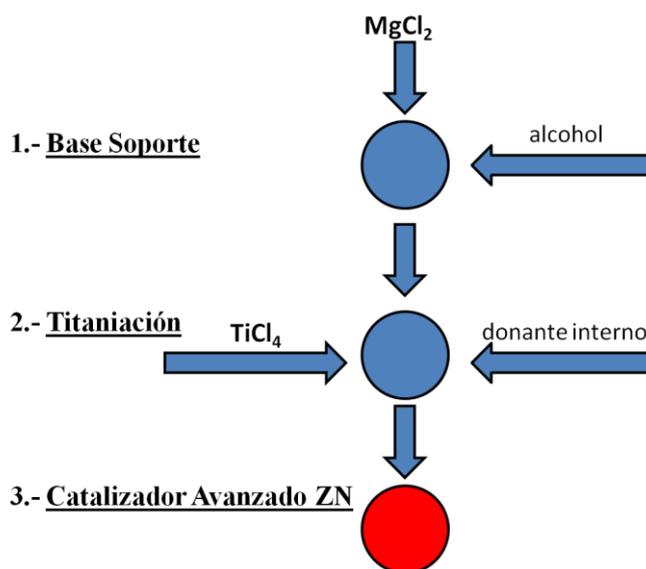


Ilustración 3.16 Proceso de fabricación del catalizador Avant ZN

- Monómero en fase gaseosa.
- Reactor en cascada multizona; “*multi-zone circulating reactor (MZCR)*” (Wei-Cheng Yan, 2012).

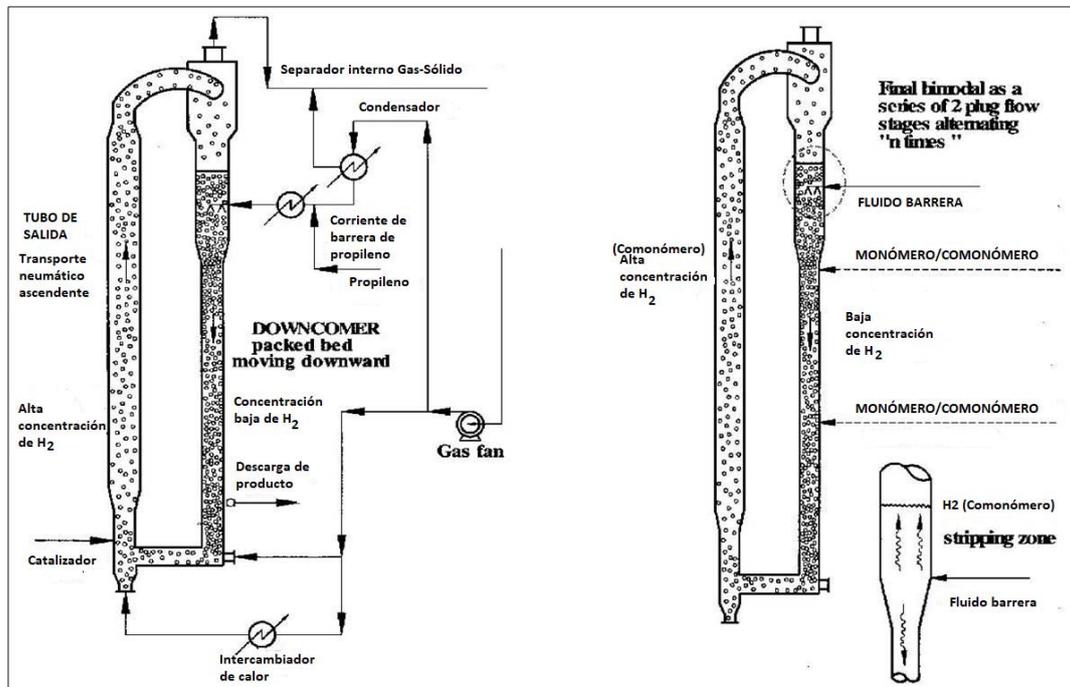


Ilustración 3.17 Reactor MZCR

Este proceso puede originar el polipropileno como: homopolímero, copolímero aleatorio (*random copolymers*) y copolímero de impacto (*heterophasic impact copolymer*) de elevado módulo de elasticidad a flexión.

El método es seguro y fiable, emite menos gases contaminantes. Los materiales poliméricos elaborados tienen forma esferoidal y son muy variados con una gama muy amplia de propiedades.

3.3 SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS A EMPLEAR EN EL PROCESO

La selección de las tecnologías a utilizar se efectuó en función del tipo de productos obtenidos y su pureza. En relación, a la producción de propileno, se optó por el proceso MTO maneja un reactor de lecho fluidizado, que permite controlar la temperatura de reacción y la circulación del catalizador. Con respecto a la producción de polipropileno, se selecciona el proceso Spherizone, que es una patente de mayor flexibilidad que admite la producción de

distintos grados de PP a partir de propileno gaseoso. Además, posee una de las tecnologías más actuales. Se detallarán dichas tecnologías en el Capítulo 4 de Balance de materia y energía.

3.4 Catalizadores empleados en la Producción de Propileno

Los catalizadores empleados en esta etapa son:

- Silicoaluminofosfatos SAPO-34 y SAPO-18.

Fueron desarrollados originalmente por Union Carbide y constituidos por grupos de óxidos tetraédricos de Si, Al y P, son usados en el proceso MTO y otros procesos catalíticos a causa de su severa selectividad de forma y pequeño tamaño de poro. El SAPO-34, posee una estructura de seis dobles anillos ordenados para constituir una única jaula por cada unidad. Los seis dobles anillo están ordenados de forma paralela y en la misma orientación.

El Silicoaluminofosfato SAPO-18 está relacionado estructuralmente con el aluminofosfato AIPO-18. Dicha estructura está formada por dos dobles anillos de 6 miembros. Ambos tienen un tamaño de cadena y cavidades internas del mismo diámetro ($3.8 \text{ \AA} \times 3.8 \text{ \AA}$). Las continuadas capas paralelas de dobles anillos que conforman la estructura cristalina revelan diferentes orientaciones entre sí.

El SAPO-18 tiene una menor desactivación, gran estabilidad hidrotérmica y, un menor coste de preparación que el SAPO-34.

La orientación de las sucesivas capas paralelas tiene como consecuencia una mayor rigidez de la estructura cristalina, que demuestra la menor facilidad para dar sostén a los precursores del coque en su crecimiento, lo que justifica que la deposición del coque sea lenta en este catalizador.

- Catalizador de zeolita HZSM-5.

Posee una estructura cristalina tridimensional, propia de la familia pentasil, desarrollada por anillos de 5 tetraedros, que constituyen una serie de canales elípticos (microporos) de dos tipos, que se cruzan perpendicularmente. Estos canales son las aberturas elípticas del anillo de 10 unidades tetraédricas y unos son rectos ($0.52 \times 0.56 \text{ nm}$) y los otros en zig-zag ($0.51 \times 0.55 \text{ nm}$).

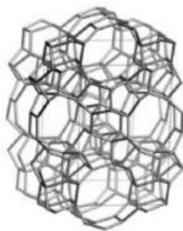


Ilustración 3.18 Estructura de la Zeolita HZSM-5.

Uno de los objetivos para incrementar la formación de olefinas es la disminución de la densidad de centros ácidos y contención de la fuerza ácida de los centros de la zeolita HZSM-5, para atenuar las reacciones secundarias (transferencia de hidrógeno, ciclación, condensación a aromáticos) que dan lugar a la formación de subproductos (parafinas, aromáticos y coque). La primera iniciativa para este objetivo es seleccionar una elevada relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.

Por otro parte se puede modular la acidez con: tratamiento con álcali, incorporación de P, deposición de SiO_2 , sustitución de Si^{4+} por Fe^{3+} entre otras.

La estructura tridimensional de los poros, sin “cajas” en las intersecciones, concede a la zeolita HZSM-5 una notable estabilidad, al proporcionar la circulación de los precursores del coque hacia el exterior, lo que entorpece el bloqueo interno de los poros. Esta es una ventaja respecto al SAPO-34 que, si bien es más selectivo para la formación de olefinas ligeras, debido a la mayor severidad de su selectividad de forma, es desactivado por el bloqueo de los poros por coque. Además, la estructura porosa de la zeolita HZSM-5 es más adecuada para la obtención selectiva de propileno que la del SAPO-34. Algunos estudios han propuesto la formación de una matriz de $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, usando boehmita como binder, con buenos resultados para atenuar la desactivación en la conversión de DME en olefinas.

3.5 Catalizadores empleados en la producción de polipropileno.

3.5.1 Catalizadores heterogéneos (Z/N).

Desde 1954 se han desarrollado 5 generaciones de catalizadores buscando una mayor eficiencia del catalizador medida por los siguientes parámetros:

- ✓ Polimerización medida en Kg de polímero/g.catalizador
- ✓ Estereoespecificidad del polímero medida por su índice de isotacticidad, peso molecular MW y distribución DMW del mismo.

Generación	Sistema Catalítico	Productividad (kg de PP/g de catalizador)	II(%)*	Morfología
1954 (1°)	TiCl ₃ 0.33 AlCl ₃ +AlR ₂ Cl	2-4	90-94	Poder
1970 (2°)	TiCl ₃ +AlR ₃ (Solvay)	10-15	94-97	Granular
1971 (3°)	TiCl ₄ /iED/MgCl ₂ +AlR ₃ / oED	15-30	90-95	Esférica
1980 (4°)	TiCl ₄ /diester/MgCl ₂ +AlR ₃ silano	40-70	95-99	Esférica
1988 (5°)	TiCl ₄ /diether/MgCl ₂ +AlR ₃	100-130	96-99	Esférica

Tabla 3.1. Condiciones de polimerización: monómero líquido, 70 ° C, 2 h, R = -C₂H₅.

*Índice de Isotacticidad.

3.5.1.1 Evolución de los catalizadores para la producción de Polipropileno

La 1ª generación de catalizadores era heterogéneos producidos por la reacción de dos compuestos químicos: tetracloruro de titanio (TiCl₄) y AlR₃; la letra R indica el radical etil o isobutil. Este catalizador originaba una modesta polimerización con una estereoespecificidad (isotacticidad) baja (30% – 40%).

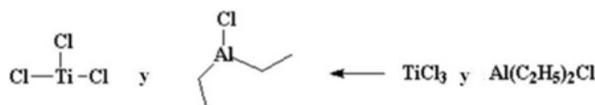


Ilustración 3.19. Catalizador ZN 1° Generación.

La 2ª generación de catalizadores desarrollada por el fabricante Solvay, reemplaza el TiCl₄ por el TiCl₃.

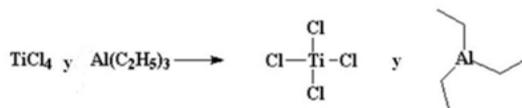


Ilustración 3.20. Catalizador ZN 2° Generación.

Esta sustitución del TiCl₄ por el TiCl₃ causa un catalizador más eficiente, haciéndolo reaccionar con el compuesto organi-metálico AlR₃ ó AlR₂Cl; es por esto que fue utilizado

posteriormente, durante muchos años, obteniéndose polipropileno (iPP) con un alto índice de isostaticidad ($II > 85\%$).

Las generaciones 3^a, 4^a y 5^a de catalizadores subsiguientes utilizan como soporte el dicloruro de magnesio $MgCl_2$ activado que tiene una estructura cristalina desordenada; la reacción con otros componentes como el $TiCl_4$ y el AlR_3 , producen la síntesis de un catalizador más eficiente. La incorporación de elementos de donantes, bases Lewis, de electrones (ED): internos (iED) y externos (oED) mejoró el rendimiento de los catalizadores funcionando favorablemente sobre el $MgCl_2$ la adición de estos electrones (LIEBERMAN).

Actualmente, los catalizadores de 5^a generación se consiguen por la reacción química de síntesis partiendo de los componentes en estado sólido: $TiCl_4/di\text{-éter}/MgCl_2+AlR_3$.

Manejando catalizadores sólidos con succinato (unión succinato: $C_4H_6O_4$) para aportar los electrones internos (iED), se produce el polímero polipropileno en forma de pequeñas esferas, simplificándose el proceso de fabricación y provoca un elevado rendimiento de polimerización los catalizadores más activos producen miles de Kg. de polímero/g. de Ti. Además, no se producen residuos del catalizador.

Este tipo de catalizador permite obtener una nueva y amplia gama de materiales de polipropileno con un mejor control del proceso, logrando alcanzarse una elevada cristalinidad del polímero ($II = 99\%$).

3.5.2 Catalizadores homogéneos de metaloceno

Estos han despertado grandes expectativas por su potencial para revolucionar la industria de los polímeros en general y del polipropileno en particular. Las posibles ventajas derivadas de su uso son:

- Elevada actividad catalizadora.
- Control del proceso de polimerización y de la morfología del polímero.
- Cambio radical de la estructura molecular de las poliolefinas que crearán nuevos campos de aplicación.
- Fabricación de polímeros con nuevas propiedades.
- Nuevas estructuras moleculares.
- Casi eliminación de materiales indeseables durante la polimerización de bajo peso molecular.

Se prevé que su impacto en la industria de los polímeros sea similar al que supuso la aparición de los catalizadores heterogéneos (Z/N) en el año 1954. Presentemente se fabrican algunas toneladas de polímeros utilizando este tipo de catalizadores, aunque se prevé un gran incremento en los años venideros.

El catalizador metalloceno es un sistema catalítico binario homogéneo órgano-metálico, de estructura fácilmente modificable y que posee una elevada energía de ionización.

Consta de dos componentes:

- El catalizador precursor metalloceno: puede llegar a tener una fórmula química compleja; el más simple tendría la fórmula Cp_2MX_2 .

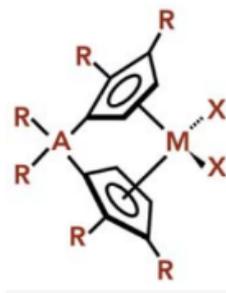


Ilustración 3.21. Catalizador precursor metalloceno.

Siendo:

M = Elemento metálico

A = Átomos de enlace (opcionales);

R = H, alquil u otros grupos de hidrocarburos;

X = Halógeno o grupo alquil

M metal oxidado del grupo 4 (Zr, Ti, Hf) situado en el centro y unido a dos moléculas en anillo de Cp ciclopentadienil (aniones) de fórmula C_5H .

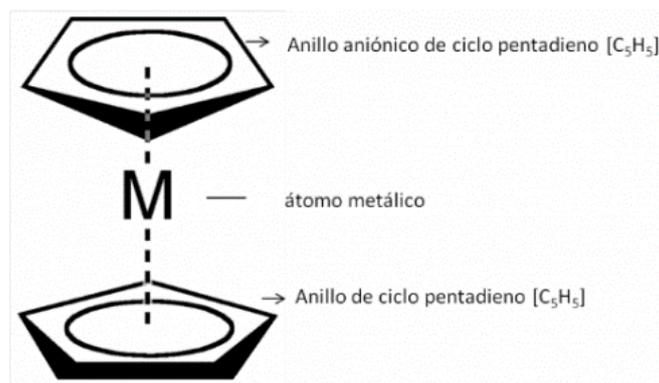


Ilustración 3.22. Estructura de un metaloceno.

- El catalizador activador metil alumoxano (MAO): puede ser el compuesto polimetilaluminoxano de fórmula $(\text{CH}_3\text{AlO})_n$; reemplaza los átomos de Cl por grupos metilo (CH_3) causando el catión diamagnético que tendría como fórmula general $[\text{CP}_2\text{M}^{\text{CH}_3}]^+$, que es el activador de la polimerización y el anión MAO con la fórmula general $[\text{Al}_n(\text{CH}_3)_{n-1}\text{OnX}]^-$.

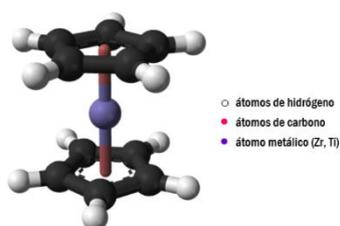


Ilustración 3.23. Catalizador metaloceno, estructura en 3D.

El catalizador metaloceno $[\text{CP}_2\text{MX}_2]/\text{MAO}$ activado e ionizado por la acción del MAO, consigue un grado de activación elevadísimo consiguiendo llegar a un factor de activación de 10.000 en relación con un catalizador (Z/N). El catalizador metaloceno tiene un único lugar activo (single-site catalyst SSC) en contraposición a los catalizadores tradicionales (Z/N) (multi-site catalyst). Tiene la ventaja adicional que es soluble en hidrocarburos y polipropileno líquido.

Con este tipo de catalizadores se pueden elaborar resinas de polipropileno y de otros polímeros un 33% más rígidas (mayor módulo a flexión) que con catalizadores (Z/N).

Los polímeros fabricados pueden ser homopolímeros, copolímeros (random) o mezclas de copolímeros (impact block copolymers). Se logran fabricar también polímeros de elevada sindio-tacticidad.

3.6 Bibliografía

- al., G. e. (1997). *United States Patent Patente n° 5.698.642*.
- Dr A M Saravanan, K. A. (2014). A Study on the Process Plant Design for the Production of Polypropylene Plant. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 631- 635.
- Dwiwahju Sasongko, A. F. (2016). Modified Two-Step Dimethyl Ether (DME) Synthesis Simulation from Indonesian Brown Coal. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 320 - 333.
- El-Halwagi, S. J. (2015). A Techno-Economic Comparison between Two Methanol-to-Propylene Processes. *Processes* , 684 -698.
- Grein, C. (2019). *Multimodal Polypropylenes: The Close Interplay Between Catalysts, Processes and Polymer Design*. Springer Nature Switzerland .
- Industries, L. (2019). *Optimized Ziegler-Natta Catalysts for Bulk PP Processes*. Frankfurt: Technology Business.
- Iván Darío Gil Chaves, J. R. (2016). *Process Analysis and Simulation in Chemical Engineering*. New York : Springer.
- LIEBERMAN, R. B. (s.f.). *POLYPROPYLENE*. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology.
- LyondellBasell. (2019). *Licensed Polyolefin Technologies and Services* . LyondellBasell.
- Nayef M. Ghasem, W.-L. A. (2008). Dynamic Model for Polyethylene Production in a Multizone Circulating Reactor. En W.-L. A. Nayef M. Ghasem, *Chemical Product and Process Modeling*. New York : University Bobst Library Technical Services.
- Pasquini, N. (s.f.). Trying to Catch up with Ziegler–Natta Catalysts: Isotactic PP. En *Polypropylene Handbook* (págs. 116- 121). Hanser.
- Paulik, D. M. (s.f.). Polypropylene and Other Polyolefins. En Brydson, *Brydson's Plastics Materials* (págs. 279- 309).
- Tripathi, D. (2012). *Practical Guide to Polypropylene*. Shawbury, UK: Rapra Technology LTD.

Wei-Cheng Yan, G.-Q. C.-H. (2012). A CFD Modeling Approach to Design a New Gas Barrier in a Multizone Circulating Polymerization Reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 15132–15144.

Xinyu, N. (2014). Research status of Spherizone technology. *Industrial Catalysis*.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 4 Fecha: 17/02/2023		

Capítulo N°4

BALANCE DE MASA Y

ENERGÍA

4. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se presenta el balance de materia y energía al proceso completo de producción de Polipropileno, teniendo en cuenta las especificaciones del proceso. Estos balances fueron extraídos del simulador Aspen HYSYSTEM V9.

El balance de masa del proceso que se presenta a continuación se va a realizar para una base de cálculo de 72.970 Kg/hr de alimentación, para, una vez resuelto, redimensionar los flujos de materia, a fin de obtener una corriente de cabeza del proceso de 160.000 toneladas anuales de PP.

Se realiza el balance en caudales molares, además se tienen en cuenta otros datos como reacción química, estequiometría de la misma, cinética, etc.

Una vez obtenidas todas las corrientes expresadas en toneladas anuales y todas las composiciones expresadas de forma másica, se debe multiplicar todos los flujos por un factor de escala para que el balance quede resuelto para 160.000 toneladas anuales de producto, especificación del proyecto. Dicho factor de escala será:

$$\varepsilon = 160.000/180.212,95 = 0.88$$

Teniendo en cuenta que se trata de un proceso en que se establecen 24 horas de producción continua y que se considerará una parada al año para realizar tareas de mantenimiento, sumando un total de 25 días no laborales. Se tiene como resultado la producción diaria que satisface la cantidad necesaria del producto.

$$Producción\ diaria = \frac{Producción\ anual}{Días\ laborales} = \frac{180.212,95 \frac{tn}{año}}{340 \frac{día}{año}} = 530,04 \frac{tn}{día}$$

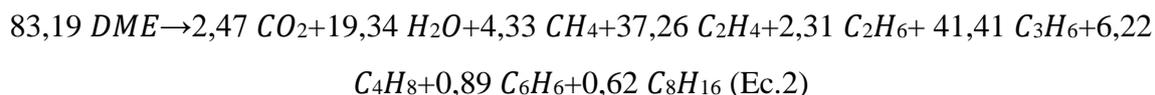
4.2 DEFINICIÓN DE COMPUESTOS

En el proceso tienen lugar dos reacciones importantes. En primer lugar, ocurre la deshidratación del metanol a DME sobre el catalizador de γ -Alúmina:



La conversión del DME a olefinas sobre el catalizador SAPO-34, sucede a través de un complejo mecanismo de reacción, tal y como se definió en el capítulo anterior.

Para efectuar el ajuste estequiométrico de la reacción, se ha considerado como referencia la distribución de productos a la salida del segundo reactor obtenido en su estudio y se ha tenido en cuenta, que con el catalizador SAPO-34 se obtiene más propileno que etileno (Ricardo R. Wanderley, 2013), por lo que el ajuste de la reacción quedaría de la siguiente manera:



4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Para una mejor visualización del proceso se adjunta el diagrama de flujo donde se muestran ambas etapas en la obtención de Polipropileno, para mejor visualización se adjuntan los planos PI-PR-PFD-01-DIAGRAMA DE FLUJO y PI-PR-PFD-02-DIAGRAMA DE FLUJO al final del trabajo.

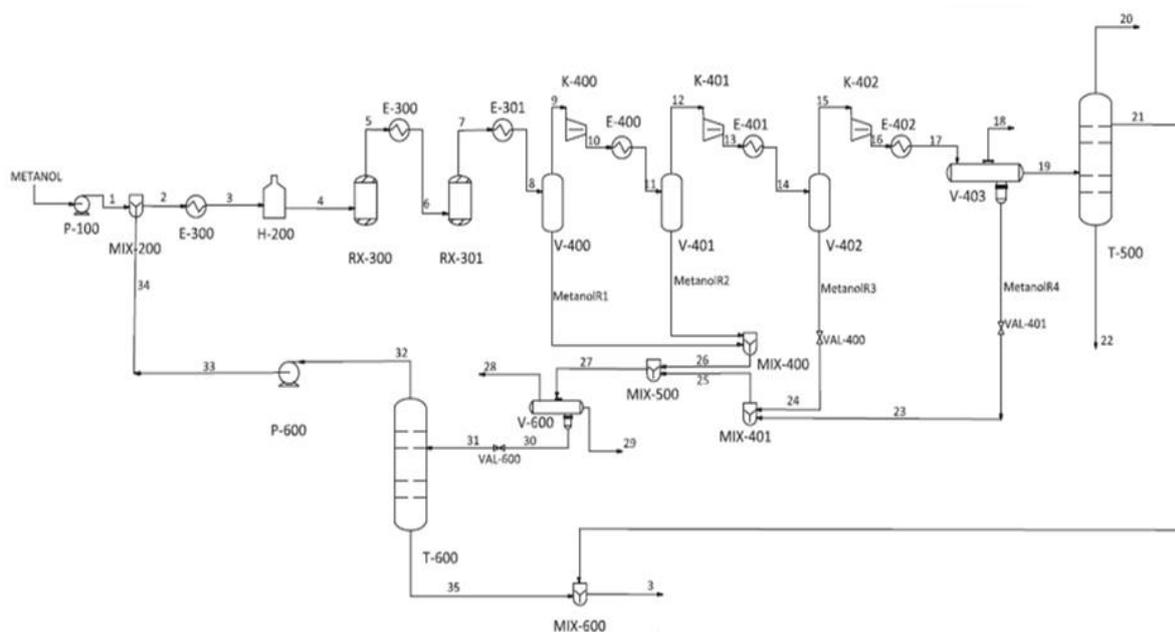


Ilustración 4. 1 PFD.

Fuente: Elaboración propia, ver PI-PR-PFD-01-DIAGRAMA DE FLUJO

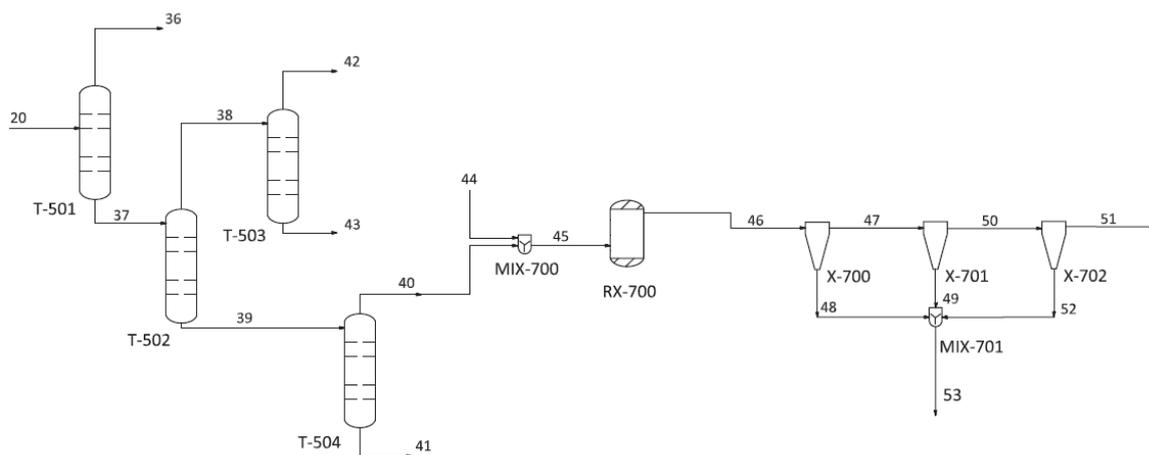


Ilustración 4. 2 PFD.

Fuente: Elaboración propia, ver plano PI-PR-PFD-02-DIAGRAMA DE FLUJO

4.3.1 Etapa de Obtención de Propileno

El Metanol en forma líquida a temperatura ambiente (25°C) y presión atmosférica (1 atm), se bombea (P-100) para que alcance una presión de 2 atm desde el tanque de almacenamiento (TK-100) y se mezcla (MIX-200) con una corriente de reciclo (34), proveniente de la recuperación de metanol de todo el proceso, alcanzando una temperatura de 31.21°C (2). Después se precalienta (E-200) para alcanzar 122,6°C y, ser introducida en el horno (H-200) en forma de vapor, hasta obtener una temperatura de 480 °C antes de ingresar al reactor RX-300, donde tiene lugar la deshidratación del metanol en presencia del catalizador γ -alúmina obteniendo como productos dimetiléter (DME) y agua.

Los productos obtenidos (5) se enfrían en el intercambiador (E-300) hasta 425 °C, antes del ingreso al RX-301. En este reactor, el DME reacciona en presencia del catalizador SAPO-34 obteniéndose en la corriente de salida del mismo (7), los siguientes productos: monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), etileno (C₂H₄), etano (C₂H₆), propileno (C₃H₆), 1-buteno (C₄H₈), benceno (C₆H₆), ciclo octano (C₈H₁₆).

Esta corriente se enfriará en E-301, con el fin de separar (8) el metanol y agua del resto de los componentes en una serie de separadores (V-400, V-401 y V-402), compresores (K-400, K-401 y K-402) e intercambiadores (E-400, E-401 y E-402). Obteniéndose así, la corriente (17) a 28.3 atm y -13 °C, la cual debe enviarse a un separador trifásico (V-403) para así obtener la corriente (19) como líquido saturado y ser enviada a un tren de separación de torres de destilación, además de las corrientes (18) en forma de vapor y la corriente Metanol R4.

Las corrientes Metanol R1, Metanol R2, Metanol R3, MetanolR4 que contiene metanol y agua son recogidas en los MIX-400, MIX-401 y MIX-600 para poder separarlas (V-600) y así enviarla a la (T-600) para recuperar metanol (32) en el tope y recircularlo al inicio del proceso, y por el fondo agua a tratar, la cual se mezcla con una corriente lateral de la torre (T-500) que también contiene agua y, se envía a tratamiento de efluentes. Además, en el separador (V-600) se obtiene una corriente gaseosa (28) que se enviará a antorcha y una corriente (29) líquida que se tratará junto con la salida de fondo de la torre (T-504).

La corriente líquida (19) obtenida de V-403 ingresa a la primera torre de destilación (T-500) que opera a 28 atm y tiene 32 platos. De esta torre, se obtiene por tope (20) el propileno y etileno en mayor proporción con trazas del resto de los compuestos, y por el fondo (22) metanol, benceno, y el ciclooctano. A su vez, esta columna contiene una corriente lateral por la cual se extrae el agua que no se haya podido separar aguas abajo.

La corriente (20) ingresa a la segunda torre (T-501) la cual opera a 28 atm y posee 32 platos, donde se obtiene por tope una corriente de gas (36) compuesta por metano y monóxido de carbono, y por fondo (37) una corriente compuesta por propileno y etileno y trazas de DME y etano. Esta última corriente se envía a la tercera torre (T-502) que opera a 28.2 atm y posee 25 platos, en la cual se separa por el fondo (39) el propileno y DME y, por el tope (38) el etileno y etano.

La corriente (39) es enviada a la tercera torre (T-504) que opera a 28.2 atm y posee 65 platos, que separa por tope el propileno (40) con una pureza de 99% grado polimérico, que será utilizado en la segunda etapa del proceso para producir Polipropileno y, por fondo (41) se obtiene DME con un 99.4% de pureza.

La corriente (38) ingresa a la última torre (T-503), que opera a 28 atm y posee 57 platos, obteniéndose por tope el etileno (42) con una composición de 99.5% y por fondo el etano (43) con 90% de pureza.

4.3.2 Etapa de Obtención de Polipropileno

La corriente gaseosa de propileno obtenida en la etapa anterior y, de hidrógeno (44) (0.476 kg de hidrógeno por tonelada de propileno), ingresan (45) al reactor RX-700 de lecho fluidizado, donde se producirá la polimerización.

Posteriormente, la corriente (46), obtenida en el reactor, ingresa a una serie de ciclones (X-700, X-701, X-702), para separar el polipropileno sólido (53) que es el Homopolímero, del resto de componentes (51).

4.4 SIMULADOR ASPEN HYSYS V9

El sistema de modelado de procesos, llamado Hysys, es empleado por las compañías de ingeniería química para diseñar procesos enteros de forma tan completa y precisa como sea posible. El programa dispone de una extensiva base de datos de propiedades físicas y químicas que ayuda al modelizado y a la optimización de procesos (Aspentech, 2015).

Además, Hysys contiene distintos paquetes termodinámicos para predecir equilibrios vapor-líquido, líquido-líquido, cálculos de entalpía y otras propiedades termodinámicas. También realiza balances de masa y energía y aplica distintos tipos de reacciones.

4.4.1 Secuencia de la Simulación

En primer lugar, se realiza una selección de componentes, paquetes de fluido y reacciones. Los componentes a utilizar en la simulación, son:

Component List View: Component List - 1 [HYSYS Databanks]

Source Databank: HYSYS

Component	Type	Group
Methanol	Pure Component	
diM-Ether	Pure Component	
H2O	Pure Component	
CO	Pure Component	
Methane	Pure Component	
Ethane	Pure Component	
Cyclooctane	Pure Component	
Benzene	Pure Component	
1-Butene	Pure Component	
Propene	Pure Component	
Ethylene	Pure Component	

Ilustración 4. 3 Listado de Componentes en Aspen Hysys V9

El siguiente paso es seleccionar el paquete de fluidos, en la presente simulación se eligió Peng Robinson ya que es el indicado para predicciones termodinámicas cuando se tienen amplios rangos de puntos ebullición y diversos equilibrios (líquido-líquido, líquido-vapor).

La mayoría de los compuestos, a excepción del metanol y el agua, son sustancias no polares, y reales. El método Peng-Robinson es muy apropiado cuando hay una mezcla de sustancias apolares con algún compuesto polar y para presiones altas. Por otro lado, el método de Soave-Redlich-Kwong se utiliza para mezclas de gases y es una estimación muy buena para compuestos no polares pequeños (Department, 2018).

Para decidir entre Peng-Robinson y Soave-Redlich-Kwong es necesario tener en cuenta que Peng-Robinson es más preciso en cuanto a los sistemas gas y condensado que será en lo que se base la simulación. Por lo que, para los reactores, los intercambiadores y para los separadores flash se empleará el método termodinámico Peng-Robinson. El modelo de Peng-Robinson es:

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{\alpha}{V_m^2 + 2abV_m - b^2}$$

$$\alpha = \frac{0.45724R^2T_c^{2.5}}{P_c}$$

$$b = \frac{0.07780RT_c}{P_c}$$

$$\alpha = \{1 + (0.37464 + 1.5422\omega - 0.26992\omega^2)(1 - T_r^{0.5})\}^2$$

Las ventajas de utilizar este modelo en un paquete de simulación son:

- Es el modelo más desarrollado en Aspen Hysys.
- Alta precisión en una amplia gama de temperaturas y presiones.
- Tratamiento especial para componentes clave.
- Amplio banco de datos de parámetros binarios.

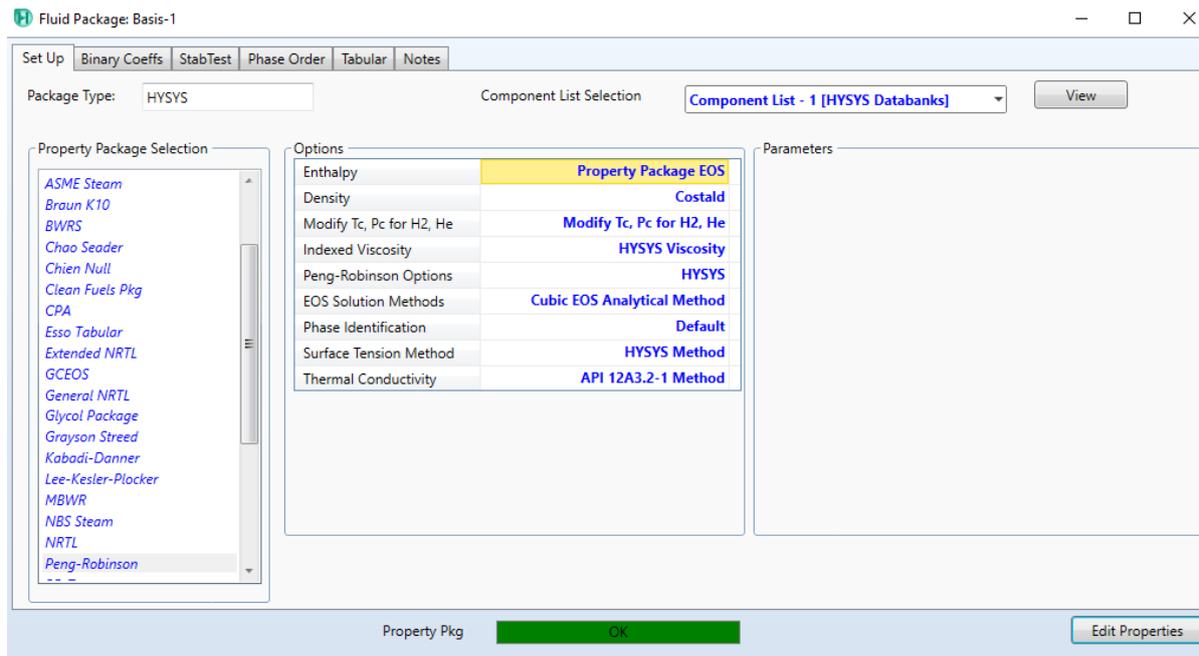


Ilustración 4. 4 Paquete de Fluidos en Aspen Hysys V9.

Ecuación NRTL (Non-Random, Two-Liquid)

Esta ecuación es aplicable tanto a sistemas totalmente miscibles como a los parcialmente miscibles. Su formulación para mezclas multicomponentes es:

$$\frac{g^E}{RT} = \sum_{i=1}^c x_i \frac{\sum_{j=1}^c \tau_{ji} G_{ji} x_j}{\sum_{i=1}^c G_{ii} x_i}$$

$$\tau_{ji} = \frac{g_{ji} - g_{ii}}{RT}$$

$$G_{ji} = \exp(-\alpha_{ij} \tau_{ij}) \quad (\alpha_{ji} = \alpha_{ij})$$

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^c \tau_{ji} G_{ji} x_j}{\sum_{l=1}^c G_{li} x_l} + \sum_{j=1}^c \frac{x_j G_{ij}}{\sum_{l=1}^c G_{lj} x_l} \left(\tau_{ij} - \frac{\sum_{r=1}^c x_r \tau_{rj} G_{rj}}{\sum_{l=1}^c G_{lj} x_l} \right)$$

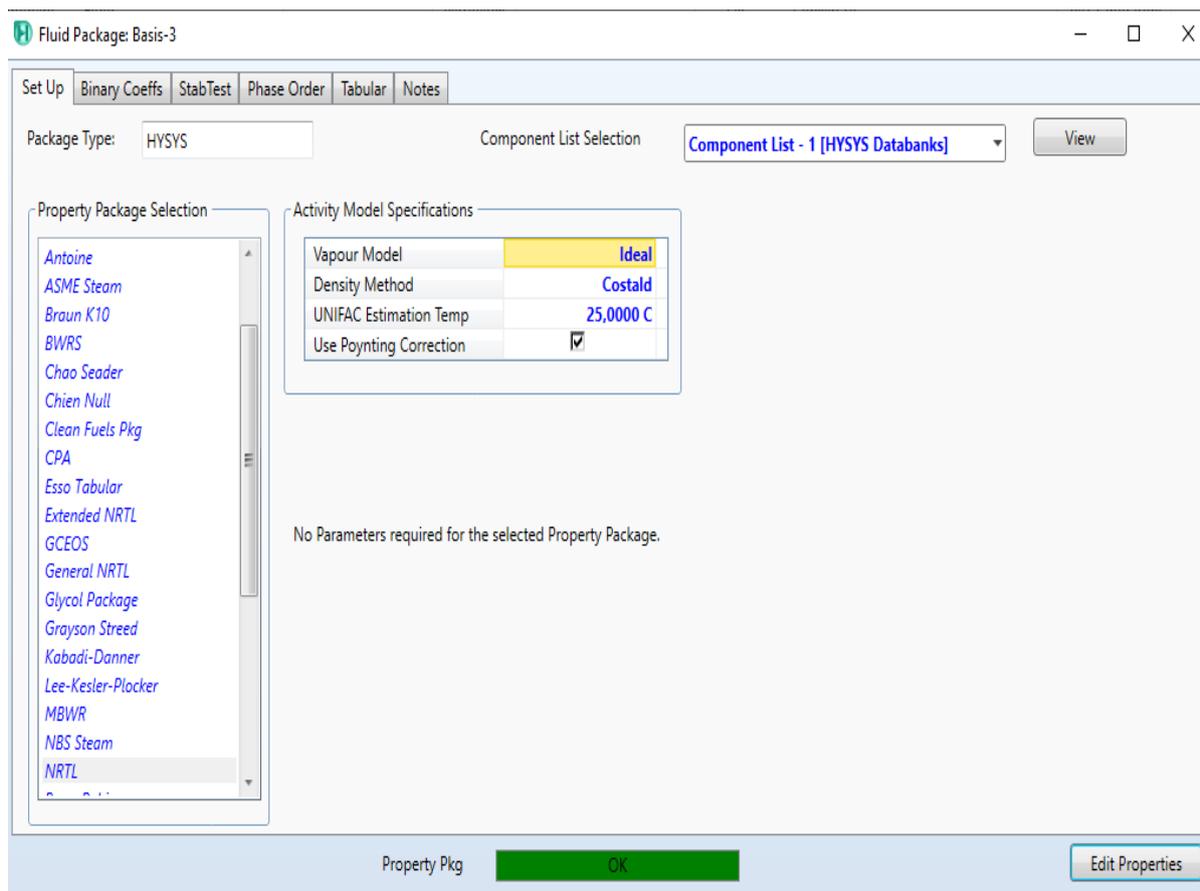


Ilustración 4. 5. Paquete de Fluidos en Aspen Hysys V9.

El último paso antes de ingresar al ambiente de simulación es cargar las reacciones químicas, la primera de ellas es para el reactor RX-300 de equilibrio, la cual contiene los siguientes parámetros:

- Tipo de reacción: reacción de equilibrio (Ec. 1)
- Estequiometria: los coeficientes -2,1 y 1 son seleccionados para el metano, DME y agua respectivamente.
- Constantes de equilibrio

En este equipo se llevará a cabo la deshidratación del metanol a DME, el cual consiste en un reactor de lecho empacado de flujo continuo (Galal Nasser, 2016). Se ha considerado un reactor adiabático, atendiendo a la cinética de equilibrio:

$$K = \exp[-9.76 + 32001T + 1.07 \log(T) - 0.66 \cdot 10^{-3}T + 0.49 \cdot 10^{-7}T^2 + 65001T^2] \quad (3) \text{ Ec.3}$$

La Ec.4 ha sido reformulada en forma de una ecuación polinómica de segundo orden para poder introducir los datos de equilibrio en el simulador HysysV9.

$$K = \exp[-9.6909 + 32001T + 1.07 \log(T) - 7.6 \cdot 10^{-4}T + 1.1 \cdot 10^{-8}T^2] \text{ Ec.4}$$

Equilibrium Reaction: Rxn-2

Stoichiometry Keq Approach Library

Component	Mole Weight	Stoich Coeff
Methanol	32,042	-2,000
diM-Ether	46,069	1,000
H2O	18,015	1,000
Add Comp		

Balance Error: 0,00000
Reaction Heat (25 C): -1,2e+04 kJ/kgmole

Basis: Activity, VapourPhase, Min Temperature: -273,1 C, Max Temperature: 3000 C

Ilustración 4. 6 Reacción de Equilibrio.

Equilibrium Reaction: Rxn-2

Stoichiometry Keq Approach Library

Keq Source: Ln(Keq) Equation, Gibbs Free Energy, Fixed Keq, Keq vs T Table

Auto Detect:

Ln(Keq) Equation	Value
A	-9,691
B	3200
C	1,070
D	-7,600e-004
E	1,100e-008
F	<empty>
G	<empty>
H	<empty>

Ln(Keq) = a + b
a = A + B/T + C ln(T) + D T
b = E T^2 + F T^3 + G T^4 + H T^5
b term cannot be used with Aspen Properties
(T in Kelvin)

Ilustración 4. 7 Reacción de Equilibrio

La segunda reacción a cargar para el reactor RX-301, contempla estas condiciones:

- Tipo de reacción: reacción de conversión (Ec.2)
- Estequiometria: se consideran los coeficientes mostrados en la figura.
- Conversión: 95%

En este reactor se lleva a cabo la conversión de DME a olefinas. Es un reactor de lecho fluidizado que se ha simulado como un reactor de conversión, ya que es bien sabido las elevadas conversiones que se obtienen del DME a olefinas, habiendo supuesto una conversión del 95%.

Conversion Reaction: Rxn-1

Component	Mole Weight	Stoich Coeff
diM-Ether	46,069	-83,190
CO	28,011	2,470
H2O	18,015	19,340
Methane	16,043	4,330
Ethylene	28,054	37,260
Ethane	30,070	2,310
Propene	42,081	41,410
1-Butene	56,108	6,220
Benzene	78,110	0,890
Cyclooctane	112,208	0,620
Add Comp		

Balance Error: 0.00000
Reaction Heat (25 C): 1.5e+05 kJ/kgmole

Basis

Base Component	Overall
Rxn Phase	Overall
Co	95.00
C1	<empty>
C2	<empty>

Conversion (%) = Co + C1*T + C2*T^2
(T in Kelvin)

Ilustración 4. 8 Reacción de Conversión.

Finalmente, antes de ingresar al ambiente de simulación se debe agregar la reacción seleccionada al paquete de componentes seleccionado previamente.

Reaction Set: Set-1

Set Info

Set Type: Conversion

Ready

Independent

Add to FP

Detach from FP

Ranking...

Advanced...

Active Reactions	Type	Configured	Operations Attached
Rxn-1	Conversion	✓	RX-301

Ilustración 4. 9 Set de Reacción 1.

Reaction Set: Set-2

Set Info

Set Type: Equilibrium

Ready

Independent

Add to FP

Detach from FP

Advanced...

Active Reactions	Type	Configured	Operations Attached
Rxn-2	Equilibrium	✓	RX-300

Ilustración 4. 10 Set de Reacción 2.

Por último, la tercera reacción contempla las siguientes condiciones de operación (Pasquini):

➤ **Reactor RX-700**

Ilustración 4. 11 Reactor RX-700

Name	45	46
Vapour	1,0000	0,1827
Temperature [C]	16,52	65,00
Pressure [kPa]	101,3	101,3
Molar Flow [kgmole/h]	536,3	64,30

Ilustración 4. 12 Composición de la corriente de ingreso al RX-700.

4.4.2 Ambiente de Simulación

- Primera etapa de la simulación:

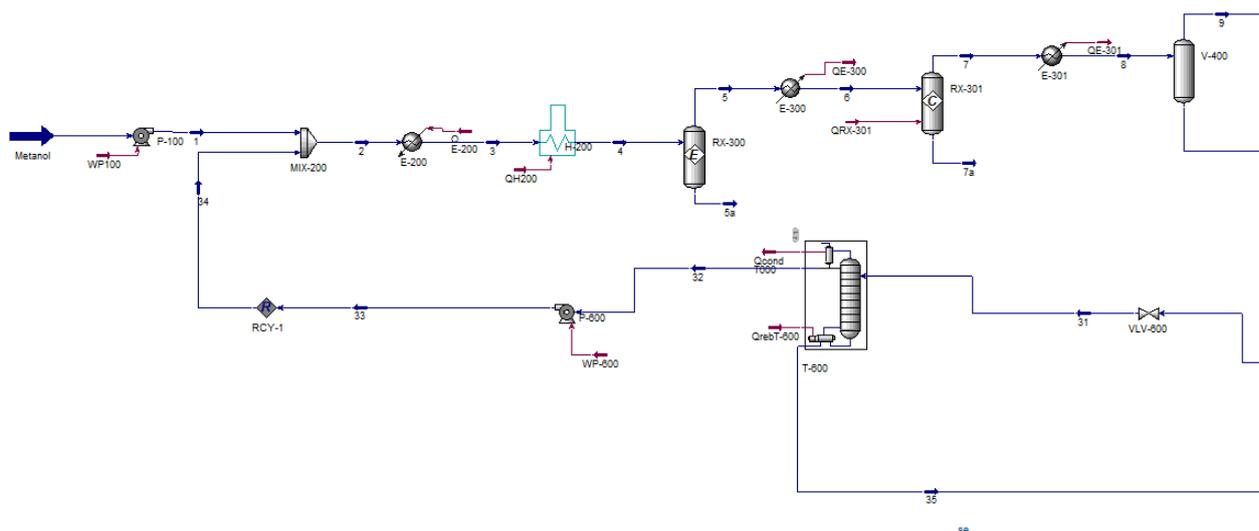


Ilustración 4.13 Simulación en Aspen Hysys.

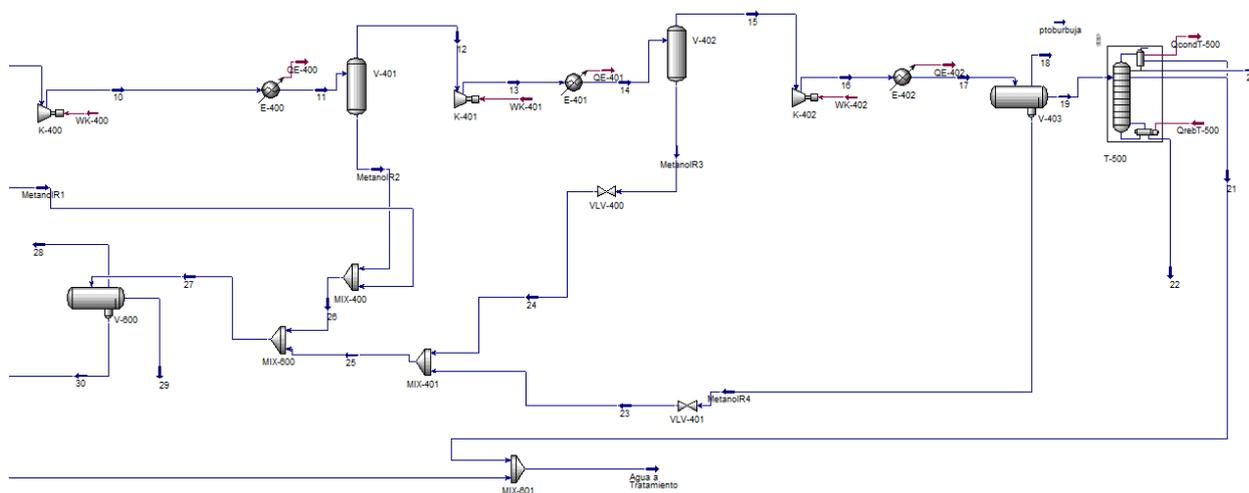


Ilustración 4.14 Simulación en Aspen Hysys.

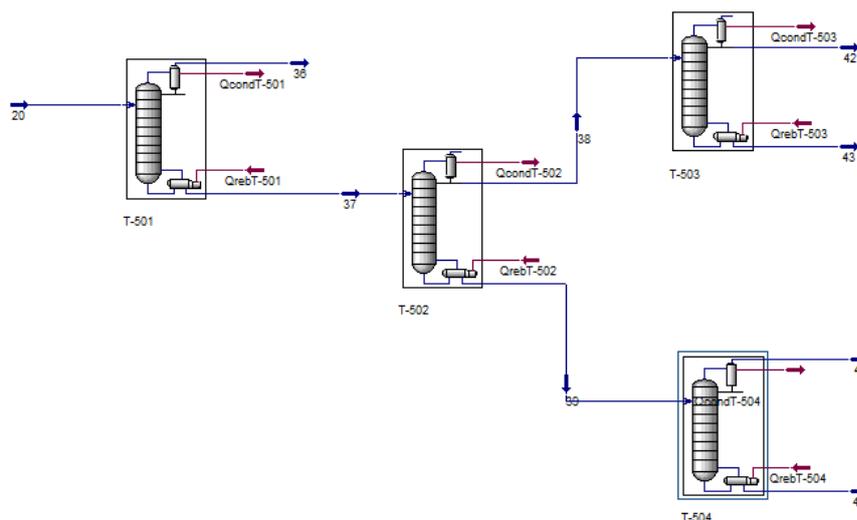


Ilustración 4. 15 Simulación en Aspen Hysys.

➤ Segunda etapa de la simulación:

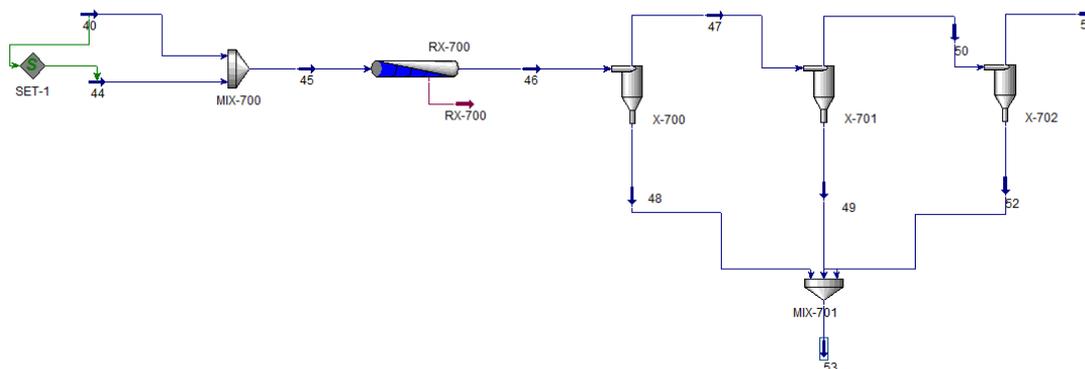


Ilustración 4. 16 Simulación en Aspen Hysys.

4.4.3 Torres de Destilación.

En este trabajo se han utilizado un total de 5 torres de destilación con el fin de conseguir separar los productos hasta obtener propileno de alta pureza y una torre adicional para lograr recuperar el metanol y recircularlo en el proceso.

En primer lugar, se han estudiado los factores de separación por parejas de producto para poder separar primero los productos más fáciles y dejar las separaciones difíciles para el final. El factor de separación, o volatilidad relativa (α) se define como:

$$\alpha = \frac{y_1/x_1}{y_2/x_2} = K_1 K_2 \quad (5)$$

dónde y_1 es la fracción del componente ligero que se obtiene por cabeza, en forma gaseosa, x_1 es la fracción del componente ligero que se obtiene por cola, en forma líquida; y_2 es la fracción

del componente pesado que se obtiene por cabeza, en forma gaseosa y x_2 es la fracción del componente pesado que se obtiene por cola, en forma líquida.

En la siguiente tabla, se pueden observar todos los factores de separación obtenidos.

Pareja de compuestos	Factores de Separación
CO – Metanol	27.78
Metanol- Etileno	62.42
Etileno-Etano	2.37
Etano- Propileno	7.43
Propileno- Dimetil Éter	2.86
Dimetil Éter- 1_Buteno	2.04
1_Buteno- Propileno	1459.20
Metanol- Benceno	4.08
Benceno- Ciclooctano	7.29

Tabla 4. 1 Factores de Separación

Como puede observarse la destilación más sencilla es entre el 1-buteno y el propileno, con lo que se ha establecido aquí el primer corte de la destilación. Tras este corte, todos los demás se obtuvieron atendiendo a los factores de separación, de mayor a menor facilidad de separación, tal y como se muestra en la figura atendiendo al componente clave liviano y componente clave pesado.

