

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL DEL NEUQUÉN**

Producción de óxido de propileno

INTEGRACIÓN V

PROYECTO FINAL DE LA CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

ALUMNOS:

PICHULMAY, MANUEL JESÚS

SANCHEZ, KEVIN NICOLÁS

DOCENTES:

KRUMRICK EZEQUIEL

SILVA CRISTIAN

BOLIES MÓNICA

AÑO: 2024

Agradecimientos

A vos madre, por ser el faro que ilumina mi camino y mis decisiones cada día. Hoy no puedo abrazarte, pero sé que estas en mi corazón. Al momento de escribir estas palabras se me hace un nudo en la garganta, pero finalmente te puedo decir ¡Lo logré! Sin la enseñanza y la educación que me inculcaste esto no hubiese sido posible, te extraño cada día, pero se lo orgullosa que estarías de mí. Besos al cielo.

A vos padre, que te encargaste de que junto a mama no faltase un plato en la mesa para poder seguir estudiando, por reinventarte y ser comprensible en los momentos más difíciles, por ser el gran padre y abuelo que la vida ha llevado a convertirte.

A vos hermano Jorge, por siempre dar sin recibir nada a cambio, por acompañarme en todo este proceso desde un principio, alentarme a seguir aun cuando se fue mama. Gracias a vos y a Marta por brindarme siempre un espacio en su casa y hacerme sentir como en mi casa.

A vos hermano Pepe, por seguir siendo un guía hasta el día de hoy, no solo en lo personal sino en lo laboral. Gracias principalmente por enseñarme el valor de la familia con los cuatros sobrinos maravillosos que me brindaron junto a Laura. A vos Lau, por ser la madre maravillosa que se merecen mis sobrinos, por preocuparte siempre por mi bienestar y el de mis padres.

A mis sobrinos, gracias por sacarme una sonrisa cada vez que las cosas se tornaban difíciles, gracias por enseñarme el valor de la amistad y el compañerismo. Los amo y que la vida siempre nos encuentre unidos.

A vos mi compañera, mi amor. Gracias María Laura, por darme todo ese amor incondicional, por ayudarme, por guiarme, por cuidarme y alentarme a seguir a más, espero que la vida nos mantenga con nuestros caminos unidos. A toda tu familia que siempre me brindo su cariño desde el primer instante.

A mis amigos, mis hermanos, los nuevos y los viejos, los que siempre estuvieron en el peor momento de mi vida y siguen estando en las buenas, a ustedes y a sus familias, que sin pedir nada cambio me brindaron su cariño.

A mi compañero Kevin, que se puso este equipo al hombro y fue perseverante durante todo el proceso.

Finalmente, gracias y mil gracias a la educación PUBLICA, que sin ella no hubiese tenido los recursos para afrontar una carrera ¡GRACIAS UTN-FRN!

MANUEL

Agradecimientos

A mi mamá Nancy y a mi papá Oscar, quienes me apoyaron incondicionalmente en todo momento durante este proceso. Ellos me inculcaron la cultura del trabajo, el esfuerzo, y los valores que me guían en la vida. Gracias por desvivirse y preocuparse siempre por el bienestar de nuestra familia, y por brindarnos, a mis hermanos y a mí, la oportunidad de estudiar. Son un ejemplo de amor y sacrificio que siempre llevaré conmigo. Gracias por enseñarnos a luchar por nuestros sueños. Espero poder devolverles algún día todo lo que han hecho por nosotros.

A mis hermanos, Alexis, Gabriela y Joaquín, quienes me acompañan en cada paso que doy en la vida, y me motivan a ser mejor. Gracias por las palabras de aliento que evitaron que me rindiera.

A mi abuela Chefa y don Soto, por su apoyo incondicional en cada necesidad, brindándome su ayuda en cada viaje y situación, sin pedir nada a cambio.

A Micaela, mi amor, por impulsarme y animarme en cada objetivo que me propongo. Fuiste un pilar fundamental en la finalización de mis estudios, cuidándome y acompañándome para lograrlo.

A mis amigos y familia, por los momentos de risas y alegrías, y por sus palabras de aliento cuando más las necesité.

A la UTN-FRN, por abrirme las puertas de los Albergues Universitarios, ya que me brindó un techo bajo el cual pude enfocarme en mis estudios y perseguir mis metas. Ha sido fundamental para que pudiera llevar a cabo este proceso, me llevo muchos recuerdos y momentos vividos, y les estoy enormemente agradecido por darme esta oportunidad.

Por último, a la universidad pública y gratuita, que es un faro de esperanzas y ofrece oportunidades a los estudiantes, abriendo las puertas hacia el conocimiento y por ofrecer la posibilidad de acceder a una educación de calidad.

Kevin

Contenido

1. Introducción	29
1.1. Resumen ejecutivo	29
1.2. Introducción	31
1.3. Producción de óxido de propileno: una oportunidad en Argentina	31
1.4. Óxido de propileno	31
1.5. Bibliografía	33
2. Análisis del Mercado	37
2.1. Resumen ejecutivo	37
2.2. Introducción	39
2.3. Objetivos del estudio de mercado	39
2.4. Mercado proveedor	40
2.4.1. Propileno como materia prima	40
2.4.2. Peróxido de hidrógeno	45
2.4.3. Metanol	46
2.5. Mercado competidor	48
2.5.1. Productor de óxido de propileno	49
2.6. Mercado consumidor	50
2.6.1. Consumo de óxido de propileno	50
2.7. Demanda	54
2.7.1. Mercado de óxido de propileno	54
2.7.2. Análisis de la variación del consumo de óxido de propileno	54
2.8. Proyecciones del consumo de óxido de propileno	56
2.9. Módulo de producción	58
2.10. Localización de la planta	58
2.11. Análisis FODA	60
2.12. Conclusión y puntos a destacar del estudio del mercado	60
2.13. Bibliografía	62
3. Descripción del proceso	65
3.1. Resumen ejecutivo	65

3.2.	Introducción.....	67
3.3.	Objetivos	67
3.4.	Tecnologías disponibles para la obtención de óxido de propileno.....	68
3.4.1.	Proceso de Clorhidrina.....	69
3.4.2.	Producción con peróxidos orgánicos.....	72
3.4.2.1.	Proceso SMPO	72
3.4.2.2.	Proceso PO-TBA.....	74
3.4.3.	Proceso HPPO	75
3.4.4.	Proceso seleccionado: Proceso HPPO	79
3.5.	Descripción del proceso	80
3.5.1.	Propiedades de materias primas.....	80
3.5.1.1.	Propileno.....	80
3.5.1.2.	Peróxido de hidrógeno.....	80
3.5.1.3.	Metanol.....	81
3.5.2.	Descripción del proceso HPPO	81
3.5.2.1.	Sección de reacción.....	81
3.5.2.2.	Sección de purificación de óxido de propileno.....	82
3.5.2.3.	Catalizador TS-1.....	85
3.6.	Bibliografía	87
4.	Balance de masa y energía	91
4.1.	Resumen ejecutivo.....	91
4.2.	Introducción.....	93
4.3.	Objetivos	93
4.4.	Reacciones químicas y cinética química.....	93
4.5.	Simulación.....	95
4.5.1.	Carga de datos.....	95
4.5.1.1.	Lista de componentes:	95
4.5.1.2.	Paquete termodinámico	96
4.5.1.3.	Reacciones químicas	97

4.5.1.4.	Alimentación de reactivos:.....	101
4.5.1.5.	Elección del solvente:.....	101
4.5.2.	Flowsheet	101
4.5.3.	Descripción general del proceso HPPO con Aspen Hysys	102
4.6.	Balance de masa y energía.....	103
4.6.1.	Balance de masa global.....	103
4.6.2.	Balance de masa y energía equipo por equipo	105
4.6.2.1.	Mezclador MIX-001	105
4.6.2.2.	Bomba P-001	107
4.6.2.3.	Intercambiador de calor E-001	109
4.6.2.4.	Reactor R-001	111
4.6.2.5.	Válvula VLV-001 e intercambiador de calor E-002.....	113
4.6.2.6.	Columna de destilación T-001	115
4.6.2.7.	Bomba P-002 e intercambiador de calor E-003	122
4.6.2.8.	Columna de destilación T-002	125
4.6.2.9.	Válvula VLV-003 e intercambiador de calor E-005.....	132
4.6.2.10.	Columna de destilación T-003	134
4.6.2.11.	Bomba P-003	141
4.6.2.12.	Bomba P-006 e intercambiador de calor E-006.	143
4.6.2.13.	Válvula VLV-002 e intercambiador de calor E-004.....	147
4.6.2.14.	Columna de destilación T-004	149
4.6.2.15.	Bomba P-004 y P-005.	155
4.7.	Bibliografía	160
5.	Servicios auxiliares	163
5.1.	Resumen ejecutivo.....	163
5.2.	Introducción.....	165
5.3.	Objetivo	165
5.4.	Tipos de servicios auxiliares	165

5.4.1.	Agua de enfriamiento	165
5.4.2.	Sistema de generación de vapor.....	168
5.4.3.	Agua para oficina.....	172
5.4.4.	Sistema de red contra incendio.....	172
5.4.5.	Tratamiento de agua efluente	172
5.4.6.	Aire para instrumentos.....	172
5.4.7.	Electricidad.....	174
5.4.8.	Sistema de antorcha.....	175
5.4.9.	Gas natural	177
5.5.	P&ID de servicios auxiliares	179
5.6.	Bibliografía	185
6.	P&ID.....	189
6.1.	Resumen ejecutivo.....	189
6.2.	Introducción.....	191
6.3.	Objetivos	191
6.4.	Definiciones	191
6.4.1.	Elementos de los sistemas de control.....	191
6.4.2.	Instrumentos.....	192
6.4.3.	Clasificación de la instrumentación	192
6.4.4.	Tipos de señales de instrumentación	192
6.4.5.	Símbolos de la instrumentación	193
6.4.6.	Nomenclatura de instrumentos.....	194
6.4.7.	Indicadores locales	195
6.4.8.	Transmisores	195
6.4.9.	Switches en P&ID	196
6.4.10.	Válvulas.....	197
6.5.	Nomenclatura de las cañería	199
6.6.	Determinación de diámetro de la cañería	200

6.7.	Elección del material de la cañería	202
6.8.	Identificación de áreas	202
6.9.	Diagramas P&ID	203
6.10.	Bibliografía	216
7.	Layout.....	219
7.1.	Resumen ejecutivo.....	219
7.2.	Introducción.....	221
7.3.	Objetivo	221
7.4.	Equipos principales.....	222
7.5.	Interrelaciones entre equipos	222
7.6.	Distancias recomendadas.....	227
7.7.	Cálculo de volúmenes y distanciamiento entre tanques	230
7.8.	Cálculo de recinto de tanques	231
7.9.	Separación entre equipos.....	232
7.10.	Distribución, vías de acceso para vehículos, camiones y mantenimiento.....	234
7.11.	Descripción del layout de la planta.....	234
7.12.	Bibliografía	237
8.	Seguridad de la planta.....	241
8.1.	Resumen ejecutivo.....	241
8.2.	Introducción.....	243
8.3.	Objetivo	244
8.4.	Seguridad e Higiene ocupacional.....	245
8.4.1.	Disposiciones generales.....	245
8.4.1.1.	Sanitarios.....	245
8.4.1.2.	Provisión de agua.....	245
8.4.1.3.	Desagües industriales	246
8.4.2.	Riesgo de acuerdo a la superintendencia de riesgos del trabajo	246
8.4.2.1.	Riesgos físicos.....	246
8.4.2.1.1.	Temperatura.....	246
8.4.2.1.2.	Ruido/vibraciones	246

8.4.2.1.3.	Iluminación.....	247
8.4.2.1.4.	Ventilación.....	247
8.4.2.2.	Riesgos químicos	248
8.4.2.2.1.	Propileno.....	249
8.4.2.2.2.	Peróxido de propileno.....	250
8.4.2.2.3.	Óxido de propileno.....	251
8.4.2.2.4.	Metanol	251
8.4.2.2.5.	Sistema globalmente armonizado (SGA).....	252
8.4.2.3.	Riesgos de exigencia biomédica	253
8.4.2.4.	Riesgos de accidentes.....	254
8.4.2.5.	Riesgos biológicos	254
8.4.3.	Equipos/elementos de protección personal (EPP).....	255
8.4.4.	Señalización de los sectores	255
8.5.	Seguridad de la planta	257
8.5.1.	Cumplimiento de la Ley 13.660	257
8.5.1.1.	Defensas Activas	257
8.5.1.1.1.	Agua contra incendio.....	257
8.5.1.1.2.	Servicio ignífugo especial	261
8.5.1.1.3.	Aparatos extintores de fuego	262
8.5.1.2.	Defensas pasivas.....	263
8.5.1.2.1.	Separación entre equipos e instalaciones	263
8.5.1.2.2.	Muros de contención y corta llamas	265
8.5.1.2.3.	Descarga de electricidad estática	265
8.5.2.	Plan de contingencia en caso de un derrame.....	265
8.5.2.1.	Identificación de la pérdida	266
8.5.2.2.	Acciones inmediatas	267
8.5.2.3.	Acciones de mitigación	268

8.5.2.4.	Acciones posteriores	270
8.5.2.5.	Diagrama plan de emergencia	271
8.5.3.	Análisis Hazop.....	272
8.6.	Conclusiones	298
8.7.	Bibliografía	298
9.	Ingeniería de detalle	303
9.1.	Resumen ejecutivo.....	303
9.2.	Introducción.....	305
9.3.	Objetivos	305
9.4.	Diseño de intercambiador de calor	305
9.4.1.	Intercambiadores de calor	305
9.4.2.	Tipos de intercambiadores de calor	306
9.4.2.1.	Intercambiadores de calor de doble tubo	306
9.4.2.2.	Intercambiadores de calor de tubo y coraza	307
9.4.3.	Normas constructivas de intercambiadores de calor.....	308
9.4.4.	Componentes de un intercambiador tubo y carcasa	308
9.4.4.1.	Tubos.....	309
9.4.4.2.	Placa de tubos.....	309
9.4.4.3.	Coraza.....	309
9.4.4.4.	Deflectores o baffles.....	310
9.4.4.5.	Cabezal anterior	310
9.4.4.6.	Cabezal posterior o de retorno	310
9.4.5.	Diseño de intercambiadores de calor casco y tubo	310
9.4.5.1.	Método Kern	311
9.4.5.2.	Características generales del intercambiador a diseñar	311
9.4.5.3.	Cálculo de diseño del intercambiador	311
9.4.5.4.	Diseño de intercambiador de calor HTRI	315
9.5.	Diseño de tanque de almacenamiento.....	324

9.5.1.	Introducción a tanques de almacenamiento de metanol	324
9.5.2.	Códigos aplicables.....	324
9.5.3.	Tipos de tanques.....	324
9.5.4.	Tipos de techos	325
9.5.4.1.	Techo fijo	325
9.5.4.2.	Techo flotante.....	325
9.5.4.3.	Sin techo.....	326
9.5.4.4.	Selección del techo empleado.....	326
9.5.5.	Elección del material a utilizar	327
9.5.6.	Soldaduras en tanques de almacenamiento	329
9.5.7.	Accesorios exteriores de tanques	332
9.5.7.1.	Boquillas en tanques de almacenamiento.....	332
9.5.7.2.	Escaleras y plataformas	334
9.5.7.3.	Requerimientos para plataformas y pasillos.....	334
9.5.8.	Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento bajo el estándar API 650	335
9.5.8.1.	Diseño y cálculo de la envolvente del tanque (cuerpo)	336
9.5.8.2.	Cálculo de altura, volumen y diámetro	340
9.5.8.3.	Diseño y cálculo del techo	342
9.5.8.4.	Diseño de fondo de tanque	346
9.6.	Hojas de datos de equipos.....	349
9.6.1.	E-202.....	349
9.6.2.	T-204.....	350
9.6.3.	R-201	351
9.6.4.	TK-102	352
9.6.5.	P-102.....	353
9.7.	Conclusiones	354
9.8.	Bibliografía	354

10. Estudio de impacto ambiental	357
10.1 Resumen ejecutivo.....	357
10.2 Introducción.....	359
10.3 Objetivos	359
10.4 Caracterizar de acuerdo a el decreto 2656/99 de la provincia del Neuquén el tipo de estudio que correspondería ejecutar	359
10.5 Recursos demandados. Tipos y cuantificación	359
10.6 Efluentes del proyecto.....	360
10.6.1. Emisiones	361
10.6.2. Vertidos.....	361
10.6.3. Residuos	362
10.7 Identificación y valoración de los impactos	362
10.7.1. Identificación de impactos.....	362
10.7.1.1. Árbol de acciones	362
10.7.1.2. Factores afectados.....	364
10.7.1.3. Identificación de impactos	365
10.7.2. Valoración de los impactos operativos.....	367
10.7.2.1. Cálculo de importancia	367
10.7.3. Impactos por contingencia	372
10.7.3.1. Estimación de los riesgos.....	373
10.8 Declaración de impactos	377
10.8.1. Impactos operativos.....	377
10.8.2. Impactos por contingencia	379
10.9 Plan de gestión ambiental.....	380
10.10 Bibliografía	382
11. Estudio económico financiero.....	385
11.1. Resumen ejecutivo.....	385
11.2. Introducción.....	387
11.4. Inversiones del proyecto	387
11.4.1. Inversiones antes de la puesta en marcha.....	388

11.4.1.1. Inversiones en activos fijos.....	388
11.4.1.1.1. Obra y edificio	388
11.4.1.1.2. Equipamiento	390
11.4.1.1.3. Sistema de red contra incendio	393
11.4.1.1.4. Tratamiento de efluente	393
11.4.1.1.5. Metanol como solvente	393
11.4.1.1.6. Costos en activos fijos.....	394
11.5. Amortizaciones	394
11.6. Egresos.....	395
11.6.1. Costos fijos.....	396
11.6.1.1. Mano de obra	396
11.6.1.2. Costos de mantenimiento	398
11.6.2. Costos variables.....	399
11.6.2.1. Gastos en materia primas	399
11.6.2.2. Costos en agua, electricidad, gas	399
11.6.3. Egresos totales	400
11.7. Ingresos	401
11.8. Indicadores económicos	401
11.8.1. Valor actual neto (VAN).....	401
11.8.2. Tasa interna de retorno (TIR)	402
11.8.3. Periodo de recuperación de la inversión o Payback	402
11.9. Flujo de caja.....	403
11.10. Punto de equilibrio	406
11.11. Análisis de sensibilidad	409
11.12. Conclusiones finales	413
11.13. Bibliografía	414
Anexos	415
Anexo 1: Tratamiento de efluente	417

Anexo 2: Hojas de seguridad	447
Anexo 3: Diagramas de flujo del proceso HPPO	473
Anexo 4: Diagramas de flujo de servicios auxiliares	475
Anexo 5: Diagramas P&ID	477
Anexo 6: Diagramas P&ID de servicios auxiliares	479
Anexo 7: Layout de la planta	481
Anexo 8: Layout de la red contra incendio.....	483
Anexo 9: Planos de diseño de equipos	485

- Figuras:

Figura 3- 1: Mecanismo de reacción del catalizador TS-1 en el proceso HPPO.....	85
Figura 4- 1: Creación de lista de componentes en Aspen Hysys V9.....	95
Figura 4- 2: Lista de componentes para la simulación de producción de óxido de propileno.	96
Figura 4- 3: Selección del paquete de fluido.....	97
Figura 4- 4: Creación de set de reacciones químicas para la simulación.....	97
Figura 4- 5: Reacciones químicas que tienen lugar en el reactor R-001.....	97
Figura 4- 6: Estequiometría de la reacción de epoxidación de propileno.....	98
Figura 4- 7: Datos cinéticos de la epoxidación de propileno.	98
Figura 4- 8: Estequiometría de la reacción de descomposición de peróxido de hidrógeno...	99
Figura 4- 9: Datos cinéticos de la descomposición de peróxido de hidrógeno.	99
Figura 4- 10: Estequiometría de la reacción secundaria, formación de propilenglicol.....	100
Figura 4- 11: Datos cinéticos de la formación de propilenglicol.	100
Figura 4- 12: Flowsheet de la simulación de producción de óxido de propileno.....	102
Figura 4- 13: Diagrama general para el balance de masa global.....	104
Figura 4- 14: Mezclador MIX-001.	106
Figura 4- 15: Bomba P-001.....	108
Figura 4- 16: Intercambiador de calor E-001.....	110
Figura 4- 17: Reactor R-001.	111
Figura 4- 18: Dimensionamiento del reactor.	113
Figura 4- 19: Set de reacciones asociadas al reactor R-001.	113
Figura 4- 20: Válvula VLV-001 e intercambiador de calor E-002.	114
Figura 4- 21: Shortcut columna *T-001.....	116
Figura 4- 22: Método corto para la simulación, *T-001.	116
Figura 4- 23: Especificaciones de la *T-001.	117
Figura 4- 24: Datos obtenidos en la *T-001.	117
Figura 4- 25: Columna de destilación T-001.	118
Figura 4- 26: Alimentación y etapas de la T-001.....	119
Figura 4- 27: Especificaciones definidas para T-001.	119
Figura 4- 28: Internos de la columna de destilación T-001.....	120
Figura 4- 29: Especificaciones de los internos de la columna T-001.....	120
Figura 4- 30: Resultados del dimensionamiento de la columna T-001.....	121
Figura 4- 31: Bomba P-002 e intercambiador de calor E-003.....	123
Figura 4- 32: Shortcut columna *T-002.....	126
Figura 4- 33:Método corto para la simulación, *T-002.	126
Figura 4- 34: Especificaciones de la *T-002.	127
Figura 4- 35: Datos obtenidos en la *T-002.	127
Figura 4- 36:Columna de destilación T-002.	128
Figura 4- 37: Alimentación y etapas de la T-002.....	128
Figura 4- 38:Especificaciones definidas para T-002.	129
Figura 4- 39:Internos de la columna de destilación T-002.....	130
Figura 4- 40: Especificaciones de los internos de la columna T-002.....	130
Figura 4- 41: Resultados del dimensionamiento de la columna T-002.....	131
Figura 4- 42: Válvula VLV-003 e intercambiador de calor E-005.	133
Figura 4- 43: Shortcut columna *T-003.....	135
Figura 4- 44: Método corto para la simulación, *T-003.	135
Figura 4- 45: Especificaciones de la *T-003.	136
Figura 4- 46: Datos obtenidos en la *T-003.	136

<i>Figura 4- 47: Columna de destilación T-003.</i>	137
<i>Figura 4- 48: Alimentación y etapas de la T-003.</i>	137
<i>Figura 4- 49: Especificaciones definidas para T-003.</i>	138
<i>Figura 4- 50: Internos de la columna de destilación T-003.</i>	139
<i>Figura 4- 51: Especificaciones de los internos de la columna T-003.</i>	139
<i>Figura 4- 52: Resultados del dimensionamiento de la columna T-003.</i>	140
<i>Figura 4- 53: Bomba P-003 de óxido de propileno.</i>	142
<i>Figura 4- 54: Bomba P-006 e intercambiador de calor E-006.</i>	144
<i>Figura 4- 55: Válvula VLV-002 e intercambiador de calor E-004.</i>	148
<i>Figura 4- 56: Shortcut columna *T-004.</i>	150
<i>Figura 4- 57: Método corto para la simulación, *T-004.</i>	150
<i>Figura 4- 58: Especificaciones de la *T-004.</i>	151
<i>Figura 4- 59: Datos obtenidos en la *T-004.</i>	151
<i>Figura 4- 60: Columna de destilación T-004.</i>	152
<i>Figura 4- 61: Alimentación y etapas de la T-004.</i>	152
<i>Figura 4- 62: Especificaciones definidas para T-004.</i>	153
<i>Figura 4- 63: Internos de la columna de destilación T-004.</i>	153
<i>Figura 4- 64: Especificaciones de los internos de la columna T-004.</i>	154
<i>Figura 4- 65: Resultados del dimensionamiento de la columna T-004.</i>	154
<i>Figura 4- 66: Bomba P-005 y P-004.</i>	156
<i>Figura 9- 1: Horquilla de intercambiador de calor doble tubo.</i>	306
<i>Figura 9- 2: Intercambiador de calor tubular de cabezal fijo.</i>	307
<i>Figura 9- 3: Intercambiador de calor E-002.</i>	312
<i>Figura 9- 4: Creación de nuevo archivo en HTRI.</i>	316
<i>Figura 9- 5: Datos de diseño del intercambiador de calor cargados en HTRI.</i>	317
<i>Figura 9- 6: Resultados finales de diseño del intercambiador de calor con HTRI.</i>	318
<i>Figura 9- 7: Especificaciones TEMA aportada por HTRI.</i>	319
<i>Figura 9- 8: Dimensiones del intercambiador de calor.</i>	320
<i>Figura 9- 9: Especificaciones de la distribución de los tubos.</i>	320
<i>Figura 9- 10: Diámetros de las bridas de entrada y salida.</i>	321
<i>Figura 9- 11: Intercambiador de calor obtenido en HTRI.</i>	321
<i>Figura 9- 12: Tubos y deflectores del intercambiador de calor en HTRI.</i>	322
<i>Figura 9- 13: Juntas en forma de “V” y “U”, simple o doble soldadura.</i>	329
<i>Figura 9- 14: Soldaduras verticales para diferentes tipos de materiales y diferentes ángulos de unión.</i>	330
<i>Figura 9- 15: Soldaduras horizontales a tope, con traslape.</i>	331
<i>Figura 9- 16: Boquillas de un tanque de almacenamiento.</i>	332
<i>Figura 9- 17: Placa de refuerzo.</i>	334
<i>Figura 9- 18: Elementos que componen el diseño de un tanque.</i>	336
<i>Figura 9- 19: Método de un pie para espesores de un tanque.</i>	340
• Gráficos:	
<i>Gráfico 1-1: Destino del óxido de propileno en Argentina.</i>	32
<i>Gráfico 2-1: Representación de toneladas de óxido de propileno que Brasil exportó en los últimos años a cada país.</i>	50
<i>Gráfico 2-2: Cantidad de óxido de propileno importada en el período 2.013-2.022 en Argentina.</i>	51
<i>Gráfico 2-3: Consumo aparente de polioxi propilenglicoles en Argentina.</i>	55
<i>Gráfico 2-4: Proyección del consumo de óxido de propileno en Argentina.</i>	57

Gráfico 2-5: Proyección de importación de óxido de propileno en el mundo.	57
Gráfico 3-1: Materias primas para la producción de óxido de propileno	67
Gráfico 3-2: Proceso Clorhidrina	71
Gráfico 3-3: Proceso SMPO.....	73
Gráfico 3-4: Proceso HPPO.....	76
Gráfico 3-5: Procesos HPPO de Dow y BASF.....	77
Gráfico 3-6: Proceso HPPO de Evonik (Degussa) y Uhde.....	78
Gráfico 5- 1: Torre de enfriamiento tiro inducido.	166
Gráfico 6- 1: Identificación e información de los lazos de control.	194
Gráfico 11- 1: Representación del punto de equilibrio.	409
Gráfico 11- 2: Análisis de sensibilidad del precio del óxido de propileno.	411
Gráfico 11- 3: Análisis de sensibilidad del precio del propileno.	412
• <u>Ilustraciones:</u>	
Ilustración 2- 1: Ubicación de la planta de óxido de propileno.....	59
Ilustración 2- 2: Área geográfica de la planta de óxido de propileno.	59
Ilustración 7- 1: Distribución de equipos en planta.	237
Ilustración 8- 1: Accidente en Piper Alpha, UK.	243
Ilustración 8- 2: Sistema de identificación de peligros NFPA.	249
Ilustración 8- 3: Pictogramas del SGA.....	253
Ilustración 8- 4: Plan de emergencia.	271
Ilustración 9- 1: Tanque de almacenamiento con techo flotante autosoportado (izquierda) y techo tipo de domo estructurado.....	327
• <u>Tablas:</u>	
Tabla 1-1: Características generales del óxido de propileno.	32
Tabla 2-1: Producción de propano en toneladas a través del tiempo a partir de líquidos de gas natural en Argentina	41
Tabla 2-2: Destino de la producción de propano en Argentina.	42
Tabla 2-3: Producción y destino de propileno en Argentina en toneladas.	42
Tabla 2-4: Datos estadísticos de países importadores de propileno desde Estados Unidos.	43
Tabla 2-5: Toneladas de propileno exportadas por Estados Unidos.	44
Tabla 2-6: Producción de peróxido de hidrógeno en Argentina.	45
Tabla 2-7: Países importadores de peróxido de hidrógeno desde Brasil.	46
Tabla 2-8: Producción de metanol en Argentina.	47
Tabla 2-9: Países importadores de metanol desde Chile.	48
Tabla 2-10: Cantidad de toneladas de óxido de propileno exportadas por Brasil.	49
Tabla 2-11: Empresas consumidoras de óxido de propileno en Argentina.....	51
Tabla 2-12: Importadores de óxido de propileno en América.	52
Tabla 2-13: Países más importadores de óxido de propileno del mundo.	53
Tabla 2-14: Toneladas de polioxi propilenglicoles en Argentina.	54
Tabla 2-15: Toneladas de éteres glicólicos en Argentina.	55
Tabla 2-16: Toneladas de óxido de propileno importadas en el mundo.	57

<i>Tabla 2-17: Análisis FODA.</i>	60
<i>Tabla 3- 1: Resumen de procesos para la producción de óxido de propileno.</i>	68
<i>Tabla 3- 2: Comparación de las tecnologías disponible para la producción de óxido de propileno</i>	79
<i>Tabla 4- 1: Reacciones químicas y cinética de reacción para el proceso HPPO</i>	94
<i>Tabla 4- 2: Balance de masa global.</i>	105
<i>Tabla 4- 3: Balance de masa y energía MIX-001.</i>	107
<i>Tabla 4- 4: Balance de masa y energía P-001.</i>	109
<i>Tabla 4- 5: Balance de masa y energía E-001.</i>	110
<i>Tabla 4- 6: Balance de masa y energía del reactor R-001.</i>	112
<i>Tabla 4- 7: Balance de masa y energía de VLV-001.</i>	114
<i>Tabla 4- 8: Balance de masa y energía de E-002.</i>	115
<i>Tabla 4- 9: Balance de masa y energía T-001.</i>	122
<i>Tabla 4- 10: Balance de masa y energía P-002.</i>	124
<i>Tabla 4- 11: Balance de masa y energía E-003.</i>	125
<i>Tabla 4- 12: Balance de masa y energía de T-002.</i>	132
<i>Tabla 4- 13: Balance de masa y energía de VLV-003.</i>	133
<i>Tabla 4- 14: Balance de masa y energía de E-005.</i>	134
<i>Tabla 4- 15: Balance de masa y energía de la T-003.</i>	141
<i>Tabla 4- 16: Balance de masa y energía de la bomba P-003.</i>	143
<i>Tabla 4- 17: Balance de masa y energía de TEE-004.</i>	145
<i>Tabla 4- 18: Balance de masa y energía de P-006.</i>	146
<i>Tabla 4- 19: Balance de masa y energía de E-006.</i>	147
<i>Tabla 4- 20: Balance de masa y energía de VLV-002.</i>	148
<i>Tabla 4- 21: Balance de masa y energía de E-004.</i>	149
<i>Tabla 4- 22: Balance de masa y energía T-004.</i>	155
<i>Tabla 4- 23: Balance de masa y energía P-004.</i>	157
<i>Tabla 4- 24: Balance de masa y energía P-005.</i>	158
<i>Tabla 4- 25: Balance de masa y energía MIX-002.</i>	159
<i>Tabla 4- 26: Balance de masa y energía MIX-003.</i>	160
<i>Tabla 5- 1: Cantidad de agua de enfriamiento a utilizar.</i>	168
<i>Tabla 5- 2: Requerimientos de agua para caldera según BS 2486.</i>	171
<i>Tabla 5- 3: Cantidad de vapor de agua necesario.</i>	171
<i>Tabla 5- 4: Consumo de energía de las bombas.</i>	175
<i>Tabla 5- 5: Contenido máximo de componentes en el gas natural en Argentina.</i>	178
<i>Tabla 5- 6: Cálculo de flujo de calor en calderas.</i>	178
<i>Tabla 6- 1: Líneas y señales según Norma ISA 5.1.</i>	193
<i>Tabla 6- 2: Simbología de instrumentación.</i>	193
<i>Tabla 6- 3: Representación de instrumentos.</i>	194
<i>Tabla 6- 4: Indicadores locales en P&ID.</i>	195
<i>Tabla 6- 5: Transmisores en los P&ID.</i>	196
<i>Tabla 6- 6: Switches comúnmente utilizados en lo P&ID.</i>	197
<i>Tabla 6- 7: Tipos de válvulas comúnmente utilizadas.</i>	198
<i>Tabla 6- 8: Posicionadores y accesorios en las válvulas.</i>	199

<i>Tabla 6- 9: Cálculo de diámetro de cañerías.</i>	201
<i>Tabla 6- 10: Rango de trabajo del material RB20.</i>	202
<i>Tabla 6- 11: Áreas del P&ID.</i>	203
<i>Tabla 7- 1: Equipos críticos del proceso.</i>	222
<i>Tabla 7- 2: Interrelaciones entre equipos del proceso.</i>	226
<i>Tabla 7- 3: Distanciamiento de áreas y equipos.</i>	227
<i>Tabla 7- 4: Distanciamiento entre recipientes y tanques.</i>	228
<i>Tabla 7- 5: Distancias recomendadas entre equipos de una planta.</i>	229
<i>Tabla 7- 6: Distancia recomendadas entre equipos por el “Manual de ingeniería de riesgos”.</i>	230
<i>Tabla 7- 7: Dimensionamiento y separación entre tanques.</i>	231
<i>Tabla 7- 8: Cálculo de recinto de tanques.</i>	232
<i>Tabla 7- 9:Distanciamiento entre equipos.</i>	233
<i>Tabla 8- 1: Tareas visuales y valores de referencia.</i>	247
<i>Tabla 8- 2: Referencia para la ventilación en los espacios.</i>	248
<i>Tabla 8- 3: Clasificación NFPA para el propileno.</i>	250
<i>Tabla 8- 4: Clasificación NFPA para el peróxido de hidrógeno.</i>	250
<i>Tabla 8- 5: Clasificación NFPA para el óxido de propileno.</i>	251
<i>Tabla 8- 6: Clasificación NFPA para el metanol.</i>	252
<i>Tabla 8- 7: SGA para sustancias en planta.</i>	253
<i>Tabla 8- 8: Señalización.</i>	256
<i>Tabla 8- 9: Área expuesta de los tanques a posibles incendios.</i>	259
<i>Tabla 8- 10: Agua necesaria para la formación de la espuma.</i>	261
<i>Tabla 8- 11: Cantidad de extintores en función los metros cuadrados utilizados.</i>	263
<i>Tabla 8- 12: Distancias mínimas establecidas por ley 13.660.</i>	264
<i>Tabla 8- 13: Valores de referencias para Exposición.</i>	272
<i>Tabla 8- 14: Valores de referencia de probabilidad.</i>	273
<i>Tabla 8- 15: Referencia de valores de consecuencia.</i>	274
<i>Tabla 8- 16: Matriz de riesgo.</i>	275
<i>Tabla 8- 17: Análisis Hazop de nodo que incluye los tanques de alimentación hasta efluente de R-201.</i>	297
<i>Tabla 9- 1: Datos de las corrientes que ingresan al intercambiador de calor E-002.</i>	312
<i>Tabla 9- 2: Datos de diseños del intercambiador de calor E-002.</i>	313
<i>Tabla 9- 3: Parámetros calculados lado de tubos.</i>	313
<i>Tabla 9- 4: Cálculo de caída de presión lado tubos.</i>	314
<i>Tabla 9- 5: Parámetros calculados lado carcasa.</i>	314
<i>Tabla 9- 6: Cálculo de caída de presión de lado carcasa.</i>	314
<i>Tabla 9- 7: Resultados finales del intercambiador de calor.</i>	315
<i>Tabla 9- 8: Comparación de resultados del método Kern y HTRI.</i>	319
<i>Tabla 9- 9: Materiales empleados por la norma API 650/ASTM.</i>	328
<i>Tabla 9- 10: Espesores de filete en función del espesor de placas.</i>	331
<i>Tabla 9- 11: Cálculos para estimación de diámetros internos de boquillas.</i>	333
<i>Tabla 9- 12: Espesores mínimos de virolas.</i>	337
<i>Tabla 9- 13: Esfuerzos permisibles en kg/cm² para diferentes materiales ASTM.</i>	339
<i>Tabla 9- 14: Espesores de pared para las virolas que componen el tanque.</i>	342
<i>Tabla 9- 15: Espesores de techos para diferentes ángulos.</i>	345
<i>Tabla 9- 16: Espesores mínimos de placas de fondo y placas anulares.</i>	346

<i>Tabla 10- 1: Descripción de materias primas.</i>	360
<i>Tabla 10- 2: Insumos para el proyecto.</i>	360
<i>Tabla 10- 3: Emisiones del proyecto.</i>	361
<i>Tabla 10- 4: Vertidos del proyecto.</i>	361
<i>Tabla 10- 5: Residuos del proyecto.</i>	362
<i>Tabla 10- 6: Árbol de acciones.</i>	364
<i>Tabla 10- 7: Factores afectados.</i>	364
<i>Tabla 10- 8: Impactos en la fase de construcción.</i>	365
<i>Tabla 10- 9: Impactos en la fase de operación.</i>	366
<i>Tabla 10- 10: Impactos en la fase de abandono.</i>	366
<i>Tabla 10- 11: Criterios de valoración.</i>	368
<i>Tabla 10- 12: Cálculo de importancia para la fase de construcción.</i>	370
<i>Tabla 10- 13: Cálculo de importancia para la fase de operación.</i>	371
<i>Tabla 10- 14: Cálculo de importancia para la fase de abandono.</i>	372
<i>Tabla 10- 15: Referencias para el control.</i>	373
<i>Tabla 10- 16: Valores de referencia para la ocurrencia.</i>	374
<i>Tabla 10- 17: Valores de referencia para los factores afectados.</i>	375
<i>Tabla 10- 18: Referencias para la magnitud del factor afectados.</i>	376
<i>Tabla 10- 19: Estimación de riesgos.</i>	376
<i>Tabla 10- 20: Escala de referencia de la Resolución 25/04.</i>	377
<i>Tabla 10- 21: Categorización de los impactos operativos.</i>	378
<i>Tabla 10- 22: Referencias para el Nivel de Riesgo.</i>	379
<i>Tabla 10- 23: Nivel de Riesgo de los impactos por contingencia.</i>	380
<i>Tabla 10- 24: Síntesis de medidas de minimización de impactos.</i>	381
<i>Tabla 11- 1: Costos en edificación.</i>	389
<i>Tabla 11- 2: Costos del terreno.</i>	389
<i>Tabla 11- 3: Costo en equipamiento.</i>	392
<i>Tabla 11- 4: Costos del sistema de red contra incendio.</i>	393
<i>Tabla 11- 5: Costos de equipos para tratamiento de efluentes.</i>	393
<i>Tabla 11- 6: Costos en metanol dentro del circuito cerrado.</i>	393
<i>Tabla 11- 7: Costos en activos fijos.</i>	394
<i>Tabla 11- 8: Cálculo de amortización.</i>	395
<i>Tabla 11- 9: Costos de mano de obra.</i>	397
<i>Tabla 11- 10: Costos en mantenimiento.</i>	398
<i>Tabla 11- 11: Costo de las materias primas.</i>	399
<i>Tabla 11- 12: Costo de la energía eléctrica.</i>	399
<i>Tabla 11- 13: Costos del gas natural.</i>	400
<i>Tabla 11- 14: Costos del consumo de agua.</i>	400
<i>Tabla 11- 15: Resumen de costos del proyecto.</i>	400
<i>Tabla 11- 16: Ingresos debido al óxido de propileno.</i>	401
<i>Tabla 11- 17: Cálculo del periodo de recuperación.</i>	403
<i>Tabla 11- 18: Flujo de caja.</i>	405
<i>Tabla 11- 19: Datos para el cálculo del punto de equilibrio.</i>	406
<i>Tabla 11- 20: Punto de equilibrio.</i>	407
<i>Tabla 11- 21: Cálculos para la representación gráfica del punto de equilibrio.</i>	408
<i>Tabla 11- 22: Cálculos en la variación del precio del óxido de propileno.</i>	410
<i>Tabla 11- 23: Variación del precio del propileno.</i>	412

- Diagramas de flujo

<i>Diagrama de flujo 3- 1: Proceso HPPO, sección de reacción</i>	83
<i>Diagrama de flujo 3- 2: Proceso HPPO, sección de reacción</i>	84
<i>Diagrama de flujo 5- 1: Sistema de agua de enfriamiento</i>	167
<i>Diagrama de flujo 5- 2: Sistema de generación de vapor sobrecalentado.</i>	170
<i>Diagrama de flujo 5- 3: Circuito de aire para instrumento.</i>	174
<i>Diagrama de flujo 5- 4: Sistema de antorcha.</i>	177
<i>Diagrama de flujo 7- 1: Layout de la planta de óxido de propileno.</i>	236

1

Introducción

1. Introducción

1.1. Resumen ejecutivo

El proyecto detalla los fundamentos de una planta de producción de óxido de propileno en Bahía Blanca, Buenos Aires, mediante el proceso HPPO (Hydrogen peroxide propylene oxide). Esta ubicación estratégica en Argentina facilita la importación de materias primas y la exportación del producto final. La necesidad de producción local surge de la importación anual de 22.630 toneladas desde Brasil, destacando su uso en diversas industrias.

De acuerdo a los datos estudiados, los diferentes países del mundo han importado alrededor de 1.331.206 toneladas en 2.022. El óxido de propileno es esencial para múltiples productos químicos. El proyecto busca satisfacer la demanda interna, reducir importaciones y posicionar a Argentina en el mercado global del óxido de propileno.

La producción empleará el proceso HPPO por su eficiencia.

1.2. Introducción

En el presente proyecto, se detallan los fundamentos de una planta dedicada a la producción de óxido de propileno ubicada en la provincia de Buenos Aires, más precisamente en la ciudad de Bahía Blanca. La ubicación es preferida debido a la facilidad de importación de materias primas como así también, la de exportación de óxido de propileno.

El proceso que se lleva a cabo es el proceso HPPO (Hydrogen peroxide propylene oxide). Básicamente, consiste en la epoxidación del propileno con peróxido de hidrógeno, para la obtención del óxido de propileno, que luego de una serie de pasos de purificación, se obtiene con la pureza deseada.

En este capítulo, se mencionan los datos estudiados junto con su bibliografía para el análisis de mercado.

1.3. Producción de óxido de propileno: una oportunidad en Argentina

La necesidad de producir óxido de propileno en Argentina, se debe a que actualmente se importa un promedio anual de alrededor de 22.630 toneladas desde Brasil, siendo éste utilizado por diversas empresas en el país como materia prima, ya sea para la obtención de éteres glicólicos o polioxi propilénglicos, entre los más destacados. (Instituto Petroquímico Argentino IPA, 2022)

Si bien, la demanda nacional es clara, el óxido de propileno es un intermediario utilizado internacionalmente, y de acuerdo a los datos estadísticos de Trade Map, en el año 2022 diferentes países importaron un total de 1.331.206 toneladas, sin mencionar, la cantidad de óxido de propileno que se produce en los países y se consume en el mercado interno.

La exploración y explotación de vaca muerta en Argentina, juega un papel importante para el desarrollo de las empresas en la zona, ya que proporciona una gran variedad de hidrocarburos que pueden utilizarse como materias primas, fomentando el crecimiento de las empresas, como así también la creación de nuevos productos.

1.4. Óxido de propileno

El óxido de propileno (OP), también conocido como 2-metiloxirano, es un compuesto químico utilizado como intermediario para obtener una gran gama de productos, por lo que se

lo considera un compuesto muy versátil. Es un líquido incoloro volátil, de bajo punto de ebullición con un olor dulce característico similar al del éter. Es un compuesto inflamable y muy reactivo. (DOW, 2023)

A continuación, en la Tabla 1-1 se detallan las características generales del óxido de propileno.

