

# PRODUCCIÓN DE MONOETILENGLICOL

## Integración V - Proyecto Final

---

### Carrera: Ingeniería Química

#### ALUMNOS:

- ✓ Bormapé, Catalina
- ✓ Bravo Ortiz, Orieth Carolina
- ✓ Iriarte, Manuel

#### DOCENTES:

- ✓ Titular de Cátedra: Ing. Vrcic, Juan Domingo.
- ✓ Ayudantes: Ing. Rueda, Hernán.

Año 2022

## Contenido

1- INTRODUCCIÓN.....	5
2- OBJETIVO .....	6
3- ALCANCE .....	6
4- HIPÓTESIS.....	6
5- ESTUDIO DE MERCADO .....	8
5.1- Producto.....	8
5.1.1- Producto principal: Monoetilenglicol.....	8
5.1.2- Producto intermedio: Óxido de Etileno .....	14
5.2- Mercado .....	19
5.3- Consumo histórico y clientes .....	20
5.4- Proyecciones de demanda.....	22
5.5- Productos sustitutos.....	22
5.6- Capacidad de la planta .....	23
5.7- Materias primas .....	24
5.7.1- Etileno .....	24
5.7.2- Oxígeno .....	28
5.7.3- Metano .....	33
5.7.4- Nitrógeno .....	38
5.7.5- Furfural.....	42
5.7.6- Carbonato de Potasio .....	46
5.7.7- Dióxido de carbono .....	49
5.8- Proveedores .....	51
6- LOCALIZACIÓN.....	53
6.1- Introducción.....	53
6.2- Macro Localización.....	53
6.3- Factores primarios y específicos.....	54
6.4- Micro localización .....	58
6.4- Estudios de clima .....	59
6.6- Estudio de requisitos legales .....	63
6.7- Estudio de suelos .....	69
6.7- Logística.....	78
7- SELECCIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO – SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA .....	79
7.1- Descripción de los distintos procesos posibles .....	79
7.2- Análisis de las ventajas y desventajas de cada uno.....	82

7.3- Patentes .....	82
7.4- Selección del óptimo .....	88
7.5- Descripción detallada del proceso elegido .....	90
8- DISEÑO .....	94
8.1- Límites de batería .....	94
8.2- Diseño del reactor de oxidación de Etileno R-101 .....	96
8.3- Selección de bomba de proceso P-105 .....	122
8.4- Diseño del tanque de producto TK-103 .....	133
8.5- Diseño del equipo de intercambio E-114 .....	140
8.6- Selección del compresor C-102 .....	150
8.7- Diseño de la columna de destilación atmosférica T-104 .....	160
8.8- Diseño del acumulador de reflujo F-104 .....	176
9- CONTROL AUTOMÁTICO .....	181
9.1- Introducción .....	181
9.2- Control de Reactor R-101 .....	183
9.3- Control de Columna T-104 .....	186
10- LAY OUT .....	190
10.1- Definición de áreas .....	190
10.2- Plot- Plan .....	193
11- ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PERSONAL .....	194
11.1- Organigrama .....	194
11.2- Descripción de los puestos .....	196
11.3- Comunicación con colectivos sociales y comité de crisis .....	203
11.4- Servicios tercerizados .....	205
11.5- Esquema de turnos .....	206
12- ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL .....	208
12.1- Nivel de Complejidad Ambiental - NCA .....	208
12.2- Identificación de actividades con impacto ambiental .....	213
12.3- Riesgos de Operación .....	215
12.4- Efluentes de proceso .....	219
12.5- Matriz de Leopold .....	221
12.6- Conclusiones .....	223
13- EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	225
13.1- Activos Fijos .....	225
13.1.1- Equipos .....	225

13.2- Inversión .....	226
13.2.1- Capital Fijo .....	226
13.2.2- Capital de Trabajo.....	227
13.2.3- Inversión de Capital Total.....	231
13.3- Ingresos por comercialización.....	232
13.4- Egresos por compras.....	233
13.5- Costos Fijos y Variables.....	234
13.5.1- Costos variables.....	234
13.5.2- Costos fijos.....	235
13.6- Índices de rentabilidad.....	237
13.6.1- Cuadro de resultados .....	238
13.6.2- VAN Y TIR.....	240
13.6.3- Análisis de sensibilidad.....	240
13.6.4- Conclusiones .....	241
14- Bibliografía.....	242

# 1- INTRODUCCIÓN

El crecimiento progresivo natural de la población mundial trae consigo la inminente necesidad de mejorar los procesos productivos existentes, optimizar la utilización de recursos, mejorar la calidad de vida y, a su vez, crear productos y procesos que den respuesta a los nuevos descubrimientos. Este fenómeno se complementa con el considerable avance de la ciencia y de la tecnología. Esto permite aumentar notablemente la productividad de la gran mayoría de los procesos industriales, incorporando maquinaria revolucionaria, Software cada vez más inteligente, así como nuevas técnicas alternativas.

Como resultado de esta combinación de factores, hoy en día disponemos de cientos de miles de productos que consideramos, y de hecho en la actualidad lo son, imprescindibles, pero que hace apenas unas décadas o no existían o se desconocían.

El descubrimiento del petróleo como materia prima para la producción de combustibles y base de la Industria Petroquímica ha supuesto un cambio en la economía mundial y un “boom” productivo.

La industria petroquímica es aquella dedicada a obtener derivados químicos del petróleo y de los gases asociados. Los productos petroquímicos incluyen todas las sustancias químicas que de ahí se derivan. La industria petroquímica moderna data de finales del siglo XIX. La mayor parte de los productos se fabrican a partir de un número relativamente pequeño de hidrocarburos, entre ellos el metano, el etano, propano, butano y los aromáticos como el benceno, tolueno y xileno.

Históricamente, las guerras son la base del desarrollo tecnológico. La Segunda Guerra Mundial lo ha sido para el desarrollo de nuestra sociedad. De este conflicto se desarrollaron armas, vehículos, sistemas de comunicaciones, medicamentos, métodos de almacenamiento de alimentos, entre otros, que hoy por hoy forman parte de nuestro diario vivir. La demanda de productos de la industria petroquímica también creció durante la SGM. La demanda de materiales sintéticos aumentó, y este aumento de la demanda se resolvió reemplazando productos costosos y en ocasiones menos eficientes con estos materiales sintéticos. Esto hizo que el procesamiento petroquímico se convirtiera en una importante industria.

El óxido de etileno, obtenido a partir de etileno y, por tanto, del petróleo, es y sigue siendo uno de los productos más importantes de la actual Industria Petroquímica. Gran cantidad de producto se emplea como intermediario en la fabricación de etilenglicol, polietileno, film y fibra de Tereftalato de poliéster y

otras sustancias orgánicas. Otros usos del óxido de etileno son como fumigante en la industria de la alimentación y como agente esterilizante.

El Monoetilenglicol (MEG), que es nuestro producto final, se utiliza como anticongelante en los circuitos de refrigeración de motores de combustión interna, como difusor del calor, mezclado con agua para los procedimientos de deshielo y antihielo de los aviones comerciales, para fabricar compuestos de poliéster, y como disolvente en la industria de la pintura y el plástico. El MEG es también un ingrediente en líquidos para revelar fotografías, fluidos para frenos hidráulicos y en tinturas usadas en almohadillas para estampar, bolígrafos, y talleres de imprenta.

## 2- OBJETIVO

El proyecto tiene como propósito el desarrollo de la Ingeniería Básica de una planta de producción de Etilenglicol, a partir de Oxígeno y Etileno, para la aprobación de la inversión, cumpliendo con las debidas especificaciones técnicas, de seguridad y medioambientales respectivas a la industria competente.

## 3- ALCANCE

El estudio por desarrollar tendrá en cuenta la factibilidad técnica, económica y ambiental de una planta de producción de Etilenglicol con una capacidad instalada de 58 mil t/a y una pureza superior a 99%.

El presente documento contiene FEL I, FEL II Y FEL III, desarrollados en un período de tiempo no superior al año, debiendo entregar la información para toma de la decisión de la inversión en diciembre de 2022. Esto incluye localización de la empresa, obtención de certificado de aptitud ambiental, organigrama, análisis económico y de sensibilidad.

## 4- HIPÓTESIS

Para el desarrollo de este proyecto se han considerado las siguientes hipótesis:

1. El Etilenglicol no tiene producción en Argentina, ya que el 100% de la demanda se supe con importaciones. Esto representa una gran oportunidad, ya que el Ministerio de Desarrollo Productivo plantea como estrategia la suba de tasas a las importaciones, a modo de estimular el mercado interno y aumentar la competitividad.
2. La empresa PBB Polisor S.A., filial de The Dow Chemical Company, desea incorporar el Etilenglicol a su carta de productos. Es por esto por lo que se firmará un contrato por 20 años designando a PBB Polisor S.A. como cliente único del producto principal, Monoetilenglicol, y como

proveedor del volumen necesario de Etileno, materia prima fundamental del proceso.

3. El Oxígeno se obtendrá comprándoselo a la empresa Air Liquide.
4. El establecimiento, CCM S.R.L., por cláusula contractual, deberá instalarse junto a PBB Polisor S.A., en el Parque Industrial de Bahía Blanca, facilitando el transporte tanto de materia prima como del producto, eliminando el factor transporte al menos por 20 años.
5. La demanda del producto en cuestión tiene un crecimiento del 4 % anual. Se hará una proyección a 10 años desde la construcción, es decir, desde el 2026 hasta el 2036.

## 5- ESTUDIO DE MERCADO

En el Estudio de Mercado se presentará el producto principal, Monoetilenglicol (MEG), el producto intermedio, Óxido de Etileno, y la materia prima, Etileno y Oxígeno, analizando las principales características y las consideraciones a tener en cuenta para un tratamiento seguro y adecuado de las mencionadas sustancias.

Se analizarán diversos factores competentes al producto como datos de importaciones, demanda, precios, competencia. El objetivo es plasmar la evolución del MEG en el mercado, así como la visión presente y futura del mismo.

Finalmente, se hará un análisis de la capacidad productiva conveniente, siendo ésta la que mejor se ajuste y responda a la oportunidad de mercado analizada.

### 5.1- Producto

#### 5.1.1- Producto principal: Monoetilenglicol

##### Generalidades

Se utilizará la terminología Monoetilenglicol/Etilenglicol/MEG como sinónimos a lo largo de todo el documento.

El Monoetilenglicol, 1,2-etanodiol ( $\text{HO-CH}_2\text{CH}_2\text{-OH}$ ), generalmente se lo llama glicol, y es el diol más sencillo. Fue preparado por primera vez por Wurtz en 1859; mediante el tratamiento de 1,2-dibromoetano con acetato de plata dando diacetato de etilenglicol, que a continuación se hidroliza al etilenglicol.

El Monoetilenglicol se utilizó por primera vez industrialmente en lugar de glicerol durante la Primera Guerra Mundial como un intermedio para explosivos (dinitrato de etilenglicol), pero desde entonces se ha convertido en un importante producto industrial.

La capacidad mundial para la producción de etilenglicol a través de la hidrólisis de óxido de etileno se estima en alrededor de  $7 \times 10^6$  toneladas al año.

Los grupos hidroxilo presentes en la molécula dan una gran posibilidad para obtener productos derivados del mismo, puesto que estos grupos funcionales pueden convertirse en aldehídos, aminas, ácidos carboxílicos, éteres, entre otros. Tal reactividad permite presentar al etilenglicol como intermediario en una serie de reacciones de gran importancia en la industria química.

Usos principales:

- Anticongelante en los circuitos de refrigeración de motores de combustión interna.
- Como difusor del calor, para fabricar compuestos de poliéster.
- Como disolvente en la industria de la pintura y el plástico.
- Ingrediente en líquidos para revelar fotografías, fluidos para frenos hidráulicos y en tinturas usadas en almohadillas para estampar, bolígrafos y talleres de imprenta.

El Etilenglicol es una sustancia químicamente estable. Es necesario tener en cuenta que sus productos de descomposición son Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono.

### Propiedades fisicoquímicas

El etilenglicol es un líquido transparente, incoloro, inodoro, ligeramente espeso, con un elevado punto de ebullición, un punto de fusión de 261 K aproximadamente, y de sabor dulce. Es higroscópico y completamente miscible con muchos disolventes polares, tales como el agua, alcoholes, éteres de glicol, y acetona. Sin embargo, su solubilidad es baja en solventes no polares, tales como el benceno, tolueno, dicloroetano, y cloroformo.

Por sus características organolépticas se suelen utilizar distintos colorantes para reconocerlo y así disminuir las intoxicaciones por accidente. A temperatura ambiente es poco volátil, pero puede existir en el aire en forma de vapor.

El etilenglicol es difícil de cristalizar; cuando se enfría, se forma una masa altamente viscosa subenfriada, que finalmente solidifica para producir una sustancia semejante al vidrio.

ETILENGLICOL - Propiedades Fisicoquímicas	
Calor de combustión	19,07 MJ/kg
Calor de vaporización a 101,3 kPa	52,24 kJ/mol
Coefficiente de dilatación cúbica	0,00062 K <sup>-1</sup>
Densidad a 20 °C	1,1135 g/ cm <sup>3</sup>
Fórmula química	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>
Índice de refracción, nD20	1,4318
Límite explosivo inferior	3,20 %V
Límite explosivo superior	53 %V
Peso molecular	62,07 g/ mol
Presión crítica	0,186 l/mol
Punto de ebullición a 101,3 kPa	197,60 °C
Punto de fusión a 101,3 kPa	- 13 °C
Punto de inflamabilidad	111 °C
Temperatura crítica	372 °C
Temperatura de ignición	410 °C
Viscosidad a 20 °C	19,83 mPa.s
Volumen crítico	6515,73 kPa

Tabla 1: Propiedades Fisicoquímicas del Etilenglicol. Fuentes: programa de simulación PRO II; Textoscientíficos.com

### Importancia económica

En Argentina el destino principal del Monoetilenglicol es como materia prima para la obtención del Tereftalato de Polietileno, PET. Adicionalmente es utilizado como anticongelante en el circuito de refrigeración de los motores, por lo que económicamente es importante en la industria automotriz.

### Toxicidad

La ingestión de cantidades muy altas de Etilenglicol puede causar la muerte, en tanto que cantidades mínimas pueden producir náuseas, convulsiones, dificultad para hablar, desorientación, y problemas en el corazón y el riñón. Puede causar sordera, ceguera, dejar grandes secuelas cerebrales, y a grandes dosis producir la muerte.

Es un disolvente orgánico con actividad nefrotóxica como se mencionó anteriormente. Puede ocasionar necrosis tubular aguda que, si no se trata a tiempo, puede desencadenar una insuficiencia renal crónica y posteriormente la muerte.

### Riesgos

Es primordial tanto para el correcto diseño de la planta como para la futura puesta en marcha y funcionamiento de esta, tener conocimiento de los riesgos

que cada una de las sustancias involucradas representan, en relación con su manipulación, almacenamiento y transporte. Conocer con precisión los riesgos de forma anticipada permite evitar accidentes que pongan en peligro la integridad física de los operarios, así como también asegurar el mejor funcionamiento posible de la planta y la mayor preservación de las instalaciones.

En el siguiente cuadro se presentan los significados de los pictogramas utilizados para la clasificación de sustancias.



*Ilustración 1: Significados de los pictogramas. Fuente: Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos – INTI – Ministerio de Industria Argentino*

## Etilenglicoles

### Clasificación Según SGA



### Indicaciones de peligro

- H302: Nocivo en caso de ingestión.
- H373: Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.

### Consejos de prudencia

- P260: No respirar el polvo, el humo, el gas, la niebla, los vapores ni el aerosol.
- P264: Lavarse concienzudamente tras la manipulación.
- P270: No comer, beber ni fumar durante su utilización.
- P314: Consultar a un médico en caso de malestar.
- P330: Enjuagarse la boca.
- P501: Eliminar el contenido/el recipiente en las instalaciones industriales de combustión.

### Otros peligros

- Riesgo de resbalamiento en caso de escurrimiento/derrame del producto.

### **Primeros auxilios**

No dejar a la persona afectada desatendida. Retirar a la víctima de la zona de peligro. Mantener a la persona afectada caliente, tranquila y cubierta. Quítense inmediatamente la ropa manchada o salpicada. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico. En caso de inconsciencia procurar una postura de seguridad de decúbito lateral y no administrar nada vía oral.

- Inhalación: en caso de respiración irregular o de paro respiratorio, buscar asistencia médica inmediatamente y disponerse a tomar medidas de primeros auxilios. Proporcionar aire fresco.
- Contacto con la piel: lavar con abundante agua y jabón

- Contacto con los ojos: mantener separados los párpados y enjuagar con abundante agua limpia y fresca por lo menos durante 10 minutos.
- Ingestión: enjuáguese la boca con agua (solamente si la persona está consciente). NO provocar el vómito.

### **Medida de lucha contra incendios**

#### Medios de extinción

- Adecuados: agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo BC, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- No adecuados: chorros de agua

#### Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

- Productos de combustión peligrosos.
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

#### Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

En caso de incendio y/o de explosión no respire los humos. Medidas coordinadas de lucha contra incendios en el entorno. No permitir que el agua de extinción alcance el desagüe. Recoger el agua de extinción separadamente. Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales.

### **Medidas para derrames accidentales**

Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: llevar a las personas afectadas a un lugar seguro.

Para el personal de emergencia: llevar aparatos respiratorios en caso de exposición a vapores/polvos/aerosoles/gases.

#### Precauciones relativas al medio ambiente.

- Manteniendo el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas. Retener y eliminar el agua de lavado contaminada.
- Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido: Limpiar con materiales absorbentes (p.ej. paño, vellón). Recoger el vertido: Serrín, Kieselgur (diatomita), Arena, Aglomerante universal.

## **Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades**

Consérvese el recipiente bien cerrado y en lugar fresco.

Sustancias o mezclas incompatibles

- Observe el almacenamiento compatible de productos químicos.
- Atención a otras indicaciones.

Requisitos de ventilación

- Utilización de ventilación local y general.

Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento

### **5.1.2- Producto intermedio: Óxido de Etileno**

#### Generalidades

El óxido de etileno, también conocido como Oxirano; 1,2-epoxietano; Óxido de dimetilo; dihidroxioxirano; OE; es un gas incoloro, con un fuerte aroma, e inflamable a temperaturas y presiones normales, aunque se condensa cuando es enfriado. Su fórmula es C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O. Se identifica como un compuesto dentro de los epóxidos.

Es soluble en agua en todas las proporciones, con alcohol, éter y la mayoría de los disolventes orgánicos y, además, en el rango de temperaturas de 40-60°C y de presiones de 0-101,3 kPa, la solubilidad del óxido de etileno en agua se rige por la ley de Henry.

Una característica que lo hace interesante desde el punto de vista de la industria química es su alta reactividad. Los vapores de óxido de etileno forman mezclas explosivas con el aire. Es muy reactivo tanto en fase líquida como en vapor.

Fue sintetizado por primera vez en 1859 por el químico francés de origen alemán Charles Adolphe Wurtz, quien logró sintetizarlo vía la reacción de clorhidrina con hidróxido de potasio (KOH) en solución acuosa.

En 1931 el químico francés Theodor Lefort logró sintetizar al óxido de etileno por la oxidación directa de etileno utilizando un catalizador de plata soportada en alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) con cerio (Ce) y Bario (Ba) como promotores. Es una reacción fuertemente exotérmica que se da bajo condiciones de altas presiones y temperatura.

A partir de este momento, de forma gradual el proceso de producción de óxido de etileno por oxidación directa reemplazó casi por completo al anterior proceso basado en la clorhidrina.

El Óxido de Etileno es tóxico, altamente inflamable y explosivo por lo que debe mantenerse alejado de fuentes de calor, llamas y chispas. Debido a esto se considera de riesgo.

Usos principales:

- Los productos industriales finales derivados del óxido de etileno son muy variados. Su principal consumo es la fabricación de etilenglicoles (alrededor del 60% del óxido de etileno mundial es convertido a monoetilenglicol y un 13% se destina a di, tri y polietilenglicol).
- Este éter cíclico constituye un compuesto orgánico que se utiliza corrientemente en la industria farmacéutica y en la industria alimentaria.
- En su forma gaseosa, el óxido de etileno sirve para esterilizar, entre otras cosas, material médico gracias a sus propiedades fungicidas y biocidas. También permite esterilizar sustancias que no soportarían altas temperaturas necesarias en los procesos de pasteurización.
- Principalmente se usa en la fabricación de plásticos y polímeros en general.
- También hay ciertos pesticidas que pueden contener óxido de etileno para usarlo en el campo de la agricultura.

### Propiedades fisicoquímicas

<b>ÓXIDO DE ETILENO - Propiedades Fisicoquímicas</b>	
<b>Conductividad térmica a 20°C y 1 atm</b>	0,14 W/mK
<b>Densidad a 0 °C (líquido)</b>	896 kg/ m <sup>3</sup>
<b>Densidad del vapor respecto al aire</b>	1,52
<b>Fórmula Química</b>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O
<b>Límite explosivo inferior</b>	3 %V
<b>Límite explosivo superior</b>	100 %V
<b>Peso molecular</b>	44,05 g/mol
<b>Presión de vapor a 20 °C</b>	1456 mbar
<b>Punto de ebullición a 101,3 kPa</b>	10,4 °C
<b>Punto de fusión a 101,3 kPa</b>	-112,5 °C
<b>Temperatura de autoignición en aire a 101,3 kPa</b>	429 °C
<b>Temperatura de inflamación</b>	-18 °C
<b>Viscosidad a 50 °C y 1 atm</b>	0,0104 Cp

Tabla 2: Propiedades Fisicoquímicas del Óxido de Etileno. Fuentes: programa de simulación PRO II; Textoscientíficos.com

### Importancia económica

La producción de óxido de etileno en el mercado actual está íntimamente ligada con la demanda de Etilenglicol, debido a su importancia como materia prima en la obtención de este. El mercado de los productos derivados del óxido de etileno son los glicoles, poliglicoles y polioles empleados en la elaboración de fibras, refrigerantes y espumas.

Dado que el óxido de etileno tiene grandes limitaciones en lo que respecta a su transporte, debido a consideraciones de seguridad, la mayoría de las plantas productoras de este producto tienen como vecinas plantas productoras de algún derivado de éste.

### Toxicidad

El óxido de etileno es considerado un producto tóxico y muy peligroso para la salud. El PEL (Límite permisible de exposición) es de 1 ppm como promedio en una jornada laboral de 8 horas, y 5 ppm como límite de desviación durante 15 minutos.

El contacto directo con el gas de óxido de etileno puede suponer consecuencias graves para la salud humana. Irritación en los ojos, piel, mucosas y diferentes problemas en el sistema nervioso y el cerebro son algunos de sus efectos.

También puede producir quemaduras en la piel e irritar las vías respiratorias si se produce una exposición a un gran volumen del compuesto. Estas consecuencias han sido observadas en trabajadores que manipulan el producto y en personas que han sido expuestas fruto de alguna avería o accidente en la planta.

### Riesgos

Clasificación Según SGA:



Indicación de Peligro:

- H220: Gas extremadamente inflamable.
- H230: Puede explotar incluso en ausencia de aire.
- H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
- H331: Tóxico en caso de inhalación.
- H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
- H340: Puede provocar defectos genéticos.
- H350: Puede provocar cáncer.
- H335: Puede irritar las vías respiratorias.
- H336: Puede provocar somnolencia o vértigo.
- H372: Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.

Prevención:

- P202: No manipular la sustancia antes de haber leído y comprendido todas las instrucciones de seguridad.
- P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
- P260: No respirar el gas/los vapores.
- P280: Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.

Respuesta:

- P303+P361+P353+P315: EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua/ducharse. Consultar a un médico inmediatamente.
- P304+P340+P315: EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Consultar a un médico inmediatamente.
- P305+P351+P338+P315: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. Consultar a un médico inmediatamente.
- P308+P313: EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Consultar a un médico.
- P377: Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro.
- P381: En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición.

Almacenamiento:

- P403: Almacenar en un lugar bien ventilado.
- P405: Guardar bajo llave.

### **Medidas de combate contra incendio**

Riesgos Generales de Incendio: el calor puede ocasionar explosión de los recipientes.

Medios de extinción apropiados: usar agua pulverizada para reducir los vapores o desviar el desplazamiento de la nube de vapor. Agua pulverizada o niebla Polvo seco. Espuma.

Medios de extinción no apropiados: Dióxido de carbono.

Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla: en caso de incendio o calor excesivo se pueden generar productos de descomposición peligrosos. La combustión incompleta puede formar monóxido de carbono.

Medidas especiales:

En caso de incendio: detener la fuga si no hay peligro en hacerlo. El uso de agua puede generar la formación de soluciones acuosas muy tóxicas. Mantener el exceso de agua fuera de estanques y alcantarillados. Colocar diques para controlar el agua. Continuar vertiendo agua pulverizada desde un lugar protegido hasta que los contenedores permanezcan fríos. Use los extintores para contener el fuego. Aislar la fuente del fuego o dejar que se quemé.

### **Medidas para derrames y fugas**

Evacuar la zona. Procure una ventilación adecuada. Considere el riesgo de atmósferas potencialmente explosivas. En caso de fuga, eliminar todas las fuentes de ignición. Monitorizar la concentración del producto liberado. Prevenir la entrada en alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o cualquier lugar donde su acumulación pueda ser peligrosa. Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área a menos que esté probado que la atmósfera es segura.

Precauciones Relativas al Medio Ambiente:

Impedir nuevos escapes o derrames de forma segura. Reducir el vapor con agua en niebla o pulverizada. Mantener el exceso de agua fuera de estanques y alcantarillados. Colocar diques para controlar el agua.

Métodos y material de contención y de limpieza: procure una ventilación adecuada. Elimine las fuentes de ignición. Lavar los lugares y el equipo contaminado con abundantes cantidades de agua.

## Almacenamiento

Todos los equipos eléctricos en las áreas de almacenamiento deben ser compatibles con el riesgo de atmósferas potencialmente explosivas. Separar de gases oxidantes y de otros materiales oxidantes durante el almacenamiento. Los envases no deben ser almacenados en condiciones que puedan favorecer la corrosión del recipiente. Los recipientes deben ser revisados periódicamente para garantizar unas correctas condiciones de uso y la inexistencia de fugas. Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos. Las protecciones de las válvulas deben estar en su lugar. Almacene los recipientes en lugares libres de riesgo de incendio y lejos de fuentes de calor e ignición. Manténgase lejos de materias combustibles.

## 5.2- Mercado

Como se ha mencionado en la sección *Hipótesis*, el Etilenglicol no posee en la actualidad una industria de producción argentina. El 100% del volumen consumido es netamente importado. Procede principalmente de Arabia Saudita y Estados Unidos, y en menor proporción de India.

Por otro lado, siendo que el Ministerio de Desarrollo Productivo plantea como estrategia la suba de tasas a las importaciones, a modo de estimular el mercado interno y aumentar la competitividad, se presenta el momento ideal para la instalación de una planta de producción nacional de Etilenglicol.

A continuación, se expresa la evolución de los volúmenes importados en los últimos 10 años, desde el año 2012 hasta el 2021.

Etilenglicol						
Año	Producción (t)	Importación (t)	Exportación (t)	Consumo aparente (t)	Valor comercio exterior (U\$S/t)	
					Importación (CIF)	Exportación (FOB)
2012	-	71329	23	71306	615	-
2013	-	88324	3198	85126	876	843
2014	-	88329	198	88131	1171	-
2015	-	86110	63	86047	1100	-
2016	-	89655	44	89611	1117	-
2017	-	86291	1	86290	1079	-
2018	-	85480	151	85329	886	-
2019	-	80704	717	79987	685	-
2020	-	75598	57	75541	852	-
2021	-	81577	4	81573	954	-

Tabla 3: Importación/Exportación de Etilenglicol. Fuente: Instituto Petroquímico Argentino - IPA

Como puede observarse, el único volumen exportado es un remanente de la importación. En promedio, se han importado unas 83.339 toneladas por año, el consumo aparente ha sido de 82.894 t/a y el valor de la importación ha sido de 933,5 U\$S/t.

### 5.3- Consumo histórico y clientes

Como se menciona en la sección *Hipótesis*, se firmará un contrato con PBB Polisor S.A. que designa a la empresa como cliente por los primeros 20 años.

Sin embargo, se suma un análisis de potenciales clientes futuros en base a los mayores consumidores actuales del producto.

En los últimos cinco años, los principales consumidores han sido Dak Américas Argentina S.A., con un 66,5% del total de Etilenglicol importado, y Manufactura de Fibras Sintéticas S.A. (MAFISSA), con un 16,3%.

#### DAK Américas Argentina S.A.

DAK Americas es uno de los mayores productores integrados de PET en el mundo y el principal productor de fibra corta de poliéster en América.

Las Resinas de Polietileno Tereftalato (PET) de DAK son las preferidas para la fabricación de envases, empleados en varios productos de consumo masivo de importantes marcas.

La familia de productos de resinas PET Laser+® brinda soluciones para fabricar envases de la más alta calidad a través de las resinas más innovadoras, más consistentes y de mejor calidad disponibles en el mercado actual.

Para elaborar estas resinas se utiliza como materia prima principal el Etilenglicol, obteniendo un producto PET de alta calidad con las siguientes características:

- Transparencia
- Ligero, pero resistente al estilo de vida dinámico de los consumidores
- Reciclable: los envases fabricados con la resina PET de DAK pueden ser incorporados fácilmente en programas de reciclaje.
- Protección para el producto: la resina PET proporciona propiedades de barrera tanto para envases gasificados, como para los no gasificados.
- Fácil procesamiento, permitiendo nuevos diseños y tamaños de envases, espesores más gruesos, retención de color.

En Argentina disponen de dos sitios de manufactura y de un sitio con función puramente corporativa. Los dos sitios de manufactura mencionados son:

1. Zárate Site, Zárate, Provincia de Buenos Aires, Argentina.  
Manufactura: Resinas de PET  
Camino Santa Ana, Parque Industrial Zarate

Este destino se encuentra a 692 km. del Parque Industrial Bahía Blanca, equivalentes a, aproximadamente, 8 horas y 30 minutos de viaje, por la Ruta Nacional 3 y la Ruta Provincial 51.

2. Pacheco Site, General Pacheco, Buenos Aires, Argentina.

Manufactura: Resinas RPET

Avenida General Juan Domingo Perón 3659

1617 General Pacheco.

Este destino se encuentra a 666 km. del Parque Industrial Bahía Blanca, equivalentes a, aproximadamente, 9 horas de viaje, por la Ruta Nacional 3 y la Ruta Provincial 51.

### Manufactura de Fibras Sintéticas S.A.

Manufactura de Fibras Sintéticas (MAFISSA) es una empresa respaldada por medio siglo de trayectoria en el país, combinando la producción de hilados y fibras sintéticas destinados a la industria textil en la región. En su planta fabril situada en la localidad de Lisandro Olmos, partido de La Plata, provincia de Buenos Aires, actualmente producen chips, fibras, hilados POY y texturizados de poliéster.

Estos productos son transformados en telas, materia prima para la confección de prendas de vestir y también para la hechura de sábanas, toallas, y demás textiles en poliéster para el consumidor argentino y del Mercosur.

En MAFISSA se produce el Polietilén Tereftalato o Poliéster, fruto de la polimerización del combinado de las materias primas: Ácido Tereftálico Puro (P.T.A.), el Monoetilenglicol y otros elementos aditivos que actúan como mateantes y catalizadores.

Ese polímero de poliéster es conducido por tuberías a las hilaturas directas de POY y Fibras y parte es secado y cortado para su uso en hilaturas convencionales y para su comercialización como Chip de Poliéster.

La planta industrial está ubicada en Av. 44 4449 Lisandro Olmos, Ciudad de La Plata. La separan del Parque Industrial Bahía Blanca 615 km., que representan unas 7 horas 40 minutos de viaje.

**Conclusión:** en el caso de no realizar una extensión del contrato con PBB Polisur S.A. una vez finalizado, sería necesaria la incorporación de camiones para el transporte del producto hacia los potenciales clientes.

## 5.4- Proyecciones de demanda

A partir de la información proporcionada por el Instituto Petroquímico Argentino hasta el año 2021, se ha proyectado el crecimiento de la demanda del Monoetilenglicol hasta el año 2036, con una tasa del 4% anual.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Etilenglicol						
Año	Producción (t)	Importación (t)	Exportación (t)	Consumo aparente (t)	Valor comercio exterior (U\$/t)	
					Importación (CIF)	Exportación (FOB)
2012	-	71329	23	71306	615	-
2013	-	88324	3198	85126	876	843
2014	-	88329	198	88131	1171	-
2015	-	86110	63	86047	1100	-
2016	-	89655	44	89611	1117	-
2017	-	86291	1	86290	1079	-
2018	-	85480	151	85329	886	-
2019	-	80704	717	79987	685	-
2020	-	75598	57	75541	852	-
2021	-	81577	4	81573	954	-
2022		81577		84835,92		
2023		81577		88229,3568		
2024		81577		91758,53107		
2025		81577		95428,87231		
2026		81577		99246,02721		
2027		81577		103215,8683		
2028		81577		107344,503		
2029		81577		111638,2831		
2030		81577		116103,8145		
2031		81577		120747,9671		
2032		81577		125577,8857		
2033		81577		130601,0012		
2034		81577		135825,0412		
2035		81577		141258,0429		
2036		81577		146908,3646		

Tabla 4: Proyecciones de demanda para el Etilenglicol. Fuente: elaboración propia a partir de datos de IPA.

Puede observarse que para el 2036 la cantidad demandada del producto será de, aproximadamente, unas 150 mil toneladas por año.

## 5.5- Productos sustitutos

### Tereftalato de Polietileno – PET

Este polímero se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Actualmente no existe un método alternativo de producción de PET.

### Líquido refrigerante para motores

Como alternativa a los anticongelantes orgánicos, que contienen Etilenglicol, existen los anticongelantes inorgánicos, que contienen silicatos. Sin embargo, estos últimos tienen menor durabilidad, ya que los silicatos con el tiempo se degradan, provocando averías en el sistema de refrigeración y acelerando la corrosión. Tienen bajo porcentaje de inhibidores de corrosión y de otros aditivos, por lo que son más limitados. También producen más depósitos sólidos en el interior del circuito. Además, los anticongelantes con Etilenglicol son biodegradables, resultando menos dañinos con el medio ambiente.

## 5.6- Capacidad de la planta

Como fue expuesto en la sección *Proyecciones de demanda*, el Etilenglicol demandado para el año 2036 serían unas 150 mil t/a, presentando una brecha con la importación de, aproximadamente, 65 mil toneladas:

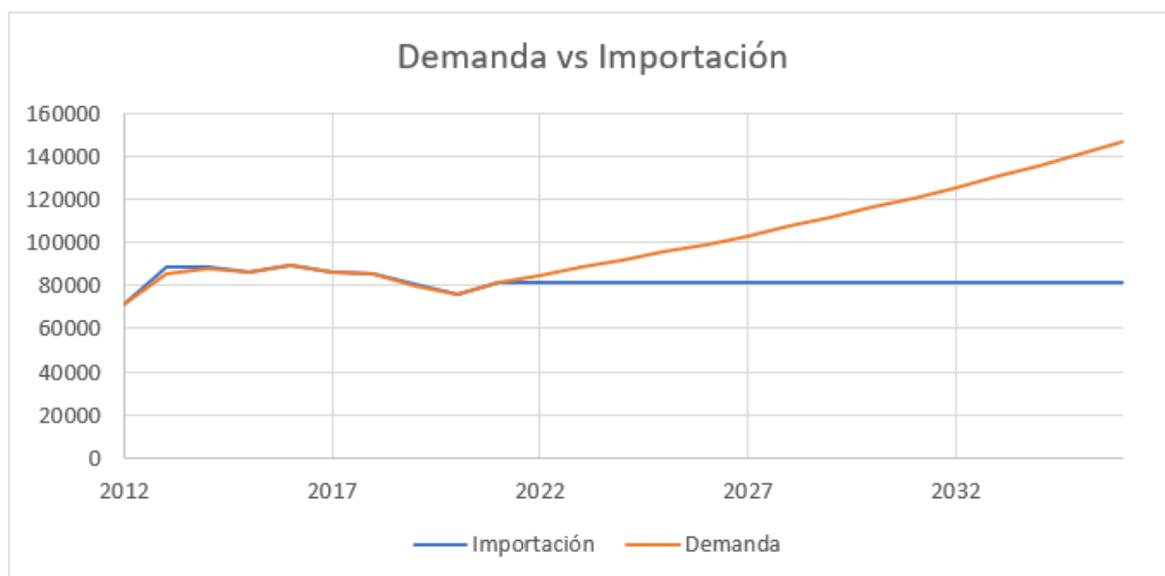


Ilustración 2: Demanda vs Importación de MEG. Fuente: elaboración propia a partir de datos de IPA.

**Conclusión:** siendo que de momento sería la única planta nacional de producción de Monoetilenglicol, se ha decidido que la capacidad instalada cubra el 90 % del faltante, es decir, **58.3 mil t/a**.

## 5.7- Materias primas

Las materias primas principales para nuestro proceso son el Etileno y el Oxígeno. Se requieren tan puros como sea posible. Además, se utilizará Metano como gas de arrastre, Nitrógeno como gas de inertización y Furfural y Carbonato de Potasio como líquidos de absorción. Adicionalmente se presentarán los riesgos del Dióxido de Carbono, sustancia que está presente en el proceso

### 5.7.1- Etileno

#### Generalidades

El etileno, también conocido bajo el nombre de eteno, es un compuesto orgánico, y es el más simple de los hidrocarburos insaturados. Su estructura química se caracteriza por la unión de dos carbonos a través de un doble enlace, dando lugar a la fórmula  $\text{CH}_2\text{CH}_2$ .

El etileno es un gas incoloro en condiciones normales, con un característico aroma no desagradable. Soluble en agua, en alcohol y en la mayoría de los disolventes orgánicos. Es altamente inflamable en condiciones normales de temperatura y presión. Reacciona violentamente con oxidantes y cloro en presencia de luz. Es uno de los productos químicos más importantes de la industria química, aunque se puede hallar de forma natural en las plantas.

La gran parte del etileno de producción mundial se consigue a través del procedimiento conocido como steam cracking, o lo que es lo mismo, un craqueo con presencia de vapor, en sustancias típicas de refinerías como es el caso del gasoil, el propano, o etano entre otros. Otra forma de obtención del etileno es partiendo de las naftas y su proceso químico de refinamiento, partiendo del gas natural. A pequeña escala, en laboratorios, también es posible obtener etileno si oxidamos alcoholes.

Propiedades fisicoquímicas

ETILENO - Propiedades Fisicoquímicas	
Acidez	44 pKa
Densidad a 20 °C	1178 kg/ m <sup>3</sup>
Densidad relativa del gas (aire = 1)	0,98
Fórmula química	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Límite explosivo inferior	2,4 %V
Límite explosivo superior	32,6%V
Peso molecular	28,05 g/ mol
Presión crítica	50,7 atm
Presión de vapor a 15 °C	8100 kPa
Punto de ebullición	-103,7 °C
Punto de fusión	-169,2 °C
Solubilidad en agua	3,5 mg
Temperatura crítica	10 °C
Temperatura de autoignición	490 °C

Tabla 5: Propiedades Fisicoquímicas del Etileno. Fuentes: programa de simulación PRO II; Textoscientíficos.com

Toxicidad

El etileno puede llegar a provocar irritación de la nariz, garganta y tracto respiratorio, efectos en el sistema nervioso central como jaquecas, náuseas y vómitos. A altas exposiciones, somnolencia, jaqueca, debilidad, forma de caminar irregular y pérdida de conciencia. También puede llegar a ocasionar espasmos estomacales, aturdimiento, inconsciencia temporal y ataques repetitivos. Otros síntomas son piel seca, rojiza, con picazón (dermatitis) y quemaduras pueden resultar de residuos en guantes, ropa o calzado.

El Etileno es tóxico, inflamable y puede provocar asfixia. Reacciona explosivamente con cloro bajo luz solar o UV. No debe mezclarse tampoco con agentes oxidantes, halógenos, ácidos, cloruro de aluminio o halocarburos. Su descomposición térmica o combustión generan CO<sub>2</sub>, CO y H<sub>2</sub>O, puede polimerizar peligrosamente a temperaturas y presiones elevadas.

Riesgos

Clasificación Según SGA:



Gases inflamables – Categoría 2 H220: Gas extremadamente inflamable.

Gases a presión – Gas comprimido. H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Toxicidad específica de órganos diana – Exposición única – Categoría 3 H336: Puede provocar somnolencia o vértigo.

**Descripción de peligros:**

- H220: Gas extremadamente inflamable.
- H280: Contiene gas a presión, peligro de explosión en caso de calentamiento.
- H336: Puede provocar somnolencia o vértigo.

**Descripción de peligros específicos:**

Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. No respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol. Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. Consultar a un médico inmediatamente. Fuga de gas en llamas: no apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. Almacenar en un lugar bien ventilado

**Medida de combate contra incendios**

Agentes de extinción: usar medios de extinción adecuados para el incendio.

Agentes de extinción inapropiados: Dióxido de Carbono.

Productos que se forman en la combustión y degradación térmica: la combustión incompleta puede formar monóxido de carbono.

Peligros específicos asociados: ante la exposición al calor intenso o fuego, el cilindro se vaciará rápidamente y/o se romperá violentamente. Mantener los envases y los alrededores fríos con agua pulverizada. Puede soportar la combustión.

Métodos específicos de extinción: extinguir el incendio sólo cuando la fuga de gas pueda ser detenida. Si es posible, cortar la fuente de gas y dejar que el incendio se extinga por sí solo. Se puede producir la reignición espontánea. Alejarse del envase y enfriarlo con agua desde un lugar protegido. Mantener fríos los cilindros adyacentes mediante pulverización con gran cantidad de agua hasta que el fuego se extinga por sí solo.

Precauciones para el personal de emergencia: en espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma. Vestimenta y equipo de protección estándar para bomberos.

### **Medidas para derrames y fugas**

Precauciones personales: ventilar la zona.

Equipo de protección: estimenta estándar de bomberos (incluido equipo de respiración autónomo).

Procedimiento de emergencia: nunca entrar en un espacio confinado u otra área, donde la concentración de oxígeno pueda ser inferior al 19,5%. Frente a emergencias con gases además de monitorear la atmósfera circundante, se recomienda utilizar en todo momento protección respiratoria del tipo equipo de respiración autónomo.

Precauciones para la protección del medio ambiente: impedir nuevos escapes o derrames de forma segura.

Métodos y material para la contención: ventilar la zona. Acercarse cuidadosamente a las áreas sospechosas de haber fugas. Evacuar el personal a zonas seguras. Retirar todas las fuentes de ignición. Nunca entrar en un espacio confinado u otra área, donde la concentración del gas inflamable es superior al 10% de su límite inferior de inflamabilidad.

Métodos y materiales de limpieza: como la sustancia se encuentra en estado gaseoso, solo se recomienda ventilar la zona.

Medidas adicionales de prevención de desastres: aumentar la ventilación en el área de liberación del gas y controlar las concentraciones. Si la fuga tiene lugar en el cilindro o en su válvula, llamar al número de emergencia de Indura S.A. Si la fuga tiene lugar en la instalación del usuario, cerrar la válvula del cilindro, ventilar la presión con seguridad y purgar el cilindro con gas inerte antes de intentar realizar reparaciones.

## Almacenamiento

Condiciones para el almacenamiento seguro: los envases deben ser almacenados en un lugar especialmente construido y bien ventilado, preferiblemente al aire libre. Los envases almacenados deben ser controlados periódicamente en cuanto a su estado general y fugas. Proteger los envases almacenados al aire libre contra la corrosión y las condiciones atmosféricas extremas. Los envases deben ser almacenados en posición vertical y asegurados para prevenir las caídas. Las válvulas de los contenedores deben estar bien cerradas y donde sea necesario, las salidas de las válvulas deben ser protegidas con tapas. No permitir que la temperatura de almacenamiento alcance los 50°C (122 °F). Prohibido fumar en las zonas de almacenamiento o durante la manipulación de productos o envases. La cantidad almacenada de gases inflamables o tóxicos debe ser mínima.

Medidas técnicas: cumplir con legislación y normativa aplicable al almacenamiento de sustancias peligrosas.

Sustancias y mezclas incompatibles: el etileno no presenta en condiciones normales incompatibilidades, eventualmente un aumento de la temperatura exterior puede aumentar la presión interna del cilindro.

Material de envase y /o embalaje: el etileno se almacena de forma segura dentro de cilindros, el gas se encuentra sometido a presión.

### 5.7.2- Oxígeno

#### Generalidades

El oxígeno representa aproximadamente el 21% en volumen de la composición de la atmósfera terrestre. Es uno de los elementos más importantes de la química orgánica y participa de forma muy importante en el ciclo energético de los seres vivos, principalmente en la respiración celular de los organismos.

Es una sustancia muy reactiva capaz de formar compuestos con la mayoría de los elementos conocidos, exceptuando los gases nobles. Se trata de una sustancia inflamable y que al contactar con metales forma óxidos que son compuestos corrosivos. En condiciones normales se manifiesta como un gas incoloro, inodoro e insípido. Es sumamente combustible y es más soluble en agua que el resto de los gases que aparecen en la atmósfera, como el nitrógeno.

Se puede encontrar de forma líquida en laboratorios, y si llega a una temperatura menor que -219°C, se convierte en un sólido cristalino azul. Es más

electronegativo que cualquier otro elemento, excepto el Flúor. Tiene alta inestabilidad ya que es muy fácil que reaccione con casi cualquier compuesto. Se separa del aire por licuefacción y destilación fraccionada.

### Propiedades fisicoquímicas

<b>OXÍGENO - Propiedades Fisicoquímicas</b>	
<b>Densidad a 20 °C</b>	1,429 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad relativa del gas (aire = 1)</b>	1,1
<b>Fórmula química</b>	O <sub>2</sub>
<b>Peso molecular</b>	32 g/ mol
<b>Presión crítica</b>	49,76 atm
<b>Presión de vapor a 20 °C</b>	1456 mbar
<b>Punto de ebullición</b>	-183 °C
<b>Punto de fusión</b>	-218,4 °C
<b>Solubilidad en agua</b>	39 mg/l
<b>Temperatura crítica</b>	-118,57 °C

Tabla 6: Propiedades Fisicoquímicas del Oxígeno. Fuentes: programa de simulación PRO II; Textoscientíficos.com

### Toxicidad

De los posibles riesgos de la utilización de oxígeno, uno de ellos es su alto grado de combustibilidad. El manejo de altas concentraciones de oxígeno en ciertos lugares puede derivar en un incendio o un estallido ya que es una molécula propensa a una rápida combustión.

Todo ser humano necesita oxígeno para respirar, pero como ocurre con muchas sustancias, un exceso de oxígeno es perjudicial para la salud. Si uno se expone a grandes cantidades de oxígeno durante mucho tiempo, se pueden producir daños en los pulmones. Respirar entre un 50% y un 100% de oxígeno a presión normal durante un periodo prolongado provoca daños en los pulmones. Además, el oxígeno puede ser tóxico a elevadas presiones parciales. Algunos compuestos como el ozono, el peróxido de hidrógeno y radicales hidroxilos son muy tóxicos.

También es muy peligroso para el ser humano estar expuesto a una atmósfera pobre en oxígeno. Seguidamente se puede observar una tabla con los niveles de oxígeno y su consecuencia.

Concentración	Efecto
23,50%	Nivel Máximo de Seguridad (OSHA).
21%	Concentración de Oxígeno en el aire.
19,50%	Nivel Mínimo de Seguridad (OSHA, NIOSH).
17%	Falta de juicio evidente.
16%	Primeras señales de anoxia.
12-16%	Respiración y pulso elevados.
10-14%	Fatiga. Dificultad para respirar.
6-10%	Náuseas y vómitos. Pérdida de la conciencia y el movimiento.
<6%	Movimientos convulsivos, problemas para respirar. Cesa la función respiratoria y luego la
3-5%	Tiempo de vida: 3-5 minutos.

Tabla 7: Niveles de Oxígeno. Fuente: OSHA.

## Riesgos

Oxígeno comprimido

Clasificación Según SGA:



Indicación de peligro:

H270: Puede provocar o agravar un incendio; comburente.

Consejos de prudencia:

- P 244: Mantener las válvulas y accesorios libres de aceite y grasa.
- P220: Mantener alejado de la ropa y otros materiales combustibles.
- P370+376: En caso de incendio: detener la fuga si puede hacerse sin riesgo.
- P403: Almacenar en un lugar bien ventilado.



Indicación de peligro:

H281: Contiene gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.

Consejos de prudencia:

- P282: Usar guantes aislantes contra el frío y equipo de protección para la cara o los ojos.
- P336 + P315: Descongelar las partes congeladas con agua tibia. No frotar la parte afectada. Buscar asistencia médica inmediata.
- P403: Almacenar en un lugar bien ventilado.



Frases de peligro:

H361: Susceptible de perjudicar la fertilidad o dañar al feto.

Consejos de prudencia:

- P308+313: En caso de exposición demostrada o supuesta, consultar a un médico.
- P201: Procurarse las instrucciones antes del uso.
- P202: No manipular antes de haber leído y comprendido todas las precauciones de seguridad.
- P281: Utilizar equipo de protección personal obligatorio.
- P405: Guardar bajo llave.
- P501: Eliminar el contenido/recipiente



Frases de peligro:

H335: Puede irritar las vías respiratorias.

Consejos de prudencia:

- P403+P233: Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente herméticamente cerrado.
- P304+P340: En caso de inhalación transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración.
- P261: Evitar respirar polvo/humo/gases/nieblas/vapores/aerosoles.
- P312: Llamar un Centro de Toxicología/médico si la persona se encuentra mal.
- P271: Utilizar solo al aire libre o en un lugar bien ventilado.
- P405: Guardar bajo llave.
- P501: Eliminar el contenido/recipiente

### Otros peligros

Líquido y gas extremadamente fríos y oxidantes bajo presión.

El producto acelera vigorosamente la combustión.

Los combustibles que hagan contacto con oxígeno líquido pueden explotar al inflamarse o al haber un impacto.

Puede ocasionar severas quemaduras por congelamiento.

Puede causar mareo y somnolencia.

### Control de exposición - protección personal

TWA: 200 ppm.

Elementos de Protección Personal Protección respiratoria: para casos de actuación frente a emergencias, se recomienda utilizar equipo de respiración autónomo. Los usuarios de los equipos de respiración autónomos deben ser entrenados. Usar filtros de gas y máscaras que cubran toda la cara, en caso de

superar los límites de exposición por un periodo corto de tiempo. Los filtros de gas no protegen contra la insuficiencia de oxígeno. Para la selección del equipo adecuado consultar la información de producto elaborada por el fabricante del equipo de respiración.

Protección de manos: usar guantes de trabajo al manejar envases de gases.

Protección de Ojos: se aconseja el uso de gafas de seguridad durante la manipulación de cilindros. Para tareas de trasvase se recomienda usar gafas cerradas sobre los ojos y protector facial.

Protección de la piel y el cuerpo: durante el manejo de cilindros se recomienda la utilización de zapatos con protección en el metatarso.

Medidas de ingeniería: asegurar una ventilación adecuada, especialmente en locales cerrados. Es necesario garantizar una buena ventilación o fugas locales para evitar la acumulación de concentraciones superiores al límite de exposición.

## **Almacenamiento**

Los envases deben ser almacenados en un lugar especialmente construido y bien ventilado, preferiblemente al aire libre. Se deben almacenar los envases llenos de tal manera que los más antiguos sean usados en primer lugar. Los envases almacenados deben ser controlados periódicamente en cuanto a su estado general y fugas. Proteger los envases almacenados al aire libre contra la corrosión y las condiciones atmosféricas extremas. Los envases no deben ser almacenados en condiciones que puedan acelerar la corrosión. Los envases deben ser almacenados en posición vertical y asegurados para prevenir las caídas. Los envases deben ser almacenados en lugares libres de riesgo de incendio y lejos de fuentes de calor e ignición. No permitir que la temperatura de almacenamiento alcance los 50 ° C (122 °F). Colocar señales "Se prohíbe fumar y usar el fuego abierto" en las áreas de almacenamiento.

Medidas técnicas/Precauciones: los recipientes deben ser separados en el área de almacenamiento según las distintas categorías (p.e.: inflamable, tóxico, etc.) y conforme a la reglamentación local.

### **5.7.3- Metano**

#### Generalidades

El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH<sub>4</sub>. Es un gas a temperatura ambiente, incoloro, inodoro, inflamable, no tóxico e insoluble en agua, ya que es una sustancia no polar.

Este gas se produce de forma natural por la descomposición de la materia orgánica. Los humedales, el ganado y la energía son las principales fuentes que emiten metano a la atmósfera, donde actúa como gas de efecto invernadero.

El metano es además uno de los principales componentes del gas natural. Se extrae fundamentalmente de yacimientos y se utiliza como combustible y con fines industriales.

El gas natural lo contiene en diversas proporciones según el yacimiento de donde es extraído, desde el 83 % al 97 %. El gas natural comercializado es mayoritariamente metano con algunos otros hidrocarburos añadidos en pequeña proporción, como etano, propano, butano y algo de nitrógeno. En las minas de carbón se le llama grisú y es muy peligroso, ya que es fácilmente inflamable y explosivo. No obstante, en las últimas décadas ha cobrado importancia la explotación comercial del gas metano de carbón como fuente de energía.

El metano es un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra, ya que tiene un potencial de calentamiento global de 23. Esto significa que en una medida de tiempo de 100 años cada kilogramo de este gas calienta la Tierra 23 veces más que la misma masa de dióxido de carbono. Sin embargo, hay aproximadamente 220 veces más CO<sub>2</sub> en la atmósfera de la Tierra que metano por lo que este último contribuye de manera menos importante al efecto invernadero.

#### Propiedades fisicoquímicas

<b>METANO - Propiedades Fisicoquímicas</b>	
<b>Densidad relativa del gas (aire = 1)</b>	0,6
<b>Fórmula química</b>	CH <sub>4</sub>
<b>Peso molecular</b>	16 g/ mol
<b>Límite explosivo inferior</b>	5 % V
<b>Límite explosivo superior</b>	15 % V
<b>Punto de ebullición</b>	-161 °C
<b>Punto de fusión</b>	-183 °C
<b>Solubilidad en agua</b>	33 ml/l
<b>Temperatura de autoignición</b>	537 °C

Tabla 8: Propiedades Fisicoquímicas del Metano. Fuentes: programa de simulación PRO II; Textoscientíficos.com

## Toxicidad

El metano no es tóxico. Su principal peligro para la salud son las quemaduras que puede provocar si entra en ignición. Es altamente inflamable y puede formar mezclas explosivas con el aire. El metano reacciona violentamente con agentes oxidantes, halógenos y algunos compuestos halogenados.

Es asfixiante y puede desplazar al oxígeno en un espacio cerrado. La asfixia puede sobrevenir si la concentración de oxígeno se reduce por debajo del 19,5 % por desplazamiento. Las concentraciones a las cuales se forman las barreras explosivas o inflamables son mucho más pequeñas que las concentraciones en las que el riesgo de asfixia es significativo. Si hay estructuras construidas sobre o cerca de vertederos, el metano desprendido puede penetrar en el interior de los edificios y exponer a los ocupantes a niveles significativos de metano. Algunos edificios tienen sistemas por debajo de sus cimientos para capturar este gas y expulsarlo del edificio.

## Riesgos

Clasificación Según SGA:



Indicación de peligro:

H220: Gas extremadamente inflamable.

H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

## **Otros peligros**

Gas a alta presión.

Puede causar asfixia rápida.

Extremadamente inflamable.

Puede formar mezclas explosivas con el aire.

Existe riesgo de ignición inmediata y de explosión en mezclas con aire en concentraciones que exceden al límite de inflamabilidad.

Evitar inhalación de gases.

## **Control de exposición - protección personal**

Inhalación: en caso de dificultad respiratoria, suministrar oxígeno. Salir al aire libre. Si la respiración es dificultosa o se detiene, proporcione respiración asistida. Si se detiene el corazón, el personal capacitado debe comenzar de inmediato la reanimación cardiopulmonar. Buscar asistencia médica inmediata.

Efectos agudos previstos: la exposición a atmósferas con deficiencia de oxígeno puede causar los siguientes síntomas: vértigo, salivación excesiva, náuseas, vómitos, pérdida de movilidad, inconciencia y puede llegar hasta la muerte.

Protección de quienes brindan los primeros auxilios: se sugiere que en actuaciones frente a emergencias se cuente con monitor de atmósferas, esto para evaluar la presencia de gases inflamables (Hidrógeno) y las concentraciones de oxígeno. Si las concentraciones de oxígeno son inferiores a un 19,5 %, se recomienda que el personal de emergencia este dotado de equipos de respiración autónomo.

## **Medidas para combate contra incendios**

Agentes de extinción: usar medios de extinción adecuados para el incendio.

Agentes de extinción inapropiados: Dióxido de carbono.

Productos que se forman en la combustión y degradación térmica: la combustión incompleta puede formar monóxido de carbono.

Peligros específicos asociados: ante la exposición al calor intenso o fuego, el cilindro se vaciará rápidamente y/o se romperá violentamente. Mantener los envases y los alrededores fríos con agua pulverizada. Inflamable por electricidad estática. Arde con llama invisible. El gas es más ligero que el aire y puede acumularse en las partes altas de espacios cerrados.

Métodos específicos de extinción: extinguir el incendio solo cuando la fuga de gas pueda ser detenida. Si es posible, cortar la fuente de gas y dejar que el incendio se extinga por sí solo. Se puede producir la reignición espontánea. Alejarse del envase y enfriarlo con agua desde un lugar protegido. Mantener fríos los cilindros adyacentes mediante pulverización con gran cantidad de agua hasta que el fuego se extinga por sí solo.

Precauciones para el personal de emergencia: en espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma. Vestimenta y equipo de protección estándar para bomberos.

Equipos de protección personal para el combate del fuego: vestimenta estándar de bomberos (incluido equipo de respiración autónomo).

### **Medidas para controlar derrames/fugas**

Precauciones personales: evacuar el personal a zonas seguras. Retirar todas las fuentes de ignición del área.

Equipo de protección: vestimenta estándar de bomberos (incluido equipo de respiración autónomo).

Procedimiento de emergencia: nunca entrar en un espacio confinado u otra área, donde la concentración del gas inflamable es superior al 10% de su nivel inferior de inflamabilidad. Ventilar la zona y realizar monitoreos atmosféricos permanentes.

Precauciones para la protección del medio ambiente: no descargar dentro de ningún lugar donde se acumulación pudiera ser peligrosa. No debe liberarse en el medio ambiente. Impedir nuevos escapes o derrames de forma segura.

Métodos y material para la contención: ventilar la zona. Acercarse cuidadosamente a las áreas sospechosas de haber fugas.

Medidas adicionales de prevención de desastres: aumentar la ventilación en el área de liberación del gas y controlar las concentraciones. Si la fuga tiene lugar en el cilindro o en su válvula, llamar al número de emergencia de Indura S.A. Si la fuga tiene lugar en la instalación del usuario, cerrar la válvula del cilindro, ventear la presión con seguridad y purgar el cilindro con gas inerte antes de intentar realizar reparaciones.