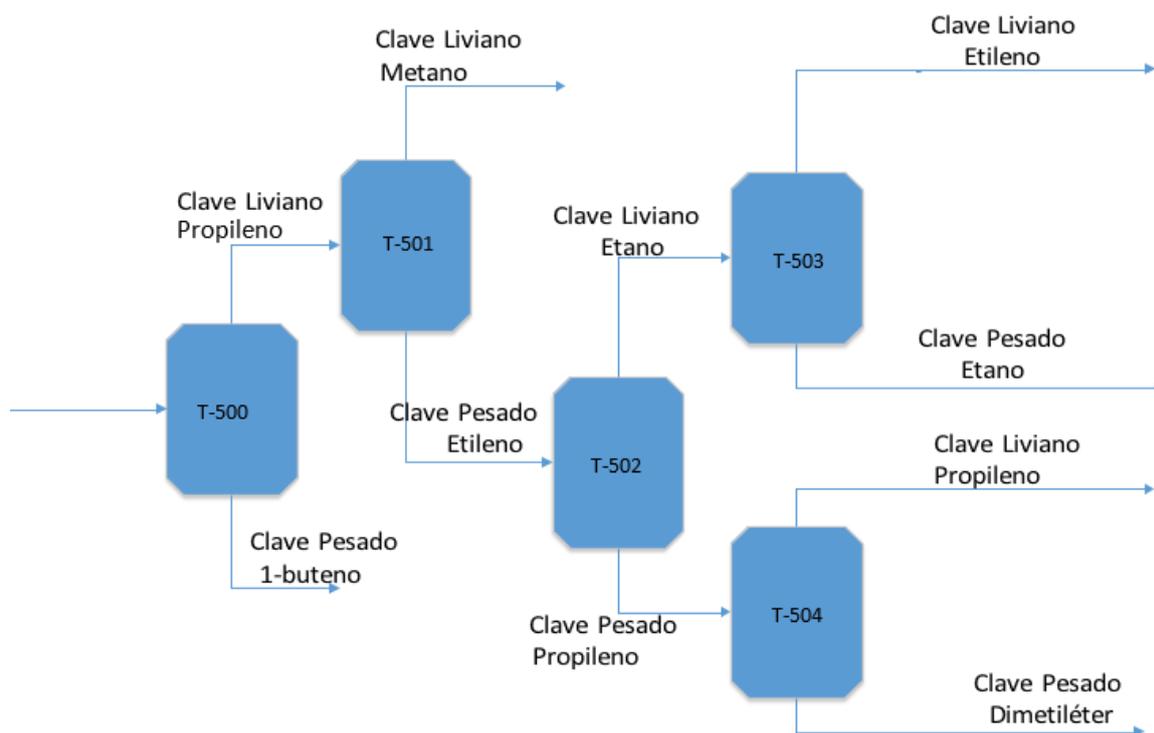


Ilustración 4.17. Representación de los componentes livianos y pesados.

Todas las columnas se han simulado previamente con el equipo Shortcut disponible en Hysys V9, herramienta que calcula el número mínimo de platos, atendiendo a la ecuación de Fenske-Underwood. Las columnas de destilación se han diseñado posteriormente con los valores obtenidos de los Shortcut.

También se realizaron casos de estudio para algunas columnas, con el fin de analizar cuál sería el número de platos indicado para obtener una mejor eficiencia de calor en los reboilers.

Método Corto ShortCut		Método Riguroso			
		Variables		Casos de Estudio	
CL en fondo	0,0100 fracción molar (propileno)	Número de Platos	32	18	12
CP en destilado	0,0010 fracción molar (1-buteno,)	Ingreso Alimentación	13	17	10
P condensador (kPa)	2837	Composición Fracción (propileno)	0,999	0,999	0,999
P reboiler (kPa)	2874	Composición Fracción (1-buteno)	0,99	0,99	0,99
Reflujo	1,3	Reflujo	1,3	1	1
Número de Platos	11,688	Diámetro	3,422	6,259	6,495
Ingreso Óptimo de Alimentación	10,222	tray sizing hysysv9 Altura	21,6	22,5	14,4
T° condensador (°C)	36,31	Perdida de Presión (mbar)	222,5	204	129,4
T° reboiler (°C)	129,1	ΔT °C	92,79	92,79	92,79
		Calor Reb (kcal/h)	2,15E+07	5,85E+07	5,87E+07
		Calor Cond (kcal/h)	2,05E+07	5,74E+07	5,76E+07
		Internal Type	Platos	Platos	Platos
Método Corto ShortCut		Método Riguroso			
		Variables		Casos de Estudio	
CL en fondo	0,0056 fracción molar (metanol)	Número de Platos	30	24	16
CP en destilado	0,0027 fracción molar (agua)	Ingreso Alimentación	20	17	12
P condensador (kPa)	120	Composición fracción másica (Metanol)	0,01	0,01	0,01
P reboiler (kPa)	170	Composición fracción (Agua)	0,0027	0,0027	0,0027
Reflujo	2	Reflujo	2	2	2
Número de Platos	15,885	Diámetro (m)	3,799	4,308	6,222
Ingreso Óptimo de Alimentación	11,218	tray sizing hysysv9 Altura (m)	19,51	14,63	9,754
T° condensador (°C)	71,46	Perdida de Presión (mbar)	221,6	164	108,2
T° reboiler (°C)	114,9	ΔT °C	43,44	43,44	43,44
		Calor Reb (kcal/h)	3,02E+07	3,74E+07	7,02E+07
		Calor Cond (kcal/h)	2,51E+07	3,46E+07	6,74E+07
		Internal Type	Platos	Platos	Platos

Tabla 4. 2. Métodos de análisis

4.5 BALANCE DE MASA- Tabla de Corrientes.

A continuación, se representan en diferentes tablas todas las corrientes del proceso con sus respectivas condiciones y composiciones. Las mismas fueron extraídas de la simulación en el programa Hysys V.9.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA	Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com	 POLIPROPILENO
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO			Año de cursada: 2020	
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido	Versión: 4 Fecha: 17/02/2023

➤ Primera etapa

DETALLE	CORRIENTES DE PROCESO						
	Metanol	1	2	3	4	5	6
Fracción de Vapor	0	0	0	1	1	1	1
Temperatura (°C)	25,00	25,10	31,27	122,58	480,00	579,23	425,00
Presión (Kpa)	101,32	685,00	685,00	616,05	547,10	498,84	457,47
Flujo Molar (Kmol/hr)	2.297,06	2.297,06	2.640,85	2.640,85	2.640,85	2.640,85	2.640,85
Flujo Másico (Kg/hr)	72.970,40	72.970,40	83.974,11	83.974,11	83.974,11	83.974,45	83.974,45
Flujo Volumétrico	91,50	91,50	105,32	105,32	105,32	112,30	112,30
Fracción molar (Metanol)	0,9804	0,9804	0,9826	0,9826	0,9826	0,1366	0,1366
Fracción molar (diM-Ether)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4230	0,4230
Fracción molar (H2O)	0,0196	0,0196	0,0174	0,0174	0,0174	0,4404	0,4404
Fracción molar (CO)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Metano)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Etano)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar(Cyclooctano)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Benceno)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (1-Buteno)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Propileno)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Etileno)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla 4.3. Corrientes de Proceso: 1 a 6.

DETALLE	CORRIENTES DE PROCESO						
	7	8	9	10	11	12	13
Fracción de Vapor	1	0	1	1	1	1	1
Temperatura (°C)	425,00	40,00	39,47	73,13	40,00	39,37	98,13
Presión (Kpa)	436,87	367,93	333,45	575,00	506,05	471,58	1.200,00
Flujo Molar (Kmol/hr)	3.044,75	3.044,75	1.307,74	1.307,74	1.307,74	1.295,23	1.295,23
Flujo Másico (Kg/hr)	83.974,00	83.974,00	47.687,03	47.687,03	47.687,03	47.151,59	47.151,59
Flujo Volumétrico	137,40	137,40	98,17	98,17	98,17	97,53	97,53
Fracción molar (Metanol)	0,1185	0,1185	0,0115	0,0115	0,0115	0,0099	0,0099
Fracción molar (diM-Ether)	0,0183	0,0183	0,0426	0,0426	0,0426	0,0430	0,0430
Fracción molar (H2O)	0,4630	0,4630	0,0155	0,0155	0,0155	0,0107	0,0107
Fracción molar (CO)	0,0103	0,0103	0,0241	0,0241	0,0241	0,0243	0,0243
Fracción molar (Metano)	0,0181	0,0181	0,0422	0,0422	0,0422	0,0426	0,0426
Fracción molar (Etano)	0,0097	0,0097	0,0225	0,0225	0,0225	0,0227	0,0227
Fracción molar(Cyclooctano)	0,0026	0,0026	0,0050	0,0050	0,0050	0,0033	0,0033
Fracción molar (Benceno)	0,0037	0,0037	0,0085	0,0085	0,0085	0,0082	0,0082
Fracción molar (1-Buteno)	0,0261	0,0261	0,0606	0,0606	0,0606	0,0610	0,0610
Fracción molar (Propileno)	0,1735	0,1735	0,4038	0,4038	0,4038	0,4074	0,4074
Fracción molar (Etileno)	0,1561	0,1561	0,3635	0,3635	0,3635	0,3669	0,3669

Tabla 4. 4 Corrientes de Proceso: 7 a 13.

CORRIENTES DE PROCESO							
DETALLE	14	MetanolR1	MetanolR2	MetanolR3	MetanolR4	15	16
Fracción de Vapor	1	0	0	0	0	1	1
Temperatura (°C)	45,00	39,68	39,58	44,75	-13,07	44,53	110,19
Presión (Kpa)	1.131,05	350,69	488,82	1.113,82	2.852,24	1.096,58	2.938,42
Flujo Molar (Kmol/hr)	1.295,23	1.737,01	12,51	17,24	8,86	1.277,99	1.277,99
Flujo Másico (Kg/hr)	47.151,59	36.286,98	535,44	788,99	178,35	46.362,60	46.362,60
Flujo Volumétrico	97,53	39,22	0,65	1,04	0,19	96,49	96,49
Fracción molar (Metanol)	0,0099	0,1990	0,1755	0,1702	0,1505	0,0078	0,0078
Fracción molar (diM-Ether)	0,0430	0,0001	0,0084	0,0246	0,0000	0,0432	0,0432
Fracción molar (H2O)	0,0107	0,7999	0,5173	0,3589	0,8495	0,0060	0,0060
Fracción molar (CO)	0,0243	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0247	0,0247
Fracción molar (Metano)	0,0426	0,0000	0,0002	0,0009	0,0000	0,0432	0,0432
Fracción molar (Etano)	0,0227	0,0000	0,0007	0,0024	0,0000	0,0230	0,0230
Fracción molar(Cyclooctano)	0,0033	0,0008	0,1880	0,1483	0,0000	0,0013	0,0013
Fracción molar (Benceno)	0,0082	0,0001	0,0439	0,0891	0,0000	0,0071	0,0071
Fracción molar (1-Buteno)	0,0610	0,0000	0,0188	0,0542	0,0000	0,0611	0,0611
Fracción molar (Propileno)	0,4074	0,0001	0,0391	0,1234	0,0000	0,4112	0,4112
Fracción molar (Etileno)	0,3669	0,0000	0,0079	0,0277	0,0000	0,3715	0,3715

Tabla 4.5 Corrientes de Proceso: 14 a 16.

CORRIENTES DE PROCESO							
DETALLE	17	18	19	20	21	22	23
Fracción de Vapor	0	1	0	0	0	0	0
Temperatura (°C)	-13,00	-13,23	-13,07	-17,36	-17,36	136,54	-12,44
Presión (Kpa)	2.869,48	2.835,00	2.852,24	2.837,00	2.837,00	2.874,00	320,00
Flujo Molar (Kmol/hr)	1.277,99	2,35	1.266,78	1.165,83	0,04	100,92	8,86
Flujo Másico (Kg/hr)	46.362,60	64,10	46.120,15	40.408,05	0,77	5.711,53	178,35
Flujo Volumétrico	96,49	0,14	96,16	87,17	0,00	8,99	0,19
Fracción molar (Metanol)	0,0078	0,0001	0,0068	0,0000	0,0000	0,0852	0,1505
Fracción molar (diM-Ether)	0,0432	0,0053	0,0436	0,0443	0,0000	0,0356	0,0000
Fracción molar (H2O)	0,0060	0,0001	0,0001	0,0000	1,0000	0,0000	0,8495
Fracción molar (CO)	0,0247	0,2820	0,0243	0,0265	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Metano)	0,0432	0,1967	0,0432	0,0470	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Etano)	0,0230	0,0168	0,0232	0,0252	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar(Cyclooctano)	0,0013	0,0000	0,0013	0,0000	0,0000	0,0166	0,0000
Fracción molar (Benceno)	0,0071	0,0000	0,0072	0,0000	0,0000	0,0898	0,0000
Fracción molar (1-Buteno)	0,0611	0,0041	0,0616	0,0002	0,0000	0,7718	0,0000
Fracción molar (Propileno)	0,4112	0,0944	0,4147	0,4505	0,0000	0,0010	0,0000
Fracción molar (Etileno)	0,3715	0,4006	0,3740	0,4064	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla 4. 6 Corrientes de Proceso: 17 a 23.

DETALLE	CORRIENTES DE PROCESO						
	24	25	26	27	28	29	30
Fracción de Vapor	0	0	0	0	1	0	0
Temperatura (°C)	28,23	19,98	39,67	39,24	38,98	39,23	39,23
Presión (Kpa)	330,00	320,00	350,69	320,00	285,53	302,76	302,76
Flujo Molar (Kmol/hr)	17,24	26,10	1.749,51	1.775,62	2,94	11,79	1.760,89
Flujo Másico (Kg/hr)	788,99	967,34	36.822,41	37.789,75	122,36	1.016,34	36.651,05
Flujo Volumétrico	1,04	1,23	39,87	41,10	0,23	1,27	39,59
Fracción molar (Metanol)	0,1702	0,1635	0,1988	0,1983	0,0130	0,0717	0,1994
Fracción molar (diM-Ether)	0,0246	0,0162	0,0001	0,0004	0,0730	0,0273	0,0000
Fracción molar (H2O)	0,3589	0,5254	0,7979	0,7939	0,0174	0,0009	0,8005
Fracción molar (CO)	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0018	0,0000	0,0000
Fracción molar (Metano)	0,0009	0,0006	0,0000	0,0000	0,0065	0,0001	0,0000
Fracción molar (Etano)	0,0024	0,0016	0,0000	0,0000	0,0146	0,0009	0,0000
Fracción molar(Cyclooctano)	0,1483	0,0980	0,0021	0,0035	0,0045	0,5275	0,0000
Fracción molar (Benceno)	0,0891	0,0589	0,0004	0,0013	0,0178	0,1896	0,0000
Fracción molar (1-Buteno)	0,0542	0,0358	0,0002	0,0007	0,1258	0,0749	0,0000
Fracción molar (Propileno)	0,1234	0,0815	0,0004	0,0016	0,5465	0,1000	0,0000
Fracción molar (Etileno)	0,0277	0,0183	0,0001	0,0003	0,1790	0,0072	0,0000

Tabla 4. 7 Corrientes de Proceso: 24 a 30.

DETALLE	CORRIENTES DE PROCESO						
	31	32	33	34	35	Agua a tratar	36
Fracción de Vapor	0	0	0	0	0	0	1
Temperatura (°C)	39,26	71,03	71,18	71,18	114,98	114,97	-112,17
Presión (Kpa)	150,00	120,00	685,00	685,00	170,00	170,00	383,43
Flujo Molar (Kmol/hr)	1.760,89	344,20	344,20	343,79	1.416,69	1.416,74	85,01
Flujo Másico (Kg/hr)	36.651,05	11.016,86	11.016,86	11.003,72	25.634,19	25.634,96	1.733,22
Flujo Volumétrico	39,59	13,84	13,84	13,83	25,75	25,75	3,98
Fracción molar (Metanol)	0,1994	0,9970	0,9970	0,9970	0,0057	0,0057	0,0000
Fracción molar (diM-Ether)	0,0000	0,0003	0,0003	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (H2O)	0,8005	0,0027	0,0027	0,0027	0,9943	0,9943	0,0000
Fracción molar (CO)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3628
Fracción molar (Metano)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,6368
Fracción molar (Etano)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar(Cyclooctano)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Benceno)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (1-Buteno)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Propileno)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Etileno)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003

Tabla 4. 8 Corrientes de Proceso: 31 a 36.

DETALLE	CORRIENTES DE PROCESO						
	37	38	39	40	41	42	43
Fracción de Vapor	0	0	0	1	0	0	0
Temperatura (°C)	19,64	-14,88	67,06	64,38	91,78	-15,63	6,22
Presión (Kpa)	400,11	396,78	400,11	391,41	396,78	396,78	408,52
Flujo Molar (Kmol/hr)	1.080,82	497,61	583,21	531,86	51,35	474,29	23,32
Flujo Másico (Kg/hr)	38.674,83	14.006,30	24.668,53	22.300,90	2.367,63	13.305,62	700,68
Flujo Volumétrico	83,19	36,70	46,49	42,96	3,54	34,75	1,95
Fracción molar (Metanol)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (diM-Ether)	0,0478	0,0000	0,0885	0,0010	0,9950	0,0000	0,0000
Fracción molar (H2O)	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
Fracción molar (CO)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Metano)	0,0006	0,0012	0,0000	0,0000	0,0000	0,0013	0,0000
Fracción molar (Etano)	0,0272	0,0501	0,0076	0,0083	0,0000	0,0083	0,9000
Fracción molar(Cyclooctano)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Benceno)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (1-Buteno)	0,0002	0,0000	0,0004	0,0000	0,0040	0,0000	0,0000
Fracción molar (Propileno)	0,4859	0,0006	0,9000	0,9868	0,0010	0,0000	0,0125
Fracción molar (Etileno)	0,4383	0,9479	0,0035	0,0039	0,0000	0,9903	0,0875

Tabla 4. 9 Corrientes de Proceso: 37 a 43.

➤ Segunda etapa

DETALLE	CORRIENTES DE PROCESO									
	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
Fracción de Vapor	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0
Temperatura (°C)	25,00	16,30	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00
Presión (Kpa)	101,32	101,32	101,32	101,32	101,32	101,32	101,32	101,32	101,32	101,32
Flujo Molar (Kmol/hr)	5,27	537,12	64,87	13,33	51,54	1,03	12,31	12,29	0,02	52,58
Flujo Másico (Kg/hr)	10,62	22.311,51	22.311,17	666,28	21.644,89	431,46	234,82	226,25	8,57	22.084,92
Flujo Volumétrico	24,54	43,11	25,25	1,20	24,05	0,48	0,72	0,71	0,01	24,54
Fracción molar (Propileno)	0,0000	0,9771	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (Etileno)	0,0000	0,0038	0,0317	0,1544	0,0000	0,0000	0,1673	0,1676	0,0000	0,0000
Fracción molar (Hidrógeno)	1,0000	0,0098	0,0812	0,3949	0,0000	0,0000	0,4279	0,4286	0,0000	0,0000
Fracción molar (Polipropileno)	0,0000	0,0000	0,8106	0,0786	1,0000	1,0000	0,0017	0,0000	1,0000	1,0000
Fracción molar (Etano)	0,0000	0,0082	0,0683	0,3322	0,0000	0,0000	0,3600	0,3606	0,0000	0,0000
Fracción molar (1-Buteno)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fracción molar (dimetiléter)	0,0000	0,0010	0,0082	0,0399	0,0000	0,0000	0,0432	0,0433	0,0000	0,0000

Tabla 4. 10 Corrientes de Proceso: 44 a 53.

4.6 BALANCE GLOBAL DEL PROCESO

Seguidamente, se presentarán las tablas resumen de los flujos molares, másicos y volumétricos de entrada y salida del proceso para una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

DETALLE	CORRIENTES DE ENTRADA	
	Metanol	44
Flujo Molar (Kmol/hr)	2.297,06	5,26
Total	2.302,32	
Flujo Másico (Kg/hr)	72.970,40	10,60
Total	72.981,00	
Flujo Volumétrico (m3/h)	91,50	24,54
Total	116,04	

Tabla 4. 11. Corrientes de entrada.

DETALLE	CORRIENTES DE SALIDA										
	18	22	Agua a tratar	28	29	36	41	42	43	51	53
Flujo Molar (Kmol/hr)	2,35	100,92	1.416,74	2,94	11,79	85,01	51,35	474,29	23,32	12,29	52,58
Total	2.210,26										
Flujo Másico (Kg/hr)	64,10	5.711,53	25.634,96	122,36	1.016,34	1.733,22	2.367,63	13.305,62	700,68	226,25	22.084,92
Total	72.967,61										
Flujo Volumétrico (m3/h)	0,14	8,99	25,75	0,23	1,27	3,98	3,54	34,75	1,95	0,71	24,54
Total	103,91										

Tabla 4. 12. Corrientes de salida.

4.7 BIBLIOGRAFÍA

Aspentech. (2015). *Manual de Hysys*. UTN Facultad Regional Mendoza.

Department, C. a. (2018). Design Of A Methanol-To-Olefinprocess Using Aspen Hysys: Material And Energy Balances. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*.

Gabriele Mei, P. H. (2004). *The Spherizone Process: A New PP Manufacturing Platform*. Macromol.

Galal Nasser, M. Q. (2016). *Manufacturing of DME from Methanol*. Research.

Pasquini, N. (s.f.). *Polypropylene Handbook*. Hanser.

Ricardo R. Wanderley, O. d. (2013). Síntese e Análise Econômica de Processo para Produção de Propileno a Partir de Metanol. *Instituto brasileiro de petróleo, gas y biocombustibles*.

Shuoshi Liu, L. Y. (2020). *Comprehensive energy analysis and integration of coal-based MTO process*. Guangzhou,China: Energy, EGY 119060.

Yih-Hang Chen, W. H.-D. (2021). Design and economic analysis of industrial-scale methanol-to-olefins plants. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.*, 1-14.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 4 Fecha: 17/02/2023		

Capítulo N°5

Servicios Auxiliares

5. SERVICIOS AUXILIARES DE LA PLANTA

Los servicios auxiliares se definen como los servicios imprescindibles para el funcionamiento de los equipos y el proceso, estos no forman parte directa de los mismos, pero sin ellos no se podría llevar a cabo el proceso. Es una de las áreas indispensables para mantener la operación óptima y continua de la planta.

A continuación, se detallarán cada uno de ellos, así como también el procedimiento de cálculo y obtención de los mismos.

5.1 ANÁLISIS DE INTEGRACION TÉRMICA

En esta sección del capítulo de servicios auxiliares se describe la manera de realizar la optimización de recuperación energética en un proceso industrial, indicando de qué modo se pueden aprovechar aquellas corrientes calientes y frías de una planta, para intercambiar calor entre ellas, minimizando así los consumos de servicios auxiliares dentro de un proceso productivo. Se diseñan redes de intercambio de energía de tal manera que las corrientes del proceso que se desean enfriar lo hagan mediante las corrientes del mismo proceso que deben ser calentadas y viceversa.

Se comienza con un análisis del flujo de calor del proceso. Se calcula la integración del calor sobre la posición de los perfiles de las corrientes frías y calientes en un diagrama de temperatura-entalpía, que se operan por la diferencia mínima de temperatura (Δt_{min}), y luego se calcula la cantidad de intercambiadores de calor para el cruce de corrientes.

Siguiendo este criterio, se definieron las corrientes que requieren de un servicio de calentamiento o enfriamiento, sabiendo que las frías son aquellas donde la temperatura final es mayor que la inicial y las calientes viceversa (Julieta Martínez, 2015). Los datos necesarios son temperaturas de entrada y salida, la capacidad de flujo de calor de la corriente (flujo másico por el calor específico de la corriente) y su correspondiente entalpía que se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta H = C_p(\Delta T)$$

Se muestra a continuación la tabla de datos que representa las corrientes calientes (son aquellas que requieren ser enfriadas), presentadas en color rojo y las corrientes frías, (son las que necesitan ser calentadas), están presentadas en color azul.

Tipo de corriente	Corrientes del proceso	T ingreso (°C)	T Egreso (°C)	Flujo Másico	Flujo Másico (Kg/seg)	Calor Específico (KJ/Kg °C)	$\Delta T(^{\circ}C)$	FCp (KW/°C)	ΔH (KW)
1-caliente	5	579,2	425	83.970	23,33	2,65	154,20	61,79	-9.527,70
2- caliente	7	425	40	83.970	23,33	2,51	385,00	58,57	-22.549,09
3-caliente	10	73,13	40	47.690	13,25	1,74	33,13	23,04	-763,21
4- caliente	13	98,13	45	47.150	13,10	1,87	53,13	24,47	-1.299,86
5- caliente	cond T-504	64,61	64,37	176.800	49,11	2,71	0,24	132,90	-31,90
6- caliente	cond T-600	71,46	71,03	58.480	16,24	1,51	0,43	24,56	-10,56
7A- fría	reb T-500	129,2	136,6	45.900	12,75	4,18	7,40	53,26	394,14
7B- fría		129,2	136,6	45.900	12,75	4,18	7,40	53,26	394,14
7C- fría		129,2	136,6	45.900	12,75	4,18	7,40	53,26	394,14
7-D fría		129,2	136,6	45.900	12,75	4,18	7,40	53,26	394,14
8- fría	reb T-501	12,4	19,66	56.390	15,66	3,40	7,26	53,25	386,59
9A- fría	reb T-502	66,07	67,05	40.840	11,34	4,17	0,98	47,32	46,37
9B- fría		66,07	67,05	40.840	11,34	4,17	0,98	47,32	46,37
10A- fría	reb T-503	5,118	6,217	27.255	7,57	4,73	1,10	35,79	39,33
10B- fría		5,118	6,217	27.255	7,57	4,73	1,10	35,79	39,33
11A- fría	reb T-504	91,74	91,78	52.267	14,52	3,78	0,04	54,86	2,19
11B- fría		91,74	91,78	52.267	14,52	3,78	0,04	54,86	2,19
11C- fría		91,74	91,78	52.267	14,52	3,78	0,04	54,86	2,19
12A- fría		114,9	115	39.110	10,86	4,44	0,10	48,23	4,82
12B- fría	reb T-600	114,9	115	39.110	10,86	4,44	0,10	48,23	4,82
13- fría	2	31,27	122,6	41.985	11,66	3,53	91,33	41,20	3.763,13
14- fría	2a	31,27	122,6	41.985	11,66	3,53	91,33	41,20	3.763,13

AH caliente	Ahfria	AH necesario
-34.182,32	9.677,04	-24.505,28

Tabla 5. 1. Tabla de datos

De esta manera realizando la sumatoria de las energías de las corrientes calientes y frías, podremos determinar qué cantidad de energía requieren las corrientes para obtener su temperatura final. Así, se puede observar que las corrientes frías requieren 9677,04 KW para obtener su temperatura y las corrientes calientes pueden ceder un total de 34.182, 32KW para obtener sus correspondientes temperaturas, por lo que se obtiene un remanente de energía que deberá ser cubierto con servicios de enfriamiento.

Las corrientes se pueden representar en un diagrama de temperatura donde se definen dos escalas de temperatura, una para las corrientes calientes y otra para las frías, desplazadas entre sí por el valor de ΔT_{min} . Sobre esas escalas se representan las corrientes por rectas determinadas por sus temperaturas iniciales y finales. Los puntos extremos de esas rectas definen intervalos de temperaturas en los que el intercambio es posible, donde se cumple el

ΔT_{min} , que es la fuerza impulsora que requiere los intercambios. Para que el intercambio sea posible se estableció que el ΔT_{min} es de 20 °C teniendo en cuenta la siguiente tabla (Benz, 1999):

No	Industrial Sector	Experience ΔT_{min} Values
1	Oil Refining	20-40°C
2	Petrochemical	10-20°C
3	Chemical	10-20°C
4	Low Temperature Processes	3-5°C

Tabla 5. 2 Valores de ΔT_{min} para diferentes sectores industriales.

Los datos del proceso se representan como un conjunto de flujos de energía, o corrientes, como una función de la carga de calor frente a la temperatura. Estos datos se combinan para todas las corrientes del proceso para representar curvas compuestas, una para todas las corrientes calientes (liberación de calor) y una para todos los flujos de frío (que requieren calor). Estas dos curvas compuestas se pueden manejar para calcular con base en éste el gasto de operación (servicios) y el número de intercambiadores implicado.

La gran curva compuesta es construida con los mismos datos con los que se construyen las curvas de composición simples. Esto se realiza aproximando ambas curvas ($\Delta T_{min}/2$) y restando ambas entalpías en cada temperatura objetivo. Mediante estas curvas se pueden determinar las utilidades y el lugar aproximado para los equipos.

Para obtener dichas curvas compuestas se procede a armar una tabla, teniendo en cuenta los siguientes cálculos:

- 1) Se corrigen las temperaturas de trabajo (iniciales y finales de cada corriente) teniendo en cuenta:
 - A las corrientes frías le sumamos $\Delta T_{min}/2=20/2=10^{\circ}\text{C}$
 - A las corrientes calientes le restamos $\Delta T_{min}/2=20/2=10^{\circ}\text{C}$
- 2) Se ordenan de forma descendente las temperaturas ajustadas, si alguna de estas se repitiera solo tendría que colocar una sola en la tabla.
- 3) Se calcula el gradiente de temperatura de cada intervalo ($\Delta T = \text{Temp. Interv sup} - \text{Temp. Interv inf}$).
- 4) Se realiza el análisis del comportamiento de cada corriente en función de los intervalos.

- 5) Se agrega el valor de FC_p a las corrientes (se deja en blanco el valor de la temperatura final porque una vez que llega a ese valor ya no se transfiere energía).
- 6) Se suman los valores de FC_p correspondientes al tipo de corriente (caliente o fría).
- 7) Se calcula el calor de la corriente fría y caliente para cada intervalo $Q=FC_p(\Delta T)$.
- 8) Se calcula el ΔH acumulado de las corrientes calientes y de las corrientes frías, comenzando con el intervalo menor, y agregando el Q_c de la corriente del intervalo superior. Siempre empezando en 0. Estos calores deben coincidir con los calores calculados anteriormente en la tabla anterior.
- 9) Se calcula la diferencia de las columnas Q_c calientes (Q_{CC}) – Q_c frías (Q_{CF}). Esta columna nos muestra que cantidad se puede ceder o aceptar de calor.
- 10) Se calcula la cascada de calor (Q°), empezando por el valor 0 y sumando el valor de la diferencia $Q_{CC}-Q_{CF}$ del intervalo siguiente. El valor de la última celda debe coincidir con el ΔH Necesario calculado en la tabla anterior.
- 11) Se calcula la corrección de la cascada de calor. Se identifica cual es el valor más pequeño incluyendo el número cero. Si el valor más chico fuese el cero, entonces la cascada de calor sería igual que la cascada de calor corregida y no habría nada que corregir. Esta columna muestra en la primera celda el servicio de calentamiento que en nuestro caso sería igual a cero y en la última el servicio de enfriamiento que en nuestro caso sería de 24.505,28KW.

A continuación, se muestran los resultados de los datos obtenidos:

Temperatura ajustadas	ΔT	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7A	C-7B	C-7C	C-7D	C-8	C-9A	C-9B	C-10A	C-10B	C-11A
569,20																	
415,00	154,2	61,79															
146,60	268,4		58,57														
139,20	7,4		58,57					53,26	53,26	53,26	53,26						
132,60	6,6		58,57														
125,00	7,6		58,57														
124,90	0,1		58,57														
101,78	23,12		58,57														
101,74	0,04		58,57														54,86
88,13	13,61		58,57														
77,05	11,08		58,57		24,47												
76,07	0,98		58,57		24,47							47,32	47,32				
63,13	12,94		58,57		24,47												
61,46	1,67		58,57	23,04	24,47												
61,03	0,43		58,57	23,04	24,47		24,56										
54,61	6,42		58,57	23,04	24,47												
54,37	0,24		58,57	23,04	24,47	132,90											
41,27	13,1		58,57	23,04	24,47												
35,00	6,27		58,57	23,04	24,47												
30,00	5		58,57	23,04													
29,66	0,34																
22,40	7,26											53,25					
16,22	6,183																
15,118	1,099														35,79	35,79	

Tabla 5. 3 Tabla problema.

Temperatura ajustadas	ΔT	C-11B	C-11C	C-12A	C-12B	C-13	C-14	C.calientes FCp	C.frías FCp	QC. Calientes	QC. Frías	AH C.Calientes	AH C.frías	QCC-QCF	Q acumulado
569,20								0,00	0,00	0,00	0,00	34.182,32		0,00	0,00
415,00	154,2							61,79	0,00	9.527,70	0,00	24.654,62		9.527,70	9.527,70
146,60	268,4							58,57	0,00	15.719,94	0,00	8.934,68	9.677,04	15.719,94	25.247,64
139,20	7,4							58,57	213,05	433,41	1.576,55	8.501,27	8.100,48	-1.143,14	24.104,50
132,60	6,6							58,57	0,00	386,56	0,00	8.114,71	8.100,48	386,56	24.491,05
125,00	7,6					41,20	41,20	58,57	82,41	445,12	626,29	7.669,59	7.474,19	-181,17	24.309,88
124,90	0,1			48,23	48,23	41,20	41,20	58,57	178,88	5,86	17,89	7.663,73	7.456,30	-12,03	24.297,85
101,78	23,12					41,20	41,20	58,57	82,41	1.354,12	1.905,26	6.309,62	5.551,05	-551,14	23.746,72
101,74	0,04	54,86	54,86			41,20	41,20	58,57	246,98	2,34	9,88	6.307,27	5.541,17	-7,54	23.739,18
88,13	13,61					41,20	41,20	58,57	82,41	797,13	1.121,56	5.510,15	4.419,61	-324,44	23.414,74
77,05	11,08					41,20	41,20	83,03	82,41	920,02	913,07	4.590,12	3.506,53	6,95	23.421,69
76,07	0,98					41,20	41,20	83,03	177,04	81,37	173,50	4.508,75	3.333,03	-92,13	23.329,56
63,13	12,94					41,20	41,20	83,03	82,41	1.074,47	1.066,35	3.434,28	2.266,68	8,12	23.337,68
61,46	1,67					41,20	41,20	106,07	82,41	177,14	137,62	3.257,14	2.129,06	39,52	23.377,20
61,03	0,43					41,20	41,20	130,63	82,41	56,17	35,44	3.200,97	2.093,62	20,74	23.397,94
54,61	6,42					41,20	41,20	106,07	82,41	680,98	529,05	2.519,99	1.564,57	151,93	23.549,86
54,37	0,24					41,20	41,20	238,97	82,41	57,35	19,78	2.462,64	1.544,79	37,58	23.587,44
41,27	13,1					41,20	41,20	106,07	82,41	1.389,54	1.079,53	1.073,10	465,26	310,00	23.897,44
35,00	6,27							106,07	0,00	665,07	0,00	408,03	465,26	665,07	24.562,51
30,00	5							81,61	0,00	408,03	0,00	0,00	465,26	408,03	24.970,54
29,66	0,34							0,00	0,00	0,00	0,00		465,26	0,00	24.970,54
22,40	7,26							0,00	53,25	0,00	386,59		78,67	-386,59	24.583,95
16,22	6,183							0,00	0,00	0,00	0,00		78,67	0,00	24.583,95
15,118	1,099							0,00	71,58	0,00	78,67		0,00	-78,67	24.505,28

Tabla 5. 4. Tabla problema.

Con los datos de la tabla se procede a graficar las curvas compuestas. Se le agrega el $\Delta T_{\min} / 2$ (10°C) a los intervalos de las corrientes calientes y se les resta el mismo valor a las corrientes frías para así obtener las temperaturas originales.

- Curva Compuesta

Curva compuesta caliente		Curva compuesta fría	
Temperatura	AH caliente	Temperatura	AH fría
579,20	34182,31896	136,60	9677,035173
425,00	24654,62092	129,20	8100,484413
156,60	8934,681194	122,60	8100,484413
149,20	8501,270039	115,00	7474,189503
142,60	8114,714144	114,90	7456,301865
135,00	7669,589174	91,78	5551,046823
134,90	7663,732267	91,74	5541,167547
111,78	6309,615253	78,13	4419,605215
111,74	6307,27249	67,05	3506,533162
98,13	5510,147379	66,07	3333,029209
87,05	4590,123057	53,13	2266,679718
86,07	4508,749064	51,46	2129,059652
73,13	3434,280226	51,03	2093,624545
71,46	3257,140645	44,61	1564,570161
71,03	3200,969764	44,37	1544,792427
64,61	2519,990056	31,27	465,2577792
64,37	2462,636972	25,00	465,2577792
51,27	1073,098939	20,00	465,2577792
45,00	408,0299722	19,66	465,2577792
40,00	0	12,40	78,66720578
		6,22	78,66720578
		5,118	0

Tabla 5. 6. Tabla problema.

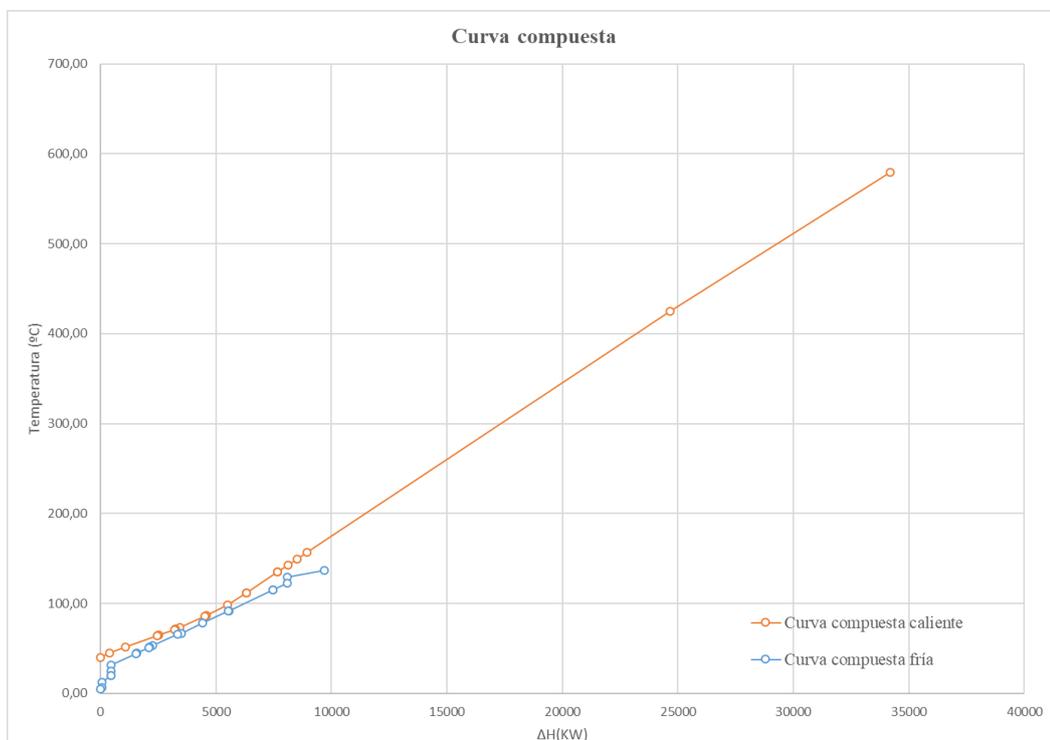


Ilustración 5. 1 Curva Compuesta

- Curva compuesta ajustada

En la siguiente curva se considera el servicio de enfriamiento.

Curva compuesta fría ajustada		Curva compuesta caliente	
Temperatura	AH fría	Temperatura	AH caliente
136,60	34.182,32	579,20	34182,31896
129,20	32.605,77	425,00	24654,62092
122,60	32.605,77	156,60	8934,681194
115,00	31.979,47	149,20	8501,270039
114,90	31.961,59	142,60	8114,714144
91,78	30.056,33	135,00	7669,589174
91,74	30.046,45	134,90	7663,732267
78,13	28.924,89	111,78	6309,615253
67,05	28.011,82	111,74	6307,27249
66,07	27.838,31	98,13	5510,147379
53,13	26.771,96	87,05	4590,123057
51,46	26.634,34	86,07	4508,749064
51,03	26.598,91	73,13	3434,280226
44,61	26.069,85	71,46	3257,140645
44,37	26.050,08	71,03	3200,969764
31,27	24.970,54	64,61	2519,990056
25,00	24.970,54	64,37	2462,636972
20,00	24.970,54	51,27	1073,098939
19,66	24.970,54	45,00	408,0299722
12,40	24.583,95	40,00	0
6,22	24.583,95		
5,118	24.505,28		

Tabla 5. 7. Tabla problema.

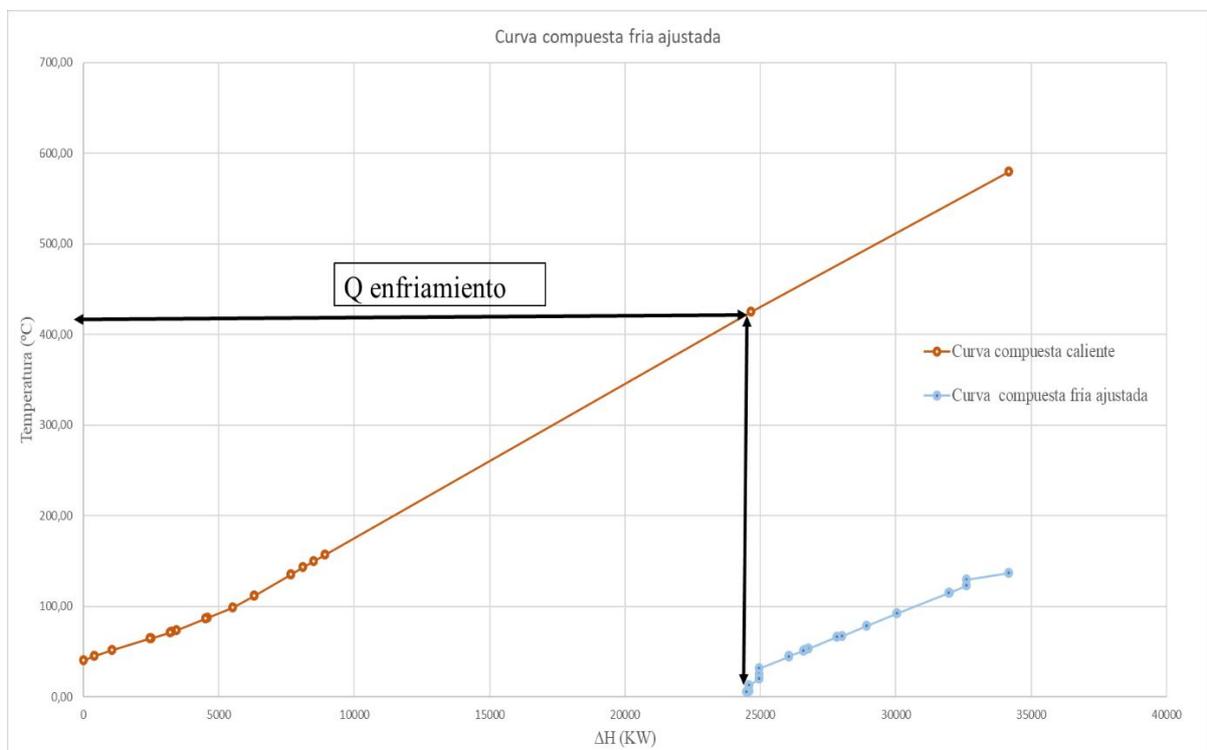


Ilustración 5. 2 Curva Compuesta Ajustada

- Gran curva compuesta

Gran curva compuesta	
Temperatura	AH
569,20	0,00
415,00	9.527,70
146,60	25.247,64
139,20	24.104,50
132,60	24.491,05
125,00	24.309,88
124,90	24.297,85
101,78	23.746,72
101,74	23.739,18
88,13	23.414,74
77,05	23.421,69
76,07	23.329,56
63,13	23.337,68
61,46	23.377,20
61,03	23.397,94
54,61	23.549,86
54,37	23.587,44
41,27	23.897,44
35,00	24.562,51
30,00	24.970,54
29,66	24.970,54
22,40	24.583,95
16,22	24.583,95
15,118	24.505,28

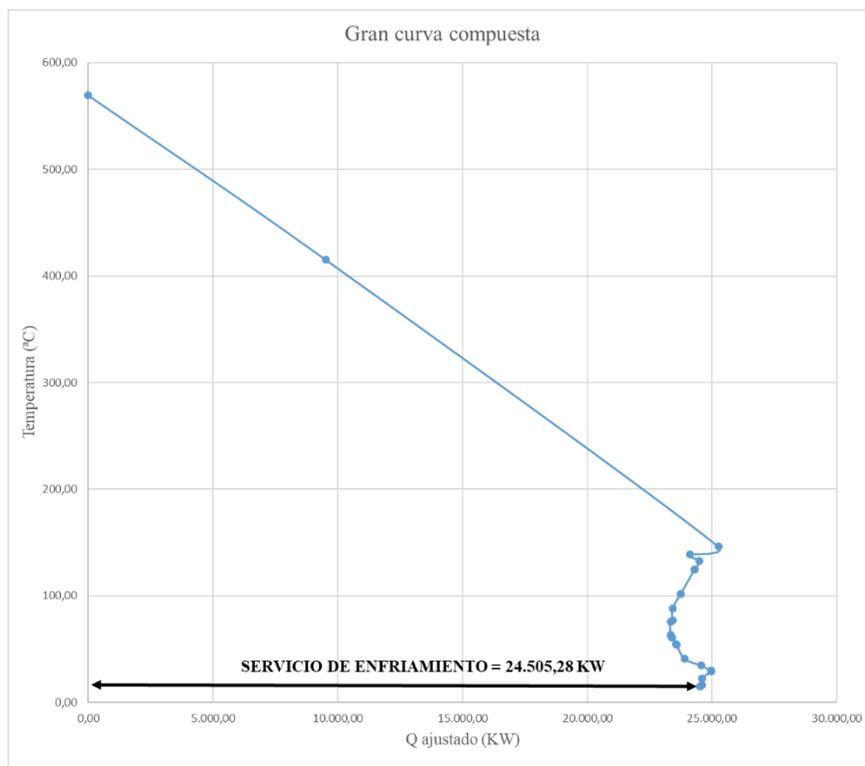


Ilustración 5. 3 Gran Curva Compuesta

➤ Red de integración térmica

Para representar el diseño de la red de intercambio, se analizan las corrientes teniendo en cuenta las posibilidades de cruce considerando algunas condiciones de diseño:

- ✓ Las temperaturas de las corrientes calientes, siempre tiene que ser mayor a las temperaturas de las corrientes frías (Para respetar la 2da ley de la termodinámica)
- ✓ Se debe respetar el valor de ΔT_{min} .
- ✓ FC_p (Corrientes Calientes) \geq FC_p (Corrientes Frías)

Si no es así, dividir una corriente fría (en nuestro caso fue necesario la división de corrientes frías debido a que su FC_p era mayor que el FC_p de las corrientes calientes, y de lo contrario, no podría realizarse el intercambio).

Se realizan combinaciones para evaluar el cruce de corrientes posibles. En primer lugar, se favorecen los intercambios de calor que sean de mayor energía, se comparan los FC_p para cumplir la regla y luego se evalúa la energía intercambiada (Guillermo D. Evangelista Benites, 2016). En la siguiente tabla se marcan en celeste las combinaciones que son posibles y en verde las que no.

Posibilidades	FCp caliente		FCp fria	Energia intercambiada
Corriente 1-7A	61,7879	>	53,2619	394,14
Corriente 1-7B	61,7879	>	53,2619	394,14
Corriente 1-7C	61,7879	>	53,2619	394,14
Corriente 1-7D	61,7879	>	53,2619	394,14
Corriente 1-8	61,7879	>	53,2494	386,59
Corriente 1-9A	61,7879	>	47,3188	46,37
Corriente 1-9B	61,7879	>	47,3188	46,37
Corriente 1-10A	61,7879	>	35,7904	39,33
Corriente 1-10B	61,7879	>	35,7904	39,33
Corriente 1-11A	61,7879	>	54,8582	2,19
Corriente 1-11B	61,7879	>	54,8582	2,19
Corriente 1-11C	61,7879	>	54,8582	2,19
Corriente 1-12A	61,7879	>	48,2346	4,82
Corriente 1-12B	61,7879	>	48,2346	4,82
Corriente 1-13	61,7879	>	41,2036	3.763,13
Corriente 1-14	61,7879	>	41,2036	3.763,13

Posibilidades	FCp caliente		FCpfria	Energia intercambiada
Corriente 2-7A	58,5691	>	53,2619	394,14
Corriente 2-7B	58,5691	>	53,2619	394,14
Corriente 2-7C	58,5691	>	53,2619	394,14
Corriente 2-7D	58,5691	>	53,2619	394,14
Corriente 2-8	58,5691	>	53,2494	386,59
Corriente 2-9A	58,5691	>	47,3188	46,37
Corriente 2-9B	58,5691	>	47,3188	46,37
Corriente 2-10A	58,5691	>	35,7904	39,33
Corriente 2-10B	58,5691	>	35,7904	39,33
Corriente 2-11A	58,5691	>	54,8582	2,19
Corriente 2-11B	58,5691	>	54,8582	2,19
Corriente 2-11C	58,5691	>	54,8582	2,19
Corriente 2-12A	58,5691	>	48,2346	4,82
Corriente 2-12B	58,5691	>	41,2036	4,82
Corriente 2-13	58,5691	>	41,2036	3.763,13
Corriente 2-14	58,5691	>	41,2036	3.763,13

Posibilidades	FCp caliente		FCpfria	Energia intercambiada
Corriente 4-7A	24,4656	<	53,26	
Corriente 4-7B	24,4656	<	53,26	
Corriente 4-7C	24,4656	<	53,26	
Corriente 4-7D	24,4656	<	53,26	
Corriente 4-8	24,4656	<	53,25	
Corriente 4-9A	24,4656		47,32	
Corriente 4-9B	24,4656	<	47,32	
Corriente 4-10A	24,4656		35,79	
Corriente 4-10B	24,4656	<	35,79	
Corriente 4-11A	24,4656	<	54,86	
Corriente 4-11B	24,4656	<	54,86	
Corriente 4-11C	24,4656	<	54,86	
Corriente 4-12A	24,4656	<	48,23	
Corriente 4-12B	24,4656	<	48,23	
Corriente 4-13	24,4656	<	41,20	
Corriente 4-14	24,4656	<	41,20	

Posibilidades	FCp caliente		FCpfria	Energia intercambiada
Corriente 5-7A	132,8996	>	53,26	31,90
Corriente 5-7B	132,8996	>	53,26	31,90
Corriente 5-7C	132,8996	>	53,26	31,90
Corriente 5-7D	132,8996	>	53,26	31,90
Corriente 5-8	132,8996	>	53,25	31,90
Corriente 5-9A	132,8996		47,32	31,90
Corriente 5-9B	132,8996	>	47,32	31,90
Corriente 5-10A	132,8996		35,79	31,90
Corriente 5-10B	132,8996	>	35,79	31,90
Corriente 5-11A	132,8996	>	54,86	2,19
Corriente 5-11B	132,8996	>	54,86	2,19
Corriente 5-11C	132,8996	>	54,86	2,19
Corriente 5-12A	132,8996	>	48,23	4,82
Corriente 5-12B	132,8996	>	48,23	4,82
Corriente 5-13	132,8996	>	41,20	31,90
Corriente 5-14	132,8996	>	41,20	31,90

Posibilidades	FCp caliente		FCpfria	Energia intercambiada
Corriente 3-7A	23,0369	<	53,2619	
Corriente 3-7B	23,0369	<	53,2619	
Corriente 3-7C	23,0369	<	53,2619	
Corriente 3-7D	23,0369	<	53,2619	
Corriente 3-8	23,0369	<	53,2494	
Corriente 3-9A	23,0369	<	47,3188	
Corriente 3-9B	23,0369	<	47,3188	
Corriente 3-10A	23,0369	<	35,7904	
Corriente 3-10B	23,0369	<	35,7904	
Corriente 3-11A	23,0369	<	54,8582	
Corriente 3-11B	23,0369	<	54,8582	
Corriente 3-11C	23,0369	<	54,8582	
Corriente 3-12A	23,0369	<	48,2346	
Corriente 3-12B	23,0369	<	48,2346	
Corriente 3-13	23,0369	<	41,2036	
Corriente 3-14	23,0369	<	41,2036	

Posibilidades	FCp caliente		FCpfria	Energia intercambiada
Corriente 6-7A	24,5584	<	53,26	
Corriente 6-7B	24,5584	<	53,26	
Corriente 6-7C	24,5584	<	53,26	
Corriente 6-7D	24,5584	<	53,26	
Corriente 6-8	24,5584	<	53,25	
Corriente 6-9A	24,5584		47,32	
Corriente 6-9B	24,5584	<	47,32	
Corriente 6-10A	24,5584		35,79	
Corriente 6-10B	24,5584	<	35,79	
Corriente 6-11A	24,5584	<	54,86	
Corriente 6-11B	24,5584	<	54,86	
Corriente 6-11C	24,5584	<	54,86	
Corriente 6-12A	24,5584	<	48,23	
Corriente 6-12B	24,5584	<	48,23	
Corriente 6-13	24,5584	<	41,20	
Corriente 6-14	24,5584	<	41,20	

Tabla 5.8. Posibilidades de intercambio de corrientes.

Se representan en una tabla la cantidad de intercambiadores de calor necesarios para realizar el cruce de corrientes con su ΔH correspondiente y su temperatura final.

Intercambiador 1			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	22.549,09	18.785,97	360,75
13-fria	3.763,13		

Intercambiador 2			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	18.785,97	15.022,84	296,50
14-fria	3.763,13		

Intercambiador 5			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	14.234,57	13.840,43	276,31
7C-fria	394,14		

Intercambiador 6			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	13.840,43	13.446,29	269,58
7D-fria	394,14		

Intercambiador 9			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	13.013,33	12.966,96	261,40
9B-fria	46,37		

Intercambiador 10			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	12.966,96	12.927,62	260,72
10A-fria	39,33		

Intercambiador 13			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	12.883,47	12.878,64	259,89
12B-fria	4,82		

Intercambiador 14			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	12.888,29	12.886,09	259,85
11A-fria	2,19		

Intercambiador 3			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	15.022,84	14.628,70	289,77
7A-fria	394,14		

Intercambiador 4			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	14.628,70	14.234,57	283,04
7B-fria	394,14		

Intercambiador 7			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	13.446,29	13.059,70	262,98
8-fria	386,59		

Intercambiador 8			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	13.059,70	13.013,33	262,19
9A-fria	46,37		

Intercambiador 11			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	12.927,62	12.888,29	260,05
10B-fria	39,33		

Intercambiador 12			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	12.888,29	12.883,47	259,97
12A-fria	4,82		

Intercambiador 15			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	12.886,09	12.883,90	259,83
11B-fria	2,19		

Intercambiador 16			
Corriente	ΔH abajo	ΔH restante	Temp salida de C-1
2- caliente	12.883,90	12.881,71	259,82
11C-fria	2,19		

Tabla 5.9. Cruce de corrientes.

Por último, se representan los intercambiadores de calor con círculos y las corrientes con color rojo y las frías con azul. Se indica su identificación y sus datos de temperatura.