Características generales	Detalle
Fórmula Molecular	C ₃ H ₆ O
Peso Molecular	58,08 gr/mol
Estado	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Dulce como el éter o benceno
Punto de fusión	-112°C
Punto de ebullición	35°C
Inflamabilidad	Líquido y vapores muy inflamables
Punto de inflamación	-38°C
Solubilidad en agua	425 gr/L
Presión de vapor	74 KPA a 25°C
Densidad relativa	0,83 a 20 °C

Tabla 1-1: Características generales del óxido de propileno. (Repsol, 2023)

Como se mencionó anteriormente, entre los compuestos que se producen a partir del óxido de propileno se encuentran los polioles poliéteres, que generalmente son usados en forma de espumas de poliuretano flexibles o rígidas, y también glicoles propilénicos, que se los utiliza como aditivos alimentario excipiente, en cosmética, anticongelate, etc. (Repsol, 2023)

A través de los datos del Anuario IPA, se puede realizar el siguiente Gráfico 1-1 con el destino del óxido de propileno.

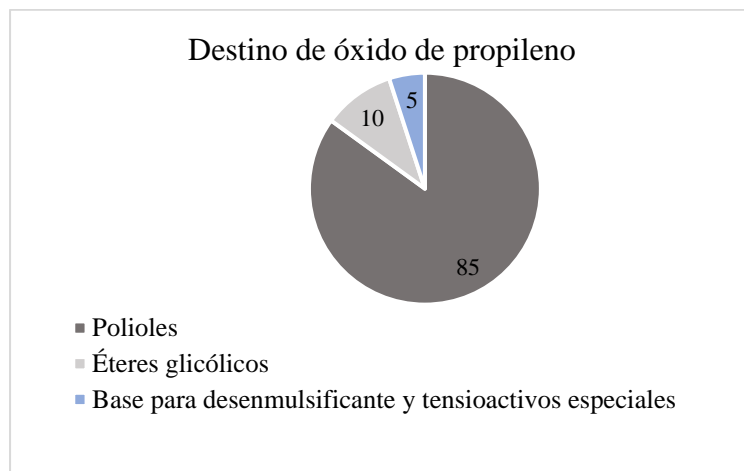


Gráfico 1-1: Destino del óxido de propileno en Argentina. (Instituto Petroquímico Argentino IPA, 2022)

Con respecto a la producción de óxido de propileno a partir de propileno, tiene distintas rutas posibles. El proceso más antiguo es el proceso de clorhidrina, el cual debido a que produce un gran volumen de subproductos que no tienen valor comercial, se está dejando de usar. Los procesos que más se están usando son los que utilizan peróxidos orgánicos, y el que está cobrando mayor importancia es el uso de peróxido de hidrogeno, ya que una de las principales ventajas es que se obtiene agua como subproducto.

Cabe destacar, qué, a diferencia de la epoxidación directa del etileno con oxígeno, aun no se ha logrado obtener rendimientos altos para el caso del propileno, por lo que todavía se están realizando investigaciones para lograr catalizadores y condiciones óptimas de reacción para que se lleve a cabo.

1.5. Bibliografía

DOW. (2023). *Óxido de propileno-DOW*. Obtenido de <https://www.dow.com/es-es/pdp.propylene-oxide.96760z.html#overview>

Instituto Petroquímico Argentino IPA. (2023). *Información estadística de la industria petroquímica y química de Argentina*. 43° Edición.

Repsol. (2023). *Óxido de propileno*. Obtenido de <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/oxido-propileno/index.cshtml>

2

Análisis de mercado

2. Análisis del Mercado

2.1. Resumen ejecutivo

El presente capítulo estudia la viabilidad de instalar una planta de producción de óxido de propileno, mediante el proceso HPPO (Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide), en la ciudad de Bahía Blanca, Buenos Aires. Esta tecnología convierte propileno y peróxido de hidrógeno en óxido de propileno, obteniendo agua como subproducto.

La alta demanda de óxido de propileno en Argentina, mayormente cubierta por importaciones desde Brasil es utilizada en la producción de éteres glicólicos y polioxi propilénglicos.

El análisis de mercado abarca oferta y demanda, evaluando materias primas como propileno, peróxido de hidrógeno y metanol. Destaca la producción nacional de propano como fuente de propileno. También analiza la competencia internacional y los principales consumidores en Argentina.

Bahía Blanca es una ubicación estratégica que facilita la importación de materias primas y la exportación del producto final.

Las proyecciones indican un aumento en la demanda de óxido de propileno, subrayando la necesidad de aumentar la producción local para reducir importaciones.

El análisis FODA revela fortalezas como la abundancia de materias primas y la ubicación estratégica de Bahía Blanca. Las debilidades incluyen la dependencia tecnológica y la inversión necesaria en investigación. Las oportunidades se centran en el crecimiento del mercado interno y la exportación, mientras que las amenazas consideran la fluctuación de precios de materias primas y la competencia internacional.

En conclusión, la instalación de una planta en Bahía Blanca es viable y estratégica, permitiendo reducir importaciones y aprovechar recursos locales, con proyecciones de demanda y análisis de mercado que respaldan la inversión en este proyecto.

2.2. Introducción

A continuación, se describe el estudio de mercado, el cual proporciona información de gran importancia y permite obtener conclusiones generales sobre la viabilidad de un proyecto, basándose en datos estadístico durante los últimos años, analizando tanto la oferta como la demanda de las materias primas utilizadas y los productos a obtener, sin dejar de lado la información sobre los compradores y proveedores.

También, brinda indicadores de la disponibilidad y de la cercanía de las materias primas, futuros competidores ya sea a nivel nacional o internacional, como así también, futuros compradores, entre otras cosas.

El siguiente análisis no se limita al estudio solamente nacional, ya que es importante contemplar empresas externas que pueden influir para la viabilidad del proyecto.

A su vez, mediante el análisis de los respectivos datos, se permite predecir posibles tendencias de los mercados, que ayudan a la hora de definir aspectos importantes como, por ejemplo, el módulo de producción en el cual se basará el proyecto.

Para comenzar el estudio de mercado, es necesario mencionar que para la producción de óxido de propileno a través del proceso HPPO se utilizan como materias primas fundamentales el propileno y peróxido de hidrógeno, y como solvente se utiliza metanol. De este proceso, se destaca que el único subproducto en gran cantidad que se obtiene es agua.

2.3. Objetivos del estudio de mercado

A continuación, se establecerán las bases, y las incógnitas que se desean responder con el estudio de mercado, para obtener una mayor claridad sobre los aspectos básicos del mercado de óxido de propileno.

Entre los objetivos del estudio de mercado se encuentran:

- Analizar la necesidad del óxido de propileno, teniendo en cuenta la producción local y/o las importaciones.
- Determinar la disponibilidad de las materias primas fundamentales para el proceso.
- Identificar los competidores nacionales e internacionales en caso de ser necesario.

- Obtener estimaciones y proyecciones a futuro de la demanda, que permitan analizar la viabilidad del proyecto.
- Establecer un módulo de producción.
- Realizar un análisis FODA.
- Establecer conclusiones que sirvan de base para la justificación del proyecto.

2.4. Mercado proveedor

El mercado proveedor es el conjunto de empresas que en el futuro proporcionarán los insumos necesarios para llevar a cabo el proyecto, y lograr la obtención del óxido de propileno.

Por lo tanto, este análisis proporciona información de la disponibilidad de las materias primas.

En el presente proyecto, se incluyen las siguientes materias primas: propileno, peróxido de hidrógeno y metanol. Por lo tanto, se evaluará la disponibilidad de las mismas a nivel nacional como internacional.

2.4.1. Propileno como materia prima

Actualmente, son muchas las empresas que se dedican a la obtención de distintos derivados del petróleo a lo largo del país.

El propileno se obtiene de diferentes formas, y unas de ellas es utilizando como materia prima propano. A través de la deshidrogenación del mismo, se obtiene la doble ligadura, que le proporciona que sea mucho más reactivo.

En la Tabla 2-1 se muestran las diferentes empresas que se dedican a la obtención de propano a partir de líquidos de gas natural.

Tanto el propano, como el metano, etano y butano son materias primas esenciales y abundante en Argentina, muy utilizados como compuestos de partidas para obtener una gran gama de productos.

Producción de propano (t) en Argentina								
Año	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022
Obtenidos a partir de líquidos de gas natural								
Pampa Energía (incluye Petrol, Entre Lomas)	21.435	14.820	13.381	0	0	0	0	0
Total, Austral	0	0	0	38.810	109.864	109.397	100.878	110.428
YPF S.A.	14.657	4.750	5.081	13.960	27.085	87.437	64.665	75.118
TGS	312.339	319.077	313.403	316.989	367.283	402.532	390.930	398.900
Mega	318.612	392.608	407.760	431.986	484.230	472.168	461.170	555.710
Refinor	176.693	128.246	114.103	116.228	53.167	17.259	18.064	34.924
Otros	81.193	93.744	88.253	74.217	53.609	43.847	51.838	49.454
Propano (no fraccionado) en LPG obtenido de gas natural (60%)	39.508	38.011	38.561	33.836	28.263	23.462	31.103	25.523
Subtotal a partir de gas natural	964.437	991.256	980.542	975.817	970.224	1.156.102	1.118.648	1.250.057
Obtenidos en refinerías y petroquímicas	170.024	215.715	226.400	234.136	247.734	194.332	251.728	224.826
Total, país	1,13x10 ⁶	1,2x10 ⁶	1,2x10 ⁶	1,2x10 ⁶	1,2x10 ⁶	1,35x10 ⁶	1,37x10 ⁶	1.47x10 ⁶

Tabla 2-1: Producción de propano en toneladas a través del tiempo a partir de líquidos de gas natural en Argentina. (Instituto Petroquímico Argentino IPA, 2023)

En la Tabla 2-2 se detalla la cantidad de propano que se ha destinado a cada área en los últimos años.

Se destacan estos datos de propano, ya que varias empresas en Argentina, como Pampa Energía e YPF SA, lo utilizan como materia prima, para obtener alquenos intermediarios utilizados en procesos posteriores. El propileno producido es consumido en el mercado interno en Argentina para producir productos como polipropileno, propilenglicol, entre otros.

Destino de la producción de propano (t) en Argentina								
Año	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022
Producción	1.134.461	1.206.971	1.206.942	1.260.162	1.367.626	1.364.953	1.399.535	1.474.883
Consumo petroquímico	119.689	49.685	74.800	74.421	39.665	35.000	68.821	53.679
Consumo como combustible	677.129	661.009	665.119	694.336	838.713	838.365	829.750	920.208
Exportación	493.604	496.277	467.023	515.894	618.902	578.094	487.521	487.521
Exportación como LPG	29.499	25.778	24.045	23.949	23.806	16.401	16.850	16.882
Exportación total	517.229	522.055	491.068	491.945	491.945	491.945	504.371	504.403
Importación	2	36.667	14.113	540	2.697	357	9.640	3.407
Precio medio exportación (FOB US\$/t)	287	270	419	529	320	271	536	585
LPG indiluido distribuido por redes	108.729	75.125	38.845	69.817	61.300	51.000	47.514	74.668

Tabla 2-2: Destino de la producción de propano en Argentina. (Instituto Petroquímico Argentino IPA, 2023)

Enfatizando un poco más en el mercado del propileno, a continuación, en la Tabla 2-3, se observan los datos de producción y destino del propileno proporcionado por el IPA del 2.023.

Producción y destino de propileno en Argentina (t)									
Año	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Promedio
Producción en refinerías	292.059	288.805	282.630	290.372	280.852	192.466	288.854	302.097	277.267
Producción en petroquímicas	36.912	46.649	41.544	39.356	19.867	13.360	36.715	44.474	34.860
Producción total	328.971	335.454	324.174	329.908	300.719	205.826	325.569	346.571	312.149
Importación	-	-	-	-	562	600	2.007	5.111	2.070
Consumo petroquímico	317.463	310.629	304.637	297.305	269.620	198.339	288.094	301.384	285.934
Usos como combustibles y otros destinos	11.507	24.826	19.537	32.603	31.099	7.487	37.475	45.187	26.215

Tabla 2-3: Producción y destino de propileno en Argentina en toneladas. (Instituto Petroquímico Argentino IPA, 2023)

Como se puede observar, el propileno tiene una producción relativamente constante en Argentina, con un promedio de 270.000 toneladas en refinerías y 35.000 toneladas en petroquímicas. Sumando en total un valor mayor a 300.000 toneladas anuales. La mayor cantidad del mismo, se lo destina al consumo petroquímico, aunque una pequeña porción se lo utiliza como combustibles y otros destinos.

Con respecto a la importación, es muy poca la cantidad, ya que la mayoría de las empresas producen la cantidad de propileno de acuerdo a la demanda actual del mercado nacional, es por eso que no se cuentan con valores de precios de toneladas de propileno para su comercialización interna. Como consecuencia de este consumo, tampoco se tienen indicios de exportaciones del mismo.

Hoy en día, se lo considera un intermediario de gran importancia y que, a su vez, en un futuro podría aumentar, debido a la accesibilidad y bajo costo del propano.

Como consecuencia, también se estudia el mercado internacional del propileno, para analizar su posible importación hacia la Argentina.

De acuerdo a los datos estadísticos de Trade Map, en la Tabla 2-4 se visualizan los países de América que importan una cantidad de propileno similar a la necesidad de este proyecto, junto con su valor por tonelada.

Países importadores de propileno desde Estados Unidos										
Colombia										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom.
Dól/Ton	1.475	850	780	988	1.227	888	763	1.578	1.221	1.086
Ton	308.818	361.791	329.025	309.040	327.660	303.550	348.473	380.666	334.806	333.759
Mil dól	455.506	307.569	256.588	305.201	401.980	269.418	265.938	600.572	408.865	363.515
México										
Dól/Ton	-	870	903	1.037	1.120	964	789	1.736	1.105	1.066
Ton	-	64.639	187.136	263.784	309.937	285.810	292.155	119.834	160.563	210.482
Mil dól	-	56.211	168.942	273.512	347.074	275.482	230.603	208.023	177.441	217.161

Tabla 2-4: Datos estadísticos de países importadores de propileno desde Estados Unidos. (International Trade Centre, 2023)

Es importante mencionar, que solamente se tomaron en cuenta los valores de importación desde Estados Unidos, ya que es el principal proveedor en América. Los dos países que

mayor cantidad de propileno importan desde Estados Unidos, son países de América, es decir, Colombia y México.

Estados Unidos también provee de propileno a otros países de Europa. En la Tabla 2-5, se indican las cantidades de toneladas totales exportadas por Estados Unidos al mundo. Se observa un promedio anual de exportación de aproximadamente de 511.000 toneladas.

Toneladas de propileno exportadas por Estados Unidos										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom.
Ton	99.152	273.656	434.761	565.068	610.054	842.352	784.278	436.482	553.799	511.067

Tabla 2-5: Toneladas de propileno exportadas por Estados Unidos. (International Trade Centre, 2023)

A su vez, es clave aclarar, que la cantidad de propileno importada en estos países, es muy similar a la cantidad que se estima necesaria para llevar a cabo este proyecto. Es por eso, que las estadísticas de estos países, resultan representativos y de suma importancia, al comparar y analizar la importación de propileno hacia la Argentina desde Estados Unidos.

Lo anteriormente mencionado se fundamenta en datos estadísticos que, mientras menos sea la cantidad de toneladas de propileno importado, el precio por tonelada aumenta entre 5 hasta 8 veces más su valor, ya sea por el transporte u otros factores. Es por esto, que estos últimos casos, no son tenidos en cuenta, ya que son datos que no se pueden interpolar ni tomar de referencia, ya que se desvían mucho de la realidad.

En conclusión, debido a la cercanía y a la cantidad de toneladas importadas por Colombia desde Estados Unidos, se utiliza un promedio de precio durante los últimos años, para poder estimar el valor de tonelada de propileno.

Es decir, para el presente proyecto, se toma de referencia el precio de 1085 dólares la tonelada de propileno.

Para tener en cuenta, la posibilidad de que las empresas nacionales aumenten su producción de propileno, y puedan proveer la cantidad para abastecer la producción de óxido de propileno, seguramente garantizará un precio más bajo con respecto a los gastos de transporte e impuesto al importar.

2.4.2. Peróxido de hidrógeno

Otra de las materias primas utilizada, es el peróxido de hidrógeno. Existe la posibilidad, que el peróxido de hidrógeno se pueda producir in situ para que sea utilizado en el proceso HPPO, aunque también se analiza su disponibilidad en el mercado tanto nacional como internacional.

Actualmente, en Argentina la empresa Atanor S.C.A. produce peróxido de hidrógeno, entre otros compuestos. La misma posee una capacidad de producción de 14.400 toneladas al año. En la Tabla 2-6 se indica la producción de la misma en el transcurso del tiempo.

Producción de peróxido de hidrógeno en Argentina		
Empresa productora de peróxido de hidrógeno	Año	Producción
Atanor S.C.A. Localizada en Río Tercero (Córdoba) Capacidad de producción de 14.400 ton/año	2.014	11.900
	2.015	11.943
	2.016	10.523
	2.017	10.375
	2.018	11.120
	2.019	9.879
	2.020	10.002
	2.021	11.319
	2.022	10.515

Tabla 2-6: Producción de peróxido de hidrógeno en Argentina. (Instituto Petroquímico Argentino IPA, 2023)

Con estos datos, se observa que el peróxido de hidrógeno es una materia prima consumida en el país, que además de producirse, se importa gran parte de esta.

En la siguiente Tabla 2-7, se muestran los datos de importación desde Brasil obtenidos desde Trade Map.

Cinco países más importadores de peróxido de hidrógeno desde Brasil											
País	Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom.
Chile	Dól/Ton	500	513	504	457	439	408	333	304	422	431
	Ton	32.675	38.698	27.793	45.079	24.711	34.868	54.207	47.946	54.069	40.005
Argentina	Dól/Ton	491	492	501	461	458	474	457	449	514	477
	Ton	23.208	19.570	19.327	20.996	19.096	19.596	23.980	29.680	28.207	22.629
Perú	Dól/Ton	409	412	416	404	418	456	420	416	569	436
	Ton	10.427	16.374	23.528	28.733	30.015	17.958	19.944	24.553	25.366	21.878
Ecuador	Dól/Ton	480	518	553	533	573	558	449	558	698	547
	Ton	3.523	3.861	4.071	4.263	10.502	3.173	7.516	19.383	15.311	7.956
Colombia	Dól/Ton	488	517	515	469	469	453	444	435	500	477
	Ton	7.910	11.770	12.694	8.371	13.626	18.255	17.022	16.264	12.888	13.200

Tabla 2-7: Países importadores de peróxido de hidrógeno desde Brasil. (International Trade Centre, 2023)

Como se observa, Argentina es el segundo país que más cantidad de peróxido de hidrógeno a importado desde Brasil, dónde el último año importó alrededor de 28.0000 toneladas.

De acuerdo a los datos analizados, se establece que el peróxido de hidrógeno se puede obtener de la empresa productora nacional, siempre y cuando, aumente su producción.

Aunque también se puede obtener desde Brasil, ya que es el mayor proveedor en América del sur.

Con respecto al precio, se tomará como referencia, el promedio del valor de los últimos años en la importación de Argentina. Es decir, se establecerá un precio de compra de 477 dólares por tonelada de peróxido de hidrógeno.

2.4.3. Metanol

Si bien, el metanol no es un reactivo, es decir, no se consume en la formación del óxido de propileno, es utilizado como solvente para que se lleve a cabo a la reacción. El mismo, se recupera casi al 100% luego de la purificación del óxido de propileno.

El metanol es producido por dos empresas en Argentina, con diferentes capacidades de producción. En la Tabla 2-8 se observan los datos anteriormente mencionados, como así también el precio de importación y exportación.

Producción de metanol en Argentina						
Año	Producción (t)	Importación (t)	Exportación (t)	Consumo aparente (t)	Precio de importación (dól/t)	Precio de exportación (dól/t)
2.014	402.622	9.869	78.667	333.824	556	431
2.015	425.043	93	152.713	272.423	-	295
2.016	389.031	31.249	7.695	412.585	294	324
2.017	350.990	74.743	5.826	419.907	338	426
2.018	472.337	9.962	99.012	383.287	444	410
2.019	456.430	14.734	116.966	354.198	385	254
2.020	223.521	88.249	56.466	255.304	282	254
2.021	376.764	5.096	97.121	284.739	555	352
2.022	422.389	15.122	20.728	416.783	447	439
Promedio	391.014	27.680	70.577	348.117	413	354
Productor		Localización		Capacidad instalada	Proceso	Materias primas
YPF S.A.		P. Huincul- Neuquén		411.000 t/a	Lurgi	Gas natural
Arauco Argentina S.A.- División Química		Pto. Gral. San Martín (Sta. Fe)		50.000 t/a	Lurgi	Gas natural

Tabla 2-8: Producción de metanol en Argentina. (International Trade Centre, 2023)

Estos datos sirven de referencia para el mercado nacional del metanol. Pero a su vez, es necesario, invocar datos internacionales, para obtener una mayor visualización de este sector del mercado.

La mayor parte del porcentaje de importación de metanol de la Tabla 2-8, proviene de Chile. Por lo tanto, a continuación, en la Tabla 2-9 se representan los datos estadísticos extraídos de Trade Map.

Países importadores de metanol desde Chile										
Brasil										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom.
Dól/Ton	580	339	223	353	423	345	279	489	557	399
Ton	11.226	74.042	369.218	371.328	431.169	601.617	584.278	514.349	606.646	395.986
China										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom.
Dól/Ton	-	-	-	-	312	211	183	318	316	268
Ton	-	-	-	-	44.481	229.394	252.753	105.317	148.089	156.007
Corea										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom.
Dól/Ton						240			292	266
Ton	-	-	-	-	-	20.897	-	-	97.073	58.985
Argentina										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom.
Dól/Ton	327	137	144	385	380	305	547	493	381	344
Ton	114.393	78.467	33.971	17.700	7.315	4.400	2.894	5.008	15.025	31.019

Tabla 2-9: Países importadores de metanol desde Chile. (International Trade Centre, 2023)

Por lo tanto, en esta última tabla se observa que Chile tiene gran capacidad de exportación, abasteciendo a diferentes países.

Finalmente, el precio de la tonelada de metanol, se establecerá de acuerdo a un promedio de los valores de importación aportado por las dos bibliografías, es decir, por el Instituto Petrolero Argentino (IPA) y por la página de Trade Map. De esta forma, queda definido el valor de 378 dólares la tonelada de metanol.

Por lo tanto, cabe la posibilidad de abastecerse de metanol de las productoras nacionales, o de lo contrario, se puede importar desde Chile. Es por eso que se establece ese precio por tonelada.

2.5. Mercado competidor

Se habla de un mercado competitivo, cuando se encuentran un sector de muchos compradores y vendedores, por lo que cada uno de ellos ejerce una influencia insignificante en el precio del mercado. Debido a esto, los vendedores controlan en un grado muy limitado el precio, ya que hay productos similares en el mercado.

Para este inciso, se analizará el óxido de propileno, que es el producto principal del proyecto.

2.5.1. Productor de óxido de propileno

Actualmente no hay productores de óxido de propileno en Argentina, por lo que se importa desde Brasil, siendo la empresa DOW BRASIL, la que importa la mayor parte del mismo a los países de Latinoamérica.

Por lo tanto, para la producción de óxido de propileno no se consideran competidores a nivel nacional, ya que no se produce en Argentina. Por lo que es necesario realizar un estudio de mercado a nivel latinoamericano, considerando la empresa DOW BRASIL, que cuenta con una planta con una capacidad para producir 235.000 toneladas por año.

En la Tabla 2-10 se muestran la cantidad de óxido de propileno exportada por Brasil durante los últimos años a diferentes países.

Toneladas de óxido de propileno exportadas por Brasil											
Países	2.013	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom.
Argentina	21.133	23.968	29.396	21.474	26.895	22.444	19.715	20.319	22.213	18.745	22.630,2
Países Bajos	-	-	11.058	14.464	11.656	8.725	6.358	-	-	1.004	8.877,5
R. de Corea	2.099	4.999	-	-	8.171	2.596	-	-	-	-	4.466,25
China	2.099	-	-	4.002	4.058	-	-	-	-	-	3.386,33
Estados Unidos	-	2.523	2.902	3.000	-	-	-	-	0	1.009	1.886,8
Otros	1.087	-	-	-	-	-	-	-	46	16	383
Total	26.418	31.491	43.357	42.941	50.782	33.765	26.074	20.319	22.259	20.774	31.818

Tabla 2-10: Cantidad de toneladas de óxido de propileno exportadas por Brasil.

(International Trade Centre, 2023)

En el Gráfico 2-1, se representan los datos de la Tabla 2-5, que permite una mejor interpretación de los datos.

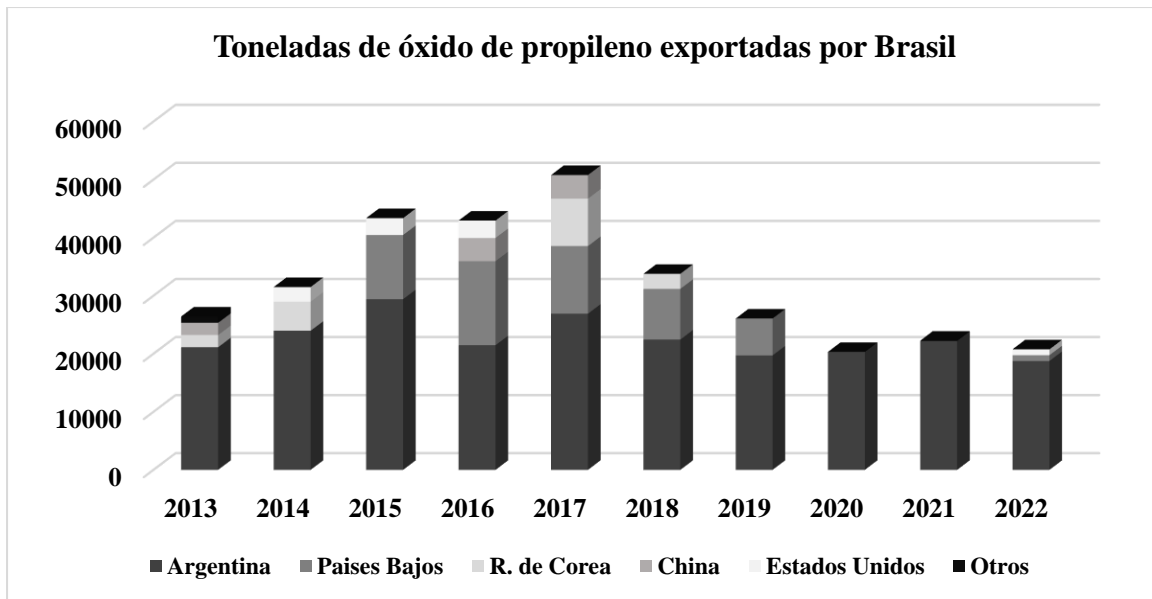


Gráfico 2-1: Representación de toneladas de óxido de propileno que Brasil exportó en los últimos años a cada país. (International Trade Centre, 2023)

Como se observa en las distintas columnas, el color verde representa las toneladas de óxido de propileno que Brasil le exporta a Argentina, siendo Argentina su principal comprador.

Como no hay ningún productor de óxido de propileno a nivel nacional, y Brasil es el único productor en Latino América, resulta ser beneficiosa la instalación de la empresa en Argentina para satisfacer dicha demanda actual.

Por otro lado, como también se buscará abarcar parte de la cuota del mercado internacional, de forma de lograr una producción a escala similar a la capacidad de plantas en el mundo actualmente instaladas, por lo que Brasil será el máximo competidor.

2.6. Mercado consumidor

El mercado consumidor se refiere a los compradores que adquieren los bienes y servicios, en este caso, serían los consumidores de óxido de propileno.

2.6.1. Consumo de óxido de propileno

Como se mencionó anteriormente, en Argentina no hay producción de óxido de propileno, por lo que en el año 2.021 y 2.022 se importaron aproximadamente 22.213 y 18.745

toneladas desde Brasil. El destino de éste, principalmente es para la producción de éteres glicólicos (generalmente utilizados para productos de limpieza y pinturas) y la producción de polioxi propilenglicoles el cual tiene un amplio uso en diversos sectores, como farmacéutica, entre otros.

En la Tabla 2-11, se describen las empresas que utilizan el óxido de propileno como materia prima en Argentina.

Empresas consumidoras de óxido de propileno en Argentina				
Empresa	Producción de	Localidad	Capacidad (Ton/año)	Proceso
BASF Poliuretanos	Polioxi propilenglicoles	Burzaco (Buenos Aires)	4.100	-
PBBPolisur S.A.	Polioxi propilenglicoles	Pto. Gral. San Martin (Santa Fe)	44.000	Dow continuo
PBBPolisur S.A.	Éteres Glicoles	Pto. Gral. San Martin (Santa Fe)	6.900	Dow

Tabla 2-11: Empresas consumidoras de óxido de propileno en Argentina. (Instituto Petroquímico Argentino IPA, 2023)

Por otro lado, con los datos de la Tabla 2-11, se construye la Gráfica 2-2, mostrando el consumo de óxido de propileno los últimos 10 años, lo cual servirá de gran ayuda, debido a que muestra la evolución del mismo con el tiempo.

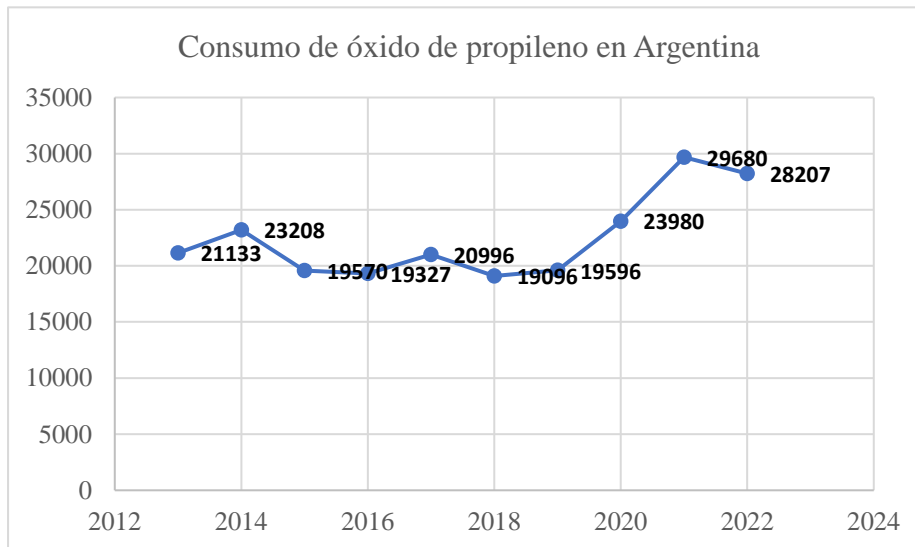


Gráfico 2-2: Cantidad de óxido de propileno importada en el período 2.013-2.022 en Argentina. (International Trade Centre, 2023)

Como se observa en este gráfico, los puntos no siguen una clásica ecuación lineal, por lo que no se aprecia una tendencia clara de disminución o aumento del consumo del mismo.

De todas formas, se obtiene una curva de tendencia, la cual, si bien es negativa, no es una tendencia rigurosa y estricta, debido a que los datos son muy variados. Por lo tanto, se estableció un promedio del consumo de los últimos 10 años, equivalente a 22.630 toneladas al año, valor que sirve de referencia para establecer un consumo promedio anual en Argentina.

Por otro lado, no sólo se abarcará el mercado local, sino que también el mercado internacional, de esta forma, la producción será mayor, y se logrará disminuir costos a largo plazo, y ser más competitivos. Es por esto, que a continuación se evaluaron distintos mercados a proveer de óxido de propileno.

En la Tabla 2-12, se muestran los datos de importación de óxido de propileno en América.

Importadores de óxido de propileno en América											
País	Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom.
Argentina	Dól/Ton	1.749	1.630	1.117	1.180	1.446	1.646	1.306	1.495	2.036	1.512
	Ton	23.968	29.396	21.474	26.89 6	22.44 4	19.70 7	20.31 9	21.06 2	18.08 9	22.595
	Miles Dól	41.922	47.929	23.995	31.72 4	32.45 8	32.44 4	26.53 1	31.49 8	36.83 0	33.926
Colombia	Dól/Ton	1.934	1.555	1.120	1.379	1.685	1.280	1.083	1.845	2.000	1.542
	Ton	13.936	13.277	15.784	18.25 9	18.93 9	19.20 5	15.68 6	21.99 8	20.18 3	17.474
	Miles Dól	26.948	20.652	17.674	25.18 0	31.91 4	24.57 8	16.99 2	40.58 0	40.37 3	27.210
México	Dól/Ton	1.852	1.350	1.189	1.345	1.642	1.528	1.390	1.945	1.771	1.557
	Ton	43.055	42.393	47.401	44.76 1	46.59 2	39.69 1	33.54 7	25.39 7	27.99 9	38.982
	Miles Dól	79.758	57.246	56.369	60.20 9	76.52 6	60.63 9	46.63 7	49.39 0	49.59 1	59.596
Estados Unidos	Dól/Ton	-	-	522	-	1.807	911	1.636	-	1.758	1.327
	Ton	-	6.051	3.003	0	3.500	45	11	0	11.62 7	3.030
	Miles Dól	19	12.190	1.568	0	6.325	41	18	11	20.44 6	4.513
Brasil	Dól/Ton	2.236	1.949	1.109	-	2.235	3.313	1.374	1.992	2.317	2.066
	Ton	3.519	2.121	2.494	0	17	32	4.362	15.51 3	3.019	3.453
	Miles Dól	7.868	4.133	2.765	7	38	106	5.992	30.89 5	6.994	6.533

Tabla 2-12: Importadores de óxido de propileno en América. (International Trade Centre, 2023)

Como se observa, en el último año en América del Sur, se importó aproximadamente 80.000 toneladas, por lo que, es un buen indicio de que el óxido de propileno es una materia prima muy utilizada y demandada en el mundo.

A su vez, en la Tabla 2-13, se muestran los datos de los cuatro países más importadores de óxido de propileno del mundo.

Países más importadores óxido de propileno del mundo										
China										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom
Dól/Ton	1.843	1.486	1.075	1.147	1.398	1.154	1.234	2.064	1.399	1.422
Ton	456.463	261.143	299.597	232.547	281.866	473.937	470.463	433.767	304.229	357.112
Miles Dól	841.480	388.110	321.949	266.740	393.956	546.987	580.644	895.506	425.677	517.894
Países bajos										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom
Dól/Ton	1.796	1.304	1.064	1.140	1.332	1.201	959	1.098	1.303	1.244
Ton	422.431	504.898	369.227	401.703	368.314	423.873	291.340	328.341	256.806	374.104
Miles Dól	758.514	658.486	392.717	457.749	490.437	509.218	279.397	360.675	334.647	471.316
Bélgica										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom
Dól/Ton	1.781	1.359	1.162	1.293	1.499	1.398	1.277	1.605	1.854	1.470
Ton	247.286	263.849	266.119	281.562	261.505	294.290	249.942	237.225	256.729	262.056
Miles Dól	440.380	358.467	309.289	364.179	392.005	411.402	319.169	380.800	475.870	383.507
Alemania										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom
Dól/Ton	1.875	1.348	1.052	1.124	1.266	1.362	1.381	1.614	2.033	1.451
Ton	243.737	216.385	204.889	211.220	180.414	172.995	171.393	198.618	170.973	196.736
Miles Dól	457.117	291.725	215.494	237.400	228.456	235.597	236.705	320.505	347.574	285.619

Tabla 2-13: Países más importadores de óxido de propileno del mundo. (International Trade Centre, 2023)

Como se visualiza en esta tabla, existe un consumo masivo de óxido de propileno en el mundo, y es un mercado que se puede explotar ampliamente.

Para poder definir el valor de la tonelada de óxido de propileno, se hace un promedio entre el precio por tonelada en el último año de los países de América de la Tabla 2-12, ya que se consideran los datos más representativos para la venta de óxido de propileno. Se tomará de referencia el valor de 1.475 dólares la tonelada de óxido de propileno.

2.7. Demanda

2.7.1. Mercado de óxido de propileno

Como ya se mencionó antes, al no haber presencia de empresas ubicadas en Argentina que produzcan óxido de propileno, éste se debe importar.

Como todos los años hay consumo de estos productos, y como existen empresas en Argentina y en el mundo, que hacen uso del mismo, se concluye que es una materia prima que se seguirá utilizando por años, ya que los productos obtenidos con la misma, son ampliamente explotados.

2.7.2. Análisis de la variación del consumo de óxido de propileno

Anteriormente, ya se analizó y evaluó el consumo de óxido de propileno a través del tiempo en Argentina, considerando que tiene valores que no permiten obtener una tendencia clara de la misma.

Lo que se evalúa a continuación, es el desempeño de las empresas consumidoras del óxido de propileno en el país para la producción de polioxi propilenglicoles y éteres glicoles, con el objetivo de detectar algún tipo de anomalía en los datos, o hecho anormal, que haya perturbado de manera brusca o directa la producción de las mismas.

Para realizar un análisis más eficaz a continuación se detallan en la Tabla 2-14 y 2-15 los datos de producción de las empresas ya mencionadas.

Polioxi propilenglicoles en Argentina				
Año	Producción	Importación	Exportación	Consumo aparente
2.013	26.729	27.245	3.081	50.893
2.014	26.738	23.066	6.716	44.088
2.015	35.734	29.185	5.650	59.269
2.016	22.988	22.015	7.026	37.977
2.017	25.000	29.219	8.161	46.058
2.018	21.400	25.368	4.392	42.376
2.019	21.141	20.411	4.810	36.742
2.020	26.771	23.692	4.441	46.022
2.021	28.000	31.452	2.920	56.532
2.022	16.500	38.430	2.262	52.668
Promedio	25.100,1	27.008,3	4.945,9	47.262,5

Tabla 2-14: Toneladas de polioxi propilenglicoles en Argentina. (Instituto Petroquímico Argentino IPA, 2023)

En el Gráfico 2-3, se plasman los datos de consumo aparente de Argentina de polioxi propilenglicoles.

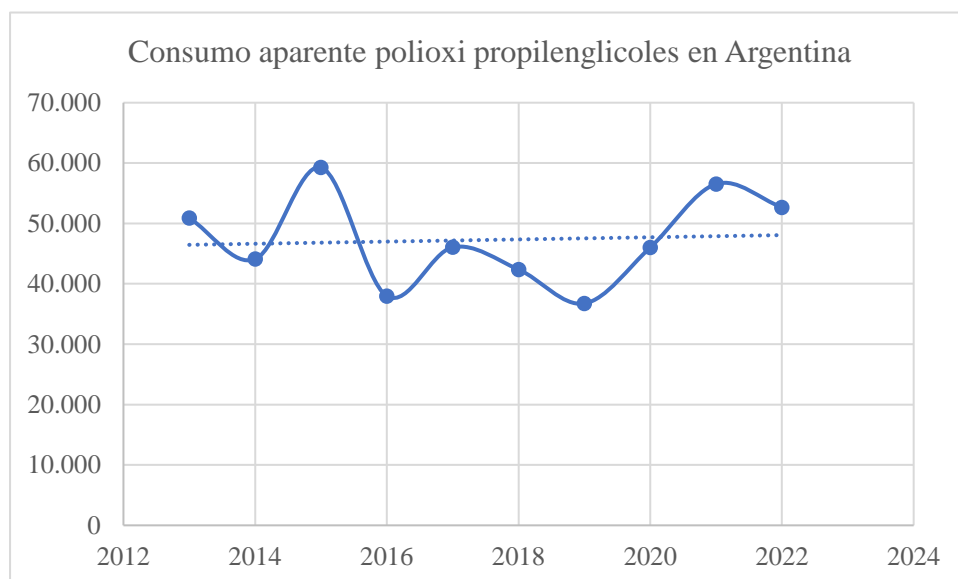


Gráfico 2-3: Consumo aparente de polioxi propilenglicoles en Argentina. (International Trade Centre, 2023)

Como se observa, existe un consumo aparente constante, con una línea de tendencia relativamente constante, y un valor promedio de 47.000 toneladas anuales.

En la Tabla 2-15, se pueden ver los datos de éteres glicólicos en Argentina, tanto su producción, como su consumo aparente.

Éteres glicólicos en Argentina				
Año	Producción	Importación	Exportación	Consumo aparente
2.013	6.478	8.253	2.842	11.889
2.014	5.784	7.040	1.035	11.789
2.015	4.409	8.125	2.079	10.455
2.016	6.919	7.753	2.293	12.379
2.017	5.500	7.504	2.642	10.362
2.018	5.400	7.624	2.018	11.006
2.019	4.588	7.262	2.818	9.032
2.020	4.221	7.768	2.729	9.260
2.021	2.800	7.745	1.416	9.129
2.022	4.484	6.424	2.100	8.808
Promedio	5.058,3	7.549,8	2.197,2	10.410,9

Tabla 2-15: Toneladas de éteres glicólicos en Argentina. (Instituto Petroquímico Argentino IPA, 2023)

Se estima una producción promedio anual de 10.000 toneladas de éteres glicólicos en Argentina.

Si bien se observan variaciones en los datos de las empresas que utilizan óxido de propileno en Argentina, son empresas que se han mantenido en producción en estos años.

Cabe mencionar, que es inevitable desligar estas variaciones del enfoque político del país. Es decir, los cambios de políticas o la falta de estas, afectan directamente en el mercado de las empresas. Por lo tanto, las variaciones pueden estar asociadas, en cierta medida, a las políticas vigentes que, según sus objetivos y proyectos para el crecimiento y desarrollo del país, puede afectar positiva o negativamente el fortalecimiento de esta industria.

Por lo tanto, las variaciones bruscas se asocian a las decisiones políticas, y diferentes maneras de plantear los años venideros. En consecuencia, se producen cambios en la producción de las empresas del país, y en algunos casos se vuelven poco predecible.

Debido a lo antes mencionado, desde el punto de vista industrial y económico, se producen estas variaciones y dientes de sierra en el de consumo de óxido de propileno, que se observan en el Gráfico 2-2, lo cual provoca una inestabilidad en el mercado, que conlleva una incertidumbre en el desarrollo de las empresas.

A modo de conclusión, se puede establecer que los datos del consumo de óxido de propileno son de gran importancia a la hora de realizar el estudio del mercado, ya que, si no hay demanda, no hay a quien vender el producto. Claramente hay variaciones del consumo, pero éste se mantiene en un valor por arriba de las 18000 Ton/año y menor a 30000 Ton/ año en Argentina, por lo que es un indicador fuerte, de que cada año hay consumo del mismo, indicando necesidad de esta materia prima.

2.8. Proyecciones del consumo de óxido de propileno

En el Gráfico 2-4 se realizó un pronóstico a 10 años del consumo de óxido de propileno en Argentina, en base a los datos mencionados en el Gráfico 2-2. Se observa una pendiente positiva de la proyección del consumo de óxido de propileno en Argentina, por lo que es un indicio interesante a tener en cuenta, ya que se interpreta como el aumento de consumo del mismo a través de los años venideros.

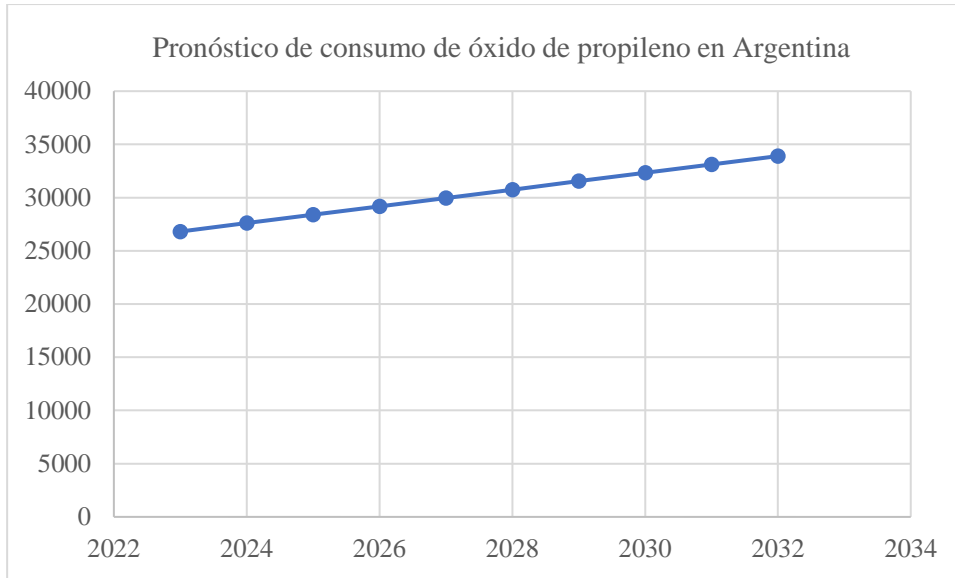


Gráfico 2-4: Proyección del consumo de óxido de propileno en Argentina.