### **Medidas para la manipulación y el almacenamiento**

#### Manipulación

Precauciones para la manipulación segura: puede incendiarse si la válvula se abre en contacto con el aire. Disponer de ventilación adecuada. Proteger los cilindros contra daños físicos; no tirar, no rodar, ni dejar caer. La temperatura en las áreas de almacenamiento no debe exceder los 50°C. Los gases comprimidos o líquidos criogénicos sólo deben ser manipulados por personas con experiencia y debidamente capacitadas. Antes de usar el producto, identificarlo leyendo la etiqueta. Para la manipulación de cilindros se deben usar, también para distancias cortas, carretillas destinadas al transporte de cilindros. No quitar el protector de seguridad de la válvula hasta que el cilindro no esté sujeto a la pared, mesa de trabajo o plataforma, y listo para su uso. Asegurarse antes del uso de que no existan fugas en el sistema de gas. Abrir la válvula lentamente. Cerrar la

válvula del envase después de cada uso y cuando esté vacío, incluso si está conectado al equipo. No someta los recipientes a sacudidas mecánicas anormales. Nunca intente levantar el cilindro/envase por el protector de la válvula. Usar siempre válvulas anti-retorno en las tuberías. Purgar el aire del sistema antes de introducir el gas. Nunca usar fuego directo o calentadores eléctricos para aumentar la presión en el envase. Asegúrese que el equipo está adecuadamente conectado a tierra. Manténgase lejos de materias combustibles. Todo equipo eléctrico en áreas de almacenamiento debe ser compatible con los materiales inflamables almacenados.

### Almacenamiento

Condiciones para el almacenamiento seguro: los envases deben ser almacenados en un lugar especialmente construido y bien ventilado, preferiblemente al aire libre. Deben ser controlados periódicamente en cuanto a su estado general y fugas. Proteger los envases almacenados al aire libre contra la corrosión y las condiciones atmosféricas extremas. Deben ser almacenados en posición vertical y asegurados para prevenir las caídas. Las válvulas de los contenedores deben estar bien cerradas y donde sea necesario, las salidas de las válvulas deben ser protegidas con tapas. Los envases deben ser almacenados en lugares libres de riesgo de incendio y lejos de fuentes del calor e ignición. Los cilindros llenos se deben separar de los vacíos. No permitir que la temperatura de almacenamiento alcance los 50°C (122 °F). Prohibido fumar en las zonas de almacenamiento o durante la manipulación de productos o los envases. La cantidad almacenada de gases inflamables o tóxicos debe ser mínima. Devolver los envases una vez que se desocupen. Manténgase lejos de materiales combustibles. Todo equipo eléctrico en áreas de almacenamiento debe ser compatible con los materiales inflamables almacenados.

Material de envase y /o embalaje: el Metano se almacena de forma segura dentro de cilindros.

## **5.7.4- Nitrógeno**

### Generalidades

El nitrógeno molecular N<sub>2</sub> es una molécula diatómica homonuclear formada por dos átomos de nitrógeno que se unen mediante un enlace triple de tipo covalente.

Es un gas a condiciones normales de presión y temperatura, inerte, no metal, incoloro, inodoro e insípido que constituye aproximadamente las cuatro quintas partes del aire atmosférico, si bien no interviene en la combustión ni en la respiración. Condensa a 77 K y solidifica a 63 K empleándose comúnmente en aplicaciones criogénicas. No es buen conductor de la electricidad ni del calor.

En estado combinado, el nitrógeno se presenta en diversas formas. Es constituyente de todas las proteínas (vegetales y animales), así como también de muchos materiales orgánicos. Su principal fuente mineral es el nitrato de sodio.

Gran parte del interés industrial en el nitrógeno se debe a la importancia de los compuestos nitrogenados en la agricultura y en la industria química; de ahí la importancia de los procesos para convertirlo en otros compuestos. El nitrógeno también se usa cuando se requiere una atmósfera relativamente inerte.

#### Propiedades fisicoquímicas

<b>NITRÓGENO - Propiedades Fisicoquímicas</b>	
<b>Densidad a 20 °C</b>	1,2506 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad relativa del gas (aire = 1)</b>	0,9672
<b>Fórmula química</b>	N <sub>2</sub>
<b>Peso molecular</b>	28 g/ mol
<b>Presión crítica</b>	33,5 atm
<b>Punto de ebullición</b>	-196 °C
<b>Punto de fusión</b>	-210 °C
<b>Solubilidad en agua a 25 °C</b>	14,34 cm <sup>3</sup> /l
<b>Temperatura crítica</b>	-147 °C

Tabla 9: Propiedades Fisicoquímicas del Nitrógeno. Fuentes: programa de simulación PRO II; Textoscientíficos.com

#### Toxicidad

El nitrógeno, componente más abundante de nuestra atmósfera (78%), es un gas prácticamente inerte, es decir, que su capacidad de reaccionar con otras moléculas es casi nula.

Este compuesto no es tóxico. Sin embargo, al ser su densidad cercana a la del aire, el nitrógeno lo desplaza (bastan 24 gramos de nitrógeno para desplazar 22.4 L de aire). Si una persona no tiene el cuidado suficiente, la inhalación de nitrógeno puede provocar mareos, desmayos o problemas respiratorios más severos, pues el oxígeno se ve totalmente desplazado.

## Riesgos



### Clasificación GHS:

H280. Gases a presión - Gases comprimidos. Peligro de explosión en caso de calentamiento.

No clasificada como mezcla/sustancia peligrosa.

Gas asfixiante simple - Puede causar asfixia por desplazamiento de oxígeno ya sea en espacios confinados o no (venteos a la atmósfera, etc.). La víctima puede no tener tiempo disponible para reaccionar. Por ser un gas inodoro, la víctima no percibe su presencia.

Consejos de prudencia - Almacenamiento: P403, almacenar en lugar bien ventilado.

### **Medidas para primeros auxilios**

Inhalación: los rescatistas deben estar provistos de equipos de respiración autónomos. Retirar a la víctima del área afectada y trasladarla a un lugar ventilado tan pronto como sea posible; mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar un médico de inmediato. En caso de detenerse la respiración, personal capacitado deberá aplicar RCP.

Síntomas y efectos agudos y retardados: a elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima puede no haberse dado cuenta de la asfixia.

### **Medidas para combatir incendios**

Medios de extinción adecuados: se pueden utilizar todos los extintores conocidos

Métodos específicos: si es posible, detener la fuga de producto. Coordinar las medidas antiincendios con el incendio circundante. Enfriar los envases dañados con chorro de agua pulverizada desde una posición protegida. Luchar contra el fuego a distancia, dado el riesgo de explosión.

Peligros Específicos: la exposición al fuego puede causar la rotura o explosión de los recipientes.

Equipo de protección especial para la actuación en incendios: en espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva (ERA).

### **Medidas en caso de derrame**

Precauciones personales, equipamiento de protección y procedimientos de emergencia: intentar parar la fuga. Evacuar el área. Salvo que esté probado que la atmósfera es segura, utilizar equipos de respiración autónoma. Asegurar la adecuada ventilación de aire. Evacuar el personal no necesario.

Precauciones para la protección del medio ambiente: intentar parar la fuga.

Métodos de limpieza: ventilar la zona.

### **Manipulación y almacenamiento**

General: solo personas experimentadas y debidamente entrenadas deben manejar gases sometidos a presión. El producto debe ser manipulado acorde con una buena higiene industrial y los procedimientos de seguridad. Utilizar sólo en equipos apropiados para este producto y para su presión y temperatura de suministro. No fumar cuando se manipule el producto. Comprobar que el conjunto de la instalación del gas ha sido, o es con regularidad, revisado antes de usarse para evitar escapes.

#### Manipulación

Debe prevenirse la filtración de agua al interior del recipiente. Proteger las botellas de los daños materiales, no arrastrar, rodar, deslizar ni dejar caer. Si mueve botellas, incluso en pequeños recorridos, use una carretilla. Mantener colocada la protección (tulipa) de la válvula hasta que el envase esté dispuesto para su uso quedando fijo contra una pared, una mesa de trabajo o situado en una plataforma. Mantener los accesorios de las válvulas libres de contaminantes, especialmente aceites y agua. Cierre la válvula del envase después de cada uso y cuando se quede vacío. No intentar nunca trasvasar gases de una botella/envase a otra. No utilizar nunca mecanismos con llamas o de calentamiento eléctrico para elevar la presión de la botella.

#### Almacenamiento

Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado. Los envases deben ser almacenados en posición vertical y debidamente asegurados para evitar su caída. Los envases almacenados deben ser comprobados periódicamente respecto a su estado general y a sus posibles fugas. Las protecciones de las válvulas y las tulipas deben estar siempre colocadas. Almacenar los envases en un lugar libre de riesgo de incendio y lejos de fuentes

de calor e ignición. Mantener alejado de materiales combustibles. Los envases no deben ser almacenados en condiciones que favorezcan la corrosión.

Protección personal: guantes, zapatos y gafas de seguridad.

### 5.7.5- Furfural

#### Generalidades

El compuesto químico furfural es un derivado de varios subproductos de la agricultura. Se obtiene por hidrólisis de los pentosanos a pentosas y deshidratación de estas últimas. También se obtiene a partir del quebracho.

Es un aldehído aromático, con una estructura en anillo. Su fórmula química es  $C_5H_4O_2$ . En estado puro, es un líquido aceitoso incoloro con olor a almendras, en contacto con el aire rápidamente pasa a amarillo.

El furfural polimeriza con fenol, acetona, urea y consigo mismo en presencia de ácidos.

#### Propiedades fisicoquímicas

<b>FURFURAL - Propiedades Fisicoquímicas</b>	
<b>Densidad a 20 °C</b>	1160 kg/m <sup>3</sup>
<b>Punto de inflamabilidad</b>	62 °C
<b>Fórmula química</b>	$C_5H_4O_2$
<b>Peso molecular</b>	96 g/ mol
<b>Presión crítica</b>	54,3 atm
<b>Punto de ebullición</b>	162 °C
<b>Punto de fusión</b>	-36,5 °C
<b>Temperatura de autoignición</b>	315 °C
<b>Temperatura crítica</b>	397 °C

Tabla 10: Propiedades Fisicoquímicas del Furfural. Fuentes: programa de simulación PRO II; Textoscientíficos.com

#### Toxicidad

El efecto tóxico del furfural en humanos es fundamentalmente: irritante de vías respiratorias, dérmico y ocular (a temperatura de 25 °C, presenta un riesgo limitado de toxicidad).

Puede causar efectos tóxicos si es inhalado o ingerido. El contacto con la sustancia puede causar quemaduras graves en la piel y ojos. El fuego producirá gases irritantes, corrosivos y/o tóxicos. Los vapores pueden causar mareo o sofocación. Escapes al control del fuego o diluido en agua puede causar contaminación.

Los trabajadores crónicamente expuestos al vapor se han lamentado de dolor de cabeza, cansancio, picor de garganta, lagrimeo, pérdida del sentido del gusto, insensibilidad de la lengua y temblores. La sobre exposición ocupacional es relativamente rara debido a la baja presión de vapor del líquido y los síntomas desaparecen normalmente con rapidez después de evitar la exposición.

### Riesgos

Elementos de la etiqueta:



Palabra de advertencia: PELIGRO.

Peligros para la salud:

- H301 - Toxicidad aguda oral
- H312 - Toxicidad aguda cutánea
- H330 - Toxicidad aguda por inhalación – Vapores
- H315 - Corrosión o irritación cutáneas
- H319 - Lesiones o irritación ocular graves
- H351 – Carcinogenicidad
- H335 - Toxicidad específica del órgano blanco

Indicaciones de peligro:

- H226 - Líquidos y vapores inflamables
- H301 - Tóxico en caso de ingestión
- H312 - Nocivo en contacto con la piel

H330 - Mortal en caso de inhalación

H315 - Provoca irritación cutánea

H319 - Provoca irritación ocular grave

H335 - Puede irritar las vías respiratorias

H351 - Se sospecha que provoca cáncer

Consejos de prudencia:

Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.

EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: lavar con agua y jabón abundantes.

EN CASO DE INHALACIÓN: transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar.

EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.

Mantener alejado del calor, superficies calientes, chispas llamas al descubierto y otras fuentes de ignición. No fumar.

### **Medidas de primeros auxilios**

Consejo general: si persisten los síntomas, llamar a un médico.

Contacto con los ojos: enjuagar inmediatamente con abundante agua, también bajo los párpados, durante al menos 15 minutos. Mantener el ojo bien abierto durante el enjuague. Se necesita atención médica inmediata.

Contacto con la piel: lavar inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos. Se necesita atención médica inmediata.

Ingestión: llamar inmediatamente a un médico o a un centro de información toxicológica. Limpiar la boca con agua y beber a continuación abundante agua. No inducir el vómito sin asistencia médica. Nunca dar nada por boca a una persona inconsciente.

Inhalación: transportar a la víctima al exterior. No utilizar el método boca a boca si la víctima ha ingerido o inhalado la sustancia; administrar la respiración artificial con ayuda de una mascarilla. Se necesita atención médica inmediata.

Utilizar el equipo de protección individual obligatorio.

Principales síntomas y efectos, agudos y retardados: dificultades respiratorias. Pueden ser síntomas de sobreexposición cefalea, mareos, cansancio, náuseas y vómitos.

### **Medidas de lucha contra incendios**

Medios de extinción apropiados: agua pulverizada, dióxido de carbono, productos químicos secos, espuma resistente al alcohol. Puede utilizarse niebla de agua para enfriar los contenedores cerrados.

Peligros específicos derivados de la sustancia o de la mezcla material combustible: los contenedores pueden explotar si se calientan. Inflamable. Los vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire. Los vapores se pueden desplazar hasta una fuente de ignición y producir el retroceso de la llama.

Productos de combustión peligrosos: monóxido de carbono, dióxido de carbono.

Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios: como en cualquier incendio, llevar un aparato de respiración autónomo de presión a demanda MSHA/NIOSH y todo el equipo de protección necesario. Su descomposición térmica puede dar lugar a la liberación de vapores y gases irritantes.

### **Medidas en caso de vertido accidental**

Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia: utilizar el equipo de protección individual obligatorio. Asegurar una ventilación adecuada. Mantener alejadas a las personas y en dirección contraria al viento en una fuga o vertido. Evacuar al personal a zonas seguras. Retirar todas las fuentes de ignición. Evítese la acumulación de cargas electroestáticas.

Precauciones relativas al medio ambiente: no debe liberarse en el medio ambiente. No arrojar a las aguas superficiales ni al sistema de alcantarillado. Prevenir más fugas o vertidos si se puede hacer de forma segura. Prevenir la penetración del producto en desagües.

Métodos y material de contención y de limpieza: absorber con material absorbente inerte. Mantener en contenedores cerrados aptos para su eliminación. Retirar todas las fuentes de ignición. Utilizar herramientas que no hagan chispas y un equipamiento a prueba de explosiones.

### **Manipulación y almacenamiento**

Manipulación: llevar equipo de protección individual/máscara de protección. Evitar el contacto con los ojos, la piel o la ropa. Mantener alejado de llamas

desnudas, superficies calientes y fuentes de ignición. Utilizar únicamente herramientas que no produzcan chispas. No respirar (el polvo, el vapor, la niebla, el gas). No ingerir. En caso de ingestión, buscar inmediatamente asistencia médica. Evítese la acumulación de cargas electroestáticas. Prestar atención al retorno de llama. No tomar internamente. Tomar medidas higiénicas (no comer, ni beber, ni fumar durante su utilización). Limpieza regular del equipo, del área de trabajo y de la indumentaria.

Almacenamiento seguro: mantener alejado del calor, chispas y llamas. Mantener los contenedores perfectamente cerrados en un lugar fresco, seco y bien ventilado.

### 5.7.6- Carbonato de Potasio

#### Generalidades

El carbonato de potasio es una sal blanca, soluble en agua (insoluble en alcohol), de fórmula química  $K_2CO_3$ . Forma soluciones alcalinas fuertes, o lo que es lo mismo, es una sal básica. Se suele formar como producto de la reacción química entre el hidróxido de potasio o potasa cáustica y el dióxido de carbono. Además, es una sustancia higroscópica, que aparece a menudo como un sólido a base de agua. Se usa normalmente para la fabricación de jabón y vidrio y es el componente principal de la potasa cáustica tal como se encuentra en la naturaleza.

#### Propiedades fisicoquímicas

<b>CARBONATO DE POTASIO - Propiedades Fisicoquímicas</b>	
<b>Densidad a 20 °C</b>	2290 kg/ m <sup>3</sup>
<b>Fórmula química</b>	$K_2CO_3$
<b>Peso molecular</b>	138 g/ mol
<b>Punto de fusión</b>	891 °C
<b>Solubilidad en agua a 20 °C</b>	1,12 g/ml

Tabla 11: Propiedades Fisicoquímicas del Carbonato de Potasio. Fuentes: programa de simulación PRO II; Textoscientíficos.com

#### Toxicidad

Elemento tóxico. Si entra en contacto con los tejidos, puede causar lesiones graves, como quemaduras o úlceras por contacto.

Los síntomas de una intoxicación por carbonato de potasio incluyen:

- Quemaduras y dolor intenso en la boca y garganta
- Hinchazón de la garganta, que lleva a dificultad respiratoria
- Salivación
- Dolor abdominal intenso
- Diarrea
- Dolor torácico
- Disminución rápida de la presión arterial (*shock*)
- Vómito, a menudo con sangre

Los síntomas por contacto de carbonato de potasio con la piel o los ojos incluyen:

- Ardor
- Dolor intenso
- Pérdida de la visión

Ingerir tóxicos puede tener efectos graves en muchas partes del cuerpo. Los daños en el esófago y el estómago se pueden continuar produciendo durante varias semanas después de haber ingerido el carbonato de potasio. Se puede presentar la muerte debido a las complicaciones, incluso varios meses más tarde. Los hoyos (perforaciones) en el esófago y el estómago pueden causar infecciones graves tanto en la cavidad torácica como la abdominal, lo que puede llevar a la muerte.

### Riesgos



Indicaciones de peligro:

H315 - Provoca irritación cutánea

H319 - Provoca irritación ocular grave

H335 - Puede irritar las vías respiratorias

Consejos de prudencia:

P280 - Llevar guantes/gafas de protección

EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: lavar con abundante agua

EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando

estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado. Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico

### **Medidas de primeros auxilios**

Quitar las prendas contaminadas. En caso de inhalación proporcionar aire fresco. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico. En caso de contacto con la piel aclararse la piel con agua/ducharse. En caso de irritaciones cutáneas, consultar a un dermatólogo. En caso de contacto con los ojos, mantener separados los párpados y enjuagar con abundante agua limpia y fresca por lo menos durante 10 minutos. En caso de irritación ocular consultar al oculista. En caso de ingestión, enjuagarse la boca. Llamar a un médico si la persona se encuentra mal.

Principales síntomas y efectos, agudos y retardados: náuseas, Irritación, vómitos, tos, ahogos.

### **Medidas de lucha contra incendios**

Medios de extinción apropiados: medidas coordinadas de lucha contra incendios en el entorno. Agua, espuma, espuma resistente al alcohol, polvo extinguidor seco, polvo ABC.

Medios de extinción no apropiados: chorro de agua.

Productos de combustión peligrosos: Monóxido de carbono, Dióxido de carbono.

Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios: en caso de incendio y/o de explosión no respire los humos. Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo.

### **Medidas en caso de vertido accidental**

Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: evitar el contacto con la piel, los ojos y la ropa. No respirar el polvo.

Precauciones relativas al medio ambiente: mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

Consejos sobre la manera de contener un vertido: cierre de desagües. Recoger mecánicamente.

Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido: recoger mecánicamente. Control del polvo.

## **Manipulación y almacenamiento**

### Manipulación

Precauciones para una manipulación segura: prever una ventilación suficiente. Evitar la producción de polvo.

Medidas de prevención de incendios, así como las destinadas a impedir la formación de partículas en suspensión y polvo: eliminación de depósitos de polvo.

Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo: lavar las manos antes de las pausas y al fin del trabajo. Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.

### Almacenamiento

Almacenar en un lugar seco. Mantener el recipiente herméticamente cerrado. Utilización de ventilación local y general. Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento.

Temperatura recomendada de almacenamiento: 15 – 25 °C.

## **5.7.7- Dióxido de carbono**

Adicionalmente presentamos los riesgos del Dióxido de Carbono, sustancia que no califica como materia prima pero que está presente en el proceso.

Clasificación Según SGA



Indicación(es) de peligro:

H281: contiene gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.

## Consejos de Prudencia

- Prevención: P282: usar guantes aislantes contra el frío y equipo de protección para la cara o los ojos.
- Respuesta: P336+P315: descongelar las partes congeladas con agua tibia. No frotar la parte afectada. Buscar asistencia médica inmediata.
- Almacenamiento: P403: almacenar en un lugar bien ventilado.

## Primeros auxilios

A elevadas concentraciones puede causar asfixia. Los síntomas pueden incluir la pérdida de la consciencia o de la movilidad. La víctima no siente la asfixia. Retirar a la víctima a un área no contaminada llevando colocado el equipo de respiración autónoma. Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al doctor. Aplicar la respiración artificial si se para la respiración.

## Medidas para derrames accidentales

Evacuar la zona. Procure una ventilación adecuada. Prevenir la entrada en alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o cualquier lugar donde su acumulación pueda ser peligrosa. Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área a menos que esté probado que la atmósfera es segura. EN 137 Equipos de protección respiratoria - Dispositivos autónomos de circuito abierto de aire comprimido para aparato de respiración con máscara completa - requisitos, ensayos, marcado.

Impedir nuevos escapes o derrames de forma segura.

Procure una ventilación adecuada. Las fugas de líquido pueden producir fragilidad en materiales estructurales.

## Medida de lucha contra incendios

Riesgos Generales de Incendio: el calor puede ocasionar explosión de los recipientes. El material no se quemará. En caso de incendio en los alrededores: utilizar un agente de extinción apropiado.

## Almacenamiento

Los envases no deben ser almacenados en condiciones que puedan favorecer la corrosión del recipiente. Los recipientes deben ser revisados periódicamente para garantizar unas correctas condiciones de uso y la inexistencia de fugas. Las protecciones de las válvulas deben estar en su lugar. Almacene los recipientes en lugares libres de riesgo de incendio y lejos de fuentes de calor e ignición. Manténgase lejos de materias combustibles.

## **5.8- Proveedores**

### **Etileno**

El Etileno por contrato provendrá de PBB Polisur S.A. La empresa produce Polietileno de alta densidad, de baja densidad convencional y de baja densidad lineal. Es por esto por lo que tienen una gran producción de Etileno, que no sólo utilizan como materia prima, sino que, además, comercializan. Su capacidad instalada alcanza las 700.000 toneladas/año.

PBB Polisur S.A. está ubicada dentro del Polo Petroquímico Bahía Blanca, hecho que simplifica el transporte del Etileno, que será llevado a cabo por canalización.

Para la producción de Etilenglicol se requieren 33264 t/a de este producto.

### **Oxígeno**

El Oxígeno será adquirido en su forma comprimida mediante la compra a Air Liquide, una empresa internacional que produce y comercializa gases para la industria, la salud y el medio ambiente. Ofrece una amplia gama de soluciones tecnológicas e innovadoras adaptadas a las necesidades de cada cliente, con el objetivo de mejorar la productividad de sus procesos y reducir el impacto medioambiental.

Están presentes en el Polo Petroquímico Bahía Blanca, por lo que el suministro será mediante canalización.

Serán necesarias 38016 t/a de Oxígeno.

### **Furfural**

Este producto será adquirido mediante la compra a SilvaTeam, Indunor S.A., empresa argentina que produce taninos vegetales usando la madera de quebracho como materia prima y, además, furfural y alcohol furfurilico.

Están ubicados en Retiro, Ciudad de Buenos Aires, Calle Cerrito 1136.

Se requieren unas 6 toneladas de Furfural.

### **Carbonato de Potasio**

Para este producto se eligió la marca Biopack® Your Chemical Support, de la empresa Sistemas Analíticos S.A., vendedora de una amplia variedad de productos químicos.

Están ubicados en Av. Díaz Vélez 4562, CABA.

Se requieren 12.5 toneladas de Carbonato de Potasio, solución al 30%.

### **Metano**

Se utilizará gas de red. Se requieren 26.6 toneladas de Metano. El proveedor será Camuzzi.

### **Agua**

Se requerirán 10.8 toneladas. Se tomará del Parque Industrial Bahía Blanca.

## 6- LOCALIZACIÓN

### 6.1- Introducción

#### Factores que influyen en la ubicación de una planta industrial

El objetivo de este análisis es seleccionar la localización más apropiada para la instalación de la nueva planta. Se desarrollará el Método de las Puntuaciones Ponderadas, el cual considera los factores que permiten llevar a un mínimo los costos operativos y de transporte.

Los factores que se analizarán son: disponibilidad de materia prima, disponibilidad de mano de obra, cercanía con el mercado, servicios de comunicación, servicios auxiliares, impuestos, estudios de clima y suelo, y requisitos legales.

En un principio, consideraremos como prioridad para hacer una primera selección de sitios la cercanía a la materia prima. Esto se debe a que el Etileno no es almacenable, por lo que, obligatoriamente, la planta de Monoetilenglicol debe estar próxima a una instalación que produzca Etileno.

### 6.2- Macro Localización

La localización de una planta es un factor tan influyente que hasta puede determinar la viabilidad del proyecto. Es por esto por lo que es importante hacer un análisis profundo y criterioso.

Uno de los factores de mayor implicancia en una planta de Etilenglicoles es el traslado de la materia prima. El etileno es altamente reactivo, con un alto riesgo de incendio explosivo. Esto imposibilita el traslado vía terrestre por medio de camiones o trenes y vía naval en buques de carga, quedando como única opción segura y viable la alimentación directa al proceso, a través de ductos.

De esta manera, la macro localización queda restringida a aquellas zonas en las que existan plantas que produzcan el etileno a gran escala.

En el territorio argentino hay dos grandes productores de etileno: PAMPA ENERGÍA S.A. y PBB Polisur S.A. A su vez, estos productores están ubicados en tres localizaciones.

PRODUCTOR	LOCALIZACIÓN	CAPACIDAD INSTALADA (t/a)
PAMPA ENERGÍA S.A.	San Lorenzo (Sta. Fe)	21000
	Pto. Gral. San Martín (Sta. Fe)	31000
PBB Polisor S.A.	Bahía Blanca (Bs. As.)	275000
	Bahía Blanca (Bs. As.)	425000

Tabla 12: Productores de Etileno. Fuente: Instituto Petroquímico Argentino - IPA

La siguiente ponderación pone en juego diferentes variables que afectan la implementación de la planta en San Lorenzo, Puerto General San Martín y Bahía Blanca.

	Ponderación	San Lorenzo (Sta. Fe)		Pto. Gral. San Martín (Sta. Fe)		Bahía Blanca (Bs. As.)	
		Clasificación	P x C	Clasificación	P x C	Clasificación	P x C
Disponibilidad de Materia Prima	20	5	100	5	100	10	200
Servicios Auxiliares	5	8	40	8	40	8	40
Mano de Obra Disponible	10	8	80	8	80	8	80
Cercanía del Mercado	20	3	60	3	60	10	200
Impuestos	15	8	120	5	75	9	135
Transporte	30	2	60	2	60	10	300
<b>Total</b>	<b>100</b>		<b>460</b>		<b>415</b>		<b>955</b>

Tabla 13: Ponderación de Macro localización. Elaboración propia.

Como puede observarse, el sitio más indicado es el **Polo Industrial Bahía Blanca**. A continuación, profundizaremos en las características de mayor implicancia a nuestro proyecto.

### 6.3- Factores primarios y específicos

#### Disponibilidad de mano de obra

Si bien el sector de la planta se corresponde con una zona industrial, posee un rápido acceso desde las zonas urbanas con mayor población. La ciudad de Bahía Blanca además cuenta, con mano de obra con una amplia experiencia en industrias químicas y petroquímicas de la zona y la Universidad Nacional del Sur, cuenta con profesionales formados en industria con experiencia en el complejo PLAPIQUI (Plantas pilotos para la industria Química).

## **Disponibilidad de materia prima e insumos**

El proceso requiere de dos componentes principales: etileno y oxígeno.

En cuanto al etileno, será comprado a PBB Polisor S.A., empresa con presencia en el polo industrial, y el abastecimiento a nuestra planta se hará a través de ductos, ya que el producto no puede ser almacenado.

El abastecimiento de oxígeno será a través de la empresa AIR LIQUIDE, que también tiene presencia en este polo y se hará igualmente por ductos.

## **Disponibilidad de servicios**

El Parque Industrial de Bahía Blanca ofrece a las empresas instaladas una importante infraestructura básica además de un conjunto de servicios de apoyo logístico y administrativo.

Los servicios que ofrece el complejo son:

### Infraestructura básica

- Drenaje pluvial
- Drenaje sanitario
- Pavimentación y señalización de calles internas
- Control de acceso, de personas y vehículos
- 1400 metros de cloacas
- 2200 metros de calle con cordón cuneta
- 2500 metros de acueducto
- Alumbrado público
- Espacios verdes
- Red de gas
- Red eléctrica
- Agua potable
- Red telefónica
- Acceso a internet

### Servicios de apoyo

- Incubadora de empresas
- Asociación de industriales
- Vigilancia permanente
- Oficinas de administración
- Oficina de negocios
- Mantenimiento de espacios comunes
- Cámaras de monitoreo
- Duchas y baños públicos

### **Suministro de gas**

Sobre la calle San Martín podemos localizar un gasoducto de 10" con el cual se abastecerá nuestra planta de gas.



*Ilustración 3: Gasoductos. Fuente: GEOINFRA*

### **Acceso al transporte**

La instalación cuenta con espacio suficiente para permitir el desplazamiento de camiones y otros medios de transporte, que permitan el ingreso y egreso de ésta. El ingreso al predio será mediante la calle San Martín, la cual se encuentra mejorada mediante un estabilizado granular por lo que no posee pavimento.

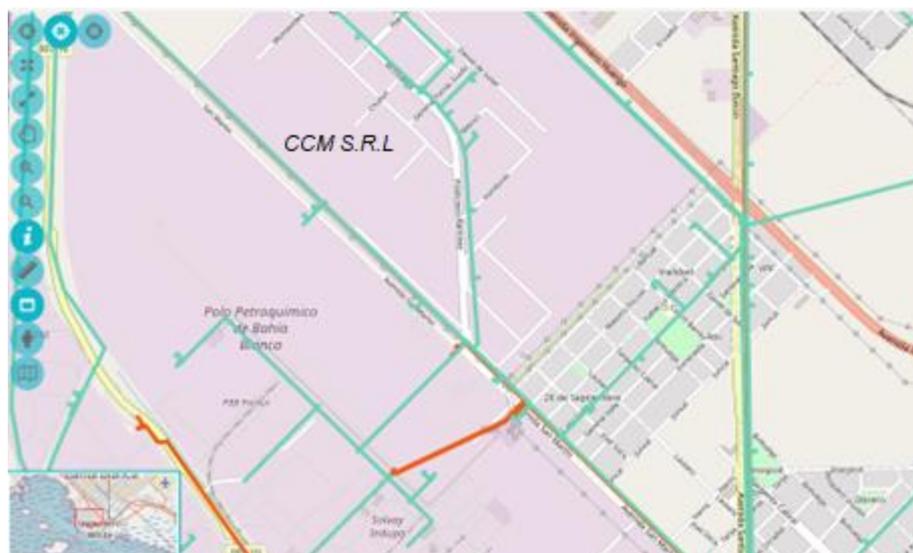


Ilustración 4: Pavimentos mejorados. Fuente: GEOINFRA

## Justificación

Queda definida, entonces, la macro localización de la planta de Monoetilenglicol, en el Parque Industrial Bahía Blanca, atendiendo a la información recientemente brindada y a los siguientes lineamientos:

1. PBB Polisor S.A., empresa con la cual firmamos un contrato a 20 años para la venta de nuestro producto, es, además, la mayor planta productora de etileno a nivel nacional. Por lo tanto, es quien tiene mayor disponibilidad para vendernos el producto como materia prima, lo que se traduce en una mayor producción de etilenglicol.
2. Por otro lado, los servicios auxiliares son similares en todos los parques industriales, así como también la mano de obra disponible, ya que todos los polos estudiados están cerca de grandes centros urbanos que cuentan, a su vez, con centros de formación profesional.
3. Otra gran ventaja de localizar la planta en Bahía Blanca es la cercanía del Mercado y el nulo costo de transporte, ya que el mismo polo industrial concentra tanto a los proveedores de nuestra materia prima como al cliente que absorberá el 100% de nuestra producción.
4. Por último, un factor no menor, son las ventajas impositivas que ofrece el polo Industrial Bahía Blanca.

## 6.4- Micro localización

El proyecto de construcción y operación de la planta de producción de etilenglicol se encuentra en la localidad de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires, Sobre la calle "SAN MARTÍN", sector Parque Industrial de la mencionada localidad.

El predio cuenta con una superficie total de 7849.61 m<sup>2</sup>, de los cuales **600 m<sup>2</sup>** serán destinados a la producción.

Georreferenciación: 38°45'35.43"S 62°17'32.41"O



*Ilustración 5: Ubicación del Parque Industrial Bahía Blanca. Fuente: Google Earth*

Según los datos obtenidos de la red CARTO ARBA el lote seleccionado se encuentra entre las calles SAN MARTÍN y JOSÉ SISCO (a ceder por el consorcio del parque industrial).

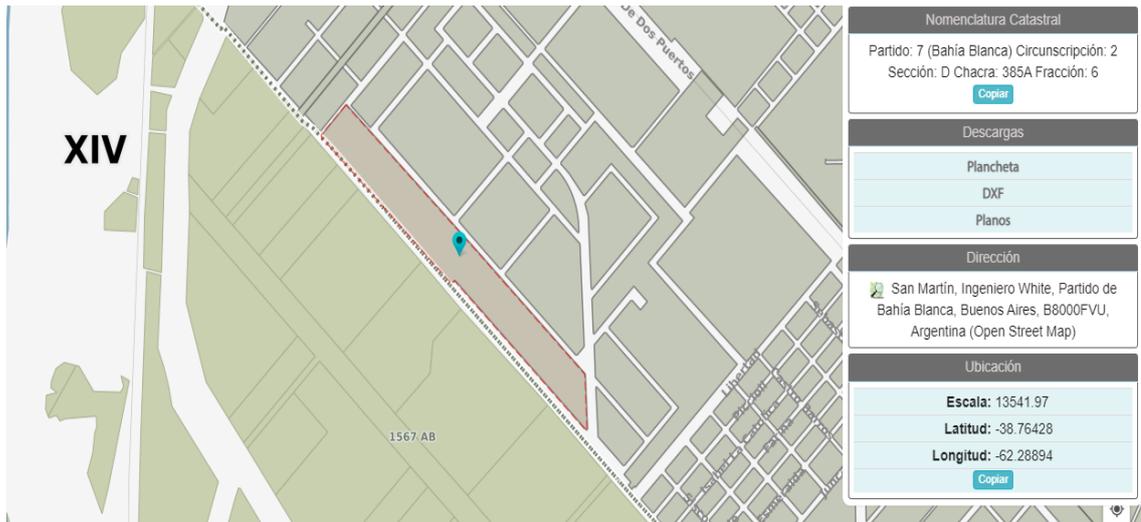


Ilustración 6: Ubicación del lote seleccionado. Fuente: CARTOARBA

PBB Polisor S.A. se encuentra a 200 m del predio seleccionado.



Ilustración 7: Ubicación de los proveedores. Fuente: Google Earth

## 6.4- Estudios de clima

El estudio de clima se centrará en la zona seleccionada para el emplazamiento del proyecto. Consideramos que para esta región existen tres factores climáticos de importancia: vientos, precipitaciones y temperaturas. De este modo, se continua con un análisis detallado de cada variable.

## Viento

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta es la velocidad de los vientos. Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de Bahía Blanca depende en gran medida de la topografía local.

La velocidad promedio del viento por hora en Bahía Blanca tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año. La parte más ventosa dura desde noviembre hasta marzo, con velocidades promedio del viento de más de 18.5 kilómetros por hora. El día más ventoso del año 2021 fue el 17 de diciembre, con una velocidad promedio del viento de 19.8 kilómetros por hora. El tiempo más calmado del año va desde marzo hasta noviembre. El día más calmado del año fue el 10 de mayo, con una velocidad promedio del viento de 17.2 kilómetros por hora.

Para determinar las estructuras que deben soportar nuestros equipos de proceso, se deben seguir los lineamientos de los vientos máximos históricos registrados en el último periodo 2011 a 2021, representado en el gráfico 1.

Se puede apreciar que en el año 2015 hubo un pico con ráfagas de viento de 140 km/h, siendo este año el récord del período.

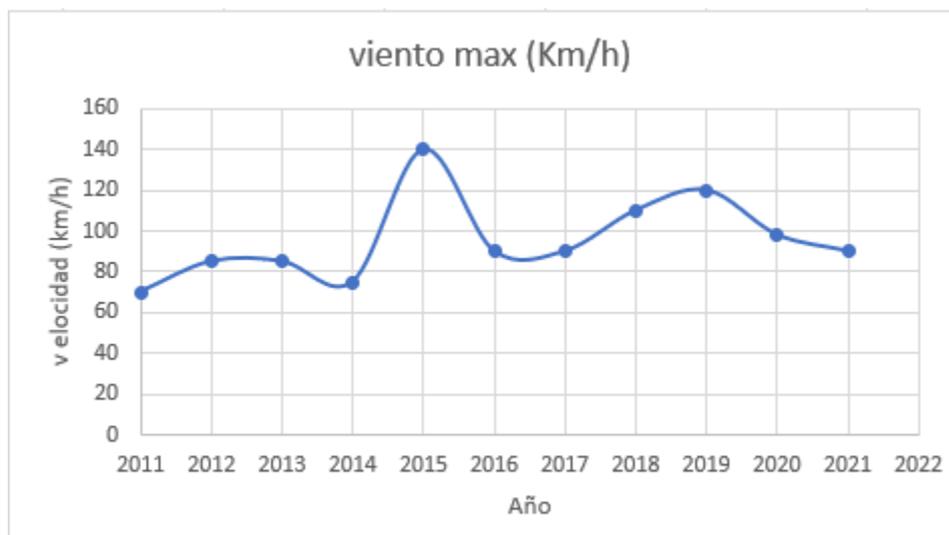


Ilustración 8: Velocidades máximas de viento - Período 2011-2021. Fuente: elaboración propia con material de MateoBlue

**Conclusiones:** se recomienda el análisis de desarrollo de ingeniería civil para la implementación de estructuras de soporte, teniendo en cuenta los casos excepcionales de vientos máximos antes descritos.

## Precipitaciones

Bahía Blanca posee un clima templado con temperaturas moderadas, precipitaciones escasas y de gran variabilidad. El promedio anual de lluvias es de unos 650 milímetros, en tanto que el registro mensual de precipitaciones presenta una elevada variabilidad. Las inundaciones pluviométricas son prácticamente desconocidas dado el marcado relieve hacia el mar. Las lluvias rara vez superan los 100 mm diarios, sin embargo, durante 2022 se registraron lluvias de 121 mm y 127 mm, siendo los máximos históricos.

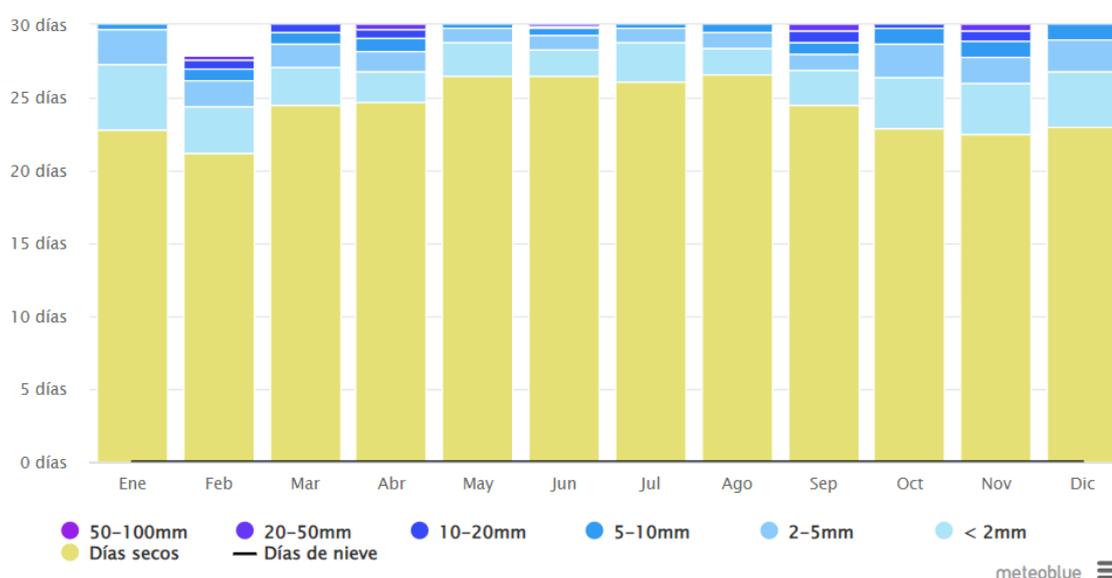


Ilustración 9: Registro de precipitaciones anuales. Promedio mensual. Fuente: MateoBlue

**Conclusión:** se recomienda el análisis de desarrollo de ingeniería civil para el tratamiento de desagües pluviales, teniendo en cuenta los casos excepcionales descritos.

## Temperatura

Los meses más calurosos abarcan desde diciembre hasta abril, llegando a picos de temperatura de 40°C. Durante enero del 2021 se registró un pico de 41°C. Los meses de mayo a septiembre suelen ser los más fríos, alcanzando temperaturas de -7°C en junio del 2015.

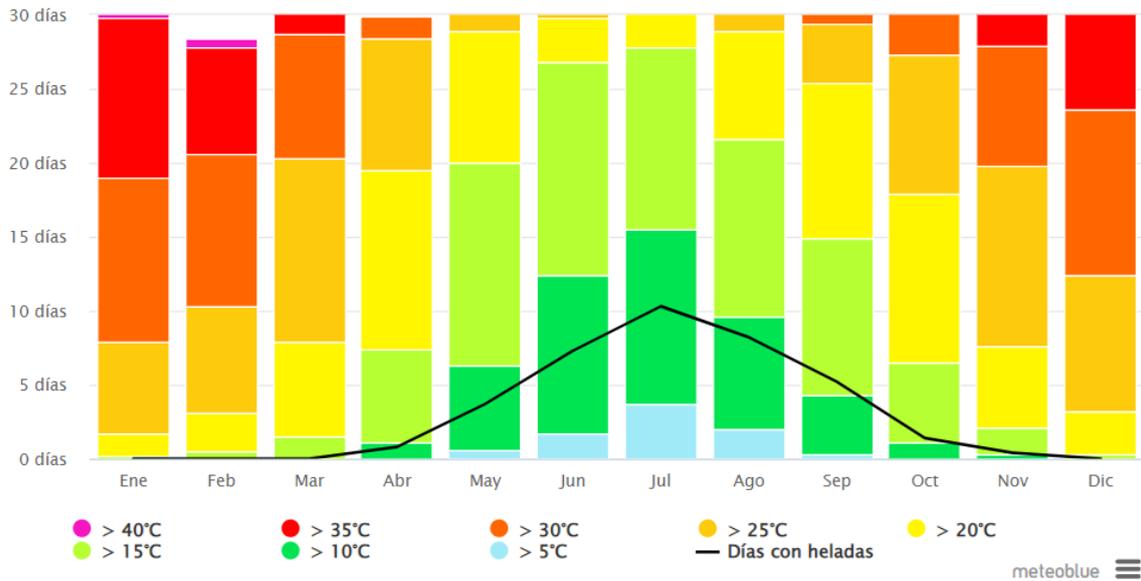


Ilustración 10: Registro de temperaturas anuales promedio. Período 2010- 2021. Fuente: MateoBlue

La siguiente figura muestra una ilustración compacta de las temperaturas promedio por hora de todo el año. El eje horizontal es el día del año, el eje vertical es la hora y el color es la temperatura promedio para ese día y a esa hora.

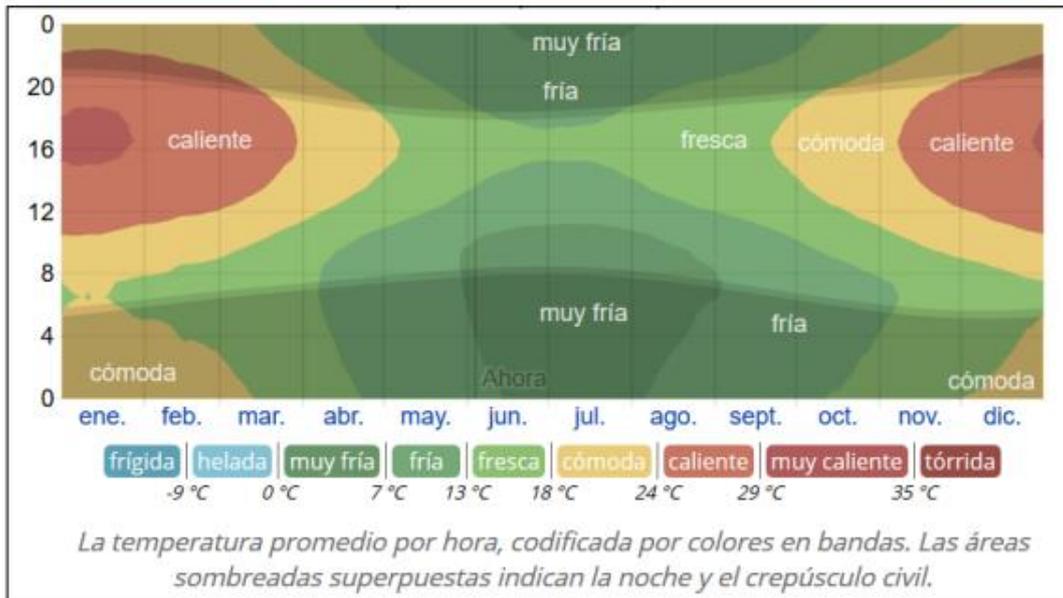


Ilustración 11: Temperatura promedio por hora. Fuente: Weatherspark.com

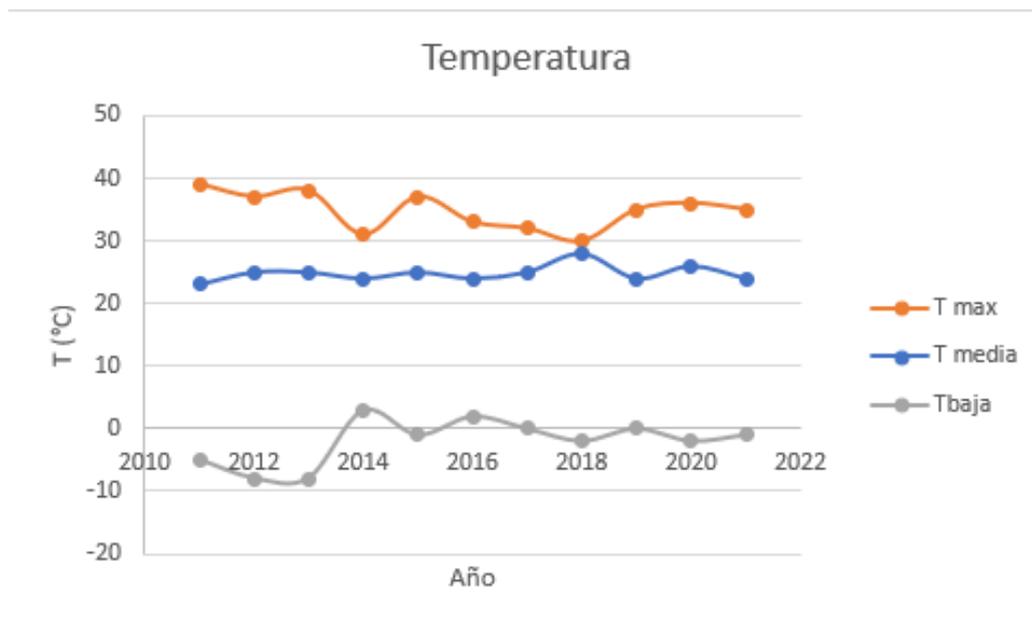


Ilustración 12. Fuente: Mateored

**Conclusión:** Bahía Blanca cuenta con una gran amplitud térmica a lo largo del año, lo que nos lleva a plantear varios sistemas para suplir los problemas ocasionados para la operación.

Para los días más calurosos del año se deberá contar con compresores capaces de mover una mayor cantidad de aire de enfriamiento, de modo que se logre un mejor resultado en la refrigeración del agua de proceso.

En cuanto a las épocas invernales, para sistemas que contengan agua de enfriamiento, se necesitarán encamisados de resistencia o vapor, para evitar la formación de hielo dentro de las cañerías. Estos sistemas estarían diseñados solo para funcionar en caso de emergencia.

## 6.6- Estudio de requisitos legales

Nivel	Reglamentación
Nacional	Constitución Nacional. Arts. 41: todos los habitantes a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano siguiendo la práctica de otras constituciones extranjeras y provinciales. Incluye obligación tradicional de reparación Ambiental del Código Civil (Artículo 1.077).

Nacional	<p>Constitución Nacional. Arts 43: legitima a los afectados para accionar por vía de amparo en defensa del derecho constitucional al ambiente.</p> <p>Constitución Nacional. Arts 124: las provincias el dominio originario de los recursos naturales, implica que tendrá facultades de tutela y legislativas sobre los mismos.</p> <p>Ley 25675. Ley General del Ambiente. Establece que toda actividad u obra que, en territorio de la nación, sea susceptible de degradar el ambiente o afectar la calidad de vida de la población, debe estar sujeta a un procedimiento de evaluación de impacto ambiental, previo a su ejecución.</p> <p>Ley 25.612: Gestión Integral de Residuos Industriales. Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional y derivados de procesos industriales o de actividades de servicios.</p> <p>Ley 24.051: Residuos peligrosos. Establece que toda planta de tratamiento y/o disposición final de residuos peligrosos deberá llevar un registro de operaciones permanente, en la forma que determine la autoridad de aplicación, el que deberá ser conservado a perpetuidad, aun si hubiere cerrado la planta.</p> <p>Ley 25.916 de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios. Establece que los residuos domiciliarios tienen que ser tratados de una manera especial para que no afecten el ambiente ni la calidad de vida de la población.</p> <p>Ley 25.688. Régimen de Gestión Ambiental de Aguas. Determina que para utilizar las aguas objeto de esta ley, se deberá contar con el permiso de la autoridad competente. En el caso de las cuencas interjurisdiccionales, cuando el impacto ambiental sobre alguna de las otras jurisdicciones sea significativo, será vinculante la aprobación de dicha utilización por el Comité de Cuenca correspondiente, el que estará facultado para este acto por las distintas jurisdicciones que lo componen.</p> <p>Código civil Art. 1113 Responsabilidad objetiva. “En los supuestos de daños causados con las cosas, el dueño o guardián, para eximirse de responsabilidad, deberá demostrar que de su parte no hubo culpa...”</p>
----------	---

Nacional	<p>Código civil Art. 1109 responsabilidad subjetiva. “Todo el que ejecuta un hecho, que por su culpa o negligencia ocasiona un daño a otro, está obligado a la reparación del perjuicio”</p> <p>Resolución 801/2015 de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo, dependiente del Ministerio de Producción y Trabajo.</p> <p>Se aprueba la implementación del sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA/GHS) en el ámbito laboral, cuyos contenidos y metodología de aplicación podrán ser consultadas en la página web de la superintendencia de riesgos del trabajo (S.R.T.).</p> <p>Resolución 295/2003 Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social, República Argentina– Controles de exposición ambiental.</p> <p>Se aprueban especificaciones técnicas sobre ergonomía y levantamiento manual de cargas, y sobre radiaciones.</p> <p>Resolución 844/2017 Superintendencia de Riesgos del Trabajo, Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social, República Argentina. Legisla sobre la Declaración Jurada que deben realizar los empleadores para su inscripción en el Sistema de Vigilancia y Control de Sustancias y Agentes Cancerígenos</p> <p>Leyes N° 19.587/72 y N° 24.557/95: Higiene y Seguridad en el Trabajo y Riesgos del Trabajo (ART). Evaluación e identificación de los diferentes riesgos físicos, químicos, biológicos y ergonómicos presentes en los sectores o puestos de trabajos a los que se encuentran expuesto personal, así también refiere al estudio de las condiciones concurrentes en las que se ejecutan las tareas.</p> <p>La Ley 24557, propone en su marco teórico la prevención de los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, además de asegurar al trabajador adecuada atención médica en forma oportuna, procurando su restablecimiento.</p> <p>Decreto 911/96 Reglamentario de la Ley 19587/72 para el ámbito de la construcción. Define los requerimientos mínimos en el ámbito de la construcción</p>
----------	---

<p>Nacional</p>	<p>Res. 905/15 Establézcanse las funciones que deberán desarrollar los servicios de Higiene y Seguridad en el trabajo y de Medicina del trabajo</p> <p>Res. 230/03 SRT: Obligación de los empleadores asegurados y de los empleadores auto asegurados de denunciar todos los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales a su ART y a la SRT.</p> <p>Res. 84/12: Apruébese el Protocolo para la medición de iluminación en el ambiente laboral.</p> <p>Res. 85/12: Apruébese Protocolo para la medición del nivel de ruido en el ambiente laboral.</p> <p>Res. 900/15: Apruébese Protocolo para la Medición del valor de puesta a tierra y la verificación de la continuidad de las masas en el Ambiente Laboral.</p> <p>Res. 886/15: Apruébese Protocolo de Ergonomía.</p> <p>Res 299/2011: Adóptense las reglamentaciones que procuren la provisión de elementos de protección personal trabajadores y EEP certificados.</p> <p>Las condiciones básicas de Higiene y Seguridad que se deben cumplir en una obra en construcción desde el comienzo de esta serán las siguientes:</p> <p>a) Instalación de baños y vestuarios adecuados. b) Provisión de agua potable. c) Construcción de la infraestructura de campamento (en caso de ser necesario) y todo lo estipulado en el Capítulo 5 “Infraestructura de obra” del Dec. 911/96</p>
<p>Provincial</p>	<p>Ley Provincial 11.459 “Ley de radicación ambiental” Determina que los establecimientos industriales que se encuentren dentro de la jurisdicción de la Provincia de Buenos Aires deberán contar con el pertinente Certificado de Aptitud Ambiental como requisito obligatorio indispensable para que las autoridades municipales puedan conceder las correspondientes habilitaciones industriales.</p> <p>Decreto Nº 531. Detalla el procedimiento de trámite y expedición del Certificado de Aptitud Ambiental. El mismo va a variar</p>

Provincial	<p>dependiendo de cómo encaje la industria dentro la clasificación desarrollada en el decreto que determina, mediante el nivel de complejidad ambiental, la categoría del establecimiento industrial.</p> <p>Ley Provincial 13.656: Exención de impuestos Provinciales, Inmobiliario, Ingresos Brutos, Sellos, Automotores. Beneficios con el Fondo de Garantías de la Provincia de Buenos Aires (FOGABA).</p> <p>Ley N° 11.720 “Ley de Generación, Manipulación, Almacenamiento, Transporte, Tratamiento y Disposición final de Residuos Especiales. Reducir la cantidad de residuos especiales generados, minimizar los potenciales riesgos del tratamiento, transporte y disposición de estos y promover la utilización de las tecnologías más adecuadas, desde el punto de vista ambiental.</p> <p>Ley N° 11.723. Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Establece que aquellas obras o actividades que sean susceptibles de producir algún efecto negativo al ambiente de la Provincia de Buenos Aires y/o sus recursos naturales, deberán obtener una declaración de impacto ambiental expedida por la autoridad ambiental provincial o municipal.</p> <p>Ley N° 14370 Registro de Establecimientos Industriales. Instaure que todos los establecimientos industriales radicados o a radicarse en el ámbito territorial de la Provincia de Buenos Aires, deberán empadronarse inscribiéndose en el Registro Ambiental de Establecimientos Industriales de la Provincia de Buenos Aires, que contendrá la totalidad de las declaraciones juradas relativas al empadronamiento, y todo otro dato, documentación e información asociada.</p> <p>LEY N° 14343. Regula la identificación de los Pasivos Ambientales. Regula la identificación de los pasivos ambientales, y obliga a recomponer sitios contaminados o áreas con riesgo para la salud de la población, con el propósito de mitigar los impactos negativos en el ambiente (contaminación del agua-suelo-aire).</p> <p>LEY N° 5965. Ley de protección a las fuentes de provisión y a los cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera. Instaure que ningún establecimiento industrial podrá ser habilitado o iniciar sus actividades sin la previa obtención de la habilitación correspondiente y la aprobación de las instalaciones de provisión de agua y de los efluentes residuales industriales respectivos.</p>
------------	--

	<p>Decreto N° 1074. Decreta que todos los establecimientos generadores ubicados en el territorio de la provincia de Buenos Aires deberán obtener la Licencia de Emisiones Gaseosas a la Atmósfera (LEGA), previa presentación de una Declaración Jurada, conforme las pautas establecidas en la normativa vigente ante la Autoridad de Aplicación, que permita evaluar y controlar el impacto sobre la calidad del aire y el ambiente.</p> <p>Resolución N° 336/03. Se establecen tanto las Ramas Industriales, cuyos efluentes no deben disponerse en pozos absorbentes, como los parámetros de calidad de las descargas límite admisibles.</p> <p>Resolución N° 159/96. Ruidos molestos. Establece la medición y clasificación de los ruidos producto de los establecimientos industriales, como las sanciones que estos pueden llegar a adquirir en caso de generar mucha polución sonora.</p> <p>Resolución N° 445/18. Constituye el reglamento de procedimiento sancionatorio administrativo de multas y sanciones por infracciones a la normativa ambiental.</p> <p>Decreto n° 3395: reglamento de la Ley N° 5965: Alcanza a todo generador de emisiones gaseosas que vierta las mismas a la atmósfera, y se encuentre ubicado en el territorio de la Provincia de Buenos Aires.</p> <p>Resolución N° 231/96. Aparatos sometidos a presión. Resolución N° 1126/07. Modificatoria Resolución N° 231/96.</p>
Municipal	<p>Ordenanza Municipal N° 7.454: eximición del pago de las Tasas por Inspección de Seguridad e Higiene; Alumbrado, Barrido, Limpieza y Conservación de la Vía Pública; Publicidad y Propaganda; y toda otra tasa asimilable que se creare en el futuro, por el término de ocho años, a aquellas empresas que funcionen en el Parque Industrial de Bahía Blanca y que no se hayan acogido a los beneficios de la Ley Provincial de Promoción Industrial 10.547</p>

	<p>Ordenanza Municipal N° 9.709: eximición del pago de Derechos de Construcción y Tasa de Habilitación a las empresas que se establezcan en el Parque Industrial.</p> <p>Ordenanza Municipal N° 14.493: eximición de Pago de Tasas Municipales por un año a las empresas que hayan adquirido lotes en el Parque Industrial y que estén en proceso de radicación.</p>
--	--

**Conclusión:** Las anteriores leyes, resoluciones y decretos citados se presentan como un resumen de la totalidad de leyes existentes, tomando en consideración cuales de ellas forman parte del marco regulatorio en el que se encuentra el desarrollo de las actividades de la unidad.