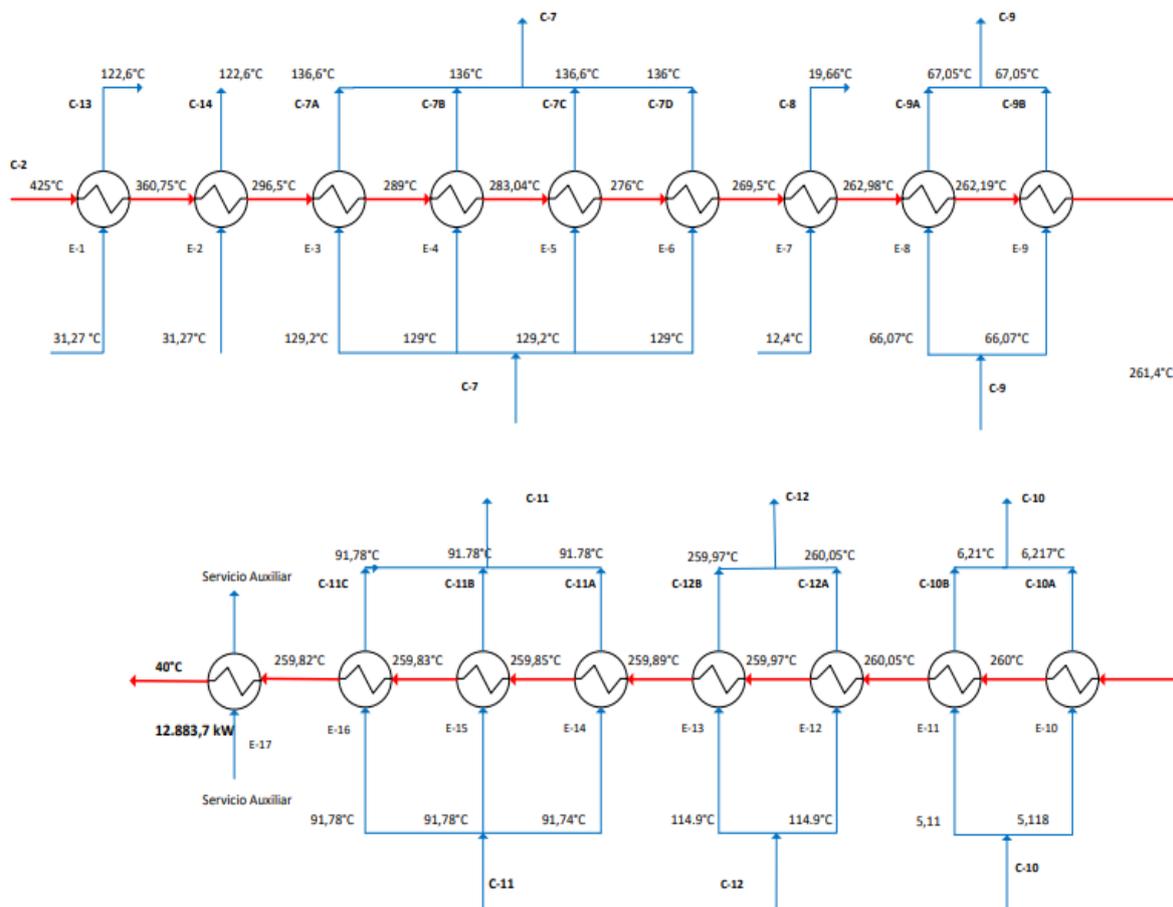


Ilustración 5. 4 Intercambiadores de calor

Como conclusión se puede observar que, realizando este análisis de integración térmica, se reduce el servicio de enfriamiento a 24.505 KW y se ahorra un servicio de calentamiento para ocho corrientes.

5.2 AGUA

Dentro de un proceso se utiliza agua para diversas aplicaciones, ya que el agua es una sustancia con gran capacidad para absorber calor, de bajo costo, fácil de transportar y manejar.

El sistema de agua, puede subdividirse en varios sistemas de interés ingenieril a la hora de aplicarse en la planta, todos ellos utilizan agua de red.

5.2.1 Sistema de agua potable para oficinas

Según lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) se debe consumir 50 litros de agua como mínimo por día por persona en oficinas, pero en la práctica se conoce, que existe un valor medio para oficinas o sector industrial de 80 litros por persona por cada 24 horas. Se determina la cantidad de agua en función de la cantidad de personal que trabaja en la planta, y el turno que cumplen.

Cantidad de empleados	Empleados en turno de 8 hs	Empleados en turno de 12 hs
57	22	35
Consumo de Agua (lts)	26,6 lts por persona	40 lts por persona
Total (lts/día)	585,2	1.400
	1.985,2	

Tabla 5.10. Consumo de Agua. Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar el constante abastecimiento del servicio, se tendrán dos tanques de agua de 2000 lt. En el artículo 58 de la ley 19.587 del Reglamento de Higiene y Seguridad en el trabajo, se establecen las características físicas y químicas que debe tener el agua para su consumo.

Este servicio será suministrado por el EPAS, desde la planta Buena Esperanza, la toma de agua es por gravedad debido a la pendiente que se tiene desde la toma principal hasta la ubicación de la planta.

5.2.2 Sistema de RCI

Este tema se desarrollará más en detalle en el Capítulo 7 de Seguridad de planta, igualmente aquí mostraremos un resumen.

En la siguiente tabla se muestra el volumen de agua que debemos utilizar en esta planta es de 266.82 m³ para la RCI, asegurándonos de esta forma, 4 hs en forma continuada a plena capacidad de bombeo.

RCI	Caudal de Agua (m3/h)	Cantidad de Monitores	Tiempo (h)	Consumo (m3)	Presión (kg/cm2)	Ley 13660. Art.
	30	5,43	4	162,80	7	203 y 204
Espumígeno	Caudal de Proceso (m3/d)	Caudal Espuma Ignífuga (m3/d)	Relación Esp/Agua	Consumo (m3)	Presión (kg/cm2)	Ley 13660. Art.
	3758,4	16236,29	10/1	67,65	7	402
Cortina de Agua	Caudal Cortina (l/h/m2)	Área TK total (m2)	-	Consumo (m3)	Presión (kg/cm2)	Ley 13660. Art.
	30	1212,10	-	36,36	7	302
TK RCI (m3)				266,82		

Tabla 5.11. RCI. Fuente: Elaboración propia.

Se destinará un tanque exclusivo para este fin, con las bombas requeridas para alcanzar la presión de 7 Kg/cm2.

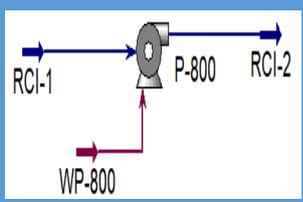
EQUIPO	DETALLE	UNIDAD	RCI-1	RCI-2
	Temperatura	°C.	25	25
	Presión	kg/cm2	1	7
	Caudal volumétrico	m3/h	267	267
	Agua	% Volumen	1	1
	Potencia	hp	76.82	

Tabla 5.12. Balance de masa y energía una bomba de la RCI

Las bombas de impulsión de la RCI serán de 2 tipos, las bombas contra incendios y la bomba de presurización de la red (Jokey). La Jokey actuará de manera automática para mantener la línea a la presión de 7Kg/cm2 prefijada. Es por ello que dispondremos de 2 bombas (P-801A y P-801 B) accionadas un motor eléctrico; y la otra con motor diésel de back up (respaldo), en caso de corte de energía eléctrica, como bombas contra incendios. Por lo tanto,

existirá un sistema de arranque automático que garantice el caudal y presión estática prefijadas, con las paradas de las bombas manuales.

Se selecciona la bomba de agua contra incendios y se adjunta su catálogo. Los equipos que incluye el paquete de lucha contra incendio, ensamblados bajo norma NFPA 20, son:

1 - bomba principal; 1 - bomba reserva; 1 - bomba jockey; 1 - colector de succión con sus respectivas válvulas; 1 - colector de descarga con by pass hacia colector de succión para pruebas con sus respectivos accesorios; 1 - tablero comando para bomba principal, secundaria y jockey con señal de alarma; 1 - tanque hidroneumático de 100 lts; 1 - base con soporte para 3 bombas + tablero comando; 1 - instalación eléctrica completa.

Se presentarán los planos PI-PR-LO-02-LAYOUT RCI y PI-PR-LO-03-LAYOUT RCI correspondientes a la Seguridad de planta al final del proyecto.

5.2.3 Sistema de Agua de Enfriamiento

Se utiliza un sistema de agua de enfriamiento que tiene la función de enfriar las corrientes de proceso y que será diseñado para satisfacer la demanda energética de estas unidades. El sistema de agua de enfriamiento está formado por:

- Torres de enfriamiento
- Bombas de agua
- Filtros de arena
- Sistema de inyección inhibidor de corrosión
- Sistema de inyección de biocida
- Sistema de inyección de dispersante
- Sistema de inyección de hipoclorito de sodio
- Sistema de inyección de ácido clorhídrico

Se puede ver en el siguiente esquema el circuito del Sistema de agua de enfriamiento:

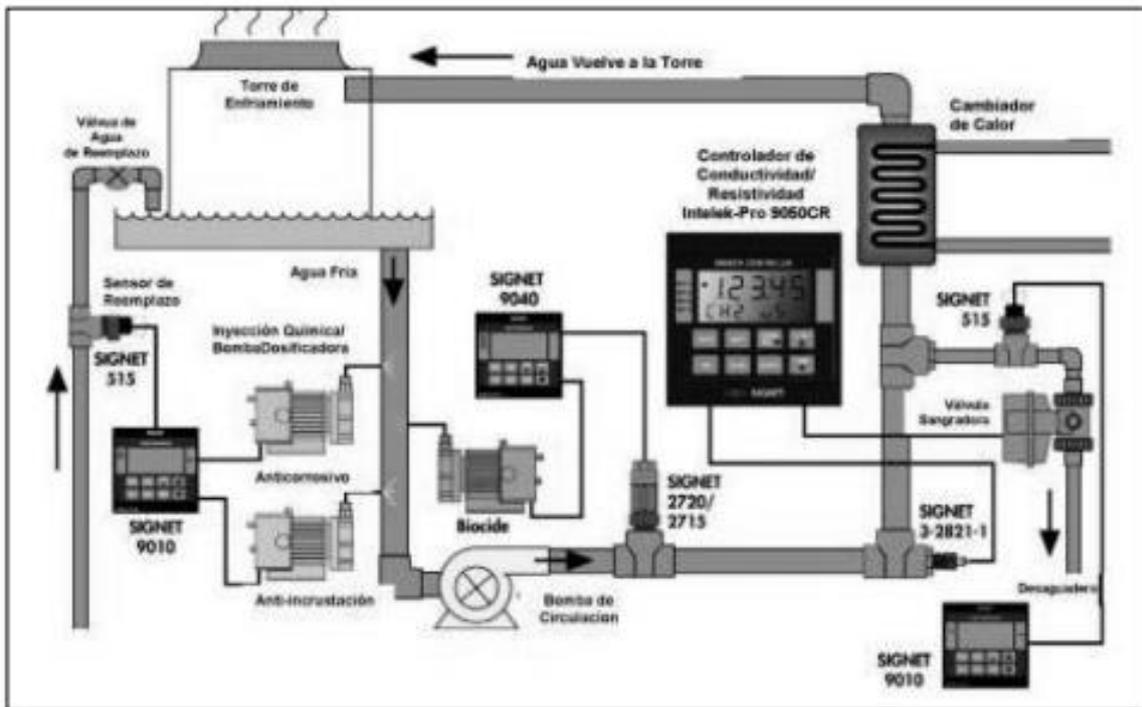


Ilustración 5.5. Sistema de agua de enfriamiento

Las torres de enfriamiento trabajan por contacto directo entre el agua y el aire, y de esta manera, se consigue reducir la temperatura del agua desde la entrada de la torre a la salida de la misma. Se presenta el diagrama general de torres de enfriamiento:

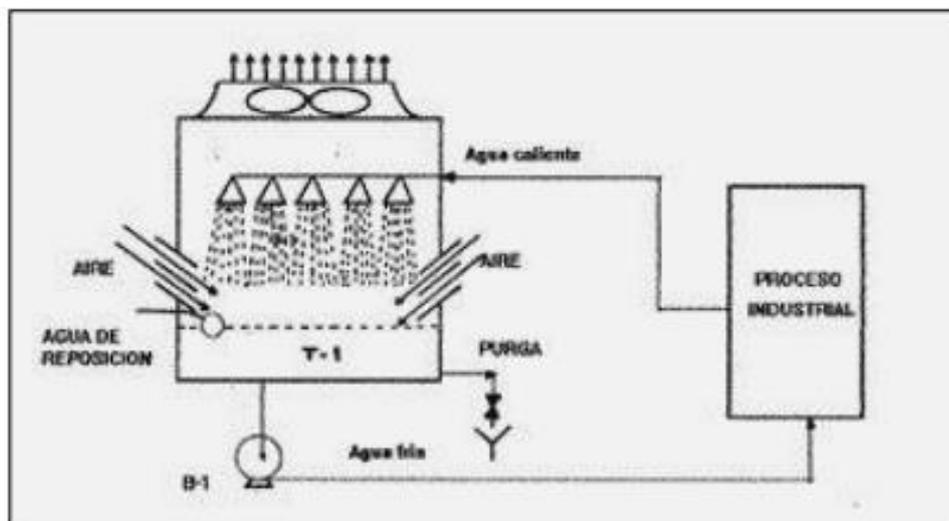


Ilustración 5.6. Diagrama general de torre de enfriamiento

Para este proyecto, será necesaria la instalación de una torre de enfriamiento, la cual tendrá como objetivo, enfriar una serie de corrientes que serán utilizadas nuevamente en el proceso como refrigerante de ciertos caudales mediante un circuito cerrado. Después de que el

agua se enfría, se reintroduce como agua de proceso. El agua que tiene que enfriarse generalmente tiene temperaturas entre 40 y 60°C. El agua se bombea a la parte superior de la torre de enfriamiento y de ahí fluye hacia abajo a través de tubos de plástico o madera. Esto genera la formación de gotas. Cuando el agua fluye hacia abajo, emite calor que se mezcla con el aire de arriba, provocando un enfriamiento de 10 a 20° C. El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible. El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente o a flujo cruzado con una temperatura menor a la temperatura del agua, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación), originando que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura del aire a la entrada de la torre. Parte del agua que se evapora, causa la emisión de más calor, por eso se puede observar vapor de agua encima de las torres de refrigeración.

Condiciones normales de circulación de agua:

- pH entre 6 – 8.
- Contenido de cloruros (como NaCl) por debajo de 750 ppm.
- Contenido de sulfato (SO₄) por debajo de 1200 ppm.
- Contenido de bicarbonato de sodio por debajo de 200 ppm.

Las torres de enfriamiento contienen aspas en la parte superior o inferior, las cuales son similares a las de un ventilador, y se utilizan para establecer el flujo hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de su posición. Además, en el interior de las torres se monta un empaque con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua caliente y el aire que la enfría. El aire utilizado para enfriar el agua de proceso, como así también de los servicios auxiliares, es extraído de la torre mediante un soplante. Existen diversos tipos de torres de enfriamiento, y en nuestro caso se utilizará una de tiro inducido.

5. 2.3.1 Cálculo del agua de enfriamiento

Para nuestro proceso, las corrientes de agua de enfriamiento, se usan en intercambiadores de calor y condensadores. Los equipos que requieren agua de enfriamiento son:

- E-300
- E-301
- E-400
- E-401
- C-504
- C-600

Todo esto implica que, en el balance de agua de enfriamiento, existan al menos 6 corrientes de entrada de agua a la torre, a la que llamamos agua de entrada, y seis salidas de agua refrigerada hacia los diferentes intercambiadores.

Detallaremos en la tabla, el requerimiento de agua para cada uno de los intercambiadores antes mencionados, como así también la masa total de la misma que necesita nuestro proceso. Los datos se obtuvieron por balance de masa y energía del simulador Hysys V.9.

Requerimiento de Agua de enfriamiento:

EQUIPO	Q(KJ/h)	W (Kg/h)	CAUDAL (m3/h)
E-300	3,26x10 ⁷	1,56 x10 ⁶	1.565
E-301	1,11x10 ⁸	5,33x10 ⁶	5.350
E-400	3,11x10 ⁶	1,48x10 ⁵	149
E-401	5,01x10 ⁶	2,4x10 ⁵	240
C-504	3,59x10 ⁷	1,71x10 ⁶	1.722
C-600	1,05x10 ⁸	5,02x10 ⁶	5.030
Total	2,93x10 ⁸	1,4x10 ⁷	14.142

Tabla 5.13. Equipos que requieren agua de enfriamiento

Debemos tener en cuenta que en este tipo de torres se producen pérdidas de agua por: Evaporación (E), Arrastre de aire (A) y Fugas en el sistema. Esto hace que el agua se vaya concentrando en impurezas con el tiempo y para mantener estos valores, se debe purgar parte del agua del sistema de enfriamiento. Se llaman ciclos de concentración a la relación entre la concentración de sólidos en el sistema y la concentración de los mismos en el agua de reposición. El número de ciclos del agua suele estar entre 3 y 8, para el presente proyecto se

eligen 3 ciclos. Una vez definidos los ciclos de concentración se procede al balance de agua para averiguar la cantidad de agua de reposición en m³/h.

$$\text{Reposición (R)} = \text{Evaporación (E)} + \text{Purga (P)} + \text{Arrastre (A)}$$

Conocemos por bibliografía (Mc Cabe) que la cantidad de agua perdida por arrastre se encuentra entre 0,05 y 0,2 % del caudal que circula por la torre, por lo cual tomaremos un valor extremo 0,2%. En cuanto a la pérdida de agua de evaporación se estima un 2% del agua en circulación. La purga queda definida como: $P = \text{Evaporación}/(\text{ciclos}-1)$.

Se muestra en la tabla los datos calculados:

Corrientes	Flujo Másico (Kg/h)
Reposición (R)	448.889
Evaporación (E)	280.556
Purga (P)	140.278
Arrastre (A)	28.055
Agua Circulada	14.000.000
CC	3

Tabla 5.14. Caudales en torre de enfriamiento

El diseño del balance de energía se realizó considerando las condiciones ambientales más adversas para la refrigeración de un caudal de agua, considerando la época de verano en la cual se tienen las temperaturas de aire más elevadas, con lo cual, el diseño se cumplirá en cualquier época del año.

- Temperatura de bulbo seco

Ésta será la temperatura inicial del aire antes de ingresar a la torre.

- Temperatura de bulbo húmedo

Es la temperatura que condiciona la refrigeración del sistema, es el límite debajo del cual no se puede enfriar. Se considera la temperatura promedio del mes más cálido (enero). Esta temperatura se calculó a partir de la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa y la presión del aire.

CONDICIONES DEL AIRE	
Temperatura bulbo seco (%)	28,9
Humedad relativa (%)	31,5
Presión (milibar)	1016
Temperatura bulbo húmedo (°C)	18

Tabla 5.15. Condiciones del aire

➤ Temperatura de descarga del agua

Se conoce por bibliografía que, la temperatura de descarga del agua es de 3 a 8°C por encima de la temperatura del bulbo húmedo, y esta diferencia se conoce como la aproximación. Para este proyecto se tomará de 8°C superior a la temperatura de bulbo húmedo.

➤ Temperatura de retorno del agua

El cambio en la temperatura del agua desde la entrada hasta la salida se conoce como el intervalo, y éste es generalmente de 6 a 17°C. Se tomará para la torre de enfriamiento un intervalo de 17°C.

Realizando los cálculos para las condiciones más desfavorables se obtienen las siguientes condiciones.

CONDICIONES	
Temperatura de salida (°C)	42
Temperatura de entrada (°C)	30

Tabla 5.16. Condiciones

Para seleccionar la torre es necesario conocer el balance de masa y energía del flujo de agua, el flujo de aire, las temperaturas de entrada y salida del agua y del aire. Mediante la tabla psicrométrica calculamos la entalpía del aire:

TEMPERATURA DEL AGUA (°C)	ENTALPIA DEL AIRE (KJ/Kg)
28,9	50,97
42	183,52

Tabla 5.17. Condiciones

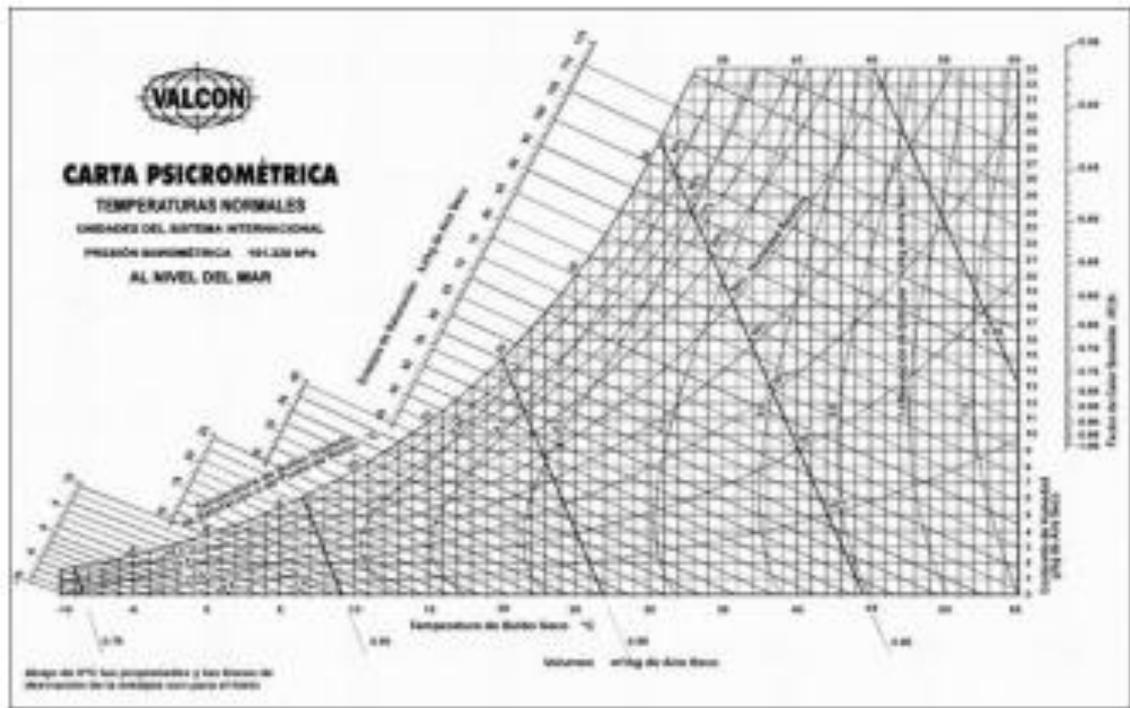


Ilustración 5.7. Carta psicométrica

Con estos datos podemos calcular mediante la recta que pasa por dos puntos, la pendiente de la recta ($m=10,118$) y graficar la temperatura del agua vs. la entalpía del aire. La ecuación de la recta que se obtiene es $y=10,118x-241,45$.

Para realizar el cálculo de flujo de aire se recurre al método de la línea de operación mínima. Del balance global de energía de la torre de enfriamiento se obtiene la ecuación de la línea de operación:

$$H_a - H_b = ((G \times C_l) / G_y') * (t_{xa} - t_{xb})$$

De donde:

G_x : flujo másico agua a través de la torre.

C_l : Calor específico del líquido.

G_y' : Velocidad másica del gas libre de vapor.

T_{xa} : temperatura del líquido en la parte superior de la torre.

T_{xb} : temperatura del líquido en la parte inferior de la torre.

La recta tangente a la línea de saturación del aire será la línea de operación mínima y a partir de la pendiente de esta recta se hallará el flujo de aire, ya que la pendiente de la línea de operación es igual a:

$$Pendiente = 10,118 = (Gx * Cl) / Gy'$$

$$Gy'mín = (2,8 \times 10^7 * 4,191) / 10,118 = 10,8 \times 10^6 \text{ kg/h}$$

Con el caudal mínimo de aire se define que el flujo de aire será igual a dos veces el mínimo, ya que por lo general se escoge la velocidad del aire de 1.2 a 2.0 veces el valor mínimo. De esta manera se obtiene la velocidad de aire:

$$Gy'op = 21,6 \times 10^6 \text{ kg/h.}$$

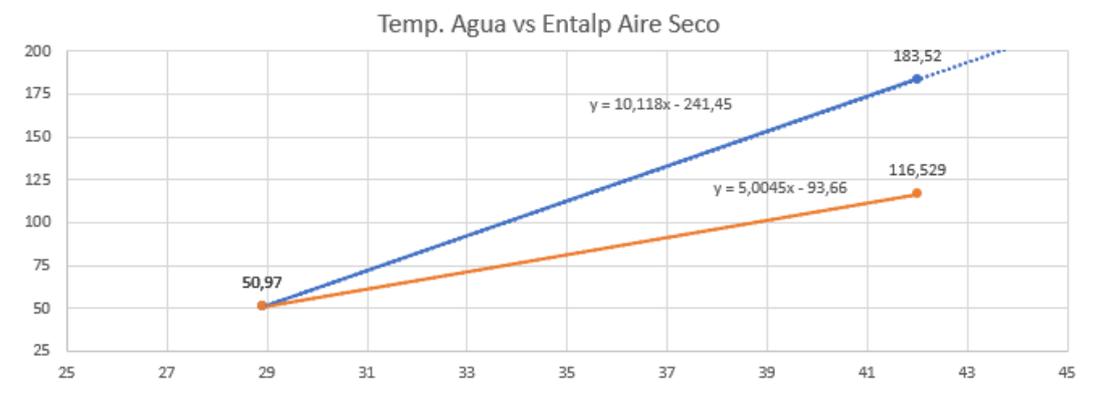


Ilustración 5.8. Líneas mínimas y de operación

Como podemos ver, con este valor se traza la curva de operación y a partir de la ecuación de dicha curva se obtiene el valor de la entalpía del aire para la temperatura 42°C del aire, que es de 116,52 kJ/kg.

Temperatura del agua (°C)	Entalpía del aire (Kj/kg)
28,9	50,97
42	116,52

Tabla 5.18. Condiciones de los fluidos

Con esta entalpía calculamos la temperatura de salida del aire a partir de la tabla de saturación del aire en la carta psicrométrica, dando como resultado que la temperatura de salida del aire es de 33°C.

5. 2.3.2 Tratamiento del agua

La calidad del agua de enfriamiento es un aspecto crítico en el funcionamiento eficiente de los sistemas de enfriamiento. Esta se refiere a la capacidad del agua para cumplir con los requisitos específicos de un sistema de enfriamiento en particular, incluyendo la eliminación de

contaminantes, la prevención de la corrosión, la prevención de incrustaciones, la protección contra la microbiología y la reducción de la conductividad.

Para mantener una alta calidad del agua de enfriamiento, es necesario implementar un programa de tratamiento de agua que incluya pruebas y monitoreo regulares del agua, así como el uso de productos químicos para tratar y controlar los niveles de contaminantes y la corrosión.

Se utilizan bombas dosificadoras de sulfato de cobre y de cloro para impedir el crecimiento de algas y de microorganismos respectivamente.

Para evitar la corrosión en las torres de enfriamiento es recomendable la instalación de testigos de corrosión, monitoreo de la velocidad de corrosión y protección de equipos y tuberías. También para evitar incrustaciones se debe realizar la protección de equipos y tuberías, optimizar el proceso, mantener la eficiencia de transferencia de calor y evitar costosos de mantenimientos correctivos.

➤ Sistemas con agua libre de Calcio

Es importante que el agua se encuentre libre de iones, de esta manera se evita la posible precipitación de sales en las tuberías y la formación de incrustaciones que generan entre otros problemas, el mal paso del fluido por las tuberías y un incorrecto intercambio de calor. Es recomendable realizar un tratamiento del agua a enfriar, agregando álcalis, fungicidas, bactericidas y floculantes; además de un análisis periódico tanto de dureza como de iones cloro, sulfatos o bario, calcio, sodio, etc. Para evitar este problema, se recomienda la utilización de una columna de intercambio iónico, que tendrá como fin, la sustitución de los iones propensos a la precipitación por otros más solubles en el agua, es decir los menos incrustantes. Para este trabajo se eligió una columna de intercambio iónico con cuadro de operaciones automático, pre filtros lavables y expansión del lecho, de la firma QUÍMICA EG SRL, se instalarán dos de ellas en simultáneo, para cada sistema, ya que el intercambio debe ser continuo, de manera que mientras una intercambia, la otra regenera la resina. Además de las columnas, cada una de ellas tiene dos tanques, de intercambio y regeneración y un tanque de salmuera. Deberán también tenerse en cuenta que también debe ser tratada el agua que se añade a cada uno de estos sistemas, debido a que se estiman que las pérdidas de agua tanto en el sistema de generación de vapor como en el sistema de agua de enfriamiento, es de alrededor del 5%. El primero de ellos por condensación y el segundo por evaporación, respectivamente.

5.2.4 Sistema de Agua a tratar para riego.

Este tema se desarrollará en el Capítulo 9 del proyecto: Tratamiento de Efluentes.

5.3 ENERGÍA ELÉCTRICA

El suministro de energía eléctrica será provisto por el EPEN a través de una línea de media tensión disponible cerca de la ubicación de la planta. Se realizará por vía aérea desde la estación transformadora de alta tensión (transformador de 33KV) de la ciudad, y al ingreso de la planta se encontraría un transformador de 13,3 KV, para luego reducir a los transformadores de 380V para la línea de motores y, al transformador de 220V para oficinas.

En la siguiente tabla podemos observar el consumo eléctrico requerido por los equipos del proceso. También, se estimó el gasto energético de la iluminación de planta y de las oficinas, multiplicando el gasto de los equipos por 3 y 2% respectivamente.

EQUIPO	CONSUMO (kW)
P-100A	20,02
P-100B	20,02
P-600A	3,13
P-600B	3,13
K-400	687,48
K-401	1.174,34
K-402	1.154,05
P-800A	57,29
P-800B	57,29
CONSUMO TOTAL (kW)	3.176,75

SERVICIO	CONSUMO (kW)
Iluminación de la Planta	95,30
Iluminación de Oficinas	63,54

Tabla 5. 19. Consumo de Energía Eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

5.4 GAS NATURAL

Se utilizarán la corriente C21fg para reemplazar el gas natural y utilizarlo como gas combustible en el horno H-200, ya que está contiene metano en su mayoría y otros gases combustibles.

En base al flujo de gas que proporcionan la corriente (STD-m³/h), se calculan cuantos Nm³ de gas se necesitan para cubrir el requerimiento calorífico del horno H-200, que tiene un Duty de 14.900.000 Kcal/h.

Las propiedades tomadas en cuenta para los cálculos son:

Densidad (kg/ m ³)	HHV mass basis (Std) (kcal/kg)	Poder calorífico (kcal/N m ³)	Std. flujo de gas (Std_ m ³ /h)
1,118	8.077	10.419	2.135

Tabla 5.20. Propiedades de la corriente. Fuente: Elaboración propia.

Sabiendo que el poder calorífico del gas natural es 9300 Kcal/Nm³. Si utilizáramos gas natural: $\frac{14.900.000 \text{ kcal/h}}{9.300 \text{ kcal GN/Nm}^3} = 1.602,15 \text{ Nm}^3/\text{h} = 1.153.548,38 \text{ Nm}^3/\text{mes}$, esto es lo que necesitaríamos.

Para la puesta en marcha del proceso, durante unas 3 hs se requerirá un total de 4.806,45 Nm³ de gas natural, el cual será provisto por la empresa TGS, ya que en esta instancia todavía no se obtiene el fuel gas de las corrientes, hasta no obtener una producción continua del proceso.

Sabemos que con lo que proporciona la corriente (2.135 STDm³/h) cubrimos la cantidad necesaria para el funcionamiento del H-200 (1.602,15 Nm³/h).

Como mencionamos anteriormente, el gas natural necesario para la planta será adquirido por la empresa de distribución TGS, a través de un gasoducto con una bajada de línea de red principal. Se contará con un skid de regulación y medición de gas natural, para llegar a la presión requerida por el proyecto y tener registro de consumo. El skid está conformado por un filtro, un regulador de presión, un medidor y válvulas de seguridad. En esta área, la presión de la línea de gas se debe reducir de 113 kpa a un nivel adecuado para su uso personal y de los diferentes equipos en la planta.

5.5 AIRE COMPRIMIDO

El sistema de aire comprimido que se utilizara para la instrumentación de la planta consiste en tomar el aire del ambiente y acondicionarlo. Para eliminar las partículas de polvo y otras suciedades que pueda contener ingresa a un filtro, y a un compresor, el cual le proporcionara la energía neumática necesaria para el proceso. Luego pasara por un

intercambiador de calor, para que condense gran parte del agua contenida, ésta se eliminara en un separador. El aire seco se puede distribuir en la planta.

5.6 BIBLIOGRAFÍA

- Agustín Benítez Hernández, Y. M. (2007). Tecnología Pinch: Una Introducción A La Integración Energética. *Departamento De Química E Ingeniería Química*.
- Benz, N. J. (1999). Introducción Al Diseño De Procesos Químicos. Breves Nociones. En *Modelado, Simulación Y Optimización De Procesos Químicos*.
- Danchen Wei, C. L. (2020). Conversion Of Low-Grade Heat From Multiple Streams In Methanol To Olefin (Mto) Process. *Applied Sciences*.
- Guillermo D. Evangelista Benites, W. L. (2016). Optimización De Redes De Intercambiadores De Calor. *Ciencia Y Tecnología*, 167-184.
- Julieta Martínez, O. D. (2015). Diseño De Redes De Intercambio De Energía, Su Enseñanza En Diseño De Procesos En Ingeniería Química.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 4 Fecha: 17/02/2023		

Capítulo N°6

LAY OUT

6. DISEÑO DE LAY OUT. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

6.1 Objetivos

El diseño del Lay out de la planta de Producción de Polipropileno permite lograr una disposición ordenada de los equipos, teniendo en cuenta las líneas de la materia prima y de los productos finales.

Con el objeto de optimizar los equipos, el tiempo y la seguridad del personal, se tiene en cuenta el camino de producción de las materias primas, ya que al ser menor este recorrido, mayor será la economía de movimientos y de tiempos, aumentando así la eficacia y eficiencia de la empresa (Moran, 2016).

Para ello se debe lograr los siguientes objetivos:

- ✓ Garantizar un nivel razonable de protección al personal directa o indirectamente involucrado en la operación de las instalaciones.
- ✓ Disminuir los daños debido a incendios y/o explosiones en un determinado equipo o instalación, sobre los adyacentes.
- ✓ Evitar que áreas críticas de una instalación, se encuentren sujetas a daños por incendio y/o explosiones que se produzcan en otras áreas.
- ✓ Permitir accesos adecuados y seguros para controlar las emergencias.
- ✓ Segregar los focos permanentes de ignición, de las posibles fuentes de escape de sustancias inflamables.
- ✓ Minimizar daños fuera del límite de propiedad, por incendios y/o explosiones
- ✓ ocurridos en las instalaciones.
- ✓ Permitir un acceso adecuado para la operación y el mantenimiento de las instalaciones.

6.2 Separación entre equipos.

En primera instancia, se tiene en cuenta las distancias establecidas por la Ley 13660 de Hidrocarburos, que se adjunta en el Anexo, de la cual se tomaron en cuenta las distancias que se muestran en la siguiente tabla:

DESDE	HASTA	DISTANCIA EN METROS
Equipos con fuego de una unidad de elaboración	Equipo con fuego de la misma unidad	6 Medidos de borde a borde
Unidades de elaboración donde se trabaja con fuego	Unidades de elaboración donde se trabaja con o sin fuego	En recuadros separados por calles
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
Planta de gas, gas licuado, gasolina, etc.	Cualquier unidad de elaboración con fuego	En recuadros separados por calles
Gasómetros de alta o baja presión. Tanques de almacenaje de gas licuado	Cualquier unidad de elaboración, sin fuego	Idem 20 metros
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 6.1 Separación referencial entre diferentes equipos
Fuente: Ley 13660*

Para los equipos que no se detallan en la ley 13660, se tomó como referencia la siguiente tabla de separaciones entre equipos de una misma área:

LETRAS DE REFERENCIAS	TIPO DE EQUIPO O EDIFICACION										SEPARACION BASICA (m)
A	COMPRESORES DE GAS										10
B	COMPRESORES ACC. POR MEDIOS DE A TURBINAS A VAPOR O MOTOR ELECTRICO										15
C	EDIFICIO SALA DE CONTROL CENTRAL										30
D	SALA DE CONTROL DE UNA UNIDAD DE PROCESO										15
E	ENFRIADORES POR AIRE										3
F	TORRES DE ENFRIAMIENTO										1.5
G	TANQUES Y CILINDROS										5
H	SUB-ESTACIONES ELECTRICAS										15
I	CURCULOS DE INTERRUPTORES ELECTRICOS CRITICOS										5
J	VALV. DE BLOQUEO DE EMERGEN. VALV. DE VAPOR DE PROSO VALV. DE SISTEMA DE AGUA PULV. INTERCAMB QUE OPERAN A TEMP. MAYOR O IGUAL QUE LA DE AUTONFLAMACION										15
K	INTERCAMB QUE OPERAN A TEMP. MENOR QUE LA DE AUTONFLAMACION (HORNO Y CALDERAS)										5
L	BOMBAS DE PROCESO CON PRODUCTOS A TEMP MAYOR O IGUAL QUE LA DE AUTONFLAMACION										15
M	BOMBAS DE PROCESO CON PRODUCTOS A TEMP MENOR QUE LA DE AUTONFLAMACION										5
N	EQUIPOS QUE MANEJAN REACTORES CON TEMP MAYOR QUE LA DE AUTONFLAMACION (CON AISLAMIENTO EXTERNO)										3
O	REACTORES CON TEMP MAYOR QUE LA DE AUTONFLAMACION (CON AISLAMIENTO EXTERNO)										5
P	RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO A PRESION EN AREAS DE PROCESO (SI AISLAMIENTO EXTERNO)										25
Q	RECIPIENTES DE PROCESO (COLUMNAS - TORRES - SEPARADORES)										3
R	TANQUES DE PURGA Y DRENAJE DE AGUA										1.5
S	VIAS DE TUBERIAS INTERNAS										5
T											
U											
V											
W											

Ilustración 6.1 Separación referencial entre diferentes equipos típicos

Fuente: PDVSA

En esta tabla tenemos que:

1. Todas las distancias están expresadas en metros
2. La abreviación “NA” significa no aplicable
3. La letra “X” significa: basado en acceso adecuado para operación y mantenimiento
4. La letra “Y” significa que deben seguirse las siguientes indicaciones: Separación entre M y M; Los hornos o calderas que pueden operar en forma individual, requieren una separación de 8 metros si operan a una presión manométrica menor que 70 kg/cm² (1029 psi), o 15 metros de separación si operan a una presión mayor que la antes señalada. Los hornos que poseen medios

de bloqueo o parada simultáneos, solamente requieren una separación adecuada para su operación y mantenimiento (PVSA, 1993).

En base a esta tabla, se definieron las distancias entre los equipos para poder construir el Lay out de la planta. Asimismo, se tuvieron en cuenta para los equipos las siguientes especificaciones:

- Sala de control: se deberá localizar próxima a una vía de acceso teniendo en cuenta la dirección prevaleciente del viento y las posibles fuentes de emisión de gases inflamables o tóxicos. En cuanto a la separación mínima, tiene que ser de 15 metros y deberá ubicarse dentro de un área no clasificada, la cual debe estar presurizada para evitar entrada de gases desde el exterior. Por otra parte, la separación entre la sala de control y las tuberías debe ser no menor a 15 metros en aquellas que manejen productos peligrosos.
- Equipos con fuego (Hornos): Estos componen una fuente permanente de ignición, por lo que su ubicación deberá ser cuidadosamente seleccionada. El tope de la chimenea, deberá estar como mínimo a una altura mayor de 3 metros sobre cualquier equipo que esté a menos de 15 metros, o de cualquier plataforma de trabajo que sea utilizada regularmente por personal de mantenimiento u operación (una vez o más por día) que esté a menos de 60 metros de los equipos con fuego.

Tomando una separación de 15 metros, se minimizan los posibles daños a otros equipos en caso de incendio en los equipos con fuego, a la vez que reduce el riesgo de ignición de los escapes producidos en equipos adyacentes.

- Reactores: en general se toma una separación básica de 8 metros. La separación entre dos reactores requerida para operación y mantenimiento, no debe ser menor de 1,5 metros, ya que estos reactores suelen agruparse en una misma área. Se adopta una distancia mínima de 5 metros, entre torres y reactores, proporcionando así un acceso adecuado para el combate de incendios alrededor de los reactores y minimizar los daños a las estructuras de equipos principales adyacentes.
- Torres de enfriamiento: a una distancia de 15 a 30 metros, permite la dispersión de los vapores inflamables que se puedan desprender en la torre, generados ya sea por fugas en los intercambiadores como por otros equipos de proceso enfriados con agua. Tanto para la ubicación como para la separación de las torres, deberán considerarse la

corrosión y los problemas de visibilidad que producen las nubes de vapor de agua descargadas por las torres, sobre otras estructuras adyacentes.

- Recipientes de Proceso (Columnas, Torres y Separadores): para estos la separación mínima es de 3 metros, permitiendo una adecuada operación y mantenimiento.
- Intercambiadores: si estos operan sobre la temperatura de autoignición, su separación básica debe ser de 5 metros, de modo que se facilite el acceso para el combate de incendios y se minimizan los posibles daños a otros equipos, en caso de incendios moderados. Por otra parte, la separación debe ser de 8 metros como mínimo, entre los intercambiadores y los reactores, debido a que prevalece la distancia básica impuesta por el reactor.

6.3 Separación entre diferentes instalaciones.

A continuación, se muestra una tabla con las distancias entre diferentes instalaciones, las cuales fueron establecidas mediante interrelaciones.

LETRAS DE REFERENCIAS	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL	MM	NN	OO	PP	QQ	RR	SS	TT	UU	SEPARACIÓN BASICA (m)
																						45
																						60
																						15 A 30
																						60
																						150
																						90
																						100
																						45
																						5
																						45
																						60
																						15
																						45
																						60
																						30
																						45
																						Y
																						30
																						30
																						NA
																						NA

Ilustración 6.2 Separación referencial entre diferentes instalaciones

Fuente: PDVSA

En esta tabla, todas las distancias están expresadas en metros. La abreviación “N.A” significa: no aplicable. La letra “X” significa: basado en acceso adecuado para operación y mantenimiento. La letra “Y” se refiere al código API – RP-520 “Design and Installation of Pressure Reliving Systems”.

- Para Plantas de Servicio, tales como: edificio de calderas, instalaciones de generación y distribución de potencia eléctrica, sala de bombas de agua de enfriamiento consideraremos una separación de 45 metros para proteger las instalaciones críticas de generación de vapor, electricidad y agua de enfriamiento, contra posibles incendios y/o explosiones en instalaciones cercanas. Las calderas, podrán ubicarse dentro del límite

de batería de dicha planta, con separaciones equivalentes a las consideradas para los hornos.

- Los edificios principales, talleres y laboratorios que se encuentren ocupados por personal no involucrado directamente en el control operacional, deberán estar ubicados vientos arriba y a la mayor distancia posible de las áreas con riesgo de incendio, explosión o escapes de productos peligrosos. Se ubicarán a 60 metros en relación a los incendios en instalaciones típicas de proceso, manejo y almacenamiento de hidrocarburos. Se evitará el tendido de tuberías que manejen productos peligrosos, a distancias menores de 45 metros de edificios. Sólo se permitirán distancias menores, hasta 15 metros, si las tuberías son completamente soldadas sin válvulas ni bridas.
- Con respecto a las unidades de proceso: se tomará una separación básica de 45 metros entre unidades de proceso y otras instalaciones, minimiza daños a los equipos en ambas instalaciones, en caso de incendio o explosiones de moderada magnitud. Sin embargo, se considerará una separación mínima de 15 metros entre unidades de procesos para permitir así la parada independiente de cualquiera de estas unidades para reparaciones o mantenimiento. Para unidades de alto riesgos se recomienda una separación de 30 metros.

Con el siguiente cuadro de interrelaciones, se obtuvieron el tipo de riesgo entre las áreas presentes en la planta:

Interrelación			Tipo				Acción
Entre		Tipo	Muy fuerte	Fuerte	Prom.	Débil	
Tanque de Metanol	Todos	Seguridad	X				Distancia máxima con los demás equipos
Tanque de Metanol	Otros tanques de la zona de Tanques	Proceso		X			Distancia mínima entre tanques
Tanque de la RCI TK-800	H200	Proceso	X				Distanciar el tanque de la RCI deL H200
H200	Todos	Seguridad	X				Distanciar H200 de todos los equipos y alrededores
Antorcha Área 900	Todos	Seguridad	X				Máxima distancia con los demás equipos
R300 y R301	Todos	Seguridad	X				Distanciar los reactores de todos los equipos y alrededores
R300 y R301	H200	Proceso	X				Distancia mínima entre equipos
R300	R301	Proceso		X			Distancia mínima entre equipos

Tabla 6.2 Planilla de correlaciones entre equipos de la planta

Fuente: Elaboración propia

Interrelación			Tipo				Acción
Entre		Tipo	Muy fuerte	Fuerte	Prom.	Débil	
E-300	R-301	Conexión		X			Distancia mínima entre items para aprovechar el calor proveniente de la corriente de este último reactor
E-300	R-301	Conexión		X			Distancia mínima entre items para aprovechar el calor proveniente de la corriente de este último reactor
V-400	K-401	Proceso		X			Deben permanecer juntos o en la misma plataforma
K-401	E-402	Proceso			X		Distancia mínima entre equipos
Torres	H-200	Seguridad	X				Distanciar H200 de todos los equipos y alrededores
Torres	Torres	Proceso		X			Deben permanecer juntos o en la misma plataforma
T-600	Torres	Seguridad		X			Distancia mínima entre las torres

Tabla 6.3 Planilla de correlaciones entre equipos de la planta

Fuente: Elaboración propia

Interrelación			Tipo				Acción
Entre		Tipo	Muy fuerte	Fuerte	Prom.	Débil	
V-600	Purga de Agua	Proceso/ Impacto ambiental	X				Disponer de una pileta de efluentes para su posterior tratamiento
Torres	R-700	Seguridad		X			Mantener distancia segura debido a la reacción
R-700	X-700	Proceso		X			Distancia mínima para optimizar tramo de cañerías
X-700	V-700	Proceso			X		Para mantenimiento y ahorro de cañerías, se adapta la distancia mínima

Tabla 6.4 Planilla de correlaciones entre equipos de la planta

Fuente: Elaboración propia

- Sala principal de bombas contra incendios: se considerará una separación adecuada de 90 metros entre las bombas contra incendio y equipos que manejan hidrocarburos para prevenir daños a las bombas por la exposición a incendios y/o explosiones.
- Para tuberías de productos inflamables y/o combustibles que interconectan distintas unidades o bloques de una instalación, deberán disponer de los accesorios necesarios que permitan bloquearlas en ambos extremos. Se considerará una separación mínima de 5 metros al límite de batería de las unidades o bloques, para minimizar la exposición de las tuberías en caso de incendio en la unidad y una separación básica de 5 metros, que se incrementará a 8 metros desde los hornos y otros equipos con fuego que manejen productos inflamables.
- En cuanto a tanques de almacenamientos la separación deberá ser de 15 metros desde la pared del mismo.

6.4 Dimensiones del Terreno.

En este apartado se determinarán las dimensiones del área que ocupara la planta teniendo en cuenta el proceso en sí y la infraestructura edilicia necesaria para el personal de la planta.

Tipo de Área	Corresponde a	Área (m ²)
Área 100	Zona de tanques	2.000
Área 200	Sistema de calentamiento	1.350
Área 300	Área de reacción	2.250
Área 400	Área de compresión	1.620
Área 500	Destilación	1.274
Área 600	Recuperación de metanol	686
Área 700	Área de producción de PP	910
Área 800	RCI	111
Área 900	Antorcha	4.400
Área 1000	Torre de Enfriamiento	1.152
Área 1100	Tratamiento de Efluentes	1125

Tabla 6. 5 dimensiones de las Áreas.

Fuente: Elaboración propia

El área del terreno es de 158.861 m², esto se calculó luego de tener en cuenta todas las condiciones de separación entre los equipos detalladas previamente.

Dimensiones del Terreno	
Largo (m)	664,88
Ancho (m)	238,98
Área (m ²)	158891,95

Tabla 6. 6. Dimensiones Totales.

Fuente: Elaboración propia

Otras consideraciones que también tuvimos en cuenta fueron las vías de acceso. En estas vías, el radio de curvatura en los cruces de calles para permitir una fácil circulación de vehículos pesados y no debe ser menor de 10 metros.

Las áreas de servicio tendrán un ancho de 10 metros, pero que nunca será menor de 6 metros, medidos desde el límite de unidad. Todas las unidades tendrán área de servicio.

No se podrá hacer coincidir, en ningún caso, el área de servicio y el camino de libre circulación. Entre dos unidades que estén "integradas", las dos áreas de servicio podrán solaparse, siendo entonces la mínima distancia entre sus límites de 10 m.

Las calles de libre circulación serán de un ancho mínimo de 6 metros y estarán construidas a 20 metros como mínimo de los emplazamientos clasificados como "Fuente de peligro" refiriéndose esta distancia desde el borde más próximo de la calzada, y a un mínimo que variará de 9 a 13 metros del límite de unidad.

Estas calles irán acompañadas en ambos lados de una "acera", cuya anchura mínima será de 3 metros. Si entre dos unidades existe un camino de libre circulación, la distancia mínima entre sus límites variará entre 24 y 32 m (PVSA, 1993).

6.5 Esquema de Lay Out de la Planta de Producción de Polipropileno.

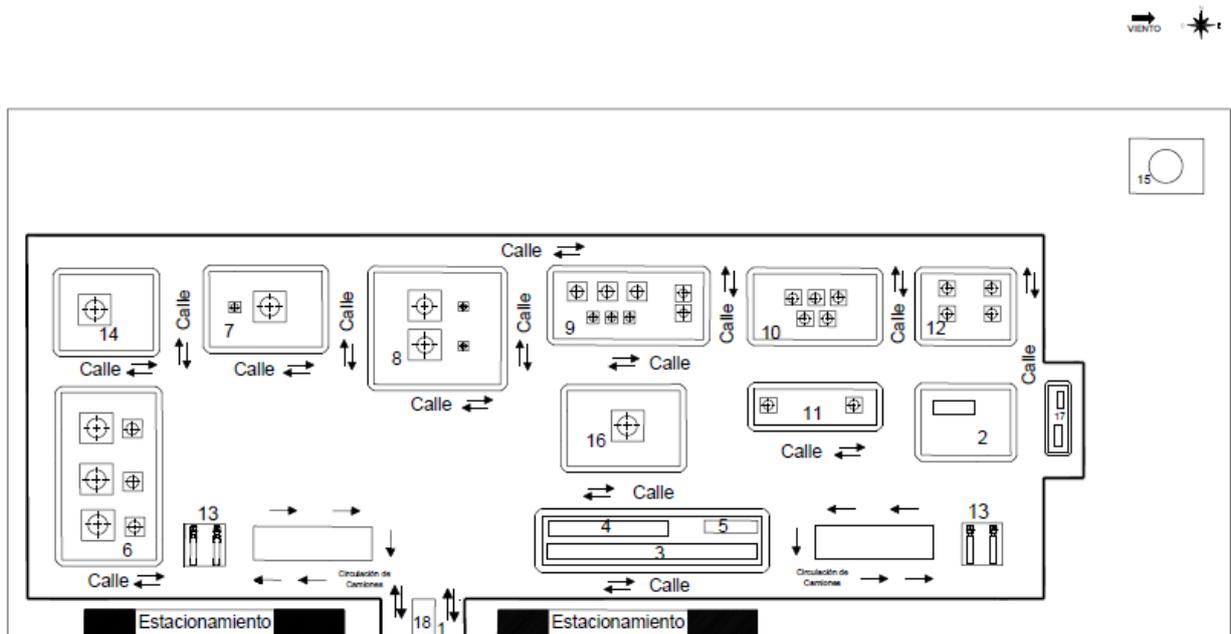


Ilustración 6. 3. Plano de Lay out, Planta de Producción de Polipropileno

Fuente: Elaboración propia, ver plano PI-PR-LO-01-LAYOUT.

1. Entrada principal	2. Almacenaje de producto	3. Edificio de Administración y Comedor	4. Laboratorio	5. Enfermería
6. ÁREA 100 Almacenamiento	7. ÁREA 200 Calentamiento	8. ÁREA 300 Reacción	9. ÁREA 400 Separación y Compresión	10. ÁREA 500 Destilación
11. ÁREA 600 Recuperación de Metanol	12. ÁREA 700 Producción de PP	13. Cargadero y Báscula	14. ÁREA 800 RCI	15. ÁREA 900 Antorcha
16. AREA 1000 Sala de T-Enfriamiento	17. ÁREA 1100 Tratamiento de Efluentes	18. Control de cargas		

Tabla 6. 7. Referencias del plano de Lay out

Fuente: Elaboración propia

Se adjunta el plano del Lay out de la planta, en el anexo de Planos, al final del Proyecto.

6.6 Bibliografía

Guidelines, G. (2001). Oil and Chemical Plant Layout and Spacing. *A Publication of Global Asset Protection Services*, 13.

Hernández, L. (s.f.). Separacion entre Equipos e Instalaciones. En *Manual de Ingenieria de Riesgos*. PDVSA.

Moran, S. (2016). *Process Plant Layout*. Butterworth-Heinemann.

PVSA. (1993). Separacion entre Equipos e Instalaciones. *Manual de Ingenieria de Riesgos*, 30.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 2 Fecha: 17/02/2023		

Capítulo N°7

SEGURIDAD DE

PLANTA

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 2 Fecha: 17/02/2023		

7. SEGURIDAD DE LA PLANTA

7.1 INTRODUCCIÓN

Los procesos que ocurren dentro de las plantas industriales involucran la transformación y el manejo de distintos tipos de energías, tales como: la química (reacciones entre materiales), la cinética (movimiento de fluidos o gases) y, la potencial (presión en fluidos o gases). La utilización segura de estas energías implica el empleo de equipos, dispositivos e instrumentación que permitan su control y monitoreo constante.

Las plantas industriales, sus operarios, la comunidad, el medio ambiente, los equipos y la misma operación, están expuestas diariamente a varios riesgos potenciales, a causa de la sobrepresión, el vacío, el fuego, las explosiones, las reacciones y liberaciones químicas que están implicadas en un proceso. Estos riesgos se pueden ocasionar como consecuencia del desgaste, de una mala operación o del mal funcionamiento de un equipo, un instrumento, o de un dispositivo.

Este capítulo tiene como objetivo identificar y evaluar los riesgos asociados a la planta; así como también definir y dimensionar todos los dispositivos de seguridad, requeridos para trabajar en forma segura, teniendo en cuenta la Ley 13660, Decreto N 10877 del 9 de septiembre.