Por otro lado, con la ayuda de la cantidad de toneladas de importaciones anuales en el mundo, mostradas en la Tabla 2-16, también se hace una proyección de las toneladas importadas totales a nivel mundial, lo que se observa en el Gráfico 2-5.

Toneladas de óxido de propileno importadas en el mundo										
Año	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	Prom.
Ton	1.846.812	1.746.323	1.668.305	1.645.090	1.587.906	1.735.894	1.549.345	1.578.253	1.331.206	1.632.126

Tabla 2-16: Toneladas de óxido de propileno importadas en el mundo. (International Trade Centre, 2023)

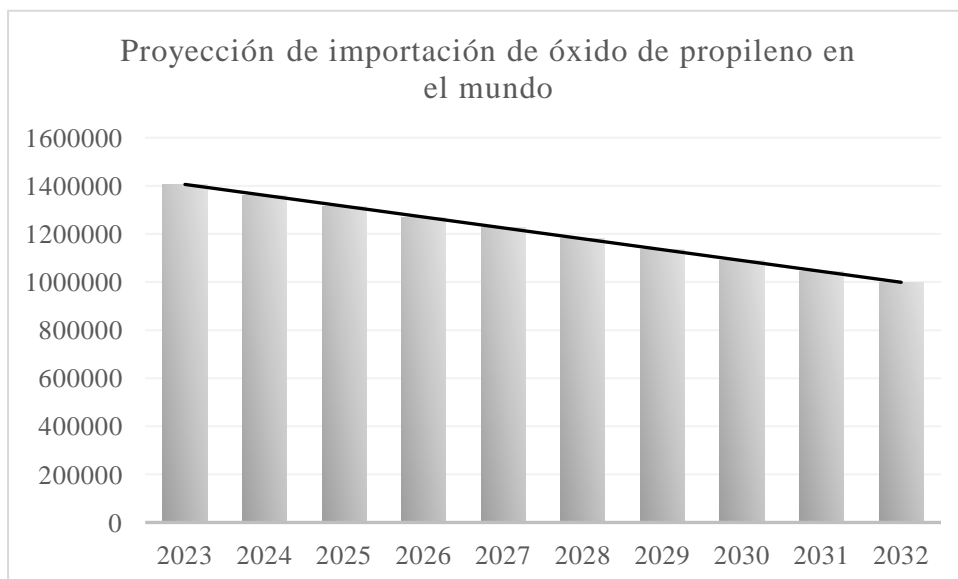


Gráfico 2-5: Proyección de importación de óxido de propileno en el mundo.

Como se puede ver, las proyecciones de importación en el mundo rondan al valor de 1.000.000 de toneladas al año.

En conclusión, el óxido de propileno es muy utilizado en Argentina y en el resto del mundo para obtener diversos productos, y se seguirá utilizando en el futuro. Es por esto que la empresa se dedicará a satisfacer la demanda actual y parte de la importación de otros países en el mundo, para que, de esta forma, se deje de importar y abrir un nuevo mercado nacional de óxido de propileno, y también competir a nivel internacional.

2.9. Módulo de producción

Una vez analizado el rango en el que ha variado la producción de óxido de propileno en estos últimos años, como así también haber evaluado la producción de las empresas y los pronósticos de consumo, se podrá definir una capacidad de producción de forma real.

Para obtener un módulo de producción a escala, no solamente se proveerá de óxido de propileno a los países de América, sino que también se tomará una cuota del mercado europeo. Es decir, se contemplará la importación de Argentina, Colombia, México, Estados Unidos, Brasil y a su vez, una parte de la demanda de Alemania u otro país de Europa.

Cabe recalcar que este módulo de producción se definió en base a las demandas y a la comparación de las plantas existentes actualmente. Se tuvo en cuenta la planta en Ulsan, Corea del sur, con una capacidad de 100.000 toneladas/año, la empresa ubicada en Candeias, Brasil, con una capacidad de 235.000 toneladas anuales, y la planta de Ámbares, en Bélgica, con una capacidad de 300.000 toneladas anuales de óxido de propileno. (Sacks, 2012)

De esta forma, se establece un módulo de producción de aproximadamente de 100.000 toneladas anuales de óxido de propileno.

2.10. Localización de la planta

Para el presente proyecto, se consideró su ubicación en la ciudad de Bahía Blanca, en la provincia de Buenos Aires.

El terreno cuenta con las siguientes coordenadas mostradas a continuación en la Ilustración 2-1, obtenidas de Google Earth.

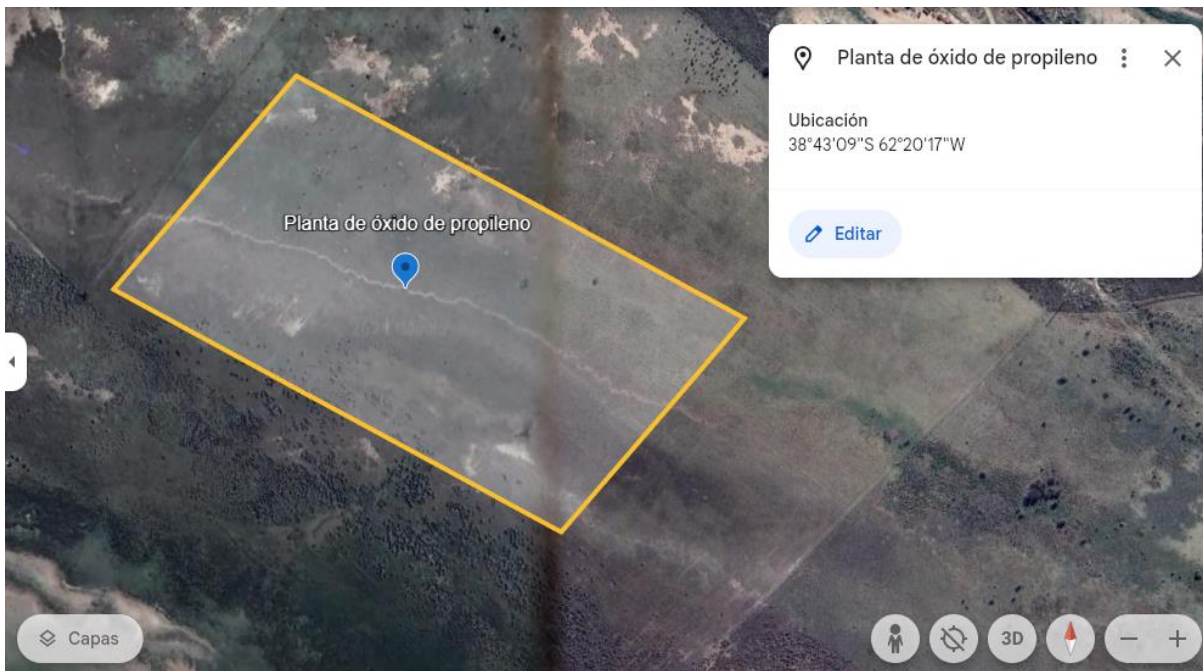


Ilustración 2- 1: Ubicación de la planta de óxido de propileno.

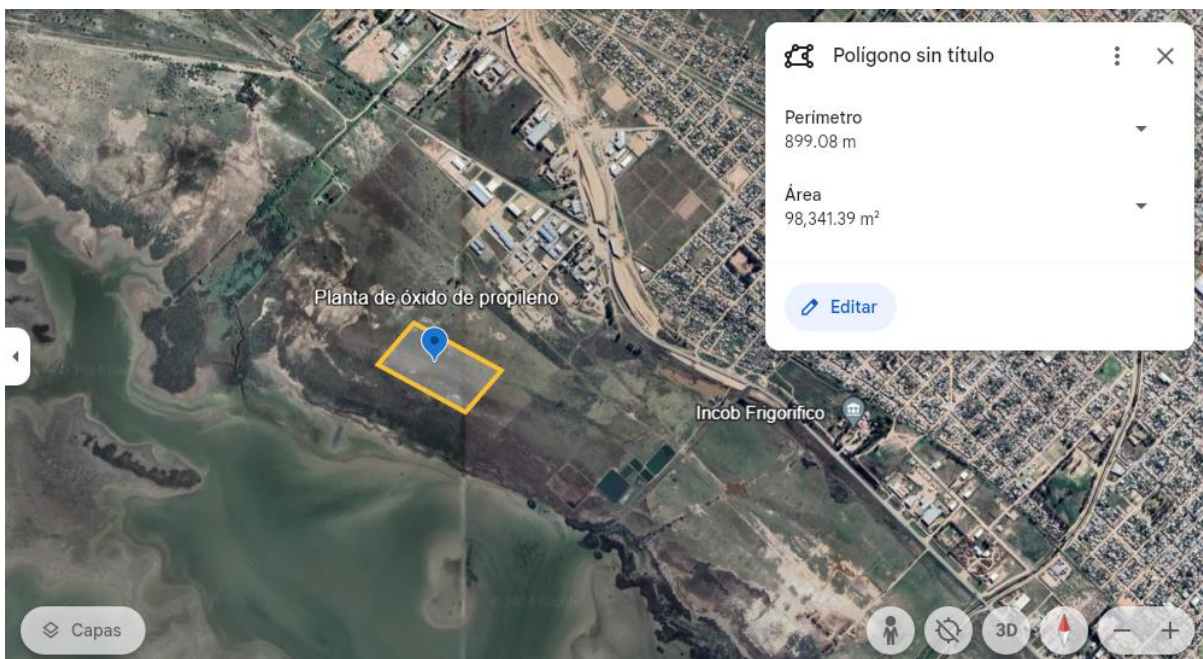


Ilustración 2- 2: Área geográfica de la planta de óxido de propileno.

El lugar geográfico posee un área de aproximadamente de 100.000 m² cuadrado. Se destaca la cercanía al puerto, es por esto, que la ubicación estratégica contempla la importación de las materias primas mencionadas en el estudio del mercado, y las exportaciones de óxido de propileno.

2.11. Análisis FODA

A continuación, en el siguiente análisis FODA, se plasman algunos factores resumidos para una mejor interpretación. Algunos de los puntos, ya fueron mencionados en incisos anteriores, y otros, son tenidos en cuenta para un análisis un poco más global.

Análisis FODA	
Fortalezas	Oportunidades
✓ Desarrollo industrial y presencia de empresas en la zona.	✓ Desarrollo de vaca muerta, nacimiento de nuevas empresas.
✓ Posibilidad de importación y exportación a través del puerto.	✓ Aumento de la capacidad de producción acorde la evolución favorable a través del tiempo.
✓ Grandes demandas anuales de óxido de propileno tanto nacional como internacional.	✓ Expansión hacia nuevos mercados internacionales. Sobre todo, el mercado europeo (Bélgica y Países Bajos).
✓ No hay competidores nacionales. Primer productor a nivel nacional.	✓ Posibilidad de utilizar como materia prima, propileno producido a nivel nacional, para reducir costos y ser más competitivos.
✓ Disponibilidad de recursos en la zona, agua, electricidad, gas, etc.	✓ Accesibilidad al desarrollo tecnológico y estudio de nuevas tecnologías.
✓ Presencia de mano de obra en la zona y en el país (universidades y tecnicaturas).	
Debilidades	Amenazas
✓ Gran inversión de capital para el desarrollo de proyecto.	✓ Creación de nuevas empresas productoras de óxido de propileno.
✓ Empresa nueva, con un periodo de tiempo de aprendizaje.	✓ Competencia a nivel internacional, sobre todo Dow Brasil.
	✓ Variación en la demanda. Contexto político-económico.

Tabla 2-17: Análisis FODA.

2.12. Conclusión y puntos a destacar del estudio del mercado

A continuación, se destacan los puntos más importantes a tener en cuenta. Entre ellos:

- Hay varias empresas en Argentina que consumen óxido de propileno por lo que hay una demanda que cubrir.

- A su vez, el óxido de propileno tiene una demanda anual constante por diferentes países.
- El óxido de propileno no se produce en Argentina, se importa desde Brasil.
- No hay mercado competitivo a nivel nacional con respecto al óxido de propileno. Pero sí, hay un competidor clave a nivel internacional, que es la empresa de Dow, Brasil.
- Los cambios bruscos del consumo de óxido de propileno se asocian a los diferentes tipos de políticas aplicadas en el país.
- Hay gran disponibilidad de propano como materia prima en la zona, y es destinada a diferentes procesos. Si bien, varias empresas se dedican a la producción de propileno para el consumo interno del país, cabe la posibilidad de que aumenten su producción o que se establezcan empresas nuevas, para aumentar la disponibilidad de propileno en el mercado.
- En Argentina, hay un proveedor de peróxido de hidrógeno, pero también está la disponibilidad de importación del mismo, debido al amplio mercado de esta materia prima. De esta forma, se evita la producción in situ del mismo.
- Si bien, la pendiente de la tendencia del consumo de óxido de propileno en Argentina es positiva, y en el mundo, es negativa, se ha observado que no existe una tendencia lineal, y que su consumo ha variado mucho en los últimos años. Pero sus valores de importación son relativamente altos, y se han sostenido en los últimos 10 años, por lo que su demanda se considera elevada.
- La implementación de la planta de óxido de propileno puede ampliar la variedad de productos en el mercado, ya que se utilizaría como punto de partida (materia prima) para nuevos proyectos. Por lo tanto, se lo puede ver como un abanico de posibilidades para el desarrollo de nuevos productos y/o incluso aumentar producción de las empresas ya establecidas.

2.13. Bibliografía

- DOW. (2023). *Óxido de propileno-DOW*. Obtenido de <https://www.dow.com/es-es/pdp.propylene-oxide.96760z.html#overview>
- Instituto Petroquímico Argentino IPA. (2023). *Información estadística de la industria petroquímica y química de Argentina*. 43° Edición.
- International Trade Centre. (2023). *Trademap*. Obtenido de <https://www.trademap.org/Index.aspx>
- Repsol. (2023). *Óxido de propileno*. Obtenido de <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/oxido-propileno/index.cshtml>
- Sacks, F. D. (2012). *Factibilidad de las distintas alternativas para agregarle valor al propileno*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR, Bahía Blanca. Obtenido de <https://1library.co/article/%C3%B3xido-propileno-factibilidad-distintas-alternativas-agregarle-valor-propile.zxv0gmwy>

3

Descripción del proceso

3. Descripción del proceso

3.1. Resumen ejecutivo

En el siguiente capítulo se detalla el proceso seleccionado para la producción de óxido de propileno, y, mencionando demás tecnologías disponibles en el mercado, destacando sus ventajas y desventaja. Se menciona los procesos de clorhidrina, diferentes procesos con peróxidos orgánicos, y, por último, el proceso HPPO.

El proceso de clorhidrina es descartado debido a su impacto ambiental negativo y la complejidad de manejar los subproductos. Los procesos con peróxidos orgánicos, aunque son eficaces, generan grandes cantidades de subproductos indeseables, haciendo el proceso más complejo y menos atractivo.

El proceso HPPO es seleccionado por su eficiencia y menor impacto ambiental, ya que su único subproducto es agua. Este proceso utiliza peróxido de hidrógeno y metanol como solvente, con un catalizador TS-1, resultando en una alta conversión y selectividad hacia el óxido de propileno.

También se describen las propiedades de las materias primas: propileno, peróxido de hidrógeno y metanol.

Finalmente, se presenta un diagrama de flujo detallado del proceso HPPO, incluyendo las etapas de reacción y purificación, logrando una pureza del 99.34% para el óxido de propileno.

3.2. Introducción

En el “Capítulo 2- Estudio de mercado” se presentaron las materias primas necesarias y la disponibilidad de las misma, por lo que se procede al desarrollo de la descripción del proceso. Para tener una mejor visualización del proceso, a continuación, se confecciona el Gráfico 3-1, en el cual se simplifican las materias primas utilizadas y el producto formado.



Gráfico 2-6: Materias primas para la producción de óxido de propileno (Elaboración propia con datos de Nijhuis, 2006).

El propileno se pone en contacto con peróxido de hidrógeno en las condiciones adecuadas, utilizando metanol como solvente. Este proceso se lo conoce como proceso HPPO (Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide).

A diferencia del etileno, el propileno presenta muchas dificultades para llevar a cabo una epoxidación directa con oxígeno, por lo tanto, es necesario buscar alternativas y/o procesos que den buenos rendimientos y favorezcan la formación del mismo.

A continuación, se analizarán las distintas tecnologías disponibles que dan lugar a la epoxidación del propeno.

3.3. Objetivos

El presente capítulo, tiene los siguientes objetivos principales:

- Describir las distintas tecnologías disponibles para la producción de óxido de propileno.
- Analizar las ventajas y desventajas de los diferentes procesos, y su impacto ambiental.
- Definir la tecnología a utilizar.

- Describir en profundidad el proceso HPPO (Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide).

3.4. Tecnologías disponibles para la obtención de óxido de propileno

Como se observa en el Gráfico 3-1, el propileno se somete al proceso de epoxidación del mismo para obtener el óxido de propileno.

Dependiendo del proceso utilizado, se obtienen diferentes subproductos. En la mayoría de los casos, se les realiza algún proceso posterior, para darles un valor agregado y poder comercializarlos.

El primer proceso implementado fue el Proceso de Clorhidrina, y luego se desarrollaron los procesos a base de peróxidos orgánicos. A su vez, el proceso que se está implementando últimamente es el proceso HPPO, el cual utiliza peróxido de hidrógeno para dar lugar a la epoxidación. Éste último, tiene gran potencial debido a que se lo considera una tecnología limpia y verde, debido a que el único subproducto es agua.

A diferencia del etileno, la epoxidación directa con oxígeno posee muchas complicaciones, la selectividad es muy baja, por lo que, se están investigando y desarrollando distintos catalizadores para poder superar estos inconvenientes.

Tal vez, en algún futuro, se encuentre el catalizador y las condiciones adecuadas para lograr la epoxidación directa del propileno, pero aún queda un largo trabajo.

En la Tabla 3-1 “Resumen de procesos para la producción de óxido de propileno”, se muestra un resumen de los procesos más relevantes en la industria.

Proceso	Precusores	→	Intermediario	→	t Coproducto/ t PO
PCH PO	Cl ₂ , H ₂ O	→	HOCl, PCH	→	≥ 2 t Sales de cloruro ≥ 40 t H ₂ O
SM PO	Etilbenceno	→	Hidroperóxido de etilbenceno	→	≥ 2,2 t Estireno
MTBE PO	Isobutano	→	Hidroperóxido terbutílico	→	≥ 2,4 t t-butanol
Cumene PO	Cumeno	→	Hidroperóxido de cumeno	→	~ 1,5 t Alcohol cumílico
HPPO	H ₂ O ₂	→	Peróxido de hidrógeno	→	≥ 0,3 t H ₂ O

Tabla 3- 1: Resumen de procesos para la producción de óxido de propileno (Peter Bassler, 2010).

Como se puede observar, el proceso HPPO es el que menos cantidad de subproducto produce, en comparación con los demás, siendo a su vez, el subproducto agua, lo cual es una ventaja en comparación con los demás.

3.4.1. Proceso de Clorhidrina

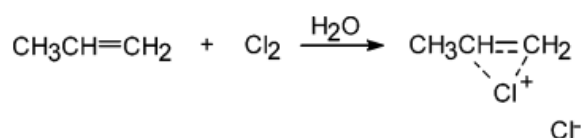
Este proceso, se utiliza tanto para el óxido de etileno como óxido de propileno, y esta ruta se describió en 1859 por Wurtz. Esta ruta fue el proceso principal para la producción de estos óxidos, pero en 1940, debido al desarrollo de la epoxidación directa del eteno más eficiente con un catalizador de plata, se dejó de lado la epoxidación del mismo con este proceso.

Como consecuencia, las plantas para la epoxidación de eteno se reacomodaron y se utilizaron para la epoxidación del propileno. Si bien, este proceso todavía se utiliza, se está reemplazando por nuevos procesos menos tóxicos y mucho más amigables con el medio ambiente.

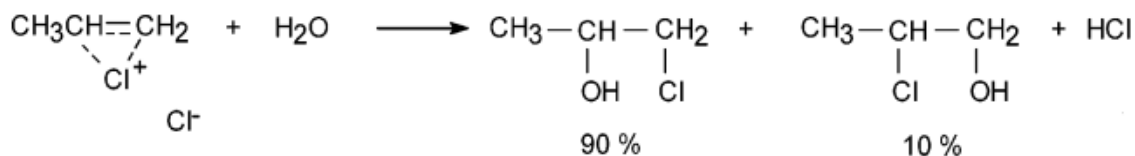
En este proceso, el ácido hipocloroso (HOCl) reacciona con el alqueno en cuestión para producir la clorhidrina. Este ácido hipocloroso se produce in situ con la reacción de equilibrio del ácido con agua y cloro. Luego, la clorhidrina formada se deshidroclora, utilizando hidróxido de calcio acuoso para obtener el epóxido. Este paso se basa en una adaptación de la síntesis de Wilkinson para éteres.

En el primer reactor, se da el primer paso de reacción (clorhidrinación), donde se produce el complejo de propeno cloronio.

Reacción 1: Formación del complejo de propeno cloronio



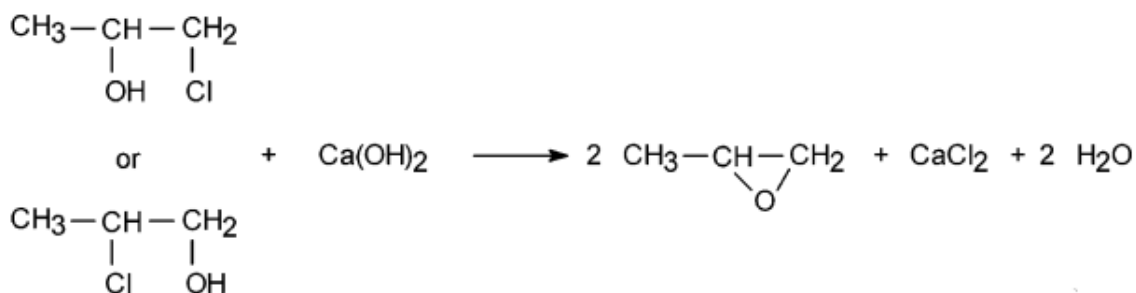
Y luego, continua una reacción con agua con el fin de producir dos compuestos isómeros de clorhidrina.

Reacción 2: Clorhidrinación

Se destaca que la selectividad de estas reacciones a la formación de los isómeros es de alrededor de 90-95%, y entre los productos secundarios formados, está principalmente el 1,2 dicloropropano y en menor proporción dicloropropanoles, éteres dicloroisopropílicos, entre otros.

La reacción se lleva a cabo en un reactor de columna de burbujeo a 1,5 bar y a 323 K. Se debe utilizar equipos revestidos de caucho, plásticos o ladrillos, ya que se trata de una mezcla muy corrosiva.

En el segundo reactor, se produce la epoxidación. Por lo que se deshidroclora la clorhidrina de propeno, utilizando una base como hidróxido de calcio.

Reacción 3: Deshidrocloración y formación de óxido de propileno

Luego, con vapor de agua se extrae de este reactor el óxido de propileno. Los subproductos de hidrocarburos clorados que se producen, salen en la corriente con el óxido de propileno, por lo que deben separarse. Por el fondo, sale la salmuera que contiene una mezcla de propilenglicoles, y otros, los cuales deben eliminarse biológicamente.

Una de las principales desventajas de este proceso, es el cloruro de calcio formado, el cual no tiene valor comercial. Ya que la salmuera descargada (5% CaCl_2). Suele ser 40 veces mayor a la cantidad formada de óxido de propileno, por lo que es una cantidad importante, y a su vez, es muy difícil eliminar los hidrocarburos de esta corriente de aguas residuales.

Se puede reemplazar el hidróxido de calcio por hidróxido de sodio, ya que el cloruro de sodio que se forma, puede utilizarse para producir cloro, y de esta forma recuperarlo y reciclarlo al inicio del proceso.

En el Gráfico 3-2 se muestra el proceso de Clorhidrina, con los reactores mencionados anteriormente.

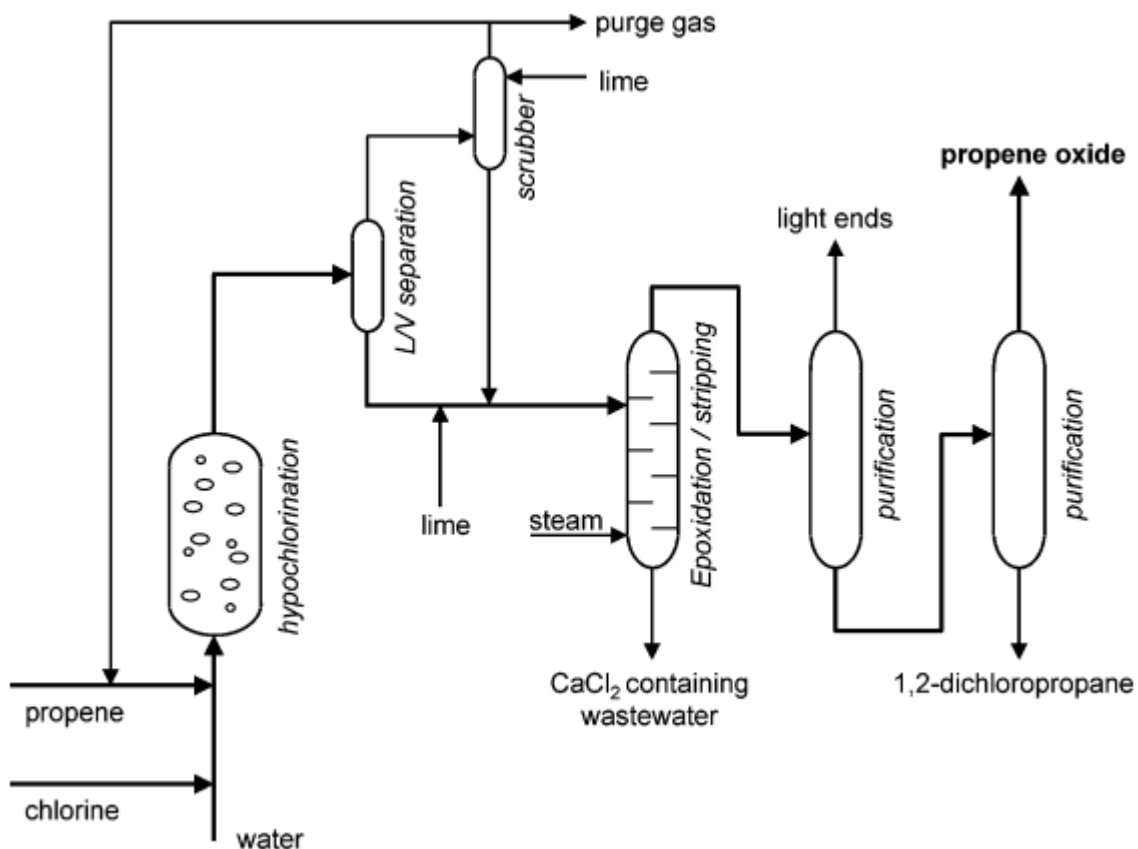


Gráfico 2-7: Proceso Clorhidrina (Nijhuis, 2006).

Como se observa en el diagrama de flujo, luego de pasar por la sección de reactores, le siguen las etapas de purificación del óxido de propileno. Primeramente, se pasa a una columna de destilación para eliminar el cloruro de calcio disuelto en una solución. Y posteriormente se procede a la extracción del 1,2-dicloropropano, que suele estar contenido en un 10%. Este compuesto genera un gran inconveniente en el proceso, ya que reduce el rendimiento del procedimiento, y a su vez, su uso es muy bajo, por lo que también genera dificultad su eliminación. Una alternativa, es reciclar este producto para obtener nuevamente propileno, y de esta manera, reducir su impacto ambiental.

No se están construyendo nuevas plantas con este proceso de Clorhidrina, debido a los problemas de la eliminación, tanto de la salmuera como productos clorados, por lo que no se están renovando, si no, por el contrario, se están cerrando (Nijhuis, 2006).

3.4.2. Producción con peróxidos orgánicos

Este proceso tiene la particularidad de que se puede llevar a cabo con diferentes materias primas de partida, por lo que se comercializan variantes de este proceso. Entre las más utilizadas se encuentra el proceso SMPO, el cual parte de etilbenceno dando estireno como subproducto, y la otra alternativa es usar de partida el isobutano, proceso PO-TBA.

Este proceso, consiste en lograr la peroxidación de un alcano, para obtener un hidroperóxido de alquilo, que posteriormente reaccionará con el propileno para producir el óxido de propileno, y un subproducto en grandes cantidades, el cual es un alcohol. Generalmente, se obtiene entre 2 a 4 veces más cantidad del alcohol que el óxido de propileno obtenido.

El inconveniente de este proceso, es que la cantidad de subproducto formado, es una cantidad fija del proceso.

3.4.2.1. Proceso SMPO

El proceso SMPO (o también PO-SM), es el proceso de óxido de propeno-monómero de estireno, el cual representa el 60% de la epoxidación con peróxidos orgánicos.

La materia prima, que en este caso es el etilbenceno, se oxida para producir el hidroperóxido de etilbenceno (EBHP), que posteriormente reacciona con el propileno, con el fin de obtener óxido de propileno y 1-feniletanol como subproducto.

El subproducto no tiene usos industriales y tiene bajo valor comercial, por lo se lo deshidrata para obtener el estireno ampliamente utilizado para la producción de poliestirenos.

A continuación, se muestra el Gráfico 3-3, donde se muestra el proceso SMPO.

En el caso del uso de otras materias primas (proceso PO-TBA u otro), el proceso es muy similar.

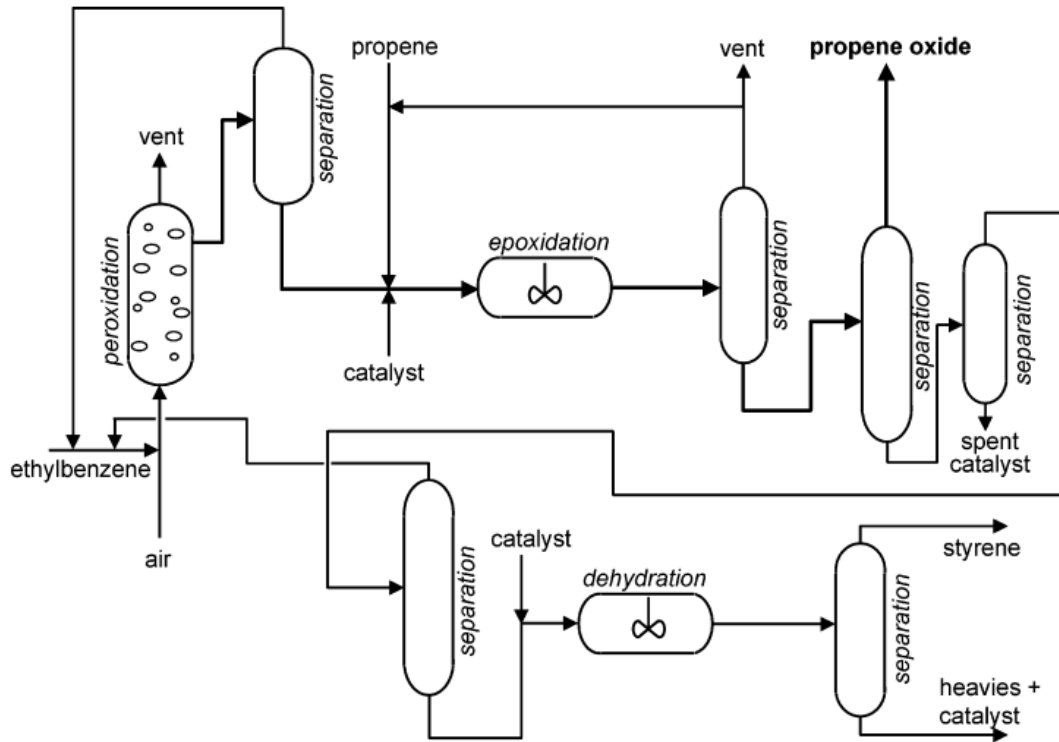
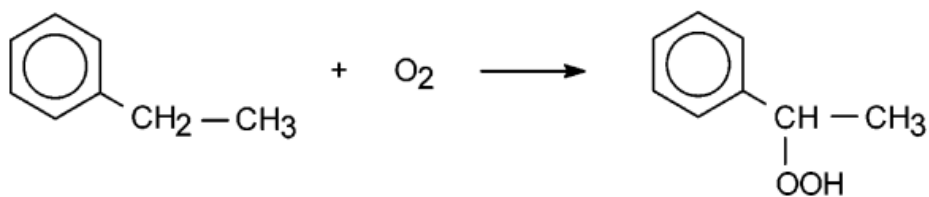


Gráfico 2-8: Proceso SMPO (Nijhuis, 2006).

El proceso comienza con la formación del hidropéroxido que se da en el primer reactor, por lo que el etilbenceno se oxida en fase líquida de forma no catalítica, con la presencia de oxígeno o también puede ser aire. Esta reacción se realiza en una columna de burbujeo, a una temperatura de 423 y 2 bar.

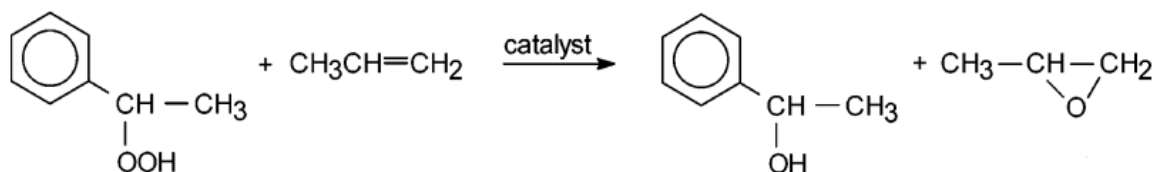
Reacción 4: Formación del hidropéroxido de etilbenceno



Luego, la corriente de salida del reactor se separa, con el fin de obtener por un lado el etilbenceno que no reaccionó y se recircula al inicio del proceso, y por el otro, una corriente rica en el hidropéroxido de etilbenceno que se envía al segundo reactor. En este reactor, se produce la reacción catalítica del propeno con el hidropéroxido de etilbenceno, para dar lugar a la formación del óxido de propileno y un alcohol, en este caso, el 1-feniletanol. Se utiliza un reactor compartimentado con alimentación de propeno por etapas, y la reacción se lleva a cabo a 373 K y a 30 bar de presión.

La conversión del hidroperóxido es mayor al 95%, con una selectividad hacia el óxido de propileno mayor al 95%. El único subproducto que se obtiene en mucho menos cantidad es la acetona.

Reacción 5: Epoxidación del propileno con el hidroperóxido de etilbenceno



El catalizador que se suele utilizar para la epoxidación, es un catalizador homogéneo de molibdeno, tungsteno o vanadio, o un catalizador heterogéneo a base de titanio.

Posteriormente al reactor, se recupera el propileno sin reaccionar separando del óxido de propileno, para recircularlo al inicio del segundo reactor.

La corriente líquida que contiene óxido de propileno, también posee el restante del hidroperóxido de etilbenceno que no reaccionó, por lo que también se recupera y recircula. Con respecto al alcohol formado, se pasa por un tercer reactor, con el fin de lograr su deshidratación, y en el caso de este proceso, se obtiene estireno de gran valor comercial

3.4.2.2. Proceso PO-TBA.

Este proceso, utiliza otra prima de partida, el isobutano, es por esto que además del óxido de propileno se obtiene el alcohol terc-butílico.

Los pasos son muy similares al proceso anterior. Por lo que el isobutano se oxida a hidroperóxido de terc-butílico (TBHP), que luego reacciona con el propileno, para formar el óxido de propileno y alcohol terc-butílico. Este subproducto puede deshidratarse para obtener el alqueno, isobutileno, o también se puede hacer reaccionar con metanol para producir el metil-terc-butíl éter (MTBE), el cual está prohibido en Argentina.

Este proceso presenta una desventaja, ya que una fracción grande del hidroperóxido de isobutano (TBHP) que se produce en el primer reactor, tiende a descomponerse rápidamente a alcohol terc-butílico (TBA), por lo que se reduce la proporción de óxido de propileno.

Entre otras alternativas de este proceso, pero menos explotadas, se encuentra el uso del acetaldehído para dar ácido acético, 2 propanol para dar acetona, isopentano para dar isopreno, cumeno a metilestireno, y ciclohexano para dar ciclohexanona.

Entre las características más destacadas de estos procesos, se resalta la diferencia con el proceso de Clorhidrina, ya que produce menos residuos y es más selectivo.

Pero a su vez, una desventaja es la cantidad de subproducto obtenida, ya que es una cantidad fija, por lo que debe lograrse también la deshidratación para que pueda comercializarse y buscarle un destino.

3.4.3. Proceso HPPO

Por otro lado, otro proceso que se está implementando y desarrollando cada vez más, con el fin de reemplazar los anteriores que suelen ser más complejos y con producción de subproductos, es el proceso HPPO, el cual utiliza como compuesto de partida el peróxido de hidrógeno.

Enichem fue el primero en desarrollar el proceso integrado, pero posteriormente fue comercializado por DOW-BASF.

BASF y Dow Chemicals desarrollaron el primer proceso a escala industrial, respetuoso con el medio ambiente utilizando peróxido de hidrógeno, con una capacidad de 300.000 toneladas/año en Ámberes, Bélgica. La tecnología para el proceso de peróxido de hidrógeno está a cargo de Solvay, que participa conjuntamente con BASF (Nijhuis, 2006) (Peter Bassler, 2010).

A su vez, Evonik (antes Degussa) junto a Uhde, construyeron una planta de HPPO también basada en el catalizador TS-1, en el año 2008 en Ulsan, Corea, con una capacidad de 100.000 toneladas/año de óxido de propileno.

Ambos procesos (HPPO de BASF y DOW Chemicals, y HPPO de Evonik y Uhde) son similares, pero la diferencia radica en las condiciones en la que se produce la epoxidación. Los procesos utilizan peróxido de hidrógeno diluido en metanol. Se utiliza como catalizador la zeolita titanio silicata-1 (TS-1), ya que tiene la capacidad de epoxidar el propileno de forma muy selectiva. En este caso, no hay residuos y el subproducto obtenido es agua, por lo tanto, es una gran ventaja frente a los demás procesos, ya que es mucho más amigable con el medio ambiente y económico (V. Russo, 2012).

Otra ventaja que presenta este proceso, es que en caso de obtener el peróxido de hidrógeno in situ, este no es necesario purificarse como en los demás casos, por el contrario, se puede utilizar directamente para epoxidar al propileno. Por lo que se puede lograr un proceso integrado.

El peróxido de hidrógeno, en su mayor parte se produce por el proceso de autooxidación de antrahidroquinonas.

Como la separación del propileno y óxido de propileno en una solución de agua y metanol no es compleja, se logra una buena integración entre el proceso de producción de peróxido de hidrogeno y la posterior epoxidación del propileno (Nijhuis, 2006).

En el Gráfico 3-4, se observa el proceso HPPO integrado con la producción de peróxido de hidrógeno in situ.

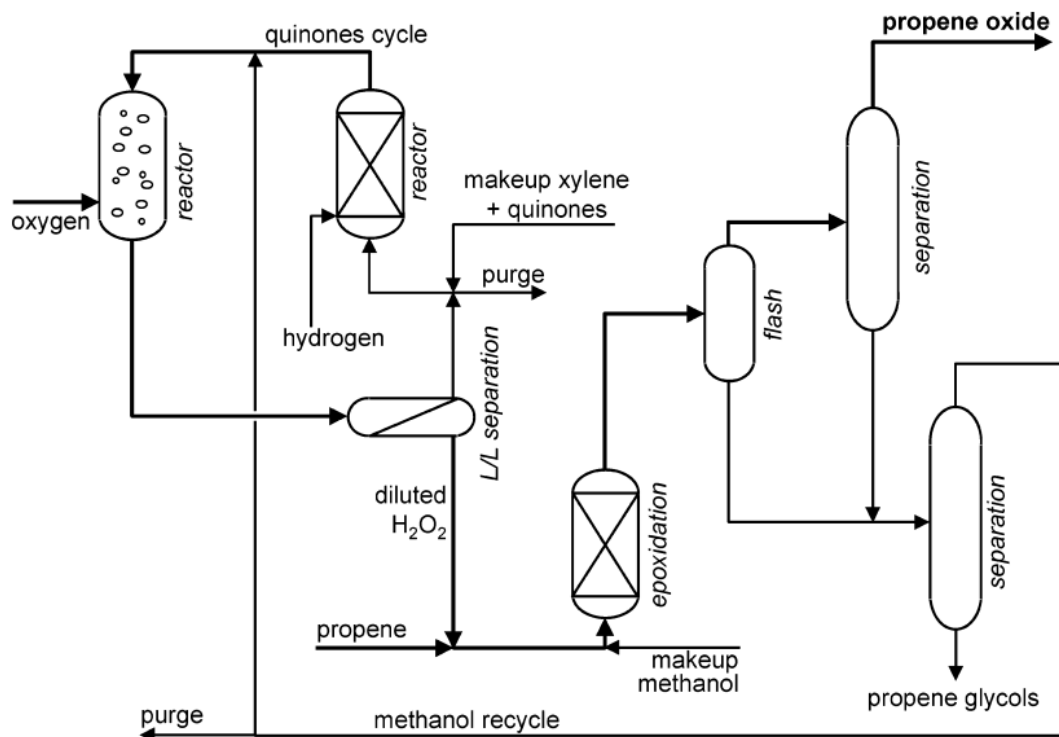
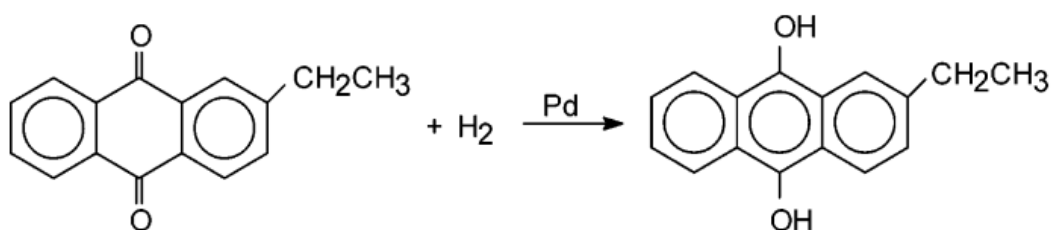


Gráfico 2-9: Proceso HPPO (Nijhuis, 2006).

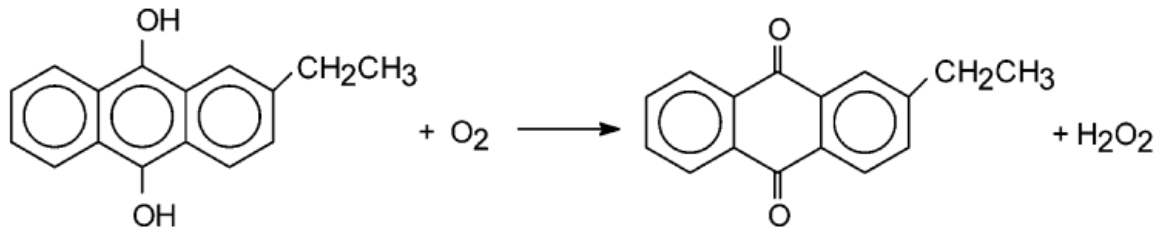
La parte izquierda del gráfico, hace referencia a la producción de peróxido de hidrógeno por el proceso de antrahidroquinonas, siendo la más utilizada la 2-etilantrahidroquinona. En esta parte del proceso, las quinonas se oxidan y se reducen alternativamente en reactores diferentes. Para la oxidación se utiliza una columna de burbujeo, donde se produce el peróxido de hidrógeno.