Se toman en cuenta por la obligatoriedad de llevar a cabo el desarrollo industrial de la planta ubicándonos dentro de dicho marco regulatorio. Se debe mencionar además que C.C.M. S.R.L., posee todos los requerimientos en materia de instalaciones que permiten los controles permanentes de efluentes de distintos tipos y demás emisiones, contando con un sector especializado de Medioambiente quien se encarga del control del cumplimiento de la normativa dentro de las instalaciones por lo que no existe impedimento legal para la implementación de una planta de etilenglicol en el polo industrial de Bahía Blanca.

## 6.7- Estudio de suelos

El emplazamiento geográfico de Bahía Blanca se caracteriza por una planicie de suaves desniveles que desciende hacia la línea costera y que es atravesada por dos arroyos: Napostá Grande y Maldonado. Desde el punto de vista de su diagramación interna, la ciudad cuenta con una importante área central en la que predominan actividades comerciales, financieras y administrativas. Allí se ubican los principales edificios públicos y privados y se concentra la edificación en altura. Los espacios verdes y barrios residenciales bordean el casco urbano, principalmente hacia los sectores norte y noroeste. El área de puertos y actividades industriales se ubica en el sur. Los accesos a Bahía Blanca convergen en el camino de circunvalación que rodea a la ciudad y a través del cual se conectan todas las rutas de ingreso y egreso y las principales vías al área centro.

A continuación, se detallarán las características del medio físico de la región. Cabe destacar que se no se prevén cambios en la erosión, suelo, relieve, climáticos.

El suelo presenta poco espesor y abundante tosca a escasa profundidad. En la zona industrial donde se ubica el establecimiento, foco de radicación de

importantes empresas industriales y de actividades de servicios, el suelo es principalmente arcilloso, debido a los depósitos expansibles y contraíbles de origen marino del mineral.

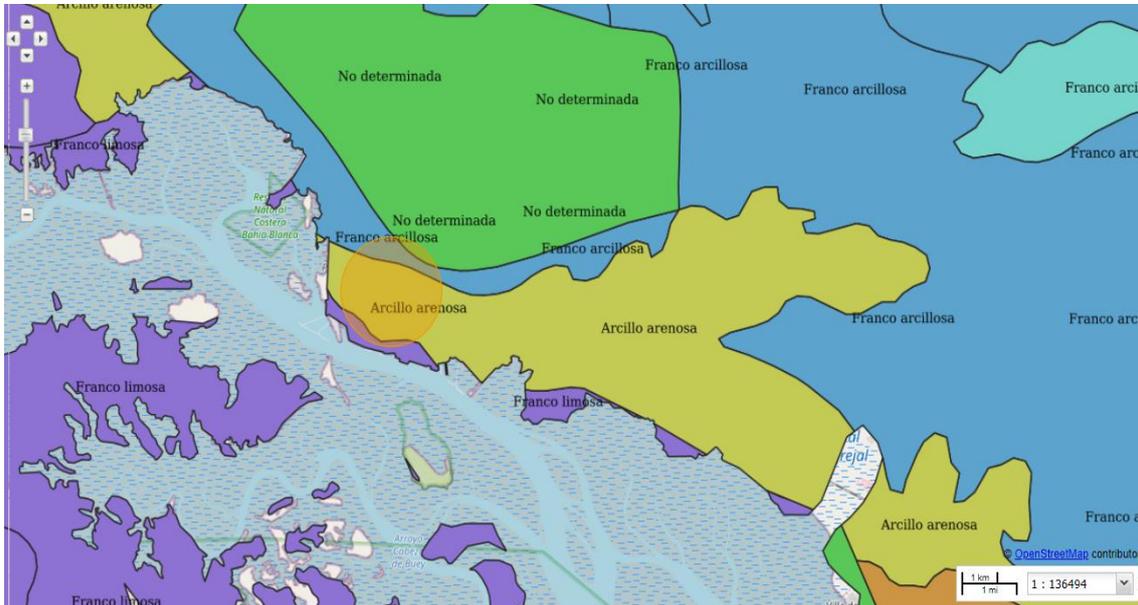


Ilustración 13: Suelos de Bahía Blanca. Fuente: RUNBO - Grupo Hidrología

<b>PLANTA CCM S.R.L</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
<b>INTA (SUELOS)</b>	<b>ORDEN</b>
Limitante principal	SALIN PRIMEROS 50 CM
Limitante secundario	ALCALIN MENOS 50CM
Limitante terciario	DRENAJE DEFICIENTE
Orden de suelo	ARIDISOLES
Posición de suelo	LLANURA
Grupo	SALORTIDES
Subgrupo	SALORTIDES ACUOLICO
Textura superficial	FRANCO ARENOSO
Textura básica	ARCILLO ARENOSO
Drenaje	MUY POBRE
Alcalinidad	MUY FUERTE

Tabla 14: Características del suelo. Fuente: RUNBO (Grupo Hidrología)

En la siguiente imagen podemos ver una mancha de inundación dentro del parque industrial:

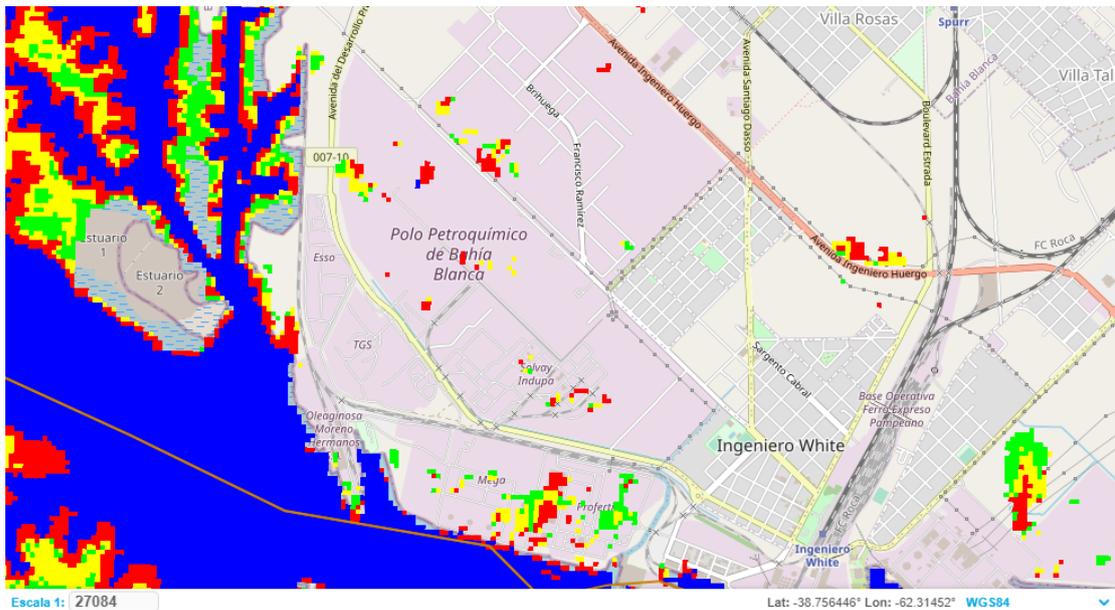


Ilustración 14: Riesgo hídrico por anegamiento. Fuente: ADA

Para la construcción de cimientos, se debe llegar al sustrato más resistente a unos 40 cm de la capa de arcillas expansivas. Al ser terrenos susceptibles a inundación, será necesario realizar obras que permitan el correcto escurrimiento de los caudales de lluvia. Dichas obras consistirán en el relleno del lote hasta alcanzar un nivel de cota superior y a su vez la construcción de desagües pluviales superficiales para asegurar la correcta erogación de los caudales de lluvia.

### Estudio de suelo zona implantación de unidad

Con el objetivo de determinar los parámetros para el diseño y calculo estructural de las fundaciones para la planta CCM SRL se realizó un estudio de suelos del área de influencia para de esta forma determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo del sector.

- Perfil de suelos y nivel freático.
- Excavaciones y depresión de napa.
- Agresividad al hormigón.
- Se hicieron un total de 2 sondeos con un total de 10 metros perforados con una profundidad de 5m por cada sondeo.

### Trabajo de campo

Los dos sondeos de 5m de profundidad y de 3" de diámetro se hicieron con un equipo de perforación rotativo y lodo bentonítico como estabilizante de las paredes del sondeo.

UTN FRLP - Producción de Monoetilenglicol - Integración V Año 2022  
Bormapé, Catalina; Bravo Ortiz, Orieth Carolina; Iriarte, Manuel

Cada metro de avance se hicieron ensayos de resistencia a la penetración dinámica SPT siguiendo el procedimiento que indica la norma ASTM D 1586-84.

El perfil de suelos se determinó en primer término por descripción tacto visual según la práctica que indica ASTM D 2488 y posteriormente con ensayos de laboratorio siguiendo el sistema Unificado USSC y la norma ASTM D2487 para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería.

### **ENSAYOS DE LABORATORIO**

- Se realizaron los siguientes ensayos
- Granulometrías por tamizado lavando bajo tamiz 200.
- Límites de Atterberg sobre suelos plásticos
- Pesos unitarios de las muestras en tubos.
- Humedades naturales
- Gravedad específica.
- Análisis químico de muestras de agua de la napa.

### **PERFIL DE SUELO - NAPAFREÁTICA**

Una descripción detallada de los perfiles de suelo a lo largo de la traza se encuentra en cada una de las planillas de sondeo donde se indica la descripción y clasificación de estos. El perfil de suelos del sondeo 1 se integra con arenas limosas en estado medianamente denso a denso con zonas cementadas en forma de nódulos o planchas calcáreas y cantidades menores de limos arenosos. El nivel freático varió en esa zona entre 1.4 m y 2 m. El sondeo 2 presenta suelos arenosos y limos medianamente densos hasta 3.5 m pasando a arena gruesa y algo de gravilla media a densa. se caracterizan por sondeos muy firmes con planchas de tosca y arena con nódulos cementados con napa entre -2 m a -3.4 m. El nivel freático referido a la boca del sondeo se encontró a 1.5 m de profundidad. La densidad relativa varió entre suelta a media con valores N predominantes de 6 a 9 golpes para 30 cm de penetración.

### **ESTABILIDAD DE LOS TALUDES**

De acuerdo con los perfiles de suelos de cada una de las perforaciones los taludes se desarrollarán en la mayoría de los casos en suelos areno limosos con densidades variables, en algunos casos con nódulos calcáreas y otros con zonas cementadas. En esas condiciones la estabilidad del talud debe analizarse como un talud semiinfinito, con rotura paralela al talud.

En el caso de suelos arcillosos serán de tipo circular.

1-Talud semiinfinito.

Para este tipo de rotura bajo peso propio el coeficiente de seguridad valdrá:

$$F = \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

Siendo

$\phi$  ángulo de fricción

$\beta$  Ángulo del talud con la horizontal.

El coeficiente de seguridad F tiene un valor normal para taludes de 1.5. Teniendo en cuenta la buena permeabilidad de los suelos arenosos no se consideró la influencia de las presiones de poros en la estabilidad del talud. El ángulo de talud estable  $\beta$  se calculó con un coeficiente de seguridad de 1.5 considerando taludes sumergidos. El análisis se realizó previa zonificación de los suelos con los correspondientes parámetros de corte. Estos se determinaron por correlación con los valores N del ensayo SPT (por tratarse de suelos granulares).

### UBICACIÓN DE LOS SONDEOS



*Ilustración 15: Ubicación de los sondeos*

**Sondeo 1:** 38°45'30.76"S 62°17'33.23"O

**Sondeo 2:** 38°45'32.77"S 62°17'32.77"O

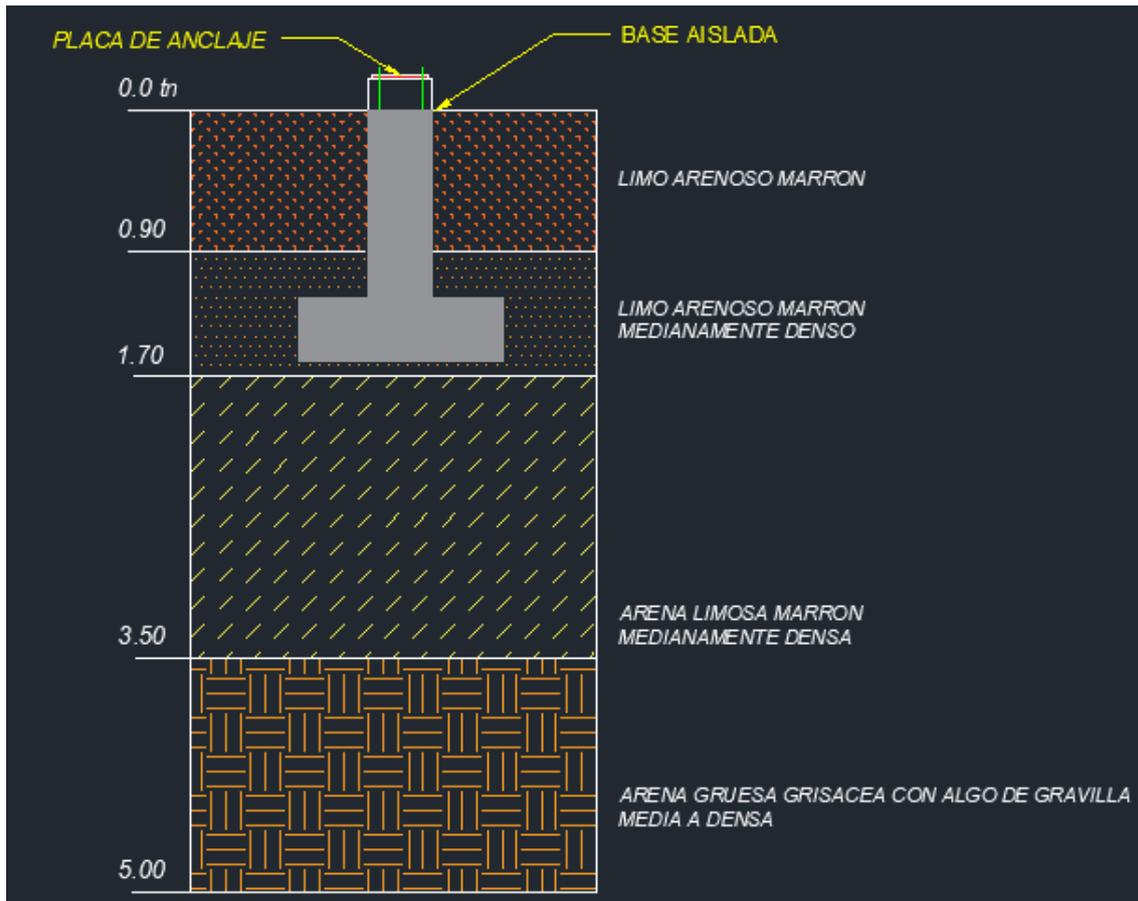


Ilustración 16: Perfil de suelo. Fuente: elaboración propia según información oficial del Municipio de Bahía Blanca

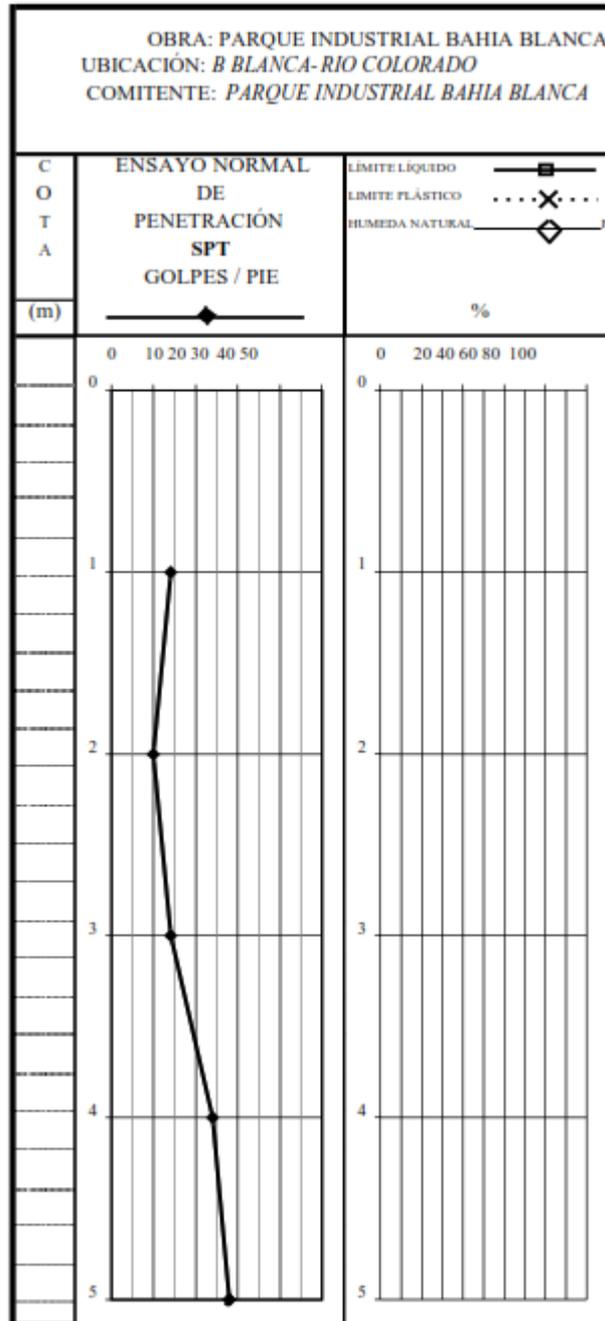
**Conclusiones:** de acuerdo con los datos obtenidos, la fundación más conveniente para este tipo de suelos es la fundación del tipo directa mediante bases aisladas.

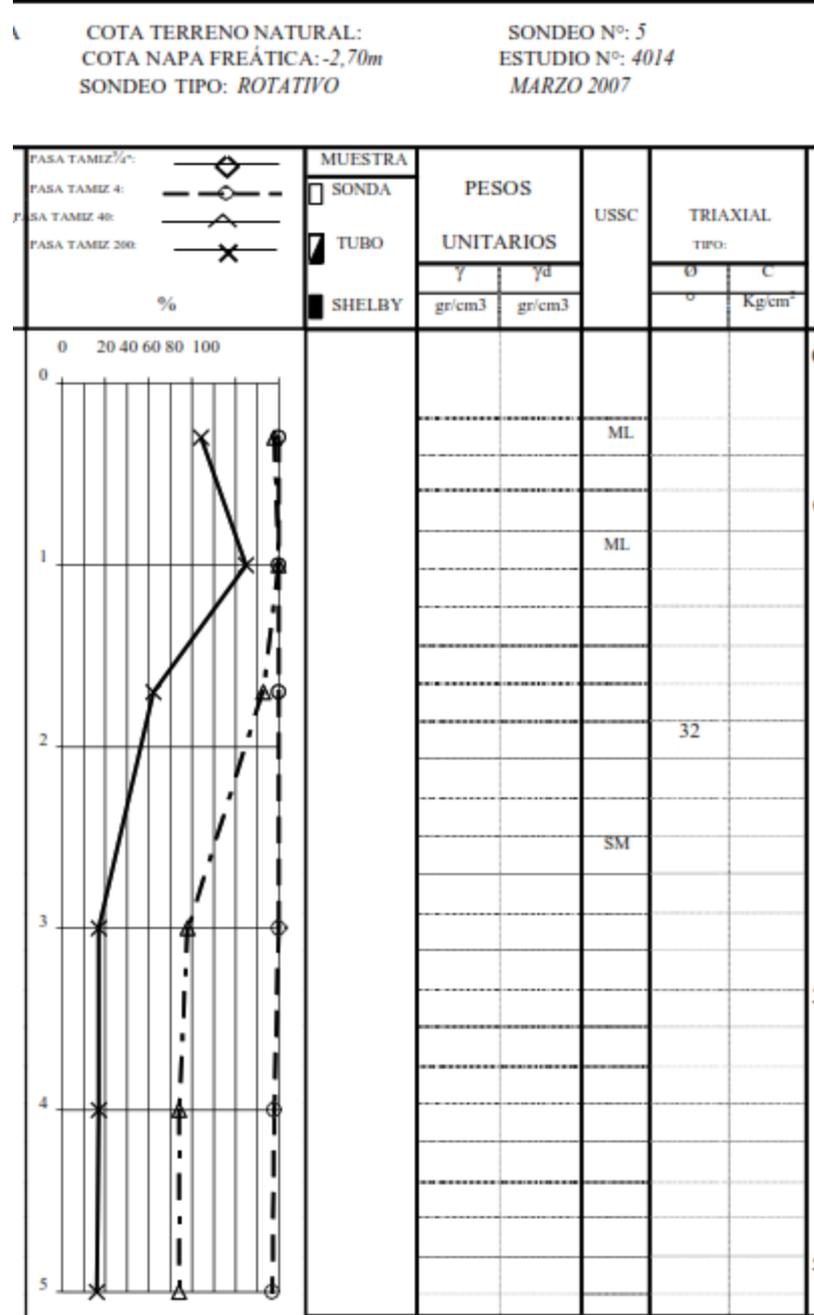
Debido a la cota de nivel freático encontrada se deberán realizar acciones de protección para la estructura de las fundaciones, en este caso, la base, la cual deberá ser correctamente impermeabilizada procurando que el acero esté correctamente embebido por el hormigón. Previo a la construcción se deberá colocar una capa de hormigón tipo H-8 de 10cm de espesor.

Luego de los estudios realizados se determinó la necesidad de conformar un terraplén en la totalidad del lote, el mismo tendrá con objetivo elevar la cota del terreno natural con el objetivo de minimizar el riesgo de inundaciones y, a su vez, el riesgo de asentamientos diferenciales debido a las cargas de la propia estructura. Por tanto, se prevé el retiro de 0.15 m del estrato superior de tierra vegetal y el relleno de 0.8 m con suelo seleccionado y tosca.

Cabe desatacar que el terraplén deberá tener un correcto escurrimiento hidráulico.

Planilla de sondeos:





DESCRIPCION	
DEL	
SUELO	
0,00m	Limo arenoso marrón
0,90m	Limo arenoso marrón medianamente denso.
1,70m	Arena limosa marrón. Medianamente densa.
3,50m	Arena gruesa grisácea con algo de gravilla. Media a densa.

## 6.7- Logística

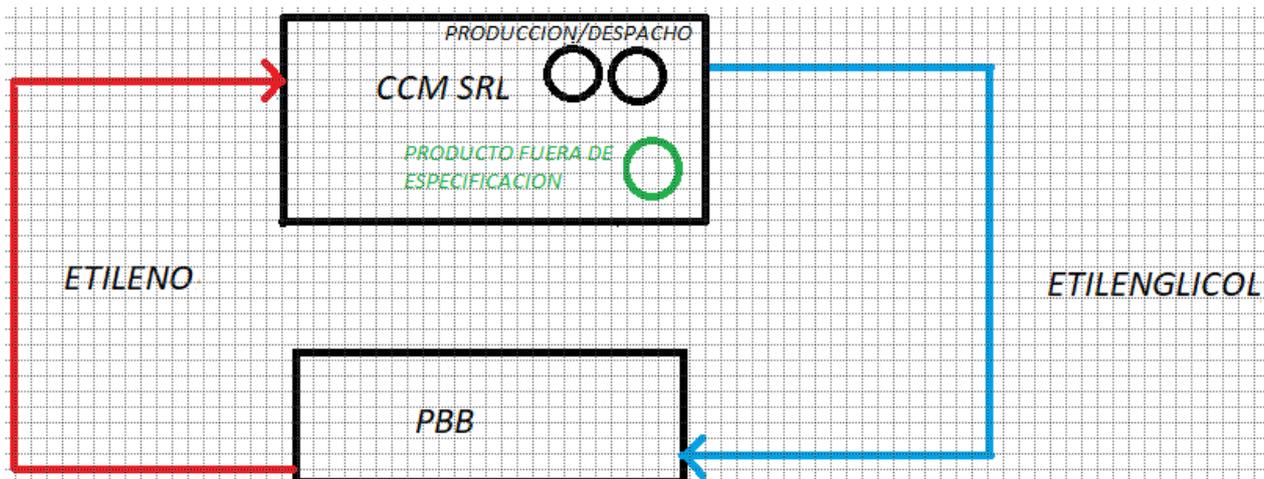
Para asegurar la producción será necesario un abastecimiento constante de materia prima por parte de la empresa PBB Polisor S.A., que, a su vez, será el cliente del producto final.

Se dispondrá de tanques de almacenaje para 5 días de producción.

Mecanismos de conducción a utilizar:

- Cañería de ingreso de etileno (desde planta PBB). Longitud aproximada 200 m.
- Cañería de egreso del producto terminado (Etilenglicol) con destino a PBB Polisor S.A. Longitud aproximada 200 m.
- Cañería de ingreso de oxígeno desde AIR LIQUIDE 1000 m.
- Tanque de reserva de Monoetilenglicol dentro del circuito de planta en CCM S.R.L.
- Tanque de descarga de Monoetilenglicol.
- Tanque de acopio para el producto que se encuentra fuera de especificación, que será devuelto al sistema de manera controlada teniendo en cuenta los caudales de operación.
- Tanque refrigerado de reserva de oxígeno.

En la siguiente imagen podemos ver un esquema del proceso planteado.



## 7- SELECCIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO – SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

La siguiente sección tiene por objetivo el análisis y la posterior selección de las distintas patentes y tecnologías disponibles para la implementación de una planta de Óxido de Etileno y Monoetilenglicol.

### 7.1- Descripción de los distintos procesos posibles

La producción industrial de etilenglicoles comenzó a principios del siglo XX. El mono etilenglicol es un compuesto orgánico de gran importancia ya que actúa como intermediario químico utilizado en una gran cantidad de procesos a escala industrial.

Las rutas de síntesis estudiadas se basan en, particularmente, procesos de reacción derivados de combustibles fósiles y recursos de biomasa. El siguiente esquema refleja los distintos métodos de síntesis posibles y las aplicaciones del etilenglicol.

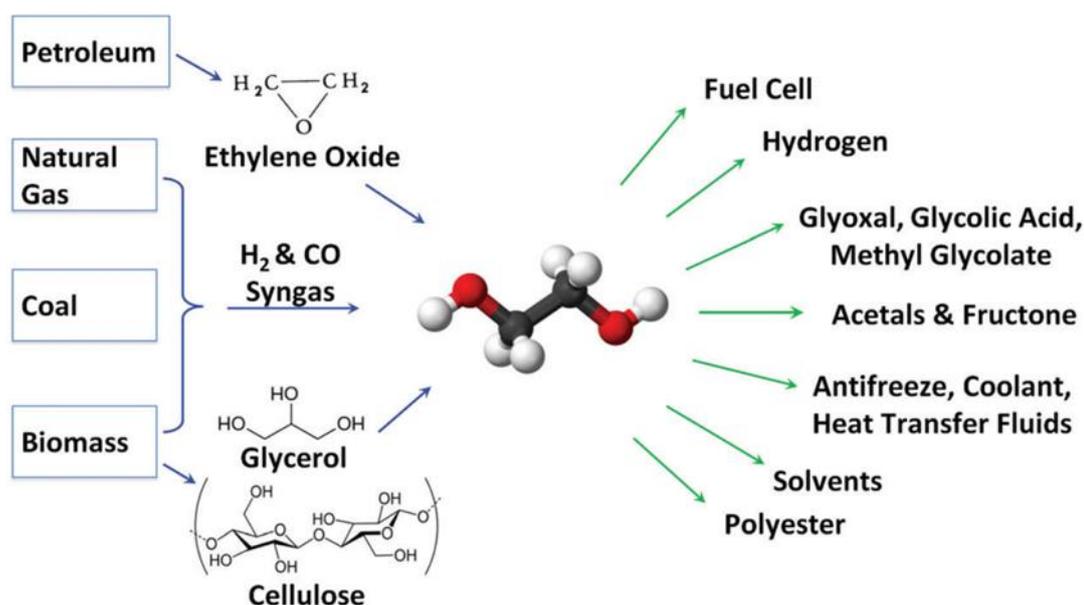
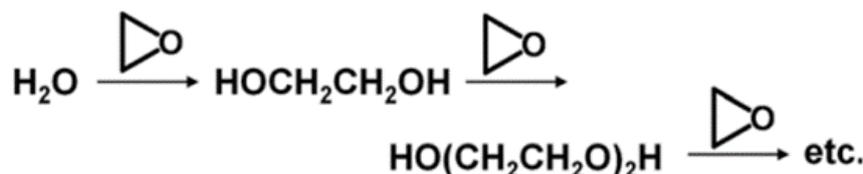


Ilustración 17: Rutas de síntesis y aplicaciones generales del Etilenglicol. Fuente: "Ethylene glycol: properties, synthesis and applications" - Chem. Soc. Rev., 2012, 41, 4218-4244

Anteriormente, a escala industrial su síntesis se basaba en la hidrólisis de óxido de etileno producido por el proceso de clorhidrina, la producción a partir de formaldehído y monóxido de carbono o la oxidación directa de etileno a etilenglicol, esta última, abandonada debido a los problemas por la corrosión.

Actualmente, las rutas de síntesis más utilizadas a nivel industrial corresponden a:

- **Hidrólisis del óxido de etileno:** es un proceso térmico convencional e instaurado a nivel mundial para la síntesis de EG. El proceso era inicialmente no catalizado, y con el tiempo se mejoraron los rendimientos con el uso de catalizadores. Tiene altos rendimientos, llegando incluso al 99% de la conversión total.



*Ilustración 18: Pasos de la reacción de hidrólisis para la formación de Etilenglicol. Fuente: "Ethylene glycol: properties, synthesis and applications" Chem. Soc. Rev., 2012, 41, 4218–4244*

- **Conversión de celulosa:** la celulosa es la fuente más abundante de biomasa. Se puede obtener de desechos de la industria maderera y agrícola. El proceso se puede dividir en dos pasos, inicialmente se produce la hidrólisis selectiva en glucosa y posteriormente se lleva a cabo la transformación en productos químicos. Los catalizadores adecuados permiten la conversión de la celulosa en un solo paso. Se probaron catalizadores de Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con un rendimiento del 31%, viéndose aumentada la conversión de celulosa al 83.1% Se han desarrollado sistemas de catalizadores menos costosos pero eficientes, Ni-W<sub>2</sub>C, para la conversión catalítica directa de celulosa a polioles. Esta ruta está en fase de investigación, con buenos resultados de rendimiento, por debajo de los procesos de base petroquímica. Sin embargo, es una buena alternativa al uso de combustibles fósiles.

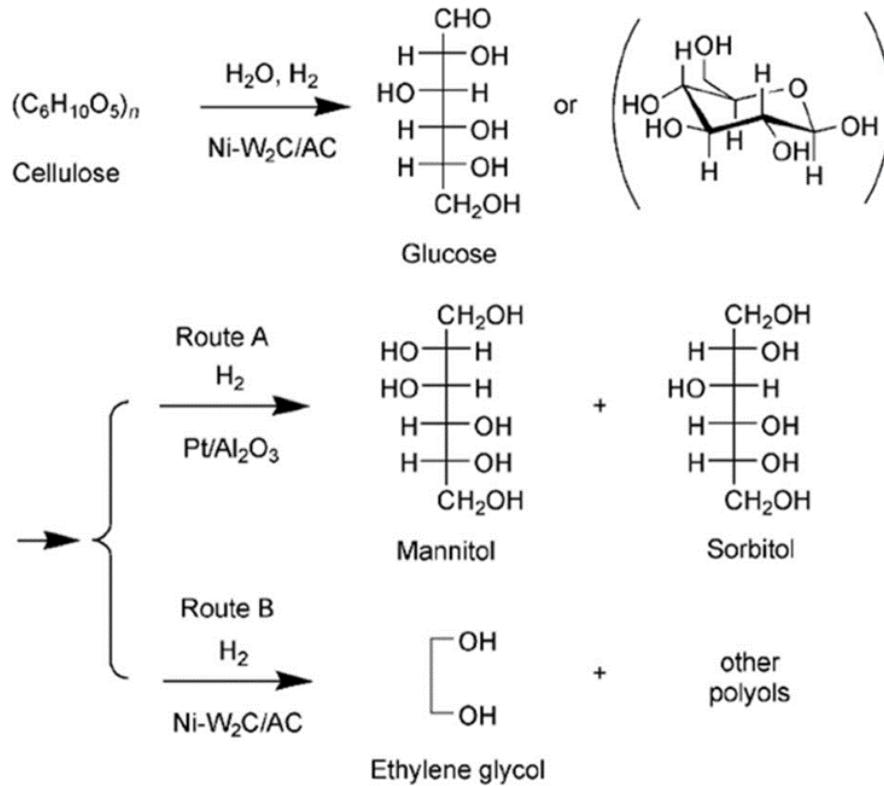


Ilustración 19: Pasos de la reacción catalizada con celulosa para la formación de Etilenglicol.  
 Fuente: "Ethylene glycol: properties, synthesis and applications" Chem. Soc. Rev., 2012, 41, 4218–4244

- Gas de síntesis:** El EG puede obtenerse directamente a partir de gas de síntesis, siendo esta la alternativa potencialmente más económica; ya que permitiría obtenerlo de gas natural, residuos pesados de petróleo o carbón. La preparación de EG directamente a partir de gas de síntesis mediante un catalizador homogéneo de rodio, rutenio y cobalto ha estado generalmente limitada por las altas presiones necesarias. La reacción produce EG y Metanol que deben ser separados mediante destilación. También se deben recuperar para su posterior recirculación las partículas sólidas de catalizador.

## 7.2- Análisis de las ventajas y desventajas de cada uno

La ruta de síntesis seleccionada responde a la siguiente ponderación:

Factor	Ponderación	Hidrólisis de Óxido de Etileno		Gas de Síntesis		Conversión de Celulosa	
		Clasificación	PxC	Clasificación	PxC	Clasificación	PxC
Fase de Desarrollo	60	10	600	8	480	5	300
Rendimiento	20	9	180	7	140	6	120
Factibilidad Técnica	10	7	70	7	70	3	30
Consumo Energético	10	5	50	7	70	7	70
	100		<b>900</b>		760		520

Tabla 15: Selección de ruta de síntesis. Elaboración propia

**Conclusión:** la ruta de síntesis seleccionada será la Hidrólisis de Óxido de etileno, ya que tiene un desarrollo de tecnología ampliamente estudiado y aplicado a nivel industrial, alto rendimiento y una dificultad técnica promedio.

## 7.3- Patentes

Para la selección de patentes, nuestra fuente principal fue el anuario de "Hydrocarbon Processing - PetroChemical Process", precisamente su versión del 2010. La revista consultada consta de una amplia variedad de procesos petroquímicos que incluyen un desarrollo general de los equipos y el modo de operación.

El proyecto consta de dos secciones de proceso bien definidas, por un lado, el Óxido de etileno, sintetizado por la oxidación de etileno con oxígeno molecular, y la sección de Etilenglicoles, cuyos productos se obtienen por hidrólisis directa del Óxido de etileno ó, a través de un intermediario de carbonato de etileno.

El desarrollo y análisis de estas tecnologías, nos proporcionará la información necesaria para seleccionar las tecnologías que tomaremos para el proyecto.

### Sección de Óxido de etileno

Licencia: **Union Carbide Corp. Subsidiario de Dow Chemical CO.** (A)

Aplicación: Produce OE por oxidación directa de etileno usando el proceso Dow METEOR

Descripción: El proceso Dow METEOR, es simple y seguro para la producción de OE, con bajo capital de inversión requerido y bajo costo de operación. En el proceso METEOR, etileno y oxígeno se mezclan con metano como gas de arrastre con reciclo y pasa a través de un reactor catalítico multitubular (1) para selectivamente producir OE. El uso de un solo reactor es una muestra de la simplicidad y seguridad del método, así como la baja inversión en estructuras.

El catalizador de alta productividad prevé alta selectividad durante la operación a altas cargas. El calor generado en el reactor es removido y recuperado por una corriente de agua para generar vapor en un intercambiador de coraza al lado del reactor. El calor gas de salida del reactor, es recuperado antes de ingresar al absorbedor de OE (2), donde el OE es depurado (scrubber) de gas mezcla por el uso de agua. La concentración de OE-con Agua que sale del absorbedor es alta. Algunas impurezas son removidas por stripping y es reabsorbida en el agua (3), esto minimiza la manipulación de OE concentrado. El gas de ciclo saliente del absorbedor alimenta la sección de remoción de CO<sub>2</sub> (4,5) donde el CO<sub>2</sub>, coproducto en el reactor de OE, es removido vía tratamiento de carbonato de potasio activo caliente. El CO<sub>2</sub> del ciclo de gas es reciclado por compresión y vuelve al reactor OE.

La mayoría de las plantas de OE están integradas a instalaciones de producción de glicoles, la corriente de OE reabsorbido (3) se puede sustituir por una corriente de alimentación directa al proceso METEOR glicol.

Este proceso es extremadamente flexible y puede proveer un amplio rango de mezclas entre glicoles y OE purificado.

Economía: el proceso requiere un bajo capital de inversión y bajos costes de mantenimiento debido a la simplicidad del proceso y la necesidad de menos artículos de equipo. Se logran bajos costos de operación debido a la alta productividad del catalizador METEOR OE, con altas eficiencias a altas cargas.

El 20% de las plantas de OE del mundo están basadas en esta licencia.

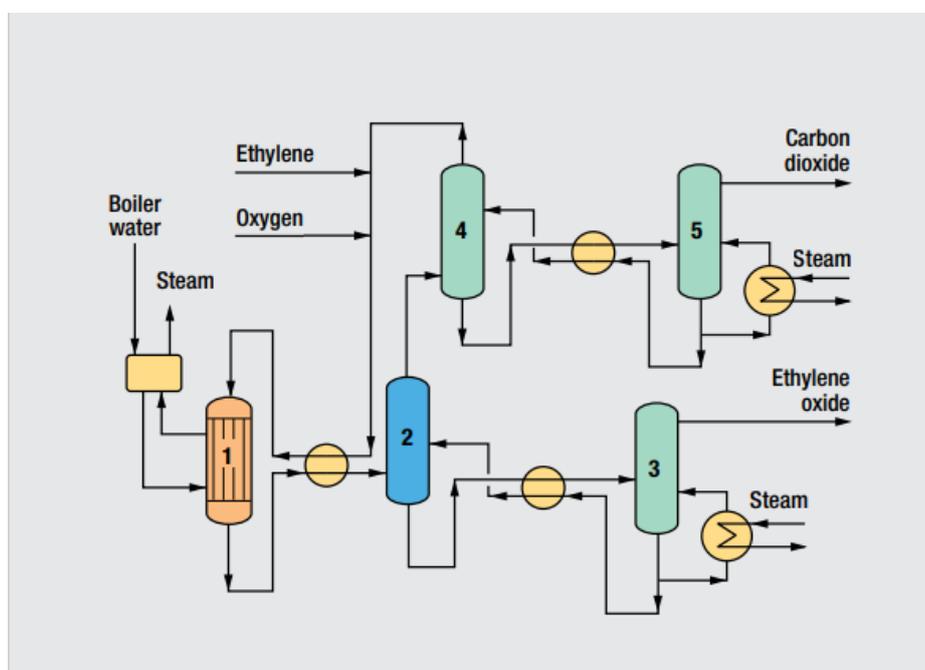


Ilustración 20: Proceso de producción de OE – Licencia (A). Fuente: *Hydrocarbon processing petrochemical processes – 2018 – Handbook*

Licencia: **Scientific Design Company, Inc.** (B)

Aplicación: Produce OE por reacción de etileno con O<sub>2</sub> como agente oxidante.

Descripción: el etileno y el O<sub>2</sub> en una dilución de gas hecha de una mezcla de metano o nitrógeno, junto con CO<sub>2</sub> y Argón, es alimentado a un reactor tubular catalítico (1). La temperatura de reacción es controlada con un ajuste de presión de vapor, generado en la coraza junto al reactor, y remueve el calor de la reacción. El OE producido es removido del gas de reacción por depurado con agua (2) luego de intercambiar calor con el gas de alimentación circulante.

El CO<sub>2</sub> de producto es removido en un scrubber de gas de reacción (3, 4) antes es re-comprimido y devuelto al sistema de reacción, donde las concentraciones de etileno y O<sub>2</sub> se recomponen antes de volver al reactor de OE.

El OE está despojado de vapor (5) desde la solución de Scrubber y es recuperado como una concentración acuosa mayor (6). Para ser alimentado a un sistema de purificación de OE (7, 8) donde el producto es purificado junto con un alto porcentaje de aldehído- OE.

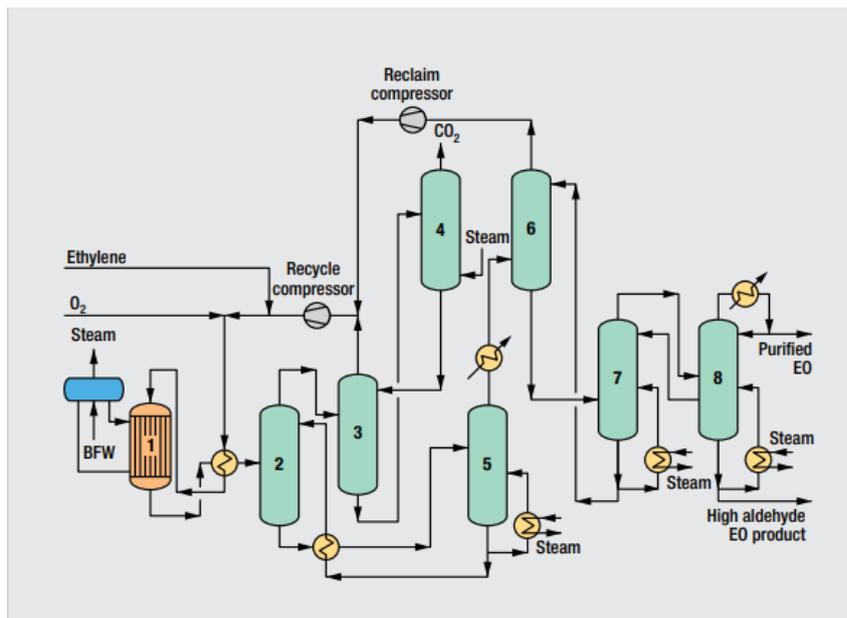


Ilustración 21: Proceso de producción de OE – Licencia (B). Fuente: *Hydrocarbon processing petrochemical processes - 2018 - Handbook*

Licencia: **Shell Global Solutions International B.V.** (C)

Aplicación: Produce OE desde etileno y O<sub>2</sub> por proceso oxidación directa.

Descripción: en la oxidación directa, el etileno y el O<sub>2</sub> se mezclan con un gas de reciclo y pasan a través de un reactor catalítico multitubular (1) para producir selectivamente OE. Se usa un catalizador de plata de alta selectividad especial. El metano es usado como un gas de arrastre. El calor generado por la reacción

es recuperado por agua hirviendo a alta presión en una coraza al lado del reactor; el vapor de alta presión resultante es usado para propósitos de calentamiento en varias localizaciones dentro del proceso.

El OE contenido en el reactor producto-gas es absorbida en agua (2) y luego concentrada en un stripper (3). Pequeñas cantidades de etileno y metano co-absorbido son recuperadas del OE bruto (4) y reciclado devuelta al reactor OE. El OE bruto puede ser concentrado a un OE de alta pureza (5) o desviado a la planta de glicoles. (cómo alimentación de OE/agua)

El producto-gas del reactor OE, luego de la recuperación de OE, es mezclado con alimentación fresca y retornado al reactor de OE. Parte del gas de reciclo pasa a través de una solución de carbón activo (6, 7) para recuperar CO<sub>2</sub>, un co-producto de la reacción de OE con varias aplicaciones industriales.

La mayoría de las plantas de OE están integradas en instalaciones de MEG. En estas instalaciones de OE/MEG integradas, el sistema de vapor puede ser optimizado para explotar los beneficios del catalizador de alta selectividad.

Rendimientos: las plantas modernas están típicamente diseñadas para operar con un catalizador con una selectividad del 91.92% con catalizador fresco y 89-90% como promedio con 3 años de vida del catalizador, resultado en una producción de OE promedio de 1,4 tons per ton de etileno. Sin embargo, la tecnología es flexible y la planta puede ser diseñada a medida para los requerimientos del cliente o tiempos de operación distintos entre cambios de carga de catalizador.

Plantas Comerciales: aproximadamente en 40% de las plantas de OE trabajan con esta licencia (Shell MASTER process).

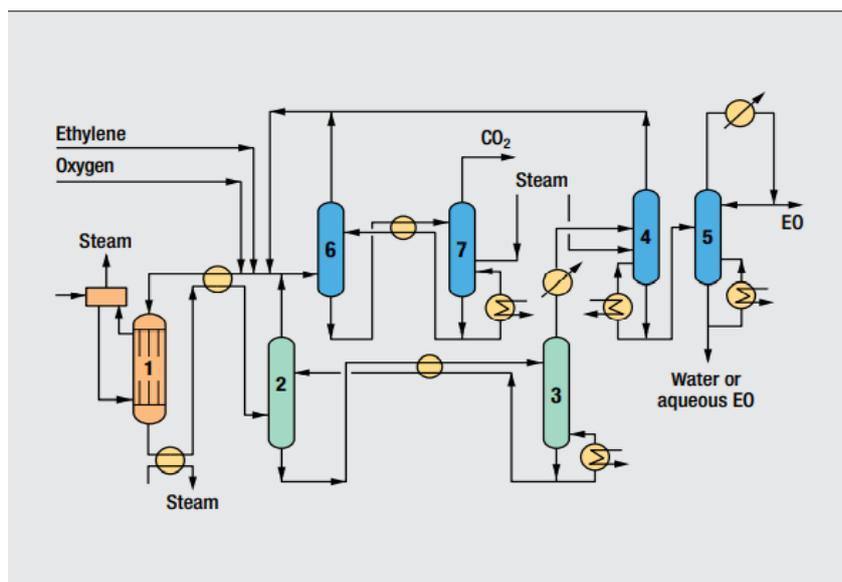


Ilustración 22: Proceso de producción de OE. Licencia (C). Fuente: Hydrocarbon processing petrochemical processes - 2018 - Handbook

## Sección de Monoetilenglicol (MEG)

Licencia: **Union Carbide Corp. Subsidiario de Dow Chemical CO (D)**

Aplicación: Para producir etilen glicol (MEG, DEG Y TEG) con OE usando el proceso Dow METEOR

Descripción: en el proceso METEOR, una mezcla de OE/agua es precalentada y alimentada directo a un reactor adiabático (1), que puede operar con o sin catalizador. Un exceso de agua provee una mayor selectividad para MEG. DEG y TEG son producidos como coproductos. En la vía catalizada, se obtienen mayores selectividades para MEG, por lo tanto, reduce la producción de DEG a la mitad del modo no catalizado. El reactor está diseñado para reaccionar completamente con todo el OE y minimiza la mezcla en la etapa anterior, lo que promueve una selectividad mejorada a MEG.

El agua en exceso del efluente del reactor es eficientemente removida en un sistema de evaporación multiefectos (2). El último efecto del evaporador produce vapor de baja presión, que es buena fuente de energía de bajo nivel para otras unidades u otras partes del proceso OE/MEG. La corriente concentrada de agua/glicol del sistema de evaporación es alimentada a una columna de agua (3) donde el agua remanente es depurada del crudo de glicoles. La corriente de agua libre de glicoles es alimentada a la columna de refino de MEG (3) donde el MEG grado-poliéster es recuperado. Los DEG y TEG de alta pureza son por lo general recuperados de una columna de fraccionamiento.

Economía: la conversión de OE a glicol es esencialmente completa. La reacción no solo genera el MEG deseado, sino que produce DEG y TEG como subproductos recuperables. El proceso catalizado produce menos glicoles pesados.

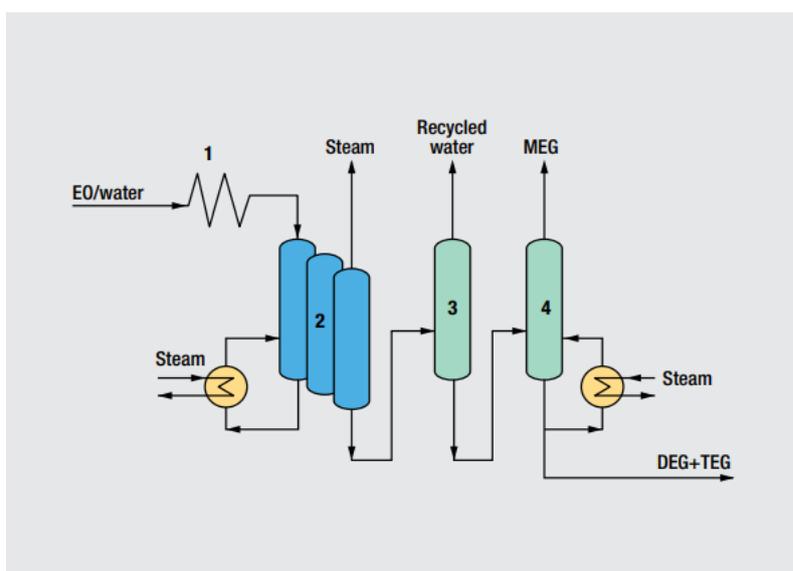


Ilustración 23: Proceso de producción de OE - Licencia (D). Fuente: *Hydrocarbon processing petrochemical processes - 2018 - Handbook*

Licencia: **Shell Global Solutions International B.V. (E)**

Aplicación: produce MEG con OE

Descripción: Una solución acuosa de OE reacciona con CO<sub>2</sub> en presencia de un catalizador homogéneo para formar carbonato de etileno (1) el carbonato de etileno subsecuentemente reacciona con agua para formar MEG y CO<sub>2</sub> (3). El consumo neto de CO<sub>2</sub> en el proceso es nulo ya que todo el CO<sub>2</sub> convertido a carbonato de etileno es liberado en la hidrólisis de carbonato. El CO<sub>2</sub> no convertido en la reacción de carbonato de etileno, es recuperado (2) y reciclado, junto al CO<sub>2</sub> liberado en la reacción de hidrólisis.

El producto de la reacción de hidrólisis es destilado para remover el agua residual (4). En columnas de destilación subsecuentes el MEG de alta pureza es recuperado (5) y pequeñas cantidades de DEG y TEG son removidas (6). El catalizador homogéneo usado en el proceso se concentra en el fondo de la columna 5 y es reciclado de nuevo a la sección de reacción.

El proceso de formación de MEG tiene una eficiencia de 99%. Comparado con el proceso térmico de de glicol, el consumo de vapor y gasto de agua es relativamente bajo, esto último porque no se genera vapor contaminado.

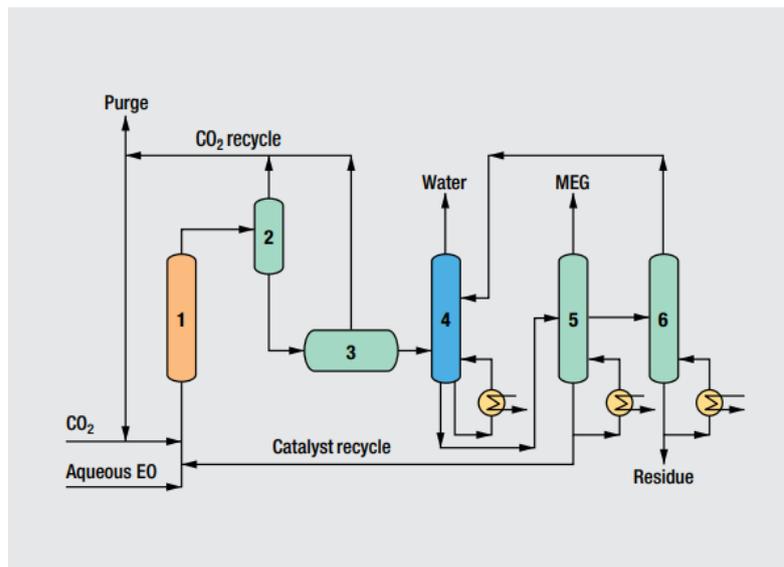


Ilustración 24: Proceso de producción de OE - Licencia (E). Fuente: *Hydrocarbon processing petrochemical processes - 2018 – Handbook*

Licencia: **NIPPON SHOKUBAI CO., LTD. (F)**

Aplicación: Para producir etilenglicol (MEG, DEG Y TEG) con OE

Una mezcla de OE/agua es acondicionada y alimentada directo a un reactor adiabático catalítico (1) Un exceso de agua provee una mayor selectividad para MEG, que se ve mejorada por el uso de catalizadores. El reactor está diseñado

para reaccionar completamente con todo el OE y minimiza la mezcla en la etapa anterior. Después de la etapa de reacción, la corriente es enfriada por la acción de una corriente de mezcla de furfural, lo que favorece la separación de agua de la solución glicólica. Por último, la corriente se separa mediante una serie de columnas de destilación en secuencia directa (4,5). La conversión de OE a glicoles es de aproximadamente el 99% de los cuales al menos el 95% de la mezcla glicólica es MEG.

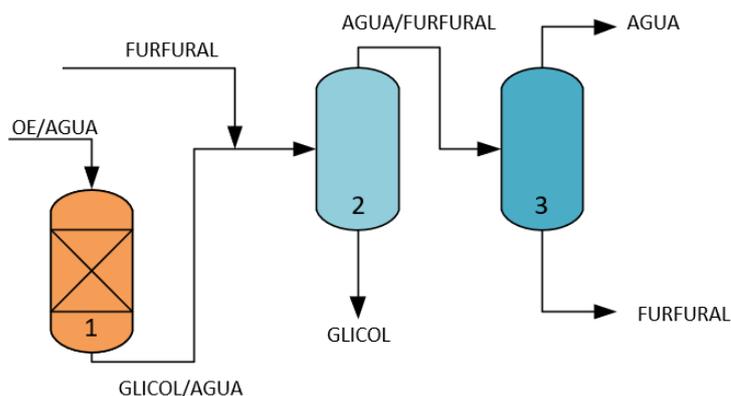


Ilustración 25: Proceso de producción de OE - Licencia (F). Fuente: Elaboración propia según patente US8569525

### 7.4- Selección del óptimo

Para la selección del proceso óptimo se realizaron las siguientes ponderaciones, teniendo en cuenta los parámetros a considerar más importantes y determinantes para la viabilidad del proceso.

Factor	Ponderación	Union Carbide Corp. Subsidiario de Dow Chemical		Shell Global Solutions International B.V.		Scientific Design Company, Inc.	
		Clasificación	PxC	Clasificación	PxC	Clasificación	PxC
Conversión a OE	20	8	160	8	160	8	160
Facilidad operativa	40	9	360	8	320	6	240
Producto final	20	9	180	8	160	6	120
Presencia en el mercado	20	8	160	9	180	5	100
	100		<b>860</b>		<b>820</b>		<b>620</b>

Tabla 16: Ponderación para la selección de la patente del proceso de obtención de OE. Elaboración propia.

Factor	Ponderación	Union Carbide Corp. Subsidiario de Dow Chemical		Shell Global Solutions International B.V.		NIPPON SHOKUBAI CO. LTD.	
		Clasificación	PxC	Clasificación	PxC	Clasificación	PxC
Conversión a MEG	20	7	140	9	180	8	160
Reactor principal	20	8	160	6	120	8	160
Catalizador	30	8	240	4	120	8	240
Facilidad operativa	30	8	240	7	210	9	270
	100		780		630		830

Tabla 17: Ponderación para la selección de la patente del proceso de obtención de MEG. Elaboración propia.

## Conclusiones

En cuanto a la tecnología a utilizar en la planta de Óxido de etileno, decidimos escoger la licencia de **Union Carbide Corp. Subsidiario de Dow Chemical CO**, correspondiente el proceso Dow METEOR,

La licencia cuenta con las siguientes ventajas sobre sus competidoras:

- Tiene como producto principal óxido de etileno acuoso. La ventaja de la solución acuosa de óxido de etileno consta en un aporte menor de agua para el proceso de etilenglicol. También se puede alimentar directamente.
- Al encontrarse el óxido de etileno diluido, resulta menos peligroso para los operarios de planta y menos corrosivo a los equipos.
- Su sistema tiene una complejidad baja, con equipos de recuperación de gases de arrastre.

Por otro lado, la planta de etilenglicol usará la licencia de **NIPPON SHOKUBAI CO., LTD (G)**.

Las ventajas que presenta son:

- Producción MEG como producto principal, con un rendimiento de reacción de 95%, lo que implica baja producción de subproductos pesados, con baja demanda de mercado.
- El consumo de vapor y agua es relativamente bajo, debido a los procesos de reciclo de estos efluentes.
- La reacción tiene lugar sobre un lecho catódico heterogéneo (copolímero de estireno divinilbenceno).
- Se logra alta pureza de MEG mediante el uso de furfural.

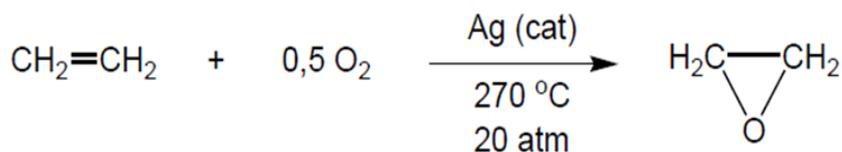
Una vez seleccionado los métodos a utilizar, procederemos a describir y detallar en profundidad nuestra selección tecnológica.

El monoetilenglicol es preparado por las siguientes etapas:

- Reacción catalítica de formación de óxido de etileno a partir de etileno y oxígeno
- Extracción del Óxido de etileno en fase gas con agua de proceso
- Reacción catalítica de hidrólisis de la solución de óxido de etileno en reactores en paralelo
- Extracción de glicoles con furfural de su base acuosa
- Destilación en serie para separación de mono etilenglicol con alta pureza.

## 7.5- Descripción detallada del proceso elegido

El etileno y oxígeno molecular es comprimido y calentado por un intercambiador en condiciones de ingreso al reactor de oxidación (R101). El sistema R101 es un reactor multitubular provisto de tubos de reacción con catalizador de plata soportado en alúmina (10%wt Ag). El reactor opera a presión de 17 kg/cm<sup>2</sup> y temperatura de 240°C.



*Ilustración 26: Reacción de síntesis de OE. Fuente: Textoscientíficos.com*

El gas producto de reacción es enfriado a la salida y dirigido al fondo de una columna de absorción (SC101). Por el tope, ingresa una corriente de agua que funciona como líquido de absorción, con contacto a contracorriente con el gas. Además del óxido de etileno; etileno, oxígeno, dióxido de carbono, un gas inerte (nitrógeno, argón, metano o similar), impurezas de bajo punto de ebullición como formaldehído e impurezas de alto punto de ebullición, como acetaldehído o ácido acético, producto del paso de reacción de oxidación, se absorben al mismo tiempo, en cantidades sustanciales, en la corriente de agua.

La columna de absorción puede ser empaquetada o de platos. Como condiciones de operación la concentración de óxido de etileno en el gas de reacción debe ser de 4% en volumen, con una presión operativa de 150 kg/cm<sup>2</sup> y temperatura de 60°C. La absorción es más ventajosa a altas presiones. La relación de flujo molar (L/V) del líquido de absorción con respecto al gas de reacción es entre 0.3 y 2. La velocidad espacial lineal (GHSV/[NTP]) del gas producto de reacción en estado estacionario es de 1200 h<sup>-1</sup>.