7.2 GENERALIDADES Y CLASIFICACIÓN DE RIESGOS DE LA MATERIA PRIMA, SUBPRODUCTOS Y PRODUCTO.

A continuación, haremos una descripción de los riesgos de las sustancias que se emplearán y producirán en la planta de Producción de PP.

El rombo NFPA, también conocido como diamante NFPA, es un diagrama que contiene información sobre los riesgos asociados a una determinada sustancia según la norma 704 del National Fire Protection Association (NFPA). El rombo de los materiales peligrosos está dividido en cuatro secciones. Cada sección tiene un color distinto y un número. El color se asocia con diferentes tipos de peligros. Azul para salud, rojo para inflamabilidad, amarillo para

reactividad e inestabilidad y blanco para peligrosos específicos de algunos materiales, por ejemplo, si es radioactivo o si proviene de muestras biológicas. El número de cada sección puede ir desde cero si no hay peligro hasta 4 para riesgo máximo (Universitario, 2016).

7.2.1 Metanol

Se denomina alcohol metílico, debido a que es un radical de alquilo de sólo un átomo de carbono, perteneciente a la familia de los alcoholes. Es líquido a temperatura y presión ambiente, incoloro, transparente, volátil, con aroma y sabor semejantes a los del etanol. Es bastante inflamable y al igual que el alcohol etílico posee propiedades desinfectantes y antisépticas. Su fórmula química molecular es CH_4O y su fórmula desarrollada es CH_3OH .

Puesto que es un alcohol primario con un solo átomo de carbono, el grupo hidroxilo le da un carácter bastante polar a la molécula, lo que admite la formación de puentes de hidrogeno con otras sustancias polares. Dado que tiene una estructura muy similar a la del agua, permite su solubilidad y buena mezcla con ella.

En la siguiente tabla se pueden ver algunas de las propiedades físicas más significativas:

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Peso Molecular	32.04	g/mol
Punto de Ebullición	64.7	°C a 760 mmHg
Punto de Fusión	-97.8	°C
Presión de Vapor	92	mmHg a 20°C
	126	mmHg a 25°C
Densidad	786.3	Kg/m ³
Solubilidad en Agua	Miscible	-
Límites de Inflamabilidad	5.5 - 44	% vol.

Tabla 7.3. Propiedades físicas del Metanol

El metanol líquido y sus vapores son sustancias muy inflamables y que al contacto con el aire pueden llegar a ser explosivas. Esto simboliza un problema de seguridad potencialmente grande. El calor favorece a su inestabilidad, asimismo, el contacto con agentes oxidantes fuertes puede ocasionar incendios y explosiones. En un incendio con metanol, se pueden desprender gases y vapores tóxicos, como monóxido de carbono y formaldehído. Se debe tener especial

cuidado, ya que el metanol ataca cierto tipo de plásticos, cauchos y revestimientos. Puede reaccionar con aluminio metálico a altas temperaturas.

Es altamente tóxico para el ser humano, por ingesta o exposición continuada, el cuerpo humano lo metaboliza como ácido fórmico, lo que podría provocar una ceguera permanente ya que ataca al nervio óptico. Con tan solo una ingesta de 10 mL o una exposición en bajas concentraciones se pueden notar los efectos iniciales, que suelen ser picor de ojos o dolor de cabeza.

Al evaporarse con facilidad, es propenso a acumularse en recintos estancos o poco aireados, por lo cual es conveniente operarlo en un ambiente fresco y aireado para evitar acumulaciones en el ambiente. En bajas concentraciones tiene un olor muy poco apreciable, y es conveniente manipularlo con cuidado e impedir fugas durante su recorrido en caso de usarse en alguna de las corrientes o procesos de una planta química. Es importante conservarlo alejado de focos de calor y zonas de elevada temperatura. Clasificación NFPA:

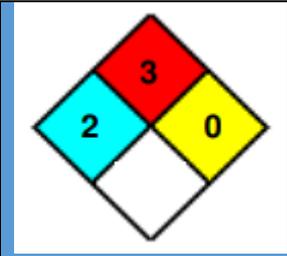
	Salud	2
	Inflamabilidad	3
	Inestabilidad	0
	Especial	Ninguno

Tabla 7. 2 clasificación NFPA del Metanol

7.2.2 Hidrógeno

El átomo de hidrógeno, símbolo H, consta de un núcleo de unidad de carga positiva y un solo electrón. En condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insípido, compuesto de moléculas diatómicas, H₂.

Este elemento es la sustancia más inflamable de todas las que se conocen. Es un poco más soluble en disolventes orgánicos que en el agua. A temperaturas ordinarias el hidrógeno es una sustancia poco reactiva a menos que haya estado activado de alguna manera; por ejemplo, por un catalizador adecuado. También, a temperaturas elevadas es muy reactivo.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD
Peso molecular	2.01594	g/mol
Densidad	76	Kg/m ³
Punto de Fusión	-258.12	°C
Punto de Ebullición	-251.88	°C
Poder Calorífico Superior	141	MJ/kg

Tabla 7.3. Propiedades del Hidrógeno

El mayor peligro que reviste esta sustancia es mediante su inhalación. Los síntomas más frecuentes cuando ocurren altas concentraciones serán la dificultad respiratoria y la consecuente anoxia, pérdida de la conciencia o de la movilidad, etc. Los principales síntomas serán vértigo, dolor de cabeza, náuseas y pérdida de la coordinación. En concentraciones muy altas puede causar la muerte.

Tomar medidas de precaución contra descargas electrostáticas. Purgar con un gas inerte el aire del sistema antes de introducir el gas. Mantener lejos de fuentes de ignición, incluyendo descarga estática. Clasificación NFPA:

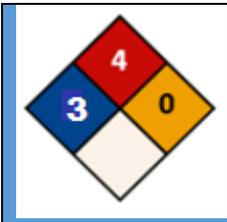
	Salud	3
	Inflamabilidad	4
	Inestabilidad	0
	Especial	Ninguno

Tabla 7. 4 clasificación NFPA del Hidrógeno

7.2.3 Etileno

Es un compuesto orgánico, que se conoce con el nombre de eteno, formado por dos átomos de carbono enlazados por un doble enlace que le imposibilita rotar excepto a altas temperaturas.

A altas presiones y con un catalizador metálico (platino, rodio, níquel) se reacciona con hidrógeno molecular para dar etano. La mayor parte del etileno se utiliza para la producción de polímeros. Mediante reacciones de polimerización se obtiene el polietileno de alta densidad y el de baja densidad. Se encuentra en estado gaseoso, en condiciones normales, con un característico aroma no desagradable. Reacciona con oxidantes y cloro en presencia de luz.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Fórmula semidesarrollada	CH ₂ =CH ₂	-
Fórmula molecular	C ₂ H ₄	-
Masa Molecular	28.05	g/mol
Presión crítica	50.7	Atm
Punto de Ebullición	-104	°C
Punto de Fusión	-169	°C
Densidad	1178	Kg/m ³
Solubilidad en agua	Miscible	-
Temperatura de Autoignición	490	°C

Tabla 7.5. Propiedades fisicoquímicas del Etileno.

Clasificación de Riesgos:

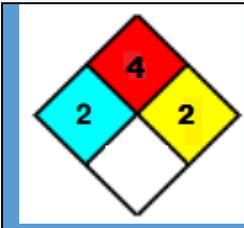
	Salud	2
	Inflamabilidad	4
	Inestabilidad	2
	Especial	Ninguno

Tabla 7. 6. Clasificación NFPA

7.2.4 Etano.

Es un hidrocarburo alifático alcano con dos átomos de carbono, de fórmula C. En condiciones normales es gaseoso y un excelente combustible.

Se encuentra en estado gaseoso a temperatura ambiente. Presenta un índice de octanaje superior al de la gasolina y tiene una presión de vapor inferior, resultando en menores emisiones evaporativas. La combustión en el aire es inferior a la de la gasolina, lo que reduce el número y la importancia de los incendios en los vehículos. su punto de fusión es -183.3° y su punto de ebullición es de -88.6 ° C

No soluble en agua y otros disolventes polares. Pero soluble en algunas sustancias orgánicas apolares (metanol, acetona, benceno, tetracloruro de carbono, éter dietílico, etc.). Baja

toxicidad, pero efectos adversos en humanos tiene un efecto narcótico. La cuarta clase de peligro.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD
Punto de fusión, ° C	-182,81	° C
Punto de ebullición, ° C	-88,63	° C
La temperatura de autoignición	472	° C
Presión crítica	4,87	MPa
Densidad	1,342	kg / m ³

Tabla 7. 7. Propiedades del Etano.

El vapor es más pesado que el aire. Puede acumularse en espacios confinados, particularmente al nivel del suelo o en sótanos.

Sin riesgo de reactividad. Estable en condiciones normales. Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes Puede formar mezclas explosivas con el aire. Se debe mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes.

Es un asfixiante simple. La exposición a altas concentraciones de este gas tiene efectos narcotizantes. Los síntomas incluyen dolor de cabeza, zumbido en los oídos, vértigo, somnolencia, pérdida del conocimiento, náusea, vómito, falta de oxígeno en los pulmones y disminución funcional grave.

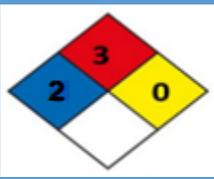
	Salud	0
	Inflamabilidad	3
	Inestabilidad	0
	Especial	Ninguno

Tabla 7. 8. Clasificación NFPA

7.2.1 Polipropileno.

Es un polímero (C₃H₆)_n, plástico comercial, semicristalina, blanco, semiopaco, que se obtiene a partir de la polimerización de propileno (C₃H₆). Se elabora en una amplia variedad de calidades y modificaciones. Es un plástico termo conformado o técnico que básicamente se emplea para la construcción de piezas que requieren resistencia química, peso ligero y fricción suave.

Es un material muy rígido y duro, que posee una muy buena resistencia al impacto, a los productos líquidos corrosivos y a la dieléctrica. Tanto la materia prima como la estructura química definirán el tipo de PP que se conseguirá. Dependiendo de estas variables, se obtendrá como resultado PP homopolímero o PP copolímero.

El más producido es el PP homopolímero, que se obtiene del propileno puro. Posterior a la producción de PP se puede reforzar con cargas como: fibra de vidrio, carbonato de calcio y talcos, que acrecientan sus propiedades mecánicas, térmicas y físicas y si se agregan agentes nucleantes se realiza su transparencia.

El polipropileno es tenaz y flexible, en especial cuando presenta la forma de copolímero con etileno, lo cual permite utilizarlo como plástico técnico.

Dicho material es razonablemente económico, y se puede hacer que sea translúcido cuando no presenta color, pero no es tan fácil hacerlo transparente como el poliestireno, la fibra acrílica o determinados plásticos. A menudo se manipulan pigmentos para que sea opaco o de color. El polipropileno muestra una buena resistencia a la fatiga.

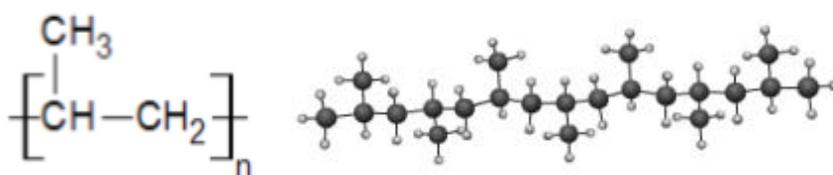


Ilustración 7.1. Estructura química del PP.

Es el polímero comercial de menor densidad, posee además una excelente resistencia química, buenas propiedades eléctricas, alta estabilidad térmica, fácil procesamiento y posibilidad de reciclado.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Absorción de agua en equilibrio	0,03	%
Densidad	0,9-0,93	g/cm ³
Índice Refractivo	1,49	
Índice de oxígeno límite	18	%
Inflamabilidad	Combustible	
Resistencia UV	Aceptable	
Índice de fluidez volumétrico	6	cm ³ /min
Punto de ebullición	160	°C
Punto de fusión	173	°C

Tabla 7.9. Propiedades físicas de PP

Es un material más rígido que la mayoría de los termoplásticos. Una carga de 25.5 kg/cm², aplicada por 24 horas no produce deformación apreciable a temperatura ambiente y resiste hasta los 70 °C. Posee una gran capacidad de recuperación elástica. Tiene una excelente compatibilidad con el medio. Es un material fácil de reciclar. Posee alta resistencia al impacto, es un sólido sin olor, de color blanco-transparente, con apariencia física esférica o también llamada pallets.

✓ *Propiedades Mecánicas*

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Alargamiento a la rotura	150-300	%
Coefficiente de fricción	0.1-0.3	
Dureza Rockwell	80-100	
Módulo de Tracción	0.9-1.5	GPa
Resistencia a la Abrasión	13-16	
Resistencia a la tracción	25-40	MPa

Tabla 7.10. Propiedades Mecánicas de PP.

Puede usarse en calidad de material para elementos deslizantes no lubricados. Posee buena resistencia superficial. Tiene buena resistencia química a la humedad y al calor sin deformarse. Tiene buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

✓ *Propiedades Térmicas*

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Calor específico	1700-1900	J/mk
Coefficiente de expansión térmica	$100 \cdot 10^{-5} - 180 \cdot 10^{-5}$	$1/^\circ\text{K}$
Conductividad térmica a 23°C	0.1-0.22	W/mk
Temperatura máxima de utilización	90 a 120	°C
Temperatura mínima de utilización	-10 a -60	°C
Temperatura de transición vítrea	-20	°C
Capacidad calorífica específica	1.87e3-1.96e3	J/Kg. K

Tabla 7.11. Propiedades Térmicas de PP.

✓ *Propiedades Químicas*

PROPIEDAD	VALOR
Resistencia a Ácidos concentrados	Buena
Resistencia a Ácidos diluidos	Buena
Resistencia a Alcalis	Buena
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena
Grasas y Aceites	Aceptable
Halógenos	Mala
Hidrocarburos aromáticos	Aceptable
Olor al quemarlo	Parafina
Color de la llama	Azul punta amarilla
Absorción de agua	Débil

Tabla 7.12. Propiedades Químicas de PP.

Cuando se trabaja con este material a temperaturas por encima de su punto de fusión, el mismo comienza a descomponerse generando humos que pueden contener, entre otros: dióxido de

carbono, monóxido de carbono, cetonas, acroleína, aldehídos y otros compuestos orgánicos no identificados que se producen por la descomposición de este material. Se debe proveer adecuada ventilación del ambiente y del área del extrusor para minimizar la exposición.

Este producto puede reaccionar con agentes oxidantes fuertes y no debería ser almacenado junto a tales materiales. No se debe almacenar a la intemperie sin la protección del film termocontraíble /stretch. Se recomienda estibar los pallets de este producto sobre el piso en dos niveles como máximo. Frente a calles o áreas de posible tránsito de vehículos y/o personas, se recomienda que la fila lindante con esas áreas se componga de un solo nivel de pallets. Por razones de seguridad, evitar el derrame sobre el piso, el cual puede resultar resbaladizo.

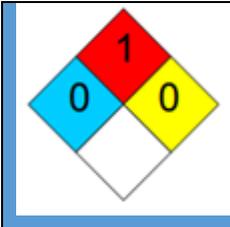
	Salud	0
	Inflamabilidad	1
	Inestabilidad	0
	Especial	Ninguno

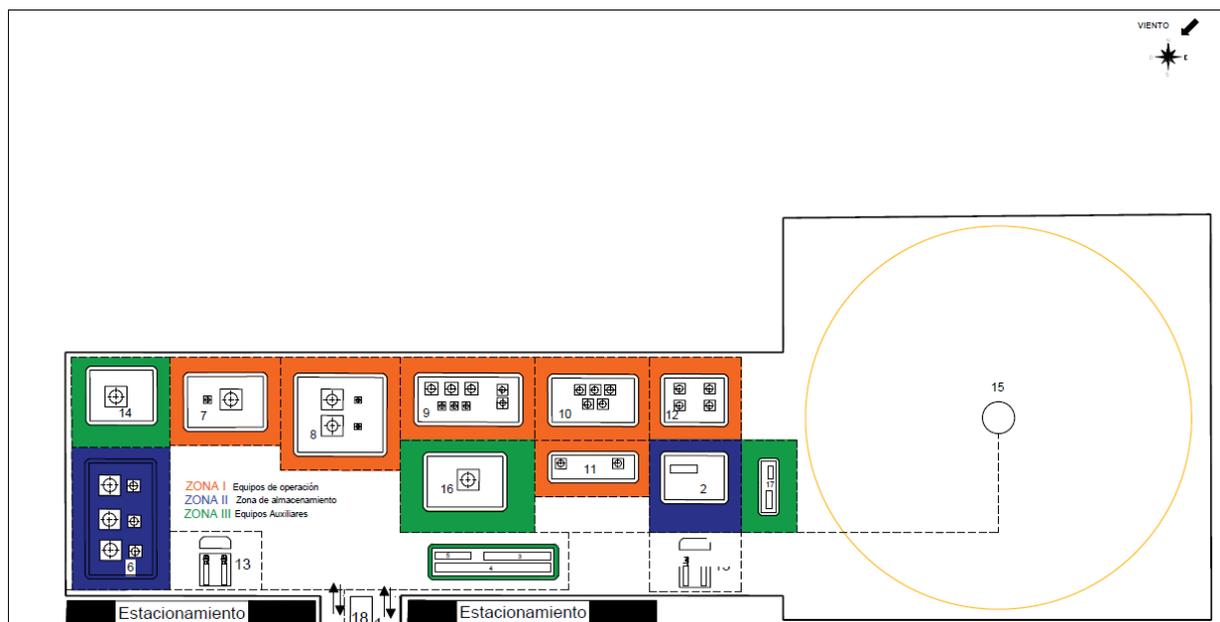
Tabla 7. 13. Clasificación NFPA

7.3 LEY 13660.

Esta ley, regula las condiciones de Seguridad de la planta para su óptimo funcionamiento. En el capítulo I de la ley se definen 3 zonas:

- **Zona de operación en destilerías - Zona I:** Es el área ocupada por los equipos e instalaciones destinados específicamente a realizar el proceso de la destilación.
- **Zona de tanques de almacenamiento - Zona II:** Es el área ocupada 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 de instalaciones auxiliares en destilerías - Zona III:** Es el conjunto de instalaciones, equipos y edificios no comprendidos en las dos zonas anteriores.

Para este proyecto, se señalaron estas zonas en un diagrama Lay Out con el fin de identificarlas y luego tener en cuenta los artículos que aplican a cada una de ellas, esto los podemos ver en la imagen de abajo. Se adjunta el plano, en el anexo de Planos, al final del Proyecto.



1. Entrada principal	2. Almacenaje de producto	3. Edificio de Administración y Comedor	4. Laboratorio	5. Enfermería
6. ÁREA 100 Almacenamiento	7. ÁREA 200 Calentamiento	8. ÁREA 300 Reacción	9. ÁREA 400 Separación y Compresión	10. ÁREA 500 Destilación
11. ÁREA 600 Recuperación de Metanol	12. ÁREA 700 Producción de PP	13. Cargadero y vâscula	14. ÁREA 800 RCI	15. ÁREA 900 Antorcha
16. AREA 1000 Sala de T-Enfriamiento	17. ÁREA 1100 Tratamiento de Efluentes	18. Control de cargas		

Ilustración 7.2. Zonas según Ley 13660

Fuente: Elaboración propia. Ver plano IG-GR-LD-01.

Los sistemas de seguridad componen diferentes elementos, los cuales se dividen en elementos de protección activa y pasiva:

- La protección activa comprende los elementos que permiten tener el control de la situación de manera directa. Representa todos los sistemas de detección y extinción de incendios, como detectores de humo, rociadores, extintores, etc. De modo que, la protección activa está destinada a advertir a las personas implicadas en un incendio y actuar sobre él a través de una intervención que puede ser tanto automática como humana.
- La protección pasiva abarca todos los sistemas que se instalan con el objetivo de mitigar las consecuencias de un incendio, jugando un papel preventivo como, por ejemplo, la utilización de muros contra incendios. Funcionan sin intervención humana o aporte de

energía externa con el propósito de permitir la evacuación de las personas y la intervención de los servicios de emergencia.

En las tablas siguientes se detallan los artículos más relevantes para cada una de las zonas de la planta y sus respectivas defensas activas y pasivas.

Ley 13660. Según el Art 101	Defensas		Descripción de Artículo
Zona I: Operación. Es el área ocupada por los equipos e instalaciones destinados específicamente a realizar el proceso de la destilación.	Activas	Agua contra Incendios	Art 203. Se instalarán como mínimos seis (6) chorros de agua, provenientes de tomas independientes, de un caudal individual superior a treinta metros cúbicos (30 m ³) por hora. La concentración de chorros no deberá realizarse con mangueras cuya longitud exceda de 120 metros.
			Art 204. La alimentación de esta red se asegurará mediante dos fuentes independientes de bombeo y energía y las reservas de agua serán tales que aseguren un funcionamiento continuo durante un mínimo de cuatro horas (4), de la instalación trabajando al máximo de la capacidad normal de los equipos de bombeo. La presión mínima de 7 Kg./cm ² en la toma más alejada, con el máximo de bocas abiertas que pueda ser necesario
		Servicio Ignifugo Especial	Art 207. Deberá contarse con un sistema para generación de espuma ignífuga que alimentará mangueras especiales. El número de éstas, así como su distribución y el conjunto de accesorios para la finalidad expresada, será tal que contemple adecuadamente las necesidades de la instalación.
			Art 208. Deberá contarse con una reserva tal de productos generadores de espuma que aseguren el funcionamiento de la instalación o su máxima capacidad durante una hora como mínimo, cubriendo la zona que se considere de mayor peligrosidad.
		Aparatos Extintores de Fuego	Art 211, Deberán distribuirse aparatos extintores de fuego cuyo número, características y ubicación serán tales que contemplen en forma adecuada las necesidades de la instalación. Estos serán de Clase B y C.
	Pasivas	Distanciamientos entre equipos	Art 216. El distanciamiento entre equipos, unidades de operación y la subdivisión en manzana de la Zona I, considerada, se ajustará a lo que establece la planilla N 1, que se acompaña en dicha ley. Art 217. Las manzanas en que se dividirá una destilería, tendrán de ciento veinte a ciento ochenta metros (120 a 180 mts.) de lado, separadas y rodeadas por calles de quince metros (15) de ancho como mínimo, entre líneas de edificación.

Tabla 7. 14. Artículos empleados en este capítulo, según Ley 13660

Ley 13660. Según el Art 101	Defensas		Descripción de Artículo
			Art 218. Las calles que rodean las manzanas de unidades serán preferentemente del tipo terraplénado de manera de constituir recintos de carácter defensivo que contengan los posibles derrames directos de producto y serán aptas para el rodado de vehículos de las unidades de incendio, aun en los días de lluvias, de modo que los elementos móviles de las defensas contra incendios de la planta o de Bomberos, puedan desplazarse sin inconvenientes en caso de siniestros
		Descarga de Electricidad Estática	Art 221. Cuando existan estructuras de mampostería (chimeneas, etc.), cuya altura sobrepase el nivel medio del resto de las instalaciones, aquéllas serán protegidas con pararrayos.
		Distanciamientos entre equipos	Art 224. Toda la zona de operación debe contar con un sistema colector de descarga de emergencia para evacuar productos líquidos y vapores contenidos en los equipos en caso de incendio. Tal sistema estará formado por dos redes independientes: una para recibir las descargas de líquidos y otra que recibirá las de vapores, evacuando la primera de ellas en la parte inferior de una chimenea de emergencia y la segunda, en lo posible, en una chimenea de combustión, o, en su defecto, en la parte superior de la de emergencia. El sistema de evacuación estará diseñado de tal modo que la pérdida de carga determinada en las cañerías y las chimeneas por el máximo de productos que sea necesario evacuar, sumada a la presión a que están calibradas las válvulas de seguridad, sea inferior a la tensión máxima admisible de los equipos respectivos.
Zona 2: Es el área ocupada por tanques de almacenamiento de materia prima, productos intermedios o	Activas	Agua contra Incendios	Art 232. Esta zona contará con una red de agua contra incendios conectada con la red principal requerida para la Zona I, según lo dispuesto en el Artículo 202 y en ella se preverán tomas para mangueras, cuyo número y distribución estarán para cada caso en concordancia con la magnitud de las instalaciones a defender. La distribución de las tomas será tal que permita el ataque de los fuegos posibles tanto en el interior como exterior de los edificios que integran la zona. La instalación de rociadores (sprinklers) automáticos o semiautomáticos, sólo se efectuará cuando así se lo exija.
terminados y el conjunto de instalaciones destinadas al movimiento de los fluidos en ellos contenidos.			Art 302. Los dispositivos que se mencionan en el artículo anterior serán los siguientes: a) Hidrantes en número y distribución tal que sea posible concentrar en cualquier punto del parque seis (6) chorros de treinta metros cúbicos (30 m ³) por hora cada uno, como mínimo, sin que sea necesario tender líneas de mangueras de más de ciento veinte metros (120) de longitud. b) Pitones o monitores y/u otros dispositivos fijos especiales que permiten la formación de cortinas de agua aisladoras entre un tanque incendiado y los que lo rodean. La capacidad de estos dispositivos será tal que todos los tanques que rodean a otro presuntamente incendiado, puedan recibir un caudal de agua de treinta litros por hora por cada metro cuadrado (30 litros/h/m ²) de superficie exterior (techo más envoltura lateral). La acción de estos elementos, podrá ser ejercida de inmediato por la simple apertura de las válvulas o dispositivos de esa instalación.
		Servicio Ignifugo Especial	Art 307. La cantidad de agentes ignífugos existentes en la planta, será la necesaria para cubrir con un manto de 30 cm. de espesor de espuma el área del mayor recinto de contención incrementada con la superficie de los tanques restantes, computada en su proyección horizontal. Se entiende por tanques restantes los incluidos en el grupo de tanques del que se considera y que están delimitados por los caminos que contornan ese agrupamiento.
			Art 310. La cantidad de espuma que se deberá enviar, como mínima a los tanques será de treinta litros por minuto y por metro cuadrado (30 l. mín./m ²).
			Art 312. Ninguna cámara de espuma será proyectada para más de 10.000 litros por minuto.
			Art 313. El diseño de la instalación ignífuga será tal que el intervalo que transcurra desde la puesta en marcha de la instalación hasta el momento en que se obtenga espuma en la boca de descarga o toma más alejada, no será mayor de siete minutos (7).
		Art 315. Deberá contarse con dos fuentes de energía independientes para la generación de espuma ignífuga y la capacidad de cada una de ellas será suficiente para servir el máximo requerido. Si para la generación de espuma se parte de agua a presión, ésta podrá provenir del Servicio de Agua contra Incendios, debiendo en tal caso ampliarse convenientemente	

Tabla 7. 15. Artículos empleados en este capítulo, según Ley 13660

Ley 13660. Según el Art 101	Defensas	Descripción de Artículo	
Zona 3: Es el conjunto de instalaciones, equipos y edificios no comprendidos en las dos zonas anteriores.			este último (bombas, cañerías, etc.). La energía que se utilice para a impulsión de espuma en cada una de las fuentes, será también de conexión independiente.
		Aparatos Extintores de Fuego	Idem Zona III Activas
	Pasivas	Distanciamientos entre equipos	<p>Art 321. Los distanciamientos entre tanques serán como mínimo una vez el diámetro del tanque mayor más cercano medido de pared a pared de tanque.</p> <p>No se admitirán almacenamientos de más de 10.000 m³, cuando se trate de agrupamientos en un solo recinto. Cuando se trate de fuel oil o lubricantes, ese límite puede elevarse a 15.000 m³.</p> <p>No se admitirán en los agrupamientos tanques de más de 2.000 m³ de capacidad.</p> <p>Cuando se trate de tanques de más de 15.000 m³, se adoptarán disposiciones especiales que serán objeto de un previo acuerdo con el Organismo Competente.</p>
		Servicio Ignifugo Especial	Art 236. Este tipo de defensa será empleado en esta zona únicamente en aquellos lugares techados o descubiertos donde se manipule o almacenen regularmente derivados de petróleo envasados, en cuyo caso se podrá utilizar una prolongación del sistema principal de Zonas I y/o II o bien se dispondrá de elementos portátiles que permitan la generación de espuma ignífuga, mediante conexiones con la red de agua contra incendios.
		Aparatos Extintores de Fuego	<p>Art 240. En depósitos donde existan productos tales como nafta, kerosene y similares, en latas o tambores, en plataforma de envasado, usinas eléctricas, salas de calderas, laboratorios y similares, habrá una unidad de extintor cada doscientos metros cuadrados (200 m²) de superficie, no debiendo ser necesario recorrer desde cualquier punto del local a proteger más de quince metros (15 m.) En estos sitios se ubicará, además, un recipiente metálico, con tapas, conteniendo arena y dos palas, a efectos de su utilización en caso de posibles derrames o para sofocar incendios incipientes.</p> <p>Art 241. Los aparatos extintores serán ubicados en lugares accesibles a una altura que en ningún caso será mayor de 1,50 m. sobre el nivel del suelo, a fin de permitir su uso con la mínima pérdida de tiempo.</p>
Zona 3: Es el conjunto de instalaciones, equipos y edificios no comprendidos en las dos zonas anteriores.	Pasivas	Distanciamientos entre equipos	Art 246. En lo referente a distanciamientos de edificios o instalaciones descubiertas de esta zona con respecto a equipos de la Zona I, se deberán cumplir las disposiciones de la Planilla N 1.
			Art 247. En lo referente a distanciamientos de edificios o instalaciones descubiertas de esta zona con respecto a tanques de almacenamiento, Zona II, se cumplirán las disposiciones establecidas en el Capítulo III
			<p>Art 248. n respecto al distanciamiento a fijar para las partes de zona, entre sí, se seguirán las exigencias siguientes:</p> <p>a) Distancia mínima entre instalaciones donde se manipulen o almacenen hidrocarburos y edificios donde existan fuegos, 30 metros.</p> <p>b) Distancia mínima entre instalaciones donde se manipulen o almacenen hidrocarburos y edificios donde no existan fuegos, 10 metros.</p>
		Descarga de Electricidad Estática	Art 251. Los edificios o estructuras cuya altura sobrepase el nivel medio del resto de las instalaciones, serán protegidas con pararrayos.

Tabla 7. 16. Artículos empleados en este capítulo, según Ley 13660

7.4 RCI

La protección contra incendios comprende el conjunto de condiciones de construcción, instalación y equipamiento que se deben observar tanto para los ambientes, como para los edificios. Sus principales objetivos son:

- Dificultar la iniciación de incendios.
- Evitar la propagación del fuego y los efectos de los gases tóxicos.
- Asegurar la evacuación de personas.
- Facilitar el acceso y las tareas de extinción del personal de bomberos.
- Proveer las instalaciones de detección y extinción.

Se pueden considerar cuatro clases de fuego, en virtud de la característica del material que arde:

- *Fuego de clase A:* Se producen en materias combustibles comunes sólidas, como madera, papeles, cartones, textiles, plásticos, etc. Al quemarse estos, dejan residuos en forma de brasas o cenizas. Se puede usar agua o soluciones que la contengan en gran proporción.
- *Fuego de clase B:* es debido a los líquidos inflamables como nafta, aceite, grasas, pinturas, solventes, etc., en los cuales se produce la inflamación sobre la superficie del líquido. Podemos extinguirlo por sofocación, restringiendo la presencia de oxígeno, usando espumas formadas por pequeñas burbujas que flotan libremente sobre la superficie del líquido, creando una barrera que reduce la llegada de oxígeno a la reacción química de la combustión.
- *Fuego de clase C:* Se basa en fuego de materiales eléctricos o instalaciones o equipos sometidos a la acción de la corriente eléctrica, que se encuentran bajo tensión. Se pueden utilizar elementos de extinción que actúen por sofocación o enfriamiento, y no deben ser conductores de electricidad.
- *Fuego de clase D:* fuego sobre metales combustibles como el magnesio, circonio, titanio, litio, sodio, etc. Para controlarlo se utilizan polvos especiales para cada uno de ellos, de manera que no se usen los descriptos anteriormente. Como técnica de extinción se recurre a cubrirlos o asfixiarlos con arena o escorias.
- *Fuego de clase K:* Se basa en fuegos en cocinas, implican grandes cantidades de lubricantes o aceites. El agente extintor es de químico húmedo, compuesto de agua y

acetato de potasio, carbonato de potasio, citrato de potasio o la combinación de éstos (son conductores eléctricos). El agente extintor forma una capa de espuma que impide la reignición. El contenido de agua ayuda a enfriar y reducir la temperatura de las grasas y de Los aceites calientes por debajo de su temperatura de auto ignición.

Toda la planta deberá poseer matafuegos en cada piso, en lugares accesibles y prácticos, distribuidos a razón de uno por cada 200 metros cuadrados de superficie cubierta o fracción. El tipo de matafuegos se corresponderá con la clase de fuego probable.

Se utilizará agua como elemento extintor principal de protección activa, ya que es el método más común, económico y eficaz por su gran poder de enfriamiento y sofocación. El agua tiene un alto calor latente de vaporización (540 calorías/gramo) y un calor específico de 1 caloría/gramo. °C, que le confiere una importante capacidad de absorción de calorías. Además, cuando se evapora aumenta su volumen entre 1 500 y 1 700 veces, por lo que consigue desplazar el aire que rodea al fuego. Los diferentes tipos de aplicación del agua contra incendios son:

- ✓ Mediante rociadores.
- ✓ Mediante sistemas de agua nebulizada.
- ✓ Mediante mangueras, monitores e hidrantes.
- ✓ Mediante boquillas de agua pulverizada.

Otro elemento de extinción es la espuma, la cual puede ser aplicada sobre superficies horizontales o casi horizontales que se someten a condiciones de radiación térmica durante un incendio. Una capa de espuma protegerá la superficie de la radiación térmica, reduciendo el riesgo de ignición y extinguiendo el incendio. Consiste en la protección superficial, con espuma física de baja expansión (la generación de espuma se realiza a partir de una mezcla al 3% v/v de espumígeno con un 97% v/v de agua) del interior de los tanques de combustible, del cubeto, del cargadero de camiones y en la refrigeración de la envolvente de los tanques incendiados y contiguos, mediante la aplicación de agua pulverizada (Botta, LOS AGENTES EXTINTORES: LA ESPUMA, 2011). Además, se dispone de una red de 9 hidrantes extintores de columna húmeda distribuidos alrededor de la zona de riesgo, con una cobertura de 40 m de radio desde el emplazamiento del equipo y de un sistema de rociadores para el cargadero de camiones.

En la siguiente tabla se muestra el volumen de agua que debemos utilizar en esta planta es de 266.82 m³ para la RCI, asegurándonos de esta forma, 4 hs en forma continuada a plena capacidad de bombeo.

RCI	Caudal de Agua (m3/h)	Cantidad de Monitores	Tiempo (h)	Consumo (m3)	Presión (kg/cm2)	Ley 13660. Art.
	30	5,43	4	162,80	7	203 y 204
Espumígeno	Caudal de Proceso (m3/d)	Caudal de Espuma Ignífuga (m3/d)	Relación Esp/Agua	Consumo (m3)	Presión (kg/cm2)	Ley 13660. Art.
	3758,4	16236,29	10/1	67,65	7	402
Cortina de Agua	Caudal Cortina (l/h/m2)	Área TK total (m2)	-	Consumo (m3)	Presión (kg/cm2)	Ley 13660. Art.
	30	1212,10	-	36,36	7	302
TK RCI (m3)				266,82		

Tabla 7.17 RCI

Se destinará un tanque exclusivo para este fin, con las bombas requeridas para alcanzar la presión de 7 Kg/cm2.

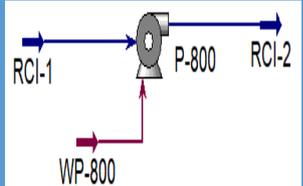
EQUIPO	DETALLE	UNIDAD	RCI-1	RCI-2
	Temperatura	°C.	25	25
	Presión	kg/cm2	1	7
	Caudal volumétrico	m3/h	267	267
	Agua	% Volumen	1	1
	Potencia	hp	76.82	

Tabla 7.18. Balance de masa y energía una bomba de la RCI

Una sala de bomba está compuesta por:

- **Bomba Principal.** motorizada con motor eléctrico alimentado con dos fuentes eléctricas distintas e independientes. Una de ellas interna de la empresa (tablero eléctrico interno), y la otra directamente de una alimentación externa exclusiva desde el proveedor de energía. La bomba principal debe estar conectada en automático mediante un presóstato. Por este motivo siempre la red de incendio debe ser mantenida bajo presión o presurizada.

- **Bomba Secundaria o de Respaldo.** entra en funcionamiento en caso de falla de la bomba principal, tanto sea por fallas en la bomba, fallas en el motor o en la alimentación eléctrica del motor. Bomba motorizada con un motor a explosión es tener una alternativa de bombeo con una fuente de potencia autónoma e independiente.
- **Bomba de Mantenimiento de Presión.** Bomba que tiene como función mantener la presión de la red de incendio. Es por lo general una bomba multietapas de alta presión y bajo caudal, denominada habitualmente “bomba jockey”. El caudal de esta bomba debe ser menor al menor consumo de la red de incendios. La presión de esta bomba, por lo general debe ser igual a la máxima presión estática que proporciona el sistema de bombeo (U.B.A.).

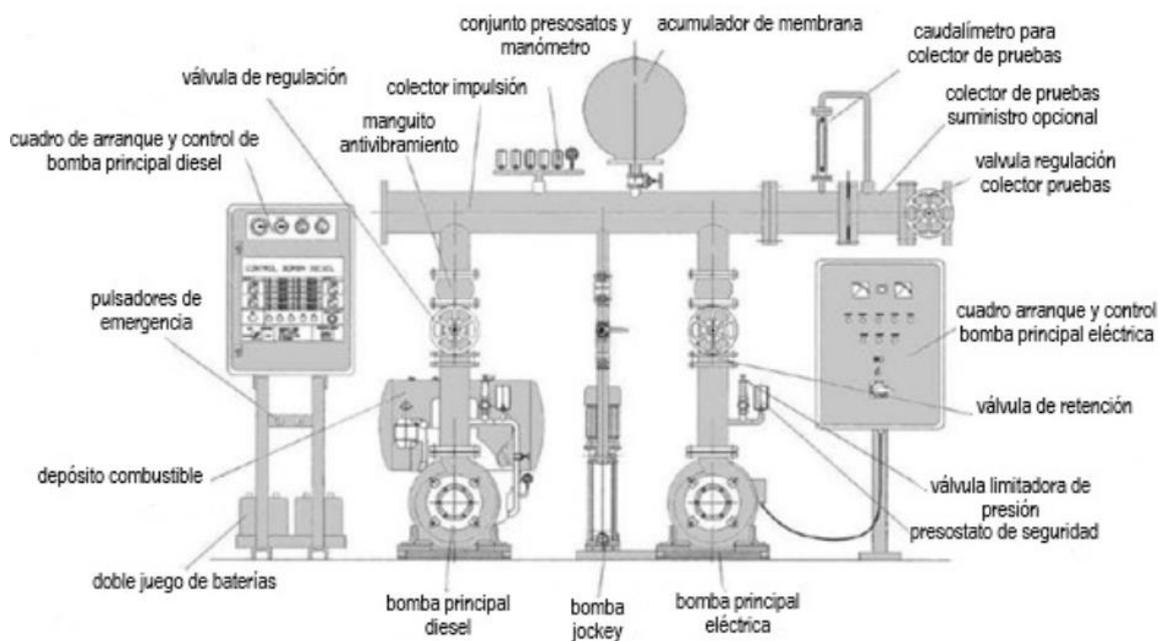


Ilustración 7.3 Bomba Jockey.

Si se produce la apertura de un hidrante, o rociadores, o cualquier aplicación conectada a la red de incendios, la presión cae por consumo de agua, y nuevamente arranca primero la bomba jockey, como esta es una bomba de bajo caudal, no podrá mantener la presión requerida para el consumo de agua de unos o varios hidrantes, por consiguiente, la presión sigue bajando, aún con la bomba jockey en marcha, cuando la presión cae por debajo del tarado del presostato de la bomba ppal., esta arranca.

Las bombas de impulsión de la RCI serán de 2 tipos, las bombas contra incendios y la bomba de presurización de la red (Jokey). La Jokey actuará de manera automática para mantener la línea a la presión de 7Kg/cm² prefijada. Es por ello que dispondremos de 2 bombas

(P-801A y P-801 B) accionadas un motor eléctrico; y la otra con motor diésel de back up (respaldo), en caso de corte de energía eléctrica, como bombas contra incendios. Por lo tanto, existirá un sistema de arranque automático que garantice el caudal y presión estática prefijadas, con las paradas de las bombas manuales.

Se selecciona la bomba de agua contra incendios y se adjunta su catálogo. Los equipos que incluye el paquete de lucha contra incendio, ensamblados bajo norma NFPA 20, son:

1 - bomba principal; 1 - bomba reserva; 1 - bomba jockey; 1 - colector de succión con sus respectivas válvulas; 1 - colector de descarga con by pass hacia colector de succión para pruebas con sus respectivos accesorios; 1 - tablero comando para bomba principal, secundaria y jockey con señal de alarma; 1 - tanque hidroneumático de 100 lts; 1 - base con soporte para 3 bombas + tablero comando; 1 - instalación eléctrica completa

A continuación, se presentan los planos PI-PR-LO-02-LAYOUT RCI y PI-PR-LO-03-LAYOUT RCI correspondientes a la Seguridad de planta, como se puede ver el primero pertenece a la planta y el segundo a la antorcha, los mismos se encuentran adjuntos al final del proyecto.

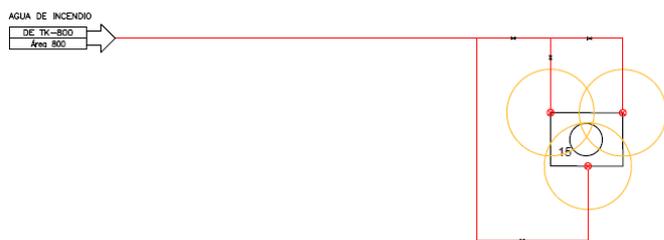


Ilustración 7.4. Imagen de la disposición de la RCI.

Fuente: Elaboración propia. Ver plano PI-PR-LO-03-LAYOUT RCI.

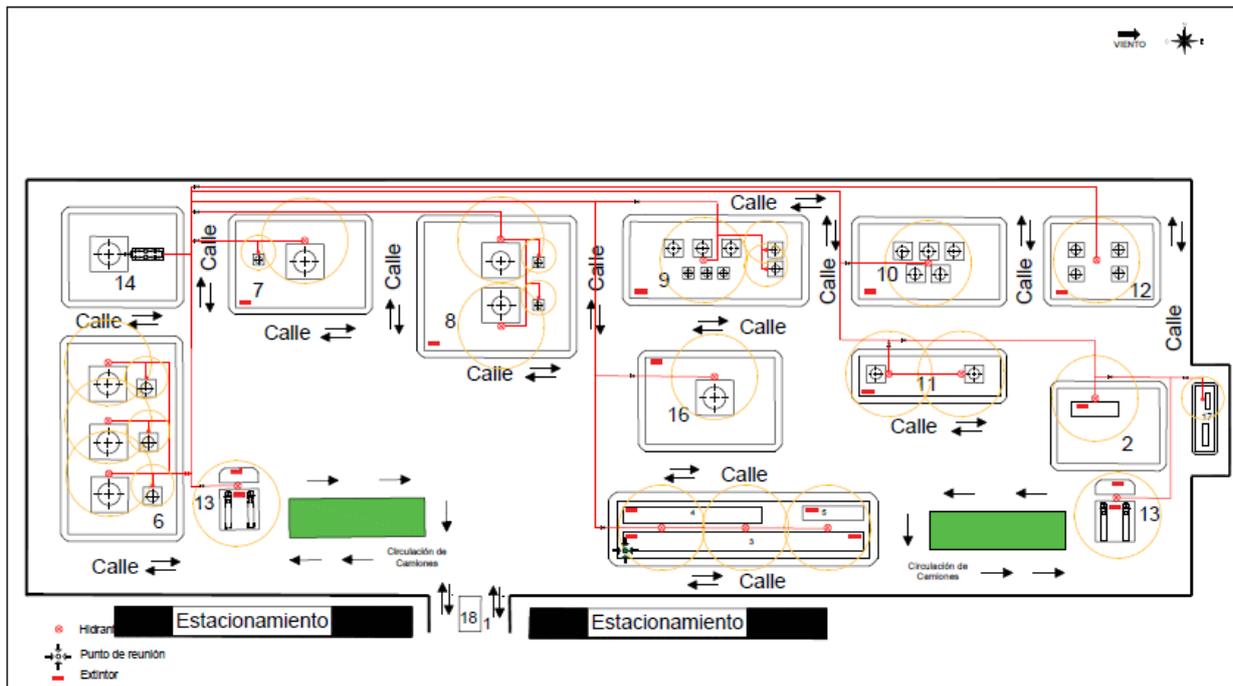


Ilustración 7.5. Imagen de la disposición de la RCI.

Fuente: Elaboración propia. Ver plano PI-PR-LO-02-LAYOUT RCI.

7.5 ANÁLISIS: WHAT IF?

Es un método de identificación de riesgos de un proceso, el cual considera los aspectos generados cuando se introducen cambios al proceso o a los procedimientos de operación de los equipos. Consiste en formular preguntas, desarrollar respuestas y evaluarlas adecuadamente. De este modo se formula una lista de planteamientos empleando preguntas que inician con las palabras ¿Qué pasa sí?

En el siguiente cuadro representaremos un listado de posibles riesgos para la planta de Producción de PP:

¿Qué pasa si...	Consecuencia/Riesgo	Plan de Contingencia
se para el compresor?	Se va a presurizar el separador	Tener una válvula de seguridad y controlar la presión. Instalar un controlador de Presión
se corta la luz?	Parada de bombas eléctricas	Tener bombas de diésel o grupos electrógenos Instalar una alarma de paro al detectar flujo bajo a través de la válvula
se obstruye una válvula de alimentación?	Aumentaría la presión en el reactor lo que provocaría una presurización y una posible explosión	Mantenimiento periódico adecuado. Instalar un controlador de Presión
una de las bombas eléctricas no funciona?	Modifica la presión	Mantenimiento periódico adecuado se activa la bomba auxiliar y se pone en funcionamiento
se incrementa la temperatura del reactor RX-300?	Posible coquización en el fondo del reactor	Alarma y detector de Temperatura en la línea de proceso. Instalar una alarma de paro al detectar el aumento o disminución
falla el reactor?	Una falla podría llevar a una disminución en los estándares de calidad o incluso al corte de la producción.	Se establecerá un programa de mantenimiento predictivo y preventivo para evitar la aparición de roturas. El personal será capacitado para efectuar los mantenimientos incluidos el correctivo.

Tabla 7.19. What If?

¿Qué pasa si...	Consecuencia/Riesgo	Plan de Contingencia
hay fallas en las columnas de destilación?	Provocaría una disminución en los estándares de calidad establecidos. Esto también conduciría problemas ambientales, ya que la corriente de fondo de algunas columnas podría contener una carga mayor a la permisible.	Se llevará a cabo, programa de mantenimiento predictivo y preventivo a fin de evitar la aparición de desperfectos y el personal será capacitado para realizar dichos mantenimientos incluido el correctivo.
hay falta de materia prima, insumos y servicios?	La falta de materia prima resultaría en el cese de producción. Con respecto al transporte del metanol, no sería un problema ya que el proveedor se encuentra en cercanías a la planta. Problemas con los servicios de gas, luz y energía, utilizados para la producción, son menos probables que ocurran debido a la localización de la planta en un parque industrial.	Se establecerán contratos comerciales de abastecimiento de materia prima con la empresa productora de esta. En cuanto a los servicios, se podrían realizar conexiones alternativas. Por ejemplo, en caso de corte de energía, instalar un generador eléctrico propio. Con respecto al catalizador, se buscará establecer un contrato comercial de abastecimiento y se mantendrá el stock de este al máximo nivel posible.

Tabla 7.20. What If?

7.6 PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA OPERACIONAL

Situación: Derrame en un Tanque de Metanol.

- Se debe avisar en forma inmediata al responsable del sector quien procede a coordinar la manera correspondiente a efectos de controlar el mismo

- En primera instancia se deberá examinar que se debe eliminar la causa raíz que origina el derrame y luego controlar que el metanol derramado no se extienda demasiado
- Si el derrame fuera por rebalse del tanque se deberá cortar el ingreso del mismo y trasvasarlo a otro tanque para impedir la pérdida.
- Si la pérdida es por fondo por una brida debemos realizar un colchón de agua que canalizar la misma hacia una cámara de desagüe controlando siempre el nivel de agua mientras se realiza el trasvase de crudo a otro tanque
- Si el derrame es conducido a drenaje deberá ser a las piletas Api y tomar medición de gases continuas, controlar la posible formación de una atmosfera explosiva. Se deberá procurar que la superficie del suelo alcance la menor superficie posible para minimizar el impacto sobre las napas de agua subterránea y se deberá eliminar toda posible ignición de agua de emergencia como circulación de vehículos los cuales deberán contener arresta llamas
- De considerarse necesario se deberá tener un colchón de espuma previniendo así una formación de mezcla explosiva
- Queda prohibida la permanencia de personas de toda la planta que no esté afectada a la atención de la misma

Situación: Incendio en un Tanque de Metanol.

- Ante la situación de un incendio de tanque se deberá proceder de manera inmediata y activar el anillo de refrigeración del tanque afectado, así como la aplicación de espuma del recipiente que se encuentra fuera del recinto
- Activar y dirigir los monitores aledaños de incendio como así también de los tanques que están próximos
- Cortar el ingreso de crudo.

Situación: Apagado de la llama de horno H-200.

- Dentro de un horno tiene lugar la combustión del gas natural (principalmente metano) al ponerse en contacto con el oxígeno del aire.
- En el interior de los hornos, la llama de los quemadores se puede detectar a través de los “detectores de llama” alrededor del mismo, que inmediatamente al no detectar llama, accionan cortando la alimentación de gas natural, es decir, cerrando completamente la válvula correspondiente al ingreso de gas.

7. ANÁLISIS HAZOP

Es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los riesgos, los accidentes o los problemas de operabilidad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada. El soporte principal que utiliza esta técnica es el diagrama de flujo de proceso y el P&ID.

Consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de unas "palabras guía", estas se utilizan para indicar el concepto que representan a cada uno de los nudos (Escobar, 2012). Se aplican tanto a acciones (reacciones, transferencias, etc.) como a parámetros específicos (presión, caudal, temperatura, etc.).

Nodo: 1		Equipo seleccionado: Reactor RX-300		
Palabra Guía	Parámetro	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas (Preventivas)
No	Flujo de Metanol	Fallo bomba adición. Obstrucción y/o fuga en tubería. No existencia ácido nítrico	No se produce la reacción.	Instalar válvula manual. Instalar filtros para prevenir partículas no entren en la línea
Más	Flujo de Metanol	Válvula control falla abierta. Fallo lazo de control de flujo másico. Falla medidora de flujo másico.	Reacción muy exotérmica y descontrolada.	Revisión y sustitución de la válvula, lazo y medidor de flujo másico si procede

Tabla 7. 21. Hazop del equipo RX-300.

Nodo: 2		Equipo seleccionado: Intercambiador de Calor E-101		
Palabra Guía	Parámetro	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas (Preventivas)
No	Caudal líquido	Falla válvula salida: cerrada. Falla bomba salida.	Paro operaciones posteriores	Abrir válvula. Instalar indicador de marcha de bomba.
Más	Temperatura	Falla válvula de control del agua de refrigeración: cerrada.	No Cambio de temperatura	Reparación válvula de control de temperatura
	Caudal líquido	Bajada densidad líquido. Falla calibrado bomba. Falla operador.	Enfriamiento insuficiente.	Instalar control de nivel en el equipo posterior. Revisión bomba.
Menos	Temperatura	Falla válvula de control de agua de refrigeración: abierta.	Solidificación otros compuestos con la consecuente pérdida de pureza del producto. Obstrucción en intercambiador.	Reparación válvula de control de temperatura.
	Caudal líquido	Válvula parcialmente cerrada. Falla bomba. Fuga tubería y/o obstrucción tubería.	Paro de operaciones posteriores.	Abrir válvula. Colocar amperímetro que indique consumo bomba. Limpieza de la tubería.

Tabla 7. 22. Hazop del equipo E-101.

Nodo: 3		Equipo seleccionado: Torre de Destilación T-500		
Palabra Guía	Parámetro	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas (Preventivas)
Menos	Presión	Disminución caudal aceite y consecuente disminución de vapor generado. Falla válvula de reflujo: se bloquea abierta y aumenta reflujo	Vacío columna. Parada equipo.	Instalación de medidor de presión diferencial.
	Temperatura	Falla válvula reflujo: se bloquea abierta y aumenta reflujo. Sobre enfriamiento en el condensador. Disminución vapor generado en hervidor	Menor grado de Separación isómeros. Parada columna de destilación	Comprobación de líneas de agua de refrigeración y aceite térmico
No	Caudal reflujo	Fallo válvula de reflujo: se bloquea en posición cerrada. Fuga en alguna línea de destilado.	Aumento T° en columna. Parada equipo. No hay separación de los isómeros.	Comprobación válvula de reflujo. Chequeo línea de destilado.
Más	Presión	Obstrucción válvula de reflujo. Fallo eléctrico. Perturbación en la alimentación de la columna: más T. Exceso aceite reboiler	Parada equipo.	Instalación de medidor de presión diferencial.
	Temperatura	Fallo eléctrico. Fallo agua de refrigeración o sistema de calefacción con aceite.	Parada equipo. No hay separación de los isómeros.	Comprobación de servicios de refrigeración y calefacción.
	Caudal reflujo	Variación relación de reflujo. Fallo válvula de reflujo: posición abierta.	Disminución T columna. Parada columna. No separación isómeros.	Comprobación válvula de reflujo.

Tabla 7.23. Hazop del equipo T-500.

7.7 SEGURIDAD E HIGIENE OCUPACIONAL DE LOS EMPLEADOS

Resulta de vital importancia el control de la seguridad e higiene en las empresas industriales. Se mantendrá seguro e higiénico el ambiente laboral, para el buen desarrollo del empleado dentro de las instalaciones de la planta. La creación de condiciones seguras, contribuirán al aumento de la productividad y a un desarrollo más armonioso y estable por parte del trabajador en la empresa.

En esta sección del proyecto se tratarán una serie de pautas basadas en la Ley 19.587/72 de Higiene y Seguridad en el Trabajo (Trabajo), las cuales detallaremos a continuación:

7.7.1 Condiciones generales de construcción y sanitarias

La construcción, modificación y reparación de establecimientos se regirán según las normas de urbanismo y construcciones vigentes. Los revestimientos de pisos serán sólidos no resbaladizos y resistentes a los elementos tóxicos a emplear, impermeables y no porosos.