Reacción 6: Oxidación de quinonas, producción de peróxido de hidrógeno



Para la reducción de quinonas, regeneración, se utiliza un catalizador de paladio, y generalmente se utiliza un reactor en suspensión, de lecho fijo o monolítico.

Reacción 7: Reducción de quinonas



Para las dos reacciones, oxidación y reducción de quinonas, las condiciones de reacción son 320 K y 1,2 bar.

Por otro lado, la epoxidación del propileno de acuerdo al proceso HPPO de Dow y BASF, que utiliza TS-1, se produce en un reactor de lecho fijo a 313 K (40-60°C), a presiones superiores a la atmosféricas, con una relación de propileno a peróxido de hidrógeno en exceso, utilizando la menor cantidad posible de metanol como solvente, para evitar soluciones muy diluidas que dificulten su purificación (Peter Bassler, 2010; Nijhuis, 2006; V. Russo, 2012).

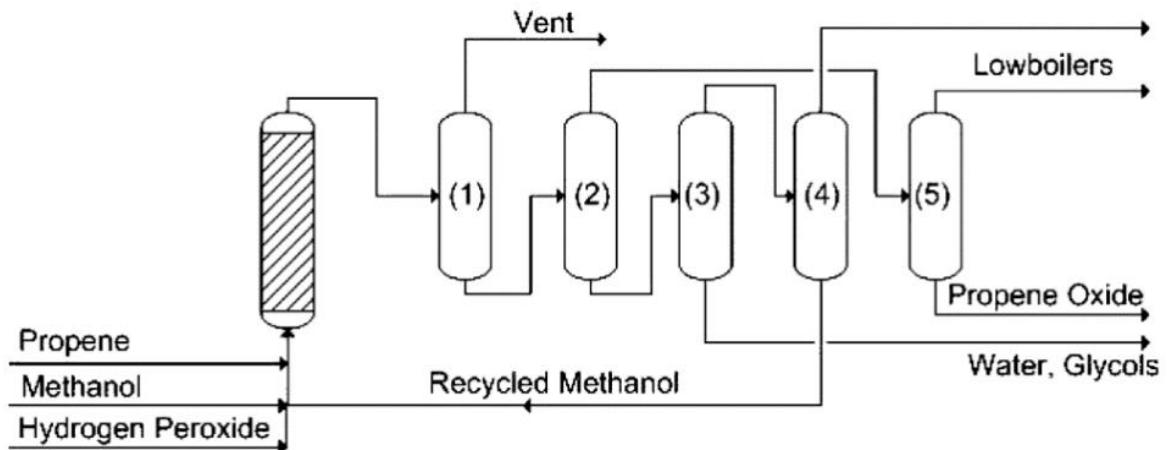


Gráfico 2-10: Procesos HPPO de Dow y BASF (V. Russo, 2012).

El proceso HPPO también es comercializado por Evonik (Degussa) y Uhde, también utilizando el catalizador TS-1, pero en lugar de trabajar con propileno en estado gaseoso (presiones bajas), se utilizan presiones superiores a 16 bar (entre 20 a 30 bares). De esta forma, se permite obtener dos fases líquidas, una fase rica en propileno y en óxido de

propileno, y, por otra parte, una fase donde se tiene peróxido de hidrógeno, agua, metanol, y algo de óxido de propileno. De esta forma, utilizando metanol como solvente, la selectividad es mayor al 96% hacia el óxido de propileno, y la conversión de 96-97% (Nijhuis, 2006; V. Russo, 2012; Schmidt, 2014).

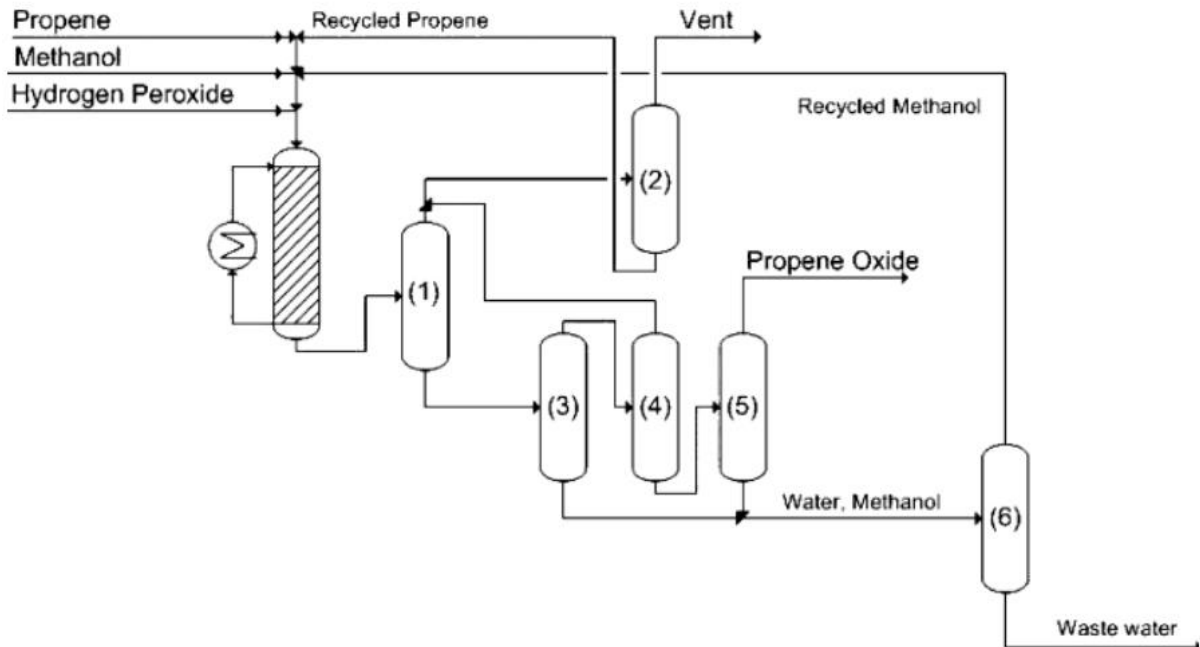
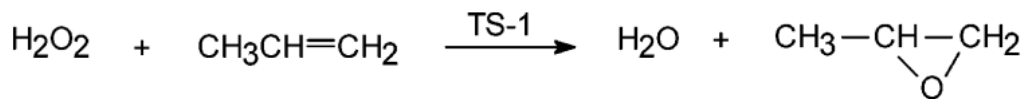


Gráfico 2-11: Proceso HPPO de Evonik (Degussa) y Uhde (V. Russo, 2012).

Reacción 8: Epoxidación de propileno con peróxido de hidrógeno



Si bien, se pueden utilizar otros catalizadores como el óxido de molibdeno, y algunos más, pero la desventaja es que estos son muy sensibles a la presencia de agua.

Ambos procesos mencionados anteriormente son comercializados industrialmente, pero independientemente del proceso seleccionado, posteriormente a la epoxidación, se llevan a cabo algunos pasos de separación relativamente simple, para obtener el óxido de propileno al 99% y recuperar el solvente. Entre las recomendaciones, se habla de una relación molar de metanol a peróxido de hidrógeno, entre 4 a 15 (Min Lin, 2016).

3.4.4. Proceso seleccionado: Proceso HPPO

De acuerdo a los procesos mencionados anteriormente, se pueden obtener diferentes conclusiones de suma utilidad para la selección del proceso para la epoxidación del propileno.

Proceso	Comparación
Clorhidrina	Materia prima: Cl ₂ y H ₂ O Selectividad del 90-95% hacia el óxido de propileno, y conversión del propileno del 80 al 90%. Subproductos de sales de cloruro y grandes volúmenes de agua difícil de purificar El subproducto no posee valor comercial No es amigable con el medio ambiente Esta tecnología está quedando obsoleta, ya no se construyen plantas nuevas
Con peróxidos orgánicos	Materia prima: compuestos orgánicos que se deben oxidar parcialmente Selectividad hacia el óxido de propileno mayor al 90%, y conversión del hidroperóxido mayor al 95% Los alcoholes obtenidos como subproductos requieren deshidratación, ya que tienen bajo valor económico Se obtienen grandes volúmenes de subproducto en comparación con el óxido de propileno De la deshidratación de los alcoholes se obtiene un volumen importante de agua que es necesario tratar Aún se utiliza esta tecnología
HPPO	Materia prima: peróxido de hidrógeno Selectividad hacia el óxido de propileno y conversión, cercana al 95%. El único subproducto es agua Tecnología con expansión a futuro Amigable con el medio ambiente

Tabla 3- 2: Comparación de las tecnologías disponible para la producción de óxido de propileno (Elaboración propia con datos de Nijhuis, 2006).

Si bien el proceso de Clorhidrina obtiene buenos rendimientos, es un proceso que últimamente se está dejando de utilizar y no se están construyendo plantas con este proceso, debido a los grandes inconvenientes con los subproductos obtenidos y su poca amigabilidad con el medio ambiente. Por lo tanto, es un proceso que se descarta para este proyecto. Por otro lado, los procesos de epoxidación con hidroperóxidos orgánicos tienen la desventaja que se producen grandes cantidades de subproductos, incluso el doble o más que el producto buscado (óxido de propileno), los cuales hay que deshidratarlos para poder darles valor comercial. En consecuencia, los procesos son mucho más complejo, ya que primero hay que formar el hidroperóxido, luego la epoxidación, y después la deshidratación. Resaltando a su vez, que hay que buscar un mercado para este subproducto formado. Con el transcurso del tiempo, las investigaciones se han abocado al estudio de la epoxidación directa del propileno. Actualmente no se han obtenido las condiciones y el catalizador adecuado para lograr una exitosa epoxidación, debido a que el metilo en posición alílica

resulta fácilmente oxidable, obteniéndose así, una variedad de subproductos, y el rendimiento y la selectividad hacia el óxido de propileno es muy baja.

Hasta el día de hoy, se está migrando al proceso HPPO, ya que se está implementando cada vez más, porque se obtienen buenos rendimientos y es amigable con el medio ambiente, formando como único subproducto agua. En este caso, se utiliza el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), siendo la forma más simplificada en la actualidad para lograr la epoxidación. Este proceso presenta una gran implementación y explotación a futuro. Es por esto, que es el proceso seleccionado para el presente proyecto.

3.5. Descripción del proceso

En esta parte, se describe con más detalles el proceso elegido para el presente proyecto, junto con las propiedades de las materias primas. A su vez, se expone y se explicará el diagrama de flujo.

3.5.1. Propiedades de materias primas

3.5.1.1. Propileno

El propileno o propeno, se compone de una cadena carbonada de tres átomos de carbonos con una doble ligadura. Es un gas combustible incoloro, que tiene un olor natural picante, altamente inflamable y no es tóxico. Es un derivado del craqueo térmico del petróleo, aunque también se puede obtener por deshidrogenación del propano.

Es un gran intermediario para obtener una gama de productos, y es muy demandado en la industria. Se puede utilizar para producir óxido de propileno, polipropileno, ácido acrílico, entre otros (REPSOL, 2023).

Con respecto a la seguridad, además de ser transparente e inflamable en condiciones normales, también posee propiedades anestésicas en altas concentraciones, por lo que puede causar asfixia, y no irrita a los ojos. La evaporación del mismo, puede provocar quemaduras en la piel, y reacciona vigorosamente con materiales oxidantes (REPSOL, NOTA TÉCNICA DE PROPILENO, 2023).

En la sección de “Anexos”, se adjunta la ficha técnica completa de propileno, para contar con más información y manejo de este compuesto.

3.5.1.2. Peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno se compone de dos átomos de hidrógeno y dos átomos de oxígeno, H_2O_2 , por lo que se lo conoce como agua oxigenada. Es un compuesto inorgánico altamente

polar, que se encuentra en estado líquido en condiciones normales, con un punto de ebullición de 150°C. Es incoloro y posee un sabor amargo. Es un compuesto inestable, que se descompone fácilmente en agua con liberación de oxígeno, junto con la liberación de calor.

No es inflamable, y se lo conoce por su gran poder oxidante, causando la combustión espontánea en contacto con materia orgánica o algunos metales.

En concentraciones de 3-9 % se utiliza en productos domésticos, usos medicinales y también como blanqueador de vestimenta, entre otros.

También tiene usos a escalas industriales, a altas concentraciones se usa para blanquear telas, pasta de papel, y a su vez, al 90% como componente de combustibles en cohetes (Quimica.es, 2023).

En la sección de “Anexos”, se adjunta la ficha técnica completa de peróxido de hidrógeno, para contar con más información y manejo de este compuesto.

3.5.1.3. Metanol

El metanol, es el alcohol más chico o sencillo de los compuestos orgánicos, CH_3OH .

También se lo conoce como alcohol metílico o alcohol de madera. Es un compuesto líquido, incoloro, inflamable y tóxico., con un punto de ebullición de 65 °C.

Entre sus usos, se destaca como anticongelante, disolvente, y combustible mezclado con la gasolina.

El metanol también se lo utiliza para la fabricación para el formaldehído, ácido acético, anisol, y también para la fabricación de medicina.

Se debe tener cuidado a altas concentraciones, ya que puede causar dolores de cabeza, mareo, náuseas, vómitos, y en el peor de las cosas, provocar la muerte (Química.es, 2023).

En la sección de “Anexos”, se adjunta la ficha técnica completa de metanol, para contar con más información y manejo de este compuesto.

3.5.2. Descripción del proceso HPPO

El propileno se utiliza como materia prima para el proceso HPPO, donde se lleva a cabo la epoxidación, obteniendo como producto final, el óxido de propileno.

3.5.2.1. Sección de reacción

El proceso comienza con la mezcla de las corrientes de alimentación, que se compone de propileno fresco (2), propileno recirculado recuperado de la torre T-002 (3), peróxido de hidrógeno (1), el solvente, que es metanol (5) y metanol recuperado de la torre de T-003 y T-

004 (32). La mezcla de estas corrientes (6) se bombea y envían al E-001, dónde se terminan de ajustar las condiciones de temperatura y presión de la mezcla, para que luego ingrese al reactor.

La corriente 8 ingresa al reactor R-001 a 28 bar de presión y a una temperatura de 55 °C. El mismo posee catalizador en su interior, que hace posible que se produzca la reacción epoxidación.

El efluente del reactor (9), se enfría y descomprime, para empezar el recorrido de la purificación del óxido de propileno.

3.5.2.2. Sección de purificación de óxido de propileno

La corriente 11 ingresa a la torre T-001 a 40°C y a una presión 5,5 bar. De esta forma, se obtienen dos corrientes: la corriente 12, que contiene el total de propileno que no reaccionó, la mayor parte del óxido de propileno formado y una parte de solvente, es decir metanol, y la corriente (13), que se compone en su mayor parte por el agua que se formó de la reacción, parte del metanol, y pequeñas porciones de productos secundarios que se pudieron formar en el reactor.

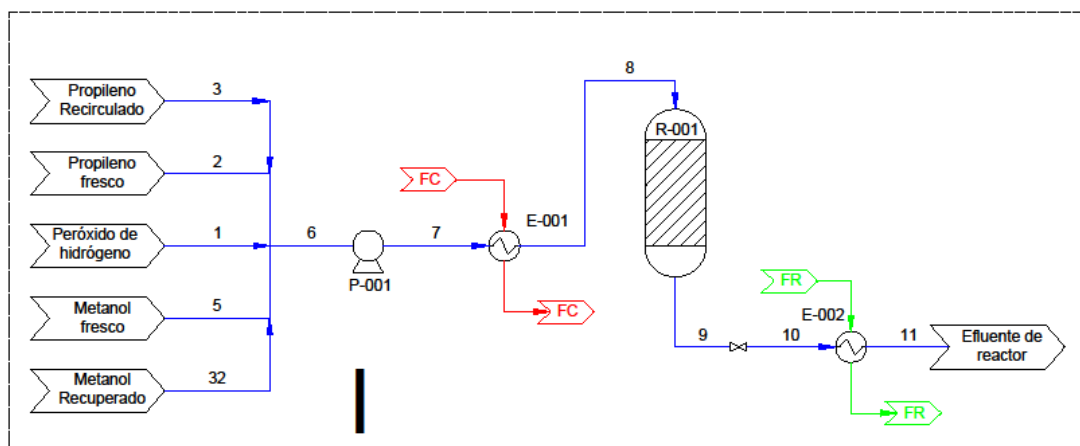
La corriente 12 se bombea con P-002 y se eleva su temperatura en E-003, para ingresar a T-002 a 50°C y a 14,5 bar. En esta torre se obtienen dos corrientes, la corriente 17 que se compone de propileno en casi su 100%, y la corriente 16, que posee el producto principal, óxido de propileno, junto con parte de solvente, metanol.

Posteriormente, estos compuestos se terminan de separar en la columna T-003. Se separan a 50°C y 5,5 bar de presión, obteniéndose el óxido de propileno por el tope (23) con una pureza del 99,34% en masa, y por el fondo la mayor parte del metanol (25), que luego se combina con la corriente 30, y se recircula este solvente al inicio del proceso.

Por otro lado, la corriente 13 que sale de la T-001, se acondiciona y pasa la T-004, para obtener por el tope la corriente 30 de metanol, y por el fondo la corriente 29, que posee en su mayoría agua, y restos de subproductos, como propilenglicol, junto con las trazas de peróxido de hidrógeno que no reaccionó.

Producción de óxido de propileno

Corriente	1	2	3	5	8	11	32
Caudal másico (kg/h)	7861,2	10662,0	600,6	145,6	52692,8	52692,8	33403,37
Temperatura °C	25	25	50	76,32	55	40	75,83
Presión Kpa	2000	2000	1950	2000	2800	700	2000
Fracción masa							
Óxido de propileno	0	0	6,18E-03	0	3,29E-04	0,23	4,07E-04
Propileno	0	1	0,97	0	0,21	3,70E-02	6,18E-18
Peróxido de hidrógeno	1	0	1,09E-03	0	0,15	5,14E-03	1,46E-04
Agua	0	0	1,54E-05	0	7,88E-04	7,42E-02	1,24E-03
Metanol	0	0	3,06E-04	1	0,64	0,64	0,998
Oxígeno	0	0	2,11E-02	0	2,41E-04	8,03E-04	1,82E-29
Propilenglicol	0	0	6,66E-19	0	1,47E-11	1,24E-02	2,33E-11



R-001 Reactor de epoxidación E-001, E-002 Intercambiadores de calor P-001 Bombas centrífugas Sección I Sección de reacción

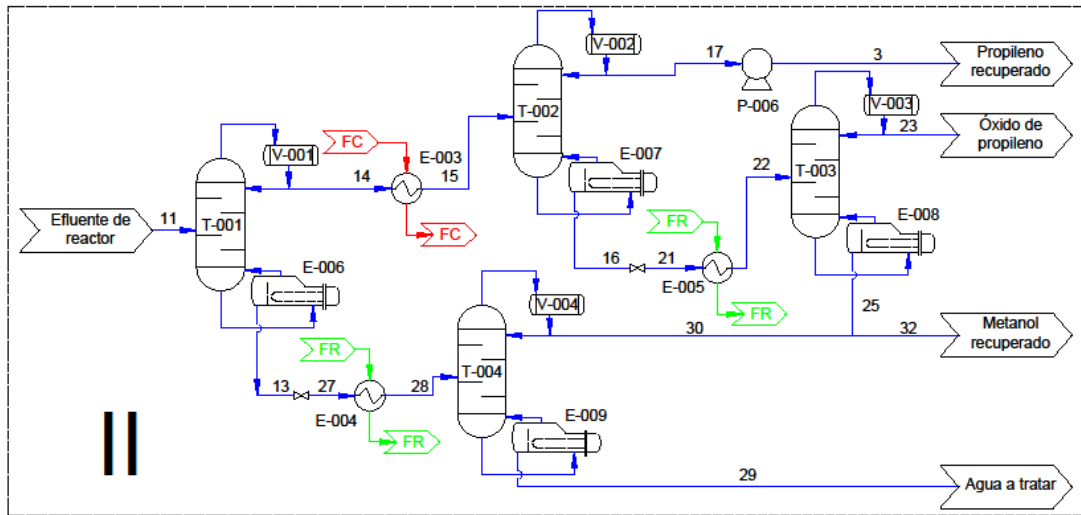
FR: FLUIDO REFRIGERANTE
 FLUIDO DE CALENTAMIENTO

Alumnos	Legajo	Docentes	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional del Neuquén
Pichulmay, M	3188	Prof. Ing. Krumrick, E	
Sanchez, K	3380	JTP: Ing. Silva, C Ayte: Ing. Boltes, M	
Carrera	Ing. Química	Producción de óxido de propileno	
Año	2024	Producción de óxido de propileno: Sección de reacción	
Proyecto Final			
Diagrama de flujo			
Hoja N°1			

Diagrama de flujo 3- 1: Proceso HPPO, sección de reacción (Elaboración propia con datos de Nijhuis, 2006).

Producción de óxido de propileno

Corriente	11	13	14	16	17	23	25	29	30
Caudal másico (kg/h)	52692,7	26000,6	26692,1	24690,01	2002,07	12437,87	12252,13	4649,20	21151,42
Temperatura °C	40,03	122,44	55,37	142,27	1,95	37,23	77,61	114,26	74,175685
Presión Kpa	550	540	520	1400	1300	110	150	160	130
Fracción masa									
Óxido de propileno	0,23	4,76E-05	4,64E-01	0,50	6,18E-03	9,93E-01	1,01E-03	3,47E-30	5,85E-05
Propileno	3,70E-02	7,93E-18	0,07	2,38E-05	0,97	4,72E-05	6,44E-26	1,33E-98	9,75E-18
Peróxido de hidrógeno	5,14E-03	1,04E-02	9,47E-06	1,02E-05	0,00	5,13E-13	2,06E-05	5,48E-02	2,19E-04
Agua	7,42E-02	0,15	9,25E-05	9,88E-05	1,54E-05	7,52E-09	1,99E-04	0,80	1,85E-03
Metanol	0,84	0,81	4,82E-01	0,50	0,00	0,007	0,999	1,31E-02	0,9978750
Oxígeno	8,03E-04	2,37E-29	1,58E-03	7,97E-19	2,11E-02	1,59E-18	1,22E-30	3,00E-98	2,92E-29
Propilenglicol	1,24E-02	2,51E-02	2,91E-11	3,15E-11	6,68E-19	1,58E-32	6,34E-11	0,1343506	3,15E-14



T-001, T-002, T-003, T-004
Columnas de destilación

E-003, E-004, E-005, E-006, E-007, E-008, E-009
Intercambiadores de calor

P-006
Bombas centrífugas

Sección II
Sección de purificación

FR: FLUIDO REFRIGERANTE
FC: FLUIDO DE CALENTAMIENTO

Alumnos	Legajo	Docentes	
Pichulmay, M	3188	Prof. Ing. Krumrick, E	
Sanchez, K	3380	JTP: Ing. Silva, C	
		Ayte: Ing. Bolies, M	
Carrera	Ing. Química	Producción de óxido de propileno	
Año	2024	Producción de óxido de propileno: Sección de purificación	
Proyecto Final			
Diagrama de flujo			
Hoja N°2			

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional del Neuquén



Diagrama de flujo 3- 2: Proceso HPPO, sección de reacción (Elaboración propia con datos de Nijhuis, 2006).

3.5.2.3. Catalizador TS-1

BASF inicio el desarrollo del proceso HPPO, utilizando un catalizador sólido TS-1, en un reactor tubular. Se utiliza metanol como solvente, el cual es primordial para la reacción, que se cataliza por una silicata de titanio TS-1 colocada en un lecho fijo. A continuación, en la Ilustración se observa a escala microscópica el catalizador y su mecanismo de reacción.

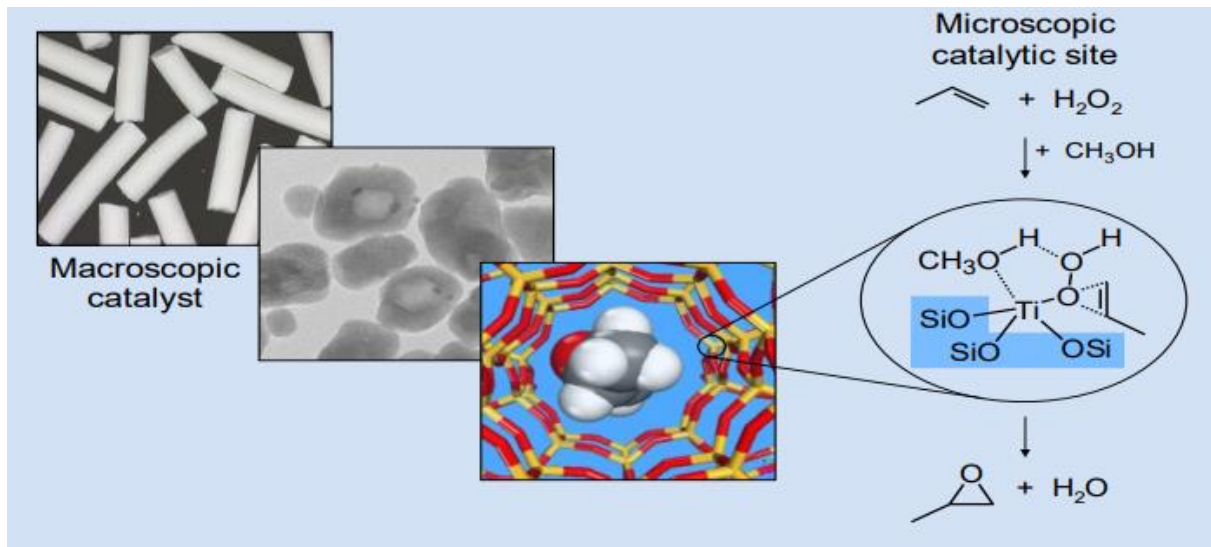


Figura 3- 1: Mecanismo de reacción del catalizador TS-1 en el proceso HPPO (Peter Bassler, 2010).

En esta, se puede observar como las moléculas de metanol y de peróxido de hidrógeno acceden a las cavidades de la red de la zeolita. Por lo que el hidroperóxotitanio, estabilizado con metanol, realiza la epoxidación catalítica del propileno, para formar el óxido de propileno y agua.

Detallando más el catalizador, se puede decir que es un material zeotipo cristalino, donde unidades de los tetraedros $[TiO_4]$ y $[SiO_4]$ están organizadas en una estructura de MFI. MFI se refiere a un tipo de estructura de zeolita que posee un sistema de canales de dos tamaños distintos.

Las especies de Ti en el catalizador TS-1, se encuentra formada por $(OSi)_4$ sitios tetraédricos (sitios cerrados), los cuales contienen algunos sitios $Ti(OSi)(OH)$ abiertos defectuosos. Por esto, el catalizador TS-1 muestra sistema tridimensional de canales con una dimensión molecular de 5,1-5,6 Å, que constituyen los microporos zeolíticos del material (V. Russo, 2012).

Al realizarle una micrografía TEM, se observan franjas de celosía bien ordenadas de la estructura MFI de TS-1, lo que indica una alta cristalinidad, confirmando que el catalizador TS-1 posee microporos de tamaño uniforme de 0.5nm aproximadamente. Para obtener el área superficial específica se aplicó el análisis BET al catalizador TS-1. Este análisis no tiene en cuenta el relleno de microporos, por lo que se encuentra en un rango de lineal BET de $0,005 < P/P^\circ < 0.1$, el cual es inferior al utilizado generalmente $0.05 < P/P^\circ < 0.3$. Los resultados de este análisis, dieron un área superficial de 420-450 m^2/g y un volumen de poros de 0.18-0.26 cm^3/g (V. Russo, 2012).

Síntesis del catalizador:

Para la síntesis del catalizador TS-1, se parte de una cristalización hidrotérmal de la estructura de la zeolita, usando diferentes fuentes de silicio (TEOS, sílice pirógena, sílice coloidal, o amorfa), y titanio (TEOT, TBOT, TOPT, $TiCl_3$), plantillas (TPA^+ , TBP^+ / TEP^+ , TPA^+ / TEA^+), y también se utilizan agentes mineralizantes (por ejemplo: OH^- , NH_3). Posteriormente, se seca a $100^\circ C$ el sólido obtenido, y se lo calcina a altas temperaturas $500-550^\circ C$ (V. Russo, 2012).

Es de suma importancia que la ruta de síntesis sea la correcta para formar un catalizador activo y estable. La actividad del catalizador TS-1, se relaciona con la presencia de sitios activos estructurales aislados de TI(IV), y con la morfología cristalina de la zeolita. Un aumento del desorden local o del número de coordinación de TI (de IV a VI), puede provocar una menor estabilidad al contacto con H_2O_2 .

Para confirmar la presencia de TI(IV) en la estructura, se utilizan algunos métodos de caracterización, como IR, XRD, y UV-vis (V. Russo, 2012).

Se utiliza un patrón XRD del catalizador TS-1, que presenta picos únicos a $24,4^\circ$ y $29,3^\circ$, lo que indica una conversión de una simetría monoclinica (silicalita) a una simetría ortorrómbica (silicalita de titanio).

En el espectro FT-IR, el catalizador TS-1, se puede observar una banda de absorción a aproximadamente 970 cm^{-1} , que no está presente en el espectro de silicalitas puras, y tampoco en óxidos de titanio. La intensidad de esta banda aumenta con la cantidad de titanio que sustituye al silicio en la estructura de las silicalitas.

En el espectro UV-vis, se observa una banda de absorción cercana a los 215 nm, indicando la presencia de especies tetraédricas de TI en TS-1. Si no se presentan otros picos, es síntoma de la ausencia de TI octaédrico o TiO_2 .

Con respecto al uso, se lo utiliza en reactores de lecho empaquetados, como en reactores de suspensión continua. El catalizador industrial se constituye por zeolita dispersa en una fase aglutinante.

Para los lechos empacados, los gránulos se obtienen por extrusión de pasta aglutinante que contiene TS-1, y el catalizador para los reactores en suspensión, se obtiene mediante técnica de secado por aspersión.

3.6. Bibliografía

- DOW. (2023). *Óxido de propileno-DOW*. Obtenido de <https://www.dow.com/es-es/pdp.propylene-oxide.96760z.html#overview>
- Schmidt, F. M. B. (2014). *HPPO Process Technology: A novel route to propylene oxide without coproducts*.
- Instituto Petroquímico Argentino IPA. (2023). *Información estadística de la industria petroquímica y química de Argentina*. 43° Edición.
- Min Lin, C. X. (2016). *Green and efficient epoxidation of propylene with hydrogen peroxide (HPPO process) catalyzed by hollow TS-1 zeolite: A 1.0 kt/a pilot-scale study*.
- Peter Bassler, H.-G.-G. M. (2010). *The new HPPO Process for Propylene Oxide: From Joint Development to Worldscale Production*.
- Química.es. (2023). *Metanol*. Obtenido de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Metanol.html>
- Quimica.es. (2023). *Quimica.es*. Obtenido de https://www.quimica.es/enciclopedia/Per%C3%B3xido_de_hidr%C3%B3geno.html
- REPSOL. (2023). *NOTA TÉCNICA DE PROPILENO*.
- REPSOL. (2023). *REPSOL PROPILENO*. Obtenido de <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/propileno/index.cshtml>
- T. Alexander Nijhuis, M. M. (2006). *The Production of Propene Oxide: Catalytic Processes and Recent Developments*.
- V. Russo, R. T. (2012). *Chemical and Technical Aspects of Propene Oxide Production via Hydrogen Peroxide (HPPO)*. Napoli, Italy.

4

Balance de masa y energía

4. Balance de masa y energía

4.1. Resumen ejecutivo

A continuación, se presenta el balance de masa y energía del proceso HPPO (Hydrogen Peroxide to Propylene Oxide) para la producción de óxido de propileno, utilizando el software Aspen Hysys. La producción anual definida es de 100.000 toneladas, con una operación de 335 días al año, destinando los demás días del año al mantenimiento de los equipos.

El proceso comienza con la mezcla fresca de corrientes frescas y recirculados del proceso, que se acondicionarán para ingresar al reactor. Las corrientes son bombeadas y calentadas antes de ingresar al reactor R-001, donde se produce la reacción exotérmica que forma el óxido de propileno. Posteriormente, la salida del reactor se dirige a varias columnas de destilación (T-001, T-002, T-003 y T-004) para separar y purificar el producto principal.

Se detalla la tabla de balance global, y las tablas de cada uno de los equipos. Se logra una producción final de 12,438 kg/h de óxido de propileno

4.2. Introducción

En el presente capítulo, se realizan los balances de masa y energía a partir de los datos obtenidos del simulador.

4.3. Objetivos

Los objetivos del capítulo son:

- Identificar las reacciones químicas junto con su cinética química, que se producen en el proceso de producción de óxido de propileno.
- Realizar y plasmar los resultados de los datos de la simulación con el software Aspen Hysys.
- Establecer el balance de masa y energía global.
- Establecer el balance de masa y energía equipo por equipo.

4.4. Reacciones químicas y cinética química

Para los correspondientes balances de masa, es necesario conocer las reacciones posibles que pueden darse en este proceso, ya que la masa no se crea ni se destruye, por lo que, si parte de un reactivo desaparece o se consume, es para dar nuevos compuestos.

A continuación, se detallan las reacciones químicas tenidas en cuenta en la simulación, juntos con los datos cinéticos. Los datos fueron obtenidos de “Validation of the kinetics of the Hydrogen Peroxide Propene Oxide (HPPO) process in a dynamic Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)”, de Russo et al. (2018).

En la siguiente Tabla 4-1, se describen los datos cinéticos utilizados en la simulación con el software Aspen Hysys.

1) Reacción de epoxidación de propileno	
Ecuación cinética	
$r_1 = \frac{k_1 * \rho_{TS-1} * K_1 * C_{H_2O_2} * C_{C_3H_6}}{1 + K_1 * C_{H_2O_2} + K_2 * C_{C_3H_6} + K_3 * C_{H_2O} + K_4 * C_{PO}}$	
Datos:	
Ea1=10,9 kcal/mol=45605,6 j/mol k1,ref=2.98*10 L/(g*min)= 0,496666667 L/(g*s) Tref=313 K K1=3,47*10-3 L/mol K2=8,28 L/mol K3=4,54*10-1 L/mol K4=7,58 L/mol ρTS-1=19,2 g/L	$k_1 = 0,49666667 * e^{\left(\frac{-45605,6 \text{ j/mol}}{8,314 \text{ j/mol}\cdot\text{K}}\right) \times \left(\frac{1}{328,15\text{K}} - \frac{1}{313\text{K}}\right)}$ $k_1 = 1,11546043 \text{ L/(g*s)}$ $k_1 * \rho_{TS-1} * K_1 = 1,11546043 * 19,2 * 3,47 * 10^{-3}$ $k_1 * \rho_{TS-1} * K_1 = 0,07431644 \text{ (1/s)}$ $r_1 = \frac{0,07431644 * C_{H_2O_2} * C_{C_2H_6}}{1 + 3,47 * 10^{-3} * C_{H_2O_2} + 1 + 8,28 * C_{C_3H_6} + 7,58 * C_{PO}}$
2) Reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno	
Ecuación cinética	
Datos:	
Ea2=19.5 kcal/mol = 81588 j/mol k2,ref=2,45*10-5 L/(g*min)= 4,08*10-7 L/(g*s) ρTS-1=19,2 g/L	$r_2 = k_2 * \rho_{TS-1} * C_{H_2O_2}$ $k_2 = 4,08E-7 * e^{\left(\frac{-81588 \text{ j/mol}}{8,314 \text{ j/mol}\cdot\text{K}}\right) \times \left(\frac{1}{328,15\text{K}} - \frac{1}{313\text{K}}\right)}$ $k_2 = 1,73E-6 \text{ L/(g*s)}$ $k_2 * \rho_{TS-1} = 1,73E-6 * 19,2$ $k_2 * \rho_{TS-1} = 3,33E-05 \text{ (1/s)}$ $r_2 = 3,33 * 10^{-5} * C_{H_2O_2}$
3) Reacción secundaria: Producción de propilenglicol	
Ecuación cinética	
Datos:	
Ea3=16 kcal/mol = 66944 j/mol k3,ref=1,14*10-5 L2/(g*mol*min) ρTS-1=19,2 g/L	$r_3 = k_3 * \rho_{TS-1} * C_{H_2O_2} * C_{PO}$ $k_3 = 1,9E-7 * e^{\left(\frac{-66944 \text{ j/mol}}{8,314 \text{ j/mol}\cdot\text{K}}\right) \times \left(\frac{1}{328,15\text{K}} - \frac{1}{313\text{K}}\right)}$ $k_3 = 6,23E-7 \text{ L2/(g*mol*s)}$ $k_3 * \rho_{TS-1} = 6,23E-7 * 19,2$ $k_3 * \rho_{TS-1} = 1,2E-05 \text{ L / (mol*s)}$ $r_3 = 1,2 * 10^{-5} * C_{H_2O_2} * C_{PO}$

Tabla 4- 1: Reacciones químicas y cinética de reacción para el proceso HPPO. (Vincenzo Russo, 2018)

La primera reacción, es la reacción principal, donde el propileno reacciona con el peróxido de hidrógeno en presencia del catalizador TS-1 y con ayuda del solvente, que proporciona el medio adecuado, se obtiene el producto deseado, óxido de propileno.

También, se contempló la descomposición del peróxido de hidrógeno, formando agua y oxígeno, que está representada por la reacción 2.

Por último, el subproducto que mayor predominio tiene en este proceso, es el propilenglicol, que está representado por la reacción 3.

4.5. Simulación

Para la simulación, se utilizó el software “Aspen Hysys, versión V9”.

El mismo, es utilizado por diferentes empresas para el desarrollo de proyectos y simulación de procesos, debido a su buen rendimiento y resultados cercanos comparados con datos reales. A su vez, tiene una gran aplicación en diferentes industrias, tanto refinerías como petroquímicas.

4.5.1. Carga de datos

Para poder llevar a cabo la simulación, es necesario cargar datos fundamentales y definir criterios que permitirán el avance de la misma. A continuación, se realiza una lista de estos.

4.5.1.1. Lista de componentes

Una vez que ingresamos al simulador, lo primero que se solicita es la carga de componentes que estarán presentes a lo largo del proceso, y que poseen mayor importancia. En esta lista, se contemplan reactivos, como así también nuevos productos formados y solvente.

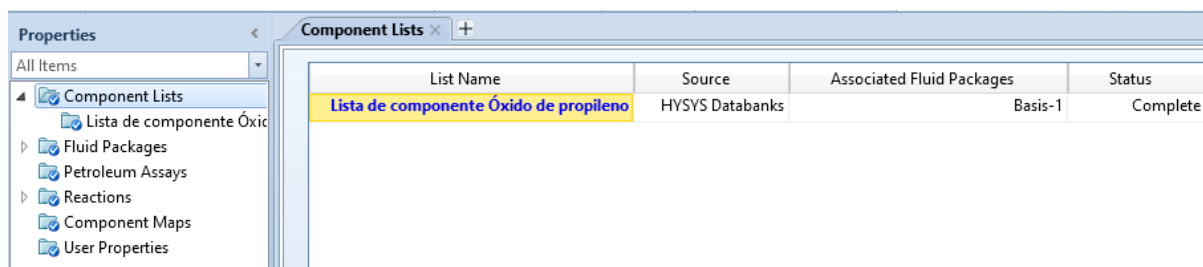


Figura 4- 1: Creación de lista de componentes en Aspen Hysys V9.

Una vez creada la lista, se cargan los compuestos a utilizar.

La lista posee el peróxido de hidrógeno, que reacciona con propileno, para dar óxido de propileno y agua; metanol, que es el solvente; oxígeno, que se produce por la descomposición del peróxido de hidrógeno; y el propilenglicol, que es el subproducto de mayor relevancia e interés en este proceso.

H Component List View: Lista de componente Óxido de propileno [HYSYS Databanks]

Source Databank: HYSYS

Component	Type	Group
12C3Oxide	Pure Component	
Propene	Pure Component	
H2O2	Pure Component	
H2O	Pure Component	
Methanol	Pure Component	
Oxygen	Pure Component	
12-C3diol	Pure Component	

< Add

Replace

Remove

Figura 4- 2: Lista de componentes para la simulación de producción de óxido de propileno.

4.5.1.2. Paquete termodinámico

Una vez cargada la lista de componente, es necesario definir el paquete de fluido, ya que proporcionará la base de las propiedades para estos componentes. Esta definición es sumamente importante, ya que una mala elección, podría arrojar resultados con grandes desviaciones de la realidad.

Para la simulación de producción de óxido de propileno, se utilizó el paquete de fluido Peng-Robinson (PRSV), el cual representa correctamente compuestos polares y presiones mayores a 10 bares. A su vez, se comprueba que los datos obtenidos en el reactor son similares a los datos bibliográficos.

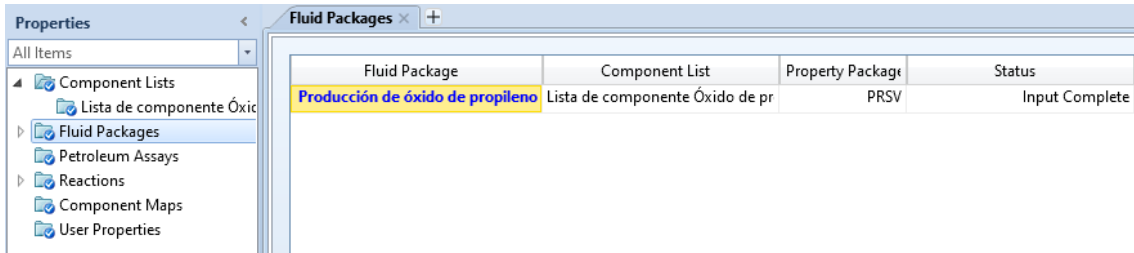


Figura 4- 3: Selección del paquete de fluido.

4.5.1.3. Reacciones químicas

A continuación, se cargan las reacciones mencionadas en la Tabla 3-1, con sus respectivos datos cinéticos.

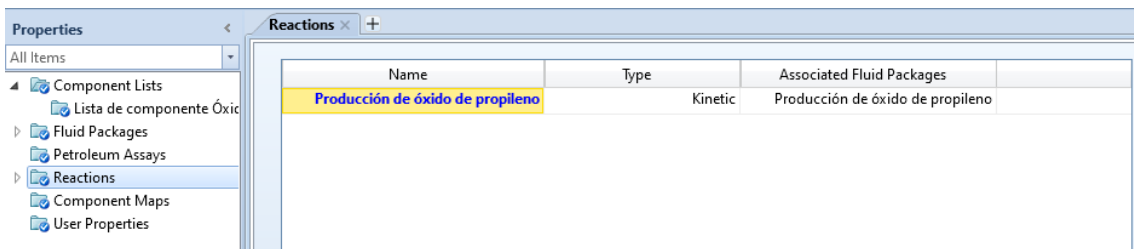


Figura 4- 4: Creación de set de reacciones químicas para la simulación.

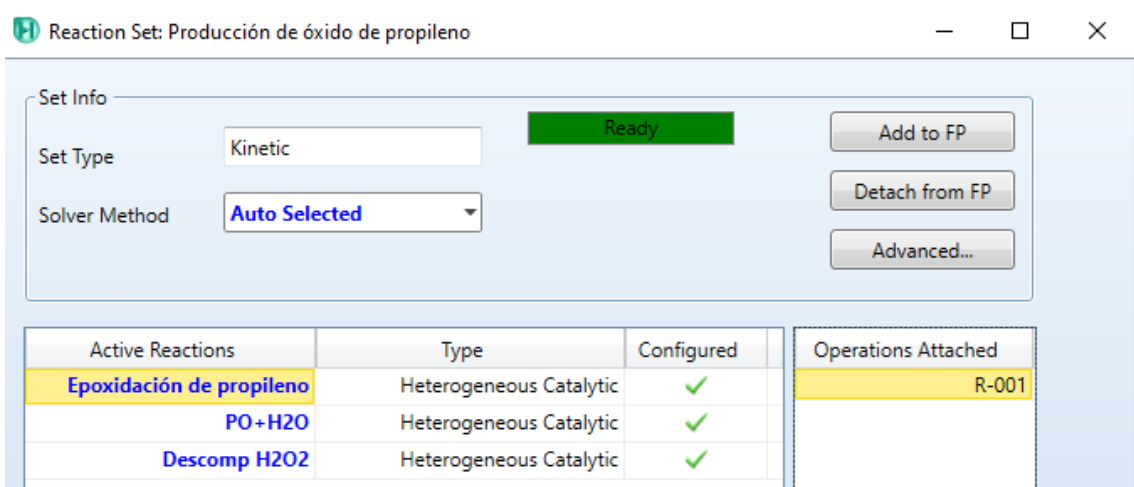


Figura 4- 5: Reacciones químicas que tienen lugar en el reactor R-001.