El gas no absorbido en la columna (SC101) contiene etileno, oxígeno, dióxido de carbono y metano, es descargado por el tope de la columna de absorción y

comprimido, una parte hacia el reactor de oxidación (R101) y otra a la sección de dióxido de carbono.

En una relación preferible, al menos una fracción de gas es descargado a una columna de absorción de dióxido de carbono (T-101). En adelante, el sistema de recuperación de dióxido de carbono comienza con la inyección del gas a la columna absorbidora.

Cuando el gas ingresa a la columna T-101 la presión es ajustada a 35 kg/cm<sup>2</sup> y temperatura del gas a 90 °C. Un stripper de dióxido de carbono (T-102) es dispuesto a la salida de la columna T-101. Un líquido de absorción a base carbonato de potasio activo es suministrado desde el fondo del stripper, hacia el tope de la columna. El dióxido de carbono e inertes (etileno, oxígeno, metano, nitrógeno) son absorbidos en contracorriente con el líquido de absorción de carbonato de potasio activo. El gas absorbido descarga desde el tope de la columna T-101 y recirculado a la etapa de acondicionamiento de materia fresca al reactor (R-101).

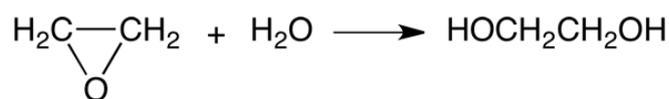
El líquido de absorción rico en dióxido de carbono es descargado desde el fondo de la columna T-101, hacia el tope del stripper T-102.

El stripper T-102 cuenta con reboiler en el fondo. El líquido de absorción provoca un flash de presión, debido a una diferencia de presión entre la columna de absorción de gas de dióxido de carbono T-101 y la columna de extracción de gas de dióxido de carbono T-102, en la sección de alimentación líquida. Debido a el flash de presión, entre un 60 y 80% en volumen de CO<sub>2</sub> e inertes en el líquido de absorción son separados de su base, y los gases son separados por el tope del stripper T-102.

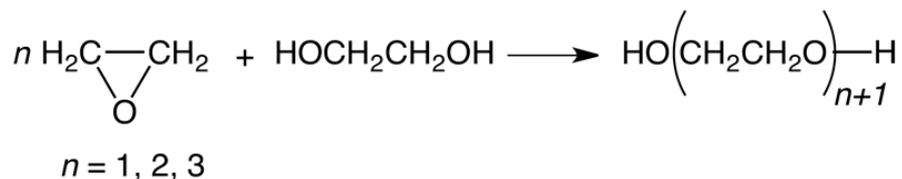
La presión de operación del stripper T-102 es baja para reducir el uso de vapor en el reboiler. Específicamente, la presión operativa es de 1 kg/cm<sup>2</sup>.

La síntesis de glicoles se divide en la etapa de reacción del óxido de etileno con el agua en el interior de un reactor catalítico, con temperatura operativa de 95°C y una presión de 4,5 kg/cm<sup>2</sup>; y la etapa de separación del etilenglicol, donde se separa el agua no reaccionada y los glicoles superiores del monoetilenglicol.

El óxido de etileno en solución proveniente de SC-101, debe mezclarse con el exceso de agua adecuado para la reacción. En las proporciones adecuadas, se acondiciona la corriente a temperatura y presión adecuadas para la reacción. Para ello, se utiliza una válvula de expansión que se encarga de bajar la presión, desde 150 kg/cm<sup>2</sup>, hasta los 4,5 kg/cm<sup>2</sup> requeridos en la entrada del reactor. Una vez a la presión adecuada se calienta hasta 95°C en el intercambiador. Los reactivos entran en el reactor catalítico (R102) donde el agua reacciona con el óxido de etileno para dar etilenglicol y glicoles superiores en menor proporción.



$$\Delta H = -79.4 \text{ kJ / mol}$$



*Ilustración 27: Reacción de síntesis de OE. Fuente: Textoscientíficos.com*

Después de la etapa de reacción, la corriente se enfría mediante el uso de una corriente de furfural. Esta corriente cumple también la función de colaborar en la separación de la solución agua-glicol. El furfural es provisto desde el tanque TK-102. La corriente furfural-agua-glicoles ingresa a la sección de destilación.

La separación se lleva a cabo en las unidades de destilación atmosférica T-103 y T-104, que conforman las columnas de platos. Ambas unidades están en secuencia directa y presión atmosférica.

La torre T-103 opera a 1 kg/cm<sup>2</sup> y 162°C en tope y 197,3°C en fondo, teniendo como destilado agua y furfural, que ingresan a la unidad T-104, y por fondo mezcla glicólica de pureza 99,9% en MEG. La columna cuenta con condensador total y reboiler.

El tope de la unidad T-103 ingresa a la torre T-104, que opera 1 kg/cm<sup>2</sup>, 110°C en tope y 162°C en fondo, teniendo como destilado una mezcla de agua, que ingresa a la unidad SC-101 como reciclo del proceso y por fondo furfural, que regresa al TK-102 en el parque de tanques de la planta para su posterior acondicionamiento térmico y reutilización. La columna cuenta con condensador total y reboiler.

El MEG de alta pureza producido, es derivado a los tanques de almacenamiento de producto TK-103 A B C dependiendo de los parámetros de gestión vigentes.

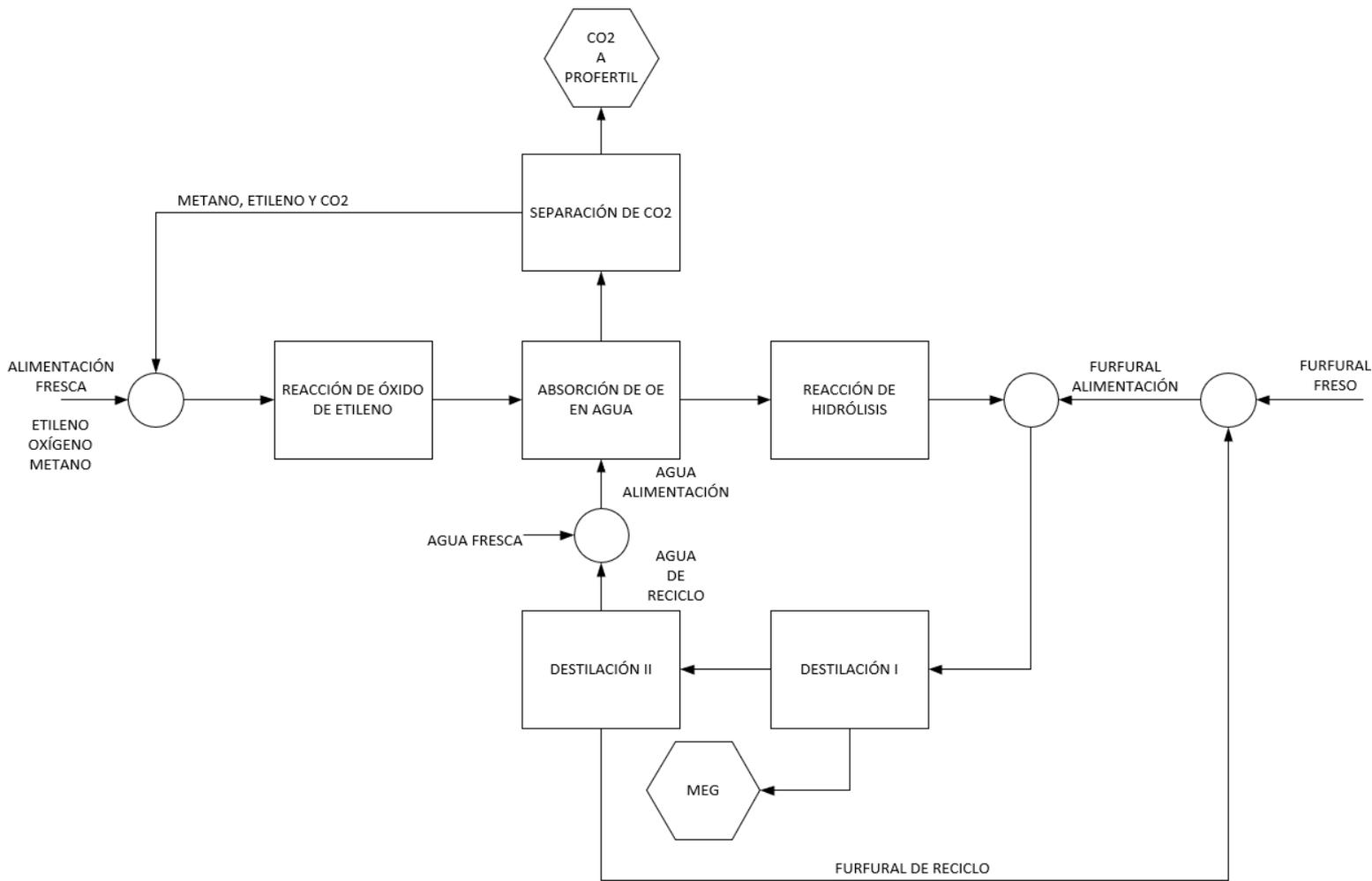


Ilustración 28: Diagrama de bloques. Elaboración propia

## 8- DISEÑO

### 8.1- Límites de batería

Determinación de las bases de diseño principales en los límites de la batería

#### Materia Prima

Las materias primas principales para nuestro proceso son el Etileno y el Oxígeno. Se requieren tan puros como sea posible. Además, se utilizará Metano como gas de arrastre.

- ETILENO; 4200 kg/h  
Se recibe a 25°C y 2 atm, por ducto; el proveedor es PBB Polisor.
- OXÍGENO: 4800 kg/h  
Se recibe a 10°C y 17 atm, por ducto; el proveedor es Air Liquid.
- METANO: 26560 kg  
Se recibe a 25°C y 4 atm, por ducto, el proveedor es Camuzzi.

#### Producto

Según la capacidad definida en la sección de Estudio de Mercado, la planta producirá unas 58000 t/a de Monoetilenglicol.

- MONOETILENGLICOL: 58000 t/a  
Se entrega a 100°C y 2 atm, por ducto, a PBB Polisor.

#### Utilities

Para el correcto funcionamiento de la planta se requiere de servicios auxiliares tales como:

- AGUA DE ENFRIAMIENTO: 3.82 t/h  
Se recibe a 25°C y 2 atm; se entrega a 45°C y 2 atm.
- VAPOR DE BAJA: 0.103 t/h

Se recibe a 134°C y 3 atm; se entrega a 124°C y 3 atm.

- VAPOR DE MEDIA: 1.32 t/h  
Se recibe a 160°C y 12 atm; se entrega a 140°C y 10 atm.
- VAPOR DE ALTA: 13.14 t/h  
Se recibe a 250°C y 41 atm; se entrega a 230°C y 35 atm.

El valor total de vapor, sin contar distinciones, sería de 14.55 tn/h.

Las cantidades requeridas de agua de enfriamiento y de vapor fueron calculadas en el programa de simulación PRO II.

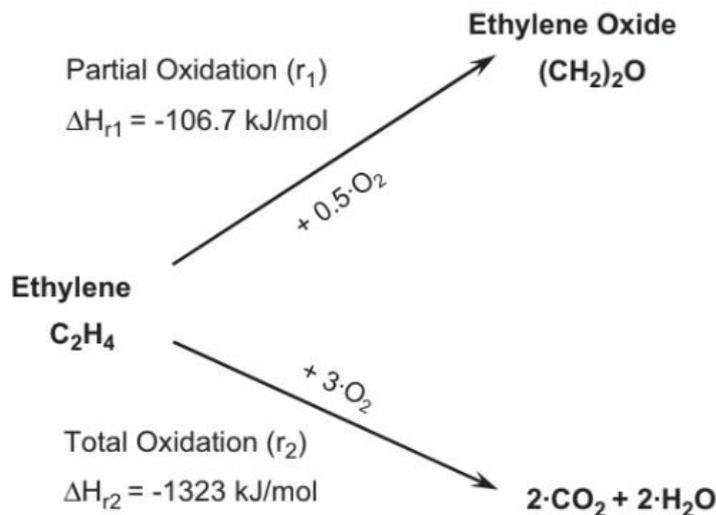
Tipo de vapor	Presión					Temperatura	
	Bar	kPa	ATM	PSI	Kg/cm2	°C	°F
<b>Baja</b>	<b>3</b>	<b>300</b>	<b>2.96</b>	<b>43.51</b>	<b>3.06</b>	<b>134</b>	<b>273</b>
<b>Media</b>	<b>12</b>	<b>1200</b>	<b>11.8</b>	<b>174</b>	<b>12.24</b>	<b>160</b>	<b>320</b>
<b>Alta</b>	<b>41</b>	<b>4100</b>	<b>40.46</b>	<b>594</b>	<b>41.81</b>	<b>250</b>	<b>485</b>

*Tabla 18: Condiciones del vapor. Fuente: PRO II*

## 8.2- Diseño del reactor de oxidación de Etileno R-101

La licencia utilizada para la sección de oxidación corresponde a Union Carbide Corp. Subsidiario de Dow Chemical CO. Dicha licencia describe al reactor como una unidad tipo multitubular catalítica, en este caso, con un catalizador de plata soportado en alúmina (ver Data Sheet). La reacción se lleva a cabo en fase gas, con etileno y oxígeno como reactantes. La conversión de etileno por paso en el reactor es del 9- 20%, según la bibliografía consultada.

Las reacciones principales son:



*Ilustración 29: Reacciones principales del R-101. Fuente: A. Peschel et al. / Chemical Engineering Science 66 (2011) - 6453 - 6469*

La Plata es el ingrediente principal en todos los catalizadores para procesos de oxidación de etileno (epoxidación). Su principal ventaja consiste en que el oxígeno se puede disociar y absorber en ella, y la relativa debilidad de la unión Ag<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> permite la formación de 1,2-epoxietano con el etileno.

1. Oxidación Parcial de etileno
2. Oxidación Total de etileno

Las reacciones (1) y (2) alcanzan su máximo al aumentar la presión parcial de etileno, que depende inversamente de la presión parcial de oxígeno.

Características	Valores típicos
Tipo de Catalizador	10% p/p plata sobre alúmina
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	800 - 2600
Diámetro equivalente (mm)	2 -5.5
Forma	Cilíndrica
Empacado	Aleatorio
Porosidad interna	0,5
Tortuosidad	2
Conductividad térmica (W/m K)	0.3 - 0.5
Capacidad Calorífica (kJ/kg K)	1
Área Superficial específica (m <sup>2</sup> /g)	< 2
Resistencia a la trituración en bulk (MPa)	3
Densidad de empaque tubular (kg/m <sup>3</sup> )	590
Esfericidad	0,9

Tabla 19. Fuente: Ind. Eng. Chem. Res. 2000, 39 - 2148 – 2156

### Mecanismos de reacción

La explicación más lógica para la formación de óxido de etileno ocurre a través de la reacción de etileno con el complejo de plata-oxígeno.

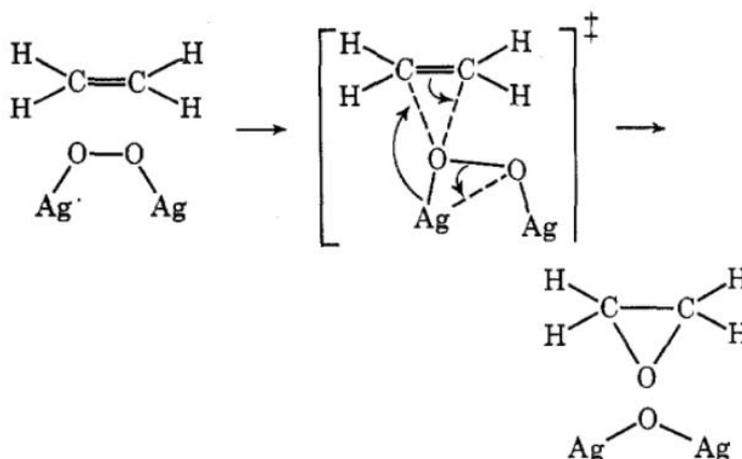


Ilustración 30: Mecanismo de reacción OE. Fuente: Robert E. Kenson' and M. Lapkin  
Chemicals Group Research Laboratory, Olin Corporation, New Haven, Connecticut 06604

La reacción resulta en la formación de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> y Ag<sub>2</sub>O, que es la configuración más probable para el complejo de plata-oxígeno atómico. Este complejo es también reactivo al etileno, pero deja al óxido de etileno en estado quimisorbido. Finalmente, el óxido de etileno es desorbido.

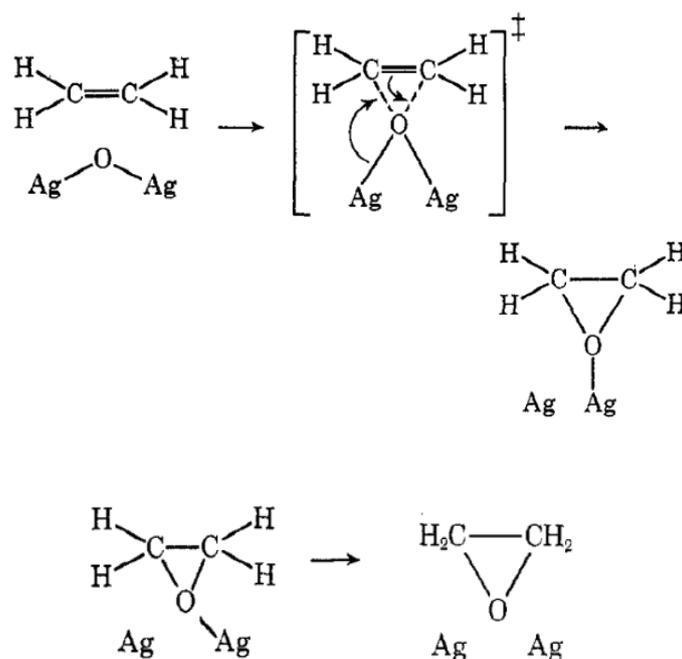


Ilustración 31. Fuente: Rober E. Kenson' and M. Lapkin Chemicals Group Research Laboratory, Olin Corporation, New Haven, Connecticut 06604

### Cinética de reacción

La cinética de la reacción fue determinada en base a ensayos experimentales sobre catalizadores de plata-alúmina. Las condiciones fueron a presión atmosférica y temperaturas de 210, 240, 264 y 292°C. Los experimentos fueron realizados con diferentes composiciones de gas de alimentación:

- I. 50% O<sub>2</sub>, 25% C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 25% Ar
- II. 33.3% O<sub>2</sub>, 33.3% C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 33.3% Ar
- III. 25% O<sub>2</sub>, 50% C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 25% Ar
- IV. 20% O<sub>2</sub>, 60% C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 20% Ar

El grado de conversión de etileno tuvo una variación de 0.5% a 70% con respecto a la conversión.

La bibliografía consultada determina que la expresión de velocidad de reacción para la oxidación parcial es la siguiente:

$$R(1) = \frac{K1 \cdot P_o \cdot P_e}{1 + K3 \cdot P_o + K4 \cdot P_e}$$

*Ecuación 1: Velocidad de reacción. Fuente: A kinetic model of steady state ethylene epoxidation over a supported silvercatalyst - L. PETROV, A. ELIYAS and D. SHOPOV*

Para la reacción de oxidación total es:

$$R(2) = \frac{K2 \cdot P_o \cdot P_e}{1 + K3 \cdot P_o + K4 \cdot P_e}$$

*Ecuación 2: Fuente: A kinetic model of steady state ethylene epoxidation over a supported silvercatalyst - L. Petrov, A. Eliyas y D. Shopov*

Donde:

- R<sub>1</sub> velocidad de reacción de la oxidación parcial
- R<sub>1</sub> velocidad de reacción de combustión total
- k<sub>i</sub> constante cinética
- P<sub>E</sub> presión parcial de etileno
- P<sub>O</sub> presión parcial de oxígeno

Los parámetros k1, k2, k3 y k4, para las ecuaciones de velocidad están dados según:

Values of preexponents, activation energies and kinetic constants

Preexponent	Ko	Ea/cal mole <sup>-1</sup>	210°C	240°C	264°C	292°C
K1	13.53	8087	0.00297	0.00486	0.00693	0.0101
K2	2253.00	13559	0.00166	0.00378	0.00685	0.0128
K3	0.0004507	7378	0.980	0.625	0.453	0.321
K4	0.0051330	7897	19.2	11.8	8.38	5.81

*Tabla 20. Fuente: Ecuación 2: Fuente: A kinetic model of steady state ethylene epoxidation over a supported silvercatalyst - L. Petrov, A. Eliyas y D. Shopov*

### Dimensiones básicas

Se plantearán los balances de materia en el reactor, para determinar los caudales molares de salida. Se usará el modelo de flujo pistón, que es que más se asemeja a un reactor multitubular.

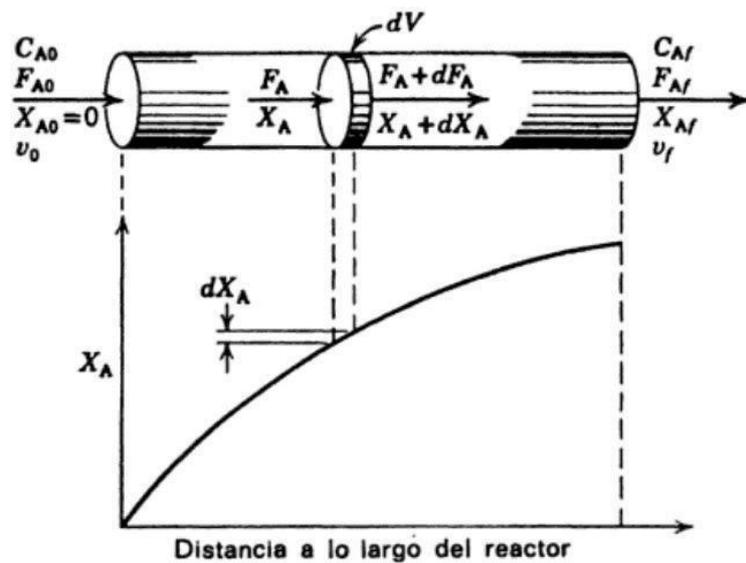
Con el fin de hallar la expresión que permite diseñar el sistema de reacción, se va a realizar un balance de materia:

$$\text{Acumulación} = [\text{Entrada}] - [\text{Salida}] + \text{Generación} - [\text{Consumo}]$$

Se eliminan los términos de generación, por referir a un reactivo, y el de acumulación, por diseñar en estado estacionario.

Balance de reactivo:

$$[\text{Salida}] = [\text{Entrada}] - [\text{Consumo}]$$



Expresión de cada término:

$$[\text{Consumo}] = (-r_i) \cdot \rho_c \cdot (1 - \varepsilon) \cdot A_f \cdot \Delta z$$

$$[\text{Entrada}] = |v \cdot C_i|_z \cdot A_f$$

$$[\text{Salida}] = |v \cdot C_i|_{z+\Delta z} \cdot A_f$$

- $(-r_i)$  es la velocidad de reacción referida a la unidad de masa del catalizador. [kmol/ (h \* kg catalizador)]
- $\rho_c$  es la densidad de la partícula de catalizador, en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
- $A_f$  es el área de flujo de 1 tubo en  $\text{m}^2$ .

- $\Delta z$  es el incremento en el largo del tubo en metros.
- $\varepsilon$  hace referencia a la porosidad del lecho y es un parámetro adimensional.
- $v$  es la velocidad del fluido en m/s.
- $C_i$  es la concentración del reactivo en el sistema de reacción expresada en  $\text{kmol}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Remplazando:

$$|v \cdot C_i|_{z+\Delta z} \cdot A_f = |v \cdot C_i|_z \cdot A_f - (-r_i) \cdot \rho_c \cdot (1 - \varepsilon) \cdot A_f \cdot \Delta z$$

$$[|v \cdot C_i|_{z+\Delta z} - |v \cdot C_i|_z] \cdot A_f = -(-r_i) \cdot \rho_c \cdot (1 - \varepsilon) \cdot A_f \cdot \Delta z$$

Considerando  $v$  constante y dividiendo por  $\Delta z$ :

$$\frac{[|C_i|_{z+\Delta z} - |C_i|_z] v \cdot A_f}{\Delta z} = -(-r_i) \cdot \rho_c \cdot (1 - \varepsilon) \cdot A_f \cdot \Delta z$$

Aplicando límite para  $\Delta z$  tendiendo a 0:

$$\frac{[|C_i|_{z+\Delta z} - |C_i|_z] v \cdot A_f}{\Delta z} = r_i \cdot \rho_c \cdot (1 - \varepsilon) \cdot A_f$$

$$\frac{dC_i \cdot v \cdot A_f}{dz \cdot A_f} = r_i \cdot \rho_c \cdot (1 - \varepsilon)$$

Siendo  $v \cdot A_f = Q$  (caudal volumétrico) y  $dz \cdot A_f = dV$  ,:

$$\frac{dC_i \cdot Q}{dV} = r_i \cdot \rho_c \cdot (1 - \varepsilon)$$

Reagrupando los términos de diferencial volumen con la densidad del catalizador y la fracción de volumen ocupada por el catalizador puedo obtener una expresión en masa de catalizador ( $W$ ).

$$W = \rho_c \cdot (1 - \varepsilon) V$$

$$\frac{dC_i \cdot Q}{r_i} = \rho_c \cdot (1 - \varepsilon) dV$$

$$\frac{dC_i \cdot Q}{r_i} = dW$$

Expresando  $dC_i$  en función de la conversión  $dC_i = -C_i^0 dx_i$  y sustituyendo:

$$dW = \frac{-C_i^0 Q dx_i}{r_i} = \frac{F_i^0 dx_i}{-r_i}$$

Balance de Masa por componente



El proceso de epoxidación se llevará a cabo a una temperatura de 240 °C y 17 kg/cm<sup>2</sup>. La selectividad promedio en estas condiciones alcanza el 80% hacia la producción de óxido de etileno:

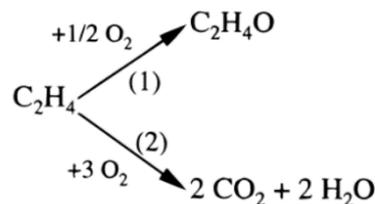
$$S = \frac{\text{moles de OE producidos}}{\text{moles de etileno alimentado}} = 0,8$$

La composición de la corriente de alimentación al reactor es:

COMPONENTE	Flujo molar (kmol/h)	PM	Flujo Masico (kg/h)
ET	1000	28	28000
O2	150	32	4800
CO2	380	44	16720
CH4	1660	16	26560
TOTAL	3190		76080

Tabla 21. Fuente: Method for producing ethylene oxide. Patente US 9518036 B2

Sabiendo que las relaciones estequiométricas de las reacciones principales son:



El balance por componente será:

$$n_{Et} = n_{Et}^0 - n_{Et}^0 x_{Et} = n_{Et}^0 (1 - x_{Et})$$

$$n_{O_2} = n_{O_2}^0 - \frac{1}{2}n_{Et}^0x_{Et}S - 3n_{Et}^0x_{Et}(1-S) = n_{Et}^0 \left[ \vartheta_{O_2} - \frac{1}{2}x_{Et}S - 3x_{Et}(1-S) \right]$$

$$n_{CH_4} = n_{CH_4}^0 = \vartheta_{CH_4}n_{Et}^0$$

$$n_{CO_2} = n_{CO_2}^0 + 2n_{Et}^0x_{Et}(1-S) = n_{Et}^0[\vartheta_{CO_2} + 2x_{Et}(1-S)]$$

$$n_{H_2O} = n_{H_2O}^0 + 2n_{Et}^0x_{Et}(1-S) = n_{Et}^0[2x_{Et}(1-S)]$$

$$n_{OE} = n_{OE}^0 + n_{Et}^0x_{Et}S = n_{Et}^0[x_{Et}S]$$

La suma de todos los componentes es:

$$n_{total} = \sum n_i$$

$$n_{total} = n_{Et}^0(1-x_{Et}) + n_{Et}^0 \left[ \vartheta_{O_2} - \frac{1}{2}x_{Et}S - 3x_{Et}(1-S) \right] + \vartheta_{CH_4}n_{Et}^0 + n_{Et}^0[\vartheta_{CO_2} + 2x_{Et}(1-S)] + n_{Et}^0[2x_{Et}(1-S)] + n_{Et}^0[x_{Et}S]$$

$$n_{total} = n_{Et}^0 \left\{ (1-x_{Et}) + \vartheta_{O_2} - \frac{1}{2}x_{Et}S - 3x_{Et}(1-S) + \vartheta_{CH_4} + \vartheta_{CO_2} + 2x_{Et}(1-S) + 2x_{Et}(1-S) + x_{Et}S \right\}$$

Agrupando las constantes y aplicando distributiva:

$$n_{total} = n_{Et}^0 \left\{ 1 + \vartheta_{O_2} + \vartheta_{CH_4} + \vartheta_{CO_2} - x_{Et} - \frac{1}{2}x_{Et}S - 3x_{Et} + 3x_{Et}S + 2x_{Et} - 2x_{Et}S + 2x_{Et} - 2x_{Et}S + x_{Et}S \right\}$$

Siendo  $1 + \vartheta_{O_2} + \vartheta_{CH_4} + \vartheta_{CO_2} = K$  y reagrupando:

$$n_{total} = n_{Et}^0 \left\{ K - x_{Et} - 3x_{Et} + 2x_{Et} + 2x_{Et} + -\frac{1}{2}x_{Et}S + 3x_{Et}S - 2x_{Et}S - 2x_{Et}S + x_{Et}S \right\}$$

$$n_{total} = n_{Et}^0 \left\{ K + (-1 - 3 + 2 + 2)x_{Et} + \left( -\frac{1}{2} + 3 - 2 - 2 + 1 \right) x_{Et}S \right\}$$

$$n_{total} = n_{Et}^0 \left\{ K - \frac{1}{2}x_{Et}S \right\}$$

$$n_{total} = n_{Et}^0 \left\{ 1 + \vartheta_{O_2} + \vartheta_{CH_4} + \vartheta_{CO_2} - \frac{1}{2} x_{Et} S \right\}$$

$$\vartheta_{O_2} = \text{Relación de alimentación de } O_2 = \frac{\text{moles de } O_2 \text{ alimentados}}{\text{moles de Etileno alimentados}} = 0,15$$

$$\vartheta_{CO_2} = \text{Relación de alimentación de } CO_2 = \frac{\text{moles de } CO_2 \text{ alimentados}}{\text{moles de Etileno alimentados}} = 0,38$$

$$\vartheta_{CH_4} = \text{Relación de alimentación de } CH_4 = \frac{\text{moles de } CH_4 \text{ alimentados}}{\text{moles de Etileno alimentados}} = 1,66$$

### Deducción de la expresión de las presiones parciales

Sabiendo que las expresiones de las ecuaciones cinéticas catalizadas son las siguientes.

$$R(1) = \frac{K1 \cdot P_o \cdot P_e}{1 + K3 \cdot P_o + K4 \cdot P_e}$$

$$R(2) = \frac{K2 \cdot P_o \cdot P_e}{1 + K3 \cdot P_o + K4 \cdot P_e}$$

Se deben acoplar las presiones parciales en función de la conversión.

Teniendo en cuenta la ley de Dalton donde:

$$P_i = P \cdot y_i$$

Donde:

- fracción molar  $i = y_i = \frac{\text{moles de } i}{\text{moles totales}}$
- $P_i$  presión parcial del componente  $i$
- $P$  presión total del sistema

La presión parcial de etileno será:

$$P_{Et} = P \cdot y_{Et} = P \frac{n_{Et}}{n_{totales}} = P \frac{n_{Et}^0 (1 - x_{Et})}{n_{Et}^0 \left\{ K - \frac{1}{2} x_{Et} S \right\}} = P \frac{(1 - x_{Et})}{K - \frac{1}{2} x_{Et} S}$$

La presión parcial de oxígeno será:

$$P_{O_2} = P \cdot y_{O_2} = P \frac{n_{O_2}}{n_{totales}} = P \frac{n_{Et}^0 \left[ \vartheta_{O_2} - \frac{1}{2} x_{Et} S - 3x_{Et}(1 - S) \right]}{n_{Et}^0 \left\{ K - \frac{1}{2} x_{Et} S \right\}}$$

$$P_{O_2} = P \frac{\vartheta_{O_2} - \frac{1}{2} x_{Et} S - 3x_{Et}(1 - S)}{K - \frac{1}{2} x_{Et} S}$$

### Cálculo de la masa de catalizador

Siendo:

$$dW = \frac{-C_i^0 Q dx_i}{r_i} = \frac{F_i^0 dx_i}{-r_i}$$

Con respecto al etileno

$$W_{total} = dW_1 + dW_2 = \frac{F_E^0 dx_E}{-r_{(1)}} + \frac{F_E^0 dx_E}{-r_{(2)}}$$

La expresión puede ser integrada por el método de Simpson según:

$$\int_{x_0}^{x_N} f(x) dX = \frac{h}{3} (f_0 + 4f_1 + 2f_2 + 4f_3 + 2f_4 + \dots + 4f_{N-1} + f_N)$$

$$h = \frac{b - a}{N}$$

Para N + 1, donde N es par. En nuestro caso se ha tomado un intervalo de conversión de 0 a 0.14, con incremento de 0,01 unidades queda:

a	0
b	0,2
n	20
h	0,01
h/3	0,00333

Las toneladas de catalizador necesarias serán **33,6 Tn.** Este tipo de catalizadores tiene una vida útil de 5 años.

El volumen de catalizador puede ser despejado de la siguiente ecuación:

$$W_{total} = \rho_c(1 - \varepsilon)V_{total}$$

$$V_{cat} = \frac{W_{total}}{\rho_c(1 - \varepsilon)} = \frac{29400 \text{ kg}}{1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1 - 0,5)} = 42 \text{ m}^3$$

Para compensar el envejecimiento y errores asociados a considerar condiciones de idealidad se sobredimensiona los requerimientos de catalizador un 10%.

$$V_{cat} = 46,2 \text{ m}^3$$

### Número de tubos y pérdida de carga

El número de tubos debe aportar el volumen necesario para soportar el volumen de catalizador calculado.

El volumen interno de un tubo responde a:

$$V_{tubo} = \pi r^2 \cdot L$$

$$V_{tubos} = \pi r^2 \cdot L$$

El número de tubos corresponde a una relación de volúmenes tal que:

$$n^{\circ}_{tubos} = \frac{V_{cat}}{V_{tubo}}$$

El largo de los tubos L no puede superar los 12 metros, ya que son los tubos de mayor dimensión del mercado. Por otro lado, el diámetro externo  $D_o$  puede ser entre 1,5 y 2 pulgadas, con un espesor BWG 12 ( $e = 0,109$  pulg).

La selección del largo y diámetro dependerá de la pérdida de carga del sistema.

Para diámetro de tubo de 1,5 pulgadas:

V cat [m3]	Do [m]	L	V tubo	nº tubos
46,2	0,038100076	5	0,00570048	8105
46,2	0,038100076	6	0,00684058	6754
46,2	0,038100076	7	0,00798067	5789
46,2	0,038100076	8	0,00912077	5065
46,2	0,038100076	9	0,01026087	4503
46,2	0,038100076	10	0,01140096	4052
46,2	0,038100076	11	0,01254106	3684
46,2	0,038100076	12	0,01368116	3377

Tabla 22: Cálculos de tuberías. Fuente: Elaboración propia según datos de "Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos" - Eduardo Cao

Para diámetro de tubo de 2 pulgadas:

V cat [m3]	Do [m]	L	V tubo	nº tubos
46,2	0,0508001	5	0,01013419	4559
46,2	0,0508001	6	0,01216103	3799
46,2	0,0508001	7	0,01418787	3256
46,2	0,0508001	8	0,0162147	2849
46,2	0,0508001	9	0,01824154	2533
46,2	0,0508001	10	0,02026838	2279
46,2	0,0508001	11	0,02229522	2072
46,2	0,0508001	12	0,02432206	1900

Tabla 23: Cálculos de tuberías. Fuente: Elaboración propia según datos de "Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos" - Eduardo Cao

Para calcular la pérdida de carga, se utilizará la ecuación de Ergun, teniendo en cuenta que el  $\Delta P$  no podrá exceder el 10% de la presión de alimentación. (17 kg/cm<sup>2</sup>).

$$-\frac{\Delta p}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon_m)^2}{\varepsilon_m^3} \frac{\mu u}{(\phi_s d_p)^2} + 1,75 \frac{1 - \varepsilon_m}{\varepsilon_m^3} \frac{\rho u^2}{\phi_s d_p}$$

- $\Delta p$  pérdida de carga a través del lecho [Pa]
- $L$  longitud del lecho [m]
- $\varepsilon_m$  porosidad del lecho
- $\mu$  viscosidad del fluido [Pa s]
- $u$  velocidad del fluido a través del lecho [m/s]
- $\phi_s$  esfericidad
- $d_p$  diámetro equivalente de partícula [m]
- $\rho$  densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>]

La velocidad del fluido es función del área de flujo:

$$u = \frac{\dot{m}}{A_f \cdot \rho} ; \text{siendo } A_f = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4}$$

La densidad y viscosidad del fluido están definidas por simulación en el software PRO II. Para ello fueron especificadas las condiciones operativas y los balances de masa pertinentes. Quedando:

Property	Value	Units
Vapor Std Vol Flow	73293,758	m3/hr
Molecular Weight	24,158	
Z (from K)	0,99421	
Enthalpy	158,773	kcal/kg
CP	0,509	kcal/kg-C
Density	9,451	kg/m3
Th. Conductivity	0,04815	kcal/hr-m-C
Viscosity	0,01931	CP
Liquid		

Stream Summary | Copy | Close

Select property table for window display

Tabla 24: Propiedades de la carga. Fuente: PRO II

Resolviendo se obtienen dos configuraciones viables:

Ø nominal (pulg)	e (BWG 12) (pulg)	Ø interno (m)	n° tubos	Area de Flujo (m2)	velocidad (m/s)	L(m)	ΔP (Pa)	ΔP (kg/cm2)
1,5	0,109	0,0353314	8105	7,945879523	0,2796	5	-2937,69984	-0,02996454
1,5	0,109	0,0353314	6754	6,621566269	0,3356	6	-5359,02799	-0,05466209
1,5	0,109	0,0353314	5789	5,675628231	0,3915	7	-8830,57338	-0,09007185
1,5	0,109	0,0353314	5065	4,966174702	0,4474	8	-13540,4594	-0,13811269
1,5	0,109	0,0353314	4503	4,414377513	0,5034	9	-19676,8094	-0,20070346
1,5	0,109	0,0353314	4052	3,972939762	0,5593	10	-27427,7467	-0,27976302
1,5	0,109	0,0353314	3684	3,61176342	0,6152	11	-36981,3948	-0,37721023
1,5	0,109	0,0353314	3377	3,310783135	0,6711	12	-48525,877	-0,49496395

Tabla 25: Cálculo de tubos y pérdida de carga. Fuente: Elaboración propia según datos de "Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos" - Eduardo Cao

Ø nominal	e (BWG 12)	Ø interno (m)	n° tubos	Area de Flujo (m2)	velocidad (m/s)	L (m)	ΔP (Pa)	ΔP (kg/cm2)
2	0,109	0,0480314	4559	8,260252069	0,2690	5	-2682,41214	-0,0273606
2	0,109	0,0480314	3799	6,883543391	0,3228	6	-4907,13236	-0,05005275
2	0,109	0,0480314	3256	5,900180049	0,3766	7	-8100,77697	-0,08262793
2	0,109	0,0480314	2849	5,162657543	0,4304	8	-12437,4224	-0,12686171
2	0,109	0,0480314	2533	4,589028927	0,4842	9	-18091,1453	-0,18452968
2	0,109	0,0480314	2279	4,130126034	0,5380	10	-25236,0219	-0,25740742
2	0,109	0,0480314	2072	3,754660031	0,5918	11	-34046,1289	-0,34727051
2	0,109	0,0480314	1900	3,441771695	0,6456	12	-44695,5426	-0,45589453

Tabla 26: Cálculo de tubos y pérdida de carga. Fuente: Elaboración propia según datos de "Transferencia de Calor en Ingeniería de Procesos" - Eduardo Cao

- Para 3377 tubos de diámetro nominal de 1,5 pulgadas, 12 metros de longitud y espesor BWG 12;
- Para 1900 tubos de diámetro nominal de 2 pulgadas, 12 metros de longitud y espesor BWG 12;

En ambos casos, la longitud de los tubos es la misma, por lo que la selección está dada en función de la cantidad de tubos necesaria para el proceso. Una menor cantidad de tubos implicará un menor diámetro de coraza.

**Conclusiones:** se usarán 1900 tubos de diámetro nominal de 2 pulgadas, 12 metros de largo y espesor BWG 12.

### Balance de energía y caudal de refrigerante

Las reacciones que ocurren dentro del proceso son fuertemente exotérmicas, lo que obliga, en virtud de mantener condiciones normales de operación, a la refrigeración y disipación del calor generado.

El fluido refrigerante será agua a presión y temperatura adecuada. La corriente de refrigerante tendrá la siguiente ecuación, en virtud de mantener la temperatura del reactor constante.

$$Q_{reaccion} = Q_{intercambiado}$$

El calor generado por reacción química responde a:

$$Q_{ri} = (-r_i) \cdot \rho_c \cdot (1 - \varepsilon) \cdot A_f \cdot \Delta z \cdot (-\Delta H_{ri}) \cdot S_i$$

$$Q_{int} = \dot{m}_{ref} \cdot \Delta H_{vap}$$

En este caso, hay dos reacciones que aportan al flujo de calor de reacción

Para la epoxidación el  $\Delta H_r = -106.7 \frac{kJ}{mol}$

Para la oxidación total  $\Delta H_r = -1323 \frac{kJ}{mol}$

$$Q_{r1} = (-r_1) \cdot \rho_c \cdot (1 - \varepsilon) \cdot A_f \cdot \Delta z \cdot (-\Delta H_{r1}) \cdot S_1$$

$$Q_{r2} = (-r_2) \cdot \rho_c \cdot (1 - \varepsilon) \cdot A_f \cdot \Delta z \cdot (-\Delta H_{r2}) \cdot S_2$$

$$Q_r = \sum Q_{ri}$$

El calor neto generado por las reacciones será **-15270,5761 kW**, equivalente en unidades internacionales a **-13151692,33 kcal/h**

El refrigerante será agua cuya capacidad calorífica a presión constante es  $C_{p\ agua} = 4,187 \text{ kJ}/^\circ\text{C kg}$ . Teniendo en cuenta que el calor intercambiado debe ser igual al calor de reacción, que no habrá cambio de fase y que el agua entra a  $T_{amb} = 30^\circ\text{C}$

$$-Q_r = Q_{int} = \dot{m}_{ref} \cdot C_{p\ agua} \Delta T$$

Q (KJ/S)	m(kg/s)	m (kg/h)	Cp(KJ/C Kg)	ΔT	Te	Ts
15270,5761	1000	3600000	4,187	3,64714022	30	33,6471402
15270,5761	900	3240000	4,187	4,05237802	30	34,052378
15270,5761	800	2880000	4,187	4,55892527	30	34,5589253
15270,5761	700	2520000	4,187	5,21020031	30	35,2102003
15270,5761	600	2160000	4,187	6,07856703	30	36,078567
15270,5761	500	1800000	4,187	7,29428044	30	37,2942804
15270,5761	400	1440000	4,187	9,11785055	30	39,1178505
15270,5761	300	1080000	4,187	12,1571341	30	42,1571341
15270,5761	200	720000	4,187	18,2357011	30	48,2357011
15270,5761	150	540000	4,187	24,3142681	30	54,3142681
15270,5761	100	360000	4,187	36,4714022	30	66,4714022
15270,5761	75	270000	4,187	48,6285363	30	78,6285363
15270,5761	50	180000	4,187	72,9428044	30	102,942804
15270,5761	25	90000	4,187	145,885609	30	175,885609

Tabla 27: Cálculo del caudal de agua de enfriamiento. Fuente: Elaboración propia según "Transferencia de Calor" - Cengel

**Conclusiones:** se usarán 540 000 kg/h de agua de enfriamiento, para el equipo R-101.

### Determinación del espesor de los tubos

El cálculo del espesor de los tubos del reactor se conoce recurriendo al Código ASME B31.3, mediante la siguiente expresión que se recoge a continuación:

$$t = c + \frac{P_d d_o}{2 \cdot (S E - y P_d)}$$

Siendo:

- $P_d$  es la presión de diseño (interna) en psi.
- $d_o$  representa el diámetro exterior de los tubos en pulgadas.
- $S$  es la tensión máxima admisible por el material expresado en psi.
- $E$  es la eficiencia de soldadura.
- $Y$  es una constante función de la temperatura y del material.
- $C$  es el margen de corrosión expresado en pulgadas.

La presión de diseño  $P_d$  será un 20% mayor a la presión de trabajo. De igual manera, la  $T_d$  será 50 °C mayor a la temperatura de trabajo.

$T_d$ : 290°C y  $P_d = 20,4 \text{ kg/cm}^2$ .

Para el reactor, se selecciona acero inoxidable Tipo 316L A-240 (A358) debido a su resistencia a las altas temperaturas, presiones y ambientes corrosivos.

**Tipo 316L A-240 (A358):** Tubería de acero inoxidable, cromo-níquel austenítico soldado por fusión eléctrica para servicio de alta temperatura y aplicaciones generales

- **Tensión máxima admisible (S):** Para una temperatura de diseño de 290 °C el valor de la tensión máxima admisible por el material es de 14000 psi.

Los números en paréntesis se refieren a las notas para las Tablas del apéndice A; las especificaciones son ASTM a menos que se especifique de otra forma.

Material	No. espec.	N.º P o N.º S (5)	Grado	No. UNS	Notas	Temp. mín. °F (6)	Mín. esfuerzo especificado, ksi		Temp. mín. a 100	200	300	400	500	600
							Tensión	Elasticidad						
<b>Acero inoxidable (3) (4ª)</b>														
<b>Tuberías y tubos (2)</b>														
Tubería de 18Cr-10Ni-Ti smls > 3/8 pulg. de espesor	A 312	8	TP321	S32100	(30)(36)	-425	70	25	16,7	16,7	16,7	16,7	16,1	15,2
Tubería de 18Cr-10Ni-Ti > 3/8 pulg. de espesor	A 376	8	TP321	S32100	(30)(36)	-425	70	25	16,7	16,7	16,7	16,7	16,1	15,2
Tubo de 18Cr-8Ni	A 269	8	TP304L	S30403	(14)(36)	-425	70	25	16,7	16,7	16,7	15,8	14,7	14,0
Tubería de 18Cr-8Ni	A 312	8	TP304L	S30403		-425	70	25	16,7	16,7	16,7	15,8	14,7	14,0
Tipo 304L A 240	A 358	8	304L	S30403	(36)	-425	70	25	16,7	16,7	16,7	15,8	14,7	14,0
Tubo de 16Cr-12Ni-2Mo	A 269	8	TP316L	S31603	(14)(36)	-425	70	25	16,7	16,7	16,7	15,7	14,8	14,0
Tubería de 16Cr-12Ni-2Mo	A 312	8	TP316L	S31603		-425	70	25	16,7	16,7	16,7	15,7	14,8	14,0
Tipo 316L A 240	A 358	8	316L	S31603	(36)	-425	70	25	16,7	16,7	16,7	15,7	14,8	14,0

Tabla 28: Esfuerzos permitidos básicos en tensión para metales. Fuente: norma ASME - VIII

- **Eficiencia de la soldadura (E):** Según la tabla UW-12 del Código ASME VIII. Para una junta a tope hecha por doble cordón de soldadura o por medios de otro método con el que se obtenga la misma calidad de soldadura de material depositado sobre la superficie interior y exterior de la pieza, E es igual a la unidad.

Type No.	Joint Description	Limitations	Joint Category	Degree of Radiographic Examination		
				(a) Full <sup>2</sup>	(b) Spot <sup>3</sup>	(c) None
(1)	Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips which remain in place are excluded.	None	A, B, C, & D	1.00	0.85	0.70
(2)	Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)	(a) None except as in (b) below (b) Circumferential butt joints with one plate offset; see UW-13(b)(4) and Fig. UW-13.1, sketch (k)	A, B, C, & D A, B, & C	0.90 0.90	0.80 0.80	0.65 0.65
(3)	Single-welded butt joint without use of backing strip	Circumferential butt joints only, not over 5/8 in. (16 mm) thick and not over 24 in. (600 mm) outside diameter	A, B, & C	NA	NA	0.60
(4)	Double full fillet lap joint	(a) Longitudinal joints not over 3/8 in. (10 mm) thick (b) Circumferential joints not over 5/8 in. (16 mm) thick	A B & C <sup>6</sup>	NA NA	NA NA	0.55 0.55
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	(a) Circumferential joints <sup>4</sup> for attachment of heads not over 24 in. (600 mm) outside diameter to shells not over 1/2 in. (13 mm) thick (b) Circumferential joints for the attachment to shells of jackets not over 5/8 in. (16 mm) in nominal thickness where the distance from the center of the plug weld to the edge of the plate is not less than 1 1/2 times the diameter of the hole for the plug.	B C	NA NA	NA NA	0.50 0.50

Tabla 29: Eficiencias de unión máximas permitidas para uniones soldadas por arco y gas. Fuente: norma ASME - VIII

- **Factor Y:** Para una temperatura de diseño no superior a los 900°F (482°C) en los tubos de acero inoxidable Tipo 316L A-240, el factor toma un valor de 0,4.
- **Margen de corrosión (C):** Por último, el valor del margen de corrosión C se obtiene multiplicando los años de vida útil del material por el desgaste anual que el espesor de los tubos sufre debido a la corrosión. Si se considera una vida útil del reactor de 15 años y un valor del desgaste en el espesor de 5 milésimas de pulgada por año, el valor de C es de 0,075 pulgadas.

$$t = 0,075 \text{ pulg} + \frac{290 \text{ psi} \cdot 2 \text{ pulg}}{2 \cdot (14000 \text{ psi} \cdot 1 - 0,4 \cdot 290 \text{ psi})} = 0,096 \text{ pulg}$$

$$t = 0,0024 \text{ m} = 2,4 \text{ mm}$$

**Conclusión:** la selección de BWG 12 es indicada para soportar la presión interna de los caños.

## Diseño de la coraza

Debido a las condiciones de operación y características del fluido refrigerante el material empleado para su construcción será Acero al Carbono A 285 Gr.A (A-134)

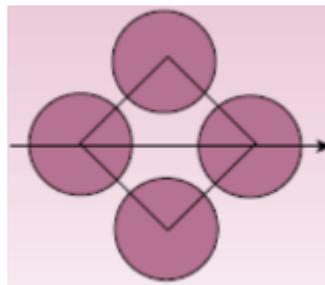
### Cálculo de diámetro de la coraza:

Para calcular el diámetro de la coraza se calculará un diámetro equivalente, que es igual al diámetro de un círculo de igual área que el área encerrada por el perímetro mojado.

Se seleccionará un arreglo de tubos en cuadro rotado, con una relación de paso  $RP = 1,5$  y un diámetro externo de tubo de 2 pulg.

Arreglo cuadrado rotado a  $45^\circ$  tiene las siguientes características:

- Menor pérdida de carga y menor coeficiente de transferencia de calor en la coraza.
- La mejor opción para la limpieza del lado de la coraza, especialmente con separación alta



### Cálculo de lado del cuadro:

$$L_{cuadro} = d_0 + c$$

Siendo:

$d_0$ : diámetro externo de tubos

$c$ : distancia entre tubos de borde a borde

$L_{cuadro}$ : lado del cuadro

$$L_{cuadro} = 0,0508 \text{ m} + 0,0254 \text{ m} = 0,0762 \text{ m}$$

### Área del cuadro:

$$A_{cuadro} = L_{cuadro}^2 = 0,0058 \text{ m}^2$$

El área del cuadro equivalente se obtiene restando al área total del cuadro a la superficie correspondiente a los cuatro cuartos de tubo en sus esquinas.

$$A_{eq} = A_{cuadro} - \pi \left( \frac{do}{2} \right)^2 = 0,0037 \text{ m}^2$$

Cada 9 tubos habrá 4 áreas de cuadros equivalentes por lo tanto mediante regla de 3 simple se calcula el área equivalente total de la coraza:

$$A_{eqex} = \frac{4}{9} A_{eq} \cdot n^{\circ} \text{ tubos} = 3,2 \text{ m}^2$$

**Área de sección transversal de tubos:**

$$A_{eqT} = n^{\circ} \text{ tubos} \cdot \pi \left( \frac{do}{2} \right)^2 = 3,9 \text{ m}^2$$

El área de la coraza será la suma del área total de los tubos y el área equivalente total de los cuadros (externa a tubos):

$$A_{coraza} = A_{eqT} + A_{eqex} = 7,1 \text{ m}^2$$

**Diámetro del reactor:**

$$A_{coraza} = \pi \left( \frac{D'_{rx}}{2} \right)^2$$

$$D'_{rx} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{coraza}}{\pi}} = 3 \text{ m}$$

Dejando un espaciado entre el mazo de tubos y la coraza de 0,05m el diámetro corregido es:

$$D_{rx} = 2,41 \text{ m} + 2 \cdot 0,05 \text{ m} = 3,1 \text{ m}$$

**Altura del reactor:**

$$h_{rx} = h_{tubos} + h_{cabezales}$$

Los cabezales se modelizan como semiesféricos, por lo tanto:

$$h_{cabezal} = \frac{D_{rx}}{2} = 1,55 \text{ m}$$

$$h_{rx} = 12 \text{ m} + 2 \cdot 1,55 \text{ m} = 15,1 \text{ m}$$

**Volumen de Reactor**

$$V_{rx} = \pi \left( \frac{D_{rx}}{2} \right)^2 \cdot h_{rx} = 113,5 \text{ m}^3$$

### Caída de presión del lado coraza

La caída de presión a través de la coraza es proporcional al número de veces que el fluido cruza el haz entre los deflectores y, también, a la distancia a través del haz cada vez que lo cruza.

El número de veces que el haz se cruza siempre será impar si las dos boquillas de la coraza están en lados opuestos de la misma.

$$\Delta P_s = \frac{f_s G_s^2 (N_B + 1) D_s}{D_e 2 \rho_s} \cdot n p_s$$

$$f_s = 1,728 Re_s^{-0.188}; \text{ para } Re_s \geq 500$$

$$Re_s = \frac{\rho v_s D_e}{\mu}$$

Donde:

$f_s$  es el factor de fricción

$N_B + 1$  número de cruces

$n p_s$  número de pasos en la coraza

$G_s$  velocidad de flujo másico

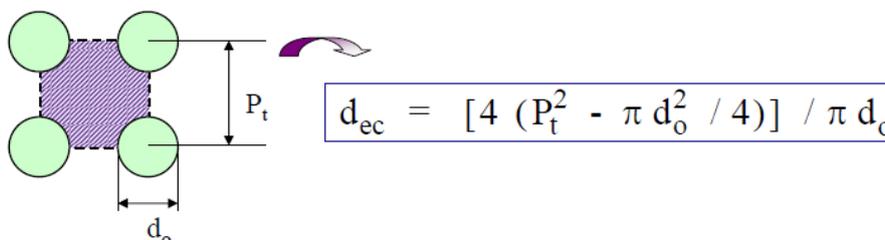
$D_s$  diámetro interno de coraza

$D_e$  diámetro equivalente de coraza

$Re_s$  número de Reynolds

$v_s$  velocidad de flujo volumétrico

El diámetro equivalente depende del tipo de arreglo, en este caso cuadrado rotado



$$D_e = 0,022 \text{ m}$$

Para una velocidad de flujo de 150 m/s de agua a 30°C el número de Reynolds alcanza un valor de:

$$Re_s = 5143$$

Esto sugiere que el fluido se encuentra en un régimen turbulento. El factor de fricción será igual a:

$$f_s = 0,35$$

El espaciado entre baffles B será igual al 20% de la longitud total de la coraza:

$$B = 20\% \cdot 12m = 0,62$$

Por lo tanto, el total de baffles es de:

$$N_B = \frac{L}{B} - 1 = \frac{12 m}{0,62 m} - 1 = 18$$

El número de cruces será entonces

$$N_c = N_B + 1 = 19$$

Para este caso,  $np_s$  es igual a 1.

$$\Delta P_s = 26000 Pa$$

$$\Delta P_s = 0,26 \frac{kg}{cm^2}$$

### **Cálculo de espesor de la coraza**

Utilizando la norma ASME sección VIII se calcula el espesor de la coraza.

$$t = c + \frac{PR_{rx}}{SE - yP}$$

Donde:

- Rx: Radio del reactor
- S: tensión máxima admisible del material
- E: Eficiencia de soldadura
- c: Espesor por corrosión
- P: Presión de diseño

Cálculo de presión de diseño:

$$P = 1,1(P_0 + P_h)$$

Donde:

- $P_0 =$  Presión manométrica del recipiente
- $P_h = h_{liq} \rho_{liq} g$ ; presión hidroestática del líquido

$$P_h = h_{liq} \rho_{liq} g = 12 \text{ m} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} = 117600 \text{ Pa} = 1,176 \text{ bar}$$

$$P_0 = 2 \text{ bar}$$

$$P = 1,1(2 \text{ bar} + 1,176 \text{ bar}) = 3,5 \text{ bar}$$

La tensión máxima admisible del Acero al carbono A 285 Gr.A (A-134)

Los números en paréntesis se refieren a las notas para las Tablas del apéndice A; las especificaciones son ASTM a menos que se especifique de otra forma.

Material	No. de espec.	N.º P o N.º S (5)	Grado	No. UNS	Notas	Temp. mín. °F (6)	Mín. esfuerzo especificado, ksi		Temp. mín. a 100	200	300
							Tensión	Elasticidad			
<b>Acero carbón tuberías y tubos (2)</b>											
A 285 Gr. A	A 134	1	...	...	(8b)(57)	B	45	24	15,0	14,7	14,2
A 285 Gr. A	A 672	1	A45	K01700	(57)(59)(67)	B	45	24	15,0	14,7	14,2
Soldadura a tope Smls y ERW	API 5L	S-1	A25	...	(8a)	-20	45	25	15,0	15,0	14,7
	API 5L	S-1	A25	...	(57)(59)	B	45	25	15,0	15,0	14,7
...	A 179	1	...	K01200	(57)(59)	-20	47	26	15,7	15,7	15,3
Tipo F	A53	1	A	K02504	(8a)(77)	20	48	30	16,0	16,0	16,0
...	A 139	S-1	A	...	(8b)(77)	A	48	30	16,0	16,0	16,0
...	A 587	1	...	K11500	(57)(59)	-20	48	30	16,0	16,0	16,0

Tabla 30: Esfuerzos permitidos básicos en tensión para metales. Fuente: norma ASME -VIII

$$S = 14200 \text{ psi}$$

La eficiencia a la soldadura considerada es de 0,80 ya que es recomendable utilizar este valor para recipientes sometidos a presión con estas características.