Cuando el proceso de producción exponga el piso a líquidos debe haber sistemas de drenaje. En las áreas de producción se contará con un pasillo de 2 metros de ancho. Los espacios entre máquinas o equipos deben ser amplios para permitir el movimiento del personal sin exposición a accidentes (SRT, 2019).

7.7.2 Iluminación

La iluminación en los puestos de trabajo debe ser adecuada a la tarea a realizar. La mala Iluminación causa fatiga a la vista, perjudica el sistema nervioso, influye en la mala calidad del trabajo y es responsable de una buena parte de los accidentes de trabajo. Debido a esto, los pasillos de tránsito se encontrarán iluminados y toda la planta estará iluminada por reflectores.

7.7.3 Ruido

Se monitoreará el riesgo acústico a través de mediciones de ruido al que se encuentra expuesto el personal y se identificarán los equipos o zonas más ruidosas de la planta.

Si los niveles son inferiores a los 85 dB (decibeles) de nivel sonoro continuo equivalente, sólo se controlará que el nivel medido se mantenga. Por el contrario, si el nivel supera los 85 dB, se deberá disminuir el ruido al mínimo posible desde la fuente que lo produce, instalando carteles indicativos del uso de protección auditiva.

7.7.4 Ventilación

Los lugares de trabajo deben poder ventilarse perfectamente en forma natural, manteniendo condiciones ambientales que no perjudiquen la salud del trabajador. Como la mayoría de las áreas de la planta de se encuentran al aire libre, los requerimientos en cuanto a ventilación serán bajos. Además, se distribuirán los equipos para la libre circulación de aire, en aquellas zonas que se encuentran bajo techo.

7.7.5 Contaminantes Químicos en Ambientes de Trabajo

Se informará a cada uno de los operarios que maniobras debe realizar a la hora de manipular todos los compuestos para evitar algún daño a la integridad física de los operarios, para tal fin se contará con las hojas de seguridad de cada uno de los compuestos empleados en la fabricación de polipropileno, las cuales establecen que medidas deben tomarse cuando se los manipula, como así también las condiciones de su almacenamiento.

7.7.5 Plan de Emergencia

Se empleará un plan de emergencia por el potencial riesgo, de que exista un incendio dentro del establecimiento. Se informará el plan a todos los operarios con la finalidad de tener un conocimiento de cómo actuar si se presenta la posibilidad de algún siniestro.

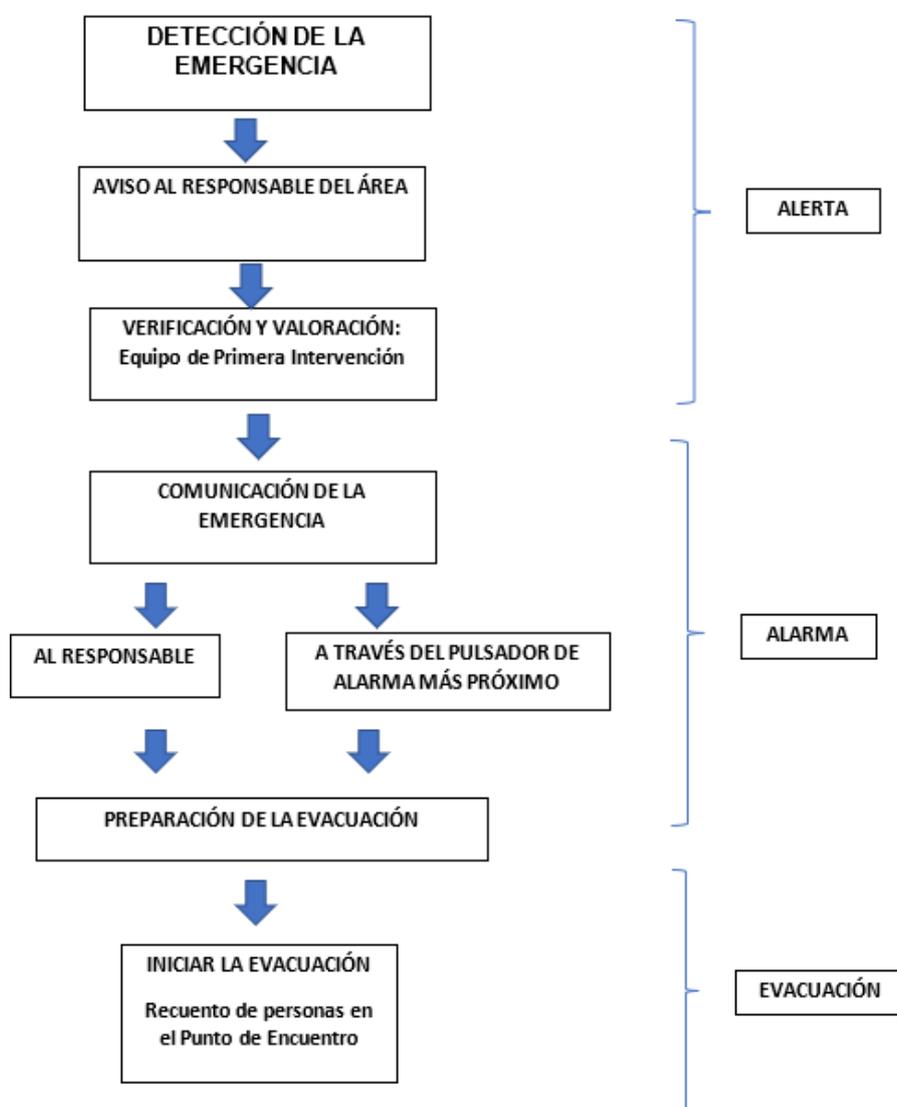


Ilustración 7.6 Esquema General de Emergencia. Fuente: Elaboración Propia

7.7.7 Señalización

Su función es indicar los riesgos existentes, precauciones, obligaciones a través de colores y señales. Es primordial que, los caminos de circulación estén marcados de modo de favorecer el orden y limpieza de los ambientes de trabajo y señalar las salidas normales y de emergencia necesarias para que sean identificadas fácilmente.

Las cañerías que conduzcan fluidos deben estar codificadas por medio de colores según establecen las normas. Se pueden identificar distintos tipos de señalización:

- ✓ Señales de prohibición: son señales que prohíben un comportamiento susceptible de provocar un peligro, tienen forma redonda.
- ✓ Señales de advertencia: advierten de un riesgo o peligro, son de forma triangular.
- ✓ Señales de obligación: obliga a un comportamiento determinado, son de forma redonda.
- ✓ Señales informativas: proporciona indicaciones relativas a las salidas de emergencia, a los primeros auxilios o a los dispositivos de asistencia, son de forma rectangular o cuadrada.
- ✓ Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios: proporcionan indicaciones relativas a los equipos de lucha contra incendios y, son de forma rectangular o cuadrada.

7.7.8 Elementos de Protección Personal (EPP)

Hace referencia a cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud en el trabajo, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin. Se deberá entregar a cada operario la protección adecuada, acorde el sector de la planta en la que trabaje y los riesgos a los que puede estar sometido.

Los EPP deben ser de uso individual y no intercambiable, por razones de higiene y practicidad. Todas las personas deben ser informadas sobre las características de los equipos que se le entregan, siguiendo las indicaciones que se le han dado al respecto, y debe ser responsable de su mantenimiento y conservación (SRT, 2019).

Los requisitos que deben cumplir los EPP son proveer máximo confort y su peso debe ser el mínimo compatible con la eficiencia en la protección. No deben restringir los movimientos del trabajador. Deben ser durables y el mantenimiento debe hacerse en la empresa.

Tipos de EPP:

- ✓ Protección auditiva (orejeras, orejeras acopladas a casco, tapones auditivos.)
- ✓ Cascos. (tipos Clases A, B, C, D, E).
- ✓ Calzados de seguridad.
- ✓ Arnéses y cinturones.
- ✓ Guantes (contra riesgos mecánicos y térmicos).
- ✓ Protección visual (gafas y pantallas de protección)
- ✓ Protección respiratoria
- ✓ Ropa de trabajo (de tela flexible para una fácil limpieza, desinfección, impermeable, ignífugo, de abrigo resistente a sustancias agresivas)

7.8 BIBLIOGRAFÍA

Botta, I. N. (2011). Diseño de sistemas de protección por hidrantes. Red Proteger.

Botta, I. N. (2011). Los agentes extintores: la espuma. red proteger.

Botta, I. N. (2013). Sistemas fijos de protección en base a agua. red proteger.

Castañeda, I. E. (2011). Una introducción a las técnicas de mayor aplicación para la evaluación de riesgos. Evaluación de riesgos de proceso en instalaciones industriales.

Escobar, G. L. (2012). La ingeniería en la seguridad de procesos. Idisa.

Método What If? Para la determinación de riesgos en la industria. (S.F.).

Química, A. N. (S.F.). Identificación y selección de metodologías de análisis de riesgos de proceso.

Srt. (2019). Elementos de protección personal (Epp). Superintendencia de riesgos del trabajo.

Trabajo, M. D. (S.F.). Ley 19.587/72 de higiene y seguridad. Pág. 156.

U.B.A., A. C. (S.F.). Sistemas de bombas contra incendios.

Universitario, H. R. (2016). Clasificación, etiquetado y envasado de sustancias químicas.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 2 Fecha: 17/02/2023		

Capítulo N°8

Sistema de Control y

P&ID

8. DIAGRAMAS DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION

8.1 INTRODUCCION

Un **P&ID** es un diagrama que muestra el flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos instalados y el instrumental.

Generalmente este tipo de diagrama contiene:

- Instrumentación y denominación de los instrumentos.
- Equipos con nombre y numeración.
- Válvulas con identificación.
- Tuberías, con diámetro e identificación.
- Flujo de direcciones.
- Control de entradas y salidas.

La norma ISA S5.1 es una norma de ingeniería que establece los estándares para los símbolos gráficos utilizados en los diagramas de instrumentación y sistemas de control. Dicha norma fue desarrollada por la Sociedad Internacional de Automatización (ISA) y proporciona una guía detallada sobre la representación gráfica de los instrumentos, dispositivos y sistemas de control utilizados en la automatización de procesos industriales.

Los P&ID son fundamentales para mantener y modificar procesos industriales, ya que exponen la secuencia física de los equipos y sistemas, y cómo estos se conectan. Además, durante la etapa de diseño, el P&ID proporciona una base para el desarrollo de sistemas de control del proceso (Gutiérrez, 2003).

En esta sección se detalla toda la información referente a los sistemas de control para cada zona de la planta.

8.2 COMPONENTES UTILIZADOS EN UN P&ID

- Medida: Es una determinación de la existencia o magnitud de una variable.
- Monitor: Es un término general para un instrumento o sistema de instrumentos utilizados para la medición o conocer la magnitud de una o más variables con el propósito de emplear la información en determinado momento.

- Montado en panel: Es un término aplicado a un instrumento que está montado sobre un panel o consola y es accesible para un operador en uso normal.
- Elemento primario: Es un sinónimo de sensor.
- Proceso: Se refiere a cualquier operación o secuencia de operaciones que involucren un cambio de energía, estado, composición, dimensión, u otras propiedades que pueden referirse a un dato.
- Variable del proceso: cualquier propiedad variable de un proceso. El término variable de proceso es usado como un standard para la aplicación a todas las variables.
- Sensor: Es una parte de un lazo o un instrumento que primero detecta e valor de una variable de proceso y que asume una correspondencia, predeterminación, y estado inteligible o salida. El sensor puede ser integrado o separado de un elemento funcional o de un lazo. Al sensor también se le conoce como detector o elemento primario.
- Transmisor: Dispositivo, el cual detecta la variable de un proceso a través de un sensor y tiene una salida la cual varía su valor solamente como una función predeterminada de la variable del proceso. El sensor puede estar o no integrado al transmisor.
- Accesible: este término se aplica a un dispositivo o función que puede ser usado o visto por un operador con el propósito de controlar el desempeño de las acciones de control.
- Estación de control: Es una estación de carga manual que también proporciona un control en el cambio de manual a automático de los modos de control dentro de lazo de control, a ésta también se le conoce como estación auto manual.
- Función: propósito que debe cumplir un dispositivo de control.
- Instrumentación: Se refiere a la colección de instrumentos o sus aplicaciones con el fin de observar mediciones, control, o cualquier combinación de estos.
- Panel local: Que no está en un panel central, los paneles locales están comúnmente en el ámbito de subsistemas de plantas o sub-áreas. El término instrumento local de panel no puede ser confundido con instrumento local.
- Lazo: Es una combinación de uno o más instrumentos o funciones de control que señalan el paso de uno a otro con el propósito de medir y/o controlar las variables de un proceso.
- Local: Es la localización de un instrumento que no está ni dentro ni sobre un panel o consola, ni está montado en un cuarto de control. Los instrumentos locales están comúnmente en el ámbito de un elemento primario o un elemento de control, la palabra “campo” es un sinónimo muy usado con local.

- **Identificación:** Describe una secuencia de letras o dígitos, o ambos, usados para señalar un instrumento en particular o un lazo.
- **Elemento final de control:** Dispositivo que controla directamente los valores de la variable manipulada en un lazo de control. Generalmente el elemento final de control es una válvula de control.
- **Detrás del panel:** Este término se refiere a la posición de un instrumento, el cual ha sido montado en un panel de control, pero no es normalmente accesible al operador.
- **Controlador:** Dispositivo con una salida que varía para regular una variable de control de una manera específica. Un controlador manual varía su salida automáticamente en respuesta a una entrada directa o indirecta de un proceso variable. Un controlador manual es una estación manual de carga y su salida no depende de una medida de un proceso variable, pero puede variarse solamente por medio de un procedimiento manual.
- **Medición:** Es la extracción de información de las variables o parámetros que actúan en los procesos o sistemas.

8.3 INSTRUMENTOS

Los instrumentos de control son dispositivos utilizados para medir una variable de proceso y transmitir esta información a un controlador que luego toma una acción para mantener la variable en un valor deseado (ISA The Instrumentation, 1992). Los instrumentos de control se utilizan en la industria para monitorear y controlar variables de proceso como flujo, presión, nivel y temperatura. Cumplen diferentes funciones:

- Controlar el proceso.
- Registrar la información sobre el desarrollo del proceso.
- Indicar el valor o magnitud de la variable.
- Transmitir la información de la variable a otro instrumento o sala de control.

La identificación funcional de los instrumentos o su equivalente funcional consisten en letras que incluyen una primera letra (designación de la medida o variable inicial) y una o más letras sucesivas (identificación de funciones).

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN TÍPICO	
TIC 103	Identificación del instrumento
T 103	Identificación del lazo
103	Número de lazo
TIC	Identificación de la función
T	Primera letra
IC	Letras sucesivas
A	Sufijo opcional

Tabla 8. 1 Número de identificación

8.3.1 Clasificación de la instrumentación

Puede ser clasificada como primaria, secundaria, auxiliar o accesoria, para asignación de lazos, identidades funcionales y símbolos.

- **Primaria:** Reside en la medición, monitoreo, control y cálculo de dispositivos y hardware y sus funciones, incluyen transmisores, registradores, controladores, válvulas de control, dispositivos de seguridad auto accionados que requieren la identificación asignada por el usuario.
- **Secundaria:** Consiste en la medición, monitoreo o dispositivos de control y hardware que incluye niveles, manómetros, termómetros y reguladores de presión.
- **Auxiliar:** Se fundamenta en dispositivos y hardware que miden, controlan o calculan y que son necesarios para el funcionamiento efectivo de la instrumentación primaria y secundaria. Incluye dispositivos de cálculo, medidores de purga, sistemas de muestreo y aire para instrumentos.
- **Accesoria:** Se basa en dispositivos y hardware que no miden ni controlan, sino que son necesarios para el adecuado funcionamiento del sistema de medición, monitoreo o control; por ejemplo, el funcionamiento del tubo del caudalímetro.

En el proceso se utiliza la siguiente instrumentación a detallar:

INSTRUMENTACIÓN		SIMBOLO
Instrumentación Primaria	Transmisor de nivel	TL
	Transmisor de caudal	TF
	Transmisor de temperatura	TT
	Controlador de nivel	CL
	Controlador de caudal	CF
	Controlador de temperatura	CT
	Válvulas de seguridad	PSV
Instrumentación Secundaria	Indicador de presión	IP
	Indicador de nivel	IL
	Indicador de temperatura	IT

Tabla 8. 2 Instrumentos utilizados en el P&ID

8.3.2 Simbología de instrumentación

En la simbología de instrumentación, los círculos se utilizan para representar los instrumentos de medición y control en un diagrama de procesos. Dentro de los círculos se indican el tipo de instrumento y su función, mientras que las líneas que los conectan representan las conexiones entre los diferentes componentes. También, muestran la posición en que se deben montar los instrumentos. Los símbolos con o sin líneas indican la información descrita en la figura siguiente.

	MONTADO AL TABLERO. NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR.	MONTADO EN CAMPO	UBICACIÓN AUXILIAR. NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR
INSTRUMENTO DISCRETO O AISLADO			
DISPLAY COMPARTIDO, CONTROL			
FUNCION DE COMPUTADORA			
CONTROL LOGICO PROGRAMABLE			

Tabla 8.3. Formas de los instrumentos

8.3.3 Indicadores locales

Los indicadores locales permiten ver los valores medidos en los propios equipos y en las líneas de proceso.

EJEMPLO	P&ID	INDICADORES LOCALES
		INDICADOR DE TEMPERATURA
		INDICADOR DE PRESIÓN
		INDICADOR DE CAUDAL
		INDICADOR DE NIVEL

Ilustración 8. 1 . Indicadores locales

8.3.4 Transmisores

El transmisor convierte la información de medición (como la temperatura, la presión, el nivel, el caudal, etc.) en una señal eléctrica que se transmite a través de un cable a un indicador, controlador, registrador o sistema de control de proceso.

Los transmisores pueden ser montados directamente en un instrumento de medición (como un sensor o un manómetro), o pueden ser montados en un panel o en una carcasa separada. Además, algunos transmisores también tienen la capacidad de realizar funciones

adicionales, como la conversión de señales, la calibración automática y la compensación de temperatura.

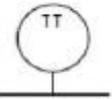
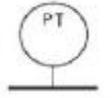
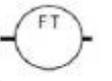
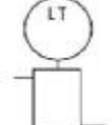
<u>EJEMPLO</u>	<u>P&ID</u>	<u>TRANSMISORES</u>
		TRANSMISORES DE TEMPERATURA
		TRANSMISORES DE PRESIÓN
		TRANSMISORES DE CAUDAL
		TRANSMISORES DE NIVEL

Ilustración 8. 2 Transmisores

8.3.5 Switches

Es un dispositivo utilizado para controlar el flujo de un fluido o un gas en un proceso. Los switches pueden ser mecánicos o electrónicos y se utilizan para abrir o cerrar un circuito o una válvula según sea necesario.

Los switches mecánicos funcionan mediante un mecanismo físico que se activa por una señal de entrada, como la presión o el movimiento de un componente en el proceso. Por ejemplo, un switch mecánico podría ser utilizado para detectar la presencia de un fluido en un tanque y activar un circuito de control en consecuencia.

Los switches electrónicos, por otro lado, utilizan una señal eléctrica para activar un circuito o una válvula. Por ejemplo, un switch electrónico podría ser utilizado para controlar la posición de una válvula de solenoide en una línea de proceso.

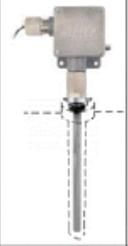
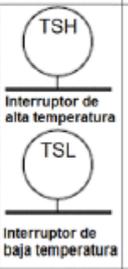
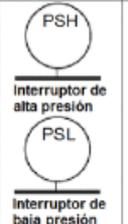
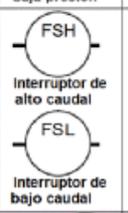
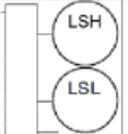
EJEMPLO	P&ID	SWITCHES
	 <p>Interrupor de alta temperatura</p> <p>Interrupor de baja temperatura</p>	SWITCHES DE TEMPERATURA
	 <p>Interrupor de alta presión</p> <p>Interrupor de baja presión</p>	SWITCHES DE PRESIÓN
	 <p>Interrupor de alto caudal</p> <p>Interrupor de bajo caudal</p>	SWITCHES DE CAUDAL
	 <p>LSH</p> <p>LSL</p>	SWITCHES DE NIVEL

Ilustración 8. 3 Switches

8.4 IDENTIFICACION DE EQUIPOS

Los equipos pueden identificarse en forma general tanto en el diagrama de flujo como en el P&ID como sigue:

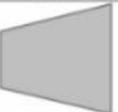
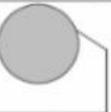
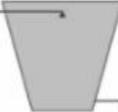
Torre de destilación	Tanque encamisado	Reactor	Tanque
			
Tanque Atmosferico	Contenedor (Bin)	Tolva pesadora	Horno
			
Motor	Bomba	Soplador	Intercambiador de aire
			
Horno rotativo	Transportador	Tranp. de tornillo 1	Transp. De banda
			
Tranp. de tornillo 2	Alimentador rotativo	Elevador	Mezclador en linea
			
Compresor	Turbina	Ciclon Separador	Separador rotativo
			
Torre de enfriamiento	Mezclador estático	Tolva	Filtro de bolsa
			
Hervidor encamisado	Agitador de cuchilla	Orificio de restricción	Agitador
			

Ilustración 8.4 . Forma de equipos básicos

Los equipos también tienen su identificación, mediante letras y números, similares a los instrumentos. A continuación, se muestra cómo se lleva a cabo:

- XX: letras de identificación para cada equipo
- Y: hace referencia a un área dentro de la planta
- ZZ: número designado para cada ítem dentro del área de la planta

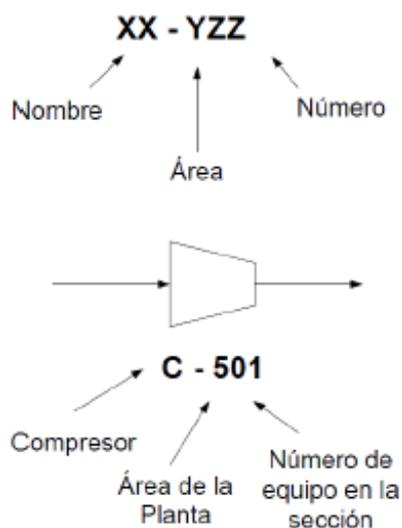


Ilustración 8. 5 Codificación de equipos

Los equipos se representan en los planos teniendo en cuenta el área donde se encuentran ubicados, así por ejemplo el equipo N°100 pertenecerá al área de igual numeración (Área-100).

Área	Equipos	Descripción	Área	Equipos	Descripción
100	TK-100	Tanque de metanol	500	T-500	Torre de destilación
	TK-101	Tanque de etileno		C-500	Intercambiador de cabeza T-500
	TK-102	Tanque de etano		R-500	Rehervidor fondo T-500
	TK-103	Tanque de hidrógeno		V-500	Acumulador de Cabeza T-500
	P-100 A/B	Bomba Centrífuga		P-500A/B	Bomba de reflujo
	P-101 A/B	Bomba Centrífuga		P-501A/B	Bomba de reflujo
	P-102 A/B	Bomba Centrífuga		P-502A/B	Bomba de corriente lateral
	P-104 A/B	Bomba Centrífuga		P-511	Bomba centrífuga
200	Mix-200	Mezclador de alimentación y reciclo		T-501	Torre de destilación
	E-200	Intercambiador de calor		C-501	Intercambiador de cabeza T-501
	H-200	Horno		R-501	Rehervidor fondo T-501
300	RX-300	Reactor de producción de dimetil eter		V-501	Acumulador de Cabeza T-501
	E-300	Intercambiador de calor		P-505A/B	Bomba de reflujo
	RX-301	Reactor de producción de propileno y derivados		P-506A/B	Bomba de reflujo
	E-301	Intercambiador de calor		T-502	Torre de destilación
400	V-400	Separador		C-502	Intercambiador de cabeza T-501
	K-400	Compresor		R-502	Rehervidor fondo T-501
	E-400	Intercambiador de calor		V-502	Acumulador de Cabeza T-501
	V-401	Separador		P-508A/B	Bomba de reflujo
	K-401	Compresor		P-509A/B	Bomba de reflujo
	E-401	Intercambiador de calor		P-510	Bomba centrífuga
	V-402	Separador		T-503	Torre de destilación
	K-402	Compresor		C-503	Intercambiador de cabeza T-501
	E-402	Intercambiador de calor		R-503	Rehervidor fondo T-501
	V-403	Separador		V-503	Acumulador de Cabeza T-501
	VLV-400	Válvula		P-512A/B	Bomba de reflujo
	MIX-400	Mezclador de corrientes de proceso		P-513A/B	Bomba de reflujo
	VLV-401	Válvula		P-514	Bomba centrífuga
	MIX-401	Mezclador de corrientes de proceso	T-504	Torre de destilación	
			C-504	Condensador de cabeza T-501	
		R-504	Rehervidor fondo T-501		
		V-504	Acumulador de Cabeza T-501		
		P-517A/B	Bomba de reflujo		
		P-518A/B	Bomba de reflujo		
		P-519	Bomba centrífuga		

Tabla 8. 3. Equipos ordenados por área. Fuente: Elaboración propia.

Área	Equipos	Descripción
600	T-600	Torre de destilación
	R-601	Rehervidor fondo T-600
	C-600	Intercambiador de cabeza T-600
	V-600	Acumulador de Cabeza T-600
	P-600A/B	Bomba de reflujo
	P-601A/B	Bomba de reflujo
	P-603	Bomba centrífuga
	MIX-600	Mezclador de corrientes de proceso
	MIX-601	Mezclador de corrientes de proceso
	P-600A/B	Bomba centrífuga
700	MIX-700	Mezclador de corrientes de proceso
	MIX-701	Mezclador de corrientes de proceso
	RX-700	Reactor de Polimerización
	X-700	Ciclón
	X-701	Ciclón
	X-702	Ciclón
800	TK-800	Tanque de RCl
	P-800 A/B	Bomba centrífuga
900	CH-900	Antorcha
	V-900	Separador
	TK-901	Acumulador
	P-900 A/B	Bomba
1000	TE-1000	Torre de Enfriamiento
	P-1000 A/B	Bomba de reflujo
	P-1001 A/B	Bomba de reflujo
1100	TK-1100	Tanque mezclador
	M-1100	Dosificación
	TK-1101	Tanque con aireación
	TK-1102	Tanque de cloración
	P-1100 A/B	Bomba de retorno

Tabla 8. 4. Equipos ordenados por área. Fuente: Elaboración propia.

8.5 VALVULAS

Las válvulas son elementos finales de control que alteran el valor de la variable manipulada en respuesta a una señal de salida desde el dispositivo de control automático; típicamente recibe una señal del controlador y manipula el flujo de materia o energía para el proceso.

Estas se clasifican en cinco grandes grupos, algunas de ellas se utilizan en las diferentes áreas de proceso con el fin de regular distintas variables, para garantizar el óptimo funcionamiento de la planta.



Ilustración 8.6 Válvulas

8.6 IDENTIFICACION DE CAÑERIAS

Para un buen diseño de tuberías, es importante considerar diferentes parámetros, entre los que se destacan el diámetro nominal, el caudal, el tipo de fluido que se transportará, las presiones y temperaturas de diseño y operación, el material de construcción, y en caso de ser necesario, el aislamiento y espesor.

Se utilizan normas conjuntas del Instituto Nacional de Estándares Americanos y de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos ANSI/ASME B31.1, B31.3, etc., en el análisis del sistema de tuberías (Engineers, 2011).

Con respecto al diseño, todas las normas son muy parecidas, existiendo algunas discrepancias con relación a las condiciones de diseño, al cálculo de los esfuerzos y a los factores admisibles.

8.6.1 Nomenclatura de las tuberías

Para este trabajo, se utilizará una codificación sistemática de cinco grupos para denominar las cañerías, la cual describe una característica específica de cada tubería. A continuación, se detallarán los aspectos más importantes de cada uno de estos grupos.

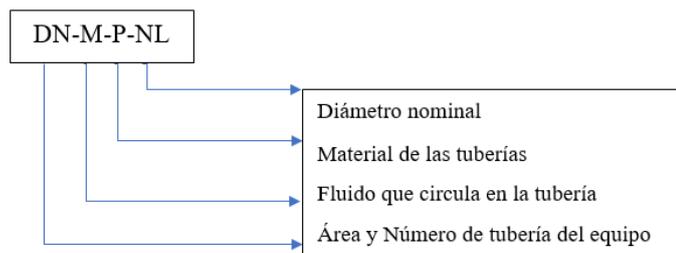


Ilustración 8.7. Codificación de cañerías

Para el cálculo del diámetro es necesario conocer el área de sección, que se calcula como el cociente entre el caudal volumétrico en dicho tramo y la velocidad típica del fluido. Se utilizan datos proporcionados por la simulación del proceso en hysys, datos bibliográficos de velocidades típicas de diseño en sistemas de procesos, etc.

La velocidad del fluido se determina según el tipo de fluido. En general, por bibliografía (McCabe, 1991) si el fluido es un gas, la velocidad máxima recomendada es de 18.3 m/seg, si el fluido es un líquido 1.22-1.98 m/seg y si el fluido es bifásico 3 m/seg.

Con la fórmula $Q=V.A$, se obtiene el diámetro interno, y luego se verifica si el mismo se puede obtener en el mercado, utilizando la tabla que se muestra a continuación. Una vez que se haya calculado el diámetro en milímetros, proceda a introducir dicha información en la tabla correspondiente, lo que permitirá obtener el diámetro nominal de la tubería.

CAÑOS CON Y SIN COSTURA

DIAMETRO NOMINAL		S C H E D U L E S													
		STD	XS	XXS	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	
1/8	10.3	ESP	1.73	2.41				1.73		2.41					
		KG/M	0.37	0.47				0.37		0.47					
1/4	13.7	ESP	2.24	3.03				2.24		3.03					
		KG/M	0.63	0.80				0.63		0.80					
3/8	17.1	ESP	2.31	3.20				2.31		3.20					
		KG/M	0.84	1.10				0.84		1.10					
1/2	21.3	ESP	2.77	3.73	7.47			2.77		3.73				4.78	
		KG/M	1.27	1.62	2.55			1.27		1.62				1.95	
3/4	26.7	ESP	2.87		7.82			2.87		3.91				5.56	
		KG/M	1.69		3.64			1.69		2.20				2.90	
1	33.4	ESP	3.38	4.55	9.09	2.77		3.38		4.55				6.35	
		KG/M	2.50	3.24	5.45	2.09		2.50		3.24				4.24	
1 1/4	42.2	ESP	3.56	4.85	9.70	2.77		3.56		4.85				6.35	
		KG/M	3.39	4.47	7.70	2.69		3.39		4.47				5.61	
1 1/2	48.3	ESP	3.68	5.08	10.16	2.77		3.68		5.08				7.14	
		KG/M	4.05	5.41	9.56	3.11		4.05		5.41				7.25	
2	60.3	ESP	3.91	5.54	11.07	2.77		3.91		5.54				8.74	
		KG/M	5.44	7.48	13.44	3.93		5.44		7.48				11.11	
2 1/2	73.0	ESP	5.16	7.01	14.02	3.05		5.16		7.01				9.53	
		KG/M	8.63	11.41	20.39	5.26		8.63		11.41				14.92	
3	88.9	ESP	5.49	7.62	15.24	3.05		5.49		7.62				11.13	
		KG/M	11.29	15.27	27.68	6.46		11.29		15.27				21.35	
3 1/2	101.6	ESP	5.74	8.08		3.05		5.74		8.08					
		KG/M	13.57	18.64		7.41		13.57		18.64					
4	114.3	ESP	6.02	8.56	17.12	3.05		6.02		8.56		11.13		13.49	
		KG/M	16.08	22.32	41.03	8.37		16.08		22.32		28.32		33.54	
5	141.3	ESP	6.55	9.53	19.05	3.40		6.55		9.53		12.70		15.88	
		KG/M	21.77	30.97	57.43	11.56		21.77		30.97		40.28		49.12	
6	168.3	ESP	7.11	10.97	21.95	3.40		7.11		10.97		14.27		18.26	
		KG/M	28.26	42.56	79.22	13.83		28.26		42.56		54.21		67.57	
8	219.1	ESP	8.18	12.70	22.23	4.78	6.35	7.04	8.18	10.31	12.70	15.09	18.26	20.62	23.01
		KG/M	42.55	64.64	107.93	25.26	33.32	36.82	42.55	53.09	64.64	75.92	90.44	100.93	111.27
10	273.0	ESP	9.27	12.70	25.40	4.19	6.35	7.80	9.53	12.70	15.09	18.26	21.44	25.40	28.58
		KG/M	60.29	81.53	155.10	27.78	41.76	51.01	61.92	81.53	95.98	114.71	159.87	155.10	172.27
12	323.8	ESP	9.52	12.70	25.40	4.57	6.35	8.38	10.31	14.27	17.48	21.44	25.40	28.58	33.32
		KG/M	73.79	97.44	186.92	35.98	49.71	65.19	79.71	108.93	132.05	159.87	186.92	159.87	238.69
14	355.6	ESP	9.52	12.70		6.35	7.92	9.52	11.10	15.09	19.05	23.83	27.79	31.75	35.71
		KG/M	81.25	107.40		54.69	67.91	81.25	94.30	126.72	158.11	194.98	224.66	253.58	281.72
16	406.4	ESP	9.52	12.70		6.35	7.92	9.52	12.70	16.66	21.44	26.19	30.96	36.53	40.49
		KG/M	93.18	123.31		62.65	77.83	93.18	123.31	160.13	203.55	245.57	286.66	333.21	365.38
18	457.2	ESP	9.52	12.70		6.35	7.92	11.13	14.27	19.05	23.83	29.36	34.93	39.67	45.24
		KG/M	105.11	139.22		70.60	87.75	122.44	155.88	205.84	254.69	309.78	363.76	408.48	459.62
20	508.0	ESP	9.52	12.70		6.35	9.52	12.70	15.09	20.62	26.19	32.54	38.10	44.45	50.01
		KG/M	117.03	155.13		78.56	117.03	155.13	183.43	247.84	311.19	381.55	442.52	508.15	564.85
24	609.6	ESP	9.52	12.70		6.35	9.52	14.27	17.48	24.61	30.96	38.89	46.02	52.37	59.54
		KG/M	140.89	186.95		94.47	140.89	209.51	255.25	355.04	441.80	547.36	639.62	719.68	807.68
30	762.0	ESP	9.52	12.70		7.92	12.70	15.88	19.05						
		KG/M	176.67	234.68		147.29	234.68	292.20	349.46						

Tabla 8. 5. Diámetros de cañerías

En la tabla anterior se describe el valor del diámetro de la cañería, en función del diámetro nominal de la misma expresado en pulgadas. De acuerdo al valor obtenido ingresamos a la tabla y corroboramos que el diámetro determinado exista en el mercado; en caso de que esto no ocurra, seleccionar el diámetro siguiente al correspondiente. Esto provocará que la velocidad dentro de la tubería se modifique, con lo cual se corrige la misma de acuerdo a la relación matemática siguiente: $V=4 \cdot Q\pi \cdot D^2$. Es importante señalar que se realiza un control del diámetro interno, dado que en algunos casos el diámetro nominal no coincide con el valor real.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo de cañerías correspondiente a cada tramo del proceso:

Cañería	Descripción	Caudal Q (m ³ /hr)	Velocidad máx. recomendada (m/s)	Diámetro calculado (m)	Diámetro calculado (mm)	Diámetro nominal (plg)
Metanol	TK a P-100	91,50	1,6	0,14	142,22	6
1	P-100 a Mix-200	91,50	1,60	0,14	142,22	6
2	Mix-200 a E-200	105,32	1,60	0,15	152,58	6
3	E-200 a H-200	105,32	18,30	0,05	45,12	1 1/2
4	H-200 a RX-300	112,30	18,30	0,05	46,59	1 1/2
5	RX-300 a E-300	112,30	18,30	0,05	46,59	1 1/2
6	E-300 a RX-301	112,30	18,30	0,05	46,59	1 1/2
7	RX-301 a E-301	137,40	18,30	0,05	51,53	2
8	E-301 a V-400	137,40	3,00	0,13	127,27	5
9	V-400 a K-400	98,17	18,30	0,04	43,56	1 1/2
10	K-400 a E-400	98,17	18,30	0,04	43,56	1 1/2
11	E-400 a V-401	98,17	3,00	0,11	107,58	4
12	V-401 a K-401	97,52	18,30	0,04	43,41	1 1/2
13	K-401 a E-401	97,52	18,30	0,04	43,41	1 1/2
14	E-401 a V-402	97,52	3,00	0,11	107,22	4
15	V-402 a K-402	96,49	18,30	0,04	43,18	1 1/2
16	K-402 a E-402	96,49	18,30	0,04	43,18	1 1/2
17	E-402 a V-403	96,49	3,00	0,11	106,66	4
18	V-403 Salida (Fuel gas)	0,14	18,30	0,00	1,64	1/8
19	V-403 a T-500	96,16	18,30	0,04	43,11	1 1/2
20	Salida 20	87,17	1,60	0,14	138,81	5
20_1	T-500 a C-500	200,30	18,30	0,06	62,22	2 1/2
20_2	C-500 a T-500	113,20	4,57	0,09	93,60	3 1/2
21	T-500 a MIX-601	0,15	1,60	0,01	5,76	1/8
22	Salida 22	8,99	1,60	0,04	44,58	1 1/2
22_1	T-500 a R-500	299,30	4,57	0,15	152,19	6
22_2	R-500 a T-500	290,30	18,30	0,07	74,90	3
23	VLV-401 a MIX-401	0,19	1,60	0,01	6,48	1/8
MetanolR1	V-400 a MIX-400	39,22	18,30	0,03	27,53	1
MetanolR2	V-401 a MIX-400	0,65	1,60	0,01	11,99	1/4
MetanolR3	V-402 a VLV-400	1,04	3,00	0,01	11,07	1/4
MetanolR4	V-403 a VLV-401	0,19	1,60	0,01	6,48	1/8
24	VLV-400 a MIX-401	1,04	3,00	0,01	11,07	1/4
23	VLV-401 a MIX-401	0,19	1,60	0,01	6,48	1/8
25	MIX-401 a MIX-600	1,23	3,00	0,01	12,04	1/4
26	MIX-400 a MIX-600	39,87	3,00	0,07	68,56	2 1/2
27	MIX-600 a V-600	41,10	3,00	0,07	69,61	2 1/2
28	Salida V-600	0,23	18,30	0,00	2,11	1/8
29	Salida V-600	1,27	1,60	0,02	16,76	3/8
30	V-600 a VLV-600	39,59	1,60	0,09	93,55	3 1/2

Tabla 8.6 Cálculo de Diámetro de Cañerías del proceso. Fuente: Elaboración propia.

Cañería	Descripción	Caudal Q (m ³ /hr)	Velocidad máx. recomendada (m/s)	Diámetro calculado (m)	Diámetro calculado (mm)	Diámetro nominal (plg)
31	VLV-600 a T-600	39,59	1,60	0,09	93,55	3 1/2
32	T-600 a P-600	13,84	1,60	0,06	55,31	2
32_1	T-600 a C-600	113,30	18,30	0,05	46,79	1 1/2
32_2	Reflux C-600 a T-600	99,45	1,60	0,15	148,27	6
33	P-600 a MIX-200	13,84	1,6	0,06	55,31	2
34	P-600 a MIX-200	13,83	1,6	0,06	55,29	2
35	T-600 a MIX-601	25,75	1,60	0,08	75,45	3
35_1	T-600 a R-600	78,59	4,57	0,08	77,99	3
35_2	R-600 a T-600	52,87	18,30	0,03	31,97	1
Agua a Tratar	Salida MIX-600	25,75	1,60	0,08	75,45	3
36	T-501 Salida (Fuel gas)	3,98	18,30	0,01	8,77	1/8
36_1	T-501 a C-501	23,75	18,30	0,02	21,42	3/4
36_2	C-501 a T-501	19,77	4,57	0,04	39,12	1 1/4
37	T-501 a T-502	83,19	1,60	0,14	135,61	5
37_1	T-501 a R-501	125,00	4,57	0,10	98,36	3 1/2
37_2	R-501 a T-501	41,91	18,30	0,03	28,46	1
38	T-502 a T-503	36,70	3,00	0,07	65,78	2 1/2
38_1	T-502 a C-502	109,90	18,30	0,05	46,09	1 1/2
38_2	C-502 a T-502	73,24	4,57	0,08	75,29	3
39	T-502 a T-504	46,49	1,60	0,10	101,37	3 1/2
39_1	T-502 a R-502	154,70	4,57	0,11	109,42	4
39_2	R-502 a T-502	108,30	18,30	0,05	45,75	1 1/2
40	T-504 Salida (Propileno)	42,96	18,30	0,03	28,81	1
40_1	T-504 a C-504	339,90	18,30	0,08	81,05	3
40_2	C-504 a T-504	297,00	4,57	0,15	151,61	6
41	T-504 Salida	3,54	1,60	0,03	27,97	1
41_1	T-504 a R-504	234,20	4,57	0,13	134,63	5
41_2	R-504 a T-504	230,60	18,30	0,07	66,76	2 1/2
42	T-503 Salida (Etileno)	34,75	1,60	0,09	87,64	3
42_1	T-503 a C-503	138,80	18,30	0,05	51,79	2
42_2	C-503 a T-503	104,10	4,57	0,09	89,76	3 1/2
43	T-503 Salida (Etano)	1,95	1,60	0,02	20,76	1/2
43_1	T-503 a R-503	151,60	4,57	0,11	108,32	4
43_2	R-503 a T-503	149,70	18,30	0,05	53,79	2
44	a Mix-700	0,15	18,30	0,00	1,71	1/8
45	Mix-700 a RX-700	43,11	18,30	0,03	28,86	1
46	RX-700 a X-700	25,25	18,30	0,02	22,09	3/4
47	X-700 a X-701	1,20	3,00	0,01	11,89	1/4
48	X-700 a MIX-701	24,05	0,30	0,17	168,38	6
49	X-701 a MIX-701	0,48	0,30	0,02	23,79	3/4
50	X-701 a X-702	0,72	3,00	0,01	9,21	1/8
51	X-702 Salida	0,71	18,30	0,00	3,70	1/8
52	X-702 a MIX-701	0,01	0,30	0,00	3,43	1/8
53	MIX-701 Salida	24,54	0,30	0,17	170,09	8

Tabla 8.7 Cálculo de Diámetro de Cañerías del proceso. Fuente: Elaboración propia.

8.6.2 Descripción del Fluido

En este punto se identifica que tipo de producto es el que atraviesa cada tramo de la cañería. Se realizaron los diagramas utilizándose la siguiente nomenclatura:

Código	Producto
ME	Metanol
MEA	Metanol, Agua
MEAD	Metanol, DME, Agua
PP1	Producto de Proceso 1
FG	Fuel gas
PP2	Producto de Proceso 2
A	Agua
MOMET	Monóxido, Metano
PP3	Producto de Proceso 3
ETAETI	Etano, Etileno
PRO	Propileno
DME	Dimetiléter
ETI	Etileno
ET	Etano
H	Hidrógeno
PP4	Producto de Proceso 4
PP	Polipropileno

Tabla 8.8 Codificación de sustancias del proceso.

Las referencias PP, corresponden a:

PP1: propileno, agua, metanol, etileno, con trazas de DME, CO, metano, etano, ciclooctano, benceno, 1-buteno.

PP2: propileno, etileno, con trazas: DME, agua, CO, metano, etano, 1-buteno.

PP3: propileno, con trazas de DME, etano, 1-buteno, etileno.

PP4: propileno, con trazas de etileno, hidrógeno, etano, DME.

8.6.3 Número de área

Podremos ubicar fácilmente en la planta, con este tipo de indicación, la línea a la cual se está haciendo referencia y en qué área se localiza. Los primeros 3 dígitos muestran el área de la planta en la cual se encuentran y los últimos 2 dígitos indican el número de la corriente a la cual hacen referencia, dentro de una misma área. Nuestro proyecto presenta diez áreas:

ÁREAS	
Área 100	ZONA DE TANQUES (Almacenamiento de materias primas)
Área 200	SISTEMA DE CALENTAMIENTO
Área 300	ÁREA DE REACCIÓN
Área 400	ÁREA DE COMPRESIÓN
Área 500	DESTILACIÓN
Área 600	RECUPERACIÓN DE METANOL
Área 700	AREA DE PRODUCCION DE PP
Área 800	RCI (Red contra incendio)
Área 900	ANTORCHA
Área 1000	TORRE DE ENFRIAMIENTO
Área 1100	TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Tabla 8.9. Áreas del Proceso. Fuente: Elaboración propia.

8.6.4 Elección del tipo de material de las tuberías

El material se elige teniendo en cuenta las características del fluido. Es importante la buena elección del material para impedir la corrosión y mantener un buen estado de las tuberías y los equipos (OctalSteel, 2020).

Se consideró teniendo en cuenta los fluidos que circulan por el proceso que todas las cañerías serán de Acero al Carbono, a excepción de las corrientes 48,49,52 y 53 que serán de Acero Inoxidable. En la tabla se establece el tipo de material y la abreviación de las tuberías

ABREVIACIÓN	TIPO DE MATERIAL	NORMATIVA
ACC	Acero al Carbono	ASTM A106 Grado B
ACI	Acero Inoxidable 316	ASTM A312 Grado TP304

Tabla 8.10 Tipos de materiales utilizados en el proceso.

Para identificar y clasificar los aceros utilizados industrialmente se designan por medio de cifras, letras y signos, de acuerdo a normas estandarizadas. Las normas reguladoras del acero, de gran aplicación internacional son: AISI (American Iron and Steel Institute) y ASTM (American Society for Testing and Materials).

La clasificación de los aceros puede estar en función de su composición química, su calidad, según el uso al que estén destinados o el grado de soldabilidad que presenten.

A continuación, se muestran las codificaciones de las tuberías.

Corrientes del Proceso	Codificación
Metanol	6-ME-ACC-100_Metanol
1	6-ME-ACC-100_1
2	6-MEA-ACC-200_2
3	1 1/2-MEA-ACC-200_3
4	1 1/2-MEA-ACC-200_4
5	1 1/2-MEAD-ACC-300_5
6	1 1/2-MEAD-ACC-300_6
7	2-PP1-ACC-300_7
8	5-PP1-ACC-300_8
9	1 1/2-PP1-ACC-400_9
10	1 1/2-PP1-ACC-400_10
11	4-PP1-ACC-400_11
12	1 1/2-PP1-ACC-400_12
13	1 1/2-PP1-ACC-400_13
14	4-PP1-ACC-400_14
15	1 1/2-PP1-ACC-400_15
16	1 1/2-PP1-ACC-400_16
17	4-PP1-ACC-400_17
18	1/8-FG-ACC-400_18
19	1 1/2-PP1-ACC-400_19
20	5-PP2-ACC-500_20
20_1	2 1/2-PP2-ACC-500_20_1
20_2	3 1/2-PP2-ACC-500_20_2
21	1/2-A-ACC-500_21
22	1 1/2-PP2-ACC-500_22
22_1	6-PP2-ACC-500_22_1
22_2	3-PP2-ACC-500_22_2
23	1/8-MEA-ACC-400_23
MetanolR1	1-PP2-ACC-400_MetanolR1
MetanolR2	1/4-PP2-ACC-400_MetanolR2
MetanolR3	1/4-PP2-ACC-400_MetanolR3
MetanolR4	1/8-MEA-ACC-400_MetanolR4
24	1/4-PP2-ACC-400_24

Tabla 8. 11. Codificación de Cañerías. Fuente: Elaboración propia.

Corrientes del Proceso	Codificación
25	1/4-PP2-ACC-400_25
26	2 1/2-PP2-ACC-400_26
27	2 1/2-PP2-ACC-600_27
28	1/8-PP2-ACC-600_28
29	3/8-PP2-ACC-600_29
30	3 1/2-MEA-ACC-600_30
31	3 1/2-MEA-ACC-600_31
32	2-MEA-ACC-600_32
32_1	1/ 1/2-MEA-ACC-600_32_1
32_2	6-MEA-ACC-600_32_2
33	2-ME-ACC-600_33
34	2-ME-ACC-600_34
35	3-A-ACC-600_35
35_1	3-A-ACC-600_35_1
35_2	1-A-ACC-600_35_2
Agua a tratar	3-A-ACC-500_Agua a tratar
36	1/8-MOMET-ACC-500_36
36_1	3/4-MOMET-ACC-500_36_1
36_2	1 1/4-MOMET-ACC-500_36_2
37	5-PP3-ACC-500_37
37_1	3 1/2-PP3-ACC-500_37_1
37_2	1-PP3-ACC-500_37_2
38	2 1/2-ETAETI-ACC-500_38
38_1	2 1/2-ETAETI-ACC-500_38_1
38_2	3-ETAETI-ACC-500_38_2
39	3 1/2-PP3-ACC-500_39
39_1	4-PP3-ACC-500_39_1
39_2	1 1/2-PP3-ACC-500_39_2
40	1-PRO-ACC-500_40
40_1	3-PRO-ACC-500_40_1
40_2	6-PRO-ACC-500_40_2
41	1-DME-ACC-500_41
41_1	5-DME-ACC-500_41_1
41_2	2 1/2-DME-ACC-500_41_2
42	3-ETI-ACC-500_42
42_1	2-ETI-ACC-500_42_1
42_2	3 1/2-ETI-ACC-500_42_2
43	1/2-ET-ACC-500_43
43_1	4-ET-ACC-500_43_1

Tabla 8. 12. Codificación de Cañerías. Fuente: Elaboración propia.

Corrientes del Proceso	Codificación
43_2	2-ET-ACC-500_43_2
44	1/8-H-ACC-700_44
45	1-PP4-ACC-700_45
46	3/4-PP4-ACC-700_46
47	1/4-PP4-ACC-700_47
48	6-PP-ACI-700_48
49	3/4-PP-ACI-700_49
50	1/8-PP4-ACC-700_50
51	1/8-PP4-ACC-700_51
52	1/8-PP-ACI-700_52
53	8-PP-ACI-700_53

Tabla 8. 13. Codificación de Cañerías. Fuente: Elaboración propia.

8.7 NUMERACIÓN DE PLANOS

Para numerar los diferentes planos de instrumentación del proceso se utilizó la siguiente terminología:

PROCESOS-P&ID	
IG-PR-P&ID-01-A100	P&ID de Área 100- Zona de Tanques
IG-PR-P&ID-02-A200	P&ID de Área 200- Horno (calentamiento de la materia prima)
IG-PR-P&ID-03-A300	P&ID de Área 300- Zona de Reactores
IG-PR-P&ID-04-A400	P&ID de Área 400- tren de separación y compresión
IG-PR-P&ID-05-A400	P&ID de Área 400- proceso de separación de fases
IG-PR-P&ID-06-A600	P&ID de Área 600- recuperación de metanol en T-600
IG-PR-P&ID-07-A500	P&ID de Área 500- proceso de destilación en T-500 (separación de subproductos)
IG-PR-P&ID-08-A500	P&ID de Área 500- proceso de destilación en T-501 (separación de fuel gas)
IG-PR-P&ID-09-A500	P&ID de Área 500- proceso de destilación en T-502 (separación de subproductos)
IG-PR-P&ID-10-A500	P&ID de Área 500- proceso de destilación en T-504 (separación de propileno)
IG-PR-P&ID-11-A500	P&ID de Área 500- proceso de destilación en T-503 (separación de etano)
IG-PR-P&ID-12-A700	P&ID de Área 700- proceso de polimerización
IG-PR-P&ID-13-A900	P&ID de Área 900 - Antorcha
IG-PR-P&ID-14-A1000	P&ID de Área 1000- Torre de enfriamiento
IG-PR-P&ID-15-A1100	P&ID de Área 1100- Tratamiento de Efluentes

Tabla 8.14 Listado de planos entregables. Fuente: Elaboración propia

8.8 SISTEMA DE CONTROL

Los sistemas de control en un proceso industrial son un conjunto de dispositivos, herramientas y estrategias que se utilizan para supervisar, regular y optimizar el funcionamiento de los procesos industriales (Smith). Estos sistemas están diseñados para controlar y regular diversas variables del proceso, como la temperatura, la presión, el flujo, el nivel, la velocidad, la posición, la calidad, entre otros.

Se pueden incluir las siguientes estrategias de control para los equipos clave de una planta industrial, como las columnas:

1. Control de flujo: el control del flujo de alimentación y la velocidad del líquido que fluye a través de la columna.
2. Control de presión: el control de la presión en la columna para mantener el equilibrio entre la evaporación y la condensación.
3. Control de temperatura: el control de la temperatura de los líquidos y vapores dentro de la columna.
4. Control de nivel: el control del nivel de líquido dentro de la columna para evitar la inundación o la falta de líquido.
5. Control de composición: el control de la composición de los productos de salida de la columna.
6. Control de reflujo: el control de la cantidad de líquido que se devuelve a la columna para mantener una operación estable.
7. Control de punto de rocío: el control del punto de rocío de los vapores que salen de la columna para evitar la formación de líquido en la tubería.
8. Control de separación: el control de la separación entre los diferentes componentes en la columna.
9. Control de purga: el control de la cantidad de producto que se elimina de la columna.

En el caso de los separadores, tenemos las siguientes estrategias:

1. Control de nivel: el control del nivel del líquido dentro del separador para evitar la sobrecarga o la falta de líquido.
2. Control de temperatura: el control de la temperatura de los líquidos y vapores dentro del separador.

3. Control de presión: el control de la presión dentro del separador para mantener el equilibrio entre la evaporación y la condensación.
4. Control de caudal: el control del caudal de entrada y salida del separador.
5. Control de purga: el control de la cantidad de producto que se elimina del separador.
6. Control de separación: el control de la separación entre los diferentes componentes en el separador.

Las estrategias de control propuestas para reactores, pueden incluir:

1. Control de temperatura: el control de la temperatura dentro del reactor para mantener las condiciones de reacción adecuadas.
2. Control de presión: el control de la presión dentro del reactor para mantener el equilibrio entre la evaporación y la condensación.
3. Control de caudal: el control del caudal de entrada y salida del reactor.
4. Control de nivel: el control del nivel del líquido dentro del reactor para evitar la sobrecarga o la falta de líquido.
5. Control de carga: el control de la cantidad de material que se carga en el reactor.
6. Control de seguridad: el control de los sistemas de seguridad del reactor para prevenir accidentes o situaciones peligrosas.

8.9 BIBLIOGRAFÍA

- Branan, C. R. (s.f.). *Soluciones prácticas para el Ingeniero Químico*. Mc Graw Hill.
- Engineers, T. A. (2011). Código ASME para tuberías a presión, B31. En *Tuberías de proceso*. (pág. 360). New York.
- Gutiérrez, A. J. (2003). *Diseño de procesos en Ingeniería Química*. Guanajato: Editorial Reverté.
- ISA The Instrumentation, S. a. (1992). *Instrumentation Symbols and Identification*. ISA-5.1-1984. North Carolina.
- Moran, S. (2017). *Process Plant Layout*. Cambridge: Joe Hayton.
- McCabe. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. McGraw-Hill.
- OctalSteel. (2020). *Octal*. Obtenido de <https://www.octalacero.com/astm-a312-tp304-tp316-tubo-de-acero-inoxidable>

Nise, N. S. (2002). *Sistemas de control para ingeniería*. Continental.