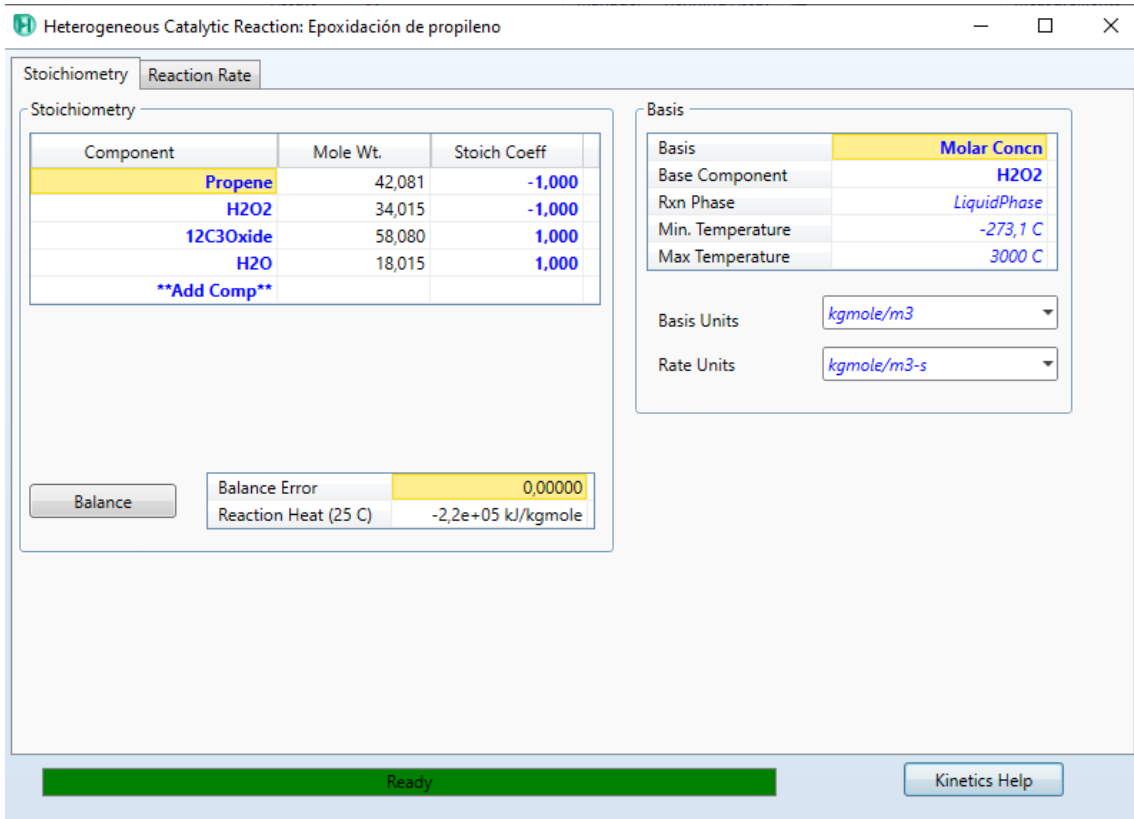


Figura 4- 6: Estequiometría de la reacción de epoxidación de propileno.

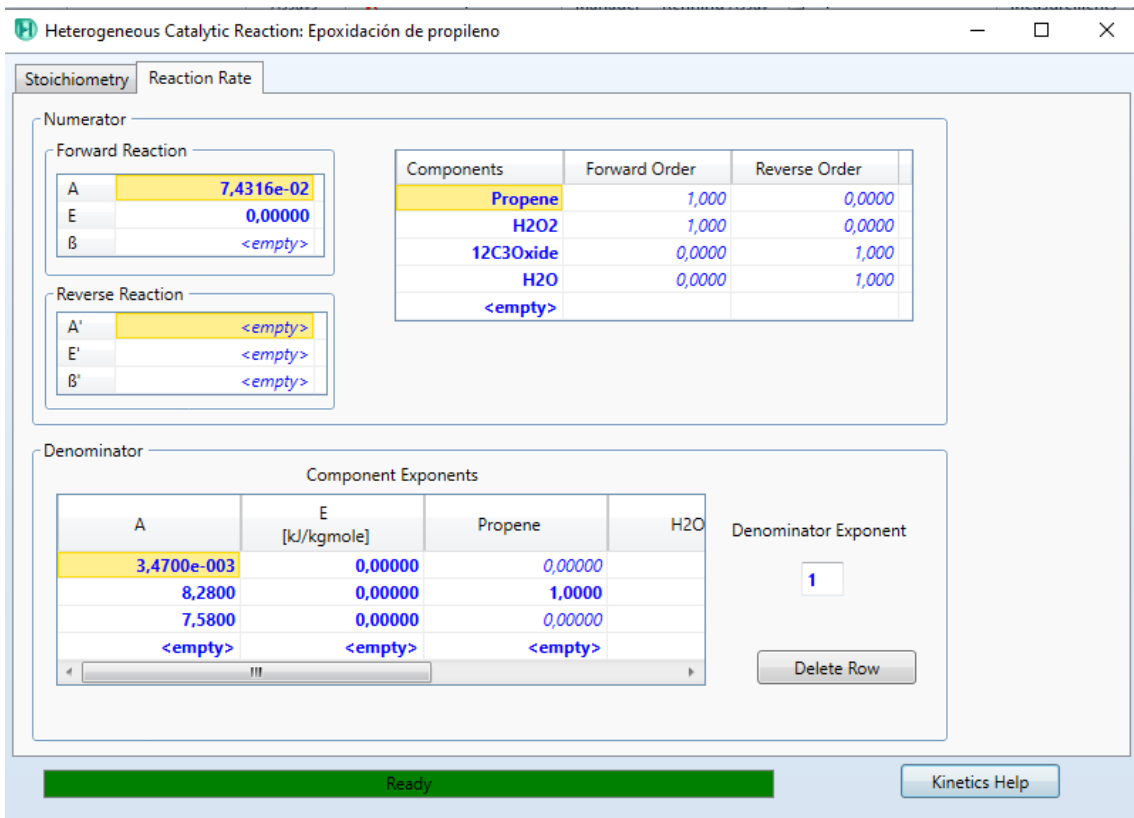


Figura 4- 7: Datos cinéticos de la epoxidación de propileno.

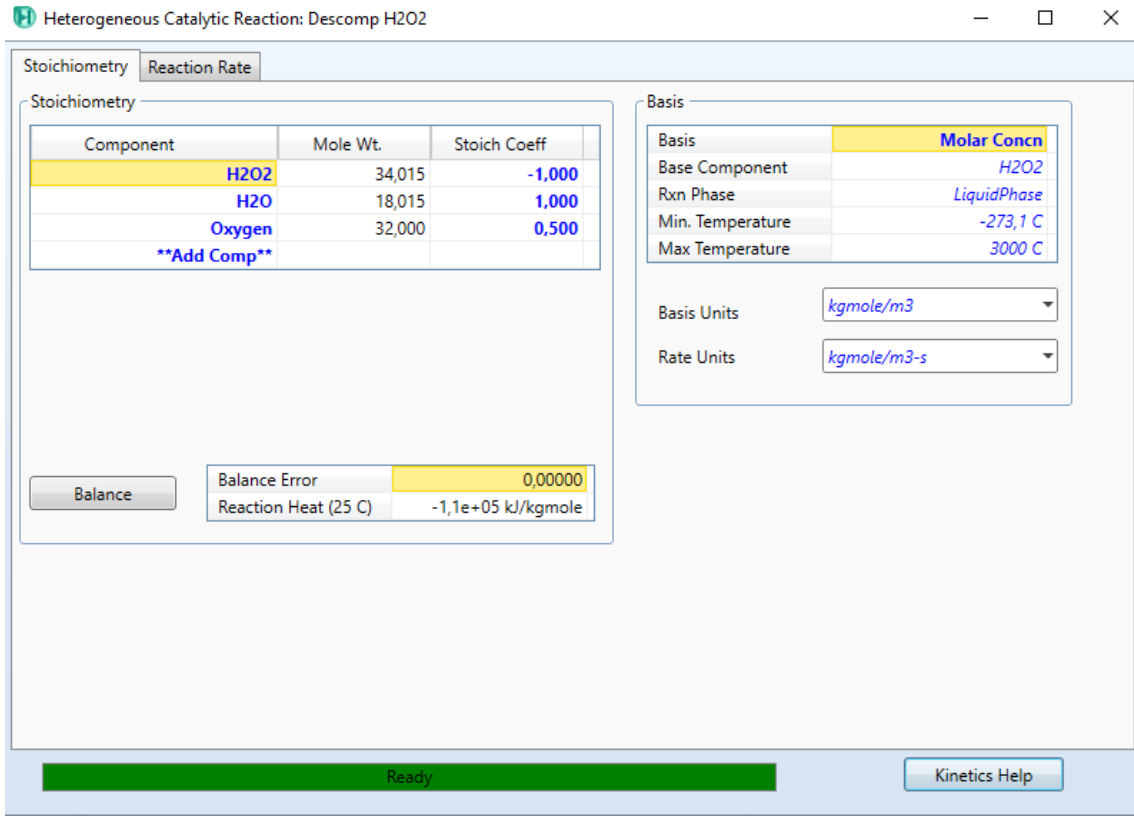


Figura 4- 8: Estequiometría de la reacción de descomposición de peróxido de hidrógeno.

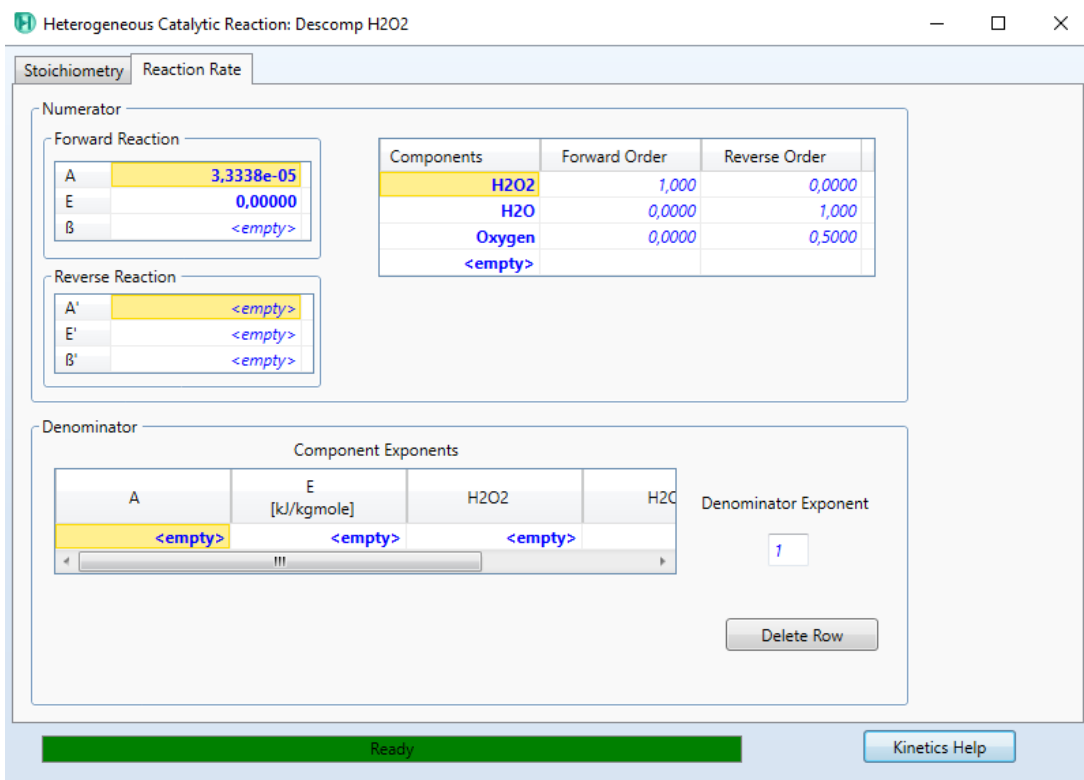


Figura 4- 9: Datos cinéticos de la descomposición de peróxido de hidrógeno.

Heterogeneous Catalytic Reaction: PO+H2O

Stoichiometry Reaction Rate

Stoichiometry

Component	Mole Wt.	Stoich Coeff
12C3Oxide	58,080	-1,000
H2O	18,015	-1,000
12-C3diol	76,096	1,000
Add Comp		

Balance

Balance Error	0,00000
Reaction Heat (25 C)	-9,0e+04 kJ/kgmole

Basis

Basis	Molar Conc'n
Base Component	12C3Oxide
Rxn Phase	LiquidPhase
Min. Temperature	-273,1 C
Max Temperature	3000 C

Basis Units: kgmole/m3

Rate Units: kgmole/m3-s

Ready Kinetics Help

Figura 4- 10: Estequiometría de la reacción secundaria, formación de propilenglicol.

Heterogeneous Catalytic Reaction: PO+H2O

Stoichiometry Reaction Rate

Numerator

Forward Reaction

A	1,1963e-05
E	0,00000
B	<empty>

Reverse Reaction

A'	<empty>
E'	<empty>
B'	<empty>

Components	Forward Order	Reverse Order
12C3Oxide	1,000	0,0000
H2O	1,000	0,0000
12-C3diol	0,0000	1,000
<empty>		

Denominator

Component Exponents				Denominator Exponent
A	E [kJ/kgmole]	12C3Oxide	H2O	
<empty>	<empty>	<empty>	<empty>	1

Delete Row

Ready Kinetics Help

Figura 4- 11: Datos cinéticos de la formación de propilenglicol.

4.5.1.4. Alimentación de reactivos

Una vez cargado los datos anteriores, ya podemos acceder al entorno de simulación, y cargar los datos de corrientes y equipos.

Se utilizó una alimentación fresca en exceso de propileno con respecto al peróxido de hidrogeno. Por la tanto, se utilizó la relación molar de 1:1,1 de peróxido de hidrógeno respecto al propileno. Es decir, el reactivo limitante es el peróxido de hidrógeno.

4.5.1.5. Elección del solvente

De acuerdo a las diferentes bibliografías, se pueden utilizar diferentes alcoholes o incluso agua como solvente. Se comprueba que la mayor selectividad se logra utilizando metanol, y es el más recomendado por las bibliografías, ya que se complementa relativamente bien con el catalizador.

El solvente se debe encontrar en una relación molar en relación al peróxido de hidrógeno, de 4:1; 4,5:1; 5:1, o incluso hay relaciones mayores.

Como el solvente solamente da el medio para que se pueda lograr la reacción, no se consume ni reacciona en la formación del óxido de propileno, se intentará recuperar la mayor cantidad del mismo. Es decir, se formará un circuito cerrado de solvente, con alimentación fresca que compensará parte del metanol perdido en el proceso.

Los demás detalles, se mostrarán en el balance general o en los balances de equipo por equipo mostrados más adelante.

4.5.2. Flowsheet

A continuación, se observa el entorno de simulación, las líneas de corrientes presentes, los equipos utilizados, y los flujos de energía que ingresan o salen del proceso.

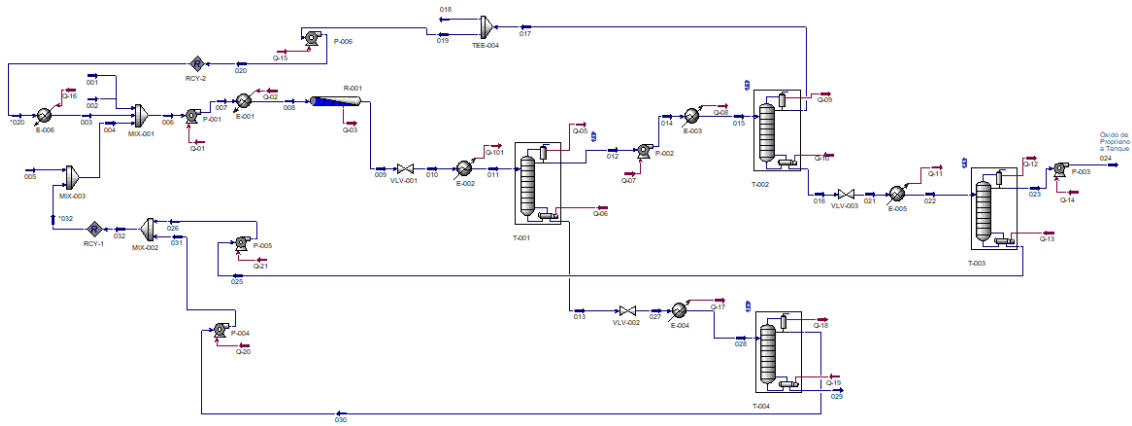


Figura 4- 12: Flowsheet de la simulación de producción de óxido de propileno.

4.5.3. Descripción general del proceso HPPO con Aspen Hysys

El proceso comienza con la alimentación de las materias primas, la corriente 001 que se compone principalmente de peróxido de hidrógeno y la corriente 002 compuesta de propileno. Estas alimentaciones frescas, poseen una relación 1:1,1, es decir, por cada parte de peróxido de hidrógeno, ingresa 1,1 partes de propileno.

A su vez, se juntan con la corriente 003 que es parte del propileno que no reaccionó y con la corriente 004, que se formada principalmente por metanol.

La corriente 004, se compone del solvente recuperado (metanol) en el proceso, corriente 032, y parte del solvente fresco que ingresa en la corriente 005. El metanol posee una relación molar respecto al peróxido de hidrógeno de 4,5 :1.

Este solvente es necesario ya que, de acuerdo a las condiciones de reacción, da el medio para catalizar la reacción. Se comprueba que, si la cantidad de metanol disminuye, la formación de óxido de propileno es menor, y también, favorece la producción del propilenglicol, que es el subproducto no deseado. Si bien, el metanol forma un circuito cerrado, es decir, no se consume ya que no es un reactivo, pequeñas porciones del mismo van perdiéndose durante la purificación del óxido de propileno, por lo tanto, se necesita una alimentación fresca representada por la corriente 005, para reponer esta pérdida.

La corriente 006 se acondiciona para ingrese al reactor R-001, a 55°C y a una presión de 2800 kPa, el cual posee el catalizador TS-1, que promueve la formación de óxido de propileno.

La reacción es exotérmica, por lo tanto, se necesita mantener la temperatura de reacción a 55°C mediante enfriamiento.

La salida del reactor, ingresa a la primera columna de destilación T-001 a 40°C y 550 kPa, con el objetivo de realizar una primera separación, obteniendo por el tope la corriente 012, que contiene el propileno que no reaccionó, el óxido de propileno formado, y parte de metanol. Por el fondo, la corriente 013 contiene propilenglicol, agua, el peróxido de hidrógeno que no reaccionó, y parte de metanol.

La corriente 012 se dirige a la T-002, donde ingresa a 50° y 1450 kPa, con el objetivo de obtener por el tope, la corriente 017, que contiene el propileno que no reaccionó, donde parte del mismo se retornará al comienzo, con las alimentaciones frescas.

Por otro lado, la corriente del fondo de la T-002, corriente 016, posee el óxido de propileno y parte de metanol, y se dirige a la última etapa de purificación, a la T-003, donde ingresa a 550 kPa y a 50°C. Por el tope, se obtiene la corriente 023, que contiene el óxido de propileno, y por el fonde se obtiene la corriente 025, con parte del metanol que se recircula al inicio del proceso.

La corriente 013, salida del fondo de la T-001, se dirige a la T-004, para sacar por el fondo el agua formada, junto con el propilenglicol. Por el tope, se obtiene la corriente 030, que posee la otra parte del metanol recuperado.

Las corrientes 025 y 030, se juntan y forman la corriente 032, que ingresa al proceso con el metanol recuperado.

4.6. Balance de masa y energía

Primeramente, se realizará un balance de masa global, y posteriormente se plasmarán los balances de equipos por equipos.

4.6.1. Balance de masa global

Con ayuda de la simulación, se realiza un balance de masa global, tomando el concepto de caja negra, considerando que las corrientes de ingreso serán la corriente 001, 002, 005, y las corrientes de salida serán las corrientes 018, 024 y 029.

Por lo tanto, en la Figura 4-13, se observa lo anteriormente mencionado.



Figura 4- 13: Diagrama general para el balance de masa global.

El objetivo de producción anual es de 100.000 toneladas de óxido de propileno. Para este caso, se contemplaron 335 días de producción normal, contemplando 30 días para paros de planta o paradas de emergencia.

Por lo tanto, se realizan los cálculos necesarios para conocer los kilogramos producidos de óxido de propileno por hora.

$$100.000 \frac{\text{ton}}{\text{año}} * \frac{1.000\text{kg}}{1\text{ton}} * \frac{1 \text{ año}}{335 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24\text{h}} = 12.437,81 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Con este resultado, se buscará obtener esta cantidad de óxido de propileno como resultado final en la corriente 024.

En la Tabla 4-2, se detallan las corrientes para el balance de masa global.

Balance de masa global	Corriente	Entradas			Salidas		
		1	2	5	18	24	29
Fracción de vapor		0	0	0	0	0	0
Flujo másico	kg/h	7.861,20	10.681,98	145,60	1.401,45	12.437,87	4.849,20
Flujo molar	kgmol/h	231,11	253,85	4,54	33,47	215,29	233,09
Temperatura	°C	25	25	76,32	2	37,41	11.4,25
Presión	kPa	2.000	2.000	2.000	1.300	500	160
Flujo volumétrico	m ³ /h	5,41	20,50	0,18	2,65	14,89	4,77
Peso Molecular		34,01	42,08	32,04	41,87	57,77	20,80
Entalpía molar	kJ/kgmol	-188.033	4.758	-238.893	1.431	-120.778	-281.902
Flujo de calor	kJ/h	-4,35E+07	1,21E+06	-1,09E+06	4,79E+04	-2,60E+07	-6,57E+07
Composición							
Óxido de propileno	kg/h	0	0	0	8,67	12.355,78	0,00
Agua	kg/h	0	0	0	0,02	9,36E-05	3868,48
Peróxido de hidrógeno	kg/h	7.861,2	0	0	1,53E-06	6,39E-09	265,74
Metanol	kg/h	0	0	145,60	0,43	81,5025775	63,49
Oxígeno	kg/h	0	0	0	29,60	1,97E-14	8,96E-27
Propileno	kg/h	0	10.681,98	0	1.362,73	0,59	1,22E-26
Propilenglicol	kg/h	0	0	0	9,33E-16	1,96E-28	651,49
Fracción masa							
Óxido de propileno		0	0	0	6,18E-03	0,99	1,54E-41
Agua		0	0	0	1,54E-05	7,53E-09	0,80
Peróxido de hidrógeno		1	0	0	1,09E-09	5,14E-13	0,05
Metanol		0	0	1	3,06E-04	6,55E-03	0,01
Oxígeno		0	0	0	0,02	1,58E-18	1,85E-30
Propileno		0	1	0	0,97	4,72E-05	2,52E-30
Propilenglicol		0	0	0	6,65E-19	1,58E-32	0,13

Tabla 4- 2: Balance de masa global.

4.6.2. Balance de masa y energía equipo por equipo

A continuación, se realizará el balance de masa y energía de cada uno de los equipos que intervienen en la producción de óxido de propileno.

4.6.2.1. Mezclador MIX-001

Al inicio del proceso, se encuentran las alimentaciones frescas, junto con las corrientes recuperadas y recirculadas. Por lo tanto, en el MIX-001, se da la mezcla de las mismas.

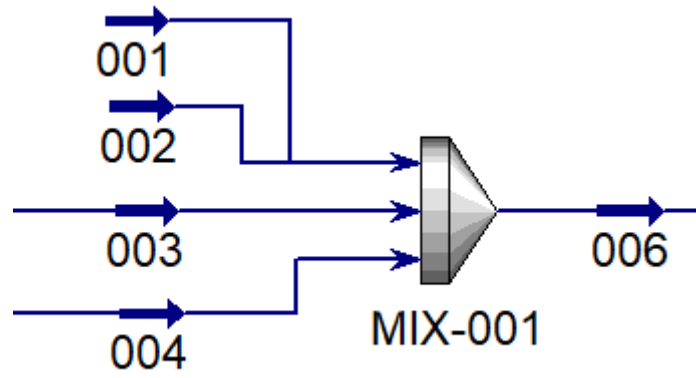


Figura 4- 14: Mezclador MIX-001.

A continuación, en la Tabla 4-3 se observan los datos de cada corriente del MIX-001.

MIX-001	Corriente	Entradas				Salidas
		1	2	3	4	6
	Fracción de vapor	0	0	1	0	0
	Flujo másico <i>kg/h</i>	7.861,20	10.681,98	600,62	33.548,97	52.692,78
	Flujo molar <i>kgmol/h</i>	231,11	253,85	14,35	1.047,84	1.547,15
	Temperatura <i>°C</i>	25	25	50	75,83	53,68
	Presión <i>kPa</i>	2.000	2.000	1.950	2.000	1.950
	Flujo volumétrico <i>m³/h</i>	5,41	20,50	1,14	42,15	69,20
	Peso Molecular	34,01	42,08	41,87	32,02	34,06
	Entalpía molar <i>kJ/kgmol</i>	-188.033	4.758	18.816	-239.045	-189.032
	Flujo de calor <i>kJ/h</i>	-4,35E+07	1,21E+06	2,70E+05	-2,50E+08	-2,92E+08
	Composición					
	Óxido de propileno <i>kg/h</i>	0	0	3,71	13,61	17,32
	Agua <i>kg/h</i>	0	0	0,01	41,51	41,52
	Peróxido de hidrógeno <i>kg/h</i>	7.861,2	0	6,57E-07	4,88	7.866,08
	Metanol <i>kg/h</i>	0	0	0,18	33.488,98	33.489,16
	Oxígeno <i>kg/h</i>	0	0	12,69	6,08E-25	12,69
	Propileno <i>kg/h</i>	0	10.681,98	584,03	2,06E-13	11266,01
	Propilenglicol <i>kg/h</i>	0	0	4,00E-16	7,77E-07	7,77E-07
	Fracción masa					
	Óxido de propileno	0	0	6,18E-03	4,06E-04	3,29E-04
	Agua	0	0	1,54E-05	1,24E-03	7,88E-04
	Peróxido de hidrógeno	1	0	1,09E-09	1,45E-04	0,15
	Metanol	0	0	3,06E-04	1,00	0,64
	Oxígeno	0	0	0,02	1,81E-29	2,41E-04
	Propileno	0	1	0,97	6,15E-18	0,21
	Propilenglicol	0	0	6,66E-19	2,32E-11	1,47E-11

Tabla 4- 3: Balance de masa y energía MIX-001.

4.6.2.2. Bomba P-001

Luego del mezclador, la corriente 006 se bombea con la bomba P-001, para elevar su presión a 2.850 kPa, y posteriormente acondicionar su temperatura para que ingrese al reactor.

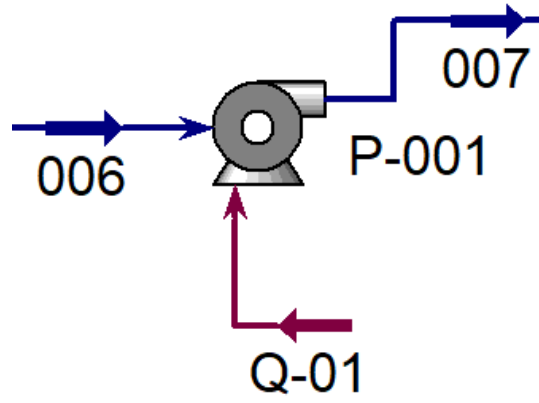


Figura 4- 15: Bomba P-001.

En la Tabla 4-4 se muestra el balance de masa y energía.

P-001	Corriente	Entrada	Salida
		6	7
Fracción de vapor		0	0
Flujo másico	kg/h	52.692,78	52.692,78
Flujo molar	kgmol/h	1.547,15	1.547,15
Temperatura	°C	53,68	53,89
Presión	kPa	1.950	2.850
Flujo volumétrico	m ³ /h	69,20	69,20
Peso Molecular		34,06	34,06
Entalpía molar	kJ/kgmol	-189.032	-188.978
Flujo de calor	kJ/h	-2,92E+08	-2,92E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	17,32	17,32
Agua	kg/h	41,52	41,52
Peróxido de hidrógeno	kg/h	7.866,08	7.866,08
Metanol	kg/h	33.489,16	33.489,16
Oxígeno	kg/h	12,69	12,69
Propileno	kg/h	11.266,01	11.266,01
Propilenglicol	kg/h	7,77E-07	7,77E-07
Fracción masa			
Óxido de propileno		3,29E-04	3,29E-04
Agua		7,88E-04	7,88E-04
Peróxido de hidrógeno		0,15	0,15
Metanol		0,64	0,64
Oxígeno		2,41E-04	2,41E-04
Propileno		0,21	0,21
Propilenglicol		1,47E-11	1,47E-11
Q-01	kJ/h	84.108,55	-

Tabla 4- 4: Balance de masa y energía P-001.

4.6.2.3. Intercambiador de calor E-001

La corriente 006 se calienta, para acondicionar la alimentación del reactor, y que se pueda dar en las condiciones buscadas.

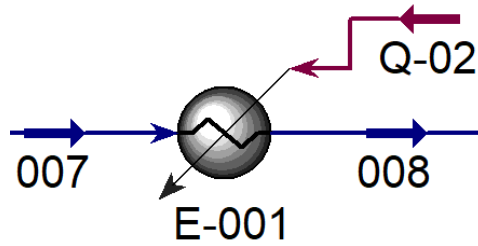


Figura 4- 16: Intercambiador de calor E-001.

Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 4-5.

E-001	Corriente	Entrada	Salida
		7	8
Fracción de vapor		0	0
Flujo másico	kg/h	52.692,78	52.692,78
Flujo molar	kgmol/h	1.547,15	1.547,15
Temperatura	°C	53,89	55
Presión	kPa	2.850	2.800
Flujo volumétrico	m ³ /h	69,20	69,20
Peso Molecular		34,06	34,06
Entalpía molar	kJ/kgmol	-188.978	-188.815
Flujo de calor	kJ/h	-2,92E+08	-2,92E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	17,32	17,32
Agua	kg/h	41,52	41,52
Peróxido de hidrógeno	kg/h	7.866,08	7.866,08
Metanol	kg/h	33.489,16	33.489,16
Oxígeno	kg/h	12,69	12,69
Propileno	kg/h	11.266,01	11.266,01
Propilenglicol	kg/h	7,77E-07	7,77E-07
Fracción masa			
Óxido de propileno		3,29E-04	3,29E-04
Agua		7,88E-04	7,88E-04
Peróxido de hidrógeno		0,15	0,15
Metanol		0,64	0,64
Oxígeno		2,41E-04	2,41E-04
Propileno		0,21	0,21
Propilenglicol		1,47E-11	1,47E-11
Q-02	kJ/h	252.026,53	-

Tabla 4- 5: Balance de masa y energía E-001.

4.6.2.4. Reactor R-001

Luego que la corriente 008 se encuentra en las condiciones adecuadas, ingresa al reactor R-001, para obtener el óxido de propileno.

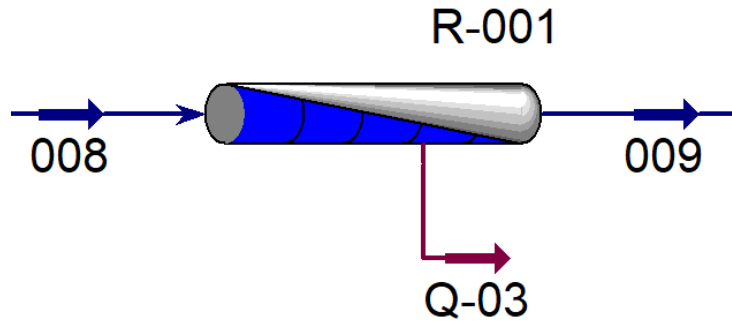


Figura 4- 17: Reactor R-001.

En la corriente 009, sale una mezcla de reactivos que no reaccionaron, solvente, y productos formados. Las especificaciones se muestran en la Tabla 4-6.

R-001	Corriente	Entrada	Salida
		8	9
Fracción de vapor		0	0
Flujo másico	kg/h	52.692,78	52.692,70
Flujo molar	kgmol/h	1.547,15	1.539,51
Temperatura	°C	55	55
Presión	kPa	2.800	2.799,68
Flujo volumétrico	m ³ /h	69,20	65,41
Peso Molecular		34,06	34,23
Entalpía molar	kJ/kgmol	-188.815	-223.296
Flujo de calor	kJ/h	-2,92E+08	-3,44E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	17,32	12.381,77
Agua	kg/h	41,52	3910,03
Peróxido de hidrógeno	kg/h	7.866,08	270,62
Metanol	kg/h	33.489,16	33.489,16
Oxígeno	kg/h	12,69	42,29
Propileno	kg/h	11.266,01	1.947,35
Propilenglicol	kg/h	7,77E-07	651,49
Fracción masa			
Óxido de propileno		3,29E-04	0,23
Agua		7,88E-04	0,07
Peróxido de hidrógeno		0,15	5,14E-03
Metanol		0,64	0,64
Oxígeno		2,41E-04	8,03E-04
Propileno		0,21	0,04
Propilenglicol		1,47E-11	0,01
Q-03	kJ/h	-	5,16E+07

Tabla 4- 6: Balance de masa y energía del reactor R-001.

A su vez, en la Figura 4-18 se observan valores del dimensionamiento del reactor necesarios para que pueda dar lugar a la convergencia. para el reactor del proceso.

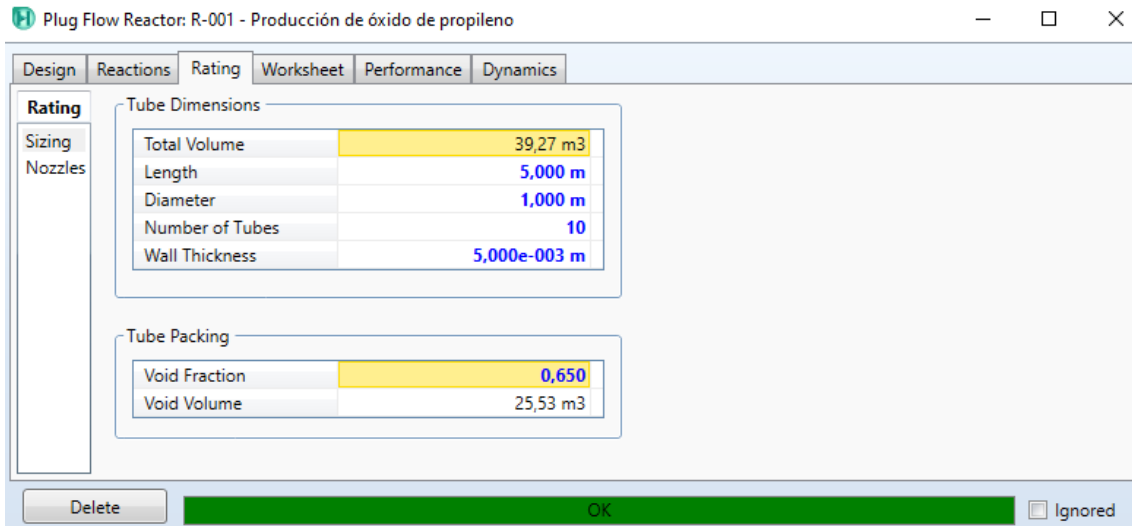


Figura 4- 18: Dimensionamiento del reactor.

También, es necesario asociar el set de reacciones al reactor, para que sean tenidas en cuenta.

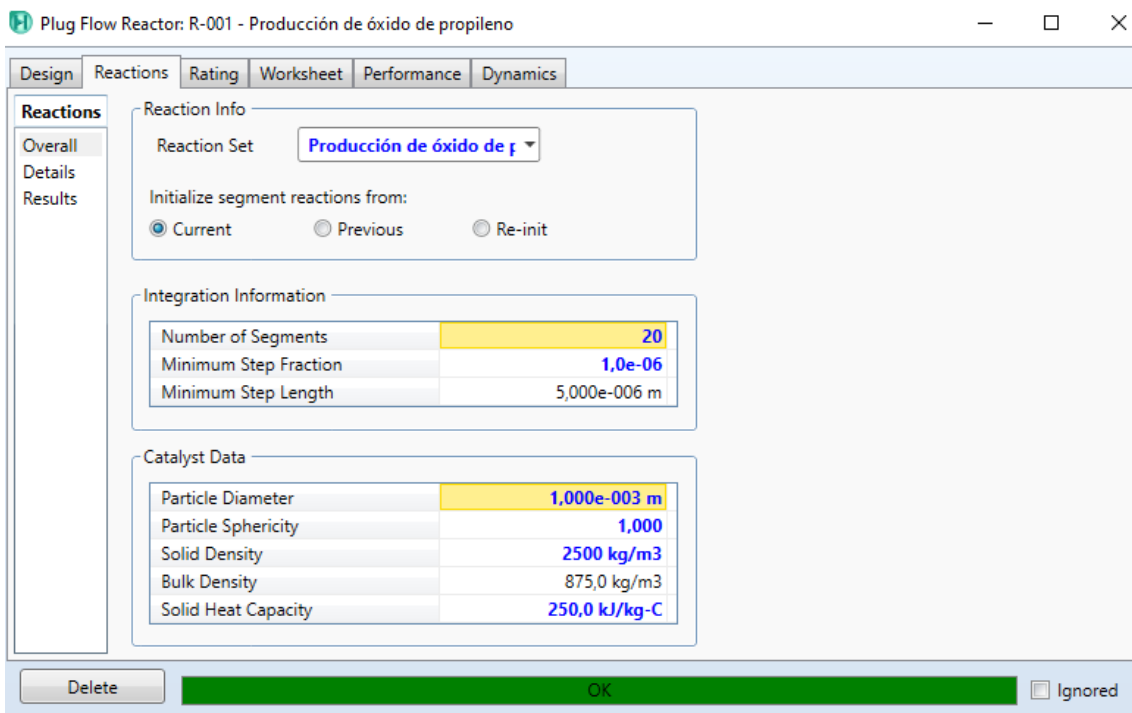


Figura 4- 19: Set de reacciones asociadas al reactor R-001.

4.6.2.5. Válvula VLV-001 e intercambiador de calor E-002

Luego de la salida del reactor R-001, la corriente 009 debe acondicionarse para ingrese a la primera columna de separación, la T-001.

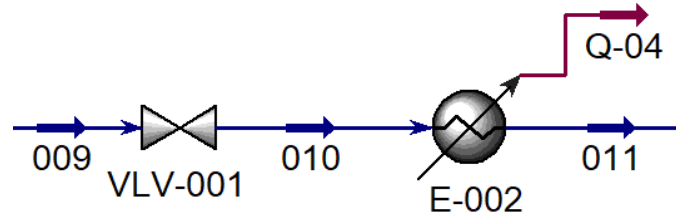


Figura 4- 20: Válvula VLV-001 e intercambiador de calor E-002.

En la Tabla 4-7 y 4-8, se describen las características de estas corrientes.

VLV-001	Corriente	Entrada	Salida
		9	10
Fracción de vapor		0	0,002
Flujo másico	kg/h	52.692,70	52.692,70
Flujo molar	kgmol/h	1.539,51	1.539,51
Temperatura	°C	55	55,37
Presión	kPa	2.799,68	600
Flujo volumétrico	m ³ /h	65,41	65,41
Peso Molecular		34,23	34,23
Entalpía molar	kJ/kgmol	-223.296	-223.296
Flujo de calor	kJ/h	-3,44E+08	-3,44E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	12.381,77	12.381,77
Agua	kg/h	3.910,03	3.910,03
Peróxido de hidrógeno	kg/h	270,62	270,62
Metanol	kg/h	33.489,16	33.489,16
Oxígeno	kg/h	42,29	42,29
Propileno	kg/h	1.947,35	1.947,35
Propilenglicol	kg/h	651,49	651,49
Fracción masa			
Óxido de propileno		0,23	0,23
Agua		0,07	0,07
Peróxido de hidrógeno		5,14E-03	5,14E-03
Metanol		0,64	0,64
Oxígeno		8,03E-04	8,03E-04
Propileno		0,04	0,04
Propilenglicol		0,01	0,01

Tabla 4- 7: Balance de masa y energía de VLV-001.

E-002	Corriente	Entrada	Salida
		10	11
	Fracción de vapor	0,002	0
	Flujo másico <i>kg/h</i>	52.692,70	52.692,70
	Flujo molar <i>kgmol/h</i>	1.539,51	1.539,51
	Temperatura <i>°C</i>	55,37	40
	Presión <i>kPa</i>	600	550
	Flujo volumétrico <i>m³/h</i>	65,41	65,41
	Peso Molecular	34,23	34,23
	Entalpía molar <i>kJ/kgmol</i>	-223.296	-225.607
	Flujo de calor <i>kJ/h</i>	-3,44E+08	-3,47E+08
	Composición		
	Óxido de propileno <i>kg/h</i>	12.381,77	12.381,77
	Agua <i>kg/h</i>	3.910,03	3.910,03
	Peróxido de hidrógeno <i>kg/h</i>	270,62	270,62
	Metanol <i>kg/h</i>	33.489,16	33.489,16
	Oxígeno <i>kg/h</i>	42,29	42,29
	Propileno <i>kg/h</i>	1.947,35	1.947,35
	Propilenglicol <i>kg/h</i>	651,49	651,49
	Fracción masa		
	Óxido de propileno	0,23	0,23
	Agua	0,07	0,07
	Peróxido de hidrógeno	5,14E-03	5,14E-03
	Metanol	0,64	0,64
	Oxígeno	8,03E-04	8,03E-04
	Propileno	0,04	0,04
	Propilenglicol	0,01	0,01
	Q-04 <i>kJ/h</i>	-	3,56E+06

Tabla 4- 8: Balance de masa y energía de E-002.

4.6.2.6. Columna de destilación T-001

Una vez acondicionada la corriente 011, ingresa a la columna T-001, donde el objetivo es lograr la primera separación, pero fundamental, se busca recuperar la máxima cantidad de óxido de propileno por el tope, y quitarle el agua y demás contaminantes.

Primero, para poder definir las especificaciones de la T-001, se debe realizar una simulación de la separación mediante el método corto, que permite obtener una aproximación, para luego simularlo mediante el método riguroso.

Es por esto, que a continuación se muestran los datos de referencias obtenido mediante la Shortcut column, Figura 4-21, 4-22, 4-23 y 4-24.

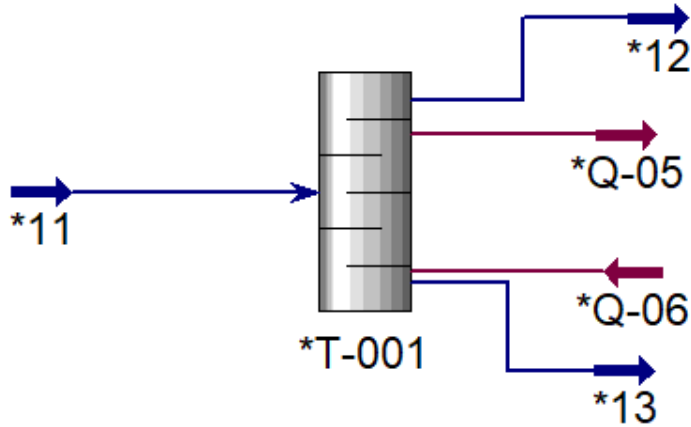


Figura 4- 21: Shortcut columna *T-001.