No. espec.	Clase (o tipo)	Descripción	$E_j(2)$	Notas. Apéndice A
<b>Acero carbono</b>				
API 5L	...	Tubería sin costura	1.00	...
		Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
		Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.95	...
		Soldada a tope en horno	0.60	...
A 53	Tipo S	Tubería sin costura	1.00	...
	Tipo E	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
	Tipo F	Soldada a tope en horno	0.60	...
A 105	...	Forjas y accesorios	1.00	(9)
A 106	...	Tubería sin costura	1.00	...
A 134	...	Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.80	...
A 135	...	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
A 139	...	Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o	0.80	...

Tabla 31: Factores de calidad básicos para juntas longitudinales soldadas en tuberías, tubos y accesorios. Fuente: norma ASME - VIII

$$E = 0,80$$

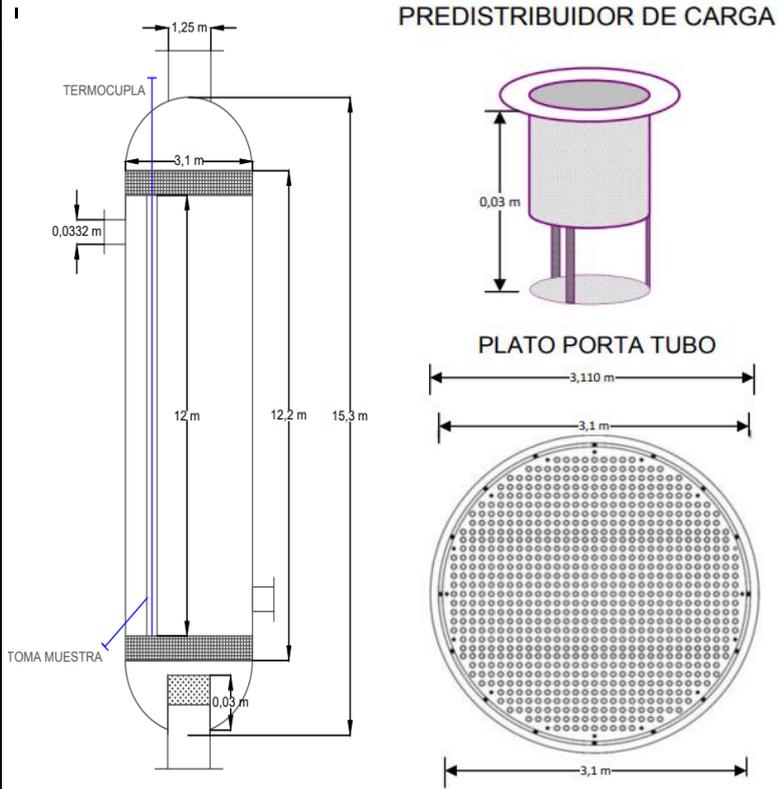
Se considerará un espesor por corrosión de 3mm.

El espesor de la coraza del reactor será el siguiente:

$$t = 3 \text{ mm} + \frac{3,5 \text{ bar} \cdot 1550 \text{ mm}}{980 \text{ bar} \cdot 0,80 - 0,6 \cdot 3,5 \text{ bar}} = 10 \text{ mm}$$

### Hoja de especificación

UTN- FRLP	HOJA 1/2 DE ESPECIFICACIÓN REACTOR DE OXIDACIÓN DE ETILENO		INTEGRACIÓN V - PROYECTO FINAL
DENOMINACIÓN: Reactor de oxidación de etileno			
UNIDAD: R-101			
SERVICIO: Convierte el etileno en Óxido de etileno por oxidación directa con oxígeno			
DATOS DE OPERACIÓN			
		SYNGAS	REFRIGERANTE (AGUA)
CAUDAL DE OPERACIÓN	kg/h	76080	540 000
CAUDAL MÁXIMO DE OP.	kg/h	83000	
CAUDAL MÍNIMO DE OP.	kg/h	57060	
TEMPERATURA DE OP.(IN/OUT)	°C	240	30//54
PRESION OP.	kg/cm2	17	3
FRACCIÓN DE VAPOR	(mol/mol )	1//1	0//1
DENSIDAD(IN/OUT)	kg/m3	9,451	1000//988
DATOS CONSTRUCTIVOS			
MAZO DE TUBOS		ESQUEMA	
MATERIAL	316L A-240		
N° TUBOS		1900	
LONGITUD	M	12	
DO	M	0,0508	
DI	M	0,048	
ARREGLO	Cuadrado rotado 45°		
CORAZA			
MATERIAL	A 285 Gr.A (A-134)		
PRESION DE DISEÑO	kg/cm2	3	
GEOMETRIA CUERPO	Cilíndrica		
GEOMETRÍA CASQUETE	Semiesférico		
PESO CARAZA VACÍA	kg	67165	
PESO EN OPERACIÓN	Kg	101349	
ALTURA DEL CASQUETE	M	1,55	
ALTURA DEL CUERPO	M	12	
ALTURA TOTAL	M	15,3	
DI	M	3,1	
ESPESOR CUERPO	M	0,01	
ESPESOR CASQUETE	M	0,01	
CONEXIONES			
ALIMENTACION	PARTE INFERIOR		
SALIDA DE PRODUCTOS	PARTE SUPERIOR		
DATOS DE DISEÑO			
TEMPERATURA DE DISEÑO	°C	290	
PRESIÓN DE DISEÑO	kg/cm2	20,4	
PÉRDIDA DE CARGA	kg/cm2	0,45	
PÉRDIDA DE CARGA ADMISIBLE	kg/cm2	1,7	
CONVERSIÓN POR PASO		15%	



UTN- FRLP	HOJA 2/2 DE ESPECIFICACIÓN REACTOR DE OXIDACIÓN DE ETILENO	INTEGRACION V - PROYECTO FINAL	
DENOMINACIÓN: Catalizador soportado Ag/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
UNIDAD: R-101			
SERVICIO: Catalizador de unidad de reacción R-101			
DATOS CATALIZADOR			
TIPO	10% Ag / αAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
GEOMETRIA	Cilíndrica		
POROSIDAD	0,5		
DENSIDAD	kg/m <sup>3</sup>	1600	
RESISTENCIA EN BULK	kg/cm <sup>2</sup>	30	
CAPACIDAD CALORIFICA	kJ/kg K	1	
DATOS DE LECHO CARGADO DE CATALIZADOR			
DENSIDAD	kg/m <sup>3</sup>	590	
MASA DE CATALIZADOR	Kg	33600	



### 8.3- Selección de bomba de proceso P-105

La clase de información necesaria para la especificación de una bomba centrífuga cubre un amplio espectro de detalles, entre ellos están los referidos al fluido de proceso (propiedades fisicoquímicas y caudal) y datos constructivos del equipo (diámetro del impulsor, eficiencia, diámetro de succión y aspiración).

Para la correcta selección de una bomba centrífuga, que cubra los requerimientos del proceso, debemos tener en cuenta principalmente:

- Altura de la bomba (energía mecánica entrega al fluido).
- Caudal de la bomba.
- NPSH (altura neta positiva de aspiración)
- Eficiencia

#### Requerimientos del proceso

Las propiedades del fluido a impulsar son:

PROPIEDADES		
Flujo másico	kg/h	7365
Caudal volumétrico	m <sup>3</sup> /h	7.05
Entalpía	kcal/kg	57.096
Capacidad Calorífica	kcal/kg °C	0.67
		1045.14
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	5
Viscosidad	Pa s	0.002

Tabla 32: Propiedades del fluido. Fuente: PRO II.

Se bombeará un caudal de 7.05 m<sup>3</sup>/h de etilenglicol, desde la torre de destilación T-104 que se encuentra a presión de 1 kg/cm<sup>2</sup> hasta el tanque de almacenamiento TK-103 que está a 1 kg/cm<sup>2</sup> de presión. En el recorrido atraviesa dos intercambiadores, el fluido disminuye su temperatura hasta 100°C. El etilenglicol se dirige al tanque alimentándose por la parte superior. El caudal de diseño será un 25% más que el caudal de operación, en caso de aumentos de demanda en el futuro.

En las bombas la densidad del líquido no cambia en forma apreciable y es posible considerarla constante. Así también la velocidad de flujo es constante en la zona de aspiración y descarga.

Las cañerías se encontrarán a 1.4 metros sobre el nivel del suelo facilitando las tareas de inspección por posibles rupturas. El bombeo funcionará a régimen continuo, impulsados con el sistema P-105 A/B que conforman la unidad de bombeo principal y una unidad de resguardo.

## Determinación del diámetro óptimo de cañería

La velocidad alcanzada por el fluido viene dada por el caudal y el área de sección de la tubería que lo conduce. En el caso de la bomba P-105, cumple la función de booster, por lo que no será necesario tener diferentes diámetros de cañería en la succión y en la descarga. Para cada fluido se determina el valor máximo que puede alcanzar la velocidad sin producir defectos mecánicos inadecuados. Es recomendable que el fluido avance a una velocidad de circulación entre 1 a 2,5 m/s.

$$V_{op} = \frac{12 \cdot \dot{m}^{0,1}}{\rho^{0,36}}$$

Donde

- $V_{op}$  velocidad de fluido óptima para conducción
- $\dot{m}$  flujo másico [lb/s]
- $\rho$  densidad del fluido [lb/ft<sup>3</sup>]

$$V_{op} = \frac{12 \cdot 5,64^{0,1}}{65,24^{0,36}}$$

$$V_{op} = 3,16 \frac{ft}{s} = 1,45 \frac{kg}{s}$$

El caudal volumétrico se puede expresar en función de la velocidad y el área de flujo. Donde el área de flujo es el área circular comprendida por el diámetro interno del tubo.

$$Q = V \cdot A = V \cdot \pi \cdot \frac{D_i^2}{4}$$

El diámetro interno de la tubería se calcula como:

$$D_i = \sqrt{4 \frac{Q}{\pi V_{op}}}$$

$$D_i = 0,046 \text{ m} = 1,83 \text{ pulg}$$

## Selección del tipo de tubería

Se opta por seleccionar tubos de acero inoxidable de diámetro nominal de 2 pulgadas y schedule 40.



### Evaluación de las presiones de succión y descarga de la bomba

Para determinar las presiones de carga y descarga se tiene que realizar un balance de energía mecánica. Para ello se divide al sistema en dos partes, succión y descarga, la primera correspondiente a la sección de fondo de la torre T-103 y a la bomba P-105; y la siguiente a la sección de la bomba P-105 al tanque TK-103. El tipo de cañería seleccionada para ambas zonas es la misma.

Para determinar las características del régimen de flujo del fluido se determinará el número de Reynolds.

$$Re = \frac{D_i v \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,0445 \text{ m} * 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,002 \text{ Pa s}}$$

$$Re = 28 858$$

Como  $Re > 4000$  el régimen es turbulento. Conocido el régimen se determina el factor de fricción  $C$ . Usando el valor de rugosidad  $\epsilon$  para el acero comercial de 0.05 mm, se calcula la rugosidad relativa:

$$\frac{\epsilon}{D_i} = \frac{0,05 \text{ mm}}{44,57 \text{ mm}} = 0,0009$$

Con el diagrama de Moody se determina el factor  $f$

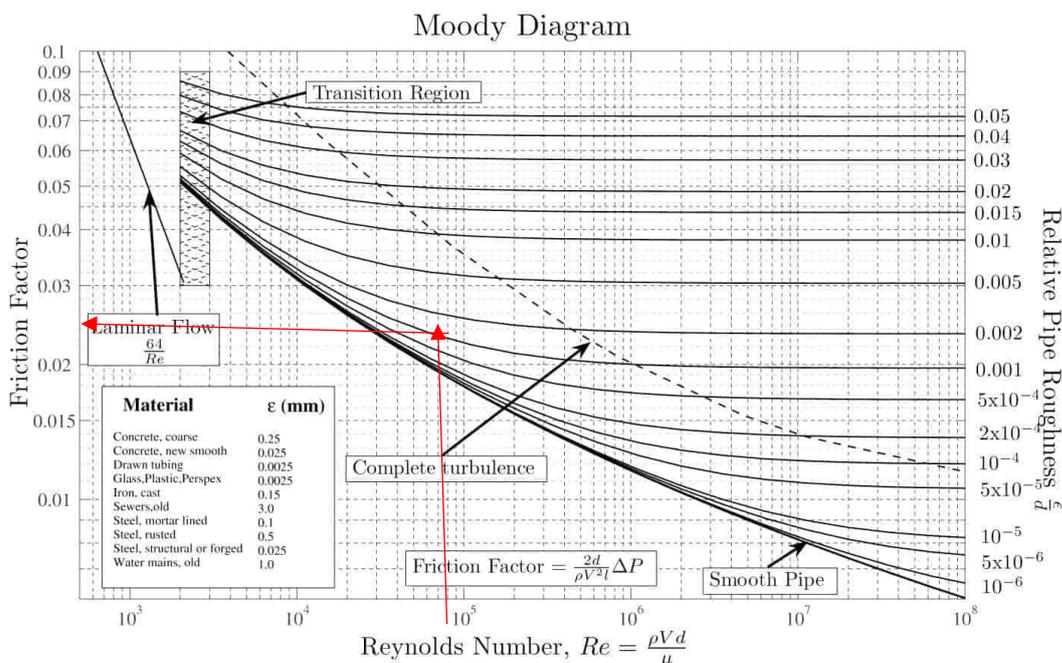


Ilustración 32: Diagrama de Moody. Fuente: [thermal-engineering.org/](http://thermal-engineering.org/)

$$f = 0,028$$

A continuación, se realizarán los cálculos correspondientes a cada zona:

A-Sección de succión: Salida Torre T-103 a bomba P-105

Los accesorios en la cañería provocan una pérdida de carga que debe ser evaluada. Los accesorios pueden ser parametrizados como parte de una sección recta de la tubería, utilizando la longitud equivalente. Se determinan las longitudes equivalentes de los accesorios en función del diámetro de cañería.

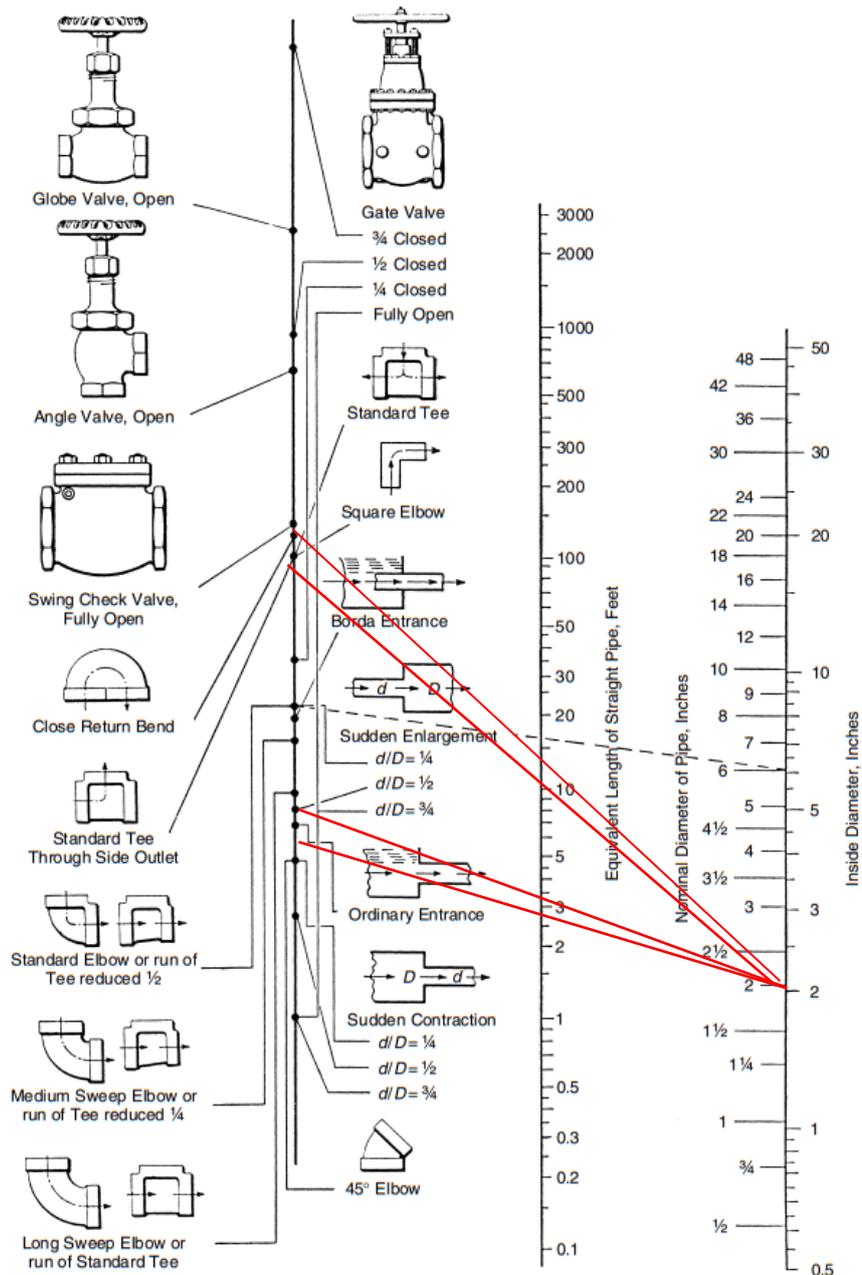


Ilustración 33: Accesorios. Fuente: Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Ludwig E.

En la siguiente tabla se muestran los accesorios y tramos rectos de la cañería correspondiente a la zona de succión:

<b>ZONA DE SUCCIÓN</b>			
ACCESORIO	CANTIDAD	LONG.EQ	LONG [metro]
TRAMO RECTO	-	-	8,75
CONEXIÓN T	1	3,05	3,05
VALVULA DE RETENCIÓN	1	3,66	3,66
CODO 90°	1	0,91	0,91
			<b>16,37</b>

Tabla 34: Accesorios y sus longitudes. Elaboración propia según el isométrico.

El roce del fluido con las paredes del tubo es la principal causa de las pérdidas de presión.

Usando la ecuación de Fanning, se calcula la pérdida de carga por conducción en la tubería:

$$E_v = \left( \frac{4 f L}{D_i} \right) \frac{v^2}{2}$$

$$E_v = \left( \frac{4 \cdot 0,028 \cdot 16,37 \text{ m}}{0,056 \text{ m}} \right) \frac{\left( 1,01 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2}$$

$$E_v = 16,7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Planteando un balance de energía mecánica a partir de la ecuación de Bernoulli, considerando un sistema isotérmico e incompresible, a fin de poder determinar la presión de succión ( $P_s$ ). Suponiendo despreciable la diferencia de velocidad del fluido entre los puntos de evaluación (boca de salida de la torre T-103 y boca de entrada a la bomba P-105) y la diferencia de altura igual a cero. La ecuación de Bernoulli resulta:

$$g(z_2 - z_1) + \frac{P_s - P_1}{\rho} + E_v = 0$$

Despejando  $P_s$  quedaría:

$$P_s = [g(z_1 - z_2) - E_v] \rho + P_1$$

$$P_s = \left[ 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (0 \text{ m}) - 16,7 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] \cdot 1045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{98066 \text{ Pa}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$P_s = \left[ 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (0 \text{ m}) - 16,7 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] \cdot 1045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 98066 \text{ Pa}$$

$$P_s = 80614,5 \text{ Pa}$$

Para la zona de descarga, correspondiente a la salida de la bomba hasta la llegada al tanque TK-103, el procedimiento es análogo.

<b>ZONA DE DESCARGA</b>			
ACCESORIO	CANTIDAD	LONG.EQ	LONG [metro]
TRAMO RECTO	-	-	113,75
CONEXIÓN T	1	3,05	3,05
VALVULA DE RETENCION	3	3,66	10,97
CODO 90°	11	0,91	10,06
			<b>137,8</b>

Tabla 35: Zona de descarga. Elaboración propia según el isométrico.

Usando la ecuación de Fanning, se calcula la pérdida de carga por conducción en la tubería:

$$E_v = \left( \frac{4 f L}{D_i} \right) \frac{v^2}{2}$$

$$E_v = \left( \frac{4 \cdot 0,028 \cdot 137,8 \text{ m}}{0,056 \text{ m}} \right) \frac{\left( 1,01 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2}$$

$$E_v = 140,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Planteando un balance de energía mecánica a partir de la ecuación de Bernoulli y con las consideraciones anteriores:

$$g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_d}{\rho} + E_v = 0$$

Despejando  $P_s$  quedaría:

$$P_s = P_2 - [g(z_1 - z_2) - E_v] \rho$$

$$P_d = 3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 98066 \text{ Pa} - \left[ 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (0 \text{ m}) - 140,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] \cdot 1045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_d = 294198 \text{ Pa} - \left[ 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (0 \text{ m}) - 140,6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right] \cdot 1045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_d = 441125 \text{ Pa}$$

Además, se debe considerar el efecto del intercambiador E-107

$$P_d = 441125 \text{ Pa} - 29420 \text{ Pa}$$

$$P_d = 411705 \text{ Pa}$$

### Determinación de la altura de la bomba

La altura dinámica,  $H_b$ , se determina realizando un balance de energía entre el punto D y S, y se expresa en metros de columna de líquido (mcl).

Ya que no hay diferencia de altura entre descarga y succión con respecto al eje de la bomba:

$$H_b = \frac{P_d - P_s}{\rho g}$$

$$H_b = \frac{411705 \text{ Pa} - 80614,5 \text{ Pa}}{1045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$H_b = 32,32 \text{ mcl}$$

### Determinación de potencia útil

Considerando el peso específico del fluido, la altura dinámica y el caudal volumétrico, se tiene que:

$$W = \rho g \dot{q} H_b$$

$$W = 1045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 8,8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 32,32 \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$W = 809 \text{ Watt}$$

$$W = 0,81 \text{ kW}$$

### Selección de la bomba

Una vez definidos los parámetros básicos, se procede a la selección. Se opta por una bomba centrífuga modelo 3196 simple etapa del catálogo de la empresa Goulds Pumps, diseñada para la impulsión de materia petroquímica. Se selecciona por medio de gráficos por el uso del caudal de operación y la altura de bombeo.

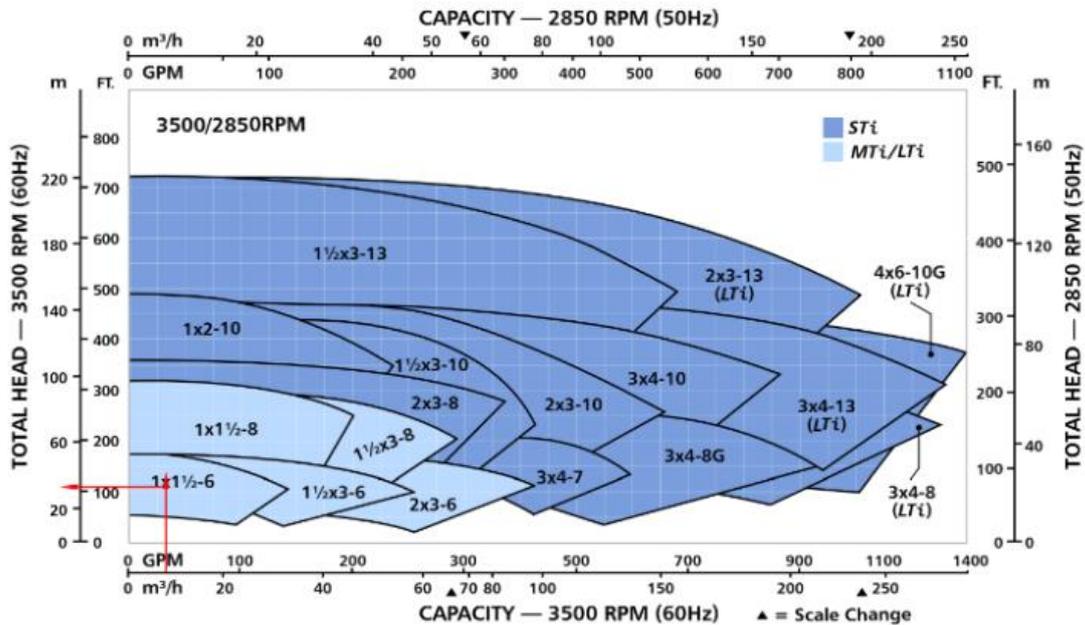


Ilustración 34: Gráfico de capacidad. Fuente: Goulds 3196 i-FRAME ANSI Process Pump

El modelo seleccionado será el 3196 STi 1x1 ½ -6 del diagrama de cobertura hidráulica.

Según el fabricante, la eficiencia ronda el 70% y es apta para trabajos con materiales corrosivos a alta temperatura.

### Cálculo de potencia al freno, BHP

Dada la eficiencia de 0,7 se calcula la potencia al freno para verificar que ésta funcionará bajo las condiciones establecidas:

$$BHP = \frac{W}{\eta} = \frac{0,81 \text{ kW}}{0,7} = 1,16 \text{ kW}$$

### Cálculo de NPSH

El NPSH refiere a la presión requerida por encima de la presión de vapor del líquido medida en el punto de succión, de forma tal que se evite la cavitación dentro de la unidad.

Se definen dos valores de NPSH

- NPSH REQUERIDO: es característica de la bomba, proporcionado por el proveedor; en este caso NPSH>2,7 m
- NPSH DISPONIBLE: es una característica del sistema y se calcula planteando un balance de energía entre la entrada al terreno de la cañería de alimentación y el ojo impulsor de la bomba.

$$NPSH_{disp} = \frac{P_s - P_{vap}}{\rho g} + (z_1 - z_2) - \frac{E_v}{g}$$

$$NPSH_{disp} = \frac{80614,5 \text{ Pa} - 1200 \text{ Pa}}{1045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0 \text{ m} - \frac{12 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$NPSH_{disp} = 6,5 \text{ m}$$

Para evitar la cavitación se debe cumplir que  $NHPS_{req} < NHPS_{disp}$ . De acuerdo con lo calculado, se concluye que el sistema cumple con las demandas del proceso.

### Hoja de especificación

UTN- FRLP	HOJA DE ESPECIFICACIÓN BOMBAS				INTEGRACION V - PROYECTO FINAL													
DENOMINACIÓN: Bomba centrífuga simple etapa																		
UNIDAD: P-105 A/B																		
SERVICIO: Alimentación de etilenglicol a los tanques de producto																		
DATOS DE OPERACIÓN																		
FLUJO MÁSSICO	kg/h		9206,25															
CAUDAL VOLUMÉTRICO	m3/h		8,81															
PRESIÓN DE SUCCIÓN	kg/cm2		0,82															
PRESIÓN DE DESCARGA	kg/cm2		4,20															
POTENCIA ÚTIL	kW		0,81															
BHP	kW		1,15															
ALTURA DE DISEÑO	m		32,32															
NPSH DISPONIBLE	m		6,50															
DATOS DEL FLUIDO																		
FLUIDO	ETILENGLICOL 99,9%		-															
TEMPERATURA	100		°C															
VISCOSIDAD	0,002		Pa s															
DENSIDAD	1045,145		kg/m3															
PRESIÓN DE VAPOR	0,012		kg/cm2															
MOTOR																		
TIPO	ELÉCTRICO	PROVEDOR	HOLD															
FRAME	184T	POTENCIA	8	HP														
FRECUENCIA	60	HZ	FASES	3														
VOLTAJE	460	V	RPM	3600														
MODELO																		
TIPO	GOULDS PUMPS 3196 Sti 1 X 1/2-6																	
DIÁMETRO DE ENTRADA	1,5		inch															
DIÁMETRO DE SALIDA	1		inch															
IMPULSOR	CENTRIFUGO TOTALMENTE ABIERTO																	
DIÁMETRO DE IMPULSOR	148		mm															
CAUDAL MÁXIMO	35		m3/h															
ALTURA MÁXIMA	55		m															
CONFIGURACIÓN	HORIZONTAL																	
TEMPERATURA MÁXIMA	177		°C															
VELOCIDAD	3500		RPM															
NHPS REQUERIDO	2,7		m															
EFICIENCIA	0,7		-															
METERIAL	A 285 Gr. A (A-134)																	
SELLADO	MECÁNICO																	
DIMENSIONES	LARGO		ALTO		ANCHO													
	2,795	m	1,505	m	1,661	m												
ESQUEMA																		
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>X</td> <td>A</td> <td>B</td> <td>D</td> <td>SP</td> <td>PESO</td> </tr> <tr> <td>165 mm</td> <td>343 mm</td> <td>102 mm</td> <td>133 mm</td> <td>95 mm</td> <td>38 kg</td> </tr> </table>							X	A	B	D	SP	PESO	165 mm	343 mm	102 mm	133 mm	95 mm	38 kg
X	A	B	D	SP	PESO													
165 mm	343 mm	102 mm	133 mm	95 mm	38 kg													

## 8.4- Diseño del tanque de producto TK-103

Los tanques TK-103 A y B funcionarán como tanques de almacenamiento para producto terminado, el cual será despachado para su entrega a PBB Polisar.

El material empleado para la fabricación será acero inoxidable AISI 304, ya que es el material recomendado para almacenamiento de etilenglicol a alta temperatura.

El tanque se diseñará siguiendo las normas API 650 y 653 de montajes y construcción de tanques soldados de acero.

Se define una capacidad de almacenamiento de 10 días. Cada tanque tendrá una capacidad de almacenamiento de 5 días, rotando de recepción a entrega en ciclos de 5 días.

En el caso de que ocurra un paro del proceso o exista producción fuera de especificación, se contará con un stock de seguridad para poder despachar el producto terminado a los clientes, garantizando la entrega en tiempo y forma y manteniendo un alto nivel de servicio.

El flujo másico de etilenglicol es:

$$\dot{Q}_{EG} = 6,6 \frac{m^3}{h}$$

El volumen de un tanque con almacenamiento de 5 días de producción será igual a:

$$\begin{aligned} V_{TK} &= \dot{Q}_{EG} * T_{res} \\ V_{TK} &= 6,6 \frac{m^3}{h} * \frac{24 h}{1d} * 5 d \\ V_{TK} &= 792 m^3 \end{aligned}$$

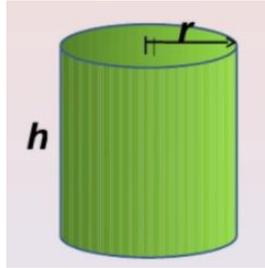
Según los criterios de la norma, los tanques con una relación D/H > 1,33 son más estables por lo que no requieren de anclajes, mientras que para una relación D/H < 1,33 pueden requerir anclajes, generando un mayor costo de construcción y montaje.

Se seleccionó una relación diámetro-altura de:

$$\frac{D}{h} = 1,4$$

Cálculo diámetro y altura del tanque:

Siendo el Volumen del tanque equivalente al de un cilindro:



$$V_{TK} = \pi r^2 h = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{1,4 * 4 * V_{TK}}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{1,4 * 4 * 792 \text{ m}^3}{\pi}}$$

$$D = 11,22 \text{ m}$$

$$h = \frac{D}{1,4}$$

$$h = 8 \text{ m}$$

El tanque contará con un tabique de 1 metro de altura cuya función es evitar que la bomba de extracción succione partículas sólidas del fondo.

La altura del tanque entonces quedara en 9 metros y el volumen final del tanque en:

$$V'_{TK} = \pi r^2 h = \frac{\pi D^2 h}{4} = 890 \text{ m}^3$$

La diferencia entre el volumen con y sin tabique es el volumen del tanque ocupado por un volumen muerto. Este volumen siempre será constante y no podrá ser despachado.

$$V_M = V'_{TK} - V_{TK} = 98 \text{ m}^3$$

Recalculando el diámetro del tanque

$$D = \sqrt{\frac{4V'_{TK}}{\pi h}} = 12 \text{ m}$$

Finalmente, la relación D/H = 1,34

Cálculo del espesor del recipiente utilizando norma ASME sección VIII:

$$t = c + \frac{PR_{rec}}{SE - 0,6P}$$

- $R_{rec}$ : Radio del tanque
- $S$ : tensión máxima admisible del material
- $E$ : Eficiencia de soldadura
- $c$ : Espesor por corrosión
- $P$ : Presión de diseño

Cálculo de presión de diseño:

$$P = 1,1 * (P_o + P_H)$$

- $P_o$  = Presión manométrica del recipiente
- $P_H$  = Presión hidrostática de líquido

$$P_H = h_{liq} * \rho_{liq} * g$$

- $h_{liq}$  = Altura del líquido
- $\rho_{liq}$  = Densidad del líquido
- $g$  = constante gravitacional

$$P_H = 9 \text{ m} * 1092 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_H = 96314 \text{ Pa} = 0,98 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_o = 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P = 1,1 * \left( 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0,98 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$P = 2,178 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

La tensión máxima admisible del Acero inoxidable AISI 304 es de 1733 kg/cm<sup>2</sup>

$$S = 1733 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

La eficiencia a la soldadura es de 0,85 ya que es recomendable utilizar este valor para recipientes sometidos a presión con estas características de operación y materiales.

$$E = 0,85$$

Se aplica un sobre espesor por corrosión de 3mm.

$$c = 3 \text{ mm}$$

El espesor del tanque de almacenamiento de producto terminado será el siguiente:

$$t = c + \frac{PR_{rec}}{SE - 0,6P}$$

$$t = 3mm + \frac{2,178 \frac{kg}{cm^2} * 5610 mm}{\left(1733 \frac{kg}{cm^2} * 0,85\right) - \left(0,6 * 2,178 \frac{kg}{cm^2}\right)}$$

$$t = 11.6 mm$$

Para los cabezales se seleccionaron tapas cónicas, las cuales son recomendadas para el almacenamiento de etilenglicol. Su espesor será:

$$t = c + \frac{PR_{rec}}{\cos(\alpha) * ((SE - 0,6P))}$$

Donde  $\alpha$  es el ángulo del cono con la horizontal, el cual será de unos  $20^\circ$

$$t = 3mm + \frac{2,178 \frac{kg}{cm^2} * 5610 mm}{\cos\left(\frac{20}{180}\pi\right) * \left[\left(1733 \frac{kg}{cm^2} * 0,85\right) - \left(0,6 * 2,178 \frac{kg}{cm^2}\right)\right]}$$

$$t = 11,8 mm$$

Se seleccionará un espesor de chapa para la construcción del tanque de 11,8 mm.

El techo esta auto-soportado, y su superficie tiene la forma de un cono, el tanque opera con un espacio para los vapores, el cual cambia cuando varía el nivel de los líquidos. Posee ventilaciones en su techo el cual permite la emisión de vapores y que el interior se mantenga aproximadamente igual a la presión atmosférica.

La alimentación al tanque se hará por la parte superior y su despacho por la parte inferior. Contará además con un drenaje central en la base del tanque, un drenaje sobre la pared del tanque y un venteo central superior que funcionará tanto para eliminar vapores como para de boca de hombre. Se controlará periódicamente vapores emitidos desde el tanque con el fin de cumplir con las normas medioambientales y de seguridad de la planta.

Una de las condiciones para el sistema consiste en mantener el fluido del tanque a  $100^\circ\text{C}$ . Esto siendo en búsqueda de mantener una baja viscosidad y dar menos trabajo a las unidades de bombeo al cliente. Las unidades deben contar con una bayoneta que permitan el paso de vapor e intercambio de fluido. Esta bayoneta estará colocada en la boca de hombre inferior, pudiendo removerla para inspección y/o recambio, así como para acceder al tanque.

En post de conseguir una mínima pérdida de calor, el tanque estará recubierto con un aislante y a su vez pintado de color negro mate. De este modo se consigue una baja pérdida de calor y una absorción de la radiación solar que permitirá una menor demanda de vapor.

Suponiendo una pérdida de 5°C con el tanque lleno:

$$\text{Pérdidas de calor del tanque ; } Q_T = m C_p \Delta T$$

$$m = v \cdot \rho = 890 \text{ m}^3 \cdot 1116 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 993980 \text{ kg de EG}$$

$$C_p = 0,671 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T = -5^\circ\text{C}$$

$$Q_T = -3334798,54 \text{ kcal ; en 5 días}$$

El flujo de calor en los 5 días de reserva será:

$$\dot{Q}_T = \frac{-3334798,54}{5 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} = -27790 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

El caudal de vapor de baja necesario para suplir esas pérdidas será igual a:

$$m_v = \frac{Q_T}{C_p \Delta T}$$

Suponiendo un salto térmico de 10°C

$$m_v = \frac{Q_T}{C_p \Delta T} = \frac{27790 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{0,54 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \cdot 10^\circ\text{C}} = 5155 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$v_v = m_v \cdot \gamma = 4588 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,62 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 8315 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

La cantidad de vapor de baja necesaria para el volumen del tanque será de 8315 m<sup>3</sup>/h (4,6 t/h).

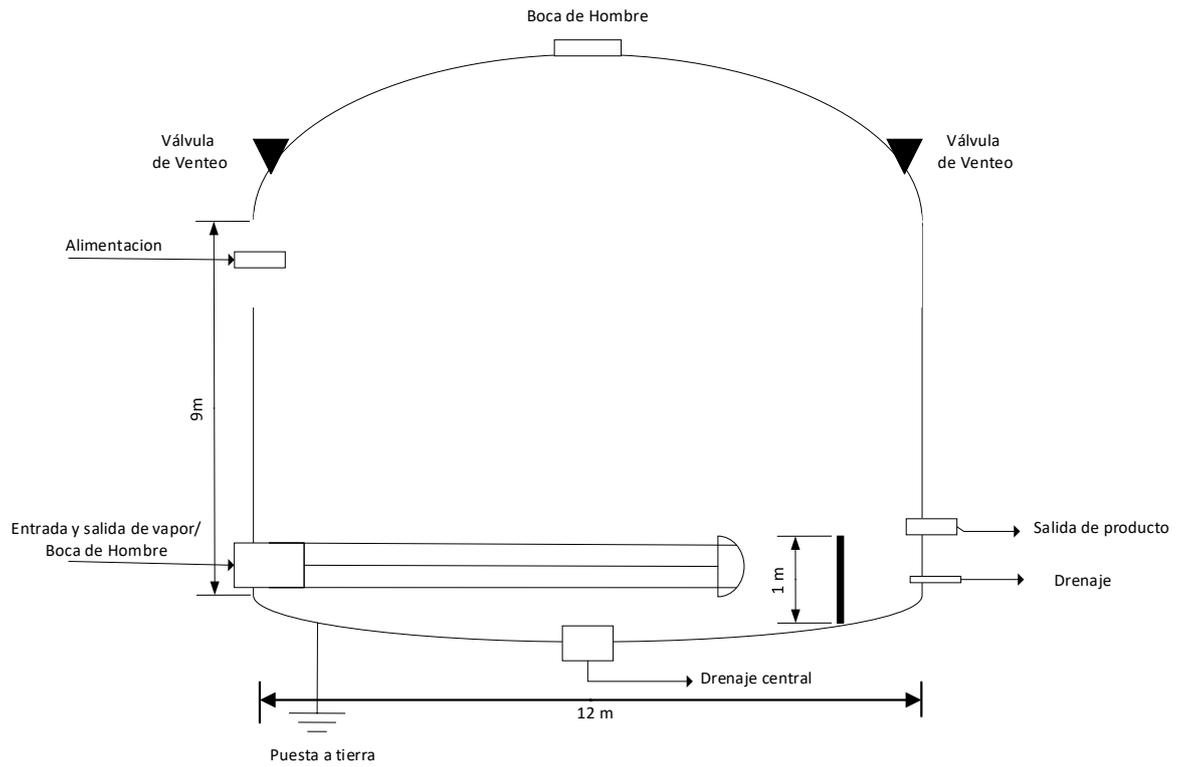


Ilustración 35: Tanque de producto terminado

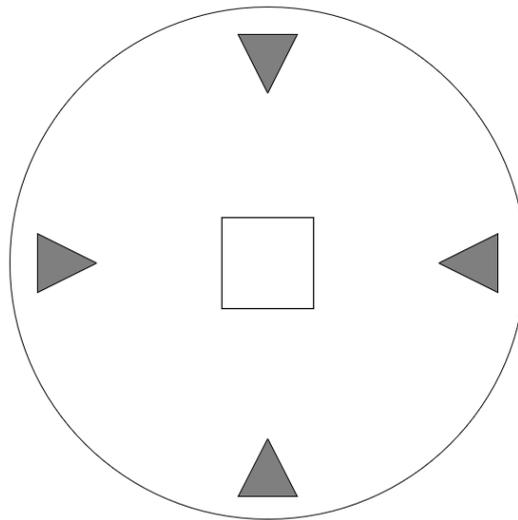


Ilustración 36: Vista tapa de tanque de producto terminado

**Hoja de especificación**

UTN- FRLP	HOJA DE ESPECIFICACIÓN TANQUE ATMOSFÉRICO DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTO		INTEGRACIÓN V - PROYECTO FINAL
DENOMINACIÓN: Tanque de producto en especificación			
UNIDAD: TK.103			
SERVICIO: Almacenamiento y despacho de producto terminado			
DATOS DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	°C	100	
PRESIÓN OP.	kg/cm2	1	
VOLUMEN MÁXIMO	m3	890	
DENSIDAD(IN/OUT)	kg/m3	1116	
DATOS CONSTRUCTIVOS			
TIPO	TECHO FIJO CON CALENTAMIENTO		
MATERIAL	316L A-240		
ALTURA	m	9	
DIÁMETRO	m	12	
ESPELOR TANQUE	m	0,0116	
ESPELOR TECHO	m	0,0118	
GEOMETRÍA TANQUE	Cilíndrica		
GEOMETRÍA TECHO	Cónica		
CAUDAL DE VAPOR DE CALENTAMIENTO	t/h	4,6	
ESQUEMA			

## 8.5- Diseño del equipo de intercambio E-114

El agua que sale por cabeza de la torre T-104, del acumulador F-102, necesita ser acondicionada antes de poder utilizarse en el Scrubber Sc-101; precisamente requiere tener una temperatura de 60 °C. Para obtener estas condiciones se dispondrá de un equipo de intercambio E-114, el cual utilizará agua de enfriamiento a 15 °C.

Tipo: Intercambiador de Doble Tubo

### Condiciones de las corrientes

	Ánulo	Tubo interno
	<b>COLD</b>	<b>HOT</b>
<b>Tipo</b>	Agua	Agua
<b>T entrada (°C)</b>	15	85
<b>T salida (°C)</b>	23	60
<b>Caudal másico (kg/s)</b>	8.5	2.7

Tabla 36: Condiciones de las corrientes. Fuente: programa de simulación PRO II

El caudal necesario del fluido frío fue calculado con la herramienta Pro II.

A continuación, se presenta el proceso de diseño del equipo.

### **Cálculo de las temperaturas medias**

Se requieren las temperaturas medias para el posterior cálculo de las propiedades de los fluidos. Para esto es necesario utilizar como unidad el grado Fahrenheit.

Tipo	Agua	Agua
<b>T entrada [°F]</b>	59	185
<b>T salida [°F]</b>	73.4	140

Tabla 37: Temperaturas de las corrientes. Fuente: programa de simulación PRO II

Temperaturas medias:

$$T_{hm} = T_{hs} + F_c * (T_{ho} - T_{hs})$$

$$T_{cm} = T_{co} + F_c * (T_{cs} - T_{co})$$

El factor  $F_c$  se obtiene del Gráfico 1, utilizando como datos "c" y  $\frac{\Delta tc}{\Delta th}$ .

$$c = \frac{\Delta th - \Delta tc}{\Delta th} = 0.68$$

$$\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = 0.32$$

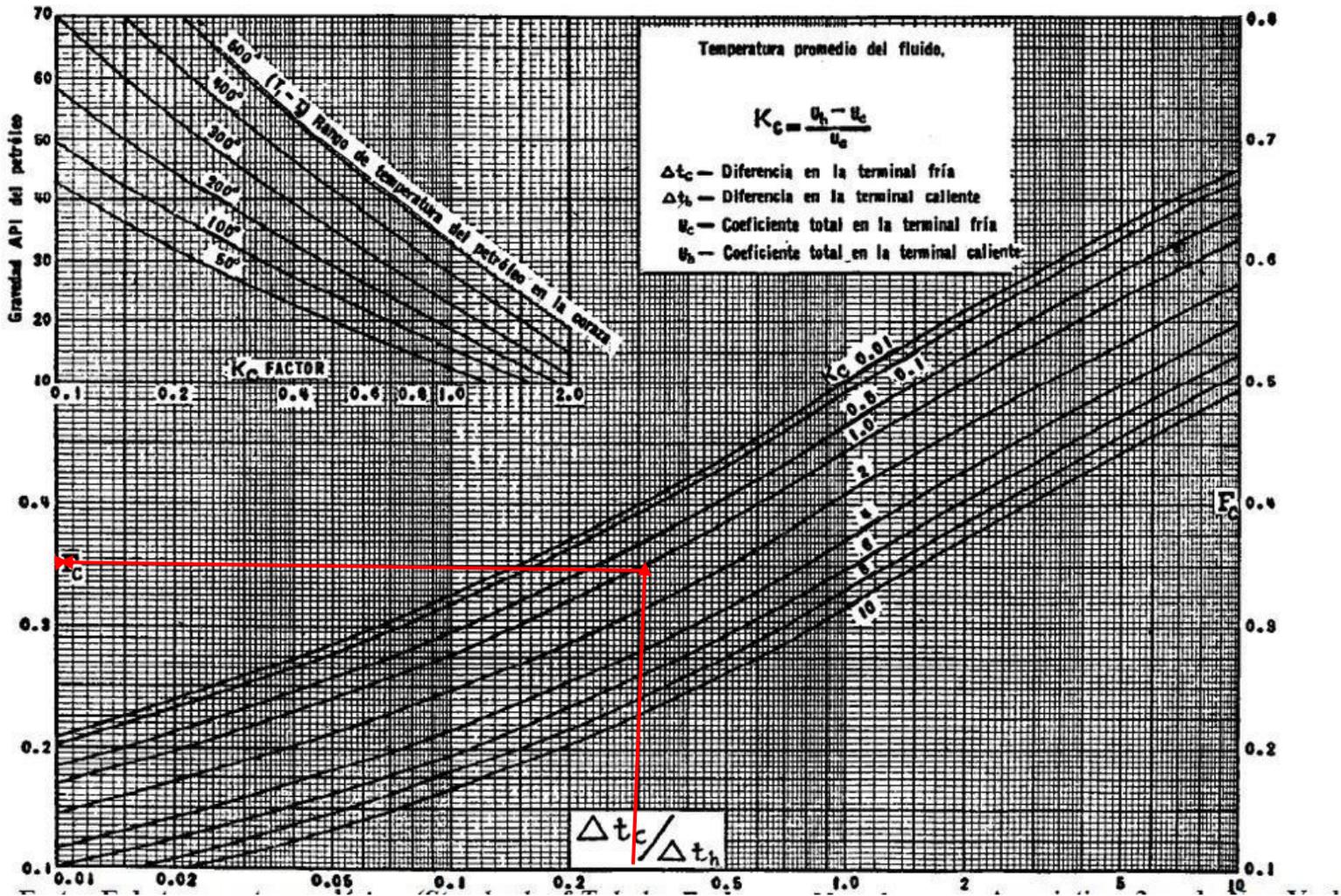


Gráfico 1

Ilustración 37: Factor  $F_c$  de temperatura calórica. Fuente: Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 2a. ed., New York, 1949

Con un  $F_c = 0.35$  obtenido del gráfico, se calcula:

$$T_{hm} = 155.75 \text{ } ^\circ\text{F} = 68.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{cm} = 64 \text{ } ^\circ\text{F} = 17.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Cálculo de las propiedades de las sustancias**

Sustancia	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$ [kg/ms]	k [J/msK]	$C_p$ [J/kgK]	Caudal (kg/s)	T °C	T (K)
HOT	978.5	0.00041	0.658	4187.5	2.72	68.75	341.8
COLD	998.3	0.00106	0.600	4182.3	8.51	17.8	290.8

Tabla 38: Propiedades de las sustancias. Fuente: programa de simulación PRO II

**Cálculo de la Diferencia de Temperatura Media Logarítmica a contracorriente.**

$$\Delta T_{mlcc} = \frac{(T_h^0 - T_c^s) - (T_h^s - T_c^0)}{\ln \ln \left( \frac{(T_h^0 - T_c^s)}{(T_h^s - T_c^0)} \right)}$$

$$\Delta T_{mlcc} = 53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Balance de calor**

$$Q_c = m_c C_{p_c} (T_c^s - T_c^0)$$

$$Q_c = 284711.5 \text{ J/s}$$

**Selección de dimensiones**

Se utilizará como nomenclatura:

Di: diámetro interno del tubo interno

Do: diámetro externo del tubo interno

Ds: diámetro interno del tubo externo

D: diámetro externo del tubo externo

**Tubo interno**

Se evalúa el área de flujo con una velocidad de 1 m/s.

$$v = 1 \frac{m}{s}$$

$$at = \frac{m}{\rho v} = 0.003 \text{ m}^2$$

$$at = \frac{\pi D_i^2}{4}$$

$$D_i = 0.06 \text{ m} = 2.34 \text{ in}$$

Se selecciona un tubo interno de diámetro nominal 2 ½ in, con Cédula 40 (estándar). Ver **Tabla 41**.

$$D_i = 2.469 \text{ in}$$

$$D_o = 2.88 \text{ in}$$

Se recalcula la velocidad en el tubo interno con el valor preciso de  $D_i$  y se obtiene  $v = 0.9 \text{ m/s}$ .

**Tubo externo**

Se tienen las siguientes combinaciones para un equipo de doble tubo:

Combinaciones comunes para intercambiadores doble tubo (Dimensiones en pulgadas)

$\phi$ Tubo Externo	$\phi$ Tubo Interno					
2	3/4	1	1 1/4			
2 1/2	3/4	1	1 1/4			
3	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	
4	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	3

Tabla 39: Combinaciones típicas de doble tubo. Fuente: material brindado por la Cátedra "Tecnología de la Energía Térmica"

Se selecciona entonces un tubo externo de diámetro nominal 4 in, con Cédula 40 (estándar). Ver **Tabla 41**.

$$D_s = 4.026 \text{ in}$$

$$D = 4.5 \text{ in}$$

Se calcula la velocidad en el ánulo y se obtiene  $v = 2.12 \text{ m/s}$ .

Tamaño nominal del tubo, IPS plg	DE, plg	Cédula No.	DI, plg	Área de flujo por tubo, plg <sup>2</sup>	Superficie por pie lineal, pies <sup>2</sup> /pie		Peso por pie lineal, lb de acero
					Exterior	Interior	
1/8	0.405	40*	0.269	0.058	0.106	0.070	0.25
		80†	0.215	0.036		0.056	0.32
1/4	0.540	40*	0.364	0.104	0.141	0.095	0.43
		80†	0.302	0.072		0.079	0.54
3/8	0.675	40*	0.493	0.192	0.177	0.129	0.57
		80†	0.423	0.141		<b>0.111</b>	0.74
1/2	0.840	40*	0.622	0.304	0.220	0.163	0.85
		80†	0.546	0.235		0.143	1.09
3/4	1.05	40*	0.824	0.534	0.275	0.216	1.13
		80†	0.742	0.432		0.194	1.48
1	1.32	40*	1.049	0.864	0.344	0.274	1.68
		80†	0.957	0.718		0.250	<b>2.17</b>
1 1/4	1.66	40*	1.380	1.50	0.435	0.362	2.28
		80†	1.278	1.28		0.335	<b>3.00</b>
1 1/2	<b>1.90</b>	40*	1.610	2.04	0.498	0.422	2.72
		80†	1.500	1.76		0.393	3.64
2	2.38	40*	2.067	3.35	0.622	0.542	3.66
		80†	1.939	2.95		0.508	5.03
2 1/2	2.38	40*	2.469	4.79	0.753	0.647	5.80
		80†	2.323	4.23		0.609	7.67
3	3.50	40*	3.068	7.38	<b>0.917</b>	<b>0.804</b>	7.58
		80†	2.900	6.61		0.760	10.3
4	4.50	40*	4.026	12.7	1.178	<b>1.055</b>	<b>10.8</b>
		80†	3.826	11.5		<b>1.002</b>	<b>15.0</b>

Tabla 40: Dimensiones de tubería de acero (IPS). Fuente: Procesos de Transferencia de Calor. Donald Q. Kern.

Di = Diámetro interno del tubo interno =	6,27127254	cm
	0,06271273	m
Do = Diámetro externo del tubo interno =	7,31521463	cm
	0,07315215	m
Ds = Diámetro interno del tubo externo =	10,2260605	cm
	0,1022606	m
D = Diámetro externo del tubo externo =	12,25	cm
	0,11430023	m

Tabla 41: Diámetros de los tubos. Elaboración propia según el material previamente expuesto

**Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, U**

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{io}} + \frac{1}{h_o} + R_f$$

- $h_i$ : tubo interno  $\square$  pasa la corriente caliente

$$A = \pi * r_i(i)^2 = 0.003 \text{ cm}^2$$

$$G = \frac{m}{A} = 880.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$Re = \frac{G * D_i}{\mu} = 134724$$

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{k} = 2.61$$

Para régimen turbulento – Líquidos enfriados:

$$\frac{h_i * D_i}{k} = Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.33}$$

$$Nu = 400.5$$

$$h_i = 4205.4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{io} = \frac{h_i * D_i}{D_o}$$

$$h_{io} = 3605 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- $h_o$ : ánulo  $\square$  pasa la corriente fría

$$Deq = (D_s^2 - D_o^2) / D_o = 0.07 \text{ m}$$

$$A = \pi * r_s^2 - \pi * r_o^2 = 0.004 \text{ m}^2$$

$$G = \frac{m}{A} = 2121.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$Re = \frac{G * Deq}{\mu} = 139726$$

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{k} = 7.4$$

Para régimen turbulento – Líquidos calentados:

$$\frac{h_o * Deq}{k} = Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.4}$$

$$Nu = 668.7$$

$$h_o = 5753 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Ensuciamiento – Rf

$$R_f = 0.0005 \text{ Km}^2/\text{W}$$

**RESISTENCIA DE ENSUCIAMIENTO PARA AGUA**

Temperatura del medio calefactor . . . . .	HASTA 115 °C		115 – 205 °C	
	52 °C o menos		más de 52 °C	
Temperatura del agua . . . . .	Veloc. del agua m/s		Veloc. del agua m/s	
	1 ó menos	más de 1	1 ó menos	más de 1
Agua de mar . . . . .	0,00009	0,00009	0,0002	0,0002
Aguas salobres . . . . .	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004
Torre de enfriamiento y tanque con recfo artificial:				
Agua de compensación tratada . . . . .	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004
Sin tratar . . . . .	0,0005	0,0005	0,0009	0,0007
Agua de la ciudad o de pozo (como Grandes Lagos) . . . . .	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004
Grandes Lagos. . . . .	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004
Agua de río:				
Mínimo. . . . .	0,0004	0,0002	0,0005	0,0004
Máximo (agua cloacales) . . . . .	0,0015	0,0010	0,0017	0,0014
Lodosa o turbia . . . . .	0,0005	0,0004	0,0007	0,0005
Dura (más de 15 gramos/gal) . . . . .	0,0005	0,0005	0,0009	0,0009
Enfriamiento de máquinas. . . . .	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Destilada . . . . .	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009
Alimentación tratada para calderas . . . . .	0,0002	0,00009	0,0002	0,0002
Purga de calderas . . . . .	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004

\* Las cifras de las últimas dos columnas se basan en una temperatura del medio calefactor de 115 °C a 205 °C. Si la temperatura de este medio es mayor de 205 °C, y se sabe que el medio enfriador forma depósitos, estas cifras deben modificarse convenientemente.

Tabla 42: Resistencias de ensuciamiento para Agua. Fuente: Tubular Exchangers Manufacturers Association

Entonces, resulta U:

$$U = 1051.3 \text{ m}^2\text{K} / \text{W}$$

**Cálculo de Tw y ajuste de coeficientes**

Si el fluido de los tubos es el caliente, se aplica la siguiente ecuación:

$$h_{io}(T - T_w) = h_o(T_w - t)$$

Donde:

$$T = T_{hm}$$

$$t = T_{cm}$$

$$T_w = 310.4 \text{ K}$$

$$\mu_w = 0.00069 \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

Se recalculan los Nu y los  $h_i/h_o$ :

- Para régimen turbulento – Líquidos enfriados:

$$\frac{h_i * D_i}{k} = Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.33} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

$$Nu = 372.4$$

$$h_{io} = 3351.8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Para régimen turbulento – Líquidos calentados:

$$\frac{h_o * D_{eq}}{k} = Nu = 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.4} * \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

$$Nu = 710$$

$$h_o = 6109 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Entonces, U recalculado, teniendo en cuenta  $T_w$ , será:

$$U = 1039.5 \text{ m}^2\text{K/W}$$

**Cálculo del área**

$$Q = U * A * DTML$$

$$A = 0.84 \text{ m}^2$$

**Cálculo de la longitud de tubos**

$$L = \frac{A}{\pi D_o}$$

$$L = 3.65 \text{ m}$$

Se utilizarán tubos de 12 pies, un valor comúnmente empleado en la industria, que equivale a 3.7 m.

**Cálculo de la pérdida de carga**

$$\Delta P = 4f \frac{L}{D_i} \rho \frac{v^2}{2} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

Para tubos de acero comercial, se sugiere:

$$f = 0.0035 + \frac{0.264}{Re^{0.42}}$$

**Tubo Interno**

$$\Delta P1 = 459.5 \text{ kg/s}^2\text{m}$$

**Tubo Externo**

$$D'_{eq} = D_s - D_o = 0.03 \text{ m}$$

$$Re' = 58270$$

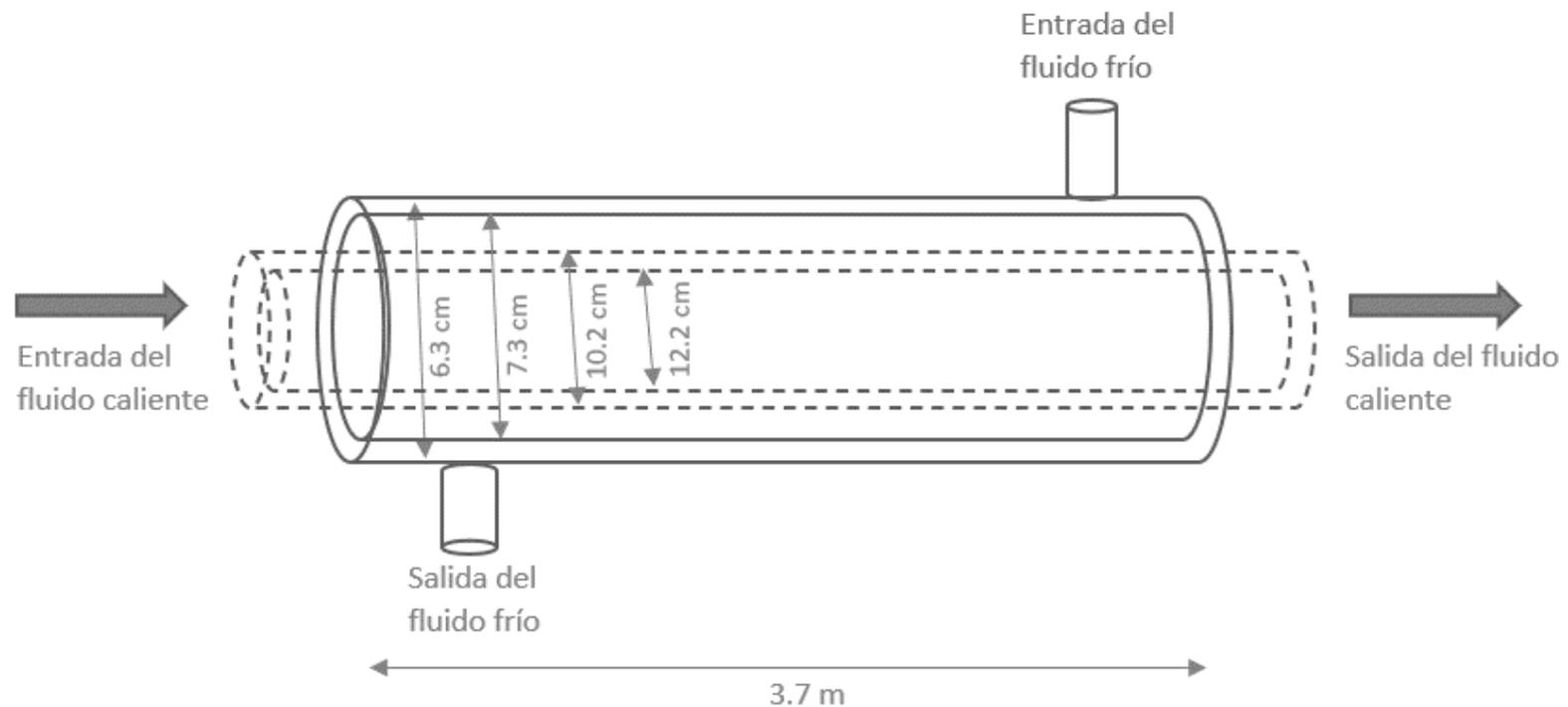
$$\Delta P2 = 7372 \text{ kg/s}^2\text{m}$$

$$\Delta P = \Delta P1 + \Delta P2 = 7831 \text{ kg/s}^2\text{m}$$

$$\Delta P = 0.077 \text{ atm}$$

La pérdida de carga está por debajo de la admisible, que es el 10% de la presión inicial, es decir, 0.1 atm.