Smith, C. (s.f.). *Control automático de Proceso*. Limusa Wiley.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO			
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020					
Fecha de inicio: 13/03/2020		Profesor: Ing. Horacio Spesot		JTP: Ing. Ezequiel Krumrick		Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 2 Fecha: 17/02/2023	

Capítulo N°9

ESTUDIO DE IMPACTO

AMBIENTAL Y

TRATAMIENTO DE

EFLUENTES

9. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Conforme al Decreto provincial 2656/99 Anexo IV de la provincia del Neuquén se ejecutará el siguiente Informe Ambiental sobre el proyecto a realizar.

9.1 EFLUENTES DEL PROYECTO

Considerando las tres etapas: Construcción, operación y abandono

9.1.1. Emisiones

Compuesto	Etapa Del Proyecto	Emisión Estimada	Unidad De Medida	Observaciones
Partículas en Suspensión	Construcción	0.11	ppm/día	Gases de escape de los vehículos de motor; procesos industriales; generación de calor y electricidad; reacción de gases contaminantes en la atmósfera.
	Operación			
	Abandono			
Dióxido de Carbono	Construcción y Abandono	2.7	Kg/l	Gases emitidos por vehículos.

Tabla 9. 1 Emisiones

9.1.2. Vertidos

Identificación De La Fuente De Descarga	Etapa Del Proyecto	Volumen Estimado De Descarga	Unidad De Medida	Destino Del Efluente
Vertidos Cloacales	Construcción	9 % aproximadamente	---	Empresa de tratamiento de aguas residuales
	Operación			
	Abandono			
Corriente de Agua a tratar	Operación	Menos de 30 ppm de metanol	---	Se tratará en la planta con Lodos Activados
	Abandono			

Tabla 9. 2. Vertidos

9.1.3. Residuos

El personal de la empresa o de alguna contratista que opere en el área del presente proyecto, tendrá la responsabilidad de constatar que se realice la correcta separación y acopio

temporario de los residuos generados por dicha actividad, teniendo en cuenta la siguiente clasificación:

Residuos sólidos:

- Asimilables a urbanos: Categoría que incluye desechos sólidos considerados no peligroso, incluyendo todos los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos que se generen. Ejemplos: residuos de comida, todo tipo de envoltorio, residuos de oficinas, envases, etc. Estos serán trasladados al repositorio municipal de la Ciudad de Plaza Huincul.
- Voluminosos: Todo residuo no contaminado ni peligroso generado por el proceso industrial. Ejemplos: chatarra, escombros, madera, chapas, trapos, etc.

Estos residuos tendrán dos destinos finales posibles: aquellos residuos que se presenten en gran cantidad (puedan ser o no reutilizados o reciclados) serán enviados al sector de almacenes de la base operativa. Los residuos generados en menor cantidad, previa evaluación interna que determine su inocuidad, serán trasladados como residuos asimilables a urbanos.

- Residuos Especiales: Aquellos residuos contaminantes, que estén o que puedan estar contaminados por contacto previo con aceites, pinturas, sustancias químicas y/o cualquier otro elemento cuya liberación pueda contener efecto adverso sobre el medio ambiente. Requieren de procesos especiales para su disposición y tratamiento. Ejemplos: filtros usados, trapos con grasa o aceite, guantes contaminados, envases con residuos químicos, restos de productos químicos en estado sólido, tóner, tubos fluorescentes, pilas, baterías, cartuchos de impresora, etc.

Las medidas principales para lograr un correcto manejo de estos materiales sin que produzcan efectos indeseables para el medio se señalan a continuación:

- Los trapos, filtros y otros elementos de descarte del mantenimiento de los equipos se dispondrán en contenedores de color negro, cerrados y rotulados, en un sitio seguro predeterminado y acondicionado para tal fin, hasta que se trasladen fuera del sitio. Con respecto al destino final de los trapos sucios con lubricantes y otras sustancias similares, serán enviados a empresa habilitada para su tratamiento y disposición final.
- Los suelos que puedan ser afectados por derrames, serán extraídos y reemplazados por el suelo natural. Su tratamiento se realizará en empresa habilitada para tal efecto.

Residuos líquidos (excluido los cloacales)

El personal de mantenimiento acumulará los aceites usados en tambores debidamente identificados o en cámaras de drenaje adecuados como tanques o tambores sin pérdidas y correctamente cerrados, señalados con color negro y etiquetados con la denominación del residuo. El sitio donde se colocarán estos recipientes estará sobre una superficie impermeable y estos serán protegidos y enviados a empresa habilitada para su tratamiento.

IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS	ETAPA DEL PROYECTO	CANTIDAD ESTIMADA	UNIDAD DE MEDIDA	DESTINO DE LOS RESIDUOS GENERADOS
Voluminosos	Construcción	0.5	tn	Deposición final Municipal
Urbanos y Especiales		0.2		
Especiales	Operación	0.1	tn	Deposición final Municipal
Voluminosos	Abandono	10	tn	Deposición final Municipal

Tabla 9. 3. Residuos líquidos.

9.2 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS

9.2.1. Identificación de impactos

A continuación, se identifican los impactos a partir del análisis de la interacción entre las acciones del proyecto y los factores y subfactores del entorno en las tres fases.

9.2.2.Árbol de acciones

En el árbol de acciones se describen todas las acciones causadas por la ejecución del proyecto en sus tres fases.

ÁRBOL DE ACCIONES			
PROYECTO	Fase	Elemento	Acciones
		Construcción	Movimiento de suelos
Acopio de material			
Operación de equipos			
Tránsito de vehículos pesados			
Emisión de ruido y vibraciones			
Obrador			Instalación de tráiler
			Generación de vertidos cloacales
			Generación de residuos
			Demanda de mano de obra
Obra civil y montaje			Excavaciones
			Operación de maquinarias y equipos
			Emisión de ruidos y vibraciones
			Ejecución de canaletas colectoras y recinto de tanques
			Tendido de ductos
			Tránsito de maquinarias y vehículos
			Tapado de ductos
			Ejecución de bases
			Instalación de todos los equipos y líneas de procesos
			Ejecución de galpones para compresores
		Recinto para tanques	
		Platea de bombas	
		Cámara de drenaje	
		Obra eléctrica (para todas las instalaciones)	
Instalación de los compresores			
Instalación de tanques			
Pruebas de hermeticidad			
Instalación de instrumentación y sistemas de control			
Ejecución de galpón para almacenaje de productos			
Ejecución de playa de estacionamiento para camiones			
Construcción de Oficinas, laboratorio, talleres, etc.			

Tabla 9. 4 Árbol de acciones.

ÁRBOL DE ACCIONES			
PROYECTO	Operación	Planta	Obra eléctrica
			Movimiento de personal y maquinarias
			Circulación y carga de camiones
			Vertidos de efluentes
			Producción de residuos industriales
			Emisión de ruidos
			Demanda de mano de obra
	Instalaciones auxiliares	Producción de efluentes cloacales	
	Abandono	Planta	Desmontaje total de planta
			Movimiento de maquinarias, vehículos, camiones, etc
			Reacondicionamiento del terreno
			Despidos
Recolección y transporte de residuos por desmontaje de planta			

Tabla 9. 5. Árbol de acciones.

9.2.3. Factores afectados

En la tabla siguiente se marcan los factores que se consideran serán afectados en todas las fases y una breve descripción del tipo de afectación.

Factores a considerar	Fases			Descripción somera de la afectación
	Construcción	Operación	Abandono	
Aire	X	---	X	En la calidad de aire. Confort sonoro, por el ruido de maquinarias.
Suelo	X	---	---	Por desmonte de la zona. Riesgos de derrames.
Hidrología Superficial	X	X	---	Riesgos de derrames.
Hidrología Subterránea	X	X	---	Se puede ocasionar una filtración a las napas
Flora	X	---	---	Por desmonte total de la zona utilizada.
Fauna	X	----	---	Se genera migración de la fauna hacia zonas no afectadas.
Paisaje	X	X	X	Paisaje intrínseco.
Población	X	X	--	Aceptabilidad social del proyecto. Interrelaciones sociales.
Recursos humanos	X	X	X	Generación de mano de Obra
Economía	X	X	X	Actividad Económica
Infraestructura	X	X	---	Servicios e Instalaciones

Tabla 9. 6. Factores afectados

9.2.4. Identificación de impactos.

Las acciones que el proyecto puede generar sobre el medio son las causas que provocan los impactos, estas pueden ser agrupadas de dos formas:

- Acciones operativas: son aquellas que la actividad produce por el solo hecho de su concepción, construcción, operación y abandono.
- Acciones accidentales o de contingencias: son todo hecho o acción, de origen natural o humano, cuya ocurrencia involucra un *riesgo potencial*. Son aquellas que se producen como consecuencia de una *emergencia*, es decir 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.

En la tabla siguiente se describen los impactos Operativos y por Contingencias en las tres fases que actúan sobre cada factor.

Fase: CONSTRUCCIÓN		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	N°	Operativos
Aire	1	Afectación de la calidad del aire por emisión de polvo
	2	Afectación de la calidad del aire por emisión de gases de combustión
	3	Afectación del confort sonoro debido al movimiento de vehículos y maquinarias
Paisaje	4	Afectación del paisaje intrínseco
Factores Afectados	N°	Por Contingencias
Suelo	1	Riesgo de contaminación del suelo por vertido eventual de residuo
	2	Riesgo de contaminación del suelo por derrames eventuales de combustibles y lubricantes de maquinarias, equipos y vehículos.
Recursos Humanos	3	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias, equipos y vehículos
Impactos Positivos		
Factores Afectados	N°	Operativos
Economía	1	Contratación de mano de obra
	2	Demanda de bienes y servicios

Tabla 9. 7. Construcción

Fase: OPERACIÓN		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Aire	1	Afectación de la calidad del aire por emisión de gases de combustión por operación de equipos y vehículos
	2	Afectación del confort sonoro por operación de equipos
Paisaje	3	Afectación del paisaje intrínseco
Factores Afectados	Nº	Por Contingencias
Suelo	1	Riesgos de derrame en operación de carga y descarga de camiones
	2	Riesgos de accidentes por tránsito de vehículos
Recursos Humanos	3	Riesgo de incendio
Proceso	4	Riesgo de rotura de tanques
	5	Riesgo por rotura de cañerías
Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Económico	1	Contratación de mano de obra
	2	Demanda de bienes y servicios

Tabla 9. 8. Operación

Fase: ABANDONO		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Suelo	1	Afectación por residuos de abandono
Economía	2	Pérdida de ingresos fiscales
	3	Finalización de demanda de bienes y servicios y de mano de obra
Factores Afectados	Nº	Por Contingencias
Recursos Humanos	1	Riesgo de accidentes
Suelo	2	Riesgo de contaminación por residuos de abandono
Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Paisaje	2	Recomposición de las unidades del paisaje a su estado natural
Recursos Humanos	3	Ocupación de mano de obra

Tabla 9. 9.Abandono

9.3 VALORACION DE LOS IMPACTOS OPERATIVOS

La valoración se realiza considerando la *Importancia* del Impacto, es decir la categoría del efecto de una acción sobre un determinado factor afectado de acuerdo a lo estipulado por la Resolución 25/04 de la Secretaría de Energía de la Nación.

9.3.1 Cálculo de la Importancia

Para el cálculo de la Importancia se han tomado solamente los *impactos negativos por ser ellos los que gravitaran sobre la viabilidad ambiental del proyecto*. La expresión adoptada es la correspondiente a la metodología propuesta por Vicente Conesa Fernández – Vítora y adoptada por la Resolución 25/04.

$$. \text{Importancia} = \pm [3 \text{ I} + 2 \text{ EX} + \text{MO} + \text{PE} + \text{RV} + \text{SI} + \text{AC} + \text{EF} + \text{PR} + \text{MC}] (1)$$

Dónde: I = Intensidad; EX = Extensión; MO = Momento; PE = Persistencia; RV = Reversibilidad; SI = Sinergia; AC = Acumulación; EF = Efecto; PR = Periodicidad; MC = Recuperabilidad.

Intensidad	
Grado de perturbación que imponen las acciones del proyecto al valor ambiental asignado al factor.	
Extensión	
Puntual	Cuando la acción impactante produce una alteración muy localizada en el entorno considerado.
Parcial	Cuando la acción impactante produce una alteración apreciable en el entorno considerado.
Extenso	Cuando la acción impactante produce una alteración en una gran parte del entorno considerado.
Total	Cuando la acción impactante produce una alteración generalizada en el entorno considerado.
Momento	
Largo Plazo	> 5 años
Medio Plazo	1 – 5 años
Inmediato	< 1 año
Crítico	Circunstancia crítica
Persistencia	
Tiempo de permanencia del efecto desde su aparición hasta su posible desaparición.	
Fugaz	< 1 año
Temporal	1 –10 años
Permanente	> 10 años

Tabla 9. 10. Criterios de valoración

Reversibilidad	
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
Recuperabilidad	
La posibilidad de revertir el efecto por medio de la intervención humana.	
Corto Plazo	< 1 año
Medio Plazo	1 –10 años
Irreversible	> 10 años

Tabla 9. 11. Criterios de valoración

Fase: CONSTRUCCIÓN							
Cálculo de la Importancia							
				Impactos			
				Operativos			
ATRIBUTO	CARÁCTER	VALOR	PESO	Aire			Paisaje
				1	2	3	4
SIGNO	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)
	Perjudicial	(-)					
INTENSIDAD	Baja	1	3	1	1	1	1
	Media	2					
	Alta	4					
	Muy alta	8					
	Total	12					
EXTENSIÓN	Puntual	1	2	1	1	1	1
	Parcial	2					
	Extenso	4					
	Total	8					
	Crítica	(+ 4)					
MOMENTO	Largo plazo	1	1	4	4	4	4
	Medio plazo	2					
	Inmediato	4					
	Crítico	(+ 4)					

Tabla 9. 12. Cálculo de importancia-Construcción

Fase: CONSTRUCCIÓN							
Cálculo de la Importancia							
ATRIBUTO				Impactos			
				Operativos			
				Aire		Paisaje	
CARÁCTER	VALOR	PESO	1	2	3	4	
PERSISTENCIA	Fugaz	1	1	1	1	1	1
	Temporal	2					
	Permanente	4					
REVERSIBILIDAD	Permanente	4	1	1	1	1	1
	Medio 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	4	4	4
	Directo	4					
PERIODICIDAD	Irregular o periódico	1	1	1	1	1	4
	Periódico	2					
	Continuo	4					
RECUPERABILIDAD	Recuperación inmediata	1	1	1	1	1	1
	Recuperable medio plazo	2					
	Mitigable	4					
	Irrecuperable	8					
IMPORTANCIA				19	19	19	22

Tabla 9. 13. Cálculo de importancia-Construcción

RESUMEN DE IMPACTOS: FASE CONSTRUCCION	
1	Afectación de la calidad del aire por emisión de polvo.
2	afectación de la calidad del aire por emisión de gases de combustión
3	Afectación del confort sonoro debido al movimiento de vehículos y maquinarias
4	Afectación del paisaje intrínseco

Tabla 9. 14. Resumen de impactos-Construcción

Del relevamiento efectuado surge que las acciones resultantes de la fase ejecutada no han originado grandes cantidades de impactos, debido a que la planta se encuentra ubicada en una zona de parque industrial, el cual está destinado y preparado para estos emprendimientos.

Fase: OPERACIÓN						
Cálculo de la Importancia						
				Impactos		
				Operativos		
ATRIBUTO	CARÁCTER	VALOR	PESO	Aire		Paisaje
				1	2	3
SIGNO	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)
	Perjudicial	(-)				
INTENSIDAD	Baja	1	3	1	1	1
	Media	2				
	Alta	4				
	Muy alta	8				
	Total	12				
EXTENSIÓN	Puntual	1	2	2	2	1
	Parcial	2				
	Extenso	4				
	Total	8				
	Crítica	(+ 4)				
MOMENTO	Largo plazo	1	1	4	4	4
	Medio plazo	2				
	Inmediato	4				
	Crítico	(+ 4)				
PERSISTENCIA	Fugaz	1	1	1	1	2
	Temporal	2				
	Permanente	4				
REVERSIBILIDAD	Corto plazo	1	1	1	1	2
	Medio plazo	2				
	Irreversible	4				
SINERGIA	Sin sinergismo	1	1	1	1	1
	Sinérgico	2				
	Muy sinérgico	4				
ACUMULACIÓN	Simple	1	1	1	1	1
	Acumulativo	4				

Tabla 9. 15 Cálculo de importancia-Operación

EFEECTO	Indirecto	1	1	4	4	4
	Directo	4				
PERIODICIDAD	Irregular o periódico	1	1	1	1	4
	Periódico	2				
	Continuo	4				
RECUPERABILIDAD	Recuperación inmediata	1	1	2	2	1
	Recuperable medio plazo	2				
	Mitigable	4				
	Irrecuperable	8				
IMPORTANCIA				22	22	24

Tabla 9. 16. Cálculo de importancia-Operación

RESUMEN DE IMPACTOS DE FASE OPERACION	
1	Afectación de la calidad del aire por emisión de gases de combustión por operación de vehículos
2	Afectación del confort sonoro por operación de equipos
3	Afectación del paisaje intrínseco

Tabla 9.17. Resumen de impactos- Operación

Fase: ABANDONO						
Cálculo de la Importancia						
				Impactos		
				Operativos		
Atributo	CARÁCTER	VALOR	PESO	Suelo	Economía	
				1	2	3
Signo	Beneficioso	(+)		(-)		(-)
	Perjudicial	(-)			(-)	
Intensidad	Baja	1	3	1	1	1
	Media	2				
	Alta	4				
	Muy alta	8				
	Total	12				
Extensión	Puntual	1	2	1	1	1
	Parcial	2				
	Extenso	4				
	Total	8				
	Crítica	(+ 4)				
Momento	Largo plazo	1	1	4	4	4
	Medio plazo	2				
	Inmediato	4				
	Crítico	(+ 4)				
Persistencia	Fugaz	1	1	2	2	2
	Temporal	2				
	Permanente	4				
Reversibilidad	Corto plazo	1	1	2	4	4
	Medio plazo	2				
	Irreversible	4				
Sinergia	Sin sinergismo	1	1	1	1	1
	Sinérgico	2				
	Muy sinérgico	4				
Acumulación	Simple	1	1	1	1	1
	Acumulativo	4				
Efecto	Indirecto	1	1	4	1	1
	Directo	4				
Periodicidad	Irregular o periódico	1	1	1	4	4
	Periódico	2				
	Continuo	4				
Recuperabilidad	Recuperación inmediata	1	1	1	1	1
	Recuperable medio plazo	2				
	Mitigable	4				
	Irrecuperable	8				
IMPORTANCIA				21	23	23

Tabla 9. 18. Cálculo de importancia-Abandono

RESUMEN DE IMPACTOS DE FASE ABANDONO	
1	Afectación por residuos de abandono
2	Pérdida de ingresos fiscales
3	Finalización de demanda de bienes y servicios y de mano de obra

Tabla 9. 19. Resumen de impactos-Abandono

9.3 IMPACTOS DE CONTINGENCIAS

Al considerar las acciones por contingencias estas se evaluarán a través de la *Estimación del Riesgo*.

9.4.1 Estimación de los riesgos

La *Estimación del Riesgo*, por causa de los impactos por contingencias se evalúa de la siguiente manera: **Estimación de Riesgo (ER) = Amenaza (A) x Vulnerabilidad (V)**

a) Amenaza (A)= Control (C) + Ocurrencia (O)

a.1 Control: Se obtiene a partir de las consideraciones expresadas en la tabla

Control	Valor
No controlado	5
Parcialmente controlado	3
Controlado	1

Tabla 9. 20. Control

No controlado: Cuando no existen:

- Legislación nacional y/o provincial y/o municipal
- Reglamentación nacional y/o provincial y/o municipal
- Procedimientos
- Instrucciones técnicas
- Planes de contingencia
- Protección o barreras físicas
- Monitoreos
- Programas de mantenimiento

Que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento.

Parcialmente controlado: Cuando existen:

- Legislación nacional y/o provincial y/o municipal
- Reglamentación nacional y/o provincial y/o municipal
- Procedimientos
- Instrucciones técnicas
- Planes de contingencia
- Protección o barreras físicas
- Monitoreos
- Programas de mantenimiento

Que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento, pero no son suficientes para evitar que se produzca el impacto ambiental.

Aspecto controlado: Cuando existen:

- Legislación nacional y/o provincial y/o municipal
- Reglamentación nacional y/o provincial y/o municipal
- Procedimientos
- Instrucciones técnicas
- Planes de contingencia
- Protección o barreras físicas
- Monitoreos
- Programas de mantenimiento

Que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento y las mismas son efectivas para un control total del impacto medioambiental.

a.2 Ocurrencia: Se estima, considerando el periodo de tiempo de duración de la operación. De acuerdo a la ocurrencia se le asigna los valores descriptos en la Tabla.

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

Tabla 9.21. Ocurrencia

b) Vulnerabilidad (V)= Factor afectado (Fr)+ Magnitud (M)

b.1 Factor afectado: El valor se obtiene de acuerdo a las características:

Factor afectado	Valor
<ul style="list-style-type: none"> • Aire: <ul style="list-style-type: none"> - Calidad del aire • Agua: <ul style="list-style-type: none"> - Superficial - Recarga de acuíferos - Cauces aluvionales - Napa de agua dulce • Procesos • Suelo: <ul style="list-style-type: none"> - Con actividades agrícolas/ganaderas de magnitud • Vegetación: <ul style="list-style-type: none"> - Especies vegetales protegidas y/o singulares • Fauna: <ul style="list-style-type: none"> - Especies protegidas - Puntos de paso o rutas migratorias • Ecosistemas especiales • Socioeconómico: <ul style="list-style-type: none"> - Población: - Recursos Humanos • Infraestructura y núcleos: <ul style="list-style-type: none"> - Asentamientos urbanos 	10
<ul style="list-style-type: none"> • Paisaje • Áreas protegidas • Patrimonio cultural 	8
<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: <ul style="list-style-type: none"> - Con actividades ganaderas y/o agrícolas de escasa magnitud - Recreativo 	7
<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: <ul style="list-style-type: none"> - No comprendidos en los puntos anteriores • Vegetación: <ul style="list-style-type: none"> - No comprendidos en los puntos anteriores • Fauna: <ul style="list-style-type: none"> - No comprendidos en los puntos anteriores • Infraestructura 	6
<ul style="list-style-type: none"> • Agua: <ul style="list-style-type: none"> - Napa con alto contenido salino. • Suelo: <ul style="list-style-type: none"> - Sin actividades agrícolas / ganaderas - Extractivo 	3
<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: <ul style="list-style-type: none"> - Ocupado con instalaciones. 	1

Tabla 9. 22. Factor afectado

b.2 Magnitud: En referencia a la extensión del daño sobre el factor afectado.

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

Tabla 9. 23. Magnitud

En la tabla se desarrolla el cálculo de la estimación de los riesgos:

Estimación de los Riesgos									
Fase	Impactos por Contingencias	Factores Afectados	Amenaza		Suma	Vulnerabilidad		Suma	Estimación del Riesgo
			Control	Ocurrencia		Factor afectado	Magnitud		
Construcción	Riesgo de contaminación del suelo por vertido eventual de residuo	suelo	1	2	3	7	1	8	24
	Riesgo de contaminación del suelo por derrames eventuales de combustibles y lubricantes de maquinarias y vehículos.		3	3	6	7	3	10	60
	Riesgo de accidentes por operación y tránsito de maquinarias y vehículos	Recursos humanos	1	2	3	10	3	13	39
Operación	Riesgo de contaminación por derrames en operación de cargas y descargas de camiones	Suelo	1	3	4	1	5	6	24
	Riesgo de accidentes por tránsito de vehículos.	Recursos humanos	3	1	4	8	3	11	44
	Riesgo de incendio	Proceso	3	1	4	10	7	17	68
	Riesgo de rotura de tanques		3	1	4	1	5	6	20
	Riesgo por rotura de cañerías		3	1	4	6	5	11	44
Abandono	Riesgo de accidentes por tránsito de vehículos o desmantelamiento.	Recursos Humanos	3	1	4	10	3	13	52
	Riesgo de contaminación por residuos de abandono	Suelo	1	1	2	7	3	10	20

Tabla 9. 24. Estimación de riesgos

9.4 DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Impactos Operativos

Para efectuar el enjuiciamiento de los impactos de acuerdo a su valoración, se toman la escala dada por la Resolución 25/04

JERARQUIA	VALOR
Bajo	0 - 25
Moderado	25 - 50
Critico	> 50

Tabla 9.25. Escala de jerarquía

La clasificación se define de la siguiente manera:

Bajo: de rápida recuperación sin medidas correctoras.

Moderado: 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.

Crítico: la recuperación requiere bastante tiempo y como mínimo requiere medidas correctoras más complejas, puede superar el umbral tolerable 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 siguiente:

Fase	Impactos Operativos				
	Factores Afectados	Negativos	Signo	Importancia	Categoría del Impacto
Construcción	Aire	Afectación de la calidad del aire por emisión de polvo.	-	19	Bajo
		Afectación de la calidad del aire por emisión de gases de combustión	-	19	Bajo
		Afectación del confort sonoro debido al movimiento de vehículos y maquinarias	-	19	Bajo
	Paisaje	Afectación del paisaje intrínseco	-	22	Bajo
Operación	Aire	Afectación de la calidad del aire por emisión de gases de combustión por operación de equipos.	-	22	Bajo
		Afectación del confort sonoro por operación de equipos	-	22	Bajo
	Paisaje	Afectación del paisaje intrínseco	-	24	Bajo
Abandono	Suelo	Afectación por residuos de abandono	-	21	Bajo
	Paisaje	Afectación del paisaje intrínseco	-	24	Bajo
	Economía	Pérdida de ingresos fiscales	-	23	Bajo
		Finalización de demanda de bienes y servicios y mano de obra.	-	23	Bajo

Tabla 9. 26. Impactos operativos

Impactos por Contingencias

Estimación del Riesgo. De acuerdo a la categorización:

- **Riesgo Irrelevante:** no requiere acción específica.
- **Riesgo Tolerable:** no requiere medidas adicionales de control.
- **Riesgo Moderado:** requiere medidas para reducir el riesgo.
- **Riesgo Importante:** no se puede dar comienzo a la operación hasta reducir el riesgo.
- **Riesgo Intolerable:** se debe interrumpir la ejecución del proyecto hasta que no se revean las causas que originan el Riesgo.

En la tabla se detallan los intervalos de encuadre de los valores estimados de los riesgos calculados.

Nivel de Riesgo	
Categoría	Intervalo (Estimación de Riesgo)
Irrelevante	- 30
Tolerable	31 - 70
Moderado	71 - 110
Importante	111 - 160
Intolerable	> 160

Tabla 9.27. Nivel de riesgo

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

Fases	Impactos por Contingencias	Factores Afectados	Estimación del Riesgo	Nivel de Riesgo
Construcción	Riesgo de contaminación del suelo por vertido eventual de residuos.	Suelo	24	Irrelevante
	Riesgo de contaminación del suelo por derrames de eventuales combustibles y lubricantes de maquinarias.		60	Tolerable
	Riesgo de accidentes por operación maquinarias, tránsito de vehículos.	Recursos humanos	39	Tolerable
Operación	Riesgo de contaminación por derrames en operación de cargas y descargas de camiones	Suelo	24	Irrelevante
	Riesgo de contaminación por rotura de cañerías		44	Tolerable
	Riesgo de accidentes por tránsito de vehículos.	Recursos humanos	44	Tolerable
	Riesgo de incendio.	Proceso	68	Tolerable
	Riesgo de rotura de tanques		20	Irrelevante
Abandono	Riesgo de accidentes por tránsito de vehículos o desmantelamiento.	Recursos Humanos	52	Tolerable
	Riesgo de contaminación por residuos de abandono	Suelo	20	Irrelevante

Tabla 9.28. Resultados de impactos

Resumen de impactos:

- Impactos operativos: los impactos operativos valorados en el presente proyecto han resultado todos de jerarquía baja.

- Impactos por contingencias: De los riesgos analizados resultaron algunos de riesgo tolerable y otros de riesgo irrelevante.

No se determinaron Impactos Operativos con categorías Moderado, Severo o Critico, ni Impactos por Contingencia con categorización Intolerable o Importante.

9.5 PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL

En la tabla siguiente se presenta una síntesis del tipo y descripción de la/s medidas a introducir a los efectos de minimizar el impacto que ha resultado en el caso de los Operativos o por Contingencias igual o superior a Moderado.

SÍNTESIS DE MEDIDAS DE MINIMIZACIÓN DE IMPACTOS						
IMPACTOS		TIPO DE MEDIDA		FASE	DESCRIPCIÓN	OBJETO
		Prev.	Cor			
Operativos	Derrames de productos químicos en operación de carga y descarga		X	Operación	Implementar productos Chemizorb para la absorción del producto derramado.	Evitar un daño grave al personal, a las instalaciones y medioambiente
	Riesgo de incendio	X		Operación	Se realizarán simulacros de incendios. Se controlarán los sistemas de red contra incendios asiduamente. Y se controlara la aplicación de procedimientos y planes de contingencia correspondientes.	Evitar un daño grave al personal y a las instalaciones.
Contingencias						

Tabla 9.29. Síntesis de medidas de minimización de impactos

En el caso de que se produzca un cierre definitivo de la planta, se informará a todos los operarios con 30 días de anticipación, y se tratara de reubicar a la mayor cantidad de personal en empresas de la zona. El objetivo es prevenir un despido masivo de personal, y prever la búsqueda de nuevos empleos en caso de no poder ser reubicados. Así también, serán indemnizados de acuerdo a lo que reglamenta de Ley de trabajo.

9.6.1. Etapa de Abandono.

La última etapa de la actividad consistirá en la desafectación y desmontaje de las instalaciones y reacondicionamiento del sitio, que se basa en devolver la superficie del suelo a una condición similar a la de situación original o a la de su uso deseado y aprobado.

Las actividades que se realizarán en esta última etapa serán:

- Relevar la legislación nacional, provincial y municipal que se encuentre vigente en ese momento, en función de identificar nuevos requerimientos en relación a las condiciones ambientales en las que deberá quedar el sitio en cuestión.
- En las tareas de obra, se contará con Profesionales Ambientales en el sitio, en función de relevar posibles situaciones puntuales que merezcan un análisis pormenorizado del posible estado de afectación del predio, a causa de los productos manejados en la instalación.
- El personal afectado a las tareas de obra será capacitado en los aspectos ambientales del Proyecto. Esta capacitación puede realizarse mediante cursos o charlas que aseguren el conocimiento de las medidas de protección ambiental y de las restricciones ambientales del área.
- Previo al inicio de tareas, se contará con la autorización de los superficiarios afectados, a los que debe informarse las características de la obra, tiempo previsto de ejecución, recomendaciones generales y especiales a tener en cuenta durante la ejecución, para minimizar riesgos de accidentes y afectación a las tareas normales.
- Se señalizarán (con una cantidad mínima indispensable de carteles) de manera adecuada todos los lugares de la obra y de las tareas a realizarse, especialmente en zonas de tránsito vehicular y/o personas (obrador, área de acceso y salida de camiones, área de almacenamiento de sustancias, etc.).
- Se comunicará a las autoridades locales el inicio de las obras en tiempo y forma.
- La zona de tanques de almacenamiento será inspeccionada para detectar pérdidas o derrames, particularmente cerca de las conexiones y válvulas. Cuando se retiren los tanques, el relleno bajo el mismo será inspeccionado, tomando las acciones correctivas que sean necesarias.
- Las distintas unidades serán desmanteladas y desarmadas por partes. Cada parte será vendida como equipo o como hierro a terceros, dependiendo de su estado.
- Cada parte que no pueda ser vendida, será dispuesta como residuo de acuerdo a la legislación vigente. Todas las partes que se encuentren afectadas con residuos producto

de la operación y que no puedan ser correspondientemente limpiadas, serán gestionadas como residuo especial.

- El predio será correctamente acondicionado hasta dejarlo en condiciones hasta dejarlo en condiciones lo más similares a su estado inicial o según el uso futuro previsto para el mismo.
- Todo camino o sendas abiertos para la instalación, no necesario una vez finalizada la vida útil de la misma, será cerrado y restaurado.
- Verificar la ausencia de acumulaciones de materiales provenientes de las tareas de demolición y desmantelamiento de estructuras en zonas cercanas a la instalación.
- Una vez finalizadas las tareas de obra, todos los residuos que se produjeran, serán correctamente almacenados y dispuestos según la legislación vigente, en función de las pautas de gestión indicadas en el presente.

9.7. TRATAMIENTO DE EFLUENTES

9.7.1. Lodos Activados.

El tratamiento de efluentes industriales de agua con metanol mediante el uso de lodos activados es un proceso comúnmente utilizado en la industria. Este proceso se lleva a cabo en una planta de tratamiento de aguas residuales, donde el metanol se utiliza como fuente de carbono para los microorganismos presentes en los lodos activados, que actúan como agentes biológicos para la degradación de los contaminantes.

El proceso de tratamiento de efluentes industriales de agua con metanol y lodos activados se puede dividir en varias etapas:

- **Pretratamiento:** En esta etapa, el efluente industrial se somete a un proceso de eliminación de sólidos gruesos y materiales insolubles, como la grasa y el aceite.
- **Aireación:** En esta etapa, el efluente industrial se mezcla con lodos activados y se airea para proporcionar oxígeno a los microorganismos presentes en los lodos activados. Los microorganismos utilizan el oxígeno para oxidar el metanol y convertirlo en biomasa y dióxido de carbono.
- **Sedimentación:** En esta etapa, la mezcla aireada se somete a un proceso de sedimentación para separar los lodos activados de la solución líquida.
- **Clarificación:** En esta etapa, la solución líquida se somete a un proceso de clarificación adicional para eliminar cualquier material suspendido restante.
- **Desinfección:** En esta etapa, la solución líquida clarificada se desinfecta mediante el uso de cloro o algún otro agente desinfectante para eliminar cualquier microorganismo patógeno que pueda estar presente.

El proceso de tratamiento de efluentes industriales de agua con metanol y lodos activados es altamente eficiente y efectivo en la eliminación de contaminantes del agua, incluyendo el metanol. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el proceso puede requerir una inversión significativa de capital y costos operativos. Además, es fundamental seguir todas las regulaciones y directrices ambientales aplicables para garantizar que el proceso se realice de manera segura y efectiva (AL-DAWERY, 2013).

9.7.2. Cálculos.

Para calcular la cantidad de lodos activados necesarios para tratar agua con metanol al 1%, es necesario conocer el caudal de agua que se debe tratar, la concentración de metanol en el agua y la tasa de carga de alimentos (790/99, 1999).

Línea de Flujo	Componente	Caudal Volumétrico [m ³ /h]	Caudal Másico [Kg/h]
Agua a Tratamiento	Metanol	0,3206	255,11
	Agua	25,4145	2,54E+04
TOTAL		25,7351	25.618,46

Tabla 9.30. Datos del Afluente.

La determinación de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y la DQO (Demanda Química de Oxígeno) en los efluentes se realiza para evaluar la carga orgánica presente en el agua residual. La DBO y la DQO son dos pruebas analíticas que miden la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en el agua residual.

La DBO se utiliza para evaluar la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. Se mide midiendo la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos en la degradación biológica de la materia orgánica durante un período de tiempo específico (generalmente 5 días). La DBO es útil para evaluar la eficacia de los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales y para determinar la cantidad de materia orgánica que se puede biodegradar.

Por otro lado, la DQO se utiliza para medir la cantidad total de materia orgánica en el agua residual, incluida la materia orgánica no biodegradable. La DQO mide la cantidad de oxidante necesario para oxidar completamente la materia orgánica presente en el agua residual. La DQO es útil para evaluar la eficacia de los procesos químicos de tratamiento de aguas residuales y para determinar la cantidad total de materia orgánica presente en el agua residual.

En resumen, la determinación de la DBO y la DQO en los efluentes es importante porque proporciona información valiosa sobre la cantidad y la naturaleza de la materia orgánica presente en el agua residual. Esta información se puede utilizar para evaluar la eficacia de los

procesos de tratamiento de aguas residuales y para garantizar que los efluentes cumplan con los límites de descarga establecidos por las regulaciones ambientales.

Reacciones para determinación de DQO:

Compuesto	Reacción de oxidación	DQO	UNIDADES
Metanol	$CH_3OH + 3O_2 \rightarrow CO_2 + 4H_2O$	4,08E+02	kg/h
Determinación DBO5			
		Concentración	Unidad
DBO5	DBO/DQO>0,6	48981,41	mg/lt
		48,98	kg/m3
Determinación DBOT			
		Concentración	Unidad
DBOT	DBO5/DBOT=0,8	61226,76	mg/lt

Tabla 9.31. Cálculos de DQO y DBO.

Los siguientes parámetros son fundamentales para el funcionamiento de un proceso de tratamiento mediante lodos activados:

- Concentración de Sólidos Suspensos en Lodos Mixtos (SSLM o X): se refiere a la cantidad de materia orgánica y microorganismos presentes en el lodo activado. Esta concentración se mide en términos de mg/L o g/L y puede variar en función de la carga orgánica y del tipo de microorganismos presentes en el proceso. Una concentración adecuada de SSLM o X es esencial para mantener una buena calidad de efluente y para maximizar la eficiencia del tratamiento.
- Edad de fango: se refiere al tiempo promedio que los microorganismos permanecen en el reactor. Se mide en términos de días y su valor depende de la tasa de crecimiento de los microorganismos y de la cantidad de lodo recirculado. Una edad de fango adecuada es importante para asegurar que los microorganismos tengan suficiente tiempo para degradar la materia orgánica presente en el efluente.
- Tiempo de Retención Hidráulica (TRH): se refiere al tiempo que el agua residual permanece en el reactor. Se mide en términos de horas y su valor se determina en función de la carga orgánica y la concentración de lodo en el reactor. Un TRH adecuado es importante para asegurar que los microorganismos tengan suficiente tiempo para degradar la materia orgánica presente en el efluente.

- Rendimiento celular: se refiere a la cantidad de microorganismos que se producen en el proceso de tratamiento. Se mide en términos de mg de microorganismos producidos por g de materia orgánica biodegradada. Un buen rendimiento celular es esencial para asegurar una buena calidad de efluente y para maximizar la eficiencia del tratamiento.
- Carga másica: se refiere a la cantidad de materia orgánica que se carga al reactor en un período determinado. Se mide en términos de kg de materia orgánica por metro cúbico de reactor y por día. Una carga másica adecuada es importante para asegurar que los microorganismos tengan suficiente alimento para degradar la materia orgánica presente en el efluente.

Parámetro	Unidades	Valores habituales	Valores típicos elegidos
Concentración SSLM o X	kg/m ³	6-8	6
Coefficiente α	---	0,35-0,5	0,5
Edad de fango - TRC	días	>9	21
Tiempo de Retención Hidráulica TRH	(hs)	6-15	6
Kd constante de respiración endógena	d ⁻¹	-	0,06
Rendimiento celular (Y)	-	-	0,6
Carga másica	KgDBO ₅ /kg. d	0,15-0,4	4,20
Velocidad ascensional	m/s	0,6-0,9	0,7
COV	KgDQO/m ³ d	<15	2

Tabla 9.32. Parámetros establecidos.

El dimensionamiento de los equipos y tanques para un tratamiento de efluentes con lodos activados puede variar según el diseño de la planta y las especificaciones del proceso (Enosha).

Es importante tener en cuenta también, estos parámetros al final del tratamiento de efluentes por varias razones:

Producto de lodo en exceso: el exceso de lodo generado en el proceso de tratamiento debe ser retirado del sistema para evitar problemas de acumulación de sólidos. Es importante conocer el producto de lodo en exceso para poder planificar su retirada y disposición adecuada.

Caudal de purga: el caudal de purga se refiere a la cantidad de agua tratada que se retira del sistema para mantener la concentración de sólidos suspendidos dentro de los límites adecuados. Es importante controlar el caudal de purga para evitar la eliminación excesiva de microorganismos y garantizar la estabilidad del proceso.

Nutrientes/mo: los nutrientes son esenciales para el crecimiento y la actividad de los microorganismos en el proceso de tratamiento. Es importante asegurarse de que haya suficientes nutrientes disponibles para garantizar un tratamiento efectivo.

Volumen útil del tanque o reactor: el volumen útil del tanque o reactor es el espacio disponible para la retención del efluente en el proceso de tratamiento. Es importante conocer el volumen útil para calcular el tiempo de retención hidráulica y la carga másica.

Tiempo de retención hidráulica: el tiempo de retención hidráulica se refiere al tiempo que el agua residual permanece en el reactor. Es importante controlar el tiempo de retención hidráulica para garantizar una degradación efectiva de la materia orgánica y evitar la eliminación excesiva de microorganismos del sistema.

En resumen, el monitoreo de estos parámetros al final del tratamiento de efluentes es esencial para garantizar una operación eficiente y efectiva del sistema y para cumplir con los límites de descarga establecidos por las regulaciones ambientales.

Parámetro		Unidades	Valores
Qmedio	Caudal de entrada	[m ³ /d]	120,00
Lo	conc. Media diaria de DBO5 total de entrada al reactor	[kg/m ³]	48,98
Pf	Producto de lodo en exceso	[Kg/d]	1465,13
Qw	caudal de purga	m ³ /d	20,00
F/M	nutrientes/mo	kgdbo5/kg	1,36
V	Volumen útil del tanque o reactor	m ³	30,00
Cm	Carga másica	KgDBO5/kg	0,18
TRH	Tiempo de retención hidráulica	hs	6,00
		días	0,25
altura del tanque	h	m	4,20
dimensiones del tanque	superficie	m ²	126,00
Qr	caudal de recirculado	m ³ /d	0,72
COV	cov	KG/DQO/M3d	2

Tabla 9.33. Resultados obtenidos.

Un tanque de aireación es un componente clave en el proceso de tratamiento, es éste se suministra aire a través de difusores, los cuales se colocan en el fondo del tanque y se inyecta aire comprimido en forma de pequeñas burbujas en el agua residual. El aire inyectado proporciona oxígeno necesario para la respiración de las bacterias que realizan la descomposición de la materia orgánica. Además, la mezcla creada por las burbujas ayuda a mantener los sólidos suspendidos en el agua, lo que permite que las bacterias tengan acceso a la materia orgánica.

La cantidad de aire suministrada al tanque de aireación a través de los difusores es un parámetro importante para el funcionamiento del proceso de tratamiento de lodos activados. La cantidad de aire debe ser suficiente para suministrar el oxígeno necesario para las bacterias,

pero no demasiado para evitar una pérdida excesiva de energía debido a la fricción del aire en el agua.

En otras palabras, el tanque de aireación con sus difusores es esencial en el proceso de tratamiento de lodos activados para proporcionar oxígeno y mezcla al agua residual, lo que permite a las bacterias descomponer la materia orgánica presente y tratar eficazmente las aguas residuales.

SINTESIS DE O₂	$O_2 = a * R * DBO_5 * Q$	2934,084	kg/d
Rendimiento	$R = \frac{DBO_5 \text{ Afluente} - DBO_5 \text{ efluente}}{DBO_5 \text{ Aluente}}$	0,998	
difusor	m ³ /h	7	parámetro establecido
	%	0,2	parámetro establecido
o₂ respiración endógena	kg/d	10,80	
O₂ total	$O_{2total} = sint O_2 + Resp \text{ endogena } O_2$	2944,884	kg/d
		122,66	m ³ /h
Nº DE DIFUSORES	por unidad	42	

Tabla 9.34. Aireación.

Los parámetros de operación críticos que influyen en la eficiencia del tratamiento son la concentración de metanol en el agua residual, la carga másica y el tiempo de retención hidráulica.

El tratamiento de efluentes que contengan metanol con lodos activados es una tecnología efectiva y sostenible, lo que lo convierte en una opción viable para la industria y otras aplicaciones en la eliminación de metanol en el agua residual.

9.8 BIBLIOGRAFÍA

790/99, D. (1999). Ley Provincial 899.

AL-DAWERY, S. (2013). Methanol Removal From Methanol-Water Mixture Using Municipal Activated Sludge. *Department of Chemical Engineering, University of Nizwa, Birkat Al Mouz, Oman.*

Eddy, M. y. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.* Mc Graw Hill.

Enosha. (s.f.). Normas De Estudio. Criterios De Diseño Y Presentacion De Proyectos De Desagües Cloacales. En Enosha.

OFICIAL, B. (Resoluciones N° 181 Y 182). *Ley De La Provincia N° 2326. Ente Provincial De Agua Y Saneamiento.*

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 2 Fecha: 17/02/2023		

Capítulo N°10

INGENIERÍA DE

DETALLE

10. INGENIERÍA DE DETALLE

En el presente capítulo se desarrollará el diseño detallado de dos equipos del proceso: el intercambiador de tubo y coraza (E-400) y el separador (V-401).

10.1 Intercambiador de Calor

Un Intercambiador de Calor es un equipo utilizado para enfriar un fluido que está más caliente de lo deseado, transfiriendo este calor a otro fluido que está frío y necesita ser calentado. La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos.

La selección de un intercambiador térmico está sujeta a una diversidad de criterios: los fluidos presentes (líquido/líquido, líquido/vapor, gas/gas) y su naturaleza (fluido limpio, ensuciante, viscoso, corrosivo)

- las temperaturas (punto de acercamiento, diferencia de temperatura, cruce de temperaturas, coeficiente de película)
- las presiones utilizadas (presión máxima en funcionamiento y de cálculo, pérdida de carga admisible)
- la facilidad de mantenimiento requerida (estándares FDA, intercambiador farmacéutico)
- el grado de mantenimiento (frecuencia de limpieza, por ejemplo)

Luego de analizar las condiciones de operación de los distintos tipos de intercambiadores de calor, el equipo que más se adapta es el intercambiador de tubo y coraza.

10.1.2 Componentes básicos de los intercambiadores de calor

Los intercambiadores de casco y tubo son los intercambiadores consisten en una estructura de tubos pequeños colocados en el interior de un casco de mayor diámetro.

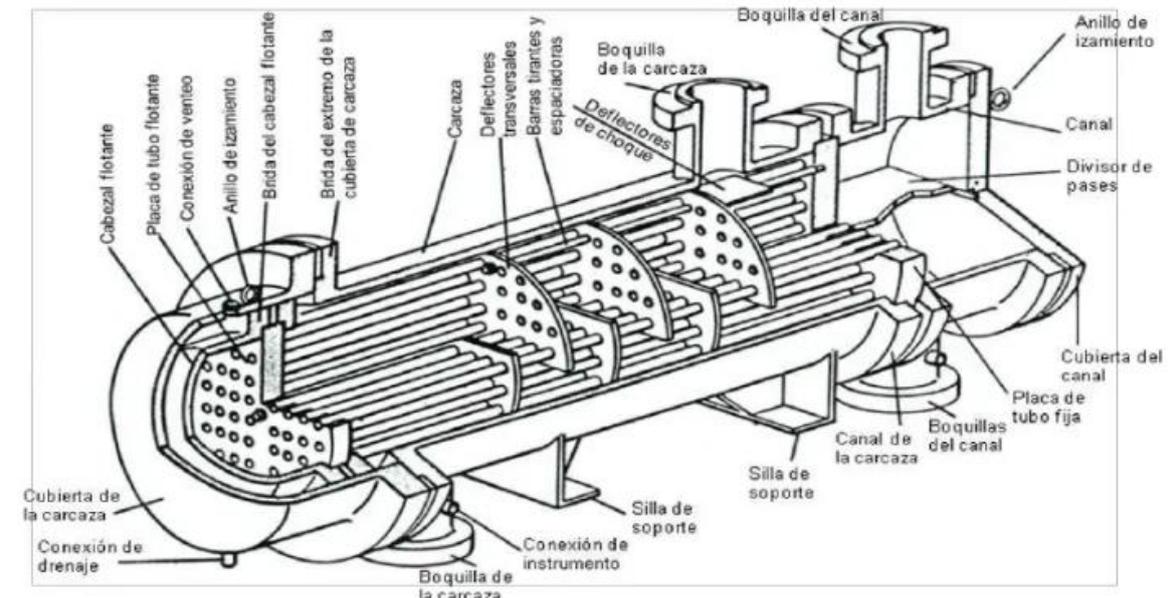


Ilustración 10. 1Componentes de un intercambiador de calor

A continuación, se detallará brevemente los elementos más importantes de los intercambiadores de calor de tubo y coraza (Moss, 1987).

➤ **Tubos:** están situados en el interior de la carcasa y paralelamente a ella, son los que proporcionan la superficie de transferencia de calor entre un fluido que fluye dentro de ellos y otro que fluye sobre su superficie externa. Se encuentran disponibles en varios metales como acero, cobre, aluminio, 70-30 cobre-níquel, aluminio-bronce, aceros inoxidable, etc.

Se pueden obtener en diferentes grosores de pared (espesor), definidos por el calibrador Birmingham que, en la práctica, se refiere a BWG del tubo. Los espesores de los tubos se seleccionan para soportar la presión interna y para proporcionar un adecuado sobre espesor de corrosión. Los tubos pueden disponerse en:

- **Arreglo cuadrado:** presenta como ventajas, mayor accesibilidad para limpieza externa de los tubos y tienen menor caída de presión cuando el fluido fluye horizontalmente a través de ellos. Los espaciados más comunes para arreglos cuadrados son de $\frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro externo en un espaciado cuadrado de 1 pulgada; y de 1 pulgada de diámetro externo en un espaciado en cuadro de $1\frac{1}{4}$ de pulgada.
- **Arreglo triangular:** es el mejor para ensuciamiento menor a $0.002 \text{ pies}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{BTU}$. Se utilizan en cualquier régimen de flujo, pero, producen mayor turbulencia debido a que el fluido golpea directamente en la hilera siguiente. Son más económicos que los cuadrados y son los preferidos para servicios limpios. Los espaciados para arreglos triangulares son de $\frac{3}{4}$ pulgadas de D.E. en espaciado triangular de $\frac{15}{16}$ pulgadas; $\frac{3}{4}$

pulgada de D.E. en un arreglo triangular de 1 pulgada; y 1 pulgada DE en un arreglo triangular de 1 ¼ pulgada.

- Carcasa: es el recipiente para el fluido externo, de sección transversal circular, generalmente de acero de bajo carbono, aunque pueden construirse de otras aleaciones, especialmente, cuando se debe cumplir con requerimientos de altas temperaturas o corrosión. El diámetro interior de la carcasa se obtiene según el número de tubos standard. Dicho diámetro se obtiene en función de la disposición y el diámetro externo de los tubos, el pitch, el número de pasos y de tubos.
- Cabezal de distribución: es un elemento similar a la carcasa, su función es recibir el fluido que circula por el interior de los tubos. En este se distribuye y se recolecta el fluido para mandarlo fuera de él.
- Cabezal de retorno: manda el fluido fuera del intercambiador cuando este cuenta con un solo paso por el lado de los tubos. Este cabezal puede ser de tres tipos: fijo, flotante y haz de tubos en U. En el primero, la carcasa y el exterior de los tubos del haz no pueden ser limpiados por métodos mecánicos ni ser inspeccionados físicamente. El haz de tubos en U, supone una gran dificultad para llevar a cabo la limpieza mecánica por el interior de los tubos. En cuanto a los cabezales flotantes, tienen amplia facilidad de inspección, mantenimiento y reparación.
- Pitch: es el espacio de centro a centro dentro de los tubos, los cuales pueden estar arreglados en pitch triangular, triangular rotado, cuadrado y cuadrado rotado. En nuestro caso elegimos pitch triangular.
- Numero de pasos: son el número de veces que el fluido cambia de dirección al circular por el interior de los tubos. La mayoría de los intercambiadores tienen números de pasos igual a 1, 2, 4, 6 u 8.
- Placa de tubos: es una placa perforada y acondicionada para soportar los tubos, las empaquetaduras, las barras espaciadoras, etc. Debe soportar el ataque corrosivo por parte de ambos fluidos y debe ser químicamente compatible con el material de los tubos. En general, son de acero de bajo carbono. Presentan también, una capa delgada de aleación metalúrgica anticorrosiva.
- Deflectores: o baffles, son los encargados de dirigir el flujo de fluidos. Logran coeficientes de transferencia de calor más altos cuando el líquido se mantiene en estado de turbulencia. Es decir, se induce turbulencia fuera de los tubos cuando se emplean deflectores que hacen que el líquido fluya a través de la coraza a ángulos rectos con el eje de los tubos. La distancia centro a centro entre los deflectores se llama espaciado de deflectores. Estos se

mantiene firmemente mediante espaciadores que consisten de un pasador atornillado en el cabezal de tubos. Las normas TEMA fijan una separación mínima igual a $1/5$ parte del diámetro de la coraza. Nunca debe usarse una separación menor a 2 pulgadas. A continuación, en la figura se muestran diferentes tipos de deflectores transversales.