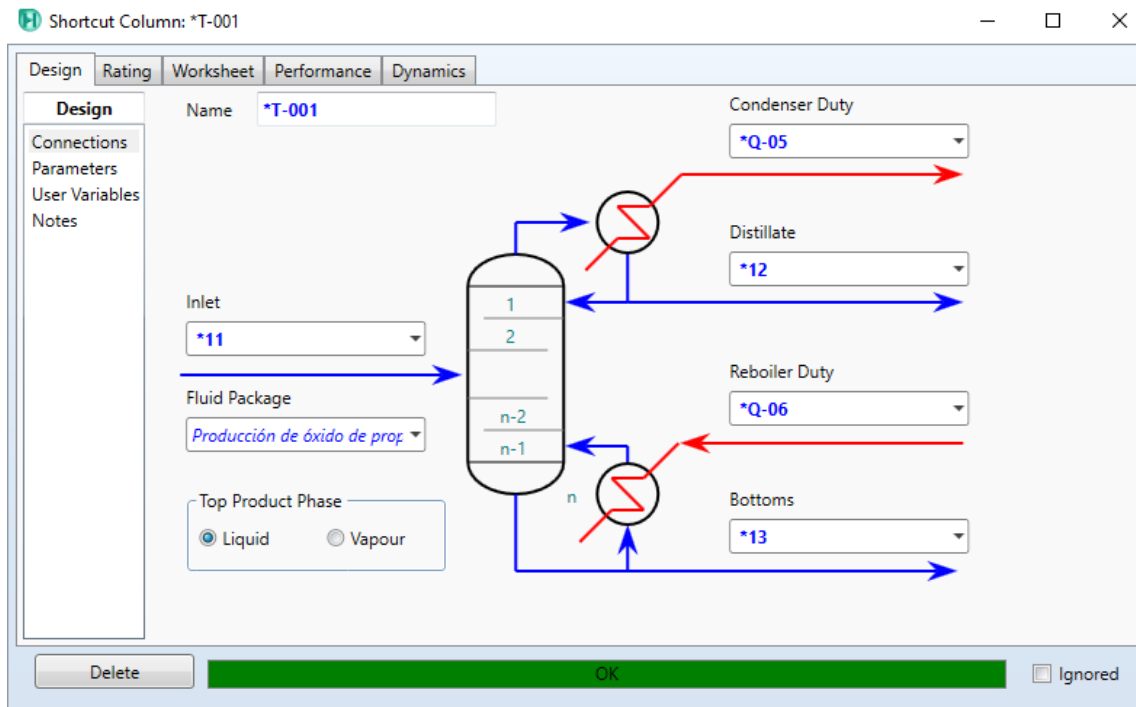


Figura 4- 22: Método corto para la simulación, *T-001.

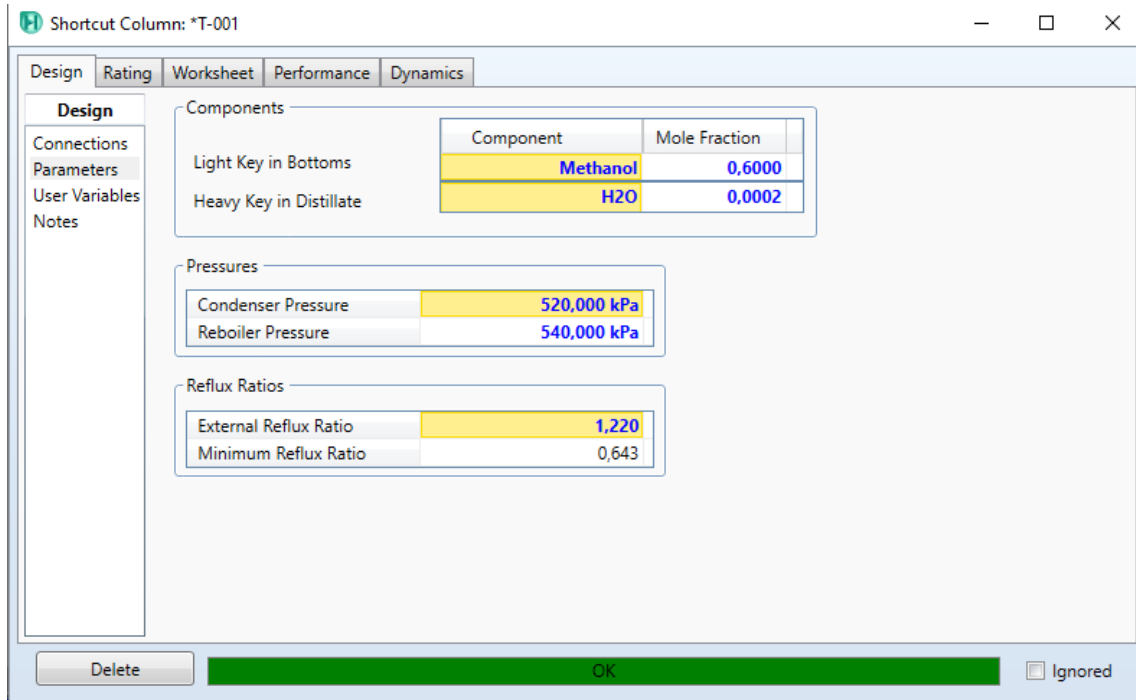


Figura 4- 23: Especificaciones de la *T-001.

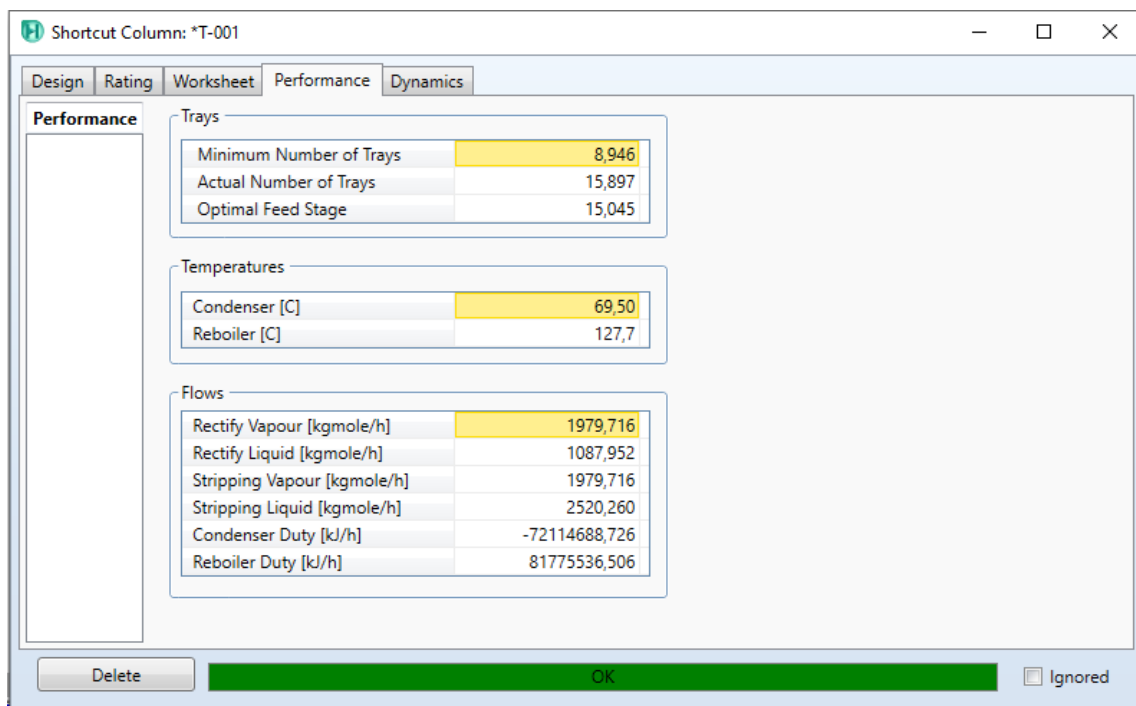


Figura 4- 24: Datos obtenidos en la *T-001.

Cabe destacar, que estos datos obtenidos, son datos de referencia que pueden ayudar a simular la separación mediante la el método riguroso, es decir, es una primera aproximación para comenzar a especificar los datos T-001, y evaluar su desempeño.

Luego, se realizarán los ajustes necesarios en la columna de destilación T-001, para lograr la convergencia de la misma.

Por lo tanto, luego de este análisis, a continuación, se plasman los datos tenidos en cuenta para la simulación de la T-001.

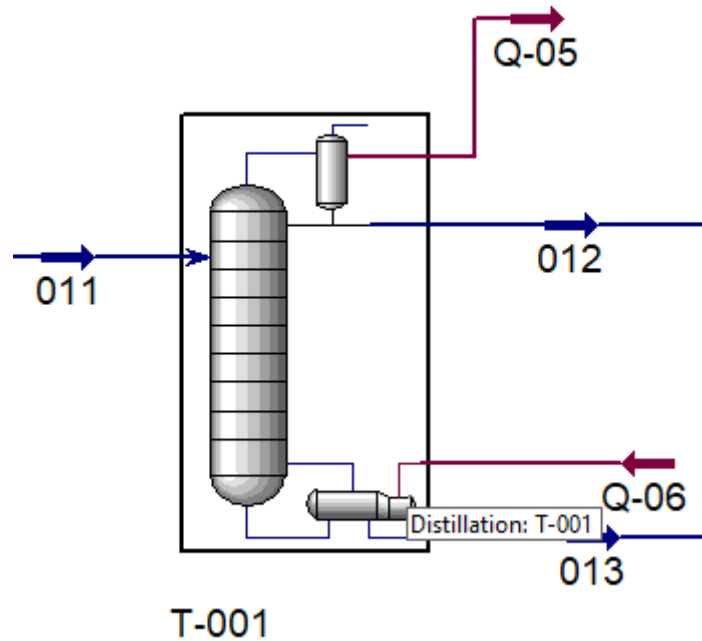


Figura 4- 25: Columna de destilación T-001.

Debido a que se consideró una eficiencia del 80% en cada etapa, es decir, en cada plato de la columna, el número de platos reales para esta torre es de 21.

Figura 4- 26: Alimentación y etapas de la T-001.

Se utilizaron 21 etapas en la columna, con una alimentación que se ubicó en la etapa 11, ya que, en etapas alejadas a este valor, se encontraban inconvenientes para la convergencia de la columna. A su vez, se encontraban problemas para lograr la recuperación total del agua por el fondo, y que el óxido de propileno y propileno se recuperen en su máxima cantidad posible por el tope.

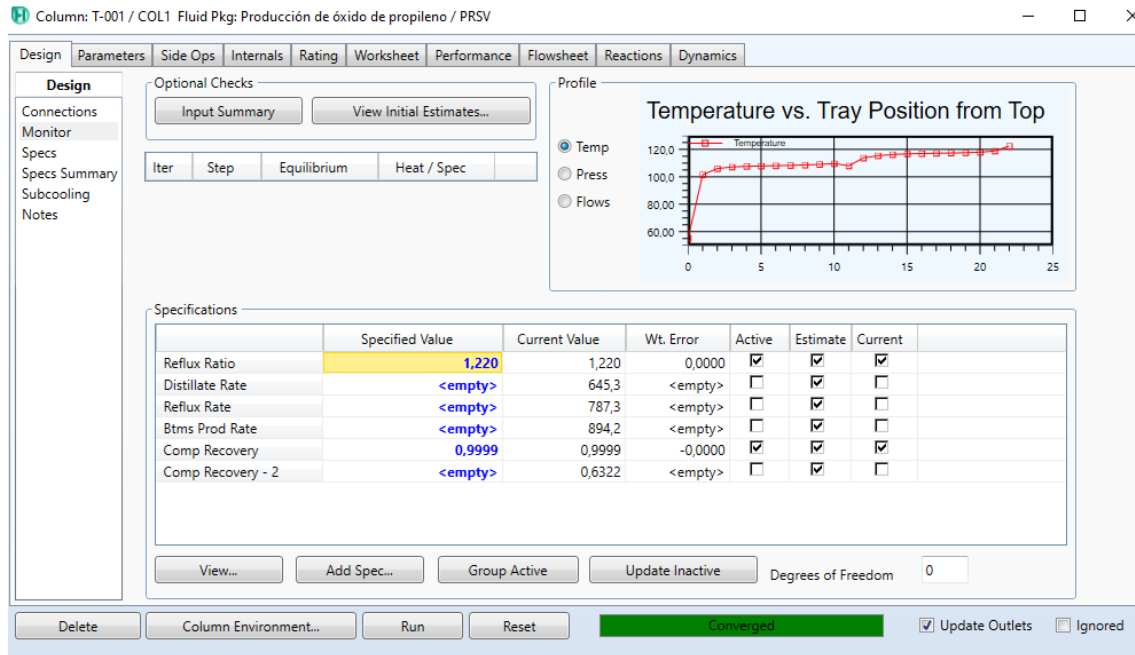


Figura 4- 27: Especificaciones definidas para T-001.

Teniendo el reflujo obtenido mediante el método corto, se optimizó la columna y se ajustaron algunos parámetros, para obtener la máxima cantidad posible del óxido de propileno por la parte superior.

Esto se logró, tildando preferentemente el reflujo y la recuperación del óxido de propileno, y que la columna trabaje en base a estos.

Por otra parte, una vez lograda la convergencia de la columna T-001, se definieron los internos de la columna de destilación, obteniendo también el diámetro y altura de las misma. A continuación, se plasman las especificaciones de diseño de la misma.

Producción de óxido de propileno

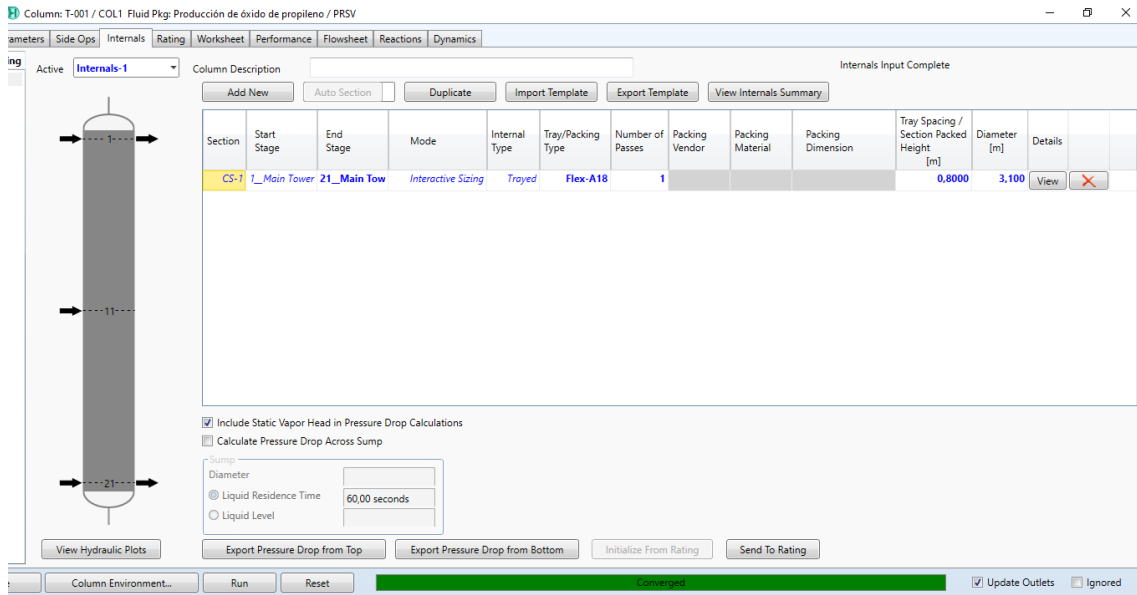


Figura 4- 28: Internos de la columna de destilación T-001.

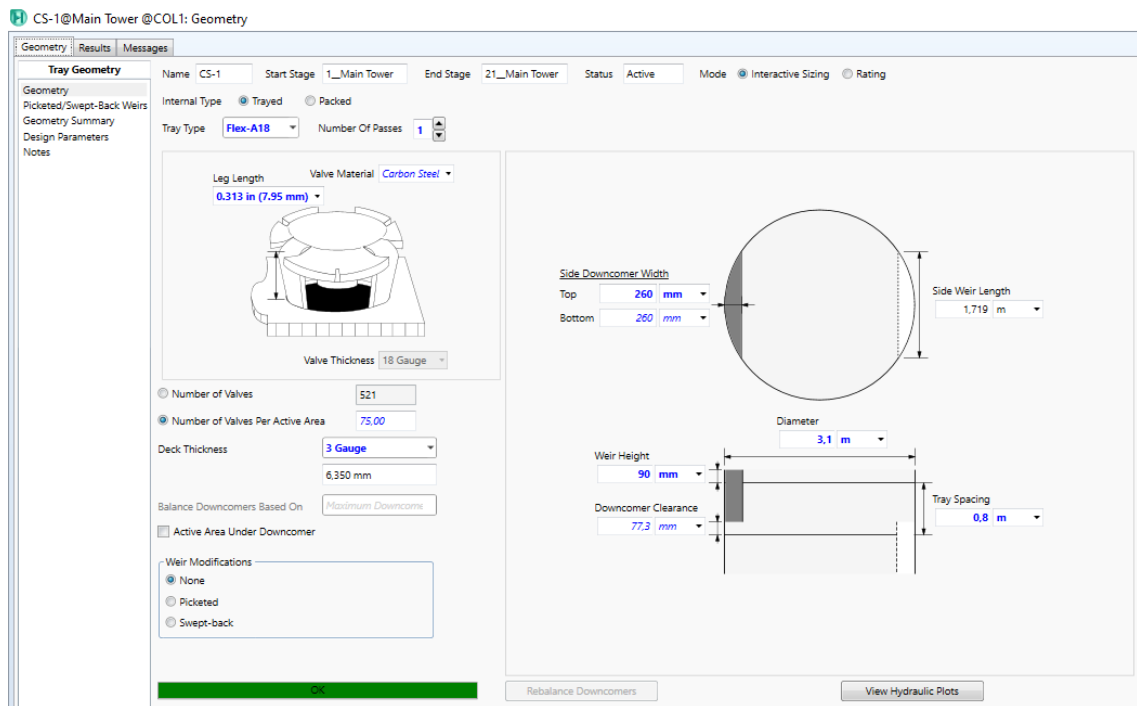


Figura 4- 29: Especificaciones de los internos de la columna T-001.

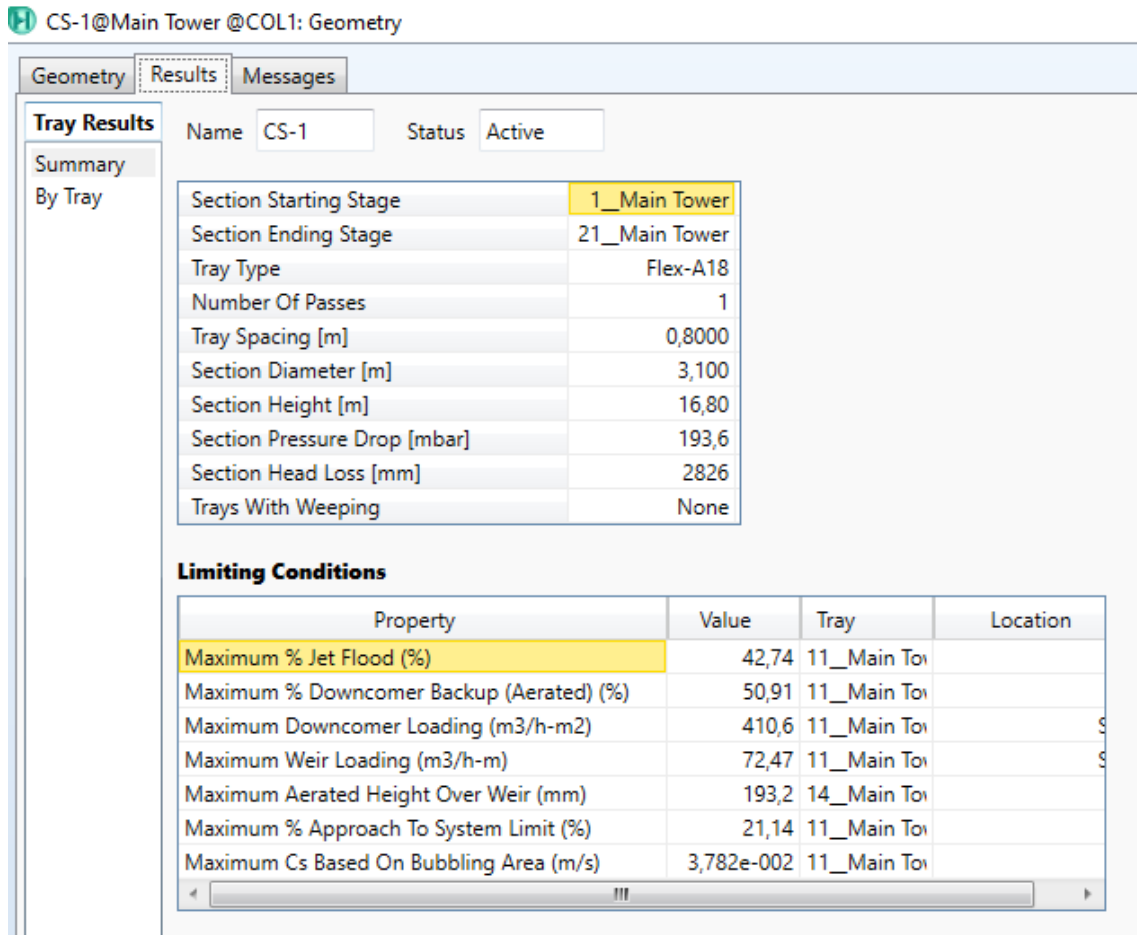


Figura 4- 30: Resultados del dimensionamiento de la columna T-001.

Finalmente, una vez detallado los datos y especificaciones de la columna T-001, se visualiza en la Tabla 4-9 el balance de masa y energía de la misma.

T-001	Corriente	Entrada		Salidas	
		11	12	13	
Fracción de vapor		0	0	0	
Flujo másico	kg/h	52.692,70	26.690,89	26.001,81	
Flujo molar	kgmol/h	1.539,51	645,34	894,17	
Temperatura	°C	40	55,37	122,44	
Presión	kPa	550	520	540	
Flujo volumétrico	m ³ /h	65,41	34,08	31,34	
Peso Molecular		34,23	41,36	29,08	
Entalpía molar	kJ/kgmol	-225.607	-181.177	-245.239,976	
Flujo de calor	kJ/h	-3,47E+08	-1,17E+08	-2,19E+08	
Composición					
Óxido de propileno	kg/h	12.381,77	12.380,53	1,24	
Agua	kg/h	3.910,03	2,47	3.907,56	
Peróxido de hidrógeno	kg/h	270,62	0,25	270,36	
Metanol	kg/h	33.489,16	12.318,00	21.171,16	
Oxígeno	kg/h	42,29	42,29	6,17E-25	
Propileno	kg/h	1.947,35	1.947,35	2,06E-13	
Propilenglicol	kg/h	651,49	7,76E-07	651,49	
Fracción masa					
Óxido de propileno		0,23	0,46	4,76E-05	
Agua		0,07	9,25E-05	0,15	
Peróxido de hidrógeno		5,14E-03	9,47E-06	0,01	
Metanol		0,64	0,46	0,81	
Oxígeno		8,03E-04	1,58E-03	2,37E-29	
Propileno		0,04	0,07	7,94E-18	
Propilenglicol		0,01	2,91E-11	0,03	
Q-05	kJ/h	-	5,13E+07	-	
Q-06	kJ/h	6,24E+07	-		

Tabla 4- 9: Balance de masa y energía T-001.

4.6.2.7. Bomba P-002 e intercambiador de calor E-003

Luego de la separación, la corriente superior que posee el óxido de propileno, se acondiciona para continuar con la purificación del mismo.

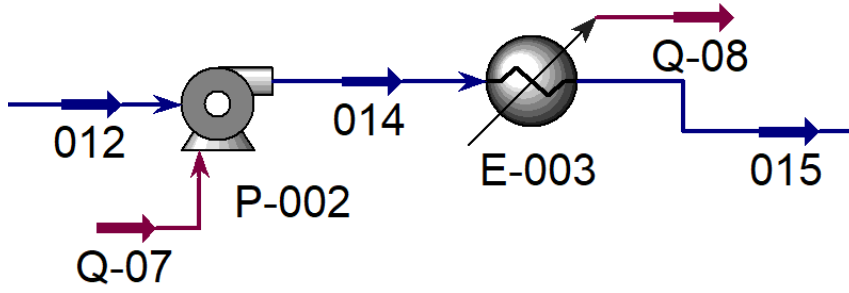


Figura 4- 31: Bomba P-002 e intercambiador de calor E-003.

En las Tablas 4-10 y 4-11 se muestran las especificaciones de las corrientes.

P-002	Corriente	Entrada	Salida
		12	14
Fracción de vapor		0	0
Flujo másico	kg/h	26.690,89	26.690,89
Flujo molar	kgmol/h	645,34	645,34
Temperatura	°C	55,37	55,68
Presión	kPa	520	1.500
Flujo volumétrico	m ³ /h	34,08	34,08
Peso Molecular		41,36	41,36
Entalpía molar	kJ/kgmol	-181.177	-181.105
Flujo de calor	kJ/h	-1,17E+08	-1,17E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	12.380,53	12.380,53
Agua	kg/h	2,47	2,47
Peróxido de hidrógeno	kg/h	0,25	0,25
Metanol	kg/h	12.318,00	12.318,00
Oxígeno	kg/h	42,29	42,29
Propileno	kg/h	1.947,35	1.947,35
Propilenglicol	kg/h	7,76E-07	7,76E-07
Fracción masa			
Óxido de propileno		0,46	0,46
Agua		9,25E-05	9,25E-05
Peróxido de hidrógeno		9,47E-06	9,47E-06
Metanol		0,46	0,46
Oxígeno		1,58E-03	1,58E-03
Propileno		0,07	0,07
Propilenglicol		2,91E-11	2,91E-11
Q-07	kJ/h	4,67E+04	-

Tabla 4- 10: Balance de masa y energía P-002.

E-003	Corriente	Entrada	Salida
		14	15
Fracción de vapor		0	0
Flujo másico	kg/h	26.690,89	26.690,89
Flujo molar	kgmol/h	645,34	645,34
Temperatura	°C	55,68	50
Presión	kPa	1.500	1.450
Flujo volumétrico	m ³ /h	34,08	34,08
Peso Molecular		41,36	41,36
Entalpía molar	kJ/kgmol	-181.105	-181.905
Flujo de calor	kJ/h	-1,17E+08	-1,17E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	12.380,53	12.380,53
Agua	kg/h	2,47	2,47
Peróxido de hidrógeno	kg/h	0,25	0,25
Metanol	kg/h	12.318,00	12.318,00
Oxígeno	kg/h	42,29	42,29
Propileno	kg/h	1.947,35	1.947,35
Propilenglicol	kg/h	7,76E-07	7,76E-07
Fracción masa			
Óxido de propileno		0,46	0,46
Agua		9,25E-05	9,25E-05
Peróxido de hidrógeno		9,47E-06	9,47E-06
Metanol		0,46	0,46
Oxígeno		1,58E-03	1,58E-03
Propileno		0,07	0,07
Propilenglicol		2,91E-11	2,91E-11
Q-08	kJ/h	-	5,16E+05

Tabla 4- 11: Balance de masa y energía E-003.

4.6.2.8. Columna de destilación T-002

El objetivo de esta columna, es despojar a la corriente 015 del propileno que no reaccionó y recircularlo al inicio del proceso y de esta forma, obtener por el fondo, el óxido de propileno con parte de metanol, que posteriormente se terminan de purificar.

Para poder definir las especificaciones de la T-002, se debe realizar una simulación de la separación mediante el método corto, que permite obtener una aproximación, para luego simularlo mediante el método riguroso.

Es por esto, que a continuación se muestran los datos de referencias obtenido mediante la Shortcut column, Figura 4-32, 4-33, 4-34 y 4-35.

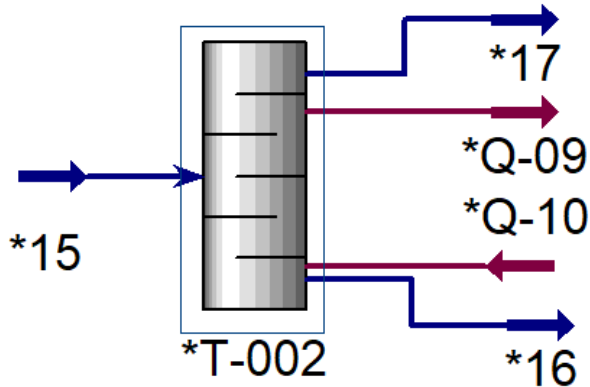


Figura 4- 32: Shortcut columna *T-002.

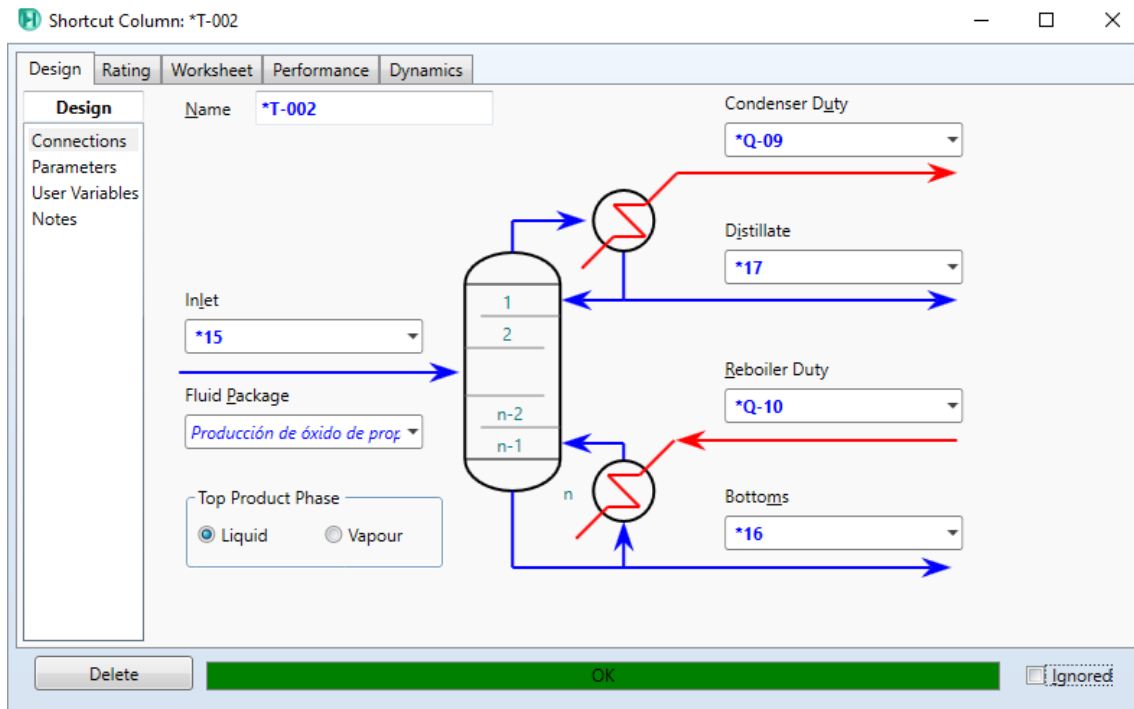


Figura 4- 33: Método corto para la simulación, *T-002.

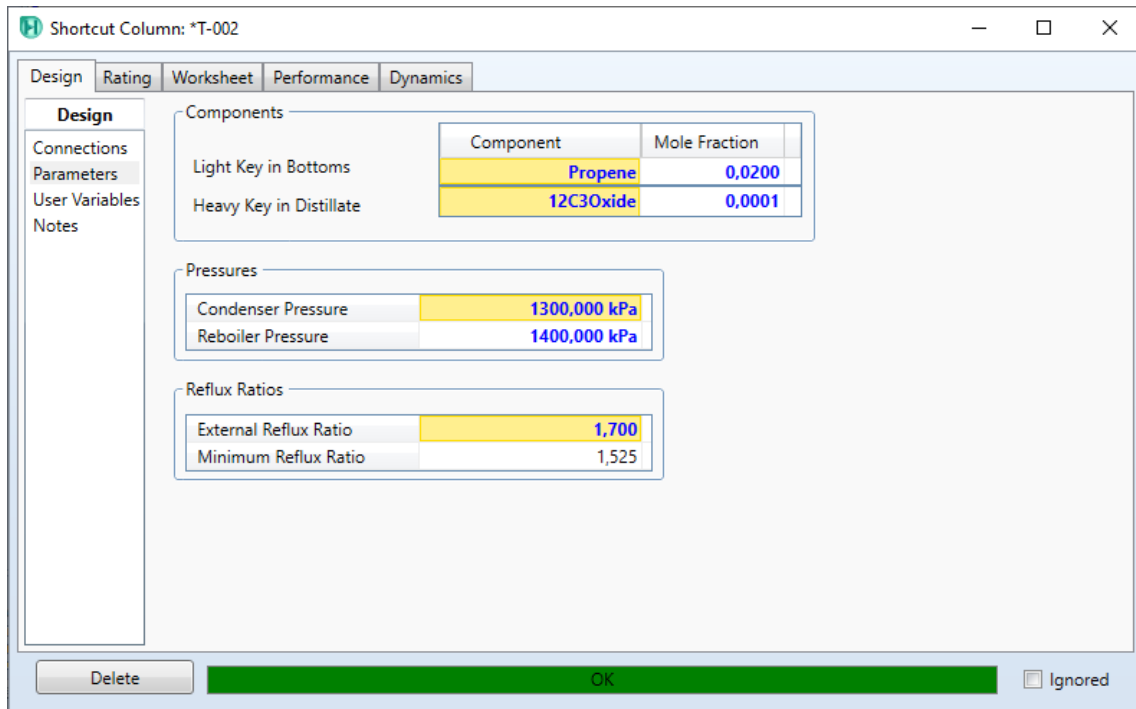


Figura 4- 34: Especificaciones de la *T-002.

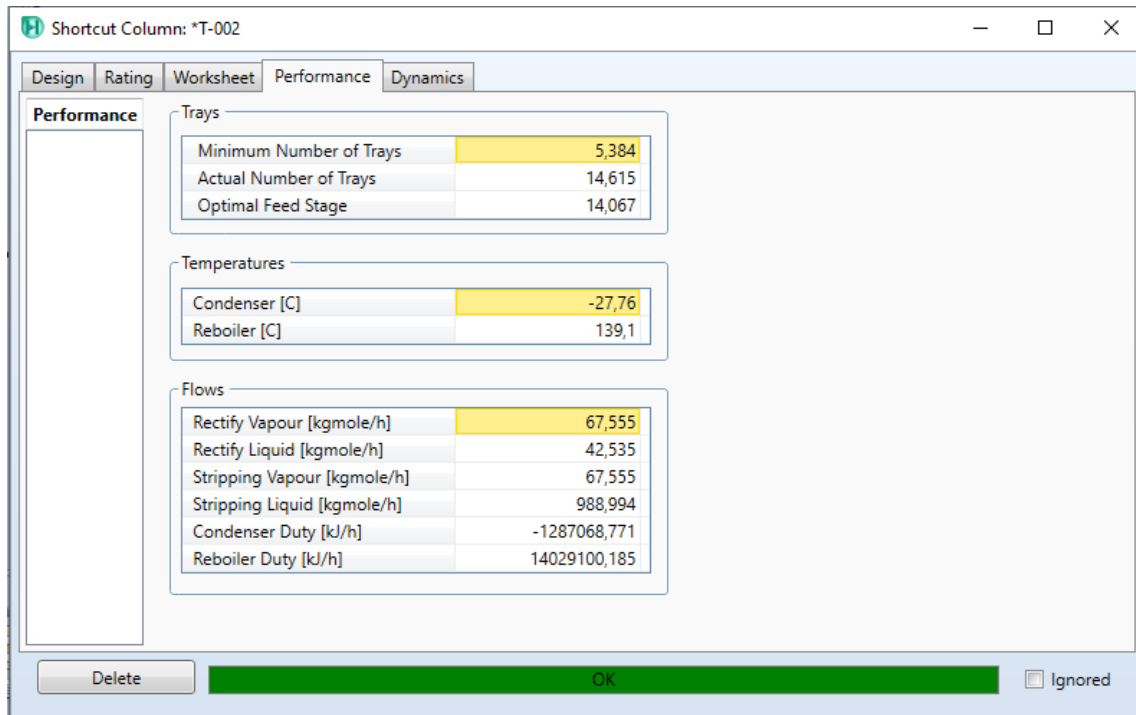


Figura 4- 35: Datos obtenidos en la *T-002.

Cabe destacar, que estos datos obtenidos, son datos de referencia que pueden ayudar a simular la separación mediante la el método riguroso, es decir, es una primera aproximación para comenzar a especificar los datos T-002, y evaluar su desempeño.

Luego, se realizarán los ajustes necesarios en la columna de destilación T-002, para lograr la convergencia de la misma.

Por lo tanto, luego de este análisis, a continuación, se plasman los datos tenidos en cuenta para la simulación de la T-002.

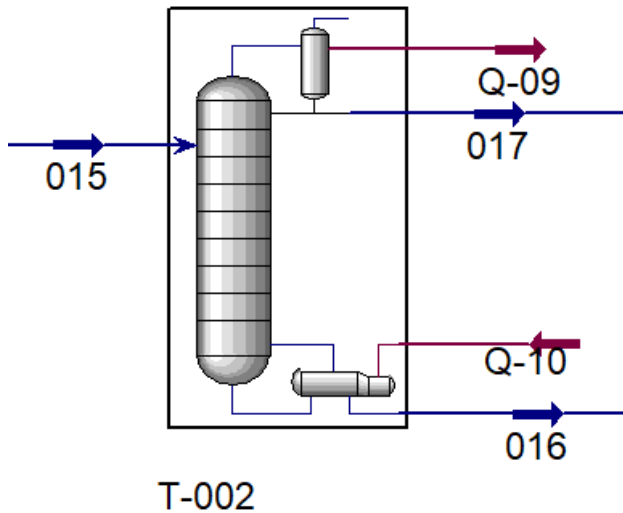


Figura 4- 36:Columna de destilación T-002.

Debido a que se consideró una eficiencia del 80% en cada etapa, es decir, en cada plato de la columna, el número de platos reales para esta torre es de 21.

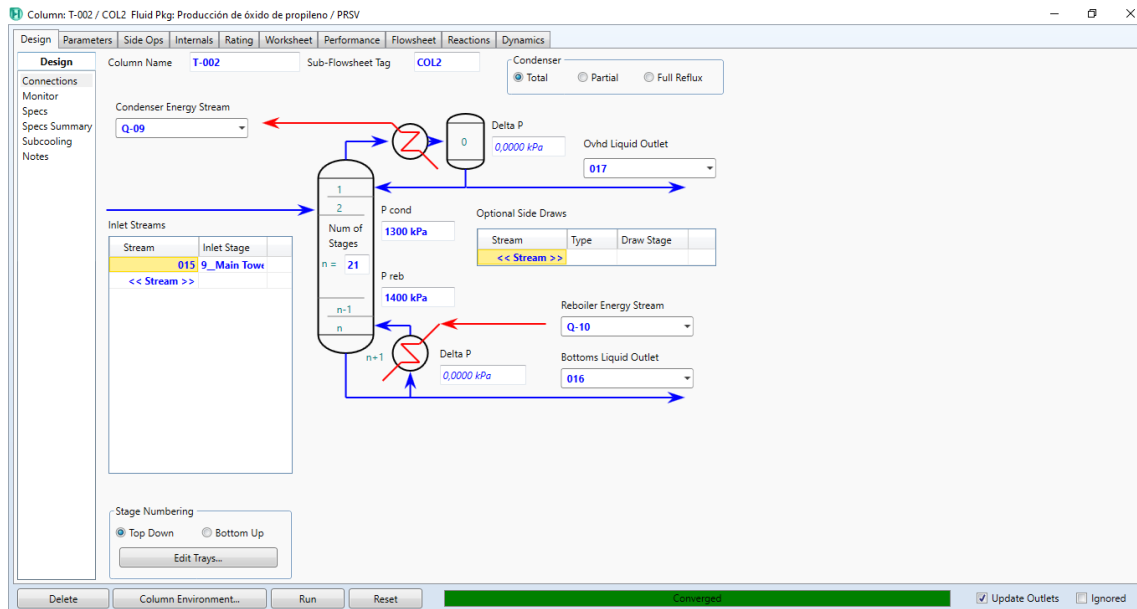


Figura 4- 37: Alimentación y etapas de la T-002.

Se utilizaron 21 etapas en la columna, con una alimentación que se ubicó en la etapa 15, con el objetivo de que el propileno salga con alta pureza por el tope, y recuperar el mayor porcentaje de óxido de propileno por el fondo.

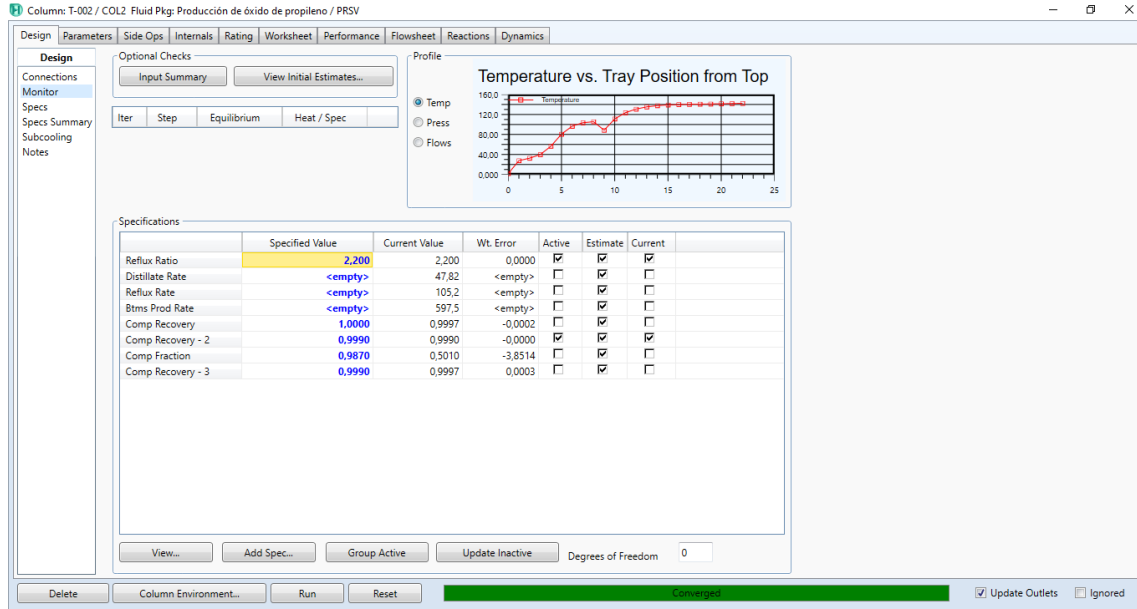


Figura 4- 38: Especificaciones definidas para T-002.

Teniendo el reflujo obtenido mediante el método corto, la columna se optimizó para lograr el óxido de propileno por el fondo, para lo cual, se necesitó un reflujo mayor al obtenido por el método corto. De lo contrario, parte del óxido de propileno se pierde con la corriente de tope.

Se tildó preferentemente el reflujo y la mayor recuperación del óxido de propileno, y que la columna trabaje en base a estos.

Por otra parte, una vez lograda la convergencia de la columna T-002, se definieron los internos de la columna de destilación, obteniendo también el diámetro y altura de las misma. A continuación, se plasman las especificaciones de diseño de la misma.