**Esquema**



## Hoja de especificación

UTN- FRLP	HOJA DE ESPECIFICACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR E-114		INTEGRACIÓN V - PROYECTO FINAL	
DENOMINACIÓN: Intercambiador Doble Tubo				
UNIDAD: E-114				
SERVICIO: enfría la corriente de agua de salida de la T-104 para su utilización en el Sc-101				
<b>PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS</b>				
Ubicación del fluido	Tubo		Ánulo	
Nombre del fluido	Agua caliente		Agua fría	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Flujo (kg/s)	2,7		8,5	
Temperatura (K)	358,15	333,15	288,15	296,15
Temperaturas medias (K)	341,8		290,8	
Presión (atm)	1		1	
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	978,5		998,3	
Viscosidad (kg/ms)	0,00041		0,00106	
Capacidad calorífica (J/kgK)	4187,5		4182,3	
Coefficiente de conductividad (J/msK)	0,66		0,6	
Peso Molecular	18		18	
<b>DIMENSIONES</b>				
Material	Acero comercial			
Diámetro nominal - Tubo interno (in)	2 ½			
Diámetro nominal - Tubo externo (in)	4			
Largo de tubos (pies)	12			
Área de flujo interna (m <sup>2</sup> )	0,003			
Área de flujo externa (m <sup>2</sup> )	0,004			
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN Y DISEÑO</b>				
Calor intercambiado (J/s)	284711			
Área de transferencia (m <sup>2</sup> )	0,84			
DTML (K)	326,15			
Coefficiente de transferencia U (W/Km <sup>2</sup> )	1039,5			
Velocidad en el tubo interno (m/s)	0,9			
Velocidad en el ánulo (m/s)	2,12			
Ensuciamiento conjunto (Km <sup>2</sup> /W)	0,0005			
Pérdida de carga (atm)	0,077			

## 8.6- Selección del compresor C-102

Se necesita elevar la presión de la corriente 6B desde 13.6 kg/cm<sup>2</sup> hasta 125 kg/cm<sup>2</sup>, para que sea apta para el Sc-101. Para esto, se utilizará un compresor centrífugo multietapa. A continuación, se presenta el proceso de selección del mismo.

Para la selección del compresor se evaluarán el número de etapas, las temperaturas de succión y descarga, las presiones de succión y descarga, así como el tipo de compresor adecuado y el BHP, para poder seleccionar el equipo que mejor se ajuste a las necesidades del proceso.

Los cálculos se basan en los capítulos 6 y 7 de la bibliografía "Surface Production Operations: Pumps and Compressors, Vol. 4 – Maurice Stewart".

Al compresor C-102 ingresa la corriente 6B, con la siguiente composición:

	Caudal másico (kg/h)	Fracción másica
Etileno	23800	30%
Oxígeno	2560	3%
Óxido de Etileno	5280	7%
Dióxido de Carbono	19360	25%
Agua	1080	1%
Metano	26560	34%
Total	78640	100%

*Tabla 43: Composición de la corriente de ingreso al compresor. Fuente: programa de simulación PRO II*

El régimen de operación es continuo. Las condiciones de la corriente se detallan a continuación.

<b>Propiedades de la corriente 6B</b>		
Caudal másico (Q <sub>m</sub> )	78640	kg/h
Caudal volumétrico (Q <sub>s</sub> )	6447.6	m <sup>3</sup> /h
Caudal volumétrico en condiciones estándar	69598	Nm <sup>3</sup> /h
SCFM	43363	St. ft <sup>3</sup> /min
MMSCFD	64	Million St. ft <sup>3</sup> /día

ACFM	3742	Actual ft/min
Presión inicial (P1)	13.6	kg/cm2
	193.4	psia
Presión final (P2)	125	kg/cm2
	1778	psia
Temperatura inicial	60	°C
	333.15	K
Densidad	12.2	kg/m3
Volumen específico	0.082	m3/kg
k = Cp/Cv	1.3	
z =	0.97	

Tabla 44: Condiciones de la corriente de ingreso al compresor. Fuente: programa de simulación PRO II

### Cálculo del número de etapas

Para la determinación del número de etapas se debe tener en consideración que el valor de la relación de compresión Rc debe ser mayor a 3 y no superar 5. Se aplica la siguiente ecuación:

$$Rc = \left(\frac{P2}{P1}\right)^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

Rc = relación de compresión.

P2 = presión de descarga

P1 = presión de succión

n = número de etapas

Se evalúa Rc con n = 1; 2; 3; a continuación, se muestran los resultados.

Rc	9.2	n = 1
Rc	3.3	n = 2
Rc	2.1	n = 3

$R_c = 3.3$  resulta el valor más adecuado según el rango previamente mencionado, por lo que se determina que la compresión del gas se realizará en 2 etapas, con enfriamientos intermedios.

### Selección del tipo de compresor

Se seleccionará del diagrama a continuación, utilizando como información de entrada el caudal del gas en la succión y la presión de descarga objetivo.

$Q = 3742$  ACFM

$P_2 = 1778$  psia

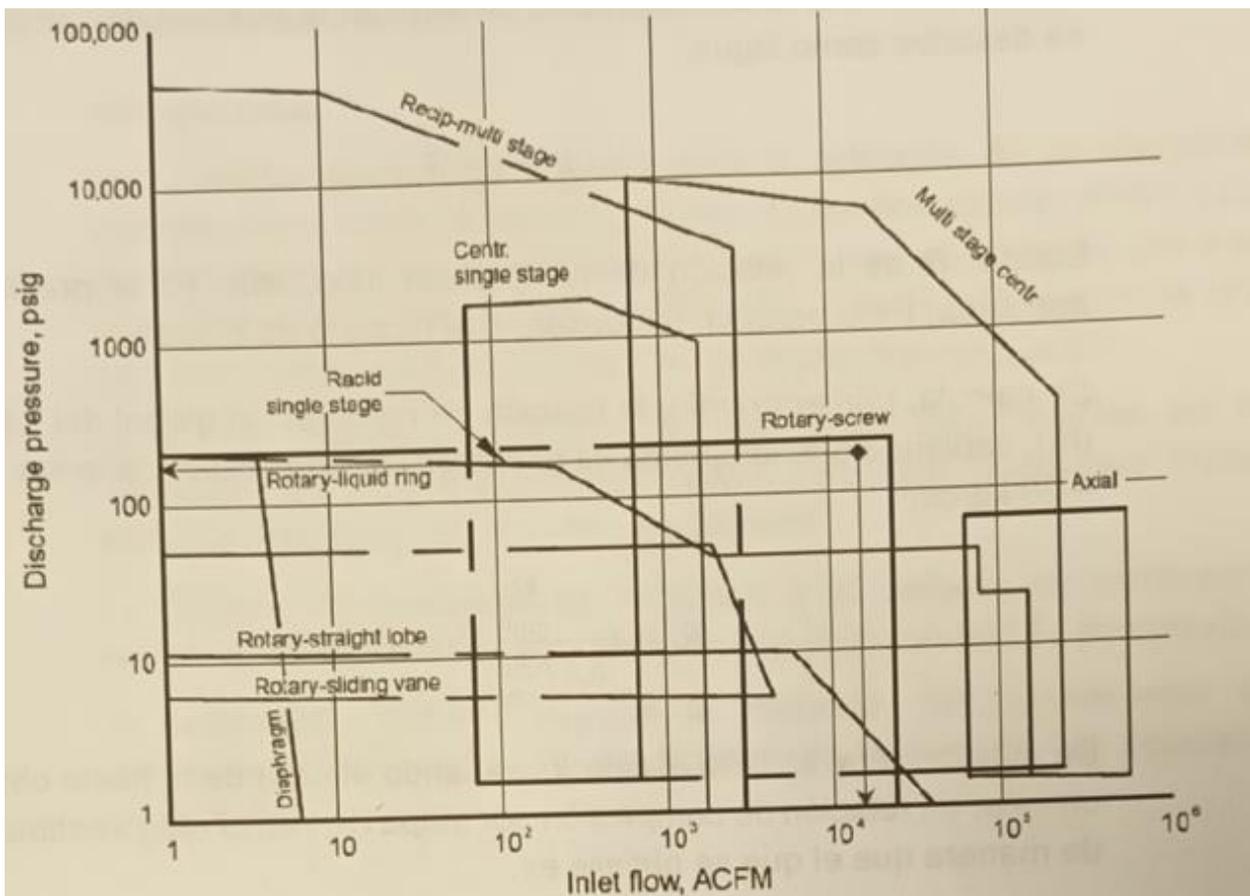


Ilustración 38: Selección del tipo de compresor. Fuente: Surface Production Operations: Pumps and Compressors, Vol. 4 - Maurice Stewart

Se selecciona un compresor del tipo centrífugo multietapa.

### Cálculo de las temperaturas de descarga

La temperatura de succión de la primera etapa es la temperatura que trae el gas, mientras que la temperatura de succión de la segunda etapa es fijada de forma arbitraria (100°C). Para averiguar las temperaturas de descarga se aplica la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k \cdot \eta_p}}$$

Donde:

T1 = temperatura de succión. 333.15 K para la primera etapa y 373.15 K para la segunda.

T2 = temperatura de descarga (K).

P1 = presión de succión. 13.6 kg/cm2 para la primera etapa y 70 kg/cm2 para la segunda.

P2 = presión de descarga. 70 kg/cm2 para la primera etapa y 125 kg/cm2 para la segunda.

k = coeficiente de dilatación adiabática promedio. 1.3 según Proll.

$\eta_p$  = eficiencia politrópica. Según la bibliografía, el valor estándar para compresores centrífugos es 80%.

A continuación, se presentan los valores obtenidos:

Etapa	Ts	Td	Unidades
1	60	261.3	°C
	333.15	534	K
2	100	168	°C
	373.15	441	K

### Cálculo de la potencia al freno, BHP.

El valor total será el resultado del aporte de cada etapa. La fórmula aplicada es la siguiente:

$$BHP = 0,0857 * Z_{avg}^{\frac{1}{k}} * Z_1^{\frac{k-1}{k}} * \frac{Q_g * T_{se}}{\eta_m * \eta_a} * \frac{k * \eta_p}{k - 1} * \left( R_c^{\frac{k-1}{k * \eta_p}} - 1 \right)$$

Donde

BHP = potencia al freno en HP

Zavg= factor de compresibilidad promedio por etapa (entre Zsucción y Zdescarga).

k = coeficiente de dilatación adiabática promedio. 1.3

Qg = flujo de entrada al compresor, 64 MMSCFD.

Tse = temperatura de succión por etapa (°R).

$\eta_a$  = eficiencia adiabática. Valor estándar:  
85%

- $\eta_m$  = eficiencia mecánica. Valor estándar:  
95%
- $\eta_p$  = eficiencia politrópica. Valor estándar:  
80%
- $R_c$  = relación de compresión por etapa.

Z1 =	0.97082
Z2 =	0.91488
Rc1 =	5.15
Rc2 =	1.8

Se calcula el factor de compresibilidad promedio por etapa, obteniendo del Proll por simulación los factores de la succión y la descarga en cada etapa.

Etapa	Ts (°R)	Td (°R)	Zs	Zd	Zavg
1	600	962	0,97082	0,99995	0,985385
2	672	794	0,91488	0,95757	0,936225

Finalmente, se calculan los valores de BHP por etapa y el valor final:

Etapa	BHP
1	8378
2	2681
Total	11059

La potencia total para la compresión será de 11059 HP.

### Selección del compresor

Teniendo en cuenta el caudal del gas (6447.6 m<sup>3</sup>/h) y la presión final que desea obtenerse (1778 psia), para compararlo con la presión máxima admisible de la carcasa, se seleccionará el compresor modelo 2V-15MB de posicionamiento vertical, del catálogo de la empresa Elliott Group Ebara Corporation.

Frame	Typical Flow Range		Inlet Nozzle Sizes	
	m <sup>3</sup> /hr	CFM	mm	in
1H – 10M <sup>(3,4,5)</sup> 1V – 10MB <sup>(3,4,5)</sup>	2,888 – 14,272	1,700 – 8,400	102, 203, 254, 305, 356 102, 203, 254, 305, 356	4, 8, 10, 12, 14 4, 8, 10, 12, 14
2H – 15M <sup>(3,4,5)</sup> 2V – 15MB <sup>(3,4,5)</sup>	3,738 – 19,029	2,200 – 11,200	152, 203, 254, 305, 356, 406 102, 152, 203, 254, 305, 356, 406, 457	6, 8, 10, 12, 14, 16 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18
3H – 20M <sup>(3,4,5)</sup> 3V – 20MB <sup>(3,4,5)</sup>	4,927 – 25,145	2,900 – 14,800	203, 254, 305, 356, 406, 457 152, 203, 254, 305, 356, 406, 457	8, 10, 12, 14, 16, 18 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18
4H – 25M <sup>(3,4,5)</sup> 4V – 25MB <sup>(3,4,5)</sup>	6,626 – 33,471	3,900 – 19,700	254, 305, 356, 406, 457, 508 203, 254, 305, 356, 406, 457, 508	10, 12, 14, 16, 18, 20 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20
5H – 29M <sup>(3,4,5)</sup> 5V – 29MB <sup>(3,4,5)</sup>	8,665 – 44,174	5,100 – 26,000	305, 356, 406, 457, 508, 610 203, 305, 356, 406, 457, 508, 610	12, 14, 16, 18, 20, 24 8, 12, 14, 16, 18, 20, 24

Discharge Nozzle Sizes		Casing Rating		100% Nominal Impeller Diameter		Nominal Speed
mm	in	barg	psig	mm	in	rpm
102, 152, 203 102, 152, 203	4, 6, 8 4, 6, 8	69 138	H – 1000 V – 2000	263.550	10.376	19800
102, 152, 203 102, 152, 203, 254	4, 6, 8 4, 6, 8, 10	69 138	H – 1000 V – 2000	303.073	11.932	17300
102, 203, 254 102, 152, 203, 254, 305	4, 8, 10 4, 6, 8, 10, 12	69 138	H – 1000 V – 2000	348.539	13.722	15000
152, 203, 254, 305 152, 203, 254, 305, 406	6, 8, 10, 12 6, 8, 10, 12, 16	69 138	H – 1000 V – 2000	400.812	15.780	13100
152, 203, 254, 356 152, 254, 305, 406	6, 8, 10, 14 6, 10, 12, 16	69 138	H – 1000 V – 2000	460.934	18.147	11400

Journal Bearing Diameter	
mm	in
74.93	2.95
74.93, 88.9, 101.6	2.95, 3.5, 4
88.9, 101.6	3.5, 4
88.9, 101.6, 127	3.5, 4, 5
88.9, 101.6, 127	3.5, 4, 5

Tabla 45: Selección del compresor. Fuente: Elliott Group Ebara Corporation

Frame Size	Minimum Rotor Length (in./mm)	Maximum Rotor Length (in./mm)	Casing Width (Inc. Supports) (in./mm)	Casing Height (Exc. Supports) (in./mm)	Minimum Casing Weight (lb/Kg)	Maximum Casing Weight (lb/Kg)
<b>Typical Weights and Dimensions for Elliott Vertical Split Compressors*</b>						
10MB	35 / 890	62 / 1,575	43 / 1,092	42.5 / 1,080	7,000 / 3,175	13,000 / 5,900
15MB	35 / 890	72 / 1,830	46 / 1,168	48 / 1,219	8,400 / 3,810	17,500 / 7,940
20MB	40 / 1,015	80 / 2,030	50 / 1,270	53.75 / 1,366	12,000 / 5,440	25,000 / 11,340
25MB	45 / 1,145	88 / 2,235	58.5 / 1,486	62 / 1,575	18,400 / 8,345	36,000 / 163,030
29MB	50 / 1,270	105 / 2,670	64.3 / 1,633	64 / 1,626	23,000 / 10,435	49,000 / 22,225
32MB	50 / 1,270	120 / 3,050	71.7 / 1,821	76.5 / 1,943	28,500 / 12,900	69,000 / 31,300
38MB	55 / 1,400	130 / 3,300	78.5 / 1,994	83.25 / 2,115	36,500 / 16,560	89,000 / 40,400
46MB	70 / 1,780	150 / 3,810	96.5 / 2,451	86.5 / 2,197	47,500 / 21,500	115,000 / 52,200
56MB	80 / 2,030	170 / 4,320	104.2 / 2,647	102.12 / 2,594	70,000 / 31,750	160,000 / 72,600
60MB	90 / 1,525	185 / 4,700	113 / 2,870	112.5 / 2,858	90,000 / 41,000	200,000 / 91,000
70MB	100 / 2,540	225 / 5,715	115.2 / 2,926	120.62 / 3,064	100,000 / 45,350	251,000 / 113,900
78MB	100 / 2,540	245 / 6,225	120 / 3,048	140 / 3,556	125,000 / 56,700	315,000 / 143,000
88MB	115 / 2,920	265 / 6,730	137 / 3,480	148 / 3,759	205,000 / 93,000	465,000 / 211,000

Tabla 46: Dimensiones de compresores. Fuente: Elliott Group Ebara Corporation

### Selección del motor

La potencia necesaria es la calculada en el punto 4, es decir, 11059 HP. El motor debe adecuarse a esta necesidad.

Se selecciona un motor AC NMK de inducción, de potencia máxima 28500 kW, del catálogo de la empresa ABB Motors Drives and Power Electronics.

<b>AC/DC</b>	AC
<b>Tipo</b>	de inducción
<b>Voltaje</b>	> 1000 V
<b>Índice de protección</b>	IP55, IP54, IP23, IP56, IP66
<b>Otras características</b>	de alta tensión
<b>Potencia</b>	Mín.: 140 kW (190,347 hp) Máx.: 28.500 kW (38.749,203 hp)
<b>Diámetro</b>	Mín.: 400 mm (15,75 in) Máx.: 800 mm (31,5 in)

Fuente: ABB Motors Drives and Power Electronics

## Hoja de especificación

UTN- FRLP		HOJA DE ESPECIFICACIÓN - SISTEMA DE COMPRESIÓN				INTEGRACIÓN V - PROYECTO FINAL	
DENOMINACIÓN: Sistema de compresión							
UNIDAD: C-102							
SERVICIO: Acondiona la corriente, previo al ingreso al Sc-101							
<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>							
TIPO		CENTRÍFUGO		PROVEEDOR		ELLIOTT GROUP EBARA CORPORATION	
MODELO		2V-15MB VERTICAL					
<b>CONDICIONES OPERATIVAS</b>							
CAUDAL		78640 kg/h		6447.6 m3/h		69598 Nm3/h	
		43363 SCFM		64 MMSCF D		3742 ACFM	
<b>CONDICIONES DE SUCCIÓN</b>							
<b>ETAPA</b>				<b>1º</b>		<b>2º</b>	
PRESIÓN		kg/cm2		13.6		70	
TEMPERATURA		°C		60		100	
FACTOR Z				0.97082		0.91488	
CP/CV				1.3			
<b>CONDICIONES DE DESCARGA</b>							
<b>ETAPA</b>				<b>1º</b>		<b>2º</b>	
PRESIÓN		kg/cm2		70		125	
TEMPERATURA		°C		261		168	
<b>PERFORMANCE DEL EQUIPO</b>							
<b>ETAPA</b>				<b>1º</b>		<b>2º</b>	
POTENCIA POR ETAPA		HP		8378		2681	
POTENCIA TOTAL		HP		11059			
EFICIENCIA POLITRÓPICA				80%			
<b>COMPOSICIÓN DEL GAS</b>							
Etileno		30%		% MÁSIKO			
Oxígeno		3%		% MÁSIKO			
Óxido de Etileno		7%		% MÁSIKO			
Dióxido de Carbono		25%		% MÁSIKO			
Agua		1%		% MÁSIKO			
Metano		34%		% MÁSIKO			
<b>MOTOR</b>							
TIPO		DE INDUCCIÓN		PROVEEDOR		ABB MOTORS DRIVES AND POWER ELECTRONICS	
MODELO		AC NMK	POTENCIA	11059	HP	VOLTAJE	> 1000 V
<b>CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESOR SELECCIONADO</b>							
CAUDAL MÁXIMO		19029				m3/h	
CAUDAL MÍNIMO		3738				m3/h	

VELOCIDAD NOMINAL	17300		RPM			
PRESIÓN MÁXIMA SOPORTADA	138		BAR			
DIÁMETRO NOMINAL DE IMPULSOR	303.073		MM			
TAMAÑO BOQUILLA ENTRADA	102, 152, 203, 254, 305, 356, 406, 457		MM			
TAMAÑO BOQUILLA SALIDA	102, 152, 203, 254		MM			
DIÁMETRO COJINETE DE DESLIZAMIENTO	74.93, 88.9, 101.6		MM			
DIMENSIONES PRINCIPALES	LARGO		ALTO		ANCHO	
	1830	MM	1219	MM	1168	MM
<b>OBSERVACIONES</b>						
El equipo consta de dos (2) etapas de compresión con un enfriamiento interetapa con agua.						

## 8.7- Diseño de la columna de destilación atmosférica T-104

Para realizar los cálculos de diseño se supone que la alimentación de ingreso a la torre será una mezcla de agua y furfural y que la torre operará a presión atmosférica.

Se usará el método gráfico de McCabe-Thiele para una destilación bicomponente, siendo un cálculo suficiente para el presente desarrollo.

El supuesto principal del método de McCabe-Thiele consiste en que debe haber un derrame equimolar a través de la torre, entre la entrada de alimentación y el plato superior y la entrada de alimentación y el plato inferior.

$$V_{n+1} = L_n + D$$

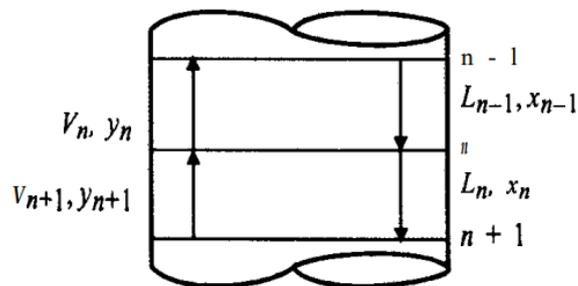


Ilustración 39: Flujos de vapor y líquido en un plato. Fuente: Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación - Geankoplis, 4ta Edición

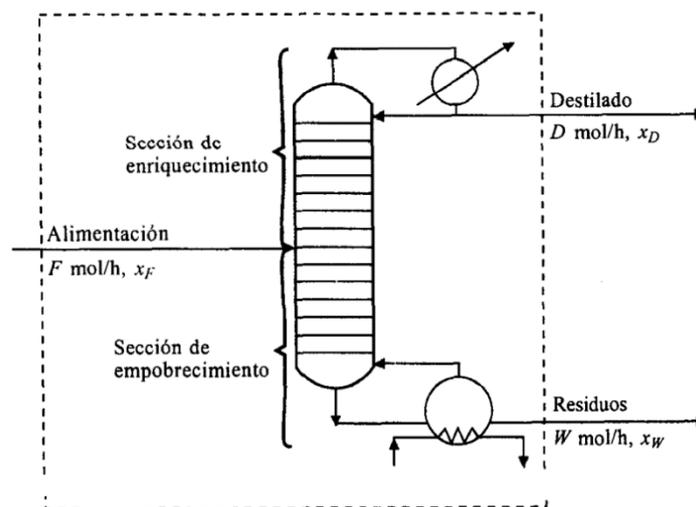


Ilustración 40: Sección de la columna bajo estudio. Método McCabe-Thiele. Fuente: Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación - Geankoplis, 4ta Edición

### Balance de masa en la columna

Considerando que por tope saldrá una proporción mayoritaria del componente más liviano (agua) como destilado y por fondo una mayor cantidad del componente pesado (furfural), el balance de masa total en la columna será.

Componentes	F(kmol/h)	D(kmol/h)	B(kmol/h)	XF	XD	XB
<b>Agua</b>	541,89	541,28	0,602	0,9	0,999	0,01
<b>Furfural</b>	60,21	0,541	59,67	0,1	0,001	0,99
<b>Total</b>	602,1	541,82	60,27			

D y B representan las corrientes de destilado y de fondo y XF, XD Y XB son las fracciones molares en alimentación, destilado y fondo respectivamente.

Se hace el mismo balance en la cabeza y el fondo de la columna, pero llamando a las concentraciones de gases “y” y las concentraciones de líquido “x”.

En la cabeza se llama “V” a los vapores que suben de los platos inferiores y “L” a la corriente que retorna a la columna (reflujo). Se tiene entonces que para un componente queda:

$$V = D + L$$

$$V y = L x + D x_D$$

Además, puede calcularse una relación de reflujo entre lo que sale como producto destilado y la corriente que retorna a la columna.

$$R = \frac{L}{D}$$

Despejando y sustituyendo en las dos primeras ecuaciones e incorporando la relación de reflujo se obtiene **la recta de la zona de rectificación**:

$$y = \frac{R}{1 + R} x + \frac{1}{1 + R} x_D$$

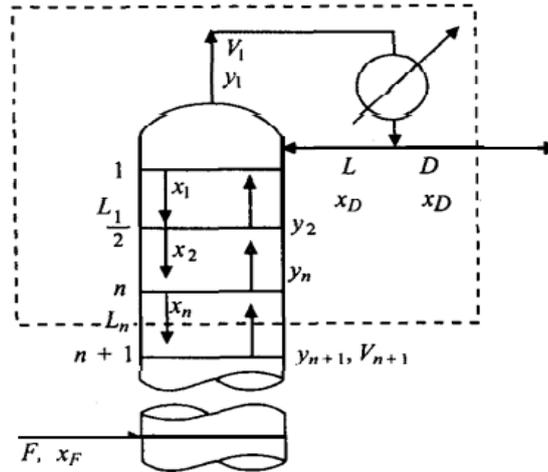


Ilustración 41: Balance de materia en la zona de enriquecimiento. Fuente: Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación - Geankoplis, 4ta Edición

Para la zona de agotamiento el balance general queda:

$$L = V + B$$

El balance del componente más liviano

$$x L = y V + x_B B$$

Con las dos últimas ecuaciones se obtiene **la recta de la zona de agotamiento:**

$$y = \left(\frac{L}{V}\right)x - \left(\frac{B}{V}\right)x_D$$

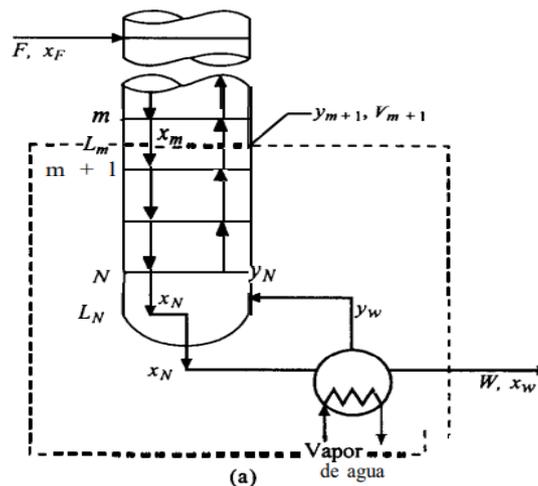


Ilustración 42: Balance de materia para la zona de agotamiento. Fuente: Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación - Geankoplis, 4ta Edición

Luego, para determinar el estado termodinámico de la alimentación, se obtiene que el balance global de materia es:

$$F + L_n + V_m = L_m + V_n$$

$$L_m = L_n + qF$$

$$V_m = V_n + (1 - q)F$$

Siendo  $q$  una cantidad igual a:

$$q = \frac{\text{calor para vaporizar 1 mol de alimentación en condiciones de entrada}}{\text{calor latente molar de vaporización de alimentación}}$$

$$q = \frac{H_V - H_F}{H_V - H_L}$$

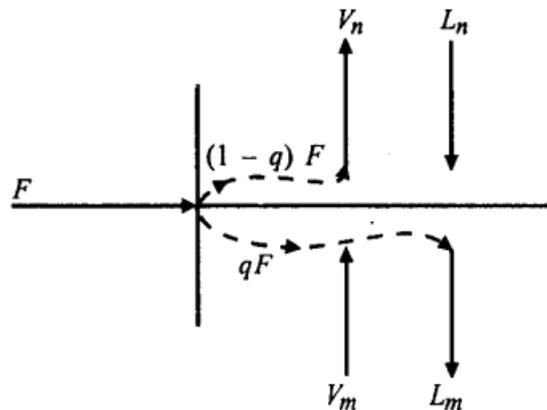


Ilustración 43: Relación de los flujos por encima y por debajo de la alimentación. Fuente: *Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación - Geankoplis, 4ta Edición*

Para determinar la línea de operación de la alimentación se realiza un balance por componente liviano en cada una de las zonas.

Zona de rectificación:  $y V_n = Lx + Dx_d$

Zona de agotamiento:  $y V_m = Lx - Bx_b$

Balance global:  $F x_f = Dx_d + Bx_b$

La **línea de operación de la alimentación** será

$$y = \frac{q x}{(q - 1)} - \frac{x_f}{(q - 1)}$$

Para armar la tabla de equilibrio líquido vapor se necesitará el dato de volatilidad relativa  $\alpha_{ij}$

Se puede calcular en función de las temperaturas de ebullición de los compuestos puros según:

$$\alpha_{ij} = \exp \left[ \frac{\lambda}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right]$$

Siendo:

- $R$  constante energética molar de los gases
- $T_1$  la temperatura de ebullición del componente liviano
- $T_2$  la temperatura de ebullición del componente pesado
- $\lambda$  el promedio del calor latente de ambos compuestos

En condiciones de proceso las variables toman los siguientes datos:

T1 AGUA (K)	T2 FURFURAL (K)	$\lambda$ AGUA (kJ/kmol)	$\lambda$ FURFURAL (kJ/kmol)
375	435	40680	42624
		$\lambda$ PROMEDIO(kJ/kmol)	
		41652	

Tabla 47. Fuente: programa de simulación PRO II

Reemplazando en la ecuación:

$$\alpha_{ij} = \exp \exp \left[ \frac{41652}{8,314} \left( \frac{1}{375} - \frac{1}{435} \right) \right]$$

$$\alpha_{ij} = 6,78$$

La ecuación que relaciona la fracción de gases y líquida en equilibrio es:

$$y = \frac{\alpha \cdot x}{1 + x(\alpha - 1)}$$

Suponiendo valores de  $x$  se desarrolla la tabla. Los datos de equilibrio líquido-vapor de la mezcla son los siguientes:

x	y	T(K)	T(°C)
0	0	435,0	162,0
0,05	0,26	425,6	152,6
0,1	0,43	418,4	145,4
0,15	0,54	412,6	139,6
0,2	0,63	407,8	134,8
0,25	0,69	403,7	130,7
0,3	0,74	400,1	127,1
0,35	0,79	396,9	123,9
0,4	0,82	394,0	121,0
0,45	0,85	391,4	118,4
0,5	0,87	389,1	116,1
0,55	0,89	386,9	113,9
0,6	0,91	385,0	112,0
0,65	0,93	383,1	110,1
0,7	0,94	381,4	108,4
0,75	0,95	379,8	106,8
0,8	0,96	378,3	105,3
0,85	0,97	376,8	103,8
0,9	0,98	375,5	102,5
0,95	0,99	374,2	101,2
1	1,00	373,0	100,0

Tabla 48: Equilibrio líquido/vapor para la mezcla Agua/Furfural. Fuente: Calculado según la Ley de Henry

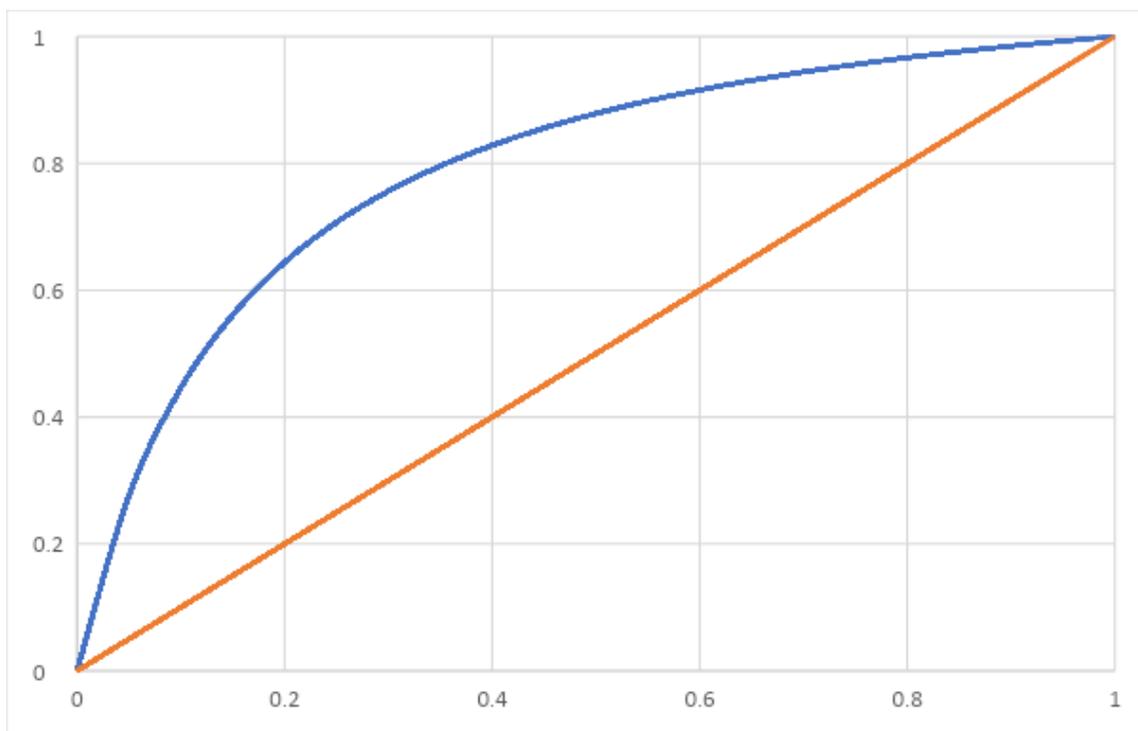


Ilustración 44: Equilibrio líquido/vapor. Fuente: elaboración propia según la Tabla 49

Para la selección del tipo de condensador se tiene en cuenta el criterio de Ludwig.

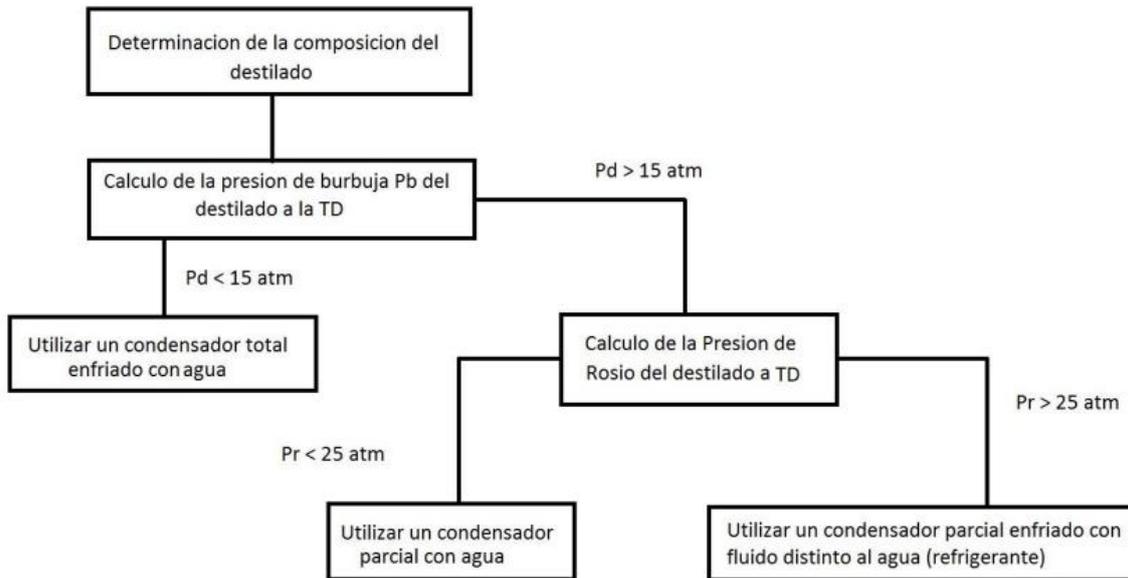


Ilustración 45: Esquema de Ludwig para selección de condensador. Fuente: Cátedra de Operaciones Unitarias II – U.T.N. F.R.L.P.

La presión de burbuja del destilado a la temperatura de destilado serán 0,94 atm a 98°C respectivamente.

Debido a que la Pd es menor a 15 atm se utilizará un **condensador total** enfriado con agua.

La torre contará con un reboiler tipo kettle, que puede ser considerado como una etapa de equilibrio líquido más vapor. La temperatura de fondo será 162°C

El objetivo es obtener como producto destilado agua al 99,9% para utilizarlo aguas arriba en el proceso. Del mismo modo, el fondo debe tener 99.9% de pureza en Furfural por las mismas razones.

Utilizando el gráfico de equilibrio líquido-vapor se obtiene que el número mínimo de etapas teóricas (NMTS) es igual a 7 y como la unidad cuenta con reboiler se consideran 8 etapas teóricas.

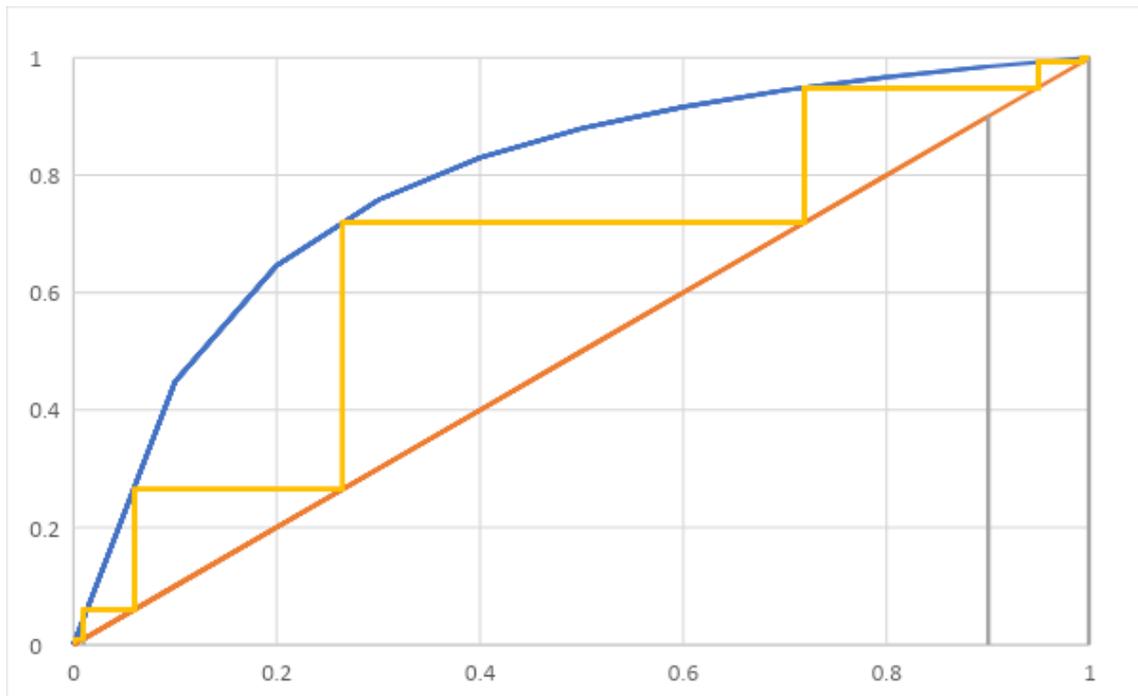


Ilustración 46: Gráfica de NTSM

La Ilustración 47 muestra las líneas de operación, deducidas por el método de McCabe-Thiele. La recta verde representa la Línea de Operación en la Zona de Rectificación o enriquecimiento (LOZR); la recta roja representa la Línea de Operación en la Zona de Agotamiento o empobrecimiento (LOZA); la recta vertical color violeta, representa la línea de operación en la alimentación (ALIMENTACIÓN) en este caso con  $q = 1$  la alimentación ingresa como líquido saturado

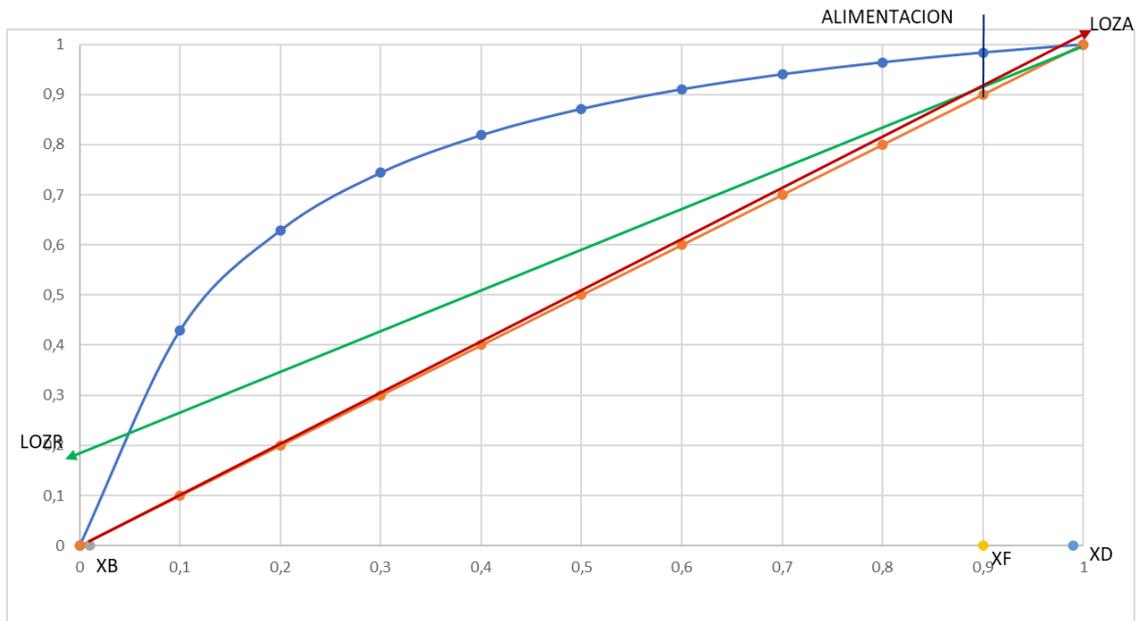


Ilustración 47: Líneas de operación de la unidad

Utilizando el gráfico de equilibrio líquido-vapor con las líneas de operación (LOZA; LOZR; ALIMENTACIÓN) se obtiene que el número de etapas teóricas (NTS) es igual a 8 y como la unidad cuenta con reboiler se consideran 9 etapas teóricas.

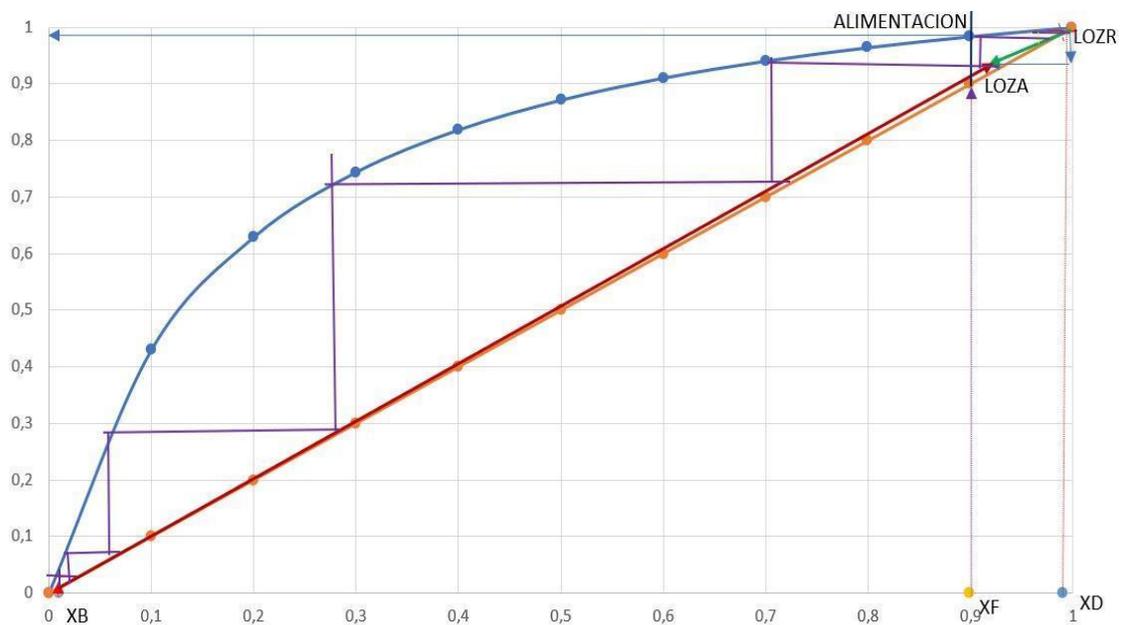


Ilustración 48: Gráfica de NTS

El Reflujo mínimo se calcula siguiendo la ecuación:

$$R_{min} = \frac{\left(\frac{L}{V}\right)_{min}}{1 - \left(\frac{L}{V}\right)_{min}}$$

A su vez:

$$\left(\frac{L}{V}\right)_{min} = \frac{y_D - y_{RM}}{x_D - x_{RM}} = 0,4$$

$y_D = x_D = 0,999$  por el reboiler tipo kettle

$y_{RM} = 0,96$  y  $x_{RM} = 0,9$  corresponden a condiciones de alimentación

$$R_{min} = 0,7$$

Considerando un factor operativo de 1.5 se obtiene el reflujo operativo, tal que:

$$R_{op} = R_{min} \cdot FOP = 0,975$$

La eficiencia teórica se obtiene de relacionar NTMS con NTS siendo 8 y 9 respectivamente.

$$\% \varepsilon_{teorica} = \frac{NTMS}{NTS} * 100 = \frac{8}{9} * 100 = 89\%$$

La eficiencia real de los platos se obtiene a través del método de O'Konel cuya ecuación será:

$$\varepsilon_{real} = 0,492 \cdot (0,44 \cdot \alpha_{ij})^{-0,245}$$

$$\% \varepsilon_{real} = 38\%$$

Por el método gráfico de McCabe-Thiele se obtuvieron los siguientes parámetros:

NOMBRE	SIGLA	VALOR	OBSERVACIÓN
NºMÍNIMO DE ETAPAS	NTMS	8	7 + reboiler
RELACIÓN LÍQUIDO VAPOR MÍNIMO	L/V min	0,4	
REFLUJO MÍNIMO	L/D min	0,7	
FACTOR OPERATIVO	FOP	1,5	Los condensadores con agua tienen un FOP recomendado de 1,5
REFLUJO OPERATIVO	L/D	0,975	
-	q	1	Condición de ingreso de la alimentación como LÍQUIDO SATURADO
NºETAPAS TEÓRICAS	NTS	9	8 + Reboiler
EFICIENCIA TEÓRICA	$\eta$ teórica	89%	
EFICIENCIA REAL	$\eta$ real	38%	Calculado por metodo O'Konel
Nº ETAPAS REALES	NRS	22	21 + reboiler
PLATO DE ALIMENTACIÓN	FP	3	

Tabla 49: Resultados del método McCabe-Thiele

La torre contará con 21 platos, condensador total y reboiler. La separación de platos más habitual es de 24" (61 centímetros). La altura del cuerpo será de 12,81 metros y su diámetro de 5,334 metros. Contará con dos cabezales semiesféricos de radio 2,667 metros, colocados en cabeza y fondo de la columna. La altura total será de 18,134 metros.

Se debe cumplir que el porcentaje de inundación de la torre no supere el 80% para líquidos que no forman espuma.

Los datos proporcionados por PRO II son los siguientes:

TRAY SIZING RESULTS

TRAY	VAPOR M3/S	LIQUID M3/S	ULOAD M3/S	-- DESIGN -- DIA, MM FF		NEXT SMALLER DIA, MM FF		NEXT LARGER DIA, MM FF		NP
2	27.68	0.05704	1.302	5334.0	51.7	5182.	54.3	5334.	51.7	2
3	27.76	0.07244	1.418	5334.0	58.0	5182.	60.8	5334.	58.0	2
4	28.73	0.07577	1.476	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
5	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
6	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
7	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
8	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
9	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
10	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
11	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
12	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
13	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
14	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
15	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
16	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
17	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
18	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
19	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
20	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
21	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2
22	28.74	0.07580	1.477	5334.0	60.6	5182.	63.3	5334.	60.6	2

Tabla 50: Características de los platos de la unidad. Fuente: programa de simulación PRO II

VALUE DIAMETER		47.625 MM			
SECTION	DESIGN TRAY NUMBER	DIAMETER MM	NP	NUMBER OF VALVES OR CAPS	SIDE MM
1	22	5334.	2	2623	304.453

Tabla 51: Diseño de plato para la unidad. Fuente: programa de simulación PRO II

**Cálculo de espesor de la columna**

Utilizando la norma ASME sección VIII se calcula el espesor de la coraza.

$$t = c + \frac{PR_c}{SE - yP}$$

Donde:

- Rc: Radio de la columna
- S: tensión máxima admisible del material
- E: Eficiencia de soldadura
- c: Espesor por corrosión
- P: Presión de diseño

Cálculo de presión de diseño:

La presión de diseño será igual a la presión operativa más un factor de seguridad, Ps:

$$P = P_{op} + P_s$$

Siendo  $P_s = 2,1 \text{ bar}$  y  $P_{op} = 1 \text{ bar}$

$$P = 3,1 \text{ bar}$$

La tensión máxima admisible del Acero al carbono A 285 Gr.A (A-134)

Material	No. de espec.	N.º P o N.º S (5)	Grado	No. UNS	Notas	Temp. mín. °F (6)	Mín. esfuerzo especificado, ksi		Temp. mín. a 100	200	300
							Tensión	Elasticidad			
<b>Acero carbón tuberías y tubos (2)</b>											
A 285 Gr. A	A 134	1	...	...	(8b)(57)	B	45	24	15,0	14,7	14,2
A 285 Gr. A	A 672	1	A45	K01700	(57)(59)(67)	B	45	24	15,0	14,7	14,2
Soldadura a tope Smls y ERW	API 5L	S-1	A25	...	(8a)	-20	45	25	15,0	15,0	14,7
	API 5L	S-1	A25	...	(57)(59)	B	45	25	15,0	15,0	14,7
...	A 179	1	...	K01200	(57)(59)	-20	47	26	15,7	15,7	15,3
Tipo F	A53	1	A	K02504	(8a)(77)	20	48	30	16,0	16,0	16,0
...	A 139	S-1	A	...	(8b)(77)	A	48	30	16,0	16,0	16,0
...	A 587	1	...	K11500	(57)(59)	-20	48	30	16,0	16,0	16,0

Tabla 52: Esfuerzos permitidos básicos en tensión para metales. Fuente: norma ASME - VIII

$$S = 14200 \text{ psi}$$

La eficiencia a la soldadura considerada es de 0,80 ya que es recomendable utilizar este valor para recipientes sometidos a presión con estas características.

No. espec.	Clase (o tipo)	Descripción	$E_j$ (2)	Notas. Apéndice A
<b>Acero carbono</b>				
API 5L	...	Tubería sin costura	1.00	...
		Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
		Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.95	...
		Soldada a tope en horno	0.60	...
A 53	Tipo S	Tubería sin costura	1.00	...
	Tipo E	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
	Tipo F	Soldada a tope en horno	0.60	...
A 105	...	Forjas y accesorios	1.00	(9)
A 106	...	Tubería sin costura	1.00	...
A 134	...	Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.80	...
A 135	...	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
A 139	...	Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.80	...

Tabla 53: Factores de calidad básicos para juntas longitudinales soldadas en tuberías, tubos y accesorios. Fuente: Norma ASME - VIII

$$E = 0,80$$

Se considerará un espesor por corrosión de 3mm.

El espesor de la coraza de la columna será el siguiente:

$$t = 3 \text{ mm} + \frac{3,1 \text{ bar} \cdot 2667 \text{ mm}}{980 \text{ bar} \cdot 0,80 - 0,6 \cdot 3,1 \text{ bar}} = 12 \text{ mm}$$



TABLA DE PESOS Y ESPESORES PARA LAMINAS DE ACERO

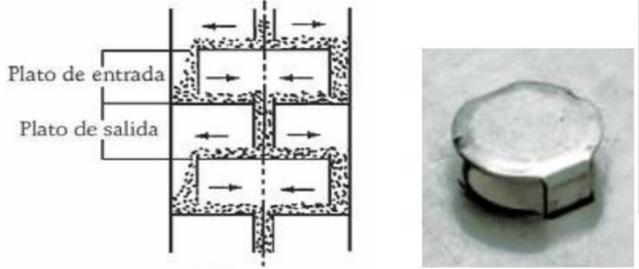
Producto	Espesor			Peso/Kg (Formato Comercial)						
	mm	Calibre	Pulgadas	1000 x 2000mm	1200 x 2400mm	1220 x 2440mm	1000 x 6000mm	1200 x 6000mm	1830 x 6096mm	2483 x 6096mm
TEZ	0.15mm	38	-	-	-	-	-	-	-	-
TEZ	0.17mm	36	-	-	-	-	-	-	-	-
LAF/GAL	0.30mm	30	-	-	-	-	-	-	-	-
LAF/GAL	0.35mm	29	-	-	-	-	-	-	-	-
LAF/GAL	0.38mm	28	-	-	-	-	-	-	-	-
LAF/GAL	0.40mm	26	-	6.28Kg	9.04Kg	9.34Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	0.43mm	26	-	6.75Kg	9.72Kg	10.68Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	0.45mm	26	-	7.07Kg	10.17Kg	10.51Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	0.55mm	24	-	8.64Kg	12.43Kg	12.85Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	0.61mm	24	-	9.55Kg	13.79Kg	14.30Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	0.70mm	23	-	11.01Kg	15.82Kg	16.62Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	0.75mm	22	-	11.82Kg	16.95Kg	17.65Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	0.80mm	20	-	12.56Kg	18.08Kg	18.69Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	0.85mm	20	-	13.50Kg	19.21Kg	20.07Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	0.90mm	20	-	14.13Kg	20.34Kg	21.03Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	1.00mm	19	-	15.70Kg	22.60Kg	23.36Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	1.10mm	18	-	17.27Kg	24.86Kg	25.82Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	1.15mm	18	-	18.05Kg	25.99Kg	27.09Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	1.20mm	18	-	18.67Kg	27.13Kg	28.04Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	1.40mm	16	-	21.98Kg	31.65Kg	32.71Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	1.45mm	16	-	22.76Kg	32.78Kg	33.88Kg	-	-	-	-
LAF/GAL/LAC	1.50mm	16	-	23.35Kg	33.91Kg	34.90Kg	-	-	-	-
LAF/GAL/LAC	1.80mm	14	-	28.26Kg	40.69Kg	42.06Kg	-	-	-	-
LAF/GAL	1.85mm	14	-	29.04Kg	41.82Kg	43.23Kg	-	-	-	-
LAF/GAL/LAC	1.90mm	14	-	29.30Kg	42.95Kg	44.38Kg	-	-	-	-
GAL/LAC	2.00mm	13	-	31.50Kg	47.62Kg	46.73Kg	94.20Kg	113.04Kg	-	-
LAC	2.30mm	-	-	36.11Kg	51.99Kg	53.74Kg	108.33Kg	129.99Kg	-	-
GAL/LAC/LAD/LAL	2.50mm	12	-	39.78Kg	57.20Kg	58.41Kg	117.75Kg	141.30Kg	-	-
GAL/LAC/LAD/LAL	3.00mm	11	1/8"	47.67Kg	68.43Kg	70.10Kg	141.59Kg	171.43Kg	-	-
LAC/LAD	4.00mm	8	-	63.00Kg	90.54Kg	93.47Kg	195.57Kg	226.00Kg	-	-
LAC/LAD/LAL/PLA	4.50mm	7	3/16"	71.88Kg	103.43Kg	105.15Kg	215.47Kg	255.05Kg	404.8Kg	-
PLA	4.75mm	7	3/16"	74.57Kg	107.38Kg	110.99Kg	223.72Kg	268.47Kg	418.2Kg	-
LAC/LAD/LAL/PLA	6.00mm	3	1/4"	95.47Kg	136.88Kg	140.20Kg	289.55Kg	345.29Kg	537.4Kg	-
PLA	6.35mm	3	1/4"	-	143.56Kg	148.38Kg	299.08Kg	358.90Kg	566.1Kg	-
PLA	7.94mm	-	5/16"	-	179.50Kg	185.54Kg	-	448.76Kg	708.3Kg	-
LAC/PLA	8.00mm	-	5/16"	-	182.40Kg	186.94Kg	-	454.30Kg	716.2Kg	934.7Kg
LAC/PLA	9.00mm	-	3/8"	-	204.28Kg	210.31Kg	-	508.68Kg	760.6Kg	1050Kg
LAC/PLA	9.50mm	-	3/8"	-	214.77Kg	221.99Kg	-	536.94Kg	827.2Kg	1110Kg
LAC/PLA	12.00mm	-	1/2"	-	-	286Kg	-	678.24Kg	1058Kg	1400Kg
PLA	12.70mm	-	1/2"	-	-	297Kg	-	1113Kg	1508Kg	-
PLA	15.00mm	-	5/8"	-	-	350Kg	-	-	1314Kg	1750Kg
PLA	19.00mm	-	3/4"	-	-	443Kg	-	-	1670Kg	2217Kg
PLA	25.00mm	-	1"	-	-	584Kg	-	-	-	2917Kg
PLA	32.00mm	-	1.1/4"	-	-	723.4Kg	-	-	-	3617Kg
PLA	38.00mm	-	1.1/2"	-	-	887Kg	-	-	-	4433Kg
PLA	50.00mm	-	2"	-	-	1112Kg	-	-	-	5814Kg
PLA	63.00mm	-	2.1/2"	-	-	1470Kg	-	-	-	7419Kg
PLA	75.00mm	-	3"	-	-	1750Kg	-	-	-	8750Kg
PLA	100.00mm	-	4"	-	-	2334Kg	-	-	-	11667Kg

Tabla 54: Espesores de acero comercial. Fuente: lacampana.co

El espesor de placa utilizado para el diseño de casco y cabezales será 1/2 in = 12.7 mm.