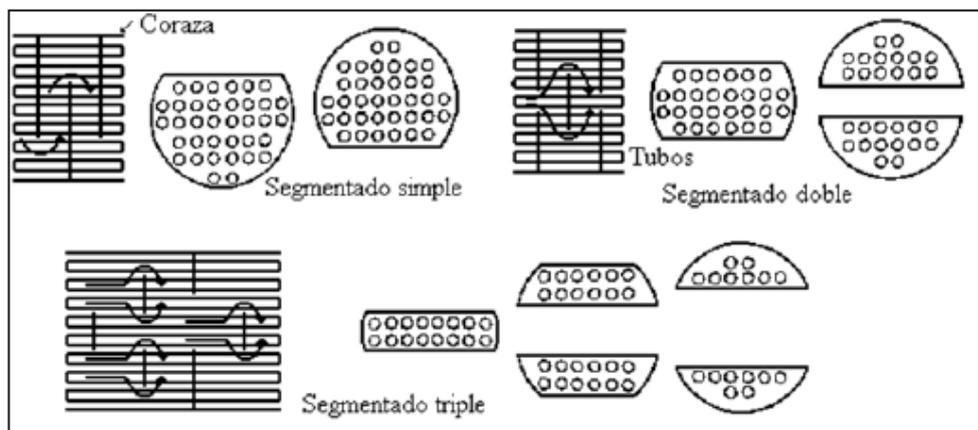


Ilustración 10. 2 Diferentes tipos de deflectores. Fuente: (Q. Kern, 1999) Donald

10.1.3 Norma TEMA

Las consideraciones de diseño están estandarizadas por The Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA), el cual se identifica con tres letras, el diámetro en pulgadas del casco y la longitud nominal de los tubos en pulgadas. La primera letra es la indicativa del tipo del cabezal estacionario. Los tipos A (Canal y cubierta desmontable) y B (Casquete) son los más comunes. La segunda letra es la indicativa del tipo de casco. La más común es la E (casco de un paso), la F de dos pasos es más complicada de mantener. Los tipos G, H y J se utilizan para reducir las pérdidas de presión en el casco. El tipo K es el tipo de rehervidor de caldera utilizado en torre de fraccionamiento. La tercera letra nos indica el tipo de cabezal del extremo posterior, los de tipo S, T y U son los más utilizados. El tipo S (cabezal flotante con dispositivo de apoyo) el diámetro del cabezal es mayor que el del casco y hay que desmontarlo para sacarlo. El tipo T (Cabezal flotante sin contrabrida) puede sacarse sin desmontar, pero necesita mayor diámetro de casco para la misma superficie de intercambio. El tipo U (haz de tubo en U) es el más económico, pero a la hora de mantenimiento necesita una gran variedad de tubos en stock. En la siguiente figura se mostrará diferentes partes de los intercambiadores de acuerdo lo que estipula las normas TEMA:

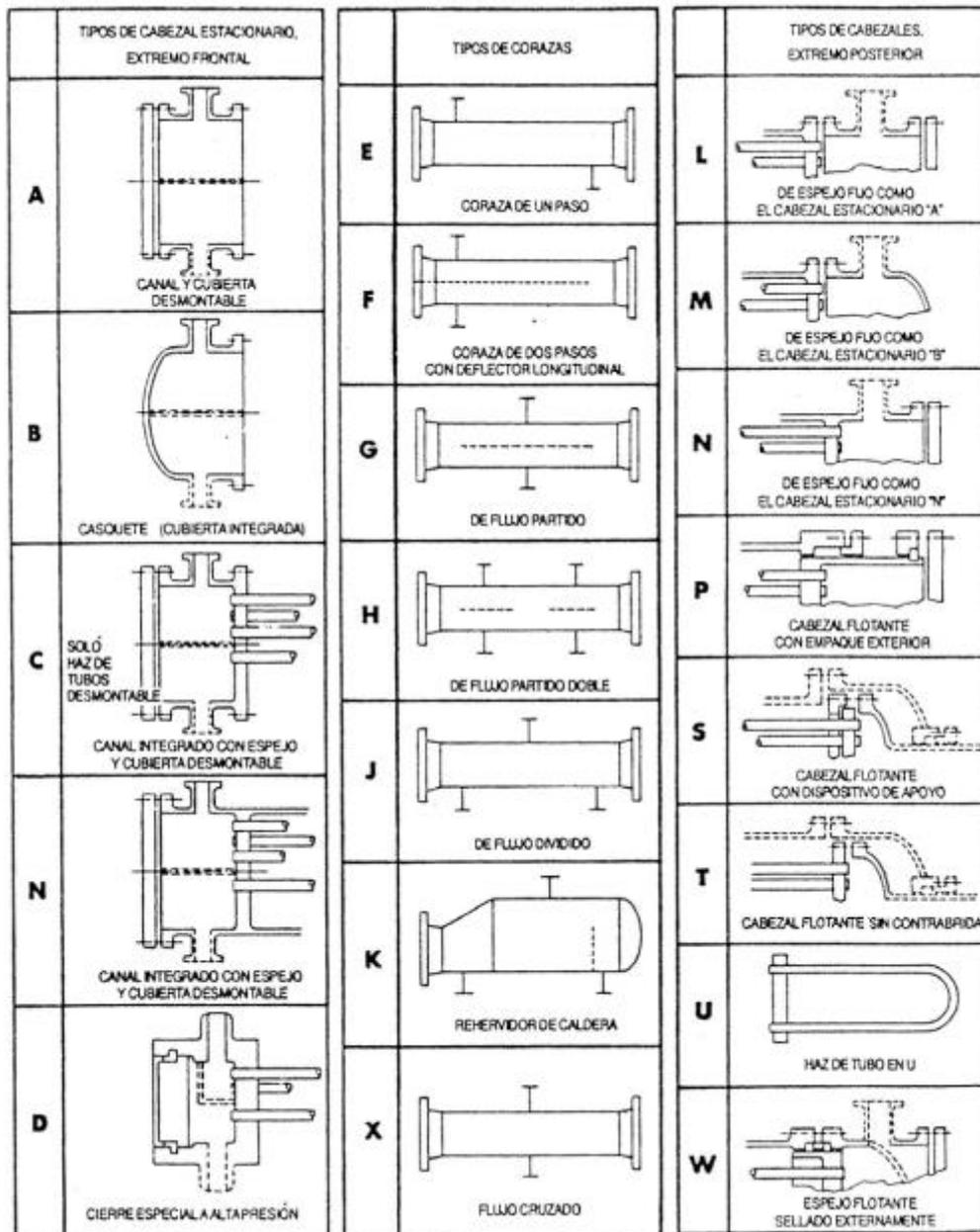


Ilustración 10. 3 Diferentes tipos de cabezales y carcasa. Fuente: (TEMA-SACOME, 2021)

10.1.4 Selección de la trayectoria del flujo

Se debe considerar en el diseño, la elección del fluido que circulara por el lado de la carcasa y de la corriente que circulara por el interior de los tubos (Petrov, 2020). Algunos criterios a considerar son:

- El fluido más sucio circula por el interior de los tubos, dado que la limpieza mecánica es más sencilla.
- El fluido más corrosivo circula generalmente por el lado de los tubos para minimizar el uso de una metalurgia más noble.

- El fluido de mayor presión se ubica por el interior de los tubos.
- El fluido que presenta menor pérdida de presión fluye por la carcasa.
- El fluido que circula por la coraza deberá ser un líquido de viscosidad elevada o un gas.

Lo antes nombrado son parámetros que se consideran en forma general para el diseño de intercambiadores de calor.

10.1.5 Procedimiento de cálculo

A continuación, se detalla el cálculo para uno de estos equipos y se exponen los resultados para el E-400, donde el método utilizado es el método de KERN ya que se trata de un intercambiador sin cambio de fase en ninguno de los dos fluidos.

Los intercambiadores usados en el proceso son de carcasa y tubos debido a su gran versatilidad, adaptación al proceso, presión y temperatura. El fluido de proceso es una corriente cuyo principal componente es el propileno, la cual se precisa enfriar de 73.13°C a 40°C, con una corriente de agua.

Las propiedades de las corrientes fueron encontradas por los paquetes termodinámicos del programa HYSYS y corregidas en su diseño en el programa HTRI, donde se resumen en las siguientes tablas:

Propiedades de los Fluidos	Coraza (Agua, fluido frio)		Tubos (C10, fluido caliente)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Fase	Vapor	Vapor	Vapor	Vapor
Caudal másico (kg/hr)	148.800	148.800	47.690	47.690
Temperatura (°C)	25,00	29,86	73,13	40,00
Presión (Kg/cm2)	1,03	0,33	5,86	5,16
Calor específico(kJ/kg°C)	4,31	4,31	1,74	1,64
Densidad (kg/m3)	1.007	10.004	7,60	7,52
Conductividad (W/m°C)	0,61	0,61	0,02	0,02
Viscosidad (cp.)	0,88	0,80	1,45	1,42

Tabla 10. 1. Propiedades de los fluidos. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto que, para la aproximación por el método de Kern, consideramos las siguientes características para el diseño del intercambiador de calor.

Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad
Diámetro interno de los tubos	Di	0,03	m
Diámetro externo de los tubos	Do	0,03	m
Diámetro interno de la coraza	Ds	0,75	m
Numero de tubos	Nt	140	
Numero de pasos por tubos	n	2	
Separación entre bafles	B	0,8	m
Separación centro de tubos	Pt	0,04	m
Numero de deflectores	Nb	6	
Longitud de los tubos	L	5,48	m
Espaciado entre tubos adyacentes	C'	0,01	

Tabla 10. 2. Características de diseño.

Con estos datos, se realizaron los siguientes cálculos:

Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad
Calor	$Q=WhCh(T1-T2)$	9.810.190	kJ/h
Temperatura media	$m=(t2+t1)/2$	27,43	°C
Temperatura media	$Tm=(T2+T1)/2$	56,57	°C
Paso por coraza	NS	1,00	
Coefficiente global de Ensuciamiento	Ud.	1.987,79	W/m ² °C
Diferencia de Temperatura Media Logarítmica	MLDT	26,68	°C
R	$R=T1-T2/t2-t1$	6,82	
S	$S=t2-t1/T1-t1$	0,10	
Factor de corrección	Ft	0,96	
Delta temperatura corregida	Δt	25,59	°C
Temperatura Calórica	$Tc=T2+Ft(T1-T2)$	71,77	°C
Temperatura Calórica	$tc=t1+ft(t2-t1)$	29,66	°C
TUBOS			
Variable	Fórmula	Valor	Unidad
Área de flujo por tubo	$a't=(\pi Di^2)/4$	0,001	m ²
Área total de flujo	$at=Nt*a'/n$	0,048	m ²
Velocidad Másica	$Gt=Wh/at$	3.080.349	Kg/m ² *h
Numero de Reynolds	$Re=Di*Gt/\mu h$	3.773.046	
Numero de Prandtl	$Pr=Ch*\mu h/kh$	0,46	
Numero de Nusselt	$Nut=0,023Re^{(0,8)}*Pr^{(0,3)}$	3.317,85	
hi	$hi=(Nut*k)/Di$	2.708,72	W/°C

Coeficiente corregido	$hi0= hi*(Di/D0)$	2.528,88	W/°C
-----------------------	-------------------	----------	------

Tabla 10. 3. Datos adjuntos y calculados por el método de Kern

CORAZA			
Variable	Fórmula	Valor	Unidad
Área de flujo	$as=(Ds*C'*B) /Pt$	0,1	m ²
Velocidad Másica	$Gs=WC/aS$	265,1	Kg/m ² h
Diámetro equivalente	$Deq=4*((1/2Pt*0,86Pt) -(1/2piDo^2) /4)) / (1/2Pi*Di)$	0,05	m
Numero de Reynolds	$Re= Deq Gs/\mu c$	4.732	
Numero de Prandtl	$Prs=Cc \mu c/kc$	5,7	
Numero de Nusselt	$Nus=0,36Re^{(0,55)} *Pr^{(0,33)}$	67,3	
Coeficiente corregido	$h0= Nus kc/ Deq$	763,0	W/°C

Tabla 10. 4. Cálculos del lado de la coraza por el método de Kern.

Con estos valores calculados podemos obtener:

Temperatura de la pared	$tw=tc+ ((ho/ (hio+ ho)) *(TC-tC))$	39,42	°C
Viscosidad de la pared Fig 15		0,01	cp=0,0342 kg/mh
Viscosidad Corregida Fig24		85,55	cp
Viscosidad Corregida Fig24	$fi=(\mu/\mu w) ^{0,14}$	1,00	cp =-----
Coef Corregido	$ho=ho*fi$	2.747,02	
TUBOS			
Temperatura de la pared	$tw=tc+((ho/(hio+ho)) *(TC-tC))$	39,42	°C
Viscosidad de la pared Fig 14		0,01	
Viscosidad Corregida Fig24		151,05	cp
Viscosidad Corregida Fig24	$fi=(\mu/\mu w) ^{0,14}$	1,00	cp
Coef Corregido	$ho=ho*fi$	9.103,97	
Área	$A= \pi*Do*L$	0,55	m ²
Área del Equipo	$A= a''*Nt*L$	775,72	m ²
Coef Total de Transferencia	$Uc= 1/ (1/ho+ 1/ hio)$	1.979,12	W/m ² °C
Coef Total de Diseño	$Ud= Q/ (A*\Delta t)$	137,27	W/m ² °C
Factor de ensuciamiento de corrientes de procesamiento de metanol, éteres, derivados de HC.		0,0002	Apéndice 22
Factor de ensuciamiento del fluido que circula por coraza		0,0002	
Factor de ensuciamiento combinado		0,0004	m ² *K/W
Factor de obstrucción calculado	$Rd=((Uc-Ud)) / (Uc*Ud)$	0,0068	m ² *K/W

Tabla 10. 5. Cálculo de Factores.

Con los coeficientes globales, determinamos el factor de obstrucción R_d , nos dice qué cantidad de incrustaciones, depósitos y lodos se acumularán en la superficie interior y exterior de los tubos del intercambiador: $R_d = R_{di} + R_{do}$

El R_d es el factor de obstrucción combinado, que es la suma del factor de obstrucción en la cara interna y en la cara externa del tubo. La resistencia de ensuciamiento se estima en función del conocimiento y experiencia que se tiene respecto al manejo de fluidos o además se puede recurrir a valores tabulados.

Se cumple que el R_d calculado es mayor que el permitido, con lo cual el equipo diseñado es apto de acuerdo a los criterios elegidos anteriormente. Para adecuar la performance de un equipo que está sobredimensionado se pueden reducir los caudales de los fluidos, para no ocasionar problemas de operación.

Cuando el equipo se ensucie, aumentará la resistencia hasta que se alcanza el valor de diseño, momento en el cual el equipo deberá limpiarse, porque si no alcanzará a transferir la cantidad de calor deseada.

Los cálculos de pérdida de carga para ambos lados serán:

TUBOS			
Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad
Pérdida de carga en tubos	ΔP_t	13.790	Pa
Pérdida de carga por regreso	ΔP_r	11.000	Pa
Pérdida de carga Total	ΔP_T	24.790	Pa (= 3.59 lb*plg ²)
CORAZA			
Variable	Nomenclatura	Valor	Unidad
Pérdida de carga en coraza	ΔP_s	3.370	Pa (= 0.488 lb*plg ²)

Tabla 10. 6. Pérdidas de Carga.

La caída de presión está dentro del rango permitido y no debe excederse de las 10 lb*plg².

10.1.6. Diseño con HTRI

Todos los cálculos anteriores aproximados son por el método de Kern (Kern, 1999) y, ahora vamos a pasar al diseño en detalle del equipo usando el programa HTRI en el cual los datos son llevados como input al programa.

Cuando se cargaron todos los datos y se corre la simulación del programa HTRI, se obtienen los resultados mostrados en el output summary como así también los resultados finales junto con la tabla y las hojas de especificaciones del intercambiador de calor.

Luego de importar los datos desde hysys, se cargan los datos necesarios, se obtienen los siguientes resultados primero en modo Rating y luego en modo Simulación.

HTRI		Output Summary		Page 1	
Released to the following HTRI Member Company: UTN-FRN Sanchez Gisela					
Xist E Ver. 6.00 27/2/2023 19:00 SN: Vals100+					SI Units
Rating - Horizontal Multipass Flow TEMA AJ12S Shell With Double-Segmental Baffles					
See Data Check Messages Report for Warning Messages.					
See Runtime Message Report for Warning Messages.					
Process Conditions		Cold Shellside		Hot Tubeside	
Fluid name		AGUA		C10	
Flow rate (kg/s)		41,3335		13,2473	
Inlet/Outlet Y (Wt. frac vap.)	0,000	0,000	1,000	0,987	
Inlet/Outlet T (Deg C)	25,00	29,86	73,13	40,00	
Inlet P/Avg (kPa)	101,301	99,615	575,008	382,311	
dP/Allow. (kPa)	3,373	13,790	12,394	13,790	
Fouling (m2-K/W)		0,000000		0,000000	
Exchanger Performance					
Shell h (W/m2-K)	1987,79	Actual U (W/m2-K)	732,10		
Tube h (W/m2-K)	1637,48	Required U (W/m2-K)	618,10		
Hot regime (-)	Sens Gas	Duty (MegaWatts)	0,8741		
Cold regime (-)	Sens. Liquid	Area (m2)	60,718		
EMTD (Deg C)	23,3	Overdesign (%)	18,44		
Shell Geometry			Baffle Geometry		
TEMA type (-)	AJ12S	Baffle type (-)	Double-Seg.		
Shell ID (mm)	720,950	Baffle cut (Pct Dia.)	20,00		
Series (-)	1	Baffle orientation (-)	Perpend.		
Parallel (-)	1	Central spacing (mm)	800,000		
Orientation (deg)	0,00	Crosspasses (-)	6		
Tube Geometry			Nozzles		
Tube type (-)	Plain	Shell inlet (mm)	307,087		
Tube OD (mm)	25,400	Shell outlet (mm)	128,194		
Length (m)	5,486	Inlet height (mm)	23,091		
Pitch ratio (-)	1,2500	Outlet height (mm)	23,091		
Layout (deg)	30	Tube inlet (mm)	387,351		
Tubecount (-)	140	Tube outlet (mm)	387,351		
Tube Pass (-)	2				
Thermal Resistance; %		Velocities; m/s		Flow Fractions	
Shell	36,83	Shellside	9,462e-2	A	0,000
Tube	58,83	Tubeside	87,86	B	0,775
Fouling	0,00	Crossflow	7,563e-2	C	0,169

Ilustración 10. 4. Diseño según TEMA/ASME. Fuente: HTRI.

Service of Unit		Item No.				
Type	AJ12S	Orientation Horizontal		Connected In	1 Parallel 1 Series	
Surf/Unit (Gross/Eff)	61,29 / 60,72 m ²	Shell/Unit 1		Surf/Shell (Gross/Eff) 61,29 / 60,72 m ²		
PERFORMANCE OF ONE UNIT						
Fluid Allocation		Shell Side		Tube Side		
Fluid Name		AGUA		C10		
Fluid Quantity, Total	kg/s	41,3335		13,2473		
Vapor (In/Out)	wt%	0,0		100,0		
Liquid	wt%	100,0		0,0		
Temperature (In/Out)	C	25,00		73,13		
Density	kg/m ³	1007,3		7,2719		
Viscosity	mN-s/m ²	0,8907		0,0111		
Specific Heat	kJ/kg-C	4,3136		1,7370		
Thermal Conductivity	W/m-C	0,6112		0,0242		
Critical Pressure						
Inlet Pressure	kPa	101,301		575,008		
Velocity	m/s			87,86		
Pressure Drop, Allow/Calc	kPa	13,790		12,394		
Average Film Coefficient	W/m ² -K	1987,79		1637,4		
Fouling Resistance (min)	m ² -K/W					
Heat Exchanged	0,8741 MegaWatts	MTD (Corrected) 23,3 C		Overdesign 18,44 %		
Transfer Rate, Service	618,10 W/m ² -K	Calculated 732,10 W/m ² -K		Clean 732,10 W/m ² -K		
CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)		
		Shell Side	Tube Side			
Design Pressure	kPaG	517,115	517,115			
Design Temperature	C	60,00	104,45			
No Passes per Shell		1	2			
Flow Direction		Downward	Downward			
Connections	In mm	1 @ 307,087	1 @ 387,351			
Size & Rating	Out mm	2 @ 128,194	1 @ 387,351			
	Liq. Out mm	@	@			
Tube No.	140 OD 25,400 mm	Thk(Avg) 3,048 mm	Length 5,486 m	Pitch 31,750 mm	Layout 30	
Tube Type	Plain	Material CARBON STEEL		Pairs seal strips	2	
Shell ID	720,950 mm	Kettle ID	mm	Passlane Seal Rod No	0	
Cross Baffle Type	PERPEND. DOUBLE-SEG.	%Cut (Diam)	20;00	Impingement Plate	None	
Spacing(c/c)	800,000 mm	Inlet	800,000 mm	No. of Crosspasses	6	
Rho-V2-Inlet Nozzle	309,17 kg/m-s ²	Shell Entrance	851,44	Shell Exit	3199,90 kg/m-s ²	
		Bundle Entrance	36,81	Bundle Exit	74,39 kg/m-s ²	
Weight/Shell	4407,36	Filled with Water	7173,44	Bundle	1496,61 kg	
Notes:		Thermal Resistance, %	Velocities; m/s	Flow Fractions		
		Shell	36,83	Shellside	1,462e-2 A	0,000
		Tube	58,83	Tubeside	87,86 B	0,775
		Fouling	0,00	Crossflow	5,663e-2 C	0,169

Ilustración 10. 5. Resultados obtenidos del HTRI.

Puede comprobarse que el equipo estimado es una buena aproximación que el simulador ajusto teniendo en cuenta los efectos despreciados por el método de Kern (Kern, 1999), dándole así un sobredimensionamiento del 18,44% en modo Rating.

Al final de este proyecto se adjunta el informe y el plano PL-IG-MC-01-Intercambiador de Calor E-400, donde puede observarse los datos de diseño del equipo.

10.1.7. Diseño Mecánico.

Para calcular la presión de diseño se tomó en cuenta la presión de operación promedio de acuerdo a la entrada y salida del fluido.

TUBOS		Valor	Unidad
Presión de diseño	$P_d = P_{operación} + 2$	7,51	kPa
Temperatura de diseño	$T_d = T_{operación} + 20^{\circ}\text{C}$	93,13	$^{\circ}\text{C}$
Espesor de los tubos (expresión definida por el código ASME B31.1)	$t = \left(\frac{P_d \times D_o}{2 \times S \times E + 2 \times P_d \times Y} + C \right) \times \frac{1}{1 - \frac{M}{100}}$	2,06	mm
Donde:		Parámetro	Valor
Presión de diseño		P_d	7,51
Diámetro exterior de la tubería		D_o	31,75
Tensión máxima admisible del material debido a la presión interna (Se calculó en base al material acero de aleación para tubos SA-285 división 1)		S	780.000
Eficacia de la soldadura		E	1
Espesor por corrosión		C	1,8
Tolerancia a la fabricación, para tuberías sin costuras como las proyectadas, la tolerancia a la fabricación es bastante elevada. Depende del material y la temperatura.		M	12,5
El coeficiente Y, depende tanto del material como de la temperatura. Se calcula a través de las normas TEMA.		Y	0,4
CORAZA		Valor	Unidad
Presión de diseño	$P_d = P_{operación} + 2$	2,68	kPa
Temperatura de diseño	$T_d = T_{operación} + 20^{\circ}\text{C}$	49,86	$^{\circ}\text{C}$
Espesor del lado de la coraza, según código ASME, para aceros al carbono. Se determina Como cuerpo cilíndrico	$t = 6 + C$	8,16	mm
Espesor en función de las tensiones circunferenciales	$t = \frac{P_{diseño} \times R_i}{(S \times E - 0,6 \times P_{diseño})} + CA$	2,03	mm
Espesor en función de las tensiones longitudinales	$t = \frac{P_{diseño} \times R_i}{(2S \times E + 0,4 \times P_{diseño})} + CA$	2,01	mm
Donde:			
Espesor del cilindro (mm)	t	8,16	
Presión de diseño (bar)	P_d	0,03	
Radio interno (mm)	R_i	375	
Esfuerzo del material (bar) SA-285	S	358,53	
Factor de soldadura	E	1	
Tolerancia de corrosión (mm)	CA	2	

Tabla 10. 7. Cálculos sobre Coraza y Tubo.

10.1.8. Dimensionamiento de los cabezales

El canal es una sección tubular donde se ensamblan tanto la tapa como las boquillas de entrada de fluido hacia los tubos, la tapa es la sección donde entra el fluido y éste se distribuye hacia los tubos, en este caso las tapas son de tipo semielíptica porque soportan mayores presiones. Para calcular el espesor del canal, primero se calcula el radio exterior del canal, en función del diámetro exterior del mismo.

La norma TEMA y el Código ASME recomiendan que los espesores del canal y de la tapa sean iguales para poder lograr una mejor unión por soldadura.

Diámetro exterior del canal	Dec	750	mm
Radio exterior del canal	Rec	375	mm

Tabla 10. 8. Diámetro del Cabezal.

En el caso del espesor mínimo del cabezal, se consideran dos tipos de espesores dependiendo de su condición física.

Presión de Diseño	Pd	2,68	kPa
Radio interior del casco sin incluir la tolerancia a la corrosión	R	375,00	mm
Máximo esfuerzo admisible	S	35.852	kPa
Eficiencia de la junta	E	1,00	mm

Tabla 10. 9. Variables de las fórmulas.

Esfuerzo circunferencial	$t = \frac{Pd \times R}{S \times E - 0,6 \times Pd}$	0,03	mm
Esfuerzo longitudinal	$t = \frac{Pd \times R}{2 \times S \times E + 0,4 \times Pd}$	0,01	mm
Esfuerzo longitudinal	$t = \frac{Pd \times R}{2 \times S \times E - 0,2 \times Pd}$	0,03	mm
Espesor del casco		1,83	mm

Tabla 10. 10. Tipos de Esfuerzos.

A través de las siguientes expresiones se determinan las dimensiones de los cabezales (longitud del canal y de la tapa, profundidad de las tapas, etc.).

Diámetro exterior de la tapa elipsoidal	Decc	0,38	m
Diámetro exterior de la tapa	dcc=0,8* Decc	0,30	m
Radio exterior de la tapa	Rcc= 0,9* Decc	0,34	m
Radio exterior de la curvatura de la tapa	rcc= 0,173* Decc	0,07	m
Profundidad de la tapa	h1= 0,25* Decc	0,09	m
Extensión de la tapa	h2= 0,33*h1	0,03	m
Longitud total de la tapa	hcc= h1+h2	0,13	m
Longitud total del cabezal (m)	Hc	es = Ds	0,38
Longitud del canal (m)	hc	hc=Hc- hcc	0,25

Tabla 10. 11. Cálculo de longitudes.

10.1.9. Estimación del peso del intercambiador de calor

Para determinar el peso del intercambiador se calculan por separado los pesos de los baffles, los cabezales, la envolvente y los tubos, para luego realizar una aproximación de acuerdo al código ASME.

Volumen interior de la coraza	$V_{interno} = \pi \times \left(\frac{Di}{2}\right)^2 \times L$	0,618	m ³
Volumen exterior de la coraza	$V_{externo} = \pi \times \left(\frac{Do}{2}\right)^2 \times L$	0,610	m ³
Volumen de la pared	$V_{pared} = V_{externo} - V_{interno}$	0,012	m ³
Peso de la coraza	Densidad del material, ASTM SA-285	46,601	kg

Tabla 10. 12. Peso de la coraza.

En el caso del peso de los tubos, se tiene lo siguiente:

Volumen interno	$V_{interno} = \pi \times \left(\frac{Di}{2}\right)^2 \times L$	0,004	m ³
Volumen externo	$V_{externo} = \pi \times \left(\frac{Do}{2}\right)^2 \times L$	0,004	m ³
Volumen de la pared	$V_{pared} = V_{externo} - V_{interno}$	6E-04	m ³
Peso del tubo	Densidad del material (ASTM SA-285)	4,388	kg
Peso total del tubo		614,4	kg

Tabla 10. 13. Peso de los Tubos.

Para determinar el diámetro de los baffles se consultó el Apéndice 21 del libro Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos. De allí se obtienen los siguientes datos:

Diferencia diametral entre la coraza y deflector	
Ds (m)	Ds-Db (m)
0,43-0,58	0,0038

Tabla 10. 14. Diferencia diametral.

Diámetro de Baffles	Db	0,9038	m
Volumen de Baffles	$V_{baffle} = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times L$	0,0024	m ³
Volumen de Baffles real		0,0018	m ³
Peso del baffle		14,3897	kg
Peso total del baffle		86,3386	kg

Tabla 10. 15. Dimensiones de Baffles.

➤ Peso de los cabezales

Radio interior de la hemiesfera		0,0375	m
Volumen interior es ½ del volumen de una esfera		0,0001	m ³
Radio exterior de la hemiesfera		0,1875	m
Volumen exterior		0,0138	m ³
Volumen de la pared		0,0137	m ⁴
Peso de ambos cabezales		215,4560	kg
Peso Total aprox. Del Equipo Vacío		980,4914	kg
Volumen de agua en la coraza (m ³)	$V_{agua\ en\ coraza} = \pi \times \left(\frac{Di}{2}\right)^2 \times L$		0,0968
Volumen de agua en los cabezales (m ³)	$V_{agua\ en\ coraza} = \pi \times \left(\frac{Di}{2}\right)^2 \times L$		0,0002
Peso del agua (kg)			96,9424
Volumen de agua dentro de los tubos (m ³)	$V_{agua\ en\ tubo} = \pi \times \left(\frac{Di}{2}\right)^2 \times L$		0,0038
Peso del agua (kg)			113,3129
Peso Total del Equipo en operación (kg)			1190,7467

Tabla 10. 16. Resultados.

Por lo tanto, el peso total del equipo en operación será de: 1.190,7467 kg.

10.1.10. Dimensionamiento de Boquillas y bridas.

Por lo general las boquillas empleadas alcanzan una tubería estándar con un extremo soldado al casco o cabezal, con una brida deslizante o de cuello unida en el otro extremo. Las boquillas pueden ser reforzadas o forjadas, estas últimas son las utilizadas.

Boquillas de entrada/salida de fluido	Diámetro de las boquillas
Entrada de fluido frío por tubos (plg)	2
Salida de fluido frío por tubos (plg)	2
Entrada de fluido caliente por coraza (plg)	6
Salida de fluido caliente por coraza (plg)	6

Tabla 10. 17. Boquillas.

La siguiente tabla muestra las proyecciones mínimas recomendadas para boquillas:

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		

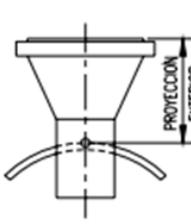


Ilustración 10.6. Proyección Exterior para bridas welding neck. Fuente: ASME (B16.5-2003)

Para boquillas con rango de presión de 300 la proyección exterior será de 8", mientras que para las boquillas con bridas de serie 150 la proyección será de 6" respectivamente.

Las bridas son de acero inoxidable o al carbono, que permiten la sujeción entre componentes contiguos de una cañería o entre un equipo y una cañería. Para intercambiadores se emplean dos tipos de bridas, las bridas con cuello (welding neck) son de gran resistencia y muy empleadas donde se requiere seguridad, mientras que las bridas deslizantes (slip on) son más económicas ya que no se utilizan para grandes presiones, utilizadas en servicios no críticos. En nuestro caso las bridas utilizadas son de tipo cuello soldable, de clase 150 para coraza y de clase 300 para tubo. Las dimensiones de las bridas utilizadas son:

DN	Clase 150					
	Dimensiones					
	A	B	C	D	E	F
2"	152	121	19	64	25	25
DN	Clase 300					
	Dimensiones					
	A	B	C	D	E	F
6"	318	270	37	98	52	52



Tabla 10. 18. Disposición de las medidas según ASME. Fuente: (B16.5-2003)

La norma TEMA especifica que para intercambiadores de clase B, el diámetro mínimo de los espárragos es de 5/8.

Diámetro Nominal	Clase 150			
	Número de espárragos	Diámetro del espárrago	Longitud (mm)	Longitud (in)
2"	4	½"	101.5	4
Diámetro Nominal	Clase 300			
	Número de espárragos	Diámetro del espárrago	Longitud (mm)	Longitud (in)
6"	12	¾"	128	5

Tabla 10. 19. Disposición de las medidas según ASME-Fuente: (B16.5-2003)

10.1.11. Soportes y orejas de izaje

Las orejas de izaje se colocan para poder transportar, localizar y dar mantenimiento al equipo, es necesario colocar por lo menos dos orejas de izaje.

El valor del mínimo ángulo de contacto entre la silleta y el cuerpo es sugerido por el Código ASME, con una magnitud de 120°. El material utilizado para orejas de izaje y demás (boquillas, bridas, etc.) será de acero al carbono SA-285.

El espesor de las orejas se calcula como: $t_o = W/SD$. Siendo:

t_o : el espesor mínimo requerido en la oreja de izaje

W: el peso del equipo vacío

S: el esfuerzo a la tensión del material de la oreja (acero A285, 88,9 MPa = 12.893,85 psi)

D: la distancia mostrada en la siguiente figura.

Espesor mínimo requerido en la oreja de izaje (plg)	$t_o = W/(S * D)$	0,1117
Peso del equipo vacío (lb)	W	2161,98
Esfuerzo a la tensión del material de la oreja (psi)	S	12.89
Distancia mostrada por norma (plg)	D	1 1/2

Tabla 10. 20. Dimensionamiento de Orejas de Izaje

De la siguiente tabla se tomarán las dimensiones (pulgadas) de orejas existentes y recomendadas.

CAPACIDAD Máx. Kgs.	A	B	C	D	F	DIÁMETRO DE BARRENOS	G	H	CANT. PZAS. P/RECIPIENTE
2000	3/4	4-1/2	4-1/2	1-1/2	2-1/4	1-1/2	3/4	3/8	2
4500	3/4	7-3/4	7-3/4	1-1/2	2-1/4	1-1/2	3/4	3/8	2
5800	1	8-7/16	8-7/16	1-1/2	2-1/2	1-1/2	3/4	3/8	2
13500	1-1/2	8-3/4	8-3/4	1-1/2	3-1/2	1-1/2	3/4	1/2	2
24500	2	9-3/4	9-3/4	1-5/8	3-1/2	1-11/16	3/4	1/2	4

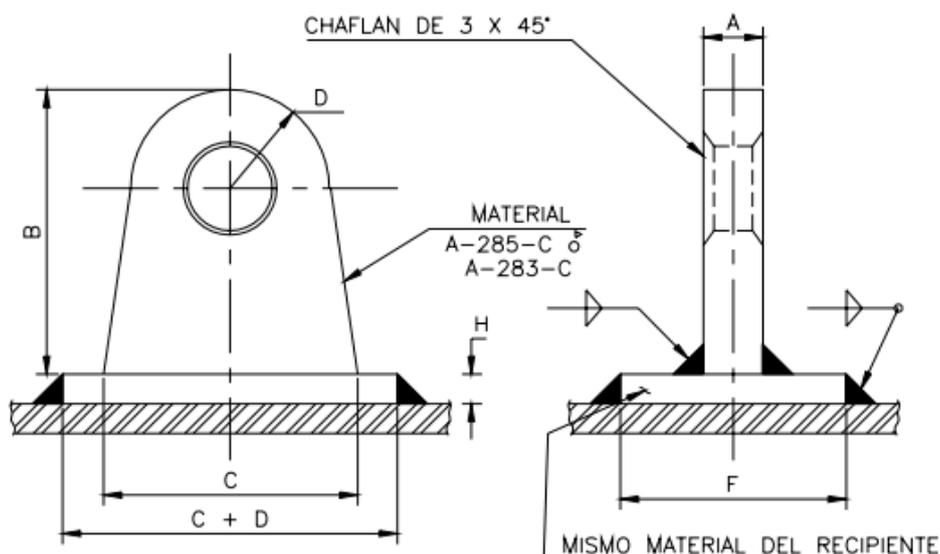
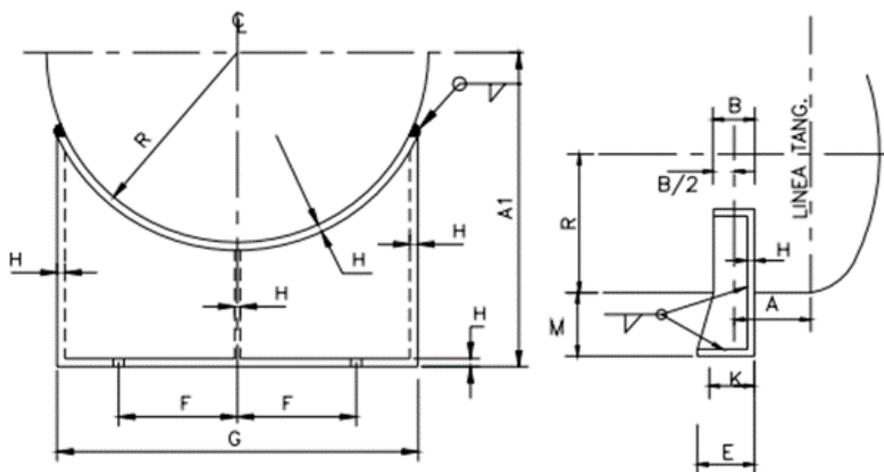


Ilustración 10. 7. Diseño de orejas de izaje-Fuente: (Estrada, 2001)

10.1.12. Silletas.

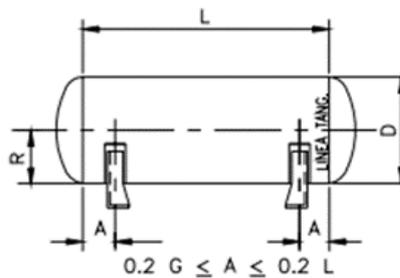
El Código ASME especifica las dimensiones de las silletas en función del peso del equipo en operación y del diámetro exterior del mismo. Para calcular las silletas se recomienda considerar el peso del equipo lleno de agua. En función del diámetro, las dimensiones de las silletas serán las descriptas al diámetro de 20 pulgadas, según la siguiente tabla.

	SOPORTES PARA RECIPIENTES HORIZONTALES									NORMAS	
	TIPO DE SILLETA RECIPIENTES DE 6" A 20" ø									FIGURA No. 64	
DIAMETRO RECIPIENTE D ₁	DIMENSIONES EN PULGADAS										PESO DE UNA SILLETA Kgs.
	A1	B	E	F	G	H	K	M	R	DIAMETRO DE BARRILLO	
6	9-1/2	1-1/2	3	2	6	1/4	1-3/4	6-3/16	3-5/16	3/4	4.0
8	9-1/2	1-1/2	3	2	6	1/4	1-3/4	5-3/16	4-5/16	3/4	3.5
10	11-1/2	1-1/2	3	4	10	1/4	1-3/4	6-1/8	5-3/8	3/4	5.5
12	11-1/2	1-1/2	3	4	10	1/4	1-3/4	5-1/8	6-3/8	3/4	5.0
14	13-1/2	1-1/2	3	5-1/4	13-1/2	3/8	1-3/4	6-1/2	7	3/4	11.0
16	13-1/2	1-1/2	3	5-1/4	13-1/2	3/8	1-3/4	5-1/2	8	3/4	9.5
18	15-1/2	1-1/2	3	6-1/2	16	3/8	1-3/4	6-1/2	9	3/4	13.5
20	15-1/2	1-1/2	3	6-1/2	16	3/8	1-3/4	5-1/2	10	3/4	12.5



$$0.4 R \leq A \leq 0.2 L \therefore R = D/2$$

MATERIALES OPTATIVOS
 ASTM A-283 GR "C"
 ASTM A-36
 CORROSION 1/16"
 TODA LA SOLDADURA SERA CONTINUA
 LA DIMENSION DEL FILETE 3/16"
 DIAMETRO DEL ANCLA 5/8"



$$0.2 G \leq A \leq 0.2 L$$

Ilustración 10. 8. Soporte para recipientes- Fuente: (Estrada, 2001)

10.2 SEPARADOR VERTICAL

En un separador vertical, los fluidos ingresan al recipiente a través de un dispositivo de entrada cuyos objetivos principales son lograr una separación eficiente del líquido del gas a granel y mejorar la distribución del flujo de ambas fases a través del separador. El líquido eliminado por el dispositivo de entrada se dirige al fondo del recipiente.

El gas se mueve hacia arriba en la sección de sedimentación por gravedad, donde las gotitas de líquido caen verticalmente hacia abajo en contracorriente con el flujo de gas ascendente. La velocidad de sedimentación de una gota de líquido es directamente proporcional a su diámetro. Si el tamaño de una gota de líquido es demasiado pequeño, será arrastrada hacia arriba y hacia afuera con el vapor. Por lo tanto, se agrega una sección de extractor de niebla para capturar pequeñas gotas de líquido.

El líquido eliminado por el extractor de neblina se fusiona en gotas más grandes que luego caen a través del gas hasta el depósito de líquido en el fondo. El líquido continúa fluyendo hacia abajo a través de la sección de recolección de líquido hasta la salida de líquido. A medida que el líquido alcanza el equilibrio, las burbujas de gas fluyen en sentido contrario al flujo del líquido y finalmente migran al espacio de vapor. El control de nivel normalmente no es muy crítico y el nivel de líquido puede fluctuar varias pulgadas sin afectar el rendimiento de separación o la capacidad del recipiente (W.Y. Svrcek, 1993).

10.2.1 Componentes básicos de los separadores.

- Controladores de nivel de líquido: los controladores de nivel de líquido mantienen el nivel deseado en un recipiente. El desplazador flota en el fluido del proceso y, a medida que el nivel del fluido pasa al punto de ajuste de nivel alto. El piloto del controlador de nivel de líquido envía señales a la válvula de descarga para que se abra. A medida que el nivel disminuye y alcanza el punto de ajuste de nivel bajo, el piloto deja de enviar gas de suministro al vertedero.
- Válvulas de descarga: el controlador abre una válvula de descarga para drenar los líquidos de un recipiente.
- Conjuntos de válvulas de manómetro: estas válvulas se utilizan cuando se reemplaza una mirilla rota para aislar el fluido del proceso.
- Mirilla : una mirilla es un tubo de vidrio transparente que permite ver el nivel de fluido del proceso dentro del separador.

- Indicadores de temperatura: los indicadores de temperatura están diseñados para mostrar la temperatura del proceso.
- Termo pozo : los termo pozos están diseñados para bloquear el fluido del proceso y ser un puerto de conexión para los medidores de temperatura.
- Manómetros : los manómetros están diseñados para mostrar la presión del proceso.
- Tapas de ventilación: las tapas de ventilación se utilizan para proteger la PSV del agua de lluvia. Esta tapa de ventilación también tiene una ventilación de silbato integrada para aliviar pequeñas cantidades de presión que generalmente no se notan.
- Válvulas de seguridad de presión: la válvula de seguridad de presión se abrirá si la presión del proceso supera la presión establecida de fábrica. El PSV garantiza la seguridad del equipo.
- Desviadores de entrada: si bien existen muchos, los más empleados son de dos tipos. El primero es el deflector de regulación, es de plato esférico, placa plana, plancha de ángulo o algún otro dispositivo que genere un cambio rápido en la dirección y velocidad de los fluidos. El segundo es el ciclón de entrada, el cual usa una fuerza centrífuga para la separación.
- Placas anti espuma: cuando las burbujas de gas se libera del líquido, se forma la espuma, siendo esta la principal causa para un bajo rendimiento de estos equipos. La separación de espuma limita la separación gas-liquido en el separador, es decir que, para llevar a cabo la separación de espuma estas partículas deben ser descompuestas.
- Rompedores de Vórtices: disminuyen la presencia de vórtices o remolinos cuando la válvula de control de líquido está abierta, debido a que éste absorbe gas del vapor y lo remezcla en la salida de líquido.
- Extractor de Neblina: se pueden utilizar los cojines de mallas de alambres, en los que las gotas de líquido pasan a través de la malla de alambre produciendo un choque entre ellas y generando la coalescencia, haciendo que estas cambien de dirección y regresen a la fase líquida. Si estos cojines tienen el tamaño adecuado pueden llegar a remover el 99% de las gotas de 10 micrones. También se pueden usar los extractores tipo veleta, estos obligan al flujo de gas a ser laminar entre las placas paralelas que contiene el cambio direccional. Las gotas chocan con la placa de superficie donde la coalescencia hace que las gotas caigan en la parte líquida.

10.2.2 Parámetros que intervienen

- Flujo normal de vapor: es la cantidad máxima de vapor alimentada a un separador en condiciones típicas de operación (con ausencia de perturbaciones por inestabilidades del proceso o pérdidas de la capacidad de condensación aguas arriba del mismo). Son altamente efectivos los separadores para flujos de vapor del orden del 150% del flujo normal, de esta manera, no es necesario considerar un sobre diseño en el dimensionamiento de los separadores. Si se predicen flujos mayores al 150%, el diseño del separador debe considerar dicho aumento.
- Factor de compresibilidad del gas (Z): este valor nos indica el volumen del gas en las condiciones de operación.
- Velocidad crítica: es una velocidad de vapor calculada empíricamente que se utiliza para asegurar que la velocidad superficial de vapor, a través del separador, sea lo suficientemente baja para prevenir un arrastre excesivo de líquidos.
- Constante K de Sounders & Brown: es uno de los parámetros que mayor relevancia tiene en el momento de predecir el comportamiento de los fluidos dentro de un recipiente (Institute, 1989). Es el valor que se acerca o se aleja de las predicciones del funcionamiento real del sistema. Factor K para velocidades superficiales permitidas:

Tipo de Separador	Altura o Longitud (pies)	Rango típico del factor K
Vertical	5	0.12 a 0.24
	10	0.18 a 0.35
Horizontal	10	0.40 a 0.50
	Otras longitudes	$0.40 \text{ a } 0.50 * (L/10)^{0.56}$
Esférico	Todos	0.2 a 0.35

Tabla 10. 21 Factor K, para velocidades superficiales permitidas

- Factor de retención: la capacidad líquido de un separador depende principalmente del tiempo de retención del líquido en el recipiente, una buena separación requiere de un tiempo suficiente para logra el equilibrio entre la fase líquida y la fase gaseosa a la temperatura y presión de separación.

Gravedades de petróleo	Minutos (típicos)
Por encima de 40° API	1 a 2
25-40° API	1 a 3
<25° API y/o espumoso	3 a 12

Tabla 10. 22 Tiempo de retención. Fuente: American Petroleum Institute. Specifications for oil and gas separators.

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su densidad API, que diferencia las calidades del crudo.

- Relación longitud/diámetro: existe una constante dimensional llamada R, que permite determinar la relación entre la longitud de costura (Lss) con el diámetro del separador. Este parámetro permite determinar el diseño, más eficiente y económico, se toma el valor de R entre los valores de 3 y 4. Aunque para algunos casos específicos en diseño de separadores verticales la altura de líquido ocasiona restricciones y permite que existan valores de relación longitud/diámetros muy bajos.

10.2.3 Cálculos para el diseño del Separador V-401.

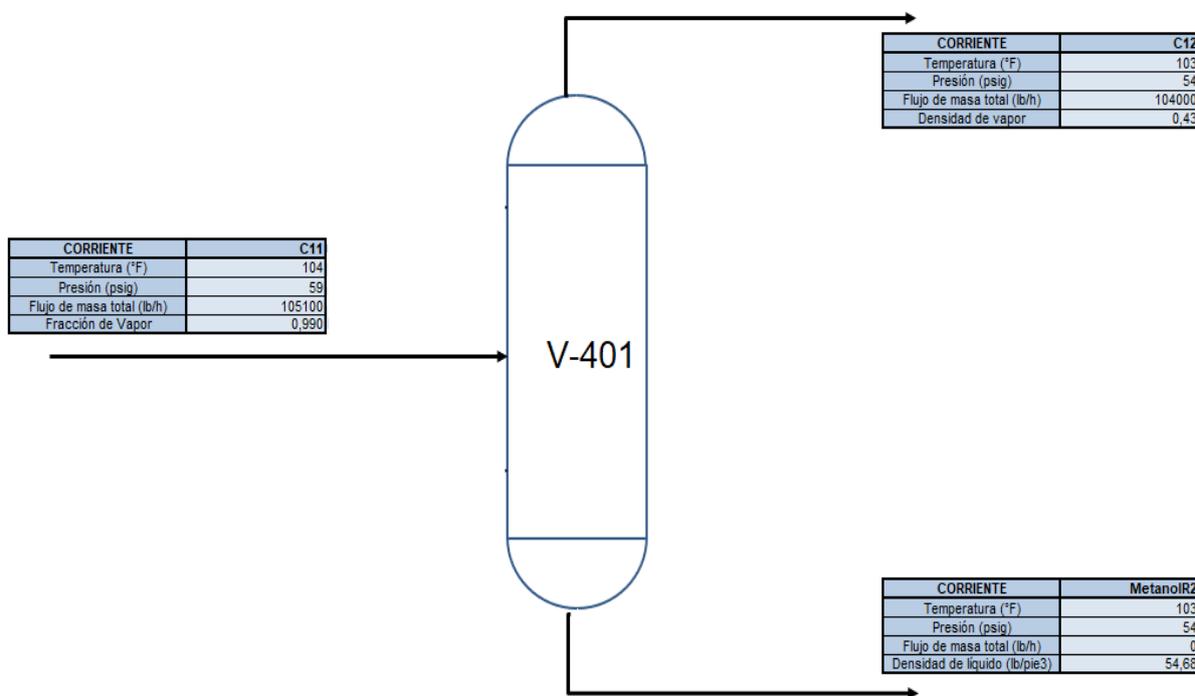


Ilustración 10. 9. Separador V-401.

Nombre de la corriente	C11	C12	MetanolR2
Dirección de la corriente	Ingreso	Salida	Salida
Fracción de vapor	1	1	0
Temperatura (°F)	104	103	103
Presión (psig)	59	54	56
Flujo másico total (lb/h)	105.100	104.000	1.180
Densidad de la masa de vapor (lb/pie ³)	29	0	0
Flujo de la masa de vapor (lb/h)	103.900	104.000	0
Flujo volumétrico de vapor (pie ³ /h)	3.339	3.444	0
Densidad de la masa de líquido (lb/pie ³)	51	0	55
Flujo de la masa de líquido (lb/h)	1.200	0	1.180
Flujo volumétrico de líquido (pie ³ /h)	3.467	0	23

Tabla 10. 23. Parámetros de las corrientes.

El método seleccionado para realizar el cálculo analítico para el dimensionamiento del equipo es el de Sounders-Brown. Se obtendrán algunos datos de la norma API 12J. En las siguientes tablas, veremos los parámetros calculados:

Resumen de datos de flujo	
Max. Temperatura de la corriente (°F)	104,0
Max. Presión de la corriente (psig)	58,7
Caudal volumétrico de vapor de salida (pie ³ /s)	0,95
Densidad de vapor de salida (lb/pie ³)	0,43
Densidad de líquido de salida (lb/pie ³)	54,68
<i>Determinación del diámetro del recipiente</i>	
Coeficiente K (El valor proporcionado por el usuario depende del sistema, el servicio, el diseño (p. ej., sin eliminador de neblina) y la experiencia. Se utiliza 0.24 como una estimación conservadora.	0,24
Velocidad de vapor máxima permitida, V_t (pie/s)	0,24
Mín. Área requerida, A_p (pie ²)	4,00
Mín. Diámetro del recipiente, D_p (pie)	2,26
Cabezal redondeado ID, D_v (plg) (Min. ID = 3 ft)	4
<i>Determinación de la altura</i>	
Tiempo de retención de líquidos, t (min) Depende del sistema/proceso. Según API 12J	5
Altura requerida para t (m)	3.04
Altura estimada del eliminador de neblina (m)	0.152

Tabla 10. 24. Datos de flujo.

Resumen de datos de flujo	
Margen de altura desde la parte superior TL hasta el par superior ME (plg) TL= línea tangente	12
Altura permitida desde ME btm hasta la boquilla de entrada (m)	0.304
Altura permitida desde la boquilla de entrada hasta HLL (plg)	24
T/T Longitud (m)	2.921
Cabezal redondeado T/T Altura, L (pie)	10
Comprobación L/D. Típicamente < 4 (si la relación líquida/gas es alta y/o el tiempo de residencia es dominante, considerar el diseño del recipiente horizontal).	3
Dimensiones estimadas del recipiente (m)	
Diámetro interno	1.219
Altura d	4.26

Tabla 10. 25. Datos de flujo.

Salida de vapor		Salida de líquido	
Máx. velocidad permitida (ft/s)	76,07	Máx. velocidad permitida (pie/s)	3,30
Min. área de la sección transversal (ft ²)	0,01	Min. área de la sección transversal (pie ²)	0,00
Diámetro (plg)	1,52	Diámetro (plg)	0,24
ID de boquilla (plg)	2	ID de boquilla (plg)	2

Tabla 10. 26. Salidas.

Información	Valores
Nombre del Equipo	Separador V-401
Diseño de Temperatura (°C)	77,77
Diseño Calibre de Presión (kpa)	827,37
Volumen de líquido (m ³)	8,561
Diámetro del recipiente Cp (m)	1,2192
Tangente Altura (m)	3,048
Número de pozos de registro de Cp	2
Diámetro de la boca de inspección Cp (m)	0,4572
Cantidad de boquilla A	1
Diámetro de la boquilla A (m)	0,9144
Cantidad de boquilla B	1
Diámetro de la boquilla B (m)	0,0508
Cantidad de la boquilla C	1
Diámetro de la boquilla C (m)	0,0508
Cantidad de boquilla D	4
Diámetro de la boquilla D (m)	0,0508
Cantidad de boquilla E	4
Diámetro de la boquilla E (m)	0,0254

Tabla 10. 257. Tabla Resumen.

10.2.4 Calculo dimensional HYSYS.

Tomando como base la simulación realizada para el balance de materia y energía en ASPEN HYSYS. Se realizó el cálculo utilizando la herramienta Equipement Desing, Vessel Sizing.

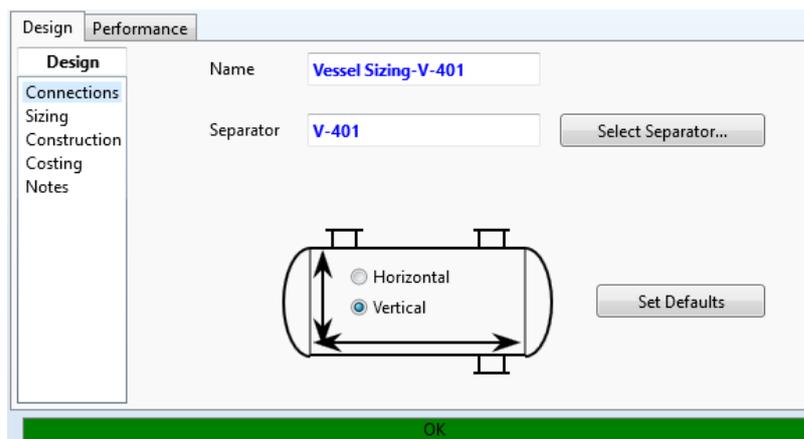


Ilustración 10.10. Selección del tipo de separador.

Los resultados del dimensionamiento fueron los siguientes:

Sizing Results	
Diameter [m]	1,219
Total Length [m]	4,266
L/D Ratio	3,000
Max. Allow. Vap. Velocity [m/s]	0,6000
Demister Thickness [mm]	-0,0000
Liq. Residence Time [seconds]	000:05:0,00
Liq. Surge Height [m]	0,1277
LLSD [m]	0,6096
Liq. Res. Time at LLSD [seconds]	000:55:12,54

Ilustración 10.11. Performance: resultados de dimensionamiento

La relación L/D, que es la relación entre la longitud de costura a costura (Lss) con el diámetro del separador. Permite determinar si el diseño del equipo es eficiente y económico, para ello este valor debe tomar valores entre 3 y 4. En este caso el valor es 3.

Design		Performance	
Design		Available Specifications	
Connections		Liq. Surge Height	
Sizing		LLSD	
Construction		Nozz. To Demister	
Costing		Tot. Length - Height	
Notes		Demister Thickness	
		Active Specifications	
		L/D Ratio	3,000
		Liq. Res. Time	000:05:0,00 sec
		Demister to Top	0,3048 m
		Max. Vap. Velocity	1,200 m/s
		Diameter	1,219 m

Ilustración 10.12. Diseño, dimensionamiento.