Producción de óxido de propileno

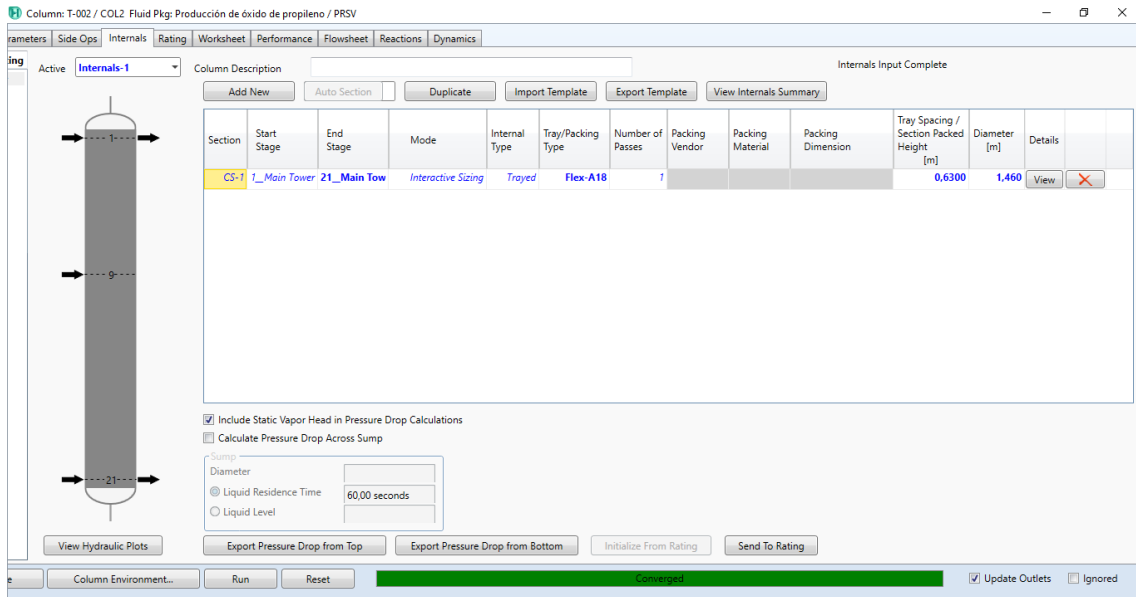


Figura 4- 39: Internos de la columna de destilación T-002.

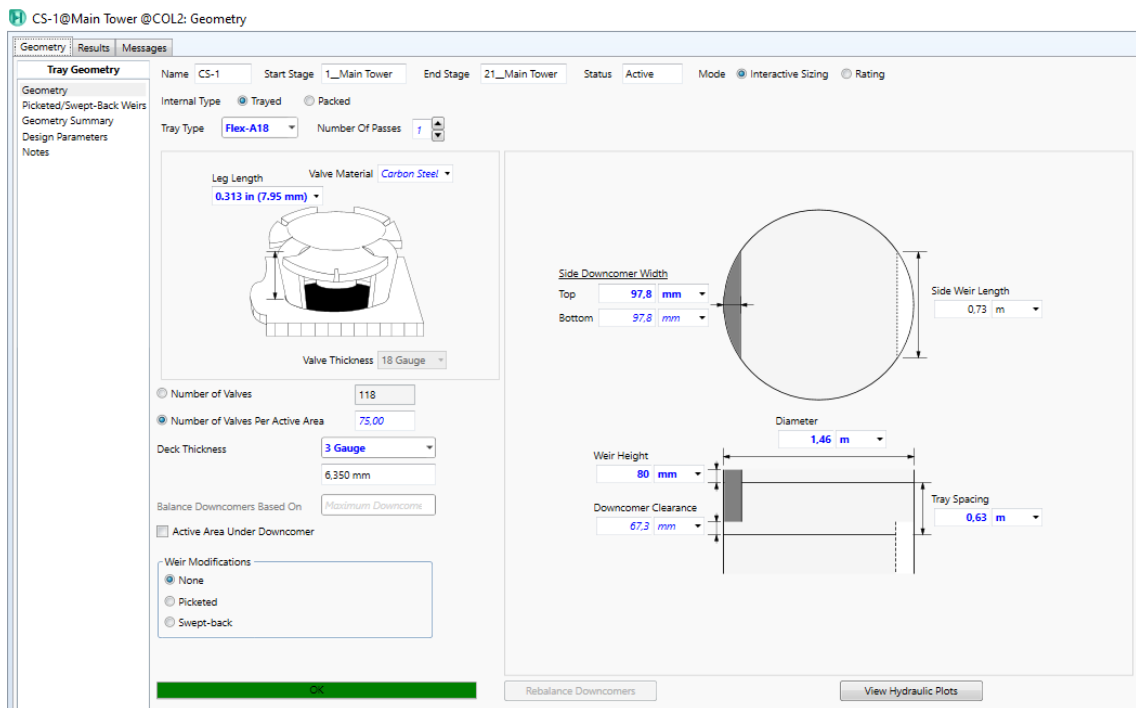


Figura 4- 40: Especificaciones de los internos de la columna T-002.

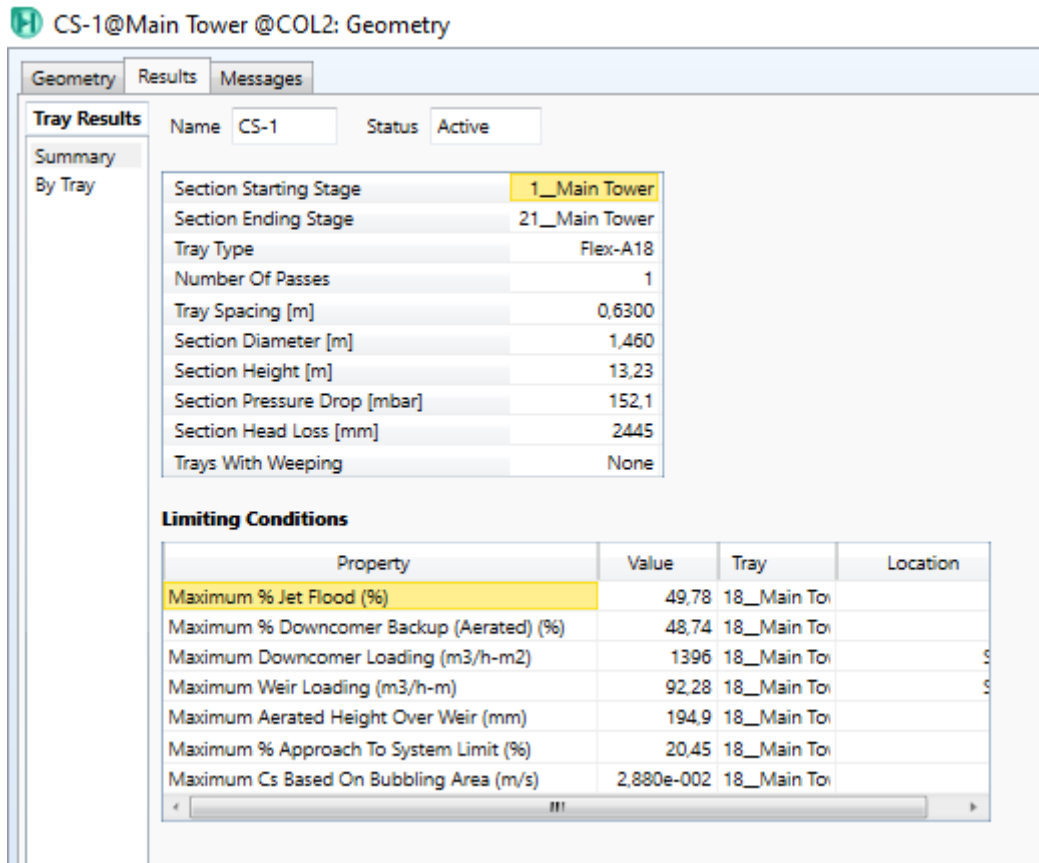


Figura 4- 41: Resultados del dimensionamiento de la columna T-002.

Finalmente, una vez detallado los datos y especificaciones de la columna T-002, se visualiza en la Tabla 4-12, el balance de masa y energía de la misma.

T-002	Corriente	Entrada		Salidas
		15	16	17
	Fracción de vapor	0	0	0
	Flujo másico <i>kg/h</i>	26.690,89	24.688,81	2.002,07
	Flujo molar <i>kgmol/h</i>	645,34	597,52	47,82
	Temperatura <i>°C</i>	50	142,27	2
	Presión <i>kPa</i>	1.450	1.400	1.300
	Flujo volumétrico <i>m³/h</i>	34,08	30,29	3,79
	Peso Molecular	41,36	41,32	41,87
	Entalpía molar <i>kJ/kgmol</i>	-181.905	-182.929	1.431
	Flujo de calor <i>kJ/h</i>	-1,17E+08	-1,09E+08	6,84E+04
	Composición			
	Óxido de propileno <i>kg/h</i>	12.380,53	12.368,15	12,38
	Agua <i>kg/h</i>	2,47	2,44	0,03
	Peróxido de hidrógeno <i>kg/h</i>	0,25	0,25	2,19E-06
	Metanol <i>kg/h</i>	12.318,00	12.317,38	0,61
	Oxígeno <i>kg/h</i>	42,29	1,97E-14	42,29
	Propileno <i>kg/h</i>	1.947,35	0,59	1.946,76
	Propilenglicol <i>kg/h</i>	7,76E-07	7,76E-07	1,33E-15
	Fracción masa			
	Óxido de propileno	0,46	0,50	6,18E-03
	Agua	9,25E-05	9,88E-05	1,54E-05
	Peróxido de hidrógeno	9,47E-06	1,02E-05	1,09E-09
	Metanol	0,46	0,50	3,06E-04
	Oxígeno	1,58E-03	7,97E-19	0,02
	Propileno	0,07	2,38E-05	0,97
	Propilenglicol	2,91E-11	3,15E-11	6,65E-19
	Q-09 <i>kJ/h</i>	-	2,53E+06	-
	Q-10 <i>kJ/h</i>	1,07E+07	-	

Tabla 4- 12: Balance de masa y energía de T-002.

4.6.2.9. Válvula VLV-003 e intercambiador de calor E-005

Luego de la columna de destilación T-002, la corriente 016 que posee todo el óxido de propileno y parte de metanol, se acondiciona para pasar a la última columna de separación y obtener el óxido de propileno con la pureza buscada.

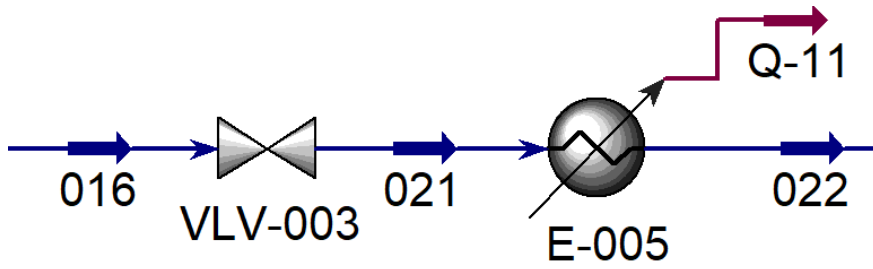


Figura 4- 42: Válvula VLV-003 e intercambiador de calor E-005.

En la Tabla 4-13 y 4-14 se observan las condiciones de las corrientes.

VLV-003	Corriente	Entrada	Salida
		16	21
Fracción de vapor		0	0,201
Flujo másico	kg/h	24.688,81	24.688,81
Flujo molar	kgmol/h	597,52	597,52
Temperatura	°C	142,27	107,60
Presión	kPa	1.400	600
Flujo volumétrico	m ³ /h	30,29	30,29
Peso Molecular		41,32	41,32
Entalpía molar	kJ/kgmol	-182.929	-182.929
Flujo de calor	kJ/h	-1,09E+08	-1,09E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	12.368,15	12.368,15
Agua	kg/h	2,44	2,44
Peróxido de hidrógeno	kg/h	0,25	0,25
Metanol	kg/h	12.317,38	12.317,38
Oxígeno	kg/h	1,97E-14	1,97E-14
Propileno	kg/h	0,59	0,59
Propilenglicol	kg/h	7,76E-07	7,76E-07
Fracción masa			
Óxido de propileno		0,50	0,50
Agua		9,88E-05	9,88E-05
Peróxido de hidrógeno		1,02E-05	1,02E-05
Metanol		0,50	0,50
Oxígeno		7,97E-19	7,97E-19
Propileno		2,38E-05	2,38E-05
Propilenglicol		3,15E-11	3,15E-11

Tabla 4- 13: Balance de masa y energía de VLV-003.

E-005	Corriente	Entrada	Salida
		21	22
Fracción de vapor		0,201	0
Flujo másico	kg/h	24.688,81	24.688,81
Flujo molar	kgmol/h	597,52	597,52
Temperatura	°C	107,60	50
Presión	kPa	600	550
Flujo volumétrico	m ³ /h	30,29	30,29
Peso Molecular		41,32	41,32
Entalpía molar	kJ/kgmol	-182.929	-197.260
Flujo de calor	kJ/h	-1,09E+08	-1,18E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	12.368,15	12.368,15
Agua	kg/h	2,44	2,44
Peróxido de hidrógeno	kg/h	0,25	0,25
Metanol	kg/h	12.317,38	12.317,38
Oxígeno	kg/h	1,97E-14	1,97E-14
Propileno	kg/h	0,59	0,59
Propilenglicol	kg/h	7,76E-07	7,76E-07
Fracción masa			
Óxido de propileno		0,50	0,50
Agua		9,88E-05	9,88E-05
Peróxido de hidrógeno		1,02E-05	1,02E-05
Metanol		0,50	0,50
Oxígeno		7,97E-19	7,97E-19
Propileno		2,38E-05	2,38E-05
Propilenglicol		3,15E-11	3,15E-11
Q-11	kJ/h	-	8,56E+06

Tabla 4- 14: Balance de masa y energía de E-005.

4.6.2.10. Columna de destilación T-003

Finalmente, una vez acondicionada la corriente 022, se encuentra en condiciones de ingresar a la T-003, con el objetivo de recuperar por el tope el óxido de propileno con la composición buscada, y por el fondo el metanol, que se retornará al inicio del proceso.

Al igual que las demás columnas, para poder definir las especificaciones de la T-003, se debe realizar una simulación de la separación mediante el método corto, que permite obtener una aproximación, para luego simularlo mediante el método riguroso.

Es por esto, que a continuación se muestran los datos de referencias obtenido mediante la Shortcut column, Figura 4-43, 4-44, 4-45 y 4-46.

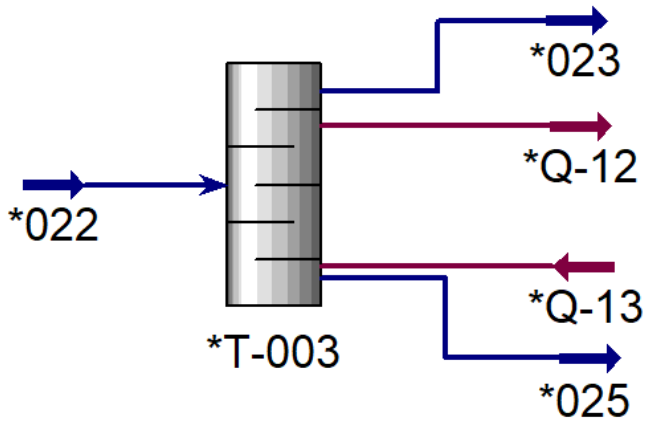


Figura 4- 43: Shortcut columna *T-003.

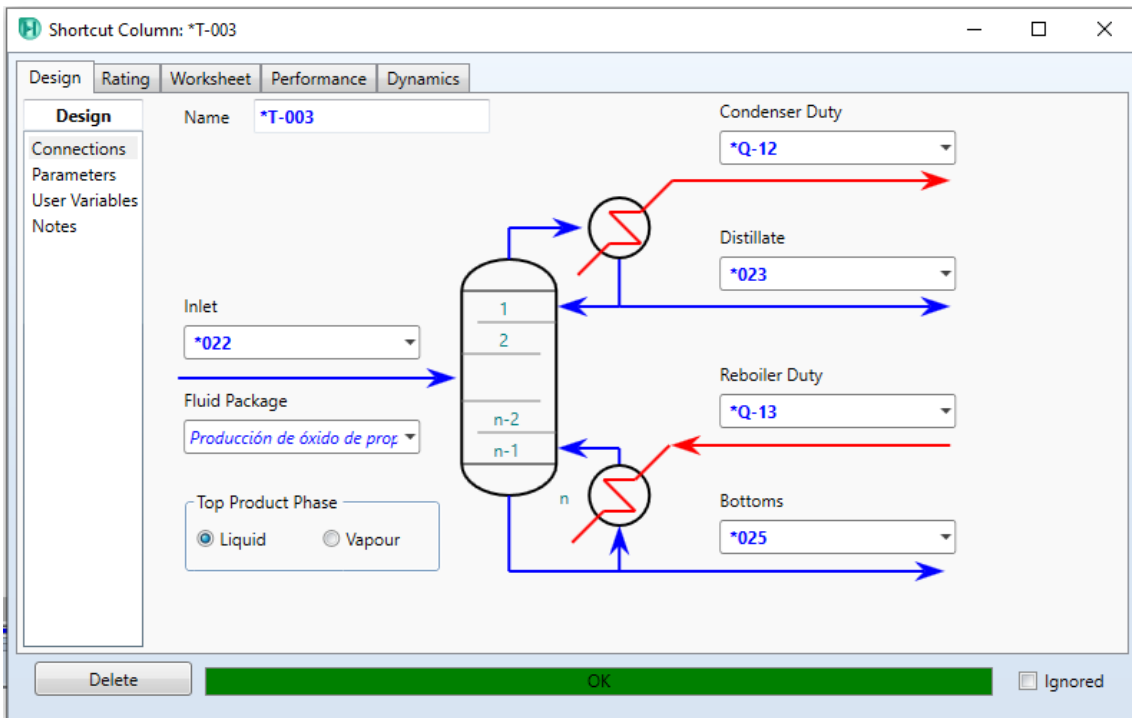


Figura 4- 44: Método corto para la simulación, *T-003.

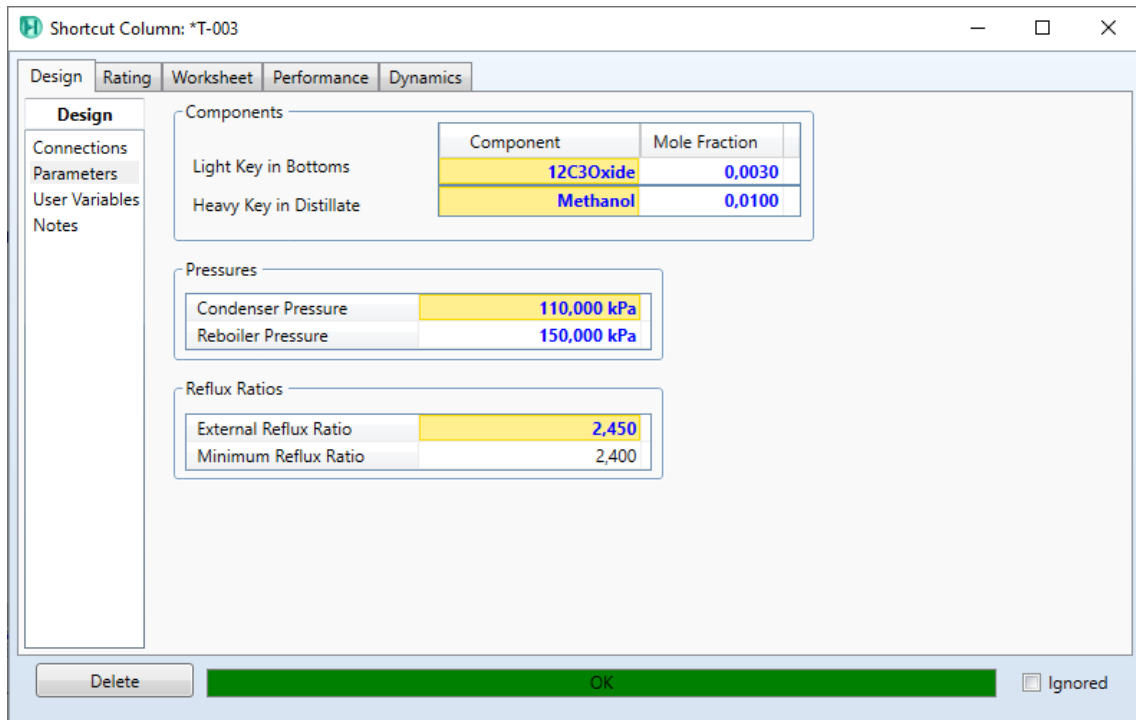


Figura 4- 45: Especificaciones de la *T-003.

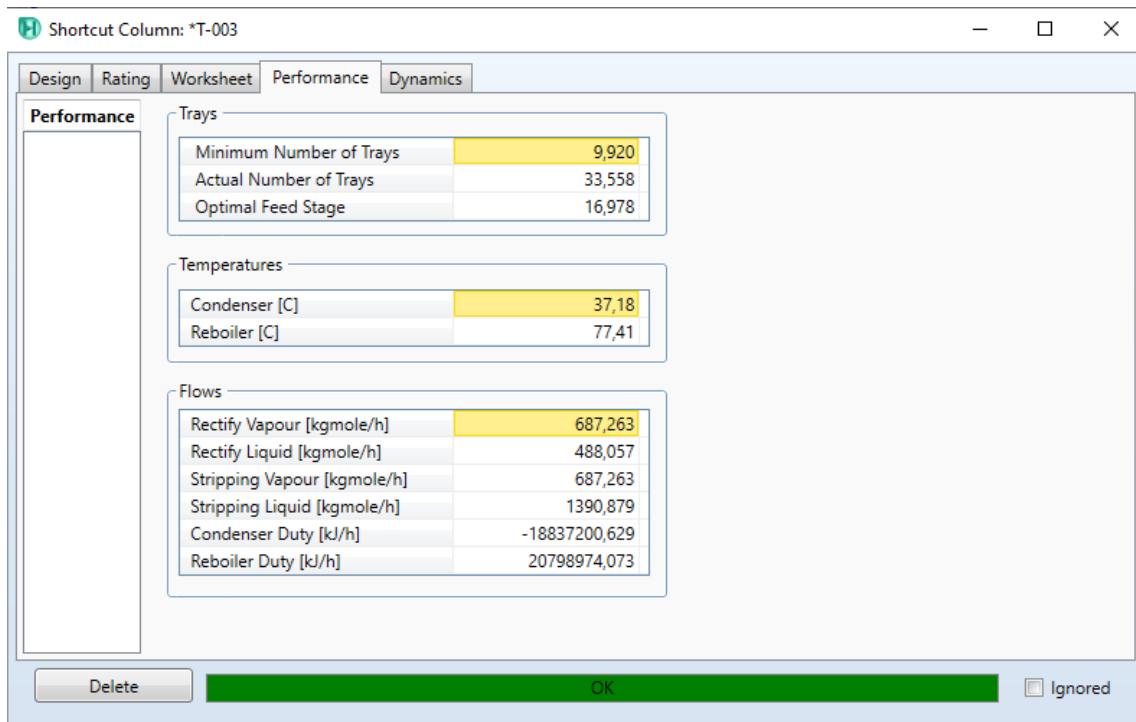


Figura 4- 46: Datos obtenidos en la *T-003.

Una vez simulad el método corto, se empiezan a cargar los datos para obtener la columna T-003.

Al igual que en las anteriores, estos datos sirven de referencia para la simulación de columna con el método riguroso.

Se realizaron los ajustes correspondientes, para lograr la convergencia de la misma T-003. A continuación, se muestra lo anteriormente dicho.

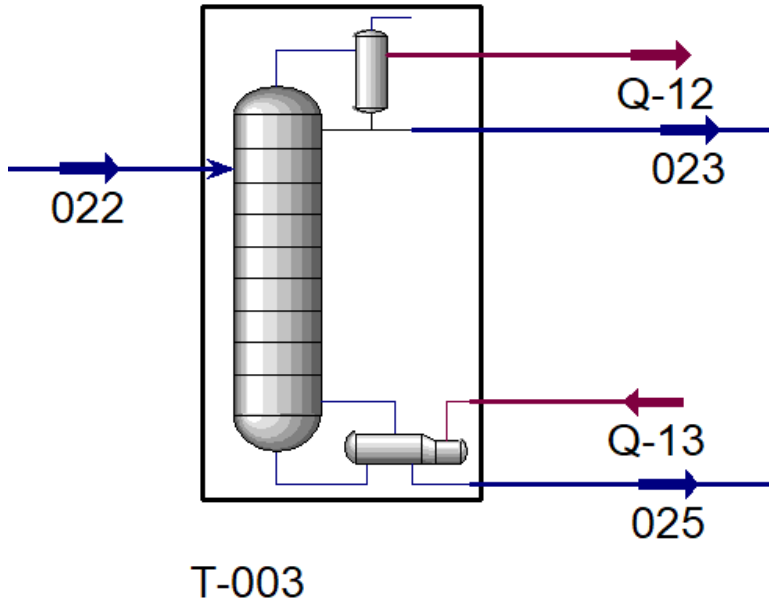


Figura 4- 47: Columna de destilación T-003.

Debido a que se consideró una eficiencia del 80% en cada etapa, es decir, en cada plato de la columna, el número de platos reales para esta torre es de 43.

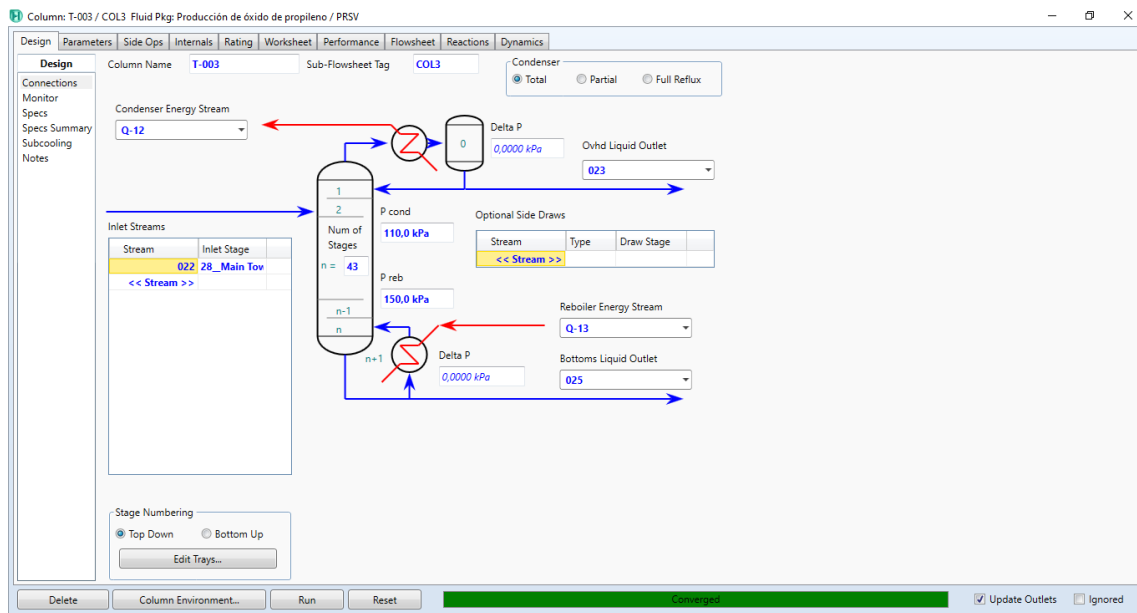


Figura 4- 48: Alimentación y etapas de la T-003.

En este caso, se utilizaron 43 etapas, tomando como referencia las obtenidas en el método corto. La alimentación se introdujo en la etapa 28, ya que, de lo contrario, el óxido de propileno obtenido no alcanzaba el tiempo necesario para obtener la pureza adecuada y contenía grandes cantidades de metanol.

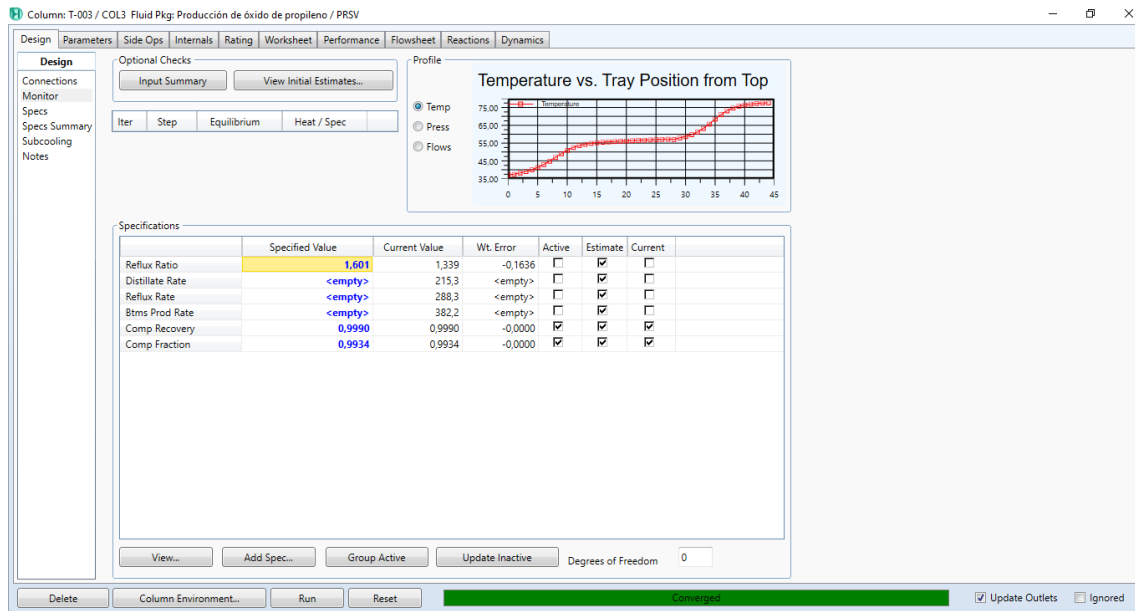


Figura 4- 49: Especificaciones definidas para T-003.

Para que la columna convergiera, se tomaron los datos de referencia de la recuperación del óxido de propileno, y la pureza del mismo.

Por otra parte, una vez lograda la convergencia de la columna T-003, se definieron los internos de la columna de destilación, obteniendo también el diámetro y altura de la misma. A continuación, se detallan las especificaciones de diseño de la misma.

Producción de óxido de propileno

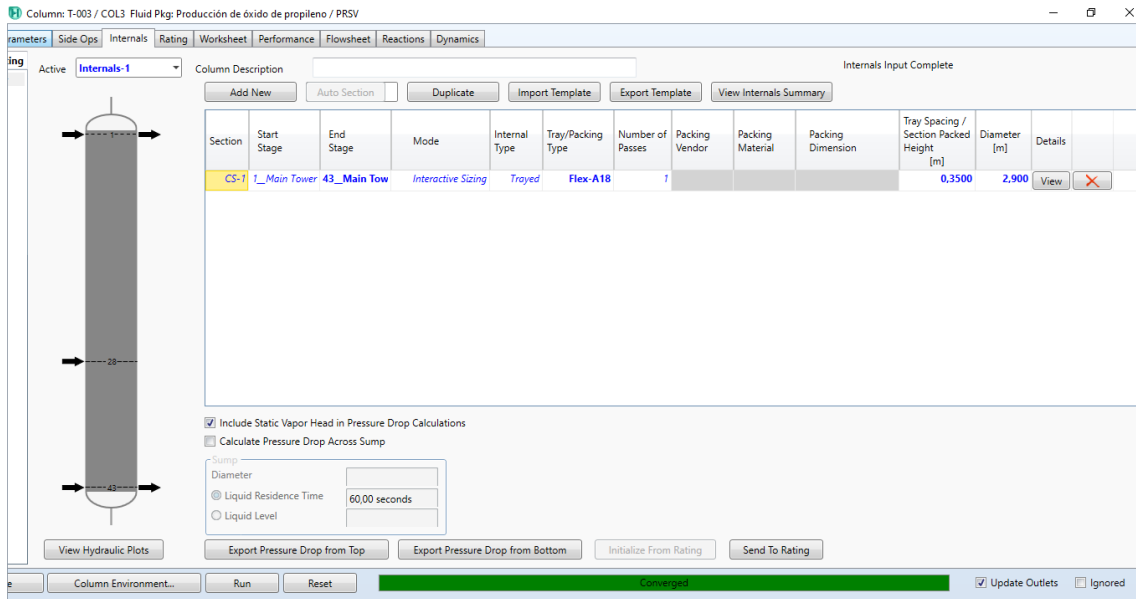


Figura 4- 50: Internos de la columna de destilación T-003.

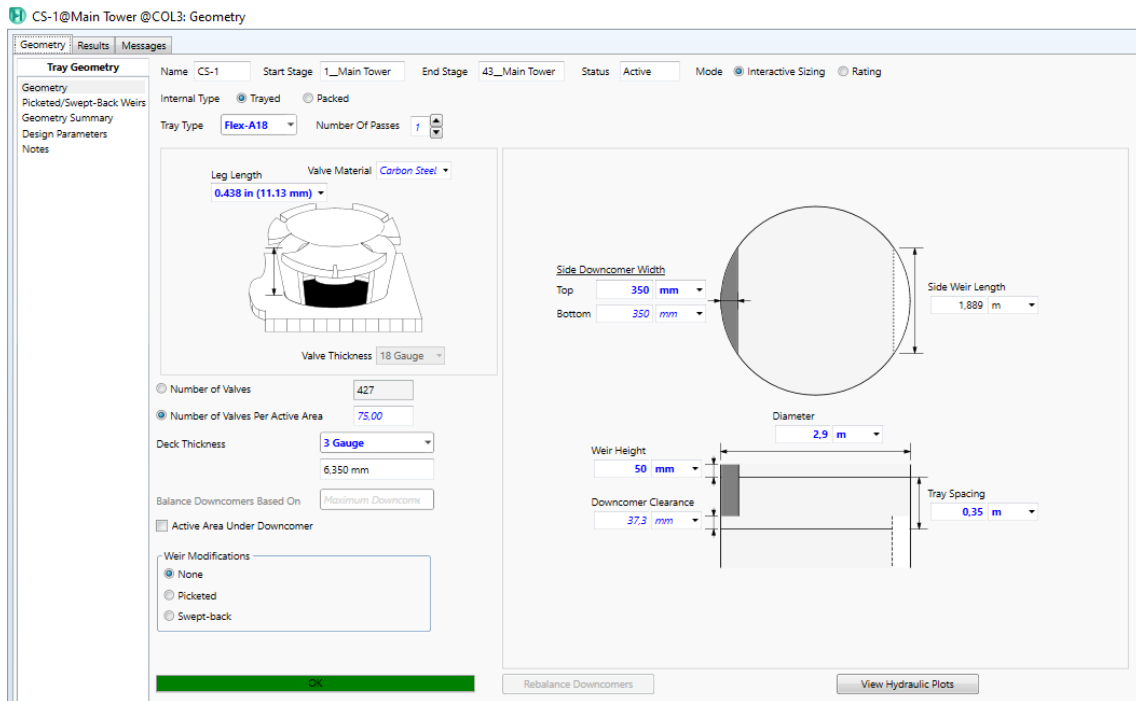


Figura 4- 51: Especificaciones de los internos de la columna T-003.

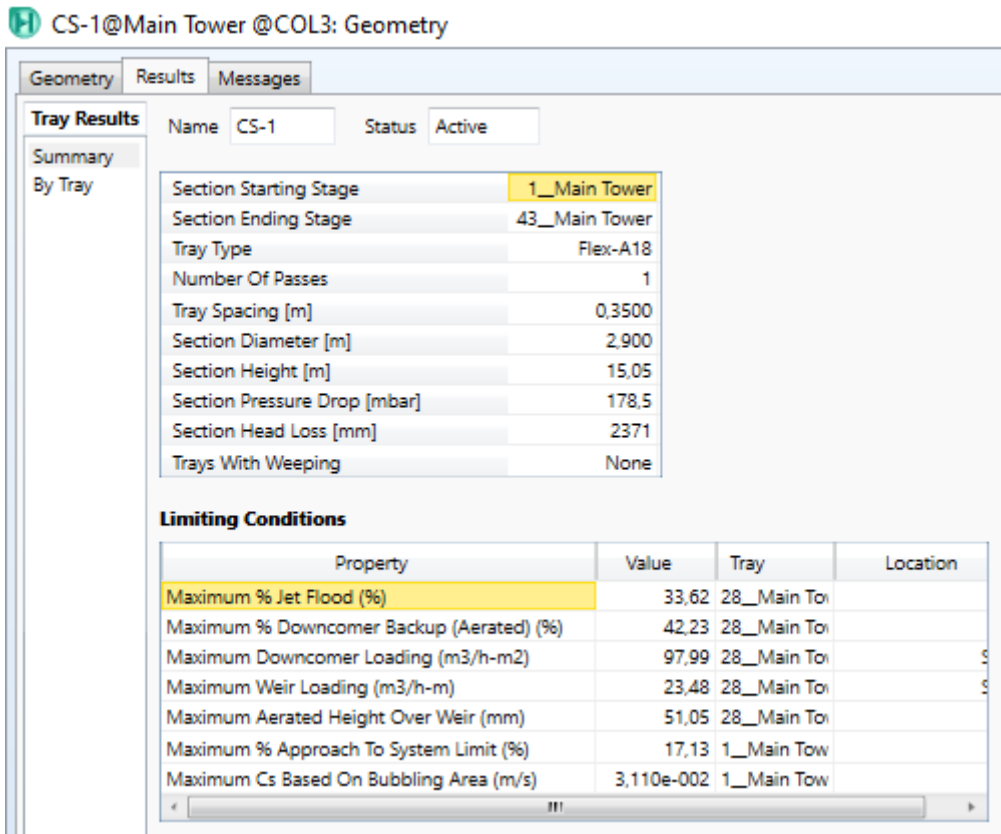


Figura 4- 52:Resultados del dimensionamiento de la columna T-003.

Por último, en la Tabla 4-15 se realiza el balance de masa y energía de la T-003.

T-003	Corriente	Entrada			Salidas		
		22	23	25			
	Fracción de vapor	0	1,82E-06	0			
	Flujo másico <i>kg/h</i>	24.688,81	12.437,87	12.250,94			
	Flujo molar <i>kgmol/h</i>	597,52	215,29	382,23			
	Temperatura <i>°C</i>	50	37,23	77,61			
	Presión <i>kPa</i>	550	110	150			
	Flujo volumétrico <i>m³/h</i>	30,29	14,89	15,39			
	Peso Molecular	41,32	57,77	32,05			
	Entalpía molar <i>kJ/kgmol</i>	-197.260	-120.815	-238.663			
	Flujo de calor <i>kJ/h</i>	-1,18E+08	-2,60E+07	-9,12E+07			
	Composición						
	Óxido de propileno <i>kg/h</i>	12.368,15	12.355,78	12,37			
	Agua <i>kg/h</i>	2,44	9,36E-05	2,44			
	Peróxido de hidrógeno <i>kg/h</i>	0,25	6,39E-09	0,25			
	Metanol <i>kg/h</i>	12.317,38	81,50	12.235,88			
	Oxígeno <i>kg/h</i>	1,97E-14	1,97E-14	4,81E-57			
	Propileno <i>kg/h</i>	0,59	0,59	7,89E-22			
	Propilenglicol <i>kg/h</i>	7,76E-07	1,96E-28	7,76E-07			
	Fracción masa						
	Óxido de propileno	0,50	0,99	1,01E-03			
	Agua	9,88E-05	7,53E-09	1,99E-04			
	Peróxido de hidrógeno	1,02E-05	5,14E-13	2,06E-05			
	Metanol	0,50	6,55E-03	1,00			
	Oxígeno	7,97E-19	1,58E-18	3,93E-61			
	Propileno	2,38E-05	4,72E-05	6,44E-26			
	Propilenglicol	3,15E-11	1,58E-32	6,34E-11			
	Q-12 <i>kJ/h</i>	-	1,38E+07	-			
	Q-13 <i>kJ/h</i>	1,44E+07	-	-			

Tabla 4- 15: Balance de masa y energía de la T-003.

4.6.2.11. Bomba P-003

Una vez obtenida la corriente 023 que contiene el óxido de propileno en especificaciones, éste se bombea al tanque para tal fin.

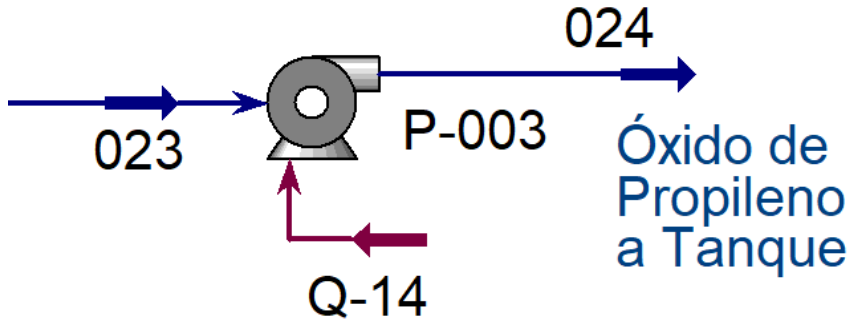


Figura 4- 53: Bomba P-003 de óxido de propileno.

A continuación, se muestra el balance de masa de la bomba P-003.

P-003	Corriente	Entrada	Salida
		23	24
Fracción de vapor		1,82E-06	0
Flujo másico	kg/h	12.437,87	12.437,87
Flujo molar	kgmol/h	215,29	215,29
Temperatura	°C	37,23	37,41
Presión	kPa	110	500
Flujo volumétrico	m ³ /h	14,89	14,89
Peso Molecular		57,77	57,77
Entalpía molar	kJ/kgmol	-12.0815	-12.0778
Flujo de calor	kJ/h	-2,60E+07	-2,60E+07
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	12.355,78	12.355,78
Agua	kg/h	9,36E-05	9,36E-05
Peróxido de hidrógeno	kg/h	6,39E-09	6,39E-09
Metanol	kg/h	81,50	81,50
Oxígeno	kg/h	1,97E-14	1,97E-14
Propileno	kg/h	0,59	0,59
Propilenglicol	kg/h	1,96E-28	1,96E-28
Fracción masa			
Óxido de propileno		0,99	0,99
Agua		7,53E-09	7,53E-09
Peróxido de hidrógeno		5,14E-13	5,14E-13
Metanol		6,55E-03	6,55E-03
Oxígeno		1,58E-18	1,58E-18
Propileno		4,72E-05	4,72E-05
Propilenglicol		1,58E-32	1,58E-32
Q-14	kJ/h	8,03E+03	-

Tabla 4- 16: Balance de masa y energía de la bomba P-003.

4.6.2.12. Bomba P-006 e intercambiador de calor E-006.

Luego de la columna T-002, la corriente que 017 es rica de propileno, por lo tanto, parte se recircula al proceso, y la otra parte se utiliza como combustible en el proceso.

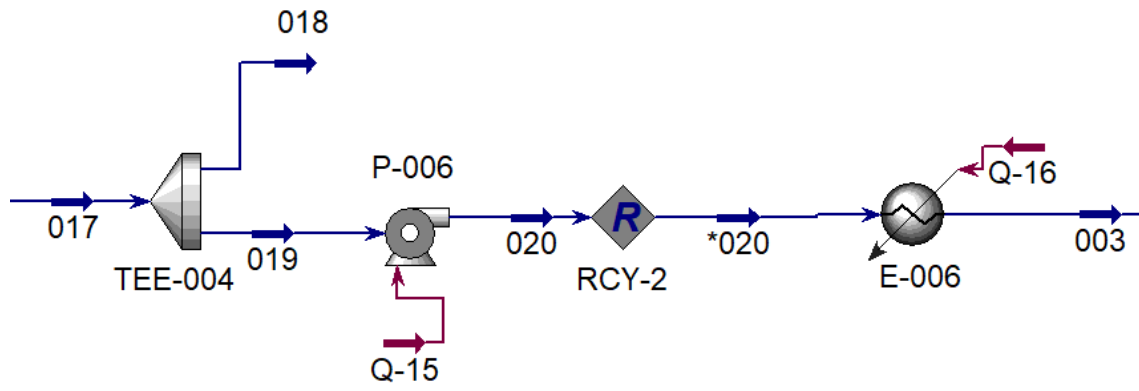


Figura 4- 54: Bomba P-006 e intercambiador de calor E-006.

Seguidamente, se muestra el balance de materia y energía de estos.