**Hoja de especificación**

UTN- FRLP		HOJA DE ESPECIFICACIÓN COLUMNA DE DESTILACIÓN			INTEGRACIÓN V - PROYECTO FINAL
DENOMINACIÓN: Columna de destilación atmosférica					
UNIDAD: T-104					
SERVICIO: Separa agua de furfural para su uso aguas arriba					
DATOS DE OPERACIÓN					
		ENTRADA	TOPE	FONDO	
CAUDAL DE OPERACIÓN	kg/h	15645	9740	5850	
CAUDAL MÁXIMO DE OP.	kg/h	17210	10715	6435	
CAUDAL MÍNIMO DE OP.	kg/h	9387	5844	3510	
TEMPERATURA	°C	71	100	162	
PRESIÓN OP.	kg/cm2	1,3	1	1,1	
FRACCIÓN DE VAPOR	(mol/mol)	0	1	0	
DENSIDAD(IN/OUT)	kg/m3	1001,207			
DATOS CONSTRUCTIVOS					
COLUMNA		ESQUEMA			
MATERIAL	A 285 Gr.A (A-134)				
PRESIÓN DE DISEÑO	kg/cm2 3,1				
LONGITUD DEL CUERPO	m 12,81				
LONGITUD TOTAL	m 18,14				
DIÁMETRO INTERNO	m 5,334				
DIÁMETRO EXTERNO	m 5,346				
CABEZALES					
MATERIAL	A 285 Gr.A (A-134)				
PRESIÓN DE DISEÑO	kg/cm2 3,1				
GEOMETRÍA CASQUETE	Semiesférico				
ALTURA DEL CASQUETE	m 2,667				
PESO DE COLUMNA VACÍA	kg 346000				
PESO EN OPERACIÓN	kg 346500				
ESPESOR CUERPO	m 0,012				
ESPESOR CASQUETE	m 0,012				
CONEXIONES					
ALIMENTACIÓN	PLATO 3				
SALIDA DE DESTILADO	PLATO 1				
SALIDA DE FONDO	PLATO 21				
EQUIPOS AUXILIARES					
TIPO DE REHERVIDOR	KETTLE				
TIPO DE CONDENSADOR	TOTAL				

UTN- FRLP	HOJA DE ESPECIFICACIÓN COLUMNA DE DESTILACIÓN		INTEGRACIÓN V - PROYECTO FINAL
DENOMINACIÓN: Plato de la columna T-104			
UNIDAD: T-104			
DISEÑO DE INTERNOS			
N° PLATOS	21		
TIPO DE PLATO	PLATO DE VÁLVULAS		
ESPESOR	m	0,012	
DIÁMETRO DE VALVULAS	m	0,047	
ANCHO DE VERTEDERO	m	0,3	
ESPACIADO ENTRE PLATOS	m	0,61	
FACTOR DE INUNDACIÓN	%	61	
NÚMERO DE PASOS	-	2	
NÚMERO DE VÁLVULAS	-	2623	

## 8.8- Diseño del acumulador de reflujo F-104

Los vapores de cabeza de la torre T-104 deben ser condensados en el E-111 para ser enviados al acumulador de reflujo F-104, desde donde el destilado será enviado al Scrubber Sc-101.

El acumulador se considerará como un depósito de reflujo y no como un separador. Será un recipiente horizontal, ya que es para líquidos. La relación óptima de longitud/diámetro L/D es 3, pero son valores aceptables aquellos entre 2.5 y 5 según la presión de trabajo.

El volumen del depósito está determinado por el tiempo de residencia (holdup). El valor estimado de tiempo de residencia para depósitos de reflujo es de 5 minutos.

Se selecciona el método de Watkins para dimensionar el volumen del tanque según el holdup. Se basa en las cantidades de caudal de reflujo (L) y la cantidad de fluido desviada (D). La ecuación es la siguiente:

$$V_d = 2F_4(F_1 + F_2)(L + F_3D)$$

Y los factores se seleccionan según las siguientes tablas:

Tiempo de reacción para Acumuladores de reflujo (minutos)					
operación	Factor instrumentos (F <sub>1</sub> )		Factor de operador (F <sub>2</sub> )		
	con alarma	sin alarma	bueno	normal	malo
FC	0.5	1.0	2	3	4
LC	1.0	1.5	2	3	4
TC	1.5	2.0	2	3	4

Tabla 55: Factores. Método de Watkins. Fuente: Cátedra "Operaciones Unitarias II"

Si parte del flujo se deriva a otro depósito se recomienda multiplicar este flujo D por F3:

Características de operación	Factor (F <sub>3</sub> )
Buen control	2
Control normal	3
Control malo	4
Alimentación desde almacén	1.25

Tabla 56: Factor F3. Método de Watkins. Fuente: Cátedra "Operaciones Unitarias II"

Por último, el factor F4 se selecciona en función de dónde esté montado el control:

Lugar de control	Factor (F <sub>4</sub> )
Nivel bajo control central	1
Nivel en panel	1.5
Equipo	2

Tabla 57: Factor F<sub>4</sub>. Método de Watkins. Fuente: Cátedra "Operaciones Unitarias II"

Por simulación se obtiene el caudal volumétrico de destilado. El caudal de reflujo se calcula utilizando el factor de reflujo operativo Rop (L/D) del diseño de la torre T-104, con un valor de 0.975.

L (m <sup>3</sup> /min)	Caudal de reflujo	0.16
D (m <sup>3</sup> /min)	Caudal de destilado	0.16

Los factores seleccionados son:

F1 (1/min): se selecciona el valor de 1, ya que al acumulador se le aplica un control de nivel que cuenta con alarma.

F2 (1/min): se selecciona el valor de 3.

F3: se selecciona el valor de 2, correspondiente a "buen control.

F4: se selecciona el valor 1.5, correspondiente a "nivel en panel."

F1 (1/min)	1
F2 (1/min)	3
F3	2
F4	1.5

Aplicando la ecuación de Watkins:

$$V_d = 2F_4(F_1 + F_2)(L + F_3D)$$

$$V_d = 2 * 1.5 * (1 + 3) \left(\frac{1}{\text{min}}\right) (0.16 + 2 * 0.16) \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right)$$

$$V_d = 5.9 \text{ m}^3$$

Siendo que la presión de operación es de 1 bar, se selecciona una relación longitud/diámetro de la siguiente tabla:

P (bar)	0-15	15-30	>30
L/D	3	4	5

Se obtiene, entonces:

Vd	6	m3
L	4.5	m
A	1.3	m2
P	1	Bar
D	1.3	M
L/D	3.5	-

Los cabezales serán de tipo elipsoidal, con una altura H de D/4, es decir:

$$H = 0.32$$

#### Cálculo de espesor de la coraza

Utilizando la norma ASME sección VIII se calcula el espesor de la coraza.

$$t = c + \frac{PR_{rx}}{SE - yP}$$

Donde:

- Rx: Radio
- S: tensión máxima admisible del material
- E: Eficiencia de soldadura
- c: Espesor por corrosión
- P: Presión de diseño
- Y: constante de función de la temperatura y material

Cálculo de presión de diseño:

$$P = 1,1(P_0 + P_h)$$

Donde:

- $P_0 =$  Presión manométrica del recipiente
- $P_h = h_{liq} \rho_{liq} g$ ; presión hidroestática del líquido

$$P_h = h_{liq} \rho_{liq} g = 0,65 \text{ m} \cdot \frac{976 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} = 6217,12 \text{ Pa} = 0,062 \text{ bar}$$

$$P_0 = 1 \text{ bar}$$

$$P = 1,1(1 \text{ bar} + 0,062 \text{ bar}) = 1,062 \text{ bar}$$

La tensión máxima admisible del Acero al carbono A 285 Gr.A (A-134)

Material	No. de espec.	N.º P o N.º S (5)	Grado	No. UNS	Notas	Temp. mín. °F (6)	Mín. esfuerzo especificado, ksi		Temp. mín. a 100	200	300
							Tensión	Elasticidad			
<b>Acero carbón tuberías y tubos (2)</b>											
A 285 Gr. A	A 134	1	...	...	(8b)(57)	B	45	24	15,0	14,7	14,2
A 285 Gr. A	A 672	1	A45	K01700	(57)(59)(67)	B	45	24	15,0	14,7	14,2
Soldadura a tope Smls y ERW	API 5L	S-1	A25	...	(8a)	-20	45	25	15,0	15,0	14,7
	API 5L	S-1	A25	...	(57)(59)	B	45	25	15,0	15,0	14,7
...	A 179	1	...	K01200	(57)(59)	-20	47	26	15,7	15,7	15,3
Tipo F	A53	1	A	K02504	(8a)(77)	20	48	30	16,0	16,0	16,0
...	A 139	S-1	A	...	(8b)(77)	A	48	30	16,0	16,0	16,0
...	A 587	1	...	K11500	(57)(59)	-20	48	30	16,0	16,0	16,0

Tabla 58: Esfuerzos permitidos básicos en tensión para metales. Fuente: Norma ASME - VIII

$$S = 14200 \text{ psi}$$

La eficiencia a la soldadura considerada es de 0,80 ya que es recomendable utilizar este valor para recipientes sometidos a presión con estas características.

No. espec.	Clase (o tipo)	Descripción	$E_j$ (2)	Notas. Apéndice A
<b>Acero carbono</b>				
API 5L	...	Tubería sin costura	1.00	...
		Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
		Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.95	...
		Soldada a tope en horno	0.60	...
A 53	Tipo S	Tubería sin costura	1.00	...
	Tipo E	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
	Tipo F	Soldada a tope en horno	0.60	...
A 105	...	Forjas y accesorios	1.00	(9)
A 106	...	Tubería sin costura	1.00	...
A 134	...	Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.80	...
A 135	...	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
A 139	...	Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.80	...

Tabla 59: Factores de calidad básicos para juntas longitudinales soldadas en tuberías, tubos y accesorios. Fuente: Norma ASME - VIII

$$E = 0,80$$

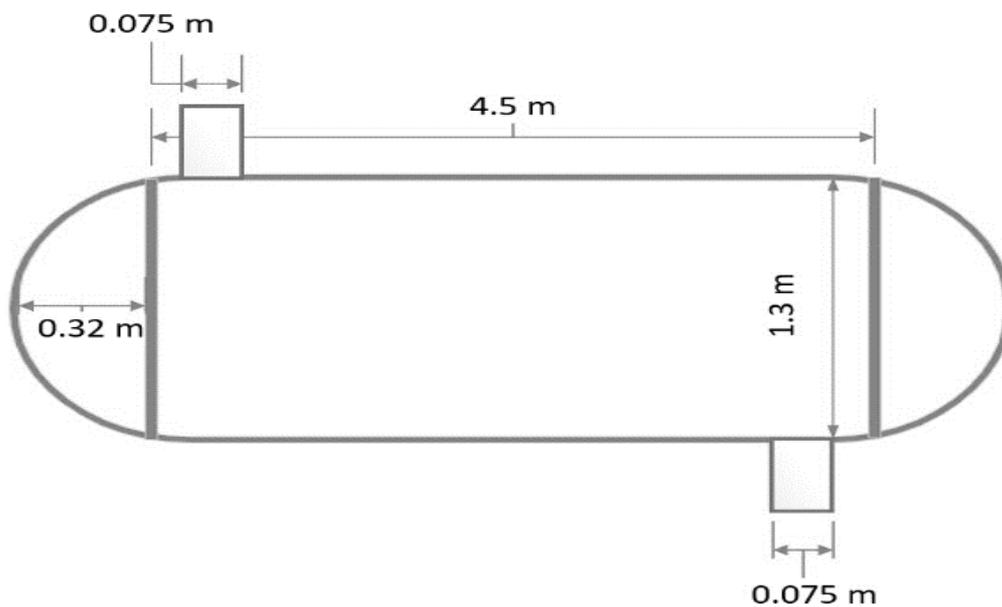
Se considerará una constante de  $y$  igual a 0,6 y un espesor por corrosión de 3mm.

El espesor de la coraza del reactor será el siguiente:

$$t = 3 \text{ mm} + \frac{1,062 \text{ bar} \cdot 1300 \text{ mm}}{980 \text{ bar} \cdot 0,80 - 0,6 \cdot 3,5 \text{ bar}} = 5 \text{ mm}$$

**Hoja de especificación**

UTN- FRLP	HOJA DE ESPECIFICACIÓN ACUMULADOR DE REFLUJO		INTEGRACIÓN V - PROYECTO FINAL
DENOMINACIÓN: Acumulador de reflujo			
UNIDAD: F-104			
SERVICIO: Acumulación del condensado de tope de la torre T-104.			
DATOS DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	°C	73	
PRESION OP.	kg/cm2	1	
VOLUMEN MÁXIMO	m3	6	
DENSIDAD(IN/OUT)	kg/m3	976	
DATOS CONSTRUCTIVOS			
TIPO	RECIPIENTE ACUMULADOR DE LÍQUIDO - HORIZONTAL		
MATERIAL	ACERO AL CARBONO - A 283 Gr. A (A-134)		
ALTURA	M	1.3	
DIAMETRO	M	1.3	
LARGO	M	4.5	
ESPESOR DE LA CORAZA	M	0,005	
TIPO DE CABEZAL	ELIPSOIDAL		
ALTURA DEL CABEZAL - H	M	0.32	
GEOMETRIA TANQUE	Cilíndrica		
ESQUEMA			



## 9- CONTROL AUTOMÁTICO

### 9.1- Introducción

#### **Variables controladas, manipuladas y medidas**

A continuación, se exponen los criterios de selección de las distintas variables controladas, manipuladas y medidas.

#### Variables controladas

Deben:

- Ser variables de salida no autorregulantes o inestables, es decir, no se busca llegar a un nuevo estado estacionario por acción de la propia variable.
- Ser una medida directa de la calidad del producto o que puedan influenciar significativamente esta.
- Presentar claras interacciones con otras variables de salida
- Poder superar los límites operacionales si no existiera control.
- Mostrar respuestas estáticas y dinámicas favorables a las variables manipuladas disponibles.

#### Variables manipuladas

En segundo lugar, se presentan las variables manipuladas cuyo objetivo es trasladar la variabilidad desde las variables controladas a estas, y así mantener el valor de la variable de proceso en el valor de consigna en presencia de perturbaciones.

Deben:

- Afectar significativamente a las variables controladas.
- Influir a las variables controladas directamente mejor que de manera indirecta.
- Modificar rápidamente a las variables controladas.
- Evitar la recirculación de las perturbaciones en el sistema, ya que podría dañarse el equipo por su efecto.

### Variables medidas

Con las variables medidas comienza el proceso de control al medir valores de variables que posteriormente serán comparados en controladores que decidirán la manera de actuar sobre las variables manipuladas.

Deben:

- Ser fiables y precisas.
- Seleccionar puntos de medida que sean suficientemente sensibles.
- Escoger puntos de medida que minimicen retardos y constantes de tiempo elevadas, con el objetivo de reducir el tiempo que el sistema se encuentre sin control.

### **Equipos por controlar**

#### Unidad de reacción R-101

Su función consiste en ser el medio de reacción para la síntesis de óxido de etileno a partir de etileno y oxígeno.

#### Unidad de destilación atmosférica T-104

Su función consiste en separar una corriente de agua y furfural para su reciclo al proceso. La torre T-104 cuenta con condensador total y reboiler.

## 9.2- Control de Reactor R-101

### Estrategias de control

Se describirán y explicarán los lazos de control empleados para el reactor R-101, junto a la justificación del uso concreto de cada uno de ellos.

El objetivo de este apartado es exponer el control de los parámetros operativos básicos de un reactor de lecho fijo: temperatura, presión y composición.

El control de los reactores químicos continuos posee muchos beneficios potenciales, incluido el aumento de la productividad y la mejora de la seguridad y la calidad del producto; dichos resultados generales son la consecuencia de un elevado número de lazos de control individuales y de la elección de las estrategias de control adecuadas.

### Lazos de control de temperatura

Con frecuencia las reacciones exotérmicas se convierten en reacciones descontroladas, en las que un aumento de temperatura aumenta la velocidad de reacción, que a su vez libera más calor y aumenta así la temperatura. Para contrarrestar este ciclo se requieren sistemas de enfriamiento altamente autorreguladores; por ejemplo, en el reactor R-101 se empleará un sistema de refrigeración con agua de enfriamiento para que el reactor opere a temperatura constante, es decir, sea isotérmico.

Si tras un aumento en la temperatura de reacción se produce una mayor generación de calor que la eliminación de este a través del circuito de refrigerante, se considera que el proceso es inestable en lazo abierto. Por consiguiente, es necesario compensar esta retroalimentación positiva del proceso por la retroalimentación negativa de un controlador de la temperatura alcanzada en el reactor. La finalidad principal del controlador será la de aumentar la tasa de eliminación de calor a medida que la temperatura aumente.

Para que el controlador sea capaz de estabilizar un proceso inestable de lazo abierto es esencial que el lazo de control implementado sea rápido y no contenga demasiado tiempo muerto. Por esta razón, se elige el control en cascada.

El sistema de control en cascada consiste en dos lazos de control feedback, uno anidado dentro del otro.

Se instalan tres sensores de temperatura en diferentes puntos del reactor. Los valores de estos sensores se promedian y ese resultado se envía como señal a un controlador de temperatura. A su vez, este actúa sobre un controlador de caudal que, según un caudalímetro situado en el ingreso de refrigerante al reactor, actuará sobre la válvula, permitiendo mayor o menor pasaje de caudal refrigerante.

El mismo método se emplea para controlar la temperatura de ingreso al reactor: según la indicación del sensor de temperatura en la corriente de ingreso al reactor, un TC (controlador de temperatura) actuará sobre un FC (controlador de caudal), que regulará la apertura de la válvula del caudal de vapor del intercambiador E-101.

El control de la temperatura de salida del reactor es análogo, sólo que en este caso se manipulará el caudal de agua de enfriamiento del intercambiador E-102.

### Lazos de control de presión

Control de presión: un transmisor de presión en el reactor envía la señal a un controlador que a través de un variador de velocidad actúa sobre el motor del compresor.

Debido a las altas presiones de trabajo del sistema se requiere la implantación de elementos para garantizar la seguridad tanto de los operarios como de los equipos ante posibles incrementos en el valor de esta variable.

Para ellos se recurre al empleo de válvulas de desahogo de seguridad, las cuales permiten aliviar la presión. En el circuito de la zona de reacción se dispone de una válvula de seguridad y alivio de presión situada en la tubería de salida del efluente del reactor.

El funcionamiento de estas válvulas permite que, ante un aumento en la presión, los dispositivos actúen permitiendo la descarga gradual de dicha presión a la red de antorchas hasta alcanzar el valor normal de trabajo estipulado.

### Lazos de control de caudal

Control de la relación de reciclo: un caudalímetro situado en la línea del reciclo y un Analyzer Transmitter ubicado en la línea del reactor envían señal a un controlador que actúa sobre una reguladora en la línea del reciclo, permitiendo que este aumente o reduzca su caudal. Lo que no se recicla, va a la línea de la antorcha.

Control de la relación de materias primas: Se instala un sensor sobre la línea del reactor para la detección de etileno, oxígeno y metano. Los AT (analyzer transmitter) envían señal a un controlador que actúa sobre una válvula reguladora en la línea de ingreso de la alimentación del compuesto respectivo que se desee manipular.

### **Sistema de Seguridad**

Al ser la reacción tan exotérmica, y al intervenir en ella un producto peligroso como el Óxido de Etileno, es necesario implementar un protocolo de seguridad para aquellos casos de emergencia o eventualidades. Como primera medida se avisará a los proveedores que corten el abastecimiento de las materias primas, para proceder a bloquear las válvulas de ingreso de cada una de ellas. Se habilitará el ingreso de Nitrógeno para barrer los fluidos que estén contenidos en el reactor, manteniendo una atmósfera inerte.

De haberse generado puntos calientes y haber desencadenado un aumento de presión, actuarán las Válvulas de Seguridad, PSV, mencionadas anteriormente.

### **9.3- Control de Columna T-104**

El control básico realizado por medio de controladores con feedback, trata de mantener constantes algunas variables que son fundamentales para cumplir con las especificaciones de proceso (presión, temperatura y caudal de reflujo). Generalmente se suele colocar un control de temperatura en la zona de agotamiento para ajustar la necesidad de vapor necesaria para la calefacción y por relación directa la calidad del producto de fondo. La calidad del producto de cabeza se obtiene en función del caudal de reflujo. En caso de variaciones en la alimentación, existirá también una variación en la composición de los productos de cabeza y fondo hasta ajustar las relaciones de reflujo y vapor. Desde el punto de vista del control, las columnas de destilación se definen como sistemas de 5x5, es decir, aparecen 5 válvulas de control (variables manipuladas). Al mismo tiempo es necesario actuar sobre 5 variables controladas, emparejadas con las manipuladas, para mantener el balance de materia y las composiciones de cabeza y fondo.

#### **Variables que deben ser controladas**

Incluyen la presión y los niveles. Dichas variables son controladas con vistas a conseguir el primero de los objetivos de control, por tanto, sus puntos de consigna son establecidos únicamente teniendo en cuenta consideraciones de seguridad y estabilidad de la operación, ignorando las especificaciones de los productos. Es necesario mantener la presión y los niveles de líquido constantes para prevenir la acumulación de vapor y de líquido, respectivamente. Si esta acumulación (positiva o negativa) no se previene, un sistema continuo no puede operar de manera estable ni alcanzar el régimen permanente.

#### **Variables que pueden ser controladas**

Incluyen las composiciones de destilado y producto de fondo. Estas variables se controlan para cumplir con el segundo objetivo de control, por lo tanto, sus puntos de consigna se establecen solamente por las especificaciones de pureza de los productos. Estos controles de composición pueden ser directos, es decir, utilizando medidores de composición en las corrientes de productos, o indirectos, midiendo una propiedad representativa de la composición del producto, como, por ejemplo, la densidad, presión de vapor, punto de congelación, y el más común, la temperatura de un plato.

En resumen, de las cinco variables controladas, tres de ellas (niveles de líquido y presión) se utilizarán para cumplir el primer objetivo de control (seguridad y estabilidad) mientras que dos de estas variables (composición de los productos) permitirán cumplir con el segundo objetivo del control que es el control de la composición. Variables manipuladas Las variables manipuladas son aquellas que se manipulan variando sus magnitudes a través del elemento final de control (generalmente válvulas/caudales). Es manipulando estas corrientes que se consiguen controlar las variables deseadas.

Las variables manipuladas son:

- Caudal de destilado (D)
- Caudal de producto de fondo (B)
- Caudal de reflujo (L)
- Caudal de vapor del acumulador (W)
- Caudal de fluido calefactor (V)

Las variables que afectan a la operación generando las desviaciones de las variables controladas a su valor de referencia son:

- Caudal de alimentación
- Temperatura de alimentación
- Presión de suministro de vapor calefactor
- Temperatura de agua de refrigeración
- Presión de suministro de agua de refrigeración

## Control General

- *Control de flujo de ingreso:* se coloca un sensor de flujo que permite transmitir la señal a un controlador que puede abrir u obturar la entrada de alimentación a la unidad. En caso de fallas, la válvula se cierra y abre la válvula de derivación a tanque de intermedio.
- *Control de la relación de reflujo y temperatura de tope:* se coloca un caudalímetro en la línea que retorna con líquido al tope de la torre. Un sensor de temperatura ubicado 4 platos por debajo de la entrada de reflujo, censa la temperatura de la unidad. Ambas señales son analizadas por un controlador que actúa como una reguladora en la línea de retorno de líquido a la torre según el set Point de relación de reflujo y el set point de temperatura.
- *Control de nivel del acumulador del condensador:* se coloca un sensor de nivel en el acumulador, asociado a un controlador que actúa sobre una reguladora en la línea de salida de destilado líquido.
- *Control de presión de la torre:* la torre que cuenta con condensador total controla la presión a través de la apertura o cierre de la válvula de la corriente de vapor del acumulador de cabeza. Si la presión interna es positiva (de acuerdo con el set point) la válvula se abre; si hay presión negativa.
- *Control de nivel del fondo de la torre:* El nivel del fondo se controla a través de un sensor colocado en el reboiler, asociado a un controlador que maneja una reguladora a la salida de producto de fondo.
- *Control de temperatura de fondo:* La temperatura de la torre se controla a través de un controlador que actúa sobre una reguladora que permite mayor o menor pasaje del fluido térmico sobre el hervidor.

## Sistemas de Seguridad

La columna incluye válvulas de seguridad por exceso de presión en el tope de la columna y en el acumulador de cabeza. Además, cuenta con un sistema de válvulas que permitirán llevar la planta a una condición segura en caso de baja en el suministro eléctrico. De producirse falla eléctrica, se cerrarán las válvulas

de ingreso de vapor al reboiler y la alimentación a la columna. La alimentación será derivada al tanque de producto fuera de especificación. El fluido vaporizado de la columna se enviará a la antorcha mediante la apertura de la válvula de salida de gases del acumulador de cabeza. Los niveles de líquido se mantendrán intactos para facilitar el reinicio de la operación cuando retome el servicio eléctrico.

## **10- LAY OUT**

### **10.1- Definición de áreas**

Pasaremos a definir las áreas correspondientes a cada parte del proceso, así como el almacenamiento, las oficinas, entre otras cosas. Las superficies se calcularán a partir de los datos de diseño y del PFD. Finalmente, se presentará el Plot-Plan de la planta.

#### **Área de producción**

Se refiere al sector de la planta donde se ubican todos los equipos necesarios para la transformación del Etileno y el Oxígeno en Monoetilenglicol. Es decir, desde la recepción por ducto de la materia prima, hasta el E-110, que acondiciona la corriente de salida de la torre T-103, es decir, el producto final. Esta sección no considera el parque de tanques.

Para la determinación del área y la distribución de los equipos, se considera no sólo el espacio ocupado por cada equipo, sino también el espacio mínimo necesario de separación entre equipos y las áreas libres para desmontaje, limpieza, cambio de catalizador o reparaciones.

El área total es de 3906 m<sup>2</sup>.

#### **Sala de control**

Desde la sala de control, o sala de tableros, se llevan a cabo las tareas de operación, supervisión y control de la planta, manipulando variables mediante la observación de los lazos de control. En esta sala se encuentran las estaciones de control, con los controladores donde se puede visualizar el diagrama de flujo de la planta, los lazos, los indicadores de las variables a manipular. Se observan también las alarmas. En la sala de control debe haber espacio suficiente para la colocación de computadoras y consolas.

La sala de control está ubicada cerca del área de producción. La superficie total es de 150 m<sup>2</sup>.

## **Sala de descanso, comedor y cocina**

Se contempla un área para el descanso de los operadores, como así también las áreas tanto de preparación de alimentos y de comedor.

Este sector está ubicado en el edificio principal. La superficie total es de 300 m<sup>2</sup>.

## **Oficinas**

Las oficinas estarán destinadas para:

- La Gerencia y su Secretaría;
- el personal de RR.HH.;
- el personal de Administración;
- parte del personal de Producción (Coordinador de Operaciones, jefes);
- parte del personal de Servicio Técnico (jefes, Ingenieros de Procesos);
- parte del personal de Mantenimiento (jefes, especialistas, administrativos);
- personal de Comunicación con Colectivos Sociales y Comité de Crisis.

El propósito de este sector de oficinas es contar con un espacio desde el cual se pueda dirigir y coordinar la empresa, llevando a cabo cada uno sus tareas correspondientes y realizando las reuniones pertinentes.

Las oficinas están ubicadas en el edificio principal. La superficie total es de 208 m<sup>2</sup>.

## **Parque de tanques de almacenamiento**

En este sector estarán ubicados todos los tanques, tanto los de insumos como los de producto final, producto fuera de especificación, y agua de incendios. Para el diseño del parque se analiza la Ley Nacional N° 13.660, relativa a la seguridad de las instalaciones de elaboración, transformación y almacenamiento de combustibles. Los tanques atmosféricos deben tener un recinto para la contención de derrames ante una falla o accidente. La capacidad mínima del recinto de un tanque es el 110% del volumen útil del mismo. Los muros del recinto se construyen de hormigón para que resulten herméticos a los líquidos y resistan la presión estática del eventual derrame, con un ancho en el coronamiento de por lo menos 0,50 m.

Este sector se encuentra entre el área de producción y el edificio principal. La superficie total es de 6300 m<sup>2</sup>.

### **Enfermería y vestuario**

Ambos sectores están ubicados en el edificio principal. Se destinan 150 m<sup>2</sup> para la enfermería, y 40 m<sup>2</sup> para el vestuario.

### **Área de almacén**

En este sector estarán almacenadas diferentes piezas, repuestos e insumos que pueda requerir el mantenimiento de planta, accesorios, materiales, catalizadores; también ropa de trabajo, elementos de protección personal, entre otras cosas.

El área de almacenes se ubica al lado del área de producción. La superficie total es de 598m<sup>2</sup>.

### **Laboratorio**

En el laboratorio se realizarán todos los ensayos requeridos para asegurar la calidad del producto en los diferentes estadíos del proceso, desde la recepción de la materia prima hasta el despacho del producto final al cliente, pudiendo de esta manera corroborar que las corrientes están dentro de especificación, y que los equipos están operando tal y como lo muestran los programas que se verifican en la sala de control.

El laboratorio está ubicado junto a la Sala de Control. La superficie total es de 144 m<sup>2</sup>.

**Superficie total de la planta: 22400 m<sup>2</sup>.**

**Superficie total ocupada: 11646 m<sup>2</sup>.**

## 10.2- Plot- Plan

La distribución de los equipos dentro del área de producción, así como la ubicación de cada sector descrito anteriormente, puede verse en el Plot-Plan del proceso.

# 11- ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PERSONAL

## Problemas generales de organización

En general los problemas organizativos estarán vinculados con la relación de la empresa con los sindicatos (UOM y UOCRA en la etapa de construcción y en la etapa de operación).

Los pedidos demandados por los mismos podrán impactar económicamente en el costo de inversión en el primer caso y en los costos de producción en el segundo.

Adicionalmente, los paros inesperados de los gremios de camioneros y ferroviarios podrían afectar el esquema de producción, razón en base a la cual se definieron la política de stocks y las acciones a tomar en caso de paros.

## 11.1- Organigrama

El organigrama es una representación gráfica de la estructura jerárquica y funcional de una organización, permitiendo entenderla rápidamente de manera visual. Es una herramienta que permite a las empresas entender mejor su estructura y cómo se distribuyen las funciones y responsabilidades en la cadena de mando. Es útil para las personas que se incorporan a la empresa, sirviendo como base en cualquier inducción de un departamento de recursos humanos.

El organigrama de la empresa incluye un gerente y cinco departamentos, cada uno con su correspondiente jefe.

Los mismos son:

- Producción
- Servicio Técnico
- Recursos Humanos
- Mantenimiento
- Administración.

De estos, los primeros cuatro son los jefes que realizan guardias semanales.

Durante las guardias, el jefe asignado deberá permanecer en su domicilio, y será la persona que deba responder ante un problema o emergencia en la planta. Para facilitar la comunicación, el jefe de turno contará con un teléfono celular específico para este fin.

## **Selección e incorporación del personal**

El personal que operará la planta y los supervisores serán contratados con un año de antelación para que puedan familiarizarse con los sistemas de control y el funcionamiento de la planta, así como también participar activamente en la selección de variables a observar en los monitores de la sala de control. El personal de compras y contrataciones estará presente en la empresa desde el momento en que se decide invertir.

De igual manera los cuadros directivos y puestos claves (como SyMA), deben estar incorporados desde el inicio de los estudios de Ingeniería.

Estos gastos serán tenidos en cuenta como parte de la inversión inicial (2% de la inversión en equipos).

## **Seguridad industrial**

Las condiciones de Higiene y Seguridad Laboral se ajustarán a las establecidas en la Ley Nacional 19.587 y su decreto reglamentario (351/79). Según el artículo 4° de la misma:

La higiene y seguridad en el trabajo comprenderá las normas técnicas y medidas sanitarias, precautorias, de tutela o de cualquier otra índole que tengan por objeto:

- Proteger la vida, preservar y mantener la integridad psicofísica de los trabajadores
- Prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos centros o puestos de trabajo
- Estimular y desarrollar una actitud positiva respecto de la prevención de accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral

## **Riesgos laborales – ART**

Se contratará una ART para que brinde asesoramiento en medidas de prevención, y para reparar los daños en caso de accidentes de trabajo o enfermedades profesionales.

Las obligaciones de la ART serán las siguientes:

1. Brindar todas las prestaciones que fija la ley, tanto preventivas como dinerarias, sociales y de salud.
2. Evaluar la verosimilitud de los riesgos que declare la empresa.
3. Realizar la evaluación periódica de los riesgos existentes en la empresa y su evolución.

4. Efectuar los exámenes médicos periódicos para vigilar la salud de los trabajadores expuestos a riesgo.
5. Visitar periódicamente la empresa para controlar el cumplimiento de las normas de prevención de riesgos del trabajo.
6. Promover la prevención, informando a la SRT acerca de los planes y programas exigidos a la empresa.
7. Mantener un registro de siniestralidad del establecimiento.
8. Informar a los interesados acerca de la composición de la entidad, de sus balances y de su régimen de alícuotas.
9. Controlar la ejecución del Plan de Acción de los empleadores y denunciar ante la Superintendencia de Riesgos del Trabajo los incumplimientos.
10. Brindar asesoramiento y asistencia técnica a la empresa y a sus trabajadores en materia de prevención de riesgos del trabajo.
11. Denunciar los incumplimientos de la empresa a la Superintendencia de Riesgos del Trabajo.

## **11.2- Descripción de los puestos**

### **Gerencia**

**Gerente:** define los objetivos de la compañía. Planifica los pasos necesarios a seguir para alcanzar los objetivos. Define el marco de trabajo, todas las acciones y procesos que deberán ponerse en marcha quedan concretados en un plan. Organiza las herramientas, los materiales y los equipos de manera tal de aprovechar los recursos disponibles, llevando adelante una correcta distribución del trabajo. Controla, valida, verifica y ofrece retroalimentación del avance de las acciones hacia los objetivos planteados. Establece programas para impulsar el crecimiento de los miembros de la organización. Apoya la cultura empresarial inspirando y motivando a los equipos. Motiva, comunica, guía y alienta a los equipos.

### **Secretaría**

**Asistente de gerente:** asiste a la mesa de gerencia y a la planta en general (organización de reuniones, confección de informes, seguimiento de indicadores, control de presupuesto asignado, etc.). Asiste al Gerente en sus contactos con organismos públicos, instituciones, empresas de la zona, etc. Gestiona la reserva de pasajes, hoteles, remises de personal de planta y externos. Reporta al gerente de planta.

### **Recursos humanos**

**Jefe de área RR.HH.:** participa en la selección del personal para cada sector. Asegura que cada nuevo ingreso reciba las capacitaciones pertinentes para poder realizar sus actividades. Asesora a los líderes y supervisores acerca de conflictos sindicales, cumplimiento de políticas y procedimientos ante situaciones específicas. Asegura el mejor clima laboral mediante diversos estudios y análisis de indicadores. Reporta al gerente de planta

El área de RR.HH. en distintos sectores:

1. Secretaría: cuenta con un **secretario** que debe: asistir a la mesa realizar organización de reuniones, confección de informes, seguimiento de indicadores.
2. RR.HH.: los **administrativos** deben realizar seguimiento de vacaciones, licencias, cobro de honorarios, beneficios. Coordinar eventos que fomenten las buenas relaciones entre las diferentes áreas. Coordinar los análisis médicos anuales y de nuevos ingresos. Reporta al jefe de área.
3. Selección y Reclutamiento: los **administrativos** deben anunciar el puesto de trabajo, revisar las solicitudes de los candidatos, hacer una lista con la selección inicial, realizar entrevistas en persona. Finalmente, seleccionar al candidato final.
4. Formación: los **administrativos** deben seleccionar los cursos de formación profesional pertinentes para los empleados de la planta. Tienen como propósito la formación sociolaboral para y en el trabajo, orientada tanto a la adquisición y mejora de las cualificaciones como a la recualificación de los trabajadores.
5. RR.LL.: el **abogado** debe asistir en la prevención y resolución de conflictos en cuestiones vinculadas al trabajo, el empleo y las relaciones laborales individuales y colectivas. Tiene que interpretar y verificar el cumplimiento de las normas vigentes referidas al Derecho del Trabajo, de la Seguridad Social, y las Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo.
6. Medicina Laboral: mantener la asistencia médica de los pacientes ingresados y de aquellas urgencias que lo demanden. Cuentan con un **médico** fijo y un **enfermero** por turno.
7. Relaciones con la comunidad: sus **administrativos** deben gestionar actividades vinculadas a las Relaciones Institucionales de Planta (voluntariado, atenciones / donaciones de prod., colaboración con instituciones locales, etc.).

### Administración

**Jefe de área administración:** coordina la elaboración y el análisis de la información relacionada con los costos industriales. Comprende y comunica las causas que motivan los desvíos originados, en función de los estándares definidos. Consolida el presupuesto de la planta correspondiente a gastos fijos, inversiones, costos unitarios, y monitorea el control presupuestario de los

mismos. Participa en la confección y la aprobación de proyectos de inversión y en proyectos de reducción de costos. Reporta al gerente de planta.

El área de administración se divide en distintos sectores con sus correspondientes jefes:

1. Jefe de Servicios Generales
2. Jefe de Control de Gestión
3. Jefe de Planificación
4. Jefe de Compras y Contrataciones
5. Jefe de Tesorería
6. Jefe de Contaduría

Dentro de cada Jefatura se tienen los siguientes puestos:

- a. Administrativos: realizan tareas administrativas y de oficina de acuerdo con los procedimientos establecidos por cada organización. Gestionan, organizan, planifican, atienden y realizan tareas administrativas, de soporte y apoyo a la organización. Las tareas serán distribuidas en función de la jefatura pertinente.
- b. Contadores: administran el flujo de efectivo, elaboran estados financieros, realizan proyecciones y variaciones contables. Debe encargarse del cumplimiento de las obligaciones fiscales, de la realización de auditorías internas. Registro del libro contable.

### **Servicio Técnico**

**Jefe de área servicio técnico**: asegura la gestión de procesos y proyectos siguiendo parámetros sustentables de la seguridad y el medioambiente en toda la planta tanto para personal propio como contratistas. Gestiona el cumplimiento de los requisitos legales aplicables a planta, dando seguimiento y acciones de avance. Realiza el monitoreo de gestión de permisos de trabajo. Gestiona la información para elaborar informes mensuales Realiza el monitoreo de los indicadores de los principales procesos de HSMA y genera acciones para su cumplimiento. Gestiona auditorías sectoriales de segregación de productos y adhesión a los estándares de seguridad de la planta. Reporta al gerente de planta.

Se divide el área de Servicio Técnico en distintos sectores con sus correspondientes jefes:

1. Jefe de Procesos y Proyectos
2. Jefe de Laboratorio
3. Jefe de Calidad
4. Jefe de Seguridad y Medio ambiente

Dentro de cada Jefatura se tienen los siguientes puestos:

En *Jefatura de procesos y proyectos*

a. Procesista: analiza las tareas para lograr los objetivos establecidos. Evalúa y mejora la eficiencia de los proyectos existentes. Analiza los flujos de trabajo de todos los departamentos para organizar cómo la empresa puede trabajar mejor en conjunto. Revisa y planea formas de mejoras.

b. Ingeniero de Procesos: define, analiza y mejora los procesos de fabricación. Interviene en la planificación de la producción. Define y controla los tiempos de producción de los procesos de fabricación. Colabora con el departamento de calidad para garantizar la misma en los productos fabricados. Colabora con los departamentos de prevención de riesgos laborales y medio ambiente para asegurar el cumplimiento de las normativas vigentes en los procesos. Interviene en la homologación de los proveedores. Colabora con los departamentos de compras para garantizar la gestión óptima de los proveedores. Colabora con el departamento de mantenimiento para asegurar el mantenimiento preventivo y correctivo, con el fin de evitar problemas en el proceso de fabricación. Interviene en los procesos de innovación tecnológica que afectan a los procesos de fabricación.

c. Ingeniero de Proyectos: desarrolla los proyectos de obras de Ingeniería en sus diversas áreas, ya sea estructural, hidráulica, eléctrica, electrónica, etc. Analiza e interpreta los planos de los proyectos arquitectónicos, efectuando los cálculos y realizando cómputos métricos y memorias descriptivas, a fin de aportar la información necesaria para el desarrollo físico. Analiza y procesa la información contenida en los proyectos. Efectúa cálculos a los proyectos de obras de Ingeniería según el área de trabajo asignada. Envía los cálculos de los proyectos a la sala técnica para que elaboren los planos. Revisa y analiza la información contenida en los planos de ingeniería e informa al líder del proyecto sobre el resultado del análisis.

d. Analista de planeamiento: confecciona los requerimientos de materias primas productivas e insumos de los diferentes sectores. Activa y asegura los niveles de reserva de reposición de insumos a lo largo de toda la cadena de suministros. Controla el seguimiento de ingreso de camiones de insumos y materias primas a la Planta. Administra, actualiza y controla los parámetros en el Sistema de Planificación. Confecciona el programa de producción según los requerimientos de los clientes

En *Laboratorio*

a. Supervisor: realiza los análisis de las materias primas, productos intermedios y producto terminado. Releva el stock de insumos de laboratorio. Reporta los resultados y colabora en los análisis de causas de desvíos. Reporta al jefe de Laboratorio.

b. Técnico Químico: realiza el muestreo en los diferentes puntos del proceso productivo. Colabora en análisis de desvíos. Reporta al Supervisor de laboratorio

En *Jefatura de Calidad*:

a. Analista de calidad: coordina las auditorías e inspecciones externas para obtener las certificaciones necesarias que permitan a la planta continuar fabricando productos con calidad; así como también coordina la ejecución del programa de auditorías internas, auditorías de fabricación y de líneas para identificar y corregir las áreas de oportunidad de la planta. Fomenta la relación entre los sectores para cumplir con los estándares de calidad y procurar que cada miembro de los equipos conozca cómo influye en la calidad del producto final a lo largo del proceso productivo. Reporta al líder de calidad.

En *Jefatura de SyMA*

a. Técnico en seguridad: realiza inducciones de seguridad a los nuevos ingresos. Confecciona el reporte y el análisis en caso de que ocurran no conformidades. Coordina simulacros. Realiza el plan de capacitación anual a brigadistas. Lleva adelante la gestión de los EPP. Reporta al jefe de SyMA

b. Técnico en ambiente: monitorea el cumplimiento de los requisitos legales y el estado de avance en los pendientes. Identifica oportunidades de mejora en la gestión de los recursos naturales. Gestiona la correcta segregación de residuos y subproductos. Confecciona el reporte y el análisis en caso de que ocurran no conformidades ambientales. Reporta al jefe de SyMA.

### **Producción**

**Jefe de área producción**: realiza análisis de desvíos cuando hay incumplimientos en tiempos de producción. Coordina las áreas productivas. Reporta al gerente de planta.

Se divide el área de producción en distintos sectores con sus correspondientes jefes:

1. Coordinador de operaciones: diseña políticas que se ajusten a la estrategia general. Implementa estándares y procesos eficientes. Garantiza el cumplimiento de leyes locales e internacionales (p. ej., protección de datos). Supervisa la implementación de soluciones tecnológicas en toda la organización. Evalúa riesgos y lidera los esfuerzos para garantizar la calidad. Informa sobre el desempeño de las operaciones y sugiere mejoras.
2. Jefe de Producción: controla el flujo de materiales a lo largo de cada una de las etapas productivas. Participa en el planeamiento de la producción. Realiza seguimiento de indicadores de cumplimiento de programa de producción. Realiza análisis de desvíos cuando hay incumplimientos en

- tiempos de producción. Coordina las áreas productivas. Reporta al gerente de planta.
3. Jefe de movimientos de producto: lidera el equipo de planeamiento y movimiento para garantizar la correcta programación de la producción, y la eficiente recepción y despacho del producto/insumo necesario a los clientes (externos e internos). Gestiona la recepción y el despacho de los insumos necesarios a las distintas líneas de producción (clientes internos). Gestiona el despacho del producto a los diferentes clientes (externos), garantizando el cumplimiento del contrato de carga. Es el responsable del control patrimonial del producto terminado. Gestiona los auto elevadores de la planta. Gestiona los espacios de los depósitos. Reporta al gerente de planta.
  4. Jefe de energía: provee energía y fluidos para la planta cumpliendo todos los requisitos de seguridad, calidad y medio ambiente, de la forma más eficiente posible, y asegura que la descarga del efluente cumpla con los requisitos legales. Reporta al gerente de planta.

Dentro de cada Jefatura se tienen los siguientes puestos:

#### *En Jefatura de Producción*

- a. Supervisor: ejecuta el plan de producción de acuerdo con las especificaciones y los procedimientos. Optimiza los tiempos de producción, reduciendo tiempos muertos. Disminuye y controla las mermas del proceso de producción. Participa en la gestión de los indicadores de producción. Reporta al jefe de producción.
- b. Tablerista: mide el estado de una serie de indicadores y los evalúa frente a los objetivos. Facilita la toma de decisiones y aumenta su precisión, minimizando la probabilidad de error. Reporta al supervisor de producción
- c. Operador: realiza el seguimiento de todos los parámetros como niveles, presiones y temperaturas en las diferentes etapas del proceso, de modo de asegurar la continua operación y producción. Controla y mantiene las condiciones operativas adecuadas en todos los equipos y cañerías de planta. Mantiene el orden y la limpieza en los sectores productivos. Reporta al supervisor de producción

#### *En Jefatura de Energía*

- a. Gestor de Vapor-agua: realiza las contrataciones de los servicios de vapor de calentamiento y agua de refrigeración con los proveedores. Reporta al Jefe de Energía.
- b. Gestor de electricidad: realiza las contrataciones de los servicios eléctricos con los proveedores. Reporta al jefe de Energía.

- c. Gestor de gas: realiza las contrataciones de los servicios de gas de red con los proveedores. Reporta al jefe de Energía.
- d. Controller: controlan los flujos de ingreso y egreso de las fuentes de energía o servicios auxiliares. Reportan al gestor correspondiente de cada energía.

*En Jefatura de movimiento de producto*

- a. Supervisor: desarrolla y dirige los procesos logísticos; establece planes de mejora continua para la gestión de fletes, rutas de proveedores y gestión de transportistas. Crea, monitorea e informa sobre indicadores clave de desempeño logístico semanal y mensual. Supervisa las actuaciones de logística e implementa las acciones de mejora necesarias de manera coordinada con otras funciones de la planta (Calidad, Producción, Eficiencia del Sistema, etc.). Evalúa constante y objetivamente el desempeño de los miembros de equipo, corrigiendo desvíos de comportamiento y resultados, detectando las diferentes necesidades de capacitación y formación. Reporta al jefe de movimiento de producto.
- b. Operador: prepara los pedidos de producto terminado. Recepciona las materias primas e insumos recibidos en la planta. Actualiza el stock de los insumos que se consumen. Realiza controles de pesada e ingreso y egreso de camiones. Reporta al supervisor de movimiento de producto.

**Mantenimiento**

**Jefe de área mantenimiento:** desarrollar e implementa los procesos de mantenimiento bajo los lineamientos estratégicos y metodológicos establecidos por la compañía sobre todos los activos de la planta, garantizando su máxima disponibilidad, asegurando sus condiciones óptimas de operación y logrando la máxima eficiencia en costos de mantenimiento. Asegura la correcta gestión de los equipos críticos, gestión de repuestos, mantenimiento preventivo básico y mantenimiento predictivo. Custodia la correcta implementación del ciclo completo de planificación y programación de mantenimiento (largo y mediano plazo, semanal y diario). Realiza la gestión presupuestaria del gasto de mantenimiento y monitorea el avance de este, analizando y acordando planes de acción frente a desvíos, en conjunto con el resto de las áreas de la planta. Es responsable por la gestión del almacén de repuestos de planta asegurando los estándares requeridos y la confiabilidad de inventario. Brinda soporte en el desarrollo de políticas de stock de repuestos, definiendo necesidades de movimiento. Reporta al gerente de planta

Se divide el área de mantenimiento en distintos sectores con sus correspondientes jefes:

1. Jefe de Paro
2. Jefe de Verificación de Equipos
3. Jefe de Mantenimiento

4. Jefe de Obras
5. Jefe de Almacenes

Dentro de cada Jefatura se tienen los siguientes puestos:

- a. Ingeniero Mecánico: selecciona los componentes, especifica materiales, costos y duración de la ejecución. Planea y dirige operaciones de manufactura y mantenimiento de maquinaria
- b. Ingeniero Civil: planifica, diseña, desarrolla y ejecuta los proyectos de edificación, reparación y mantenimiento de edificios, estructuras y plantas.
- c. Supervisor: controla y supervisa a los técnicos. Participa en la realización del cronograma de tareas de mantenimiento en el corto, mediano y largo plazo. Asegura la realización de las tareas correctivas planeadas, como así también las acciones que surgen durante el turno. Gestiona el stock de repuestos en el pañol, genera ordenes de compras necesarias para mantener el stock mínimo de insumos. Asegura la realización de las tareas de mantenimiento predictivas.
- d. Técnico Mecánico: realiza el mantenimiento mecánico predictivo y correctivo de todas las máquinas instaladas en planta, en todas las áreas. Maneja equipos mecánicos tales como tornos, soldadores y máquinas especiales. Realiza la lubricación según rutina en los diferentes equipos. Reporta al supervisor de mantenimiento.
- e. Técnico Electricista: realizar mantenimiento preventivo y predictivo eléctrico de equipos e instrumentos portátiles y herramientas específicas del sector y de las otras áreas. Reporta al supervisor de mantenimiento
- f. Técnico Instrumentista: realiza mantenimiento preventivo y predictivo Instrumental de Equipos e Instrumentos portátiles y herramientas específicas del sector y de las otras áreas. Realiza calibraciones según rutina de equipos. Reporta al supervisor de mantenimiento.
- g. Operador de almacenes: preparar los pedidos de insumos para mantenimiento. Recepciona insumos recibidos en la planta. Actualiza el stock de los insumos que se consumen. Realiza controles de ingreso y egreso.
- h. Administrativo: realiza tareas administrativas y de oficina de acuerdo con los procedimientos establecidos por cada organización. Los administrativos gestionan, organizan, planifican, atienden y realizan tareas administrativas, de soporte y apoyo a la organización. Las tareas serán distribuidas en función de la jefatura pertinente.

### **11.3- Comunicación con colectivos sociales y comité de crisis**

Integrantes designados de empresa deberán reunirse periódicamente con la comunidad para informar y escuchar las inquietudes que puedan presentarse por parte de los vecinos. En el normal funcionamiento de la planta o ante un acontecimiento extremo como un accidente, las comunidades vecinas pueden verse afectadas y es el deber de la empresa solucionar y brindar respuesta a la comunidad, con el fin de llevarles tranquilidad.

En caso de que en la planta ocurriera un accidente, la empresa contará con un PREIC (Plan de Respuesta ante Emergencias con Impacto en la Comunidad), que es un plan de acción coordinado que se implementa ante una emergencia en el polo industrial con el objetivo de responder de manera inmediata ante potenciales emergencias y poder comunicar rápidamente al vecino la situación ocurrida.

Los integrantes del PREIC son:

- Municipio
- Organismos oficiales
  - Policía
  - Bomberos
  - Servicios de ambulancias
  - Defensa civil
- Empresas
- Hospitales
- Medios de comunicación
- Comunidad

El plan de acción coordinado se implementará ante una emergencia como incendios, explosiones y derrames que pueden ocurrir en la planta con el potencial para afectar a la comunidad.

En caso de una emergencia, las acciones entre los organismos intervinientes y la comunidad deben alinearse para lograr una respuesta rápida, sistemática y efectiva.

Los pasos a seguir son:

Aviso temprano: comunicación de la emergencia a través de los canales internos como WhatsApp, redes sociales, llamadas telefónicas, radio u otro medio de comunicación en el que estén los principales actores del PREIC.

Comunicación externa: a través de los medios de difusión, defensa civil, bomberos y organismos oficiales de cada municipio, los cuales contarán con la información oficial para poder actuar y comunicar a la comunidad.

Autoprotección: en caso de emergencia severa se podrán tomar 2 medidas de autoprotección donde la comunidad tendrá un rol fundamental, la evacuación o el confinamiento.

Una vez finalizada la emergencia los medios de difusión comunicarán a la población que la situación ha sido controlada.

### **Plan de Evacuación de Emergencia**

El plan de emergencia es un conjunto de normas y procedimientos generales destinados a controlar de la mejor manera las situaciones de emergencia de la empresa. El objetivo del plan es establecer destrezas y procedimientos que les permitan a los usuarios de las instalaciones prevenir y protegerse en casos de desastres o amenazas que pongan en peligro su integridad o de las instalaciones. Para esto, se deben tener determinadas todas las amenazas posibles y contar con la adecuada estructura organizativa e instalaciones. Se formará también una brigada de emergencia con los conocimientos especializados en situaciones de emergencia, en contacto con los servicios públicos de emergencias y con los elementos necesarios para enfrentar las mismas.

El Plan de Evacuación es el capítulo más importante del plan de emergencia de una instalación. Se trata de la salida organizada de todas las personas que hay en un edificio. Esta acción siempre se llevará a término cuando se considere que la causa que origina el peligro no ha desaparecido y puede provocar que el peligro se extienda por todas las instalaciones. Se debe informar a todos los ocupantes del edificio de cómo tienen que actuar ante una emergencia y realizar simulacros periódicos con el fin de verificar la eficacia del Plan de Emergencia y detectar los posibles errores. Cuando se haya dado la señal de evacuación, todos los ocupantes del establecimiento tienen que salir rápida y ordenadamente, por las vías de evacuación designadas hacia un punto de encuentro seguro designado en el plan en el que se haga un recuento de las personas que hayan abandonado el edificio. Para controlar que se realice la evacuación de manera correcta y que no queden personas dentro del edificio, hay designados evacuadores (uno por edificio).

### **11.4- Servicios tercerizados**

Existen determinados servicios que no podrán ser cubiertos con la dotación de planta, en estos casos se recurrirá a la contratación de terceros que cubrirán estos puestos laborales. De esta manera, el personal contratado de planta podrá enfocarse en las tareas vinculadas a la producción.

**Servicio de jardinería:** encargado de mantener las áreas verdes de planta, corte de árboles que obstruyan el tendido eléctrico, mantenimiento de pasto corto y estanque.

**Servicio de limpieza:** encargado de la limpieza de las oficinas, comedor, vestuario, sala de control.

**Servicio de comedor:** encargado de la preparación de comidas para cada uno de los turnos, asegurando un menú completo y balanceado. También se encargará del menú de eventos especiales.

**Servicio de mantenimiento:** encargado de mantener los sectores pintados y debidamente señalados; también las tareas de mantenimiento en oficinas, como reparaciones de aires acondicionados.

**Servicio médico:** disponibilidad de ambulancias de alta complejidad las 24 horas del día para poder asistir rápidamente cualquier tipo de accidente grave que pueda suceder en la planta.

**Servicio de vigilancia y seguridad:** encargado de controlar el ingreso y egreso de personal de planta, contratistas y de camiones, así como de los pesajes en balanza de los insumos.

**Servicio informático:** encargado del soporte técnico y la provisión de computadoras, dispositivos periféricos, celulares, entre otras. Responsable de la instalación y funcionamiento de los sistemas de control.

**Servicio de asesoría legal:** encargado del asesoramiento de cuestiones legales, financieras y contables.

## **11.5- Esquema de turnos**

La distribución de la dotación mencionada anteriormente se realizará de la siguiente manera:

El personal que conforma el grupo compuesto por el gerente de planta, jefe de equipo y analistas, concurrirán de lunes a viernes en el horario de 8 a 17 hs. Durante la jornada, 1 hora se encontrará destinada al almuerzo y descanso. La misma jornada se aplica para RR.HH., Administración, Procesos.

Por otra parte, los supervisores, técnicos y operadores asistirán en turnos rotativos, con un esquema definido de tal manera que se pueda cumplir con la operación continua para la cual la planta fue diseñada.

Se necesitarán 4 equipos a los cuales denominamos como:

Equipo A, Equipo B, Equipo C y Equipo D. Los turnos estarán definidos por los siguientes horarios:

Turno 1: de 7 a 19 h.

Turno 2: de 19 a 7 h.

Según esta distribución, las jornadas serán de 4 días de trabajo laborales y 4 de descanso. A continuación, se presentará el esquema de turnos:

M: mañana

N: noche

F: franco

EQ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	M	M	N	N	F	F	F	F	M	M	N	N	F	F	F	F	M	M	N	N	F	F	F	F	M	M	M	M	F	F
B	N	N	M	M	F	F	F	F	N	N	M	M	F	F	F	F	N	N	M	M	F	F	F	F	N	N	M	M	F	F
C	F	F	F	F	M	M	N	N	F	F	F	F	M	M	N	N	F	F	F	F	M	M	N	N	F	F	F	F	M	M
D	F	F	F	F	N	N	M	M	F	F	F	F	N	N	M	M	F	F	F	F	N	N	M	M	F	F	F	F	N	N

Tabla 60: Esquema de turnos

## 12- ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

### Introducción

El siguiente Estudio de Impacto Ambiental (EIA) tiene como objetivo verificar la aptitud ambiental del emplazamiento de una planta de Etilenglicol en el Parque Industrial Bahía Blanca. Para que el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenido (OPDS) otorgue el Certificado de Aptitud Ambiental (CAA), el proyecto debe cumplir con los requisitos solicitados en el artículo 50º y concordantes del Decreto N° 1741/96 reglamentario de la Ley 11459.

Se debe evaluar tanto la etapa de construcción, ya que inevitablemente generará afectaciones al entorno, así como la etapa de funcionamiento, considerando todos los productos y subproductos, material de descarte, entre otros factores.

### 12.1- Nivel de Complejidad Ambiental - NCA

En esta sección se calculará el nivel de complejidad ambiental asociado al proyecto, utilizando lo descrito en las resoluciones 1639/07 y 481/11 de la Secretaría de Ambiente Y Desarrollo Sustentable de la nación.