Design		Performance	
Design		Construction Information	
Connections		Chemical Eng. Index	252,5
Sizing		Material Type	Carbon Steel
Construction		Mass Density [kg/m3]	7861
Costing		FMC	1,000
Notes		Allowable Stress [kPa]	9,446e+004
		Shell Thickness [mm]	6,350
		Corrosion Allowance [mm]	3,175
		Efficiency of Joints	1,000
		OK	

Ilustración 10.13. Diseño, Construcción.

10.2.5 Cálculos constructivos

Con los datos anteriormente obtenidos se pueden calcular:

- Presión de Diseño: como la presión operativa es menor a 300psi la presión de diseño será:
 $P_d = P_o + 30 \text{ PSI} = 55 + 30 = 85 \text{ psi} = 587 \text{ kpa}$.
- Presión de prueba hidráulica: debe ser un 30% mayor a la presión de diseño y se calcula con la siguiente formula: $P_{ph} = 1,3 \times P_d = 110,5 \text{ kpa}$.

- Temperatura de diseño: se sobredimensiona el equipo a efectos de temperatura. Se tomará un margen de seguridad de 20°C para calcular la temperatura de diseño: $T_d = T_{op} + 20^\circ\text{C} = 77,8 + 20 = 97,8^\circ\text{C}$.
- Peso del Equipo vacío= $\rho_{material\ paredes} \times V_{paredes} = 902,05\text{ kg}$
- Peso equipo con agua: se supone que el volumen interno lleno de agua más el peso de las paredes: $\text{Peso equipo lleno de agua} = \text{Peso interior con agua} + \text{Peso equipo vacío}$
 $\text{Peso equipo lleno de agua} = V_{int} \times \rho_{agua} + \text{Peso equipo vacío} = 20.280\text{ kg}$.
- Espesor de los cabezales: se calcula con la siguiente formula proveniente del código ASME: $\tau = Pd \times r / (S \times E - 0.2 Pd)$. Siendo S: la tensión máxima admisible a la que se puede someter el material de un recipiente, es función de la temperatura y, E: la eficiencia de la soldadura, que es el grado de confiabilidad de estas. El valor más utilizado en la industria es de 0,85. Por lo cual, tenemos que $\tau = 272,3\text{ mm}$.

Número de especificación	Designación	Tensión de rotura, kilopondios/pulgada ²	Tensión admisible representativa no excediendo la temperatura del metal en °F	
			De -20 a 650 °F (de -6 a 343 °C)	800 °F (427 °C)
A. Chapa de acero al carbono				
SA 285A	Carbono, C	45,0	11,3	8,3
SA 285B	Carbono, C	50,0	12,5	9,0
SA 285C	Carbono, C	55,0	13,8	10,2
SA 442 Gr55	C-Mn-Si	55,0	13,8	10,2

Ilustración 10.14. Resistencia (S) tipos de acero al carbono.

- La boca de hombre se utiliza para realizar inspecciones y mantenimiento. El diseño mecánico del separador horizontal se realizará utilizando acero al carbono, debido a su bajo costo.
- De la siguiente tabla se tomarán las dimensiones (pulgadas) de orejas existentes y recomendadas, en función del peso del equipo.

CAPACIDAD MAX. Kgs.	A	B	C	D	F	DIAMETRO DE BARRENOS	G	H	CANT. PZAS. P/RECIPIENTE
2000	3/4	4-1/2	4-1/2	1-1/2	2-1/4	1-1/2	3/4	3/8	2
4500	3/4	7-3/4	7-3/4	1-1/2	2-1/4	1-1/2	3/4	3/8	2
5800	1	8-7/16	8-7/16	1-1/2	2-1/2	1-1/2	3/4	3/8	2
13500	1-1/2	8-3/4	8-3/4	1-1/2	3-1/2	1-1/2	3/4	1/2	2
24500	2	9-3/4	9-3/4	1-5/8	3-1/2	1-11/16	3/4	1/2	4

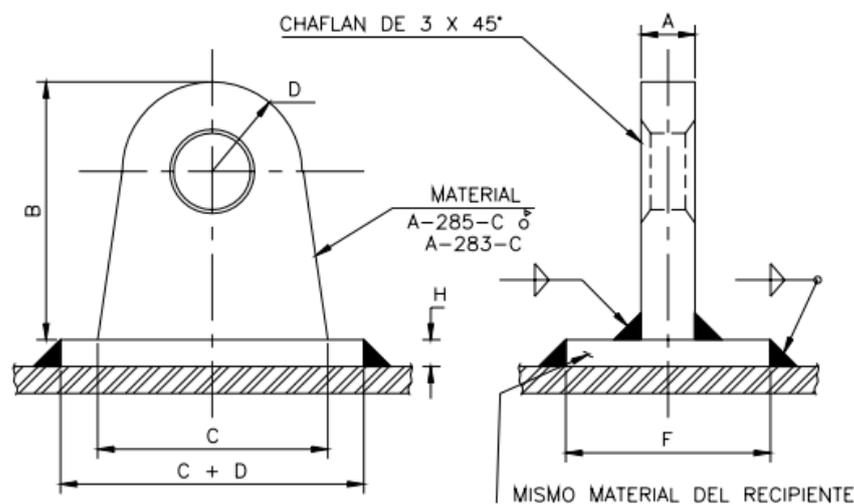


Ilustración 10. 15. Diseño de orejas de izaje.

Al final de este proyecto se adjunta el plano PL-IG-MC-02-Separador V-401, donde puede observarse los datos de diseño del equipo.

10.3 Bibliografía

- Institute, A. P. (1989). *API Specification 12J. Specification for Oil and Gas Separators*. Washington.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de transferencia de calor*. México: Compañía Editorial Continental.
- Moss, D. R. (1987). *Pressure Vessel Design Manual*. Houston: Gulf Publishing Company.
- Petrov, E. E. (2020). *Types of heat exchangers in industry, their advantages and disadvantages, and the study of their parameters*. Moscow: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Smith, R. (2016). *Chemical Process. Design and Integration*. West Sussex: Wiley.
- W.Y. Svrcek, E. M. (1993). Design Two- Phase Separators within the right limits. *Chemical Engineering Progress*, 53-60.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 2 Fecha: 17/02/2023		

Capítulo N°11

Estudio Financiero

11. ESTUDIO FINANCIERO

Es un análisis detallado de los aspectos económicos y financieros relacionados con la construcción y operación de una planta industrial, que evalúa la viabilidad de la misma y determina si es factible o no. El objetivo es determinar si los ingresos esperados del proceso industrial serán suficientes para cubrir los costos de construcción y operación, generando un rendimiento adecuado para los inversionistas.

En la preparación del proyecto, se distinguen dos subetapas: la primera consiste en recopilar información a través de estudios específicos, como el análisis de mercado, ingeniería, organización y financiero. La segunda subetapa tiene como objetivo sistematizar la información obtenida en términos monetarios, a través del estudio financiero del proyecto.

11.1. INVERSIONES DEL PROYECTO

Las inversiones del proyecto son los recursos financieros que se destinan para su realización, con la expectativa de que generaran beneficios en el futuro. Se reconocen dos tipos de inversiones:

- Inversiones previas a la puesta en marcha: obras y edificios, equipos, etc.
- Inversiones durante la operación: cuando se precise reemplazar activos desgastados o porque se requiera incrementar la capacidad de producción.

11.1.2. Inversiones previas a la puesta en marcha

Las inversiones de puesta en marcha representan los gastos e inversiones necesarios para preparar un proyecto antes de que comience a generar ingresos. Estas inversiones se dividen en dos categorías: activos fijos y capital de trabajo, correspondientes a las inversiones realizadas antes del inicio de operaciones del proyecto.

Las inversiones en activos fijos se refieren a la compra de bienes de capital duraderos que se utilizan para la producción de bienes o servicios y que tienen una vida útil superior a un año. Estos activos se mantienen en el balance de la empresa y se amortizan a lo largo de su vida útil. Ejemplos de estos son: los terrenos y recursos naturales, las obras físicas, el equipamiento de la planta y oficinas, y la infraestructura de servicios de apoyo (Melicher, 2004). Estas inversiones también pueden tener un impacto significativo en el flujo de caja de la empresa, ya

que generalmente requieren una inversión considerable en el corto plazo y generan ingresos en el largo plazo. Por lo tanto, es importante que la empresa realice un análisis cuidadoso de las necesidades de inversión en activos fijos y considerar cuidadosamente el retorno esperado de estas inversiones. Los activos fijos, a excepción de los terrenos, están sujetos a depreciación, lo cual afectará al resultado de la evaluación por su efecto sobre el cálculo de los impuestos. Los terrenos no sólo no se deprecian, sino que muchas veces incrementa su valor por la plusvalía generada por el desarrollo urbano en su alrededor como en sí mismos. Sin embargo, también puede darse el caso de la pérdida en el valor de mercado de un terreno.

En el proyecto, las inversiones de activos fijos se dividieron en:

- 1) Obras y Edificios: se determinan las obras y edificios necesarios para el proyecto, en relación a lo operativo y también la infraestructura edilicia para el personal de la planta. También, estimamos la superficie que ocuparía cada equipo y consultamos el precio de construcción por unidad de área.

OBRAS Y EDIFICIOS	ÁREA (m²)	COSTO (U\$S)
Laboratorio	70	84.000
Oficinas	60	72.000
Comedor	50	60.000
Enfermería	60	72.000
Pañol	60	72.000
Porteria	30	36.000
Sala de Control	50	60.000
Zona de Tanques	200	240.000
Estacionamiento	120	144.000
Cargadero	120	144.000
Zona de Procesos	980	1.176.000
Superficie sin edificar	5.000	6.000.000
TOTAL	6.800	8.160.000

Tabla 11. 1 Activos fijos: Obras y edificios

2) Equipos: se determina el valor de los mismos en el mercado, en la página de venta internacional Matches, que está en base al periodo 2014. Se utilizó el índice CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index), que regula el costo de una planta de ingeniería en USA, y calcula todos los años un valor, que indica el aumento anual incluyendo inflación, de este índice. Por ende, para el año 2023, se obtuvo un CEPCI = 1,4037. Así, el resultado del producto de este

índice con el valor conocido de un equipo en el año 2014, es el valor del mismo equipo en el año 2023. De esta manera se aproximaron los valores en dólares de los equipos utilizados.

En la siguiente tabla se encuentran los valores estimativos en dólares de cada uno de los equipos que conforman la planta.

EQUIPOS				
UNIDAD		COSTO (US\$) 2014	Indice CEPCI 2023	COSTO (US\$) 2023
TANQUES DE ALMACENAMIENTO	TK-100 A Metanol	50.000	808,7	70.187,47
	TK-101	70.000	808,7	98.262,45
	TK-102	85.000	808,7	119.318,69
	TK-103	85.000	808,7	119.318,69
BOMBAS	P-100 A/B	15.000	808,7	21.056,24
	P-101 A/B	7.500	808,7	10.528,12
	P-102 A/B	15.500	808,7	21.758,11
	P-104 A/B	15.500	808,7	21.758,11
	P-1000 A/B	18.000	808,7	25.267,49
	P-1001 A/B	18.000	808,7	25.267,49
	Bombas de Reflujo	216.000	808,7	303.209,86
	P-600 A/B	15.000	808,7	21.056,24
HORNOS	H-200	1.666.900	808,7	2.339.909,79
REACTORES	RX-300	100.200	808,7	140.655,68
	RX-301	100.000	808,7	140.374,93
	RX-700	50.200	808,7	70.468,22
SEPARADORES	V-400	97.000	808,7	136.163,69
	V-401	56.300	808,7	79.031,09
	V-402	56.300	808,7	79.031,09
	V-403	56.300	808,7	79.031,09
	V-600	30.800	808,7	43.235,48
	V-700	8.500	808,7	11.931,87
ACUMULADORES	V-500	27.000	808,7	37.901,23
	V-501	23.000	808,7	32.286,24
	V-502	22.000	808,7	30.882,49
	V-503	18.000	808,7	25.267,49
	V-504	18.000	808,7	25.267,49
	V-600	22.000	808,7	30.882,49
COMPRESORES	K-400	1.669.600	808,7	2.343.699,91
	K-401	544.800	808,7	764.762,65
	K-403	544.800	808,7	764.762,65

Tabla 11. 2 Activos fijos: Equipos.

EQUIPOS				
UNIDAD		COSTO (US\$) 2014	Indice CEPCI 2023	COSTO (US\$) 2023
CICLON	X-700	15.000	808,7	21.056,24
	X-701	15.000	808,7	21.056,24
	X-702	15.000	808,7	21.056,24
INTERCAMBIADORES	E-200	17.600	808,7	24.705,99
	E-300	17.600	808,7	24.705,99
	E-301	36.600	808,7	51.377,23
	E-400	6.400	808,7	8.984,00
	E-401	43.500	808,7	61.063,10
	E-402	24.600	808,7	34.532,23
	RIC	622.200	808,7	873.412,84
	MIX	MIX-200	20.000	808,7
MIX-400		20.000	808,7	28.074,99
MIX-401		17.000	808,7	23.863,74
MIX-600		12.000	808,7	16.844,99
MIX-601		12.000	808,7	16.844,99
MIX-700		12.000	808,7	16.844,99
MIX-701		12.000	808,7	16.844,99
TORRES	T-500	7.000.000	808,7	9.826.245,44
	T-501	5.000.000	808,7	7.018.746,75
	T-502	8.500.000	808,7	11.931.869,47
	T-503	6.200.000	808,7	8.703.245,96
	T-504	5.500.000	808,7	7.720.621,42
	T-600	7.000.000	808,7	9.826.245,44
CONDENSADORES	COND-500	50.000	808,7	70.187,47
	COND-501	600.000	808,7	842.249,61
	COND-502	40.000	808,7	56.149,97
	COND-503	890.000	808,7	1.249.336,92
	COND-504	500.000	808,7	701.874,67
	COND-600	400.000	808,7	561.499,74
REBOILER	REB-500	50.000	808,7	70.187,47
	REB-501	600.000	808,7	842.249,61
	REB-502	40.000	808,7	56.149,97
	REB-503	890.000	808,7	1.249.336,92
	REB-504	500.000	808,7	701.874,67
	REB-600	400.000	808,7	561.499,74
ANTORCHA	CH-900	400.000	808,7	561.499,74
	V-900	8.500	808,7	11.931,87
	TK-901	22.000	808,7	30.882,49
Torre de Enfriamiento	TE-1000	101.900	808,7	143.042,06
Tratamiento Efluentes	Equipos	800.000	808,7	1.122.999,48
TOTAL				73.181.805,19

Tabla 11. 3 Activos fijos: Equipos.

Para obtener la inversión total en activos fijos inicial, se suman ambos activos fijos:

ACTIVOS FIJOS	COSTO (U\$s)
OBRAS Y EDIFICIOS	8.160.000
EQUIPOS	73.181.805
TOTAL	81.341.805

Tabla 11. 4 Total de activos fijos.

11.2. AMORTIZACIONES

Es el proceso mediante el cual se distribuye el costo de un activo fijo a lo largo de su vida útil. Esta distribución del costo se realiza a través de un cargo anual a los estados financieros de la empresa, lo que se conoce como "amortización" o "depreciación". Es decir, es una partida de dinero que se debe reservar cada año para disponer de una cantidad suficiente y poder reponer un bien, en su estado original, con las mismas características, al final de su vida útil.

El método de cálculo utilizado es el lineal, el cual supone que la amortización anual es igual para todos los años del periodo: $A = Vo / n$. Siendo: Vo = Valor o costo de inversión del bien nuevo, n = Vida útil o plazo de amortización en años.

En base en las inversiones iniciales, se calcula los montos anuales de depreciación y amortización de tales, considerando que la maquinaria, equipo y obras civiles e deprecian a 10 años.

Año	1	2	3	4	5
Obras y Edificios	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000
Equipos	7.318.181	7.318.181	7.318.181	7.318.181	7.318.181
TOTAL	8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181

Tabla 11. 5 Amortizaciones

Año	6	7	8	9	10
Obras y Edificios	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000
Equipos	7.318.181	7.318.181	7.318.181	7.318.181	7.318.181
TOTAL	8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181

Tabla 11. 6 Amortizaciones

11.3. INGRESOS

Para la determinar los ingresos por venta se considera tanto el precio y la cantidad vendida de Polipropileno, que es nuestro producto principal, como así también el etileno, etano y DME. Todos estos ingresos abastecen el flujo económico de la planta.

Las ventas anuales estimadas se realizaron teniendo en cuenta la demanda de Polipropileno, por lo que las ventas del primer año equivalen a 180.107 tn/año.

INGRESOS			
Año		0	1
Polipropileno	Producción (tn/a)	-----	180.107
	Precio (U\$/tn)	-----	1.489
	Total (U\$/a)	-----	268.178.882
Etileno	Producción (tn/a)	-----	108.446
	Precio (U\$/tn)	-----	600
	Total (U\$/a)	-----	65.067.840
Etano	Producción (m ³ /a)	-----	15.849
	Precio (U\$/m ³)	-----	0,34
	Total (U\$/a)	-----	5.389
DME	Producción (m ³ /a)	-----	28780
	Precio (U\$/m ³)	-----	0,47
	Total (U\$/a)	-----	13527
TOTAL(U\$/a)			333.265.638

Tabla 11. 7 Ingresos

11.4. EGRESOS

Son los costos o salidas de dinero que incluyen los gastos y las inversiones. Otros egresos son los impuestos y los gastos financieros. El cálculo de los impuestos, requiere de la cuantificación de la depreciación, la cual, sin ser un egreso efectivo de fondos, condiciona el monto de los tributos por pagar. Los costos pueden ser fijos (aquellos que no varían al variar el nivel de producción o ventas; los costos por recursos humanos y los costos de mantenimiento) o, variables (que varían al variar el nivel de producción o ventas; costos como estos son el de la materia prima, gas, agua y energía). Estos costos están definidos en relación al volumen de producción o ventas de la empresa.

11.4.1. Costos Fijos

11.4.1.1. Costos de recursos humanos

La planta de producción de PP trabajará en continuo 340 días al año, lo que supone un total de 8160 hr. Teniendo en cuenta los recursos humanos, se puede clasificar el personal como directo (intervienen personalmente en el proceso de producción) e indirecto (personal que no es obrero).

La distribución de los puestos de trabajo se basa en la cantidad de turnos y sectores a cubrir. Tendremos dos turnos diferentes (mañana y noche) de 12 horas cada uno (de 08 hs a 20 hs y de 20 hs a 08 hs) para el personal directo dejando parte del personal requerido para cubrir francos y/o vacaciones. Para el personal indirecto, se establece un turno continuo de 8 horas diarias más una hora de almuerzo (de 08 hs a 17 hs) de acuerdo con lo establecido por convenio. La planta dispondrá de 65 puestos de trabajo fijos en la planta en el turno diario, llegando a superar dicha cifra contando aquellos puestos que serán ocupados por subcontratistas ajenos a la empresa en cuestión como ser transportistas, personal contra incendios, personal contratado para el periodo de parada y puesta en marcha entre otros.

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.

RECURSOS HUMANOS							
PERSONAL		RECURSO (Cantidad de Personas)	SALARIO (U\$/año)		Prestaciones Sociales (U\$/año)		Total (U\$/año)
			Por persona	TOTAL	Por persona	TOTAL	
Directa	Jefe de Área	5	42.150	210.750	39.488	197.438	408.188
	Gerente General	1	50.400	50.400	23.693	23.693	74.093
	Supervisores	6	28.560	171.360	53.703	322.218	493.578
	Operarios de Sala de Control	7	23.520	164.640	44.226	309.582	474.222
	Operarios de Proceso y Producción	8	37.800	302.400	71.078	568.620	871.020
	Operarios de Mantenimiento	7	28.710	200.970	52.124	364.865	565.835
	Operarios de Seguridad e higiene	5	24.360	121.800	33.170	165.848	287.648
	Técnicos de Laboratorio	4	24.360	97.440	44.226	176.904	274.344
Total U\$S				1.319.760		2.129.166	3.448.926

Tabla 11. 8 Costos de Recursos Humanos.

RECURSOS HUMANOS							
PERSONAL		RECURSO (Cantidad de Personas)	SALARIO (U\$/año)		Prestaciones Sociales (U\$/año)		Total (U\$/año)
			Por persona	TOTAL	Por persona	TOTAL	
Indirecta	Personal de Compras y contratos	3	20.160	60.480	9.477	28.431	88.911
	Personal de RRHH	2	25.200	50.400	11.846	23.693	74.093
	Personal de Limpieza(contratado)	3	21.750	65.250	9.873	29.618	94.868
	Almacen junto con compras	2	20.880	41.760	9.477	18.954	60.714
	Comedor(contratado)	3	21.750	65.250	9.873	29.618	94.868
	Administrativo ver	5	19.895	99.474	9.319	46.595	146.069
	Contador	1	33.720	33.720	15.795	15.795	49.515
	Medicos	1	37.092	37.092	17.375	17.375	54.467
	Enfermeros	2	32.190	64.380	14.611	29.222	93.602
Total U\$S		65		517.806		239.300	757.106
Total U\$S							4.206.032

Tabla 11. 9 Costos de Recursos Humanos.

11.4.1.2. Costos de Mantenimiento

Es esencial realizar un mantenimiento regular y adecuado para garantizar el funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil de los equipos utilizados en el proceso. Algunos de los tipos de mantenimiento que se pueden llevar a cabo en 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.

Existen distintas formas de calcular los costos de mantenimiento y en este proyecto se ha determinado invertir el 10 % del valor de los activos fijos como referencia. Este porcentaje se divide en tres partes, siendo el 70% destinado al mantenimiento predictivo y preventivo, repartido en partes iguales, mientras que el 30% restante se utiliza para el mantenimiento

correctivo. A continuación, se describirá detalladamente el costo correspondiente a cada tipo de mantenimiento.

TIPO DE MANTENIMIENTO	COSTO (U\$S/año)
Predictivo	2.846.963
Preventivo	2.846.963
Correctivo	2.440.254
Total (U\$S/año)	8.134.181

Tabla 11. 10 Costos de mantenimiento.

11.4.2. Costos Variables

11.4.2.1 Costos de materias primas, energía, agua y gas natural

Después de analizar los datos de consumo obtenidos en el estudio de mercado y en la simulación, y considerando los precios de venta de cada producto, se realizó una estimación del costo de las materias primas. Para llegar a este costo, se tomó un promedio de los precios de las materias primas en el mercado durante los últimos 10 a 20 años, utilizando información obtenida de catálogos. (Petróleo, 2020)

Para determinar el costo en energía, se sumaron los valores correspondientes al servicio utilizado en equipos, alumbrado y oficinas. El consumo de energía de alumbrado y oficinas se calculó como un porcentaje del consumo total de los equipos (3% y 2% respectivamente). Además, se consideró el precio actualizado que el parque industrial de Plaza Huincul paga a la empresa EPEN por KW para calcular este costo.

El costo del agua se determinó a partir del total de agua utilizada en el proceso. Para estimar este valor, se sumaron los caudales de la simulación, y se consideraron las reservas de agua necesarias para el proceso y para fines de prevención de incendios en la planta. Para calcular el costo, se utilizó el precio actualizado por tonelada de agua potable proporcionado por el ente provincial de agua y saneamiento EPAS.

A través del balance de energía se evaluó la cantidad de gas natural utilizado, específicamente en el horno y en la calefacción del edificio. El precio por metro cúbico (m³) de gas natural fue proporcionado por la empresa Transportadora del Gas del Sur (TGS), que es la encargada de regular y cobrar este servicio.

SERVICIOS AUXILIARES	USOS	CONSUMO	PRECIO (U\$S)	TOTAL (U\$S)
AGUA	CONSUMO/RIEGO	724.598	0,18	130.428
	RED CONTRA INCENDIOS	267	0,18	48
	AGUA DE ENFRIAMIENTO	114.754.080	0,18	20.655.734
	Total			20.786.210
ENERGÍA ELÉCTRICA	OFICINAS	518.405	0,08	41.472
	EQUIPOS	25.920.240	0,08	2.073.619
	ALUMBRADO	777.607	0,08	62.209
	MATERIALES	35.000	0,08	2.800
	Total			2.180.100
GAS NATURAL	SKID DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN			20.000
	ANTORCHA	43.000	0,07	3.010
	CALEFACCIÓN	100.000	0,07	7.000
	Total			30.010
TOTAL (U\$S)				22.996.320

Tabla 11. 11 Costos de materias primas, energía, agua y gas natural.

11.4.3. Resumen de egresos

COSTOS DE EGRESO			
FIJOS		VARIABLES	
Concepto	U\$S/año	Concepto	U\$S/año
Recursos Humanos	4.206.032	Materia Prima	202.447.987
Catalizadores	2.000.000	Agua	20.786.210
Mantenimiento	8.134.181	Energía	2.180.100
Biocidas	3.000.000	Gas Natural	30.010
Total (U\$S/año)	17.340.212	Total (U\$S/año)	225.444.308
Total Final de EGRESOS (U\$S/año)			242.784.520

Tabla 11. 12 Total de egresos.

11.5 INDICADORES ECONÓMICOS

Para evaluar aspectos cuantitativos de un proyecto, es necesario llevar a cabo un análisis financiero mediante diferentes procedimientos, conocidos como criterios de evaluación de proyectos de inversión. En este sentido, se consideran dos indicadores que tienen en cuenta el factor tiempo y que se utilizan para analizar la viabilidad del proyecto: el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Estos indicadores son fundamentales ya que la evaluación económico-financiera del proyecto se determina a partir de sus valores. En función de estos valores, se evalúa el proyecto y se decide si es aceptado, postergado o rechazado. En resumen, el análisis financiero es clave para la toma de decisiones respecto a la viabilidad de un proyecto.

11.5.1 Valor Actual Neto (VAN).

Es un indicador financiero que mide la rentabilidad de un proyecto, comparando los flujos de caja generados con la inversión inicial a una tasa de interés determinada.

- Si el VAN es mayor que cero, significa que el proyecto es rentable y genera beneficios superiores a la tasa de interés exigida por el inversionista, por lo que se considera viable.
- Si el VAN es igual a cero, el proyecto es indiferente en términos financieros, es decir, genera beneficios iguales a la tasa de interés exigida, por lo que su ejecución es opcional.
- Si el VAN es menor que cero, no significa que el proyecto estudiado arroje pérdidas, únicamente la rentabilidad es inferior a la exigida por el inversionista y para él, particularmente, no es conveniente el proyecto.

El VAN se calcula como la diferencia entre el valor presente o actual de los flujos futuros que esperamos recibir al realizar una inversión y el valor de la inversión inicial. Para traer esos flujos de efectivo futuros (FE) a valor actual (VA) usamos una tasa de descuento (Td o K) que viene a ser el rendimiento que esperamos recibir por colocar nuestros recursos en esta inversión.

11.5.2 Tasa Interna de retorno TIR.

Es una medida que indica la rentabilidad de un proyecto y se calcula como la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Es decir, representa la tasa de interés a la que se igualan los flujos de caja positivos y negativos generados por el proyecto. La TIR es una herramienta útil para determinar si un proyecto es rentable o no, y se utiliza para comparar la rentabilidad de diferentes proyectos. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento, el proyecto se considera rentable y se recomienda su aprobación.

11.5.3 Plazo de recuperación (PAYBACK)

Es un método estático que proporciona información sobre el tiempo que tarda una inversión en recuperar su inversión inicial. Sin embargo, este método no tiene en cuenta el valor temporal del dinero ni los flujos de efectivo que se generan a lo largo de la vida del proyecto, lo que limita su utilidad para una evaluación completa de la rentabilidad de la inversión, pero que resulta útil para descartar proyectos poco rentables.

$$\text{Payback} = a + \frac{\text{Inversión} - b}{F_t}$$

Ft

Donde "a" es el número de periodo anterior a la recuperación de la inversión, "b" es la suma de flujos de caja hasta el periodo a y "Ft" el valor del flujo de caja del periodo en que se recupera la inversión. Para nuestro proyecto el valor obtenido es de 3,47, lo que indica que la inversión se recuperará después de tres años.

11.6. FLUJO DE CAJA.

El análisis de rentabilidad de un proyecto implica la elaboración de un flujo de caja que incluya todos los ingresos y egresos que se generarán durante el tiempo que se evalúa el proyecto. El flujo de caja consta de cuatro elementos principales: los egresos iniciales de fondos, los ingresos y egresos de operación, y el momento en que estos ingresos y egresos ocurren.

Para proyectar el flujo de caja, se utiliza un horizonte de tiempo de diez años, y se aplica una tasa de descuento del 10% para ajustar los flujos futuros al valor presente. Como se podrá observar en la siguiente tabla, se obtienen los valores de TIR=57% y VAN=266.462.123, y según los criterios mencionados anteriormente se puede concluir que el proyecto será un proyecto Rentable.

FLUJO DE CAJA							
PERIODO		0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	Activo Fijo (U\$S)	81.341.805					
	Capital de Trabajo (U\$S)	21.422.164					
	Total (U\$S)	102.763.969					
INGRESOS	Por Ventas (U\$S)		333.265.398	333.265.398	333.265.398	333.265.398	333.265.398
	Total (U\$S)		333.265.398	333.265.398	333.265.398	333.265.398	333.265.398
EGRESOS	Costo Fijo (U\$S)		17.340.212	17.340.212	17.340.212	17.340.212	17.340.212
	Costo Variable (U\$S)		225.444.308	225.444.308	225.444.308	225.444.308	225.444.308
	Total (U\$S)		242.784.520	242.784.520	242.784.520	242.784.520	242.784.520
AMORTIZACIONES (U\$S)			8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181
Utilidad antes de Impuestos-EBT			82.346.697	82.346.697	82.346.697	82.346.697	82.346.697
IMPUESTOS	Ganancia (35%)		28.821.344	28.821.344	28.821.344	28.821.344	28.821.344
	Ingresos Brutos (1,5%)		1.235.200	1.235.200	1.235.200	1.235.200	1.235.200
	De Sellos (2%)	2.055.279					
	Total (U\$S)	2.055.279	30.056.545	30.056.545	30.056.545	30.056.545	30.056.545
UTILIDAD NETA			52.290.153	52.290.153	52.290.153	52.290.153	52.290.153
AMORTIZACIONES (U\$S)			8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181
FLUJO NETO DE FONDOS		-104.819.248	60.424.333	60.424.333	60.424.333	60.424.333	60.424.333
FLUJO NETO DE FONDOS ACUMULADOS		-104.819.248	-44.394.915	16.029.419	76.453.752	136.878.086	197.302.419
TASA DE DESCUENTO/IN	10%						
TIR	57%						
VAN	266.462.123						
PAYBACK	3,47						

Tabla 11. 13. Flujo de caja.

FLUJO DE CAJA						
PERIODO		6	7	8	9	10
INVERSIÓN	Activo Fijo (U\$S)					
	Capital de Trabajo (U\$S)					
	Total (U\$S)					
INGRESOS	Por Ventas (U\$S)	333.265.398	333.265.398	333.265.398	333.265.398	333.265.398
	Total (U\$S)	333.265.398	333.265.398	333.265.398	333.265.398	333.265.398
EGRESOS	Costo Fijo (U\$S)	17.340.212	17.340.212	17.340.212	17.340.212	17.340.212
	Costo Variable (U\$S)	225.444.308	225.444.308	225.444.308	225.444.308	225.444.308
	Total (U\$S)	242.784.520	242.784.520	242.784.520	242.784.520	242.784.520
AMORTIZACIONES (U\$S)		8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181
Utilidad antes de Impuestos-EBT		82.346.697	82.346.697	82.346.697	82.346.697	82.346.697
IMPUESTOS	Ganancia (35%)	28.821.344	28.821.344	28.821.344	28.821.344	28.821.344
	Ingresos Brutos (1,5%)	1.235.200	1.235.200	1.235.200	1.235.200	1.235.200
	De Sellos (2%)					
	Total (U\$S)	30.056.545	30.056.545	30.056.545	30.056.545	30.056.545
UTILIDAD NETA		52.290.153	52.290.153	52.290.153	52.290.153	52.290.153
AMORTIZACIONES (U\$S)		8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181	8.134.181
FLUJO NETO DE FONDOS		60.424.333	60.424.333	60.424.333	60.424.333	60.424.333
FLUJO NETO DE FONDOS ACUMULADOS		257.726.752	318.151.086	378.575.419	438.999.753	499.424.086
TASA DE DESCUENTO/IN	10%					
TIR	57%					
VAN	266.462.123					
PAYBACK	3,47					

Tabla 11. 14 Flujo de caja.

11.7. PUNTO DE EQUILIBRIO (PE)

El punto de equilibrio se refiere al nivel de ventas en el cual los ingresos totales de una empresa son iguales a sus costos totales, lo que significa que la empresa no está generando ni pérdidas ni ganancias en ese nivel de producción y ventas. Es un indicador importante de la viabilidad financiera de un proyecto, ya que indica el nivel mínimo de ventas que necesita una empresa para cubrir sus costos y mantenerse operativa.

El PE muestra las relaciones básicas entre costos e ingresos para diferentes niveles de producción y ventas, asumiendo valores constantes de ingresos y costos dentro de rangos razonables de operación. Calcular el punto de equilibrio es fundamental para las empresas evaluar su rentabilidad, ya que de esta forma es posible saber cuánto necesitan vender para generar lucro. Existen dos formas de calcularlo:

- Punto de equilibrio en unidades:

$$PE = \text{Costos Fijos} / (\text{Costo por unidad} - \text{Costo variable unitario})$$

- Punto de equilibrio en valor:

$$PE = \text{Costos Fijos} / (1 - (\text{Costo variable unitario} / \text{Costo por unidad}))$$

Los valores obtenidos para el proyecto son:

CONCEPTO	UNIDAD	VALOR
INGRESOS	I (U\$S)	333.265.398
COSTO FIJO	CF (U\$S)	17.340.212
COSTO VARIABLE	CV (U\$S)	225.444.308
COSTO VARIABLE UNITARIO	CV unit (U\$S)	1.252
COSTO TOTAL	CT (U\$S)	242.784.520
PRODUCCIÓN	Q (tn)	180.107
COSTO POR UNIDAD	P (U\$S)	1.489
PUNTO DE EQUILIBRIO	PE (tn)	73.081
	PE (U\$S)	108.817.714

Tabla 11. 15 Punto de equilibrio.

Con esos datos y parámetros definidos se construye una tabla para poder ver los resultados gráficamente:

CF		CV		CT		I	
Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
17.340.212	0	0	0	17.340.212	0		0
17.340.212	15.000	18.775.895	15.000	36.116.107	15.000	22.335.000	15.000
17.340.212	30.000	37.551.791	30.000	54.892.003	30.000	44.670.000	30.000
17.340.212	45.000	56.327.686	45.000	73.667.898	45.000	67.005.000	45.000
17.340.212	60.000	75.103.581	60.000	92.443.793	60.000	89.340.000	60.000
17.340.212	75.000	93.879.476	75.000	111.219.689	75.000	111.675.000	75.000
17.340.212	90.000	112.655.372	90.000	129.995.584	90.000	134.010.000	90.000
17.340.212	105.000	131.431.267	105.000	148.771.479	105.000	156.345.000	105.000
17.340.212	120.000	150.207.162	120.000	167.547.374	120.000	178.680.000	120.000
17.340.212	135.000	168.983.058	135.000	186.323.270	135.000	201.015.000	135.000
17.340.212	150.000	187.758.953	150.000	205.099.165	150.000	223.350.000	150.000
17.340.212	160.000	200.276.216	160.000	217.616.428	160.000	238.240.000	160.000
17.340.212	170.000	212.793.480	170.000	230.133.692	170.000	253.130.000	170.000
17.340.212	180.000	225.310.743	180.000	242.650.956	180.000	268.020.000	180.000
17.340.212	190.000	237.828.007	190.000	255.168.219	190.000	282.910.000	190.000
17.340.212	200.000	250.345.270	200.000	267.685.483	200.000	297.800.000	200.000

Tabla 11. 16 Obtención del punto de equilibrio.

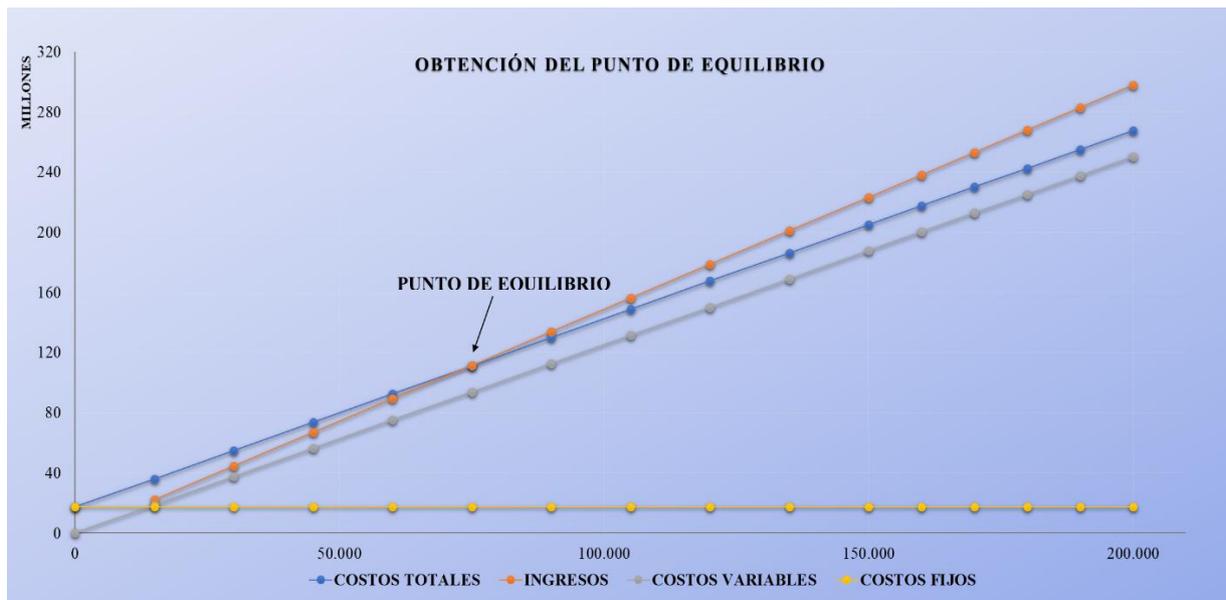


Ilustración 11. 1. Punto de equilibrio.

En resumen, se puede afirmar que la cantidad estimada de producción de bienes de 180.107 toneladas por año supera la cantidad de equilibrio de 73.000 toneladas por año, lo que indica que los costos de producción estarían cubiertos y se obtendrían beneficios. Si la cantidad de producción de bienes fuera menor a la cantidad de equilibrio, se incurriría en pérdidas al no poder cubrir los costos de operación.

11.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad es importante porque las variables utilizadas en la evaluación del proyecto pueden desviarse y afectar significativamente los resultados. Al realizar un análisis de sensibilidad, se puede observar cómo afectan las variaciones en las variables relevantes a la rentabilidad del proyecto. Identificar las variables que tienen un mayor impacto en los resultados en diferentes grados de error en su estimación puede ayudar a decidir si se necesitan estudios más detallados sobre esas variables para mejorar las estimaciones y reducir el riesgo de error.

El análisis de sensibilidad puede ser unidimensional o multidimensional, según el número de variables que se sensibilicen simultáneamente. En el análisis unidimensional, se aplica la sensibilización a una sola variable, mientras que en el análisis multidimensional se examina cómo se ven afectados los resultados al incorporar simultáneamente dos o más variables relevantes. Aunque la sensibilización se aplica a las variables económico-financieras del flujo de caja del proyecto, también puede abarcar variables técnicas o de mercado que

influyen en la proyección de los estados financieros. En otras palabras, la sensibilización de factores como la ubicación, el tamaño o la tecnología se reduce al análisis de su impacto económico en el flujo de caja.

Se propone analizar como varía cada indicador (TIR y VAN) al modificar los parámetros que la definen o que pueden modificar su variación. Para tal fin se utiliza tablas realizadas en Excel donde se obtuvo el flujo de caja. Así, se confeccionan las tablas de variaciones y posteriormente su correspondiente gráfica.

11.8.1 Análisis de sensibilidad de TIR Y VAN según la variación de flujos netos de fondo

DATOS CAMBIANTES	VALOR ACTUAL	VALOR 1	VALOR 2	VALOR 3	VALOR 4
FLUJO NETO DE FONDOS	60.424.333	55.000.000	50.000.000	45.000.000	40.000.000
RESULTADOS					
VAN	266.462.123	233.131.943	202.409.107	171.686.272	140.963.436
TIR	57	52	47	42	36

Tabla 11. 17 Sensibilidad según la variación de flujos netos de fondos.

DATOS CAMBIANTES	VALOR 5	VALOR 6	VALOR 7	VALOR 8
FLUJO NETO DE FONDOS	35.000.000	30.000.000	25.000.000	20.000.000
RESULTADOS				
VAN	110.240.601	79.517.765	48.794.930	18.072.094
TIR	31	26	20	14

Tabla 11. 18 Sensibilidad según la variación de flujos netos de fondos.

DATOS CAMBIANTES	VALOR 9	VALOR 10	VALOR 11	VALOR 12
FLUJO NETO DE FONDOS	17.058.850	15.000.000	10.625.000	10.000.000
RESULTADOS				
VAN	0	-12.650.741	-39.533.223	-43.373.577
TIR	10	7	0	-1

Tabla 11. 19 Sensibilidad según la variación de flujos netos de fondos.

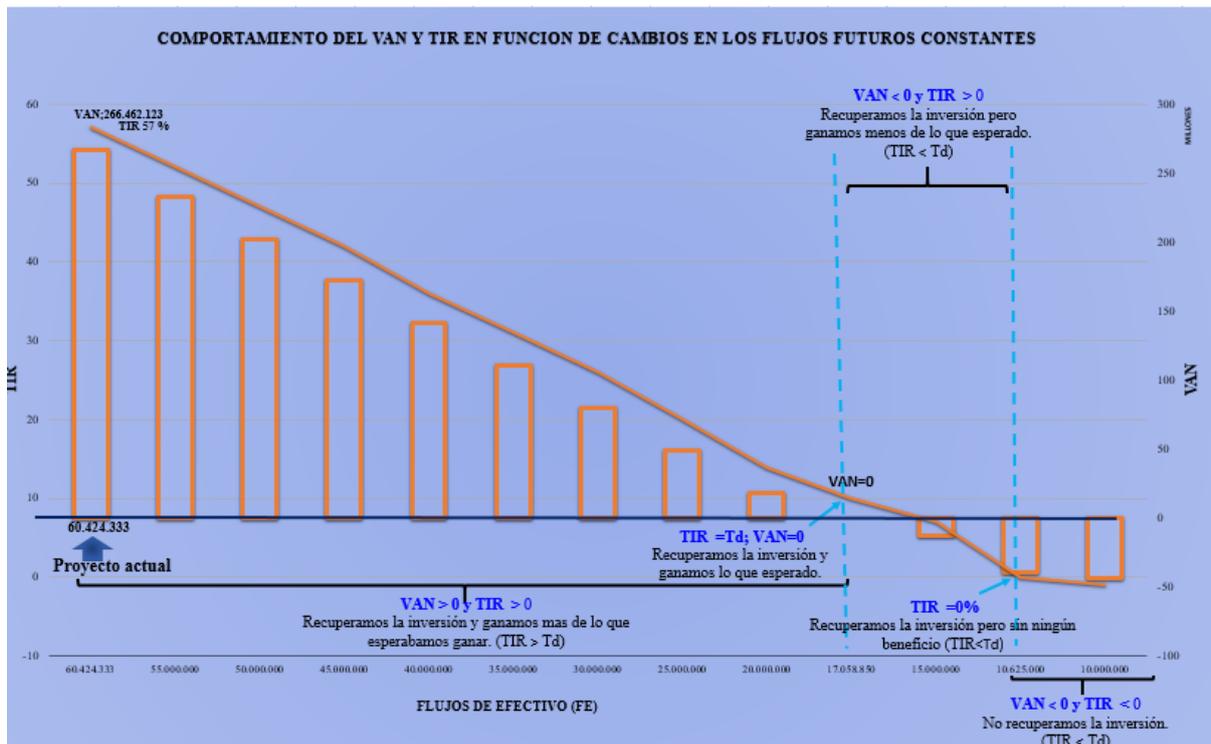


Ilustración 11. 2. Análisis de sensibilidad a TIR y VAN en función de la variación de flujos netos de fondos.

11.8.2 Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación del precio del producto

% de Variación de precio de producto	U\$\$/tn de polipropileno	TIR	VAN
-15	1.265,65	31%	109.505.064
-10	1.340,10	40%	161.824.084
-5	1.414,55	49%	214.143.104
0	1.489,00	57%	266.462.123
5	1.563,45	65%	318.781.143
10	1.637,90	74%	371.100.163
15	1.712,35	82%	423.419.182

Tabla 11. 20 Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación del precio del producto.

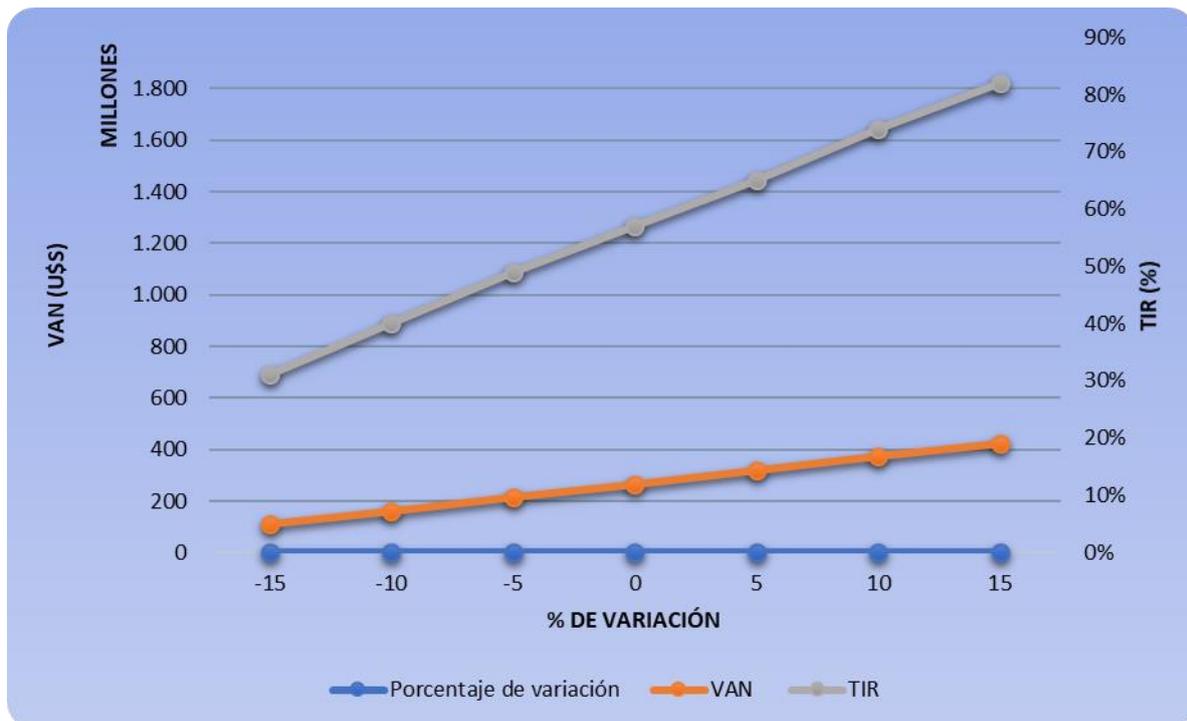


Ilustración 11. 3. Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación del precio del producto.

11.8.3 Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación del precio de la materia prima

% de Variación de precio de materia prima	COSTO DE MEOH	TIR	VAN
-15	289	78%	387.681.897
-10	306	71%	347.275.306
-5	323	64%	306.868.714
0	340	57%	266.462.123
5	357	50%	226.055.532
10	374	43%	185.648.941
15	391	37%	145.242.350

Tabla 11. 21 Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación del precio de la materia prima.

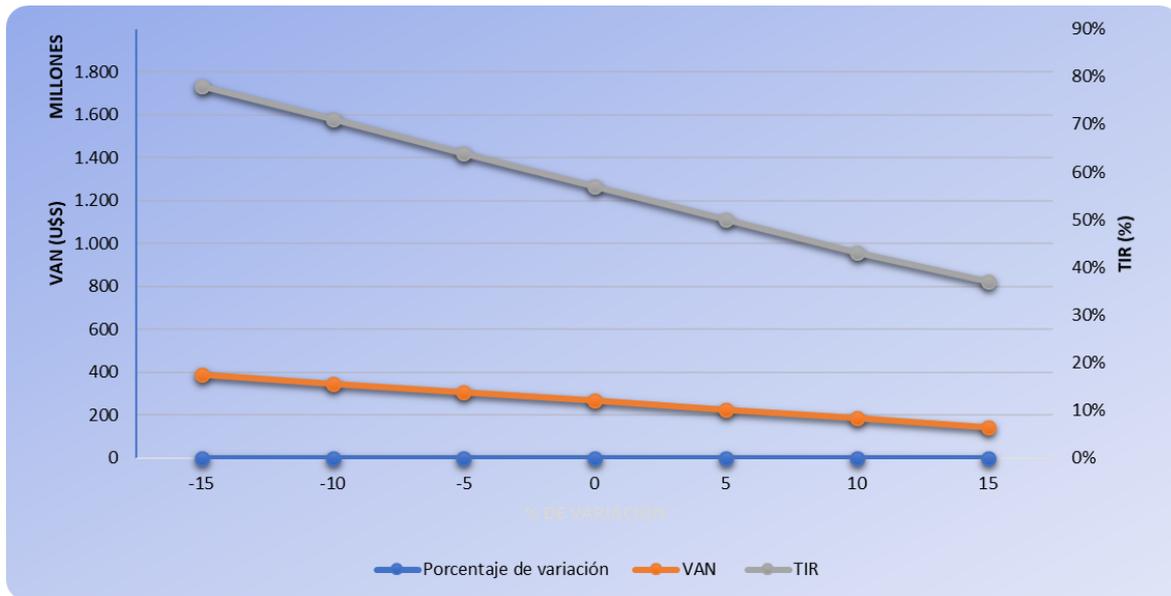


Ilustración 11. 4. Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación del precio de la materia prima.

11.8.4 Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación de la producción.

% de Variación de producción	Producción	TIR	VAN
-15	153.091	31%	109.506.817
-10	162.096	40%	161.823.889
-5	171.101	49%	214.140.961
0	180.107	57%	266.463.843
5	189.112	65%	318.780.915
10	198.117	74%	371.097.987
15	207.123	82%	423.827.554

Tabla 11. 22 Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación de la producción.

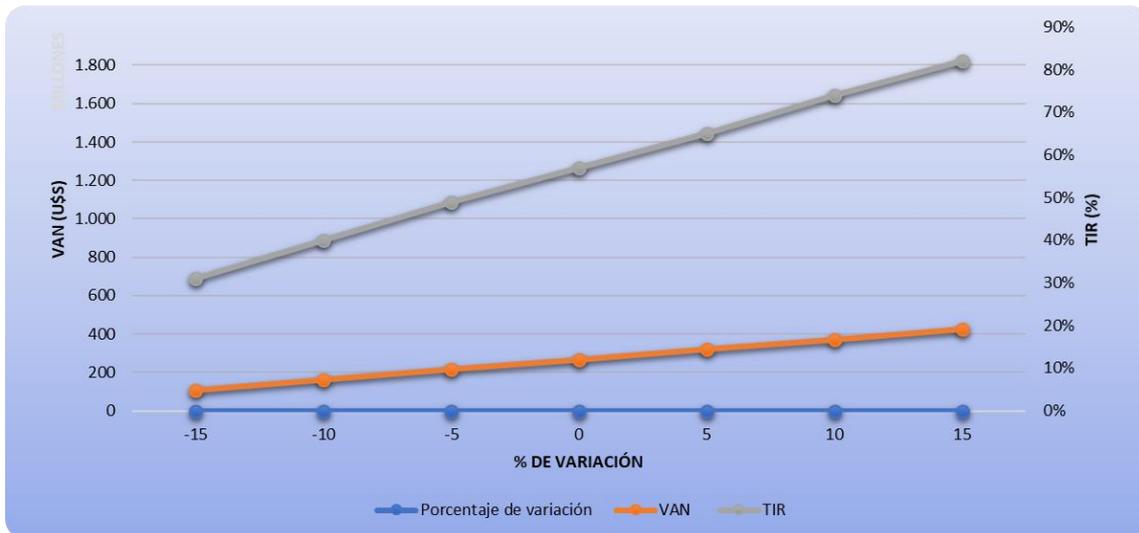


Ilustración 11. 5. Análisis de sensibilidad a TIR y VAN según la variación de la producción.

11.8.5 Conclusiones sobre los casos de Sensibilidad.

Después de analizar los diferentes escenarios de sensibilidad, se puede concluir lo siguiente:

- El precio del producto principal puede disminuir o aumentar en un +/- 15% y no afectará la rentabilidad del proyecto.
- Las variaciones en el precio de las materias primas no tienen un impacto significativo en la rentabilidad del proyecto en un +/- 15%.
- La producción podrá aumentar o disminuir en un +/- 15% y no afectará la rentabilidad del proyecto.
- Los flujos de efectivos pueden variar hasta U\$S17.058.850, recuperando la inversión y ganando lo esperado.

11.9. CONCLUSION

En conclusión, el estudio económico financiero indica que la producción de Polipropileno es un proyecto viable por las siguientes razones:

- Después del tercer año de producción, se recupera la inversión y se obtienen ganancias.
- Las variaciones en la materia prima, producción y precio del producto, no tendrán un impacto significativo en la rentabilidad del proyecto.

11.9. BIBLIOGRAFÍA

Chase, J. (2005). *Administracion de la Produccion y Operaciones*. McGraw Hill.

Melicher, N. y. (2004). *Análisis de inversiones: Métodos y modelos*. Nueva Jersey: Pearson.

Petróleo, I. A. (2022). Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de Argentina. *YPF Química*.

Públicas, M. d. (2016). Informes de Cadenas de Valor. *Petroquímica- Plástica*.

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 2 Fecha: 17/02/2023		

Anexo A

Informes

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO	
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020			
Fecha de inicio: 13/03/2020	Profesor: Ing. Horacio Spesot	JTP: Ing. Ezequiel Krumrick	Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 2 Fecha: 17/02/2023		

Anexo B

Planos

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN		PROYECTO INTEGRACIÓN V ING. QUÍMICA		Silvia Salas silvisalas8@hotmail.com Gisela Sanchez gigimaglimr@gmail.com		 POLIPROPILENO			
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE POLIPROPILENO				Año de cursada: 2020					
Fecha de inicio: 13/03/2020		Profesor: Ing. Horacio Spesot		JTP: Ing. Ezequiel Krumrick		Ayudantes: Ing. C. Silva y Ing. J. Garrido		Versión: 2 Fecha: 17/02/2023	