El NCA se calcula a partir de la siguiente ecuación polinómica:

$$\text{NCA inicial} = \text{Ru} + \text{ER} + \text{Ri} + \text{Di} + \text{Lo}$$

#### Rubro (Ru)

De acuerdo con el anexo I de la resolución 1639/07 se reconocen tres grupos de industrias. Dentro de dicha clasificación el proyecto planteado corresponde al grupo 3 "Fabricación de sustancias y productos químicos"

GRUPO	VALOR
1	1
2	5
3	10

Tabla 61: NCA - Rubro. Fuente: Resolución 1639/07

### Efluentes y Residuos (ER)

La calidad (y en algún caso cantidad) de los efluentes y residuos que genere el establecimiento se clasifican como de tipo 0, 1, 2, 3 o 4. El proyecto genera residuos especiales en el proceso catalizador agotado (según Ley 24.051 Anexo I), efluentes líquidos con necesidad de tratamiento previo a vuelco y efluentes gaseosos que contienen CO y CO<sub>2</sub>. La categoría correspondiente es Tipo IV con un valor de 6 puntos.

TIPO	VALOR	RESIDUOS SÓLIDOS	RESIDUOS LÍQUIDOS	RESIDUOS GASEOSOS
0	0	Asimilables a domiciliarios	Aguas sin aditivos; lavado de planta de establecimientos de Rubros del Grupo 1 a temperatura ambiente	Componentes naturales del aire (incluyendo vapor de agua); gases de combustión de gas natural
1	1	Resultantes del tratamiento de efluentes líquidos del tipo 0 y/o 1. Otros que no contengan residuos peligrosos o de establecimientos que no pudiesen generar residuos peligrosos. Que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación menor a 10 (diez) kg de masa de residuos peligrosos por mes	Agua de proceso con aditivos y agua de lavado que no contengan residuos peligrosos o que no pudiesen generar residuos peligrosos. Provenientes de plantas de tratamiento en condiciones óptimas de funcionamiento	Gases de combustión de hidrocarburos líquidos
2	3	Que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación mayor o igual a 10 (diez) kg, pero menor que 100 (cien) kg de masa de residuos peligrosos por mes	Idem Tipo 0 ó 1	Idem Tipo 0 ó 1
3	4	Que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación mayor o igual a 100 (cien) kg, pero menor a 500	Con residuos peligrosos, o que pudiesen generar residuos peligrosos. Que posean o deban	Idem Tipo 0 ó 1

		(quinientos) kg de masa de residuos peligrosos por mes	poseer más de un tratamiento	
4	6	Que puedan contener sustancias peligrosas o pudiesen generar residuos peligrosos, con una generación mayor o igual a 500 (quinientos) kg de masa de residuos peligrosos por mes	Con residuos peligrosos, o que pudiesen generar residuos peligrosos. Que posean o deban poseer más de un tratamiento	Todos los no comprendidos en los tipos 0 y 1

Tabla 62: NCA- Efluentes y Residuos. Fuente: Ley 24051

### Riesgo (Ri)

Se considerarán aquellos riesgos inherentes a la actividad que pudieran ser perjudiciales al entorno, tanto a la población como al medio ambiente. Todos tendrán asignado el mismo valor.

Tipo de riesgo	Valor
Riesgo por aparatos sometidos a presión	1
Riesgo acústico	1
Riesgo por sustancias químicas	1
Riesgo por explosión	1
Riesgo de incendio	1
TOTAL	5

Tabla 63: NCA - Riesgo. Fuente: resolución 1638/2007

### Dimensionamiento (Di)

La dimensión del establecimiento tendrá en cuenta la dotación de personal, la potencia instalada y la superficie:

#### Cantidad de personal:

- Hasta 15 personas = valor 0;
- entre 16 y 50 personas = valor 1;
- entre 51 y 150 personas = valor 2;
- entre 151 y 500 personas = valor 3;

- más de 500 personas = valor 4.

Seleccionaremos una dotación de entre 51 y 150 personas; por lo tanto, corresponde un valor de 2.

Potencia instalada (en HP):

- Hasta 25: adopta el valor 0;
- de 26 a 100: adopta el valor 1;
- de 101 a 500: adopta el valor 2;
- mayor de 500: adopta el valor 3.

La potencia instalada supera ampliamente los 500 HP; por lo tanto, corresponde un valor de 3.

Relación entre Superficie cubierta y Superficie total:

- Hasta 0,2: adopta el valor 0;
- de 0,21 hasta 0,5 adopta el valor 1;
- de 0,51 a 0,81 adopta el valor 2;
- de 0,81 a 1,0 adopta el valor 3.

Contaremos con una relación de superficie cubierta y superficie total de entre 0,51 a 0,81; por lo tanto, corresponde el valor de 2.

Dimensionamiento total: 7

**Localización (Lo)**

La localización del establecimiento tendrá en cuenta la zonificación municipal y la infraestructura de servicios que posee.

Zona:

- Parque industrial = valor 0;
- industrial Exclusiva y Rural = valor 1;
- el resto de las zonas = valor 2.

El proyecto estará localizado en el Parque Industrial Bahía Blanca; corresponde el valor 0.

Infraestructura de servicios:

- Agua, Cloaca, Luz, Gas. Por la carencia de cada uno de ellos se asigna 0,5.

Al ser un parque industrial, no hay carencia de ninguno de esos servicios; valor 0.

Localización total: 0.

**Índice NCA inicial obtenido**

$$NCA\ inicial = 10 + 6 + 5 + 7 + 0$$

$$NCA\ inicial = 28$$

**Incorporación de factores de ajuste**

Se incorpora el ajuste por manejo de sustancias particularmente riesgosas (según Anexo II de la resolución 1639/07) y ajuste por demostración de un sistema de gestión ambiental establecido, aplicable a aquellas organizaciones que cuenten con certificación vigente de sistema de gestión ambiental, otorgada por un organismo debidamente acreditado y autorizado:

$$NCA = NCA\ inicial + AjSP - AjSGA$$

Donde:

AjSP: ajuste por manejo de sustancias particularmente riesgosas en determinadas cantidades, Valor = 2 (dos).

AjSGA: ajuste por demostración de un sistema de gestión ambiental establecido, Valor = 4 (cuatro).

$$NCA = 28 + 2 - 4$$

$$NCA = 26$$

CATEGORÍA	PUNTAJE
1	Menor a 14,5
2	14,5 a 25 inclusive
3	Mayor a 25

Tabla 64: Categorías. Fuente: Anexo II de la resolución 1639/07

**El proyecto corresponde a la categoría 3 ya que NCA > 25.**

## **12.2- Identificación de actividades con impacto ambiental**

Como se mencionó con anterioridad, serán consideradas las etapas de construcción, producción y abandono de las instalaciones, así como algunas eventualidades que pudieran presentarse. Se evaluarán las formas de mitigar las actividades con potencial de perjudicar al ambiente o a las personas.

### **Etapa de construcción:**

1. Construcción de accesos viales: si bien los caminos de ingreso ya están disponibles, siendo que la planta será instalada en la parcela contigua a PBB Polisur, sí será necesaria la construcción de caminos internos para el transporte de equipos, de materiales, de personal y de maquinaria pesada hacia la zona de obra. Esto incluye la instalación provisoria de señalizaciones, líneas eléctricas, cercos, etc.
2. Circulación de vehículos de obra y de maquinaria.
3. Actividades de preparación del terreno y obra civil: incluye la limpieza de la zona de obra y los movimientos de suelos y de elementos que dificulten la construcción. También la excavación necesaria para el montaje de los equipos asociados a la planta.
4. Instalaciones temporarias: además de las ya mencionadas, se requieren sanitarios y depósitos de herramientas y materiales.
5. Transporte de maquinarias y materiales: movimientos de equipos de excavación y nivelación, camiones y maquinarias temporales o permanentes, así como la circulación de camiones con los insumos necesarios para la etapa constructiva.
6. Obras civiles: se refiere al desarrollo de las tareas constructivas.
7. Instalación y montaje de equipos: luego de las obras civiles se instala toda la maquinaria referente al proceso.
8. Gestión de residuos: todos los desechos generados en la etapa constructiva deberán ser transportados y tratados para su disposición final.
9. Limpieza de la obra: realización de todas las actividades de orden y limpieza de las instalaciones para dejarlas en condiciones de comenzar la operación.

### Implicancias ambientales de la etapa de construcción

- Calidad del aire: emisiones gaseosas de vehículos y maquinaria.
- Suelo: podría ser afectado por las excavaciones y compactaciones.
- Aguas superficiales: podrían producirse derrames (aceite, pinturas, etc.).
- Nivel sonoro: la actividad generará ruidos considerables.

## **Etapa de producción**

1. Operación de planta: abarca todas las actividades inherentes al proceso productivo.
2. Mantenimiento de las instalaciones: incluye el mantenimiento preventivo y el correctivo.
3. Gestión de residuos: transporte, tratamiento y disposición de los residuos generados.

### Implicancias ambientales de la etapa de producción

- Calidad del aire: durante esta etapa podrán generarse emisiones gaseosas.
- Suelo: podrían verse afectados por derrames de productos o residuos.
- Aguas superficiales: podrían verse afectadas por derrames de productos o residuos.
- Nivel sonoro: aumentará por la actividad de bombas y compresores.

## **Etapa de abandono**

1. Tránsito: utilización de vehículos y maquinaria vial.
2. Desarme: desarticulación de las estructuras y acondicionamiento del lugar.
3. Gestión de residuos: incluye chatarras, residuos urbanos y especiales. Nuevamente, se requiere transporte, tratamiento y disposición final.
4. Generación de ruidos y vibraciones.

### Implicancias ambientales de la etapa de abandono

- Calidad del aire: emisiones gaseosas de vehículos y maquinaria.
- Nivel sonoro: la actividad generará ruidos considerables.

## **Eventualidades**

1. Corte de suministro eléctrico
2. Derrames
3. Explosiones
4. Incendios
5. Emisiones accidentales

### Implicancias ambientales de las eventualidades

- Calidad del aire: materiales particulados, gases de combustión en incendios, explosiones y emisiones accidentales.
- Suelo: posibles derrames de productos y residuos.
- Agua subterránea y superficial: potenciales derrames de sustancias químicas peligrosas que intervienen en el proceso.
- Nivel sonoro: considerablemente alto en explosiones o incendios.

Por último, en todas las etapas es importante considerar el impacto de las actividades en la población: la salud de las personas puede verse afectada por los residuos, el material particulado, etc. Así como también su seguridad ya que son actividades complejas.

### **Medidas de Mitigación**

- Según los riesgos determinados por el Programa de Seguridad de la Obra, se deberán realizar todas las mediciones de contaminantes en el ambiente laboral indicadas en el Decreto 911/96.
- Para reducir los impactos por emisión gaseosa por combustión y emisión de ruido, se recomienda que vehículos y maquinaria de obra cuenten con la verificación técnica aprobada y vigente. La circulación dentro de la planta debe ser a paso de hombre para evitar accidentes.
- Informar al personal sobre los riesgos y seguridad en el manejo de las sustancias usadas. Prever y hacer obligatorio el uso de elementos de protección y ropa de trabajo adecuada.
- El personal debe estar capacitado en el área de higiene y seguridad.
- Contar con señalización en todos los lugares de obra y de las tareas a realizarse.
- Realizar revisiones periódicas de seguridad e higiene en toda la planta a modo de prevención de accidentes y cumplimiento de seguridad laboral.
- Realizar inspecciones periódicas de cañerías y mantenimiento de equipos para evitar fallas.
- En caso de emergencia deben seguirse los lineamientos establecidos por el plan de contingencia.

### **12.3- Riesgos de Operación**

Los riesgos de operación son inherentes a la planta ya que se trabaja con fluidos tóxicos, combustibles e inflamables. Las materias primas y productos son transportados por ductos, por lo que pueden producirse fugas por corrosión en las líneas de transmisión. La mitigación de este riesgo es la continua inspección

de las líneas, válvulas, bombas, compresores, filtros y otros equipos o accesorios, siempre en busca de potenciales signos de ruptura o fuga. Para ello tienen que programarse inspecciones regulares, y poder realizar los recambios de cañería o soldaduras llegado el caso. Si la falla no se detecta a tiempo, puede desembocar en una catástrofe.

Una forma de cumplir con estas demandas es mediante un sistema de auto auditorías, que refuercen a su vez a la planta cuando se realicen auditorías externas e inspecciones. Las auditorías internas se harán con personal propio.

La operación de la planta se realizará a través de un sistema de control, ubicado en la sala de control, con un operador de tablero. Los instrumentos y controles son de asistencia al proceso y fundamentales, ya que marcan los valores deseados de los equipos y permite realizar variaciones en caso de cambios en el proceso.

### **Corte de suministro de aire**

El corte del suministro de aire a la instrumentación neumática implica que debe llevar a la planta a una condición de operación segura. Si el problema persiste, debe detenerse la unidad.

### **Corte de suministro eléctrico**

La frecuencia estimada de corte de suministro eléctrico ronda en una vez al mes. Debe llevar a la planta a un estado de operación segura. Se debe asegurar que nada ingrese ni egrese de la planta, y que no haya aporte de calor.

Como primera medida se debe cortar el suministro de vapor a todos los intercambiadores y reboilers de las columnas de destilación, así como al resto de los equipos calentadores del proceso. La razón principal es evitar que se presionen los equipos.

Luego hay que cortar el ingreso de las materias primas a la unidad R-101 bloqueando las válvulas neumáticas correspondientes; habilitar el ingreso de N<sub>2</sub> para barrer el contenido que esté retenido en el reactor (principalmente el Óxido de Etileno que es el compuesto de mayor peligrosidad). El Nitrógeno estará almacenado en un pulmón.

El gas será venteado hacia la antorcha.

La unidad SC-101 será descomprimida y los gases enviados a antorcha.

La alimentación de las columnas de destilación unidades T-103 y T-104 serán interrumpidas, ya que, de lo contrario, se inundarían y esto podría provocar

movimiento de platos y rupturas. El contenido se enviará al tanque de producto fuera de especificación para su reproceso. Para liberar la presión del sistema se abrirán las válvulas de los acumuladores de las torres y los vapores serán derivados a la antorcha.

## **Incendio**

Los incendios de menor magnitud suelen darse una vez por año. Los incendios mayores implican pérdidas materiales y de vidas de los operarios.

Los incendios pueden tener diferentes orígenes y según cuál sea se definirá la manera de combatirlo. Los extintores son elementos de seguridad cuya finalidad es apagar el fuego. Sirven para dominar o extinguir cualquier tipo de fuego generado para evitar así su propagación. Según la fuente de combustible donde esté dándose el incendio, existe un tipo de extintor adecuado.

La forma más importante y efectiva de combatir un incendio es evitarlo. Por ello, es un punto vital la prevención de incendios, teniendo en cuenta que el mayor riesgo se encuentra en el gas inflamable requerido para el proceso. El foco en la prevención contra incendios estará en evitar tener fuentes de ignición cerca del área de almacén del gas y del proceso.

En caso de que la prevención no sea suficiente, se debe contar con la detección temprana del foco de incendio para evitar su propagación. Los sistemas de detección son instalaciones destinadas a detectar en forma anticipada el desarrollo de un incendio, dando aviso de este evento por medio de señales acústicas y luminosas de manera local o remota. Sus componentes principales son:

- Sistemas automáticos (detectores).
- Sistemas manuales (pulsadores).
- Sala central (control a distancia de señales y dispositivos).

Se debe contar también con un plan de emergencia cuyo objetivo es establecer destrezas y procedimientos que les permitan a los usuarios de las instalaciones prevenir y protegerse en casos de desastres o amenazas que pongan en peligro su integridad o de las instalaciones, teniendo determinadas las amenazas posibles y contando con la adecuada estructura organizativa e instalaciones. Se formará también una brigada de emergencia con los conocimientos especializados en situaciones de emergencia, en contacto con los servicios públicos de emergencias y con los elementos necesarios para enfrentar las mismas

Las medidas serán tomadas tanto por operarios brigadistas, gerencia de la empresa y bomberos.



Ilustración 49: Mitigación de Incendios. Fuente: Cátedra "Problemática Ambiental y Seguridad Industrial"

### Riesgo en operación con Óxido de Etileno

El Óxido de Etileno es un gas incoloro y altamente inflamable a temperaturas y presiones normales. Los vapores de óxido de etileno forman mezclas explosivas con el aire. Es muy reactivo tanto en fase líquida como en vapor. Es un producto tóxico y altamente peligroso para la salud.

Es por esto por lo que es importante hacer especial énfasis en la contención, detección de fugas y en la ventilación de las zonas aledañas.

Normas básicas de seguridad para trabajar con Óxido de Etileno:

- Eliminar todas las fuentes probables de ignición o situarlas lejos de las zonas de posibles escapes del óxido.
- Se deben respetar las distancias seguras en aquellas áreas donde exista el riesgo de fuga.
- Facilitar mediante diseño las correspondientes vías de escape y de acceso.

## **12.4- Efluentes de proceso**

**Los residuos sólidos y efluentes líquidos o gaseosos generados en el proceso son:**

- Gases de antorcha
- Agua con trazas de glicoles
- Soluciones de laboratorio
- Aceites descartados por el personal de mantenimiento.
- Trapos y guantes contaminados con aceites, grasas o algún producto químico.

### **Residuos ajenos al proceso**

**Los residuos generados en los sectores ajenos al proceso son:**

- Residuos urbanos de los comedores como alimentos, material descartable, etc.
- Tarimas de madera.
- Materiales reciclables como maderas, cartones, vidrios y tambores.
- Aguas residuales de comedores, sanitarios y vestuarios.

### **Residuos especiales**

El artículo 3 de la Ley 11.720 define a los residuos especiales de la siguiente manera: se entiende por residuo a cualquier sustancia u objeto, gaseoso (siempre que se encuentre contenido en recipientes), sólido, semisólido o líquido del cual su poseedor, productor o generador se desprenda o tenga la obligación legal de hacerlo. El artículo 25 exige:

- Separar adecuadamente y no mezclar residuos especiales incompatibles entre sí.
- Tratar y/o disponer los residuos generados por su actividad, en sus propias instalaciones. De no ser posible deberán hacerlo en plantas de tratamientos y disposición final que preste servicios a terceros debidamente autorizadas por la Autoridad de Aplicación.

### **Neutralización**

Las soluciones utilizadas en el laboratorio se neutralizarán antes de ser destinadas a la red cloacal.

### **Disposición de residuos urbanos**

Los residuos generados en comedores, sanitarios y vestuarios serán separados de los residuos especiales para su retiro por terceros. Los mismos serán los responsables de su retiro, transporte y disposición final.

### **Reutilización de tarimas de maderas**

Las tarimas de maderas sin uso serán segregadas para reutilizarlas en el transporte de los tambores de residuos especiales o para su donación. Se debe tener en cuenta que, para tal fin, las tarimas debes estar libres de residuos y en condiciones adecuadas.

### **Reciclado de materiales**

Los materiales reciclables como maderas, vidrios y cartones serán segregados para tal fin. De esta manera se reduce la cantidad de residuos generados y la cantidad de materiales consumidos.

### **Disposición de residuos especiales**

Los residuos especiales que se disponen en depósitos para su retiro por terceros son:

- Aceites descartados por el personal de mantenimiento.
- Trapos y guantes contaminados con aceites, grasas o algún producto químico.

Los mismos serán almacenados (por separado) en IBC o tambores de 200 litros reciclados para tal fin. La empresa tercerizada para cumplir con el trabajo brindará el asesoramiento sobre las condiciones necesarias que deben tener tales recipientes, así como también, será la responsable del retiro, transporte, tratamiento y disposición de los residuos especiales.

### **Tratamiento del agua con trazas de glicoles**

El destilado acuoso con trazas de glicoles debe llevarse a una torre de enfriamiento para obtener una corriente cuya temperatura no supere los 30°C para su vertido en el cuerpo receptor hídrico.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha determinado que es improbable que la exposición de por vida a 14 mg/L de etilenglicol en el agua potable cause

efectos adversos. La primera torre de destilación de nuestro proceso genera una corriente acuosa con una concentración menor a 1 ug/L. Como el valor es mucho menor de lo mencionado, no se considera la posibilidad de tratamiento.

## 12.5- Matriz de Leopold

La Matriz de Leopold es un método de ponderación de efectos, en el cual a todos los conceptos evaluados hasta el momento se les asigna un valor numérico. Es una lista de control bidimensional: en una dimensión se muestran las características individuales de un proyecto y en la otra se identifican las categorías ambientales que pueden ser afectadas. De este modo, se evalúa el impacto ambiental de todas las etapas del proyecto.

### Ponderación de impactos

A partir de la identificación de potenciales impactos, se deben valorar los mismos con un análisis de ponderación. De esta forma se les otorgará un orden de importancia a una acción sobre determinado factor ambiental.

La ponderación de impactos o de efectos se realiza a partir de la siguiente ecuación:

$$I = +/- (3* IN + 2* EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

Dónde:

**Intensidad (IN):** se refiere a la incidencia de la acción causal sobre el factor impactado en el área en la que se produce el efecto. Se considerarán valores de 1 a 12 para ponderar.

**Extensión (EX):** se refiere al atributo que refleja la fracción del medio afectada por acción del proyecto. Es el área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno. Se valora según:

- 1 = impacto puntual
- 2 = impacto parcial
- 4 = impacto extenso
- 8 = impacto total

**Momento (MO):** se refiere al tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del impacto. Se valora según:

- 4 = inmediato o de corto plazo
- 2 = mediano plazo (1 a 5 años)
- 1 = largo plazo (más de 5 años)

**Persistencia (PE):** se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición hasta que el factor afectado retorne a sus condiciones iniciales en forma natural o con medidas correctoras. Se valora según:

- 1 = fugaz
- 2 = temporal (entre 1 y 10 años)
- 4 = permanente (mayor a 10 años)

**Reversibilidad (RV):** se refiere a la posibilidad de recuperación del componente del medio o factor afectado, únicamente de forma natural después de que la acción ha finalizado. Cuando un efecto es reversible retornará a la condición inicial una vez transcurrido el tiempo de permanencia. Se valora según:

- 1 = corto plazo (menos de un año)
- 2 = mediano plazo (1 a 5 años)
- 4 = irreversible (más de 10 años)

**Sinergia (SI):** contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que se podría esperar de la manifestación de los efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea. Se valora según:

- 1 = acción no sinérgica
- 2 = sinergismo moderado
- 4 = altamente sinérgico

**Acumulación (AC):** se refiere al aumento del efecto cuando persiste la causa. Se valora según:

- 1 = efecto no acumulativo
- 4 = efecto acumulativo

**Efecto (EF):** se refiere a la relación causa-efecto, es decir, a la forma de manifestación de un efecto sobre un factor. Se valora según:

- 1 = efecto indirecto o secundario
- 4 = efecto directo

**Periodicidad (PR):** se refiere al ritmo de aparición del impacto. Se valora según:

- 4 = efecto continuo
- 2 = efecto periódico
- 1 = efecto discontinuo

**Recuperabilidad (MC):** se refiere a la posibilidad de recuperar las condiciones de calidad ambiental iniciales, como consecuencia de la aparición de medidas correctoras. Se valora según:

- 1 = recuperación total e inmediata

2 = recuperación total a mediano plazo  
 4 = recuperación parcial por mitigación  
 8 = irrecuperable

Como criterio de evaluación los valores de importancia se asignan en un rango de 0 a 20, por lo que todos los valores de los atributos fueron normalizados a tal fin, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Valor normalizado} = 1 - \frac{(\text{Valor máx} - \text{Valor medido})}{(\text{Valor máx} - \text{Valor min})}$$

De acuerdo con su valor de importancia, el impacto puede considerarse:

Impacto muy bajo:  $\leq 4$   
 Impacto bajo:  $4 < i \leq 8$   
 Impacto moderado:  $8 < i \leq 12$   
 Impacto alto:  $12 < i \leq 16$   
 Impacto crítico:  $> 16$

Finalmente, según las matrices de ponderación se realiza la matriz de valoración de impactos:

## 12.6- Conclusiones

Habiendo evaluado puntualmente los impactos identificados en las distintas fases del proyecto, se puede determinar que el impacto ambiental negativo se encuentra en un rango bajo a muy bajo durante funcionamiento normal, y no supone impactos ambientales severos.

Los impactos de mayor peso son aquellos relacionados con desastres tecnológicos, como derrames accidentales y emisiones de gases peligrosos. Sin embargo, es muy poco probable que estos eventos se desencadenen, considerando que serán implementadas las medidas de seguridad adecuadas y que aquellos efluentes contaminados serán tratados según corresponda. Por lo tanto, el riesgo se reduce significativamente.

Adoptando medidas preventivas y de mitigación, estructuradas mediante un plan de gestión ambiental, se administrarán todos aquellos aspectos que representen una incidencia negativa sobre el entorno. Este plan considera, además, el correcto manejo y disposición de los residuos domésticos e industriales no peligrosos.

Por otro lado, el aporte a la economía local y regional sería lo suficientemente alto como para, en una relación costo-beneficio, considerar al proyecto como ambientalmente aceptable.

El estudio deberá ser presentado a la OPDS para verificar que cumpla con todos requisitos que exige esta entidad.

## 13- EVALUACIÓN ECONÓMICA

A través del análisis económico se busca determinar la cantidad de recursos de esta índole necesarios para el proyecto, costo total de operación (incluye funciones de producción, administración y ventas), así como otros indicadores que servirán como base.

Se considera como asignación de valor una moneda que se conserve, por lo cual se estima que la inflación es inexistente para el período desarrollado. La moneda de referencia es el dólar estadounidense, con tipo de cambio de 1 U\$S = 160 AR\$ (tipo de cambio de 8/11/22).

La evaluación económica del presente proyecto obedece a la dinámica de "PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS". Se han considerado dos aspectos importantes como la Estimación de la inversión total y Estimación del costo total de producción. El estudio se basa en la producción de 58335 toneladas de Monoetilenglicol por año.

### 13.1- Activos Fijos

#### 13.1.1- Equipos

A partir de las hojas de especificación de los equipos diseñados se estimaron los costos utilizando el método Williams. Este se basa en escalar equipos para obtener el costo aproximado de los mismos. El factor de escala varía según el tipo de equipo y en función de una capacidad específica, que podrá ser el volumen, el duty, la potencia, según el caso.

Una vez se haya calculado el costo del equipo, debe ser afectado por un factor de instalación que representa su instalación y PEM.

Para calcular el costo de aquellos equipos que no hayan sido diseñados, se considerará que tienen el mismo costo que los equipos calculados.

Equipo	Cantidad	Costo MMUS\$
Reactores	2	16.6
Catalizadores	70 (tn)	3.5
Intercambiadores	17	9.6
Columnas	5	11.1
Bombas	7	1.5
Compresores	2	47.6
Tanques	5	12.7
<b>Total</b>		<b>102.6</b>

Tabla 65: Costos estimados de equipos. Elaboración propia según método de cálculo escalador

El total del costo de equipos es de 102.6 MMUS\$. Este valor considera los costos de instalación y PEM mencionados previamente.

## 13.2- Inversión

Las inversiones son las erogaciones de dinero realizadas con el objetivo de obtener ingresos a futuro que permitan recuperar los fondos invertidos y lograr un beneficio. Por lo que las inversiones que se requieren para operar son inversiones en activo fijo y diferido, ambas sujetas a depreciación y amortización, y el capital de trabajo.

Antes de que una planta industrial esté en condiciones para comenzar a producir, se debe aportar una gran suma de dinero para comprar e instalar la maquinaria y el equipamiento necesario.

Se deben obtener terrenos e instalaciones de servicio, y la planta debe ser construida por completo, con todas las tuberías, controles y servicios. Además, es necesario disponer de dinero para el pago de los gastos que implica la operación de la planta.

El capital necesario para suministrar las instalaciones de fabricación y planta se denomina inversión de capital fijo, mientras que el necesario para el funcionamiento de la planta se denomina capital de trabajo. La suma de la inversión de capital fijo y el capital de trabajo se conoce como inversión de capital total.

### 13.2.1- Capital Fijo

La inversión de Capital Fijo suele subdividirse en Costos Directos y Costos Indirectos.

Costos Directos: representan el capital necesario para el equipo de proceso instalado con todos los auxiliares necesarios para la operación completa del proceso. Los gastos de tuberías, instrumentos, aislamiento, cimientos y preparación del sitio son ejemplos típicos que se incluyen en esta categoría.

Costos Indirectos: el capital fijo requerido para los gastos generales y para todos los componentes de la planta que no están directamente relacionados con la operación del proceso se designan como costos indirectos. Estos incluyen los gastos generales de construcción, de supervisión, gastos de ingeniería, honorarios de contratistas e imprevistos.

Para calcular los activos fijos, se hacen estimaciones según los porcentajes recomendados por la bibliografía "Plant Design and Economics for Chemical Engineers - Timmerhaus".

Los porcentajes de cada uno de los rubros detallados se muestran a continuación.

Descripción	%	MM U\$S
Localización	20%	20.52
Extra-terreno	0%	0
Ingeniería	8%	8.21
Obra Civil	25%	25.65
Piping	30%	30.78
Instrumentación y Control	10%	10.26
Instalación Eléctrica	8%	8.21
Compra de equipos + Instalación	15%	15.39
OSBL	15%	15.39
Paro	5%	5.13
Extra-Equipo	3%	3.08
Contratos	2%	2.05
Contingencias	8%	8.21
<b>Total</b>		<b>152.87</b>

Tabla 66: Costos de activos fijos. Elaboración propia según "Plant Design and Economics for Chemical Engineers - Timmerhaus".

### 13.2.2- Capital de Trabajo

Se determina el capital de trabajo como la diferencia aritmética entre el activo de trabajo o circulante y el pasivo de trabajo o circulante.

$$\text{Capital de trabajo} = \text{Activo circulante} - \text{Pasivo circulante}$$

#### Activo circulante

El activo circulante se compone de el Inventario, Cuentas por cobrar, y Cajas y Bancos. A continuación, se calculará cada uno.

#### **Inventario**

Incluye el stock de materias primas, insumos y aditivos (1) y el stock de subproductos o productos terminados (2).

Teniendo en cuenta que la planta no tiene capacidad de almacenamiento de materia prima por impedimentos tecnológicos y de seguridad, y que tanto el metano como el oxígeno y el etileno se reciben por ductos, el costo asociado al primer punto solo considerará los insumos, es decir, el furfural, el carbonato de potasio y los catalizadores. Es necesario conocer el precio unitario de cada ítem y la cantidad almacenada.

- Furfural: para el proceso se requieren 5.85 toneladas. Se contará con un stock almacenado de 9 toneladas. Esto representa un costo de 0,009 MMUS\$.
- Catalizadores: se considera la cantidad necesaria para 2 cargas, es decir, se debe tener una disponible en almacenes. Siendo que entre los dos

UTN FRLP - Producción de Monoetilenglicol - Integración V Año 2022

Bormapé, Catalina; Bravo Ortiz, Orieth Carolina; Iriarte, Manuel

reactores se requieren unas 70 toneladas, el total sería 140 tn. Esta cantidad representaría un costo de 7 MMUS\$.

- Carbonato de Potasio: para el proceso se requieren 12.5 toneladas de solución al 30%. Esto requiere 3.75 toneladas del compuesto. Además, se contará con 3 toneladas extra disponibles en almacenes para realizar reposición en caso de ser necesario. El total sería de 6.75 toneladas, que representa un costo de 0,0081 MMUS\$.

El precio de cada insumo fue obtenido del Instituto Petroquímico Argentino (IPA).

El segundo punto se computa como el costo asociado a la máxima cantidad de productos y subproductos que pueden almacenarse dentro de la planta. Para el cálculo de este punto se consideran los tanques de producto. Los mismos tienen una capacidad de almacenamiento de 890 m<sup>3</sup>, la densidad es 1116 kg/m<sup>3</sup>, lo cual da una masa de 993 tn., que representa un valor de 1.09 MMUS\$. Se considerará el volumen de un solo tanque, ya que, uno está en carga y el otro en despacho.

Insumo	Cantidad (tn)	Costo MMUS\$
Furfural	9	0.009
Carbonato de Potasio	6.75	0.0081
Catalizador	140	7
Producto terminado	993	1.09
<b>Total</b>		<b>8.11</b>

Tabla 67: Inventario. Elaboración propia según datos de IPA

### **Cuentas por cobrar**

Se calculan como el dinero correspondiente a los ingresos que se generan por las ventas del producto en un mes del año inicial.

Primer año: inicio de producción. Es la inversión necesaria como consecuencia de vender a crédito y depende del Período Promedio de Recuperación (PPR) en que la empresa recupera el capital. Considerando un crédito de 100%, el PPR será 60%.

$$Cuentas\ por\ Cobrar = CxC = \left( \frac{Ventas\ Anuales}{365} \right) PPR$$

Venta anual/365 (MMUS\$)	0.18
PPR	0.6
Cuentas por cobrar (MMUS\$)	0.11

Las condiciones de pago serán de treinta días a partir del momento en que se despacha el producto.

### ***Cajas y bancos***

Las cajas y bancos también denominado “Valores e inversiones”, es el efectivo que siempre debe tener la empresa para afrontar los gastos cotidianos e imprevistos. Se estima entre un 10 y un 20% (15% promedio) del monto total invertido en inventarios y cuentas por cobrar.

$$Caja\ y\ Bancos = CyB = \frac{15}{100} (Inventarios + Cuentas\ por\ Cobrar)$$

Inventario (MMUS\$)	8.11
Cuentas por cobrar (MMUS\$)	0.11
Cajas y Bancos (MMUS\$)	1.23

Finalmente, se calcula el Activo Circulante total.

$$Activo\ Circulante = Inventario + Cuentas\ por\ cobrar + Cajas\ y\ Bancos$$

**Activo Circulante = 9.45 MMUS\$**

### **Pasivo Circulante**

Está constituido por los créditos a corto plazo en concepto de impuestos, servicios y proveedores, y se estima tomando como base el valor de la Tasa Circulante, la cual se sugiere que sea mayor o igual a 3 para la evaluación de proyectos.

$$Tasa\ Circulante = TC = \frac{AC}{PC} \geq 3$$

Donde:

TC = Tasa Circulante

AC = Activo Circulante

PC = Pasivo Circulante

Despejando PC, se obtiene:

$$PC = AC/3$$

**Pasivo Circulante = 3.15 MMUS\$**

Teniendo el Activo y el Pasivo Circulante, se puede calcular el capital de trabajo:

$$\text{Capital de trabajo} = \text{Activo circulante} - \text{Pasivo circulante}$$

$$\text{Capital de trabajo} = 9.45 - 3.15 \text{ (MMUS\$)}$$

**Capital de trabajo = 6.3 MMUS\$**

### Depreciación

Se refiere al costo asociado a la depreciación de los bienes materiales o inmateriales que responde a una disminución periódica de su valor. Desde el punto de vista financiero y económico, la depreciación consiste en que, al reconocer el desgaste de los bienes por su uso, se va creando una provisión o reserva que al final de su vida útil permite reemplazarlos sin afectar la liquidez y el capital de trabajo. Para el análisis de la depreciación se emplea el Método de la Línea Recta. Se supone que el valor del bien decrece en forma lineal en función del tiempo. Cada año se contemplan montos iguales para la depreciación, d:

$$d = \frac{V - VS}{n}$$

Donde:

V: Valor inicial del bien al comenzar el periodo de su vida útil.

VS: Valor de salvamento o valor de reventa al finalizar su vida útil.

n: duración del periodo de la vida útil en años.

Se considerará una tasa de depreciación del 6% anual, por lo que, al cabo de los primeros 10 años, los equipos tendrán un valor de reventa del 40% de su valor inicial.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Equipo	Valor Inicial (MMUS\$)	Valor de reventa (MMUS\$)	Vida útil	Dep MMUS\$/año
Reactores	16,6	6,64	10	0,996
Catalizadores	3,5	1,4	10	0,21
Intercambiadores	9,6	3,84	10	0,576
Columnas	11,1	4,44	10	0,666
Bombas	1,5	0,6	10	0,09
Compresores	47,6	19,04	10	2,856
Tanques	12,7	5,08	10	0,762
Total	<b>102.6</b>	Total		<b>6</b>

Tabla 68: Depreciación de equipos. Elaboración propia a partir del Método de la Línea Recta

### 13.2.3- Inversión de Capital Total

Para evaluar los impactos económicos de una nueva planta industrial, se requiere conocer los antecedentes económicos del proyecto.

La suma de la inversión en equipos más accesorios y el capital de trabajo se conoce normalmente como CAPEX.

$$\mathbf{CAPEX = FCI + WC}$$

Donde:

FCI = Inversión de capital fijo

WC = Capital de trabajo

Activos Fijos (MMUS\$)	152.87
Equipos (MMUS\$)	102.6
FCI (MMUS\$)	255.47

$$\text{CAPEX} = -(255.47 + 6.3) \text{ (MMUS\$)}$$

$$\mathbf{\text{CAPEX} = - 261.77 \text{ MMUS\$}}$$

### 13.3- Ingresos por comercialización

#### Definición

Las ventas determinan la entrada de dinero a la empresa y dependen directamente de la producción (cantidad), como del mercado (precio y cantidad). Los ingresos del proyecto provienen únicamente de la venta de etilenglicol.

#### Proyección de Ingresos

El precio de la tonelada de Etilenglicol oscila alrededor de los 1000 y 1200 US\$ en los últimos 10 años (Fuente: IPA). Por lo tanto, la proyección de ingresos se calculará teniendo en cuenta las modificaciones que den respuesta al aumento de la producción, y no así a los cambios del precio.

Considerando que el precio del MEG importado aumentará significativamente debido a la suba de los aranceles de importación, podremos fijar el precio de la tonelada en 1400 US\$.

A continuación, se presentan los resultados de la proyección de ingresos por ventas durante los primeros 13 años de producción. Se considera que el primer año es de evaluación de proyecto, los dos siguientes son de construcción, y recién el cuarto año comienza la producción. En este cuarto año se producirá un 80% de la capacidad instalada de la planta; luego se aumentará la producción un 10% anual hasta alcanzar el valor máximo, es decir, 58.3 tn/año.

Proyección de ingresos		
Precio US\$/tn		1400
Año	tn MEG/año	MMUS\$/año
2022	0	0
2023	0	0
2024	0	0
2025	46668	65,3352
2026	52501,5	73,5021
2027	58335	81,669
2028	58335	81,669
2029	58335	81,669
2030	58335	81,669
2031	58335	81,669
2032	58335	81,669
2033	58335	81,669
2034	58335	81,669
2035	58335	81,669

Tabla 69: Proyección de ingresos por ventas. Elaboración propia según IPA y balance de masa.

### 13.4- Egresos por compras

En esta sección se considerarán los gastos por la compra de la materia prima, que serán afectados por la capacidad de producción según el año correspondiente.

#### Materias primas

Se incluyen las cantidades de materia prima según balance de masa.

<b>Materia Prima</b>	<b>toneladas/año</b>	<b>Costo (US\$/t)</b>	<b>MMUS\$</b>
Etileno	33264	634	21
Oxígeno	38016	157	6
Metano	32	97	0.003
<b>Total</b>			<b>27.003</b>

Tabla 70: Costo de materia prima. Elaboración propia según IPA y balance de masa

<b>Egresos por compra de MP</b>		
<b>Año</b>	<b>Capacidad</b>	<b>MMUS\$/año</b>
2022	0%	0
2023	0%	0
2024	0%	0
2025	80%	21,6487936
2026	90%	24,3548928
2027	100%	27,060992
2028	100%	27,060992
2029	100%	27,060992
2030	100%	27,060992
2031	100%	27,060992
2032	100%	27,060992
2033	100%	27,060992
2034	100%	27,060992
2035	100%	27,060992

## 13.5- Costos Fijos y Variables

### 13.5.1- Costos variables

Dentro de estos gastos se encuentran los costos de suministros y servicios generales.

#### Suministros y servicios generales

En este punto se tendrá en cuenta el consumo eléctrico de los equipos instalados, el consumo eléctrico, vapor y agua de los servicios auxiliares.

Además, se considerarán otros gastos eléctricos como lo son los aires acondicionados, la iluminación y el consumo de oficinas.

Servicio	Cantidad	Precio	Costo (MM US\$/año)
Energía eléctrica	82.5 MMkWaño	0.03 US\$/kWh	0.5
Agua de enfriamiento	302544 tn/año	1.8 US\$/tn	1.6
Vapor	115236 tn/año	14.3 US\$/tn	2.4
Total			4.6

*Tabla 71: Servicios auxiliares. Fuente: programa de simulación PRO II; Empresa Distribuidora de Energía del Sur S.A.*

Los requerimientos de vapor incluyen la cantidad consumida en el proceso de producción más la necesaria para las cuestiones auxiliares. Se debe suministrar energía eléctrica para iluminación, motores y diversas demandas de equipos de proceso. Estos requisitos de potencia directa deben incrementarse en un factor de 1,1 a 1,25 para permitir pérdidas de línea y contingencias.

El monto obtenido, es decir, 4.6 MM US\$/año, se corresponde con el método de aproximación planteado por la bibliografía Plant Design and Economics for Chemical Engineers - Timmerhaus; pág.203, que propone calcular el costo de los servicios auxiliares como un 10-20 % del costo total del producto. Esto representaría un total de 5 MMUS\$ al año.

<b>Costos Variables (MMUS\$/año)</b>	<b>4.6</b>
--------------------------------------	------------

### 13.5.2- Costos fijos

#### Personal

Dentro de estos costos se encuentran los honorarios del personal de la planta. En función del organigrama definido anteriormente, se estimará el costo de mano de obra. Se considerarán 13 sueldos para incluir el aguinaldo.

Jefatura	Puesto	Cantidad	Salario por puesto U\$S/mes	Salario total U\$S/año
Gerencia	Gerente	1	\$ 3.076,92	\$ 40.000,00
	Secretaria	1	\$ 750,00	\$ 9.750,00
RRHH	Jefe de RRHH	1	\$ 1.718,75	\$ 22.343,75
	Selección y reclutamiento	1	\$ 750,00	\$ 9.750,00
	RRL	1	\$ 750,00	\$ 9.750,00
	Administrativos	7	\$ 625,00	\$ 56.875,00
	Médico	2	\$ 1.125,00	\$ 29.250,00
	Enfermeros	3	\$ 750,00	\$ 29.250,00
PRODUCCIÓN	Jefe de Área	1	\$ 1.875,00	\$ 24.375,00
	Jefe de Producción/mp	2	\$ 1.846,15	\$ 47.999,90
	Operarios de producción	10	\$ 1.035,67	\$ 134.637,51
	Coordinador de operaciones	1	\$ 1.250,00	\$ 16.250,00
	Jefe de Energía	1	\$ 1.812,50	\$ 23.562,50
	Supervisores	7	\$ 1.200,00	\$ 15.600,00
	Tableristas	5	\$ 1.093,47	\$ 71.075,27
	Gestores	3	\$ 1.093,47	\$ 42.645,16
	Controller	3	\$ 1.093,47	\$ 42.645,16
	Operador de playa	4	\$ 1.093,47	\$ 56.860,22
ÁREA TÉCNICA	Jefe de Área	1	\$ 1.875,00	\$ 24.375,00
	Jefe de proceso	1	\$ 1.598,51	\$ 20.780,57
	Jefe de Laboratorio	1	\$ 1.198,88	\$ 15.585,43
	Jefe de calidad	1	\$ 1.198,88	\$ 15.585,43
	Procesistas	3	\$ 1.200,00	\$ 46.800,00
	Ing. de procesos	1	\$ 1.598,51	\$ 20.780,57
	Ing. De proyectos	1	\$ 1.598,51	\$ 20.780,57
	Analista de planeamiento	2	\$ 1.093,47	\$ 28.430,11
	Supervisor de Laboratorio	4	\$ 1.093,47	\$ 56.860,22
	Técnico químico	8	\$ 1.035,67	\$ 107.710,01
	Técnicos en seguridad	3	\$ 1.035,67	\$ 40.391,25
	Jefe de Calidad	1	\$ 1.198,88	\$ 15.585,43
	Analistas de calidad	4	\$ 1.093,47	\$ 56.860,22
	Jefe de Ambiente	1	\$ 1.198,88	\$ 15.585,43
Analistas de ambiente	2	\$ 1.093,47	\$ 28.430,11	

MANTENIMIENTO	Jefe de Área	1	\$ 1.558,54	\$ 20.261,03
	Jefe de Paro	1	\$ 1.246,66	\$ 16.206,58
	Jefe Verificación Equipos	1	\$ 1.246,66	\$ 16.206,58
	Jefe de Mantenimiento	1	\$ 1.246,66	\$ 16.206,58
	Jefe de Obra	1	\$ 1.246,66	\$ 16.206,58
	Jefe de Almacenes	1	\$ 1.121,99	\$ 14.585,92
	Jefe de Archivo técnico	1	\$ 1.121,99	\$ 14.585,92
	Tec. Mecánicos	8	\$ 1.035,67	\$ 107.710,01
	Tec. Electricistas	2	\$ 1.035,67	\$ 26.927,50
	Tec. Instrumentista	2	\$ 1.035,67	\$ 26.927,50
	Operador de almacén	2	\$ 932,11	\$ 24.234,77
	Administradores	3	\$ 625,00	\$ 24.375,00
	Supervisor	1	\$ 1.200,00	\$ 15.600,00
	Ingeniero mecánico	1	\$ 1.598,51	\$ 20.780,57
	Ingeniero Civil	1	\$ 1.598,51	\$ 20.780,57
ADMINISTRACIÓN	Jefe de Área	1	\$ 1.558,54	\$ 20.261,03
	Jefe de servicios generales	1	\$ 1.246,66	\$ 16.206,58
	Jefe de control de gestión	1	\$ 1.246,66	\$ 16.206,58
	Jefe de planificación	1	\$ 1.246,66	\$ 16.206,58
	Jefe de compras y contrataciones	1	\$ 1.246,66	\$ 16.206,58
	Jefe de tesorería	1	\$ 1.718,75	\$ 22.343,75
	Jefe de contaduría	1	\$ 1.718,75	\$ 22.343,75
	Administrativos	18	\$ 625,00	\$ 146.250,00
	Contador	2	\$ 1.718,75	\$ 44.687,50
		142	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1,93</b>

Tabla 72: Sueldos del personal. Elaboración propia según el Convenio Colectivo de Trabajo del Sindicato del Personal de Industrias Químicas y Petroquímicas

El costo anual total de mano de obra directa e indirecta será 1.93 MM US\$.

Por otro lado, en los costos fijos también se deben tener en cuenta el mantenimiento, costos de laboratorio, patentes, seguros, impuestos, entre otros.

Para el cálculo de los mencionados factores, se toman los siguientes porcentajes aproximados, brindados por la bibliografía: “Plant Design and Economics for Chemical Engineers - Timmerhaus”.

- Mantenimiento: 3 % del total de capital fijo
- Costos de laboratorio: 5 % del costo de salarios
- Patentes: 1 % del costo total de producto
- Contratos: 2 % del costo total de producto
- Impuestos: 1 % del total de capital fijo
- Seguro: 1% del total de capital fijo

Concepto (MMUS\$/año)	Valor
Capital Fijo	261.77
Salarios	1.93
Costo Total de producto	27

El costo total del producto se consideró como el costo de la materia prima.

Se calculan, entonces, los factores previamente mencionados. Se presentan los resultados a continuación:

<b>COSTOS FIJOS</b>	
Salario	1.9
Mantenimiento	7.9
Laboratorio	1.4
Patente	0.3
Contratos	0.5
Impuestos	2.6
Seguro	2.6
<b>Total (MMUS\$/año)</b>	<b>17</b>

### 13.6- Índices de rentabilidad

Antes de presentar el cuadro de resultados, se definirán algunos conceptos.

- Margen = Ingresos – Egresos
- OPEX = Costos Variables + Costos Fijos
- EBITDA = Margen – OPEX
- Amortización =  $100\% * \frac{CAPEX}{10}$

Siendo 10 los años de evaluación del proyecto.

- EBIT = EBITDA – Amortizaciones
- IG = EBIT \* Tasa IG
- EBT = EBITDA – IG
- NI = EBT – Intereses y Pagos

Los Intereses y Pagos están relacionados con el crédito solicitado a los accionistas.

- Tasa de corte seleccionada = 12%

En cuanto al préstamo solicitado a los Accionistas, será del 100% del CAPEX calculado, es decir, de 261.77 MMUS\$. Este monto será recibido en tres cuotas:

Erogación			
	1	2	3
Accionario	8%	70%	22%
	\$ 21	\$ 183	\$ 58

Se pagará a 10 años, con una tasa de interés del 7%.

Préstamo	
Tipo	Accionistas
Prestamo %	100%
Prestamo	\$ 262
Tasa	7%
Años	10
Cuota	\$ -26,18
Interes	\$ -1,83
Pago Accionistas	\$ -28,01

### 13.6.1- Cuadro de resultados

Año	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ventas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 65	\$ 74	\$ 82	\$ 82	\$ 82	\$ 82	\$ 82	\$ 82	\$ 82	\$ 82
Compras	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -22	\$ -24	\$ -27	\$ -27	\$ -27	\$ -27	\$ -27	\$ -27	\$ -27	\$ -27
MP1- O2				\$ -5	\$ -5	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -6
MP2 - Etileno y metano				\$ -17	\$ -19	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21	\$ -21
Margen Bruto	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 44	\$ 49	\$ 55	\$ 55	\$ 55	\$ 55	\$ 55	\$ 55	\$ 55	\$ 55
OPEX				\$ -21	\$ -21	\$ -22	\$ -22	\$ -22	\$ -22	\$ -22	\$ -22	\$ -22	\$ -22
Hijos			\$ -	\$ -17	\$ -17	\$ -17	\$ -17	\$ -17	\$ -17	\$ -17	\$ -17	\$ -17	\$ -17
Variables				\$ -4	\$ -4	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5	\$ -5
EBITDA	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 23	\$ 28	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33	\$ 33
Amortizaciones				\$ -26	\$ -26	\$ -26	\$ -26	\$ -26	\$ -26	\$ -26	\$ -26	\$ -26	\$ -26
EBIT	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -3	\$ 2	\$ 7	\$ 7	\$ 7	\$ 7	\$ 7	\$ 7	\$ 7	\$ 7
IIG				\$ -	\$ -0,5	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2	\$ -2
EBT	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 23	\$ 27	\$ 31	\$ 31	\$ 31	\$ 31	\$ 31	\$ 31	\$ 31	\$ 31
Pago Accionistas	\$ -28	\$ -28	\$ -28	\$ -28	\$ -28	\$ -28	\$ -28	\$ -28	\$ -28	\$ -28	\$ -28	\$ -28	\$ -28
NI	\$ -	\$ -28	\$ -28	\$ -5	\$ -1	\$ 3	\$ 3	\$ 3	\$ 3	\$ 3	\$ 3	\$ 31	\$ 31
CAPEX	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -13	\$ -13	\$ -13	\$ -13	\$ -13	\$ -22	\$ -13	\$ -13	\$ -13	\$ -13
Erogaciones	\$ -21	\$ -183	\$ -58										
Accionistas	\$ 21	\$ 183	\$ 58										
Paro				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -5	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Catalizador				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -4	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Continuidad				\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8	\$ -8
SMASS				\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3
Integralidad				\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3	\$ -3
Flujo de Fondo	\$ -	\$ -28	\$ -28	\$ -19	\$ -13	\$ -6	\$ -6	\$ -6	\$ -15	\$ -6	\$ -6	\$ 22	\$ 22
Flujo Acumulado	\$ -28	\$ -56	\$ -88	\$ -95	\$ -101	\$ -107	\$ -122	\$ -129	\$ -135	\$ -113	\$ -92		

### 13.6.2- VAN Y TIR

VAN: Valor actual neto. Se acepta el proyecto si:

VAN > 0

VAN = 0

TIR: Tasa Interna de Retorno. Es la tasa a la cual el VAN es 0; si TIR > Tasa de corte seleccionada, el proyecto es rentable.

Resultados obtenidos:

VAN	\$ -77,58
TIR	-16%

### 13.6.3- Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad permite a las empresas pronosticar el éxito o fracaso de un proyecto. Para este fin, se plantearán distintos escenarios posibles analizando su impacto sobre la TIR.

Sabiendo que los resultados del análisis de flujo de fondo resultaron en valores negativos de VAN y TIR, se buscará en qué condiciones el proyecto se vuelve económicamente rentable. Esto se logra cuando la VAN alcanza un valor mayor o igual a 0 y la TIR es igual o mayor al 12%.

Se considerarán variaciones en:

- Precio de venta: el precio de venta debe ascender a 1638 US\$/tn. Esto supone un incremento del 17%.
- Precio de materia prima: el precio de la materia prima (oxígeno, etileno y metano) debe bajar un 51,31%.

En este proyecto, el mayor gasto de materia prima radica en el etileno. Debe disminuir su costo un 65,84%.

- CAPEX: Debe disminuir de -262 MUS\$ a -181,3 MUS\$.
- Capacidad de la planta: La capacidad instalada debe incrementarse de 58335 tn/año a 73502 tn/año, es decir un 26%.

<b>SENSIBILIDAD</b>	<b>%</b>	<b>TIR</b>
Precio de venta	+ 17%	12%
Precio de M. P	- 51,31%	12%
Precio de Etileno	- 65,84%	12%
CAPEX	- 30,80%	12%
Capacidad instalada	+ 26%	12%

### **13.6.4- Conclusiones**

Finalizado el trabajo de investigación sobre la viabilidad de la implementación de una planta de producción de Monoetilenglicol, y luego de haber concluido tanto el Estudio de Mercado como el Estudio Técnico y el Estudio Económico, podemos afirmar que los resultados obtenidos no han sido satisfactorios.

Si bien queda demostrado que existe un mercado potencial atractivo que sustenta la conveniencia de llevar a cabo el proyecto desde el punto de vista de viabilidad de mercado, la evaluación económica refleja que no sería rentable seguir adelante.

En vista de los resultados obtenidos, se realizan los siguientes comentarios:

- El VAN obtenido fue de - 77.58 MMUS\$, calculado con un factor del 12%, tasa mínima aceptable de rendimiento. Este resultado, menor a cero, indica que el proyecto no tendrá beneficios futuros; por lo tanto, debe ser rechazado.
- La Tasa Interna de rendimiento (TIR) es de -16%, menor a la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento, por lo que el rendimiento esperado será mucho menor al rendimiento mínimo fijado como aceptable.

**Queda demostrada y justificada la no rentabilidad de la implementación de una planta de producción de Monoetilenglicol. El proyecto debe ser rechazado.**

## 14- Bibliografía

- American society of mechanical engineers (2010) *Boiler and Pressure Vessel Code*, Section VII, Division 1, Rules for Construction of Pressure Vessels Don W. Green, Robert H. Perry (2008), *Perry's Chemical Engineers' Handbook'*, Octava edición
- B. D. Dombek (1983) *Homogeneous Catalytic Hydrogenation of Carbon Monoxide: Ethylene Glycol and Ethanol from Synthesis Gas*, Union Carbide Corporation
- C.J Gaenkopolis, CECSA (1998) *Procesos de transporte y operaciones unitarias*, Tercera Edición
- Donald Q. Kern, McGraw-Hill Book Company (1999), *Process Heat Transfer*, Trigésimo primera edición
- DOW Chemical (2015) *Enabling More Efficient Ethylene Oxide Production: METEOR™ EO-RETRO 2000 Catalyst*, Programa Sustainable future
- DOW Chemical (2020) *Environmental, Social and Governance Report*, Resumen del informe global y casos destacados en América Latina
- Eduardo Cao, McGraw-Hill Book Company (2010) *Intercambiadores de Calor*.
- E. Ludwig (2007) *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Cuarta Edición*
- Elliott Group Ebara Corporation (2022) *Compressors catalogue*
- H. Scott Fogler, McGraw-Hill Book Company (1999) *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*, Tercera edición.
- Hairong Yue, Yujun Zhao, Xinbin Ma y Jinlong Gong (2011) *Ethylene glycol: properties, synthesis, and applications*, School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University DOI: 10.1039/c2cs15359a
- H. Perzon (2015), *A simulation model of a reactor for ethylene oxide production*, pp. 46–222, 2015.
- Hydrocarbon processing (2010) *Petrochemical processes*, Hydrocarbon Processing's Petrochemical Processes 2010 handbook.

- Instituto Petroquímico Argentino (2022) *Información Estadística de la Industria Petroquímica y Química de la Argentina*.
- J.M. Smith, McGraw-Hill Book Company (1991), *Chemical Engineering Kinetics*, Sexta edición
- K. Kawabe (2010), *Development of a highly selective process for monoethylene glycol production from ethylene oxide via ethylene carbonate using phosphonium salt catalyst*, Catal. Surv. from Asia
- Leslie Andrew Chewter, Herve Henry, Jeroen van Westrenen (2010) *Process for producing ethylene oxide*, Shell USA Inc, Patente: US8569525
- Lian, C., Ren, F., Liu, Y., Zhao, G., Ji, Y., Rong, (2015). *Heterogeneous selective hydrogenation of ethylene carbonate to methanol and ethylene glycol over a copper chromite nanocatalyst*. Chemical Communications, doi:10.1039/c4cc08247h
- Max S. Peters Klaus y D. Timmerhaus, McGraw-Hill Book Company (1991) *Plant design and economics for chemical engineers*, Cuarta edición.
- Maurice Stewart (2018) *Surface Production Operations: Pumps and Compressors*, Vol. 4
- Michael North, Pedro Villuendas, y Carl Young (2009) *A Gas-Phase Flow Reactor for Ethylene Carbonate Synthesis from Waste Carbon Dioxide*, University of Newcastle DOI: 10.1002/chem.200902436
- Mitsubishi Chemical Holding group (2017) *OMEGA process*, Mitsubishi Chemical Corporation
- Mitsubishi Chemical (2019), MEG (Catalytic MEG Process) Technology, [http://www.mcc-license.com/technologies/pdf/Introduction\\_MCC\\_OMEGA\\_Process.pdf](http://www.mcc-license.com/technologies/pdf/Introduction_MCC_OMEGA_Process.pdf).
- Shell (2008), Shell's OMEGA MEG process kicks off in South Korea, <https://www.icis.com/explore/resources/news/2008/08/18/9148176/shell-s-omega-meg-process-kicks-off-in-south-korea/>
- Tubular Exchanger Manufacturers Association (2007) *Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association*, Novena edición
- O. Levespiel, REPLA s.a (1987) *Ingeniería de las reacciones químicas*, Segunda edición.

- Organización Mundial de la Salud (2003) *Ethylene oxide, toxicity, risk, assessment and environmental exposure*, International Programme on Chemical Safety
- Qing Yang, Qingchun Yang, Simin Xu, Shun Zhu, Dawei Zhang (2020), *Technoeconomic and environmental analysis of ethylene glycol production from coal and natural gas compared with oil-based production*, School of Chemistry and Chemical Engineering, Hefei University of Technology DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123120
- Vijay S. Bhise (1983) *Process for preparing ethylene glycol*, Scientific Design Co Inc, Patente: US4400559
- W. L McCabe, J.C. Smith y P. Harriott, McGraw-Hill Book Company (2007) *Operaciones Unitarias en ingeniería química*, Séptima edición
- Xing-Gui Zhou, Wei-Kang Yuan (2004) *Optimization of the fixed-bed reactor for ethylene epoxidation*, State Key Laboratory of Chemical Engineering, East China University of Science and Technology DOI: 10.1016/j.cep.2005.03.008.