TEE-004	Corriente	Entrada	Salidas	
		17	18	19
Fracción de vapor		0	0	0
Flujo másico	kg/h	2.002,07	1.401,45	600,62
Flujo molar	kgmol/h	47,82	33,47	14,35
Temperatura	°C	2	2	2
Presión	kPa	1.300	1.300	1.300
Flujo volumétrico	m ³ /h	3,79	2,65	1,14
Peso Molecular		41,87	41,87	41,87
Entalpía molar	kJ/kgmol	1.431	1.431	1.431
Flujo de calor	kJ/h	6,84E+04	4,79E+04	2,05E+04
Composición				
Óxido de propileno	kg/h	12,38	8,67	3,71
Agua	kg/h	0,03	0,02	9,23E-03
Peróxido de hidrógeno	kg/h	2,19E-06	1,53E-06	6,57E-07
Metanol	kg/h	0,61	0,43	0,18
Oxígeno	kg/h	42,29	29,60	12,69
Propileno	kg/h	1.946,76	1.362,73	584,03
Propilenglicol	kg/h	1,33E-15	9,33E-16	4,00E-16
Fracción masa				
Óxido de propileno		6,18E-03	6,18E-03	6,18E-03
Agua		1,54E-05	1,54E-05	1,54E-05
Peróxido de hidrógeno		1,09E-09	1,09E-09	1,09E-09
Metanol		3,06E-04	3,06E-04	3,06E-04
Oxígeno		0,02	0,02	0,02
Propileno		0,97	0,97	0,97
Propilenglicol		6,65E-19	6,65E-19	6,65E-19

Tabla 4- 17: Balance de masa y energía de TEE-004.

P-006	Corriente	Entrada	Salida
		19	20
Fracción de vapor		0	0
Flujo másico	kg/h	600,62	600,62
Flujo molar	kgmol/h	14,35	14,35
Temperatura	°C	2	2,62
Presión	kPa	1.300	2.000
Flujo volumétrico	m ³ /h	1,14	1,14
Peso Molecular		41,87	41,87
Entalpía molar	kJ/kgmol	1.431	1.503
Flujo de calor	kJ/h	2,05E+04	2,16E+04
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	3,71	3,71
Agua	kg/h	9,23E-03	9,23E-03
Peróxido de hidrógeno	kg/h	6,57E-07	6,57E-07
Metanol	kg/h	0,18	0,18
Oxígeno	kg/h	12,69	12,69
Propileno	kg/h	584,03	584,03
Propilenglicol	kg/h	4,00E-16	4,00E-16
Fracción masa			
Óxido de propileno		6,18E-03	6,18E-03
Agua		1,54E-05	1,54E-05
Peróxido de hidrógeno		1,09E-09	1,09E-09
Metanol		3,06E-04	3,06E-04
Oxígeno		0,02	0,02
Propileno		0,97	0,97
Propilenglicol		6,65E-19	6,65E-19
Q-15	kJ/h	1,03E+03	-

Tabla 4- 18: Balance de masa y energía de P-006.

E-006	Corriente	Entrada	Salida
		20	3
Fracción de vapor		0	1
Flujo másico	kg/h	600,62	600,62
Flujo molar	kgmol/h	14,35	14,35
Temperatura	°C	2,62	50
Presión	kPa	2.000	1.950
Flujo volumétrico	m ³ /h	1,14	1,14
Peso Molecular		41,87	41,87
Entalpía molar	kJ/kgmol	1.503	18.816
Flujo de calor	kJ/h	2,16E+04	2,70E+05
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	3,71	3,71
Agua	kg/h	9,23E-03	0,01
Peróxido de hidrógeno	kg/h	6,57E-07	6,57E-07
Metanol	kg/h	0,18	0,18
Oxígeno	kg/h	12,69	12,69
Propileno	kg/h	584,03	584,03
Propilenglicol	kg/h	4,00E-16	4,00E-16
Fracción masa			
Óxido de propileno		6,18E-03	6,18E-03
Agua		1,54E-05	1,54E-05
Peróxido de hidrógeno		1,09E-09	1,09E-09
Metanol		3,06E-04	3,06E-04
Oxígeno		0,02	0,02
Propileno		0,97	0,97
Propilenglicol		6,65E-19	6,66E-19
Q-16	kJ/h	-	2,48E+05

Tabla 4- 19: Balance de masa y energía de E-006.

4.6.2.13. Válvula VLV-002 e intercambiador de calor E-004.

La corriente 013 que sale de la columna T-001, contiene parte de metanol, agua, peróxido de hidrógeno que no reaccionó, y subproductos no deseados.

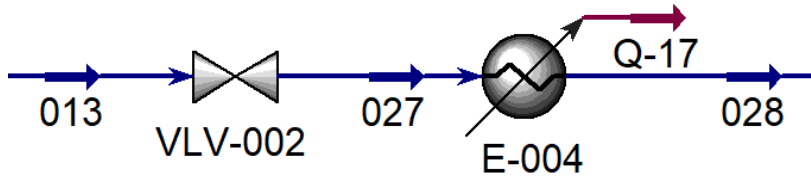


Figura 4- 55: Válvula VLV-002 e intercambiador de calor E-004.

Por lo tanto, esta corriente se acondiciona para que ingrese a la T-004, donde se termina de recuperar todo el metanol restante. El balance de masa y energía se muestra en las siguientes tablas.

VLV-002	Corriente	Entrada	Salida
		13	27
Fracción de vapor		0	0,076
Flujo másico	kg/h	26.001,81	26.001,81
Flujo molar	kgmol/h	894,17	894,17
Temperatura	°C	122,44	103,89
Presión	kPa	540	300
Flujo volumétrico	m ³ /h	31,34	31,34
Peso Molecular		29,08	29,08
Entalpía molar	kJ/kgmol	-	-
Flujo de calor	kJ/h	-2,19E+08	-2,19E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	1,24	1,24
Agua	kg/h	3.907,56	3.907,56
Peróxido de hidrógeno	kg/h	270,36	270,36
Metanol	kg/h	21.171,16	21.171,16
Oxígeno	kg/h	6,17E-25	6,17E-25
Propileno	kg/h	2,06E-13	2,06E-13
Propilenglicol	kg/h	651,49	651,49
Fracción masa			
Óxido de propileno		4,76E-05	4,76E-05
Agua		0,15	0,15
Peróxido de hidrógeno		0,01	0,01
Metanol		0,81	0,81
Oxígeno		2,37E-29	2,37E-29
Propileno		7,94E-18	7,94E-18
Propilenglicol		0,03	0,03

Tabla 4- 20: Balance de masa y energía de VLV-002.

E-004	Corriente	Entrada	Salida
		27	28
Fracción de vapor		0,076	0
Flujo másico	kg/h	26.001,81	26.001,81
Flujo molar	kgmol/h	894,17	894,17
Temperatura	°C	103,89	90,00
Presión	kPa	300	250
Flujo volumétrico	m ³ /h	31,34	31,34
Peso Molecular		29,08	29,08
Entalpía molar	kJ/kgmol	-245.239,98	-250.169
Flujo de calor	kJ/h	-2,19E+08	-2,24E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	1,24	1,24
Agua	kg/h	3.907,56	3.907,56
Peróxido de hidrógeno	kg/h	270,36	270,36
Metanol	kg/h	21.171,16	21.171,16
Oxígeno	kg/h	6,17E-25	6,17E-25
Propileno	kg/h	2,06E-13	2,06E-13
Propilenglicol	kg/h	651,49	651,49
Fracción masa			
Óxido de propileno		4,76E-05	4,76E-05
Agua		0,15	0,15
Peróxido de hidrógeno		0,01	0,01
Metanol		0,81	0,81
Oxígeno		2,37E-29	2,37E-29
Propileno		7,94E-18	7,94E-18
Propilenglicol		0,03	0,03
Q-17	kJ/h	-	4,41E+06

Tabla 4- 21: Balance de masa y energía de E-004.

4.6.2.14. Columna de destilación T-004

La última columna del proceso, la T-004, tiene el objetivo de separar la mayor parte del metanol, que es el solvente, y reutilizarlo en el proceso. Por otro lado, en el fondo saldrá el restante del peróxido de hidrógeno que no reaccionó, agua formada, propilenglicol.

Se realiza la evaluación por el método corto, para obtener algunos datos de referencia.

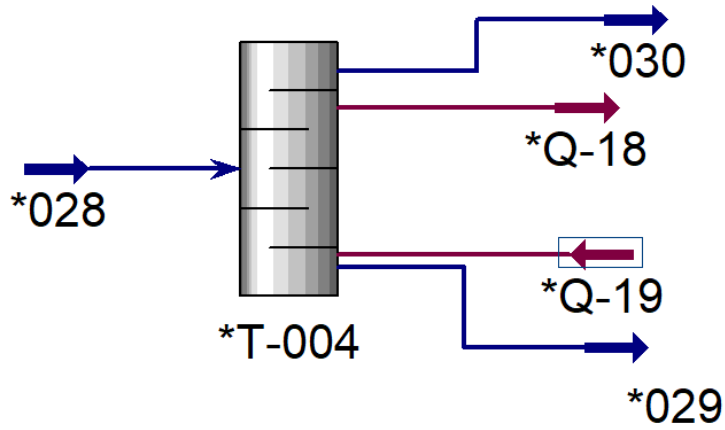


Figura 4- 56: Shortcut column *T-004.

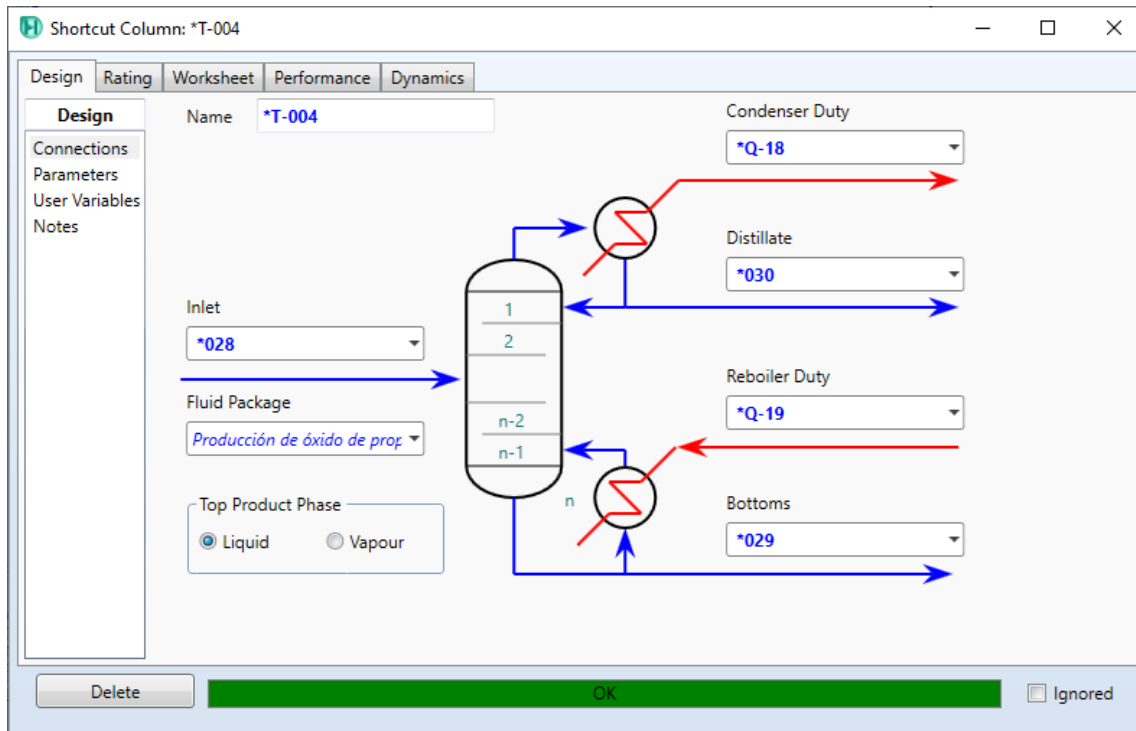


Figura 4- 57: Método corto para la simulación, *T-004.

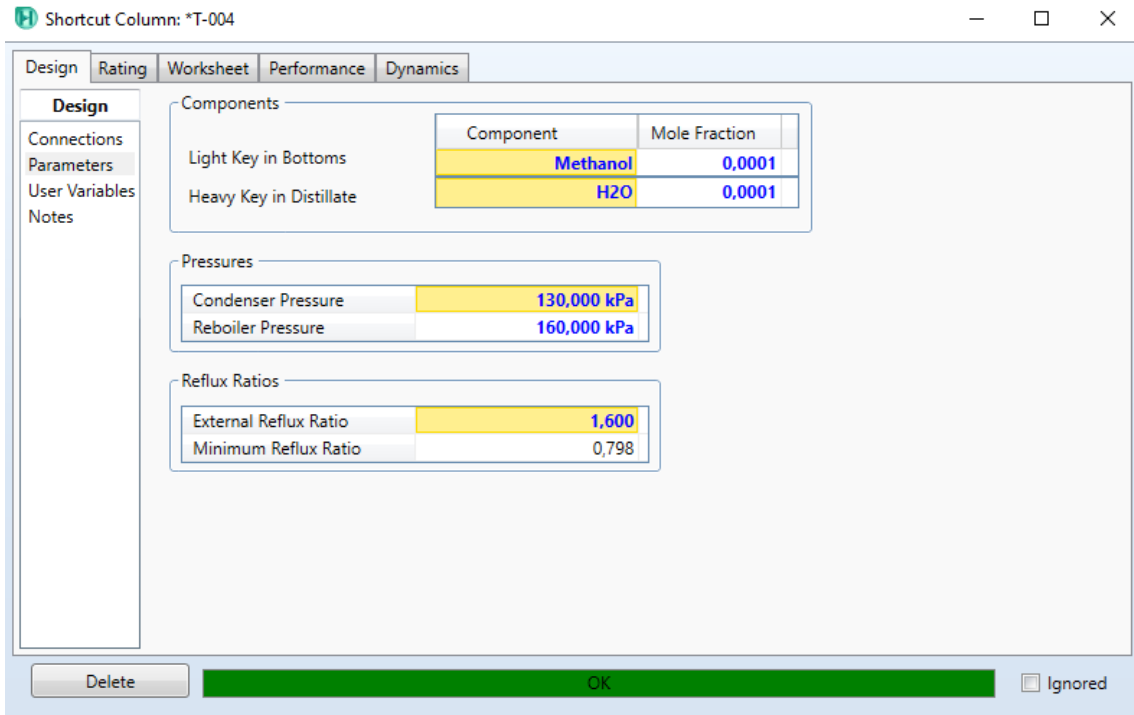


Figura 4- 58: Especificaciones de la *T-004.

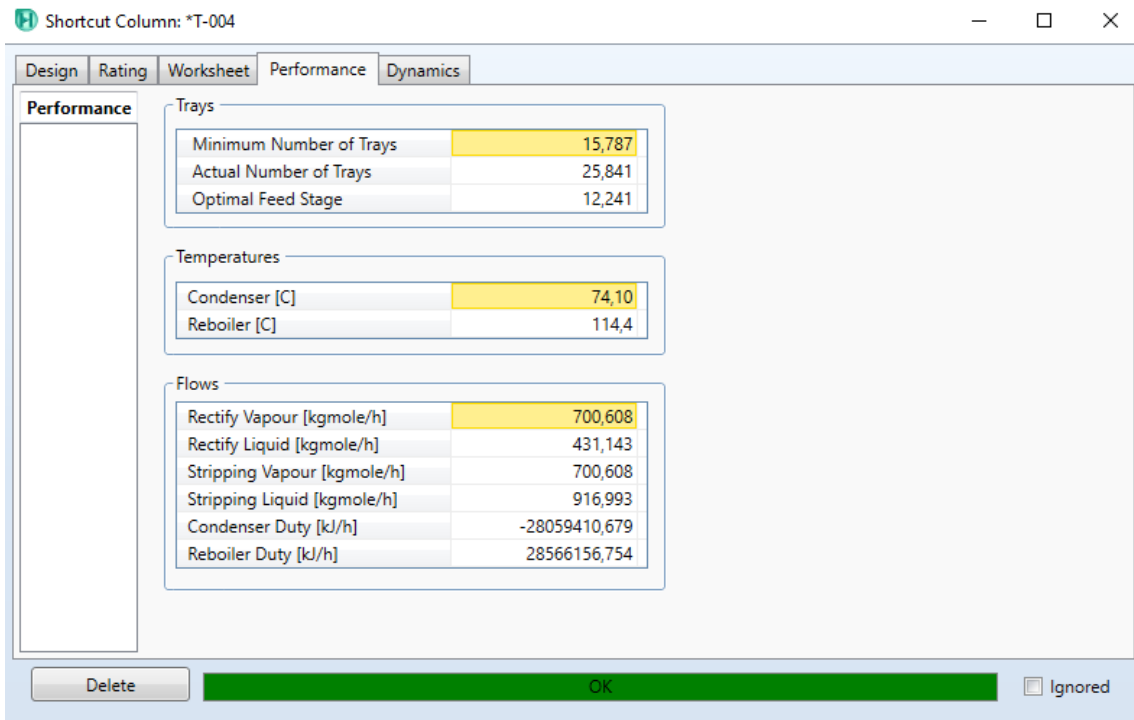


Figura 4- 59: Datos obtenidos en la *T-004.

Luego, una vez realizado el método corto, se obtienen valores de referencia para realizar el método riguroso.

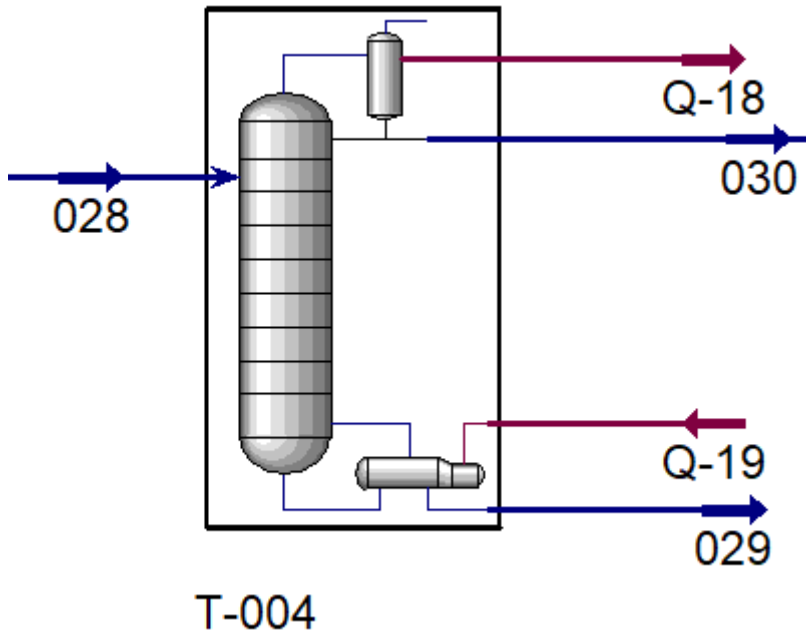


Figura 4- 60: Columna de destilación T-004.

Debido a que se consideró una eficiencia del 80% en cada etapa, es decir, en cada plato de la columna, el número de platos reales para esta torre es de 31.

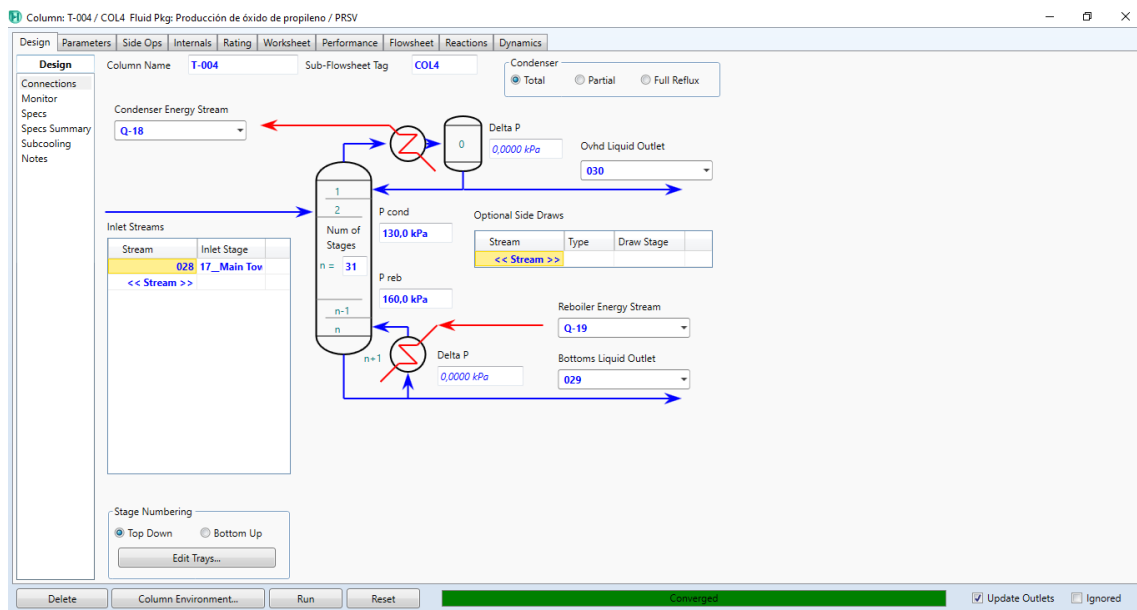


Figura 4- 61: Alimentación y etapas de la T-004.

Para este caso, la alimentación se ubicó en la etapa número 17.

Producción de óxido de propileno

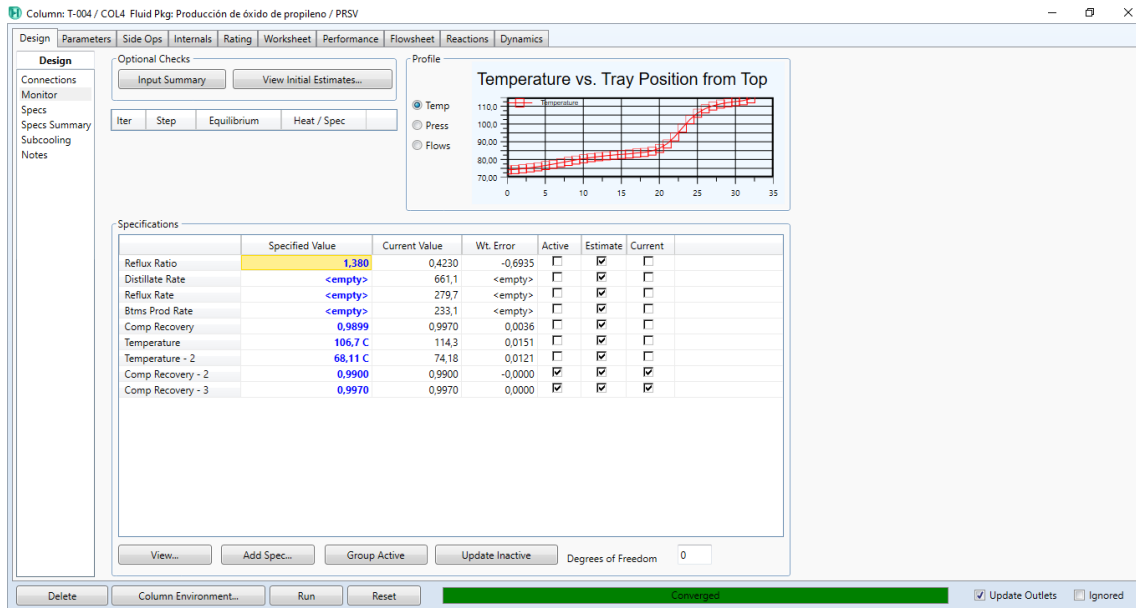


Figura 4- 62: Especificaciones definidas para T-004.

Para lograr la convergencia de la columna, se seleccionaron los parámetros de mayor recuperación de metanol por el tope, y la mayor recuperación de agua por el fondo.

Fijando estos parámetros, se puede recircular la corriente de metanol al inicio del proceso y retirar del proceso la corriente con agua y subproductos formados.

Por otro lado, se definen las especificaciones de los internos de la columna T-004.

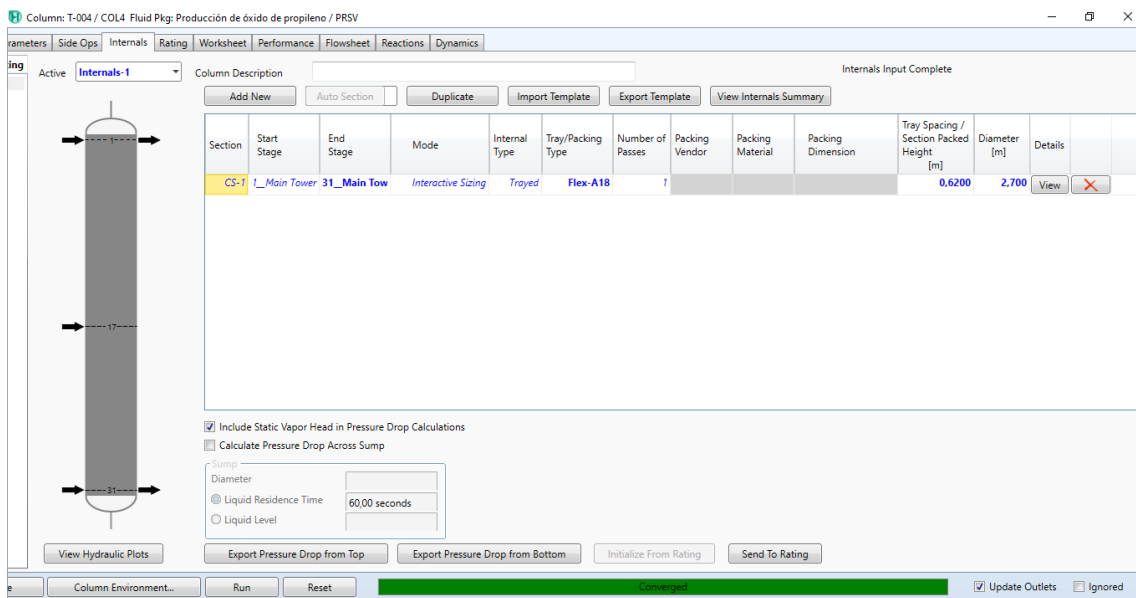


Figura 4- 63: Internos de la columna de destilación T-004.

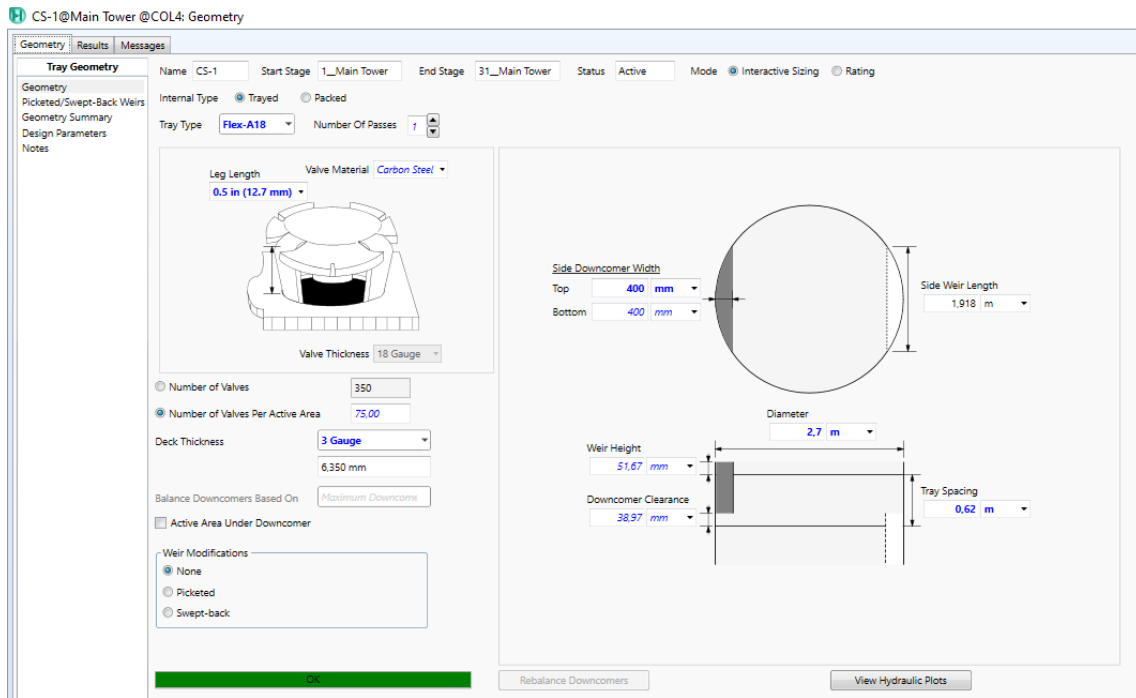


Figura 4- 64: Especificaciones de los internos de la columna T-004.

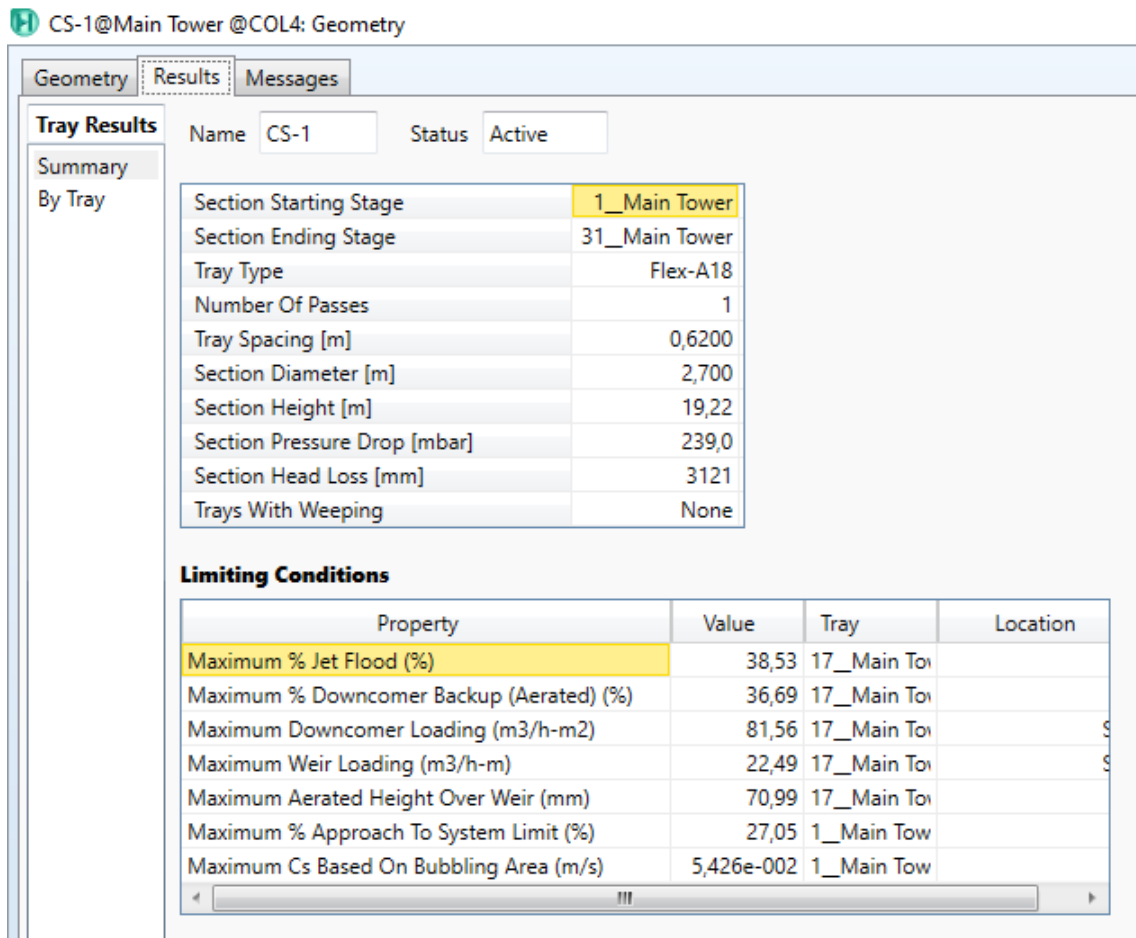


Figura 4- 65: Resultados del dimensionamiento de la columna T-004.

Para finalizar, se realiza el balance de masa y energía de la columna T-004.

T-004	Corriente	Entrada			Salidas		
		28	29	30			
		0	0	0			
Fracción de vapor							
Flujo másico	kg/h	26.001,81	4.849,20	21.152,62			
Flujo molar	kgmol/h	894,17	233,09	661,08			
Temperatura	°C	90,00	114,25	74,18			
Presión	kPa	250	160	130			
Flujo volumétrico	m ³ /h	31,34	4,77	26,57			
Peso Molecular		29,08	20,80	32,00			
Entalpía molar	kJ/kgmol	-250.169	-281.902	-239.438			
Flujo de calor	kJ/h	-2,24E+08	-6,57E+07	-1,58E+08			
Composición							
Óxido de propileno	kg/h	1,24	0,00	1,24			
Agua	kg/h	3.907,56	3.868,48	39,08			
Peróxido de hidrógeno	kg/h	270,36	265,74	4,62			
Metanol	kg/h	21.171,16	63,49	21.107,68			
Oxígeno	kg/h	6,17E-25	8,96E-27	6,08E-25			
Propileno	kg/h	2,06E-13	1,22E-26	2,06E-13			
Propilenglicol	kg/h	651,49	651,49	6,66E-10			
Fracción masa							
Óxido de propileno		4,76E-05	1,54E-41	5,85E-05			
Agua		0,15	0,80	1,85E-03			
Peróxido de hidrógeno		0,01	0,05	2,19E-04			
Metanol		0,81	0,01	1,00			
Oxígeno		2,37E-29	1,85E-30	2,87E-29			
Propileno		7,94E-18	2,52E-30	9,76E-18			
Propilenglicol		0,03	0,13	3,15E-14			
Q-18	kJ/h	-	3,77E+07	-			
Q-19	kJ/h	3,74E+07	-	-			

Tabla 4- 22: Balance de masa y energía T-004.

4.6.2.15. Bomba P-004 y P-005.

Las corrientes recuperadas de la T-003 y T-004, corriente 025 y 030, son ricas en metanol, por lo tanto, se recircularán al inicio del proceso.

Por otro lado, la corriente 005 representa la reposición del metanol, ya que parte del mismo se pierde en pequeñas cantidades con las corrientes de salida. En consecuencia,

la corriente 005, repone esta cantidad perdida manteniendo un circuito cerrado de metanol.

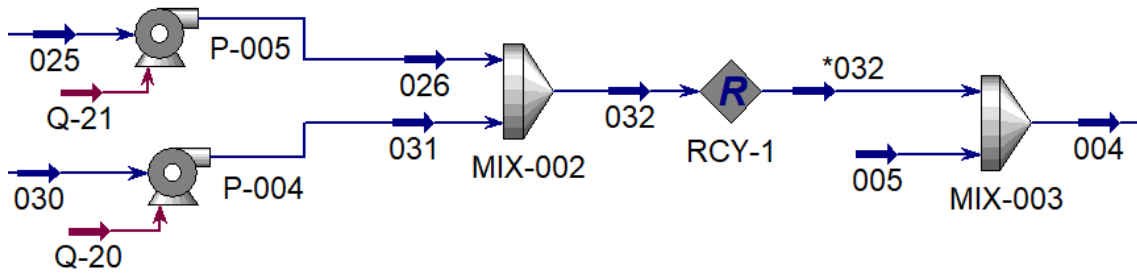


Figura 4- 66: Bomba P-005 y P-004.

A continuación, se realiza el balance de masa y energía.

P-004	Corriente	Entrada	Salida
		30	31
Fracción de vapor		0	0
Flujo másico	kg/h	21.152,62	21.152,62
Flujo molar	kgmol/h	661,08	661,08
Temperatura	°C	74,18	74,56
Presión	kPa	130	2.000
Flujo volumétrico	m ³ /h	26,57	26,57
Peso Molecular		32,00	32,00
Entalpía molar	kJ/kgmol	-239.438	-239.329
Flujo de calor	kJ/h	-1,58E+08	-1,58E+08
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	1,24	1,24
Agua	kg/h	39,08	39,08
Peróxido de hidrógeno	kg/h	4,62	4,62
Metanol	kg/h	21.107,68	21.107,68
Oxígeno	kg/h	6,08E-25	6,08E-25
Propileno	kg/h	2,06E-13	2,06E-13
Propilenglicol	kg/h	6,66E-10	6,66E-10
Fracción masa			
Óxido de propileno		5,85E-05	5,85E-05
Agua		1,85E-03	1,85E-03
Peróxido de hidrógeno		2,19E-04	2,19E-04
Metanol		1,00	1,00
Oxígeno		2,87E-29	2,87E-29
Propileno		9,76E-18	9,76E-18
Propilenglicol		3,15E-14	3,15E-14
Q-20	kJ/h	7,20E+04	-

Tabla 4- 23: Balance de masa y energía P-004.

P-005	Corriente	Entrada	Salida
		25	26
Fracción de vapor		0	0
Flujo másico	kg/h	12.250,94	12.250,94
Flujo molar	kgmol/h	382,23	382,23
Temperatura	°C	77,61	78
Presión	kPa	150	2.000
Flujo volumétrico	m ³ /h	15,39	15,39
Peso Molecular		32,05	32,05
Entalpía molar	kJ/kgmol	-238.663	-238.555
Flujo de calor	kJ/h	-9,12E+07	-9,12E+07
Composición			
Óxido de propileno	kg/h	12,37	12,37
Agua	kg/h	2,44	2,44
Peróxido de hidrógeno	kg/h	0,25	0,25
Metanol	kg/h	12.235,88	12.235,88
Oxígeno	kg/h	4,81E-57	4,81E-57
Propileno	kg/h	7,89E-22	7,89E-22
Propilenglicol	kg/h	7,76E-07	7,76E-07
Fracción masa			
Óxido de propileno		1,01E-03	1,01E-03
Agua		1,99E-04	1,99E-04
Peróxido de hidrógeno		2,06E-05	2,06E-05
Metanol		1,00	1,00
Oxígeno		3,93E-61	3,93E-61
Propileno		6,44E-26	6,44E-26
Propilenglicol		6,34E-11	6,34E-11
Q-21	kJ/h	4,15E+04	-

Tabla 4- 24: Balance de masa y energía P-005.

MIX-002	Corriente	Entradas		Salida
		26	31	32
Fracción de vapor		0	0	0
Flujo másico	kg/h	12.250,94	21.152,62	33.403,56
Flujo molar	kgmol/h	382,23	661,08	1.043,31
Temperatura	°C	78	74,56	75,83
Presión	kPa	2.000	2.000	2.000
Flujo volumétrico	m ³ /h	15,39	26,57	41,96
Peso Molecular		32,05	32,00	32,02
Entalpía molar	kJ/kgmol	-238.555	-239.329	-239.046
Flujo de calor	kJ/h	-9,12E+07	-1,58E+08	-2,49E+08
Composición				
Óxido de propileno	kg/h	12,37	1,24	13,61
Agua	kg/h	2,44	39,08	41,51
Peróxido de hidrógeno	kg/h	0,25	4,62	4,88
Metanol	kg/h	12.235,88	21.107,68	33.343,56
Oxígeno	kg/h	4,81E-57	6,08E-25	6,08E-25
Propileno	kg/h	7,89E-22	2,06E-13	2,06E-13
Propilenglicol	kg/h	7,76E-07	6,66E-10	7,77E-07
Fracción masa				
Óxido de propileno		1,01E-03	5,85E-05	4,07E-04
Agua		1,99E-04	1,85E-03	1,24E-03
Peróxido de hidrógeno		2,06E-05	2,19E-04	1,46E-04
Metanol		1,00	1,00	1,00
Oxígeno		3,93E-61	2,87E-29	1,82E-29
Propileno		6,44E-26	9,76E-18	6,18E-18
Propilenglicol		6,34E-11	3,15E-14	2,33E-11

Tabla 4- 25: Balance de masa y energía MIX-002.

MIX-003	Corriente	Entradas		Salida
		32	5	4
Fracción de vapor		0	0	0
Flujo másico	kg/h	33.403,56	145,60	33.548,97
Flujo molar	kgmol/h	1.043,31	4,54	1.047,84
Temperatura	°C	75,83	76,32	75,83
Presión	kPa	2.000	2.000	2.000
Flujo volumétrico	m ³ /h	41,96	0,18	42,15
Peso Molecular		32,02	32,04	32,02
Entalpía molar	kJ/kgmol	-239.046	-238.893	-239.045
Flujo de calor	kJ/h	-2,49E+08	-1,09E+06	-2,50E+08
Composición				
Óxido de propileno	kg/h	13,61	0	13,61
Agua	kg/h	41,51	0	41,51
Peróxido de hidrógeno	kg/h	4,88	0	4,88
Metanol	kg/h	33.343,56	145,60	33.488,98
Oxígeno	kg/h	6,08E-25	0	6,08E-25
Propileno	kg/h	2,06E-13	0	2,06E-13
Propilenglicol	kg/h	7,77E-07	0	7,77E-07
Fracción masa				
Óxido de propileno		4,07E-04	0	4,06E-04
Agua		1,24E-03	0	1,24E-03
Peróxido de hidrógeno		1,46E-04	0	1,45E-04
Metanol		1,00	1	1,00
Oxígeno		1,82E-29	0	1,81E-29
Propileno		6,18E-18	0	6,15E-18
Propilenglicol		2,33E-11	0	2,32E-11

Tabla 4- 26: Balance de masa y energía MIX-003.

4.7. Bibliografía

Silva, C. (2023). *Material de la Cátedra de Modelado y simulación de los procesos.*

Vincenzo Russo, Elio Santacesaria, Riccardo Tesser, Rosa Turco, Rosa Vitiello, and Martino Di Serio (2018). *Validation of the kinetics of the Hydrogen Peroxide Propene Oxide (HPPO) process in a dynamic Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR).*

5

Servicios auxiliares

5. Servicios auxiliares

5.1. Resumen ejecutivo

Se detallarán los servicios auxiliares utilizados para la producción de óxido de propileno. Si bien, no son parte del proceso principal, son necesarios para que se produzca.

Entre los servicios estudiados, se menciona el agua de enfriamiento, sistema de generación de vapor, agua para oficinas, sistema de red contra incendio, aire para instrumentos, electricidad, sistema de antorcha y gas natural.

Con respecto al agua de enfriamiento, se utilizará una torre de enfriamiento, en la cual se produce el contacto del agua con el aire. Por otro lado, se menciona el uso de una caldera para la generación de vapor, y también se estima el uso de agua potable para las oficinas.

Con la simulación en Aspen Hysys, se obtendrá el consumo de energía eléctrica más predominante.

Se esquematiza y explica el sistema de antorcha, que es fundamental para brindarle seguridad al proceso.

Estos servicios aseguran la eficiencia y continuidad del proceso de producción de óxido de propileno.

5.2. Introducción

En este capítulo se describirán los servicios auxiliares utilizados, para poder llevar a cabo el proceso de producción de óxido de propileno. Se considera un servicio auxiliar, aquel que no está directamente relacionado con el proceso principal, pero que sí, es fundamental para que éste se pueda llevar a cabo.

5.3. Objetivo

Los objetivos del capítulo son los siguientes:

- Identificar los servicios auxiliares claves para la producción de óxido de propileno.
- Detallar la función de cada uno de los servicios auxiliares.
- Cuantificar la cantidad necesaria de cada uno de los servicios auxiliares.

5.4. Tipos de servicios auxiliares

En el siguiente listado, se plasman los servicios auxiliares ampliamente utilizados en las industrias:

- Agua de enfriamiento
- Agua para oficinas
- Vapor de agua
- Sistema de agua red contra incendio
- Tratamiento de efluente
- Aire para instrumentación
- Colector y antorcha
- Gas natural
- Electricidad

5.4.1. Agua de enfriamiento

Si bien, existen diferentes fluidos de refrigeración, la utilización de agua de enfriamiento resulta un sistema sencillo y económico.

La idea consiste en la utilización de agua a temperaturas inferiores a las de las corrientes calientes del proceso a enfriar, por lo tanto, absorbe ese calor para retirarlo del proceso.

Luego, el agua se puede enfriar nuevamente mediante una torre de enfriamiento, y recirculada nuevamente al proceso.

Las torres de enfriamiento son columnas de diámetros considerable, y en su interior poseen un empaque que proporciona un buen contacto líquido- gas. El principio de funcionamiento de una torre de enfriamiento se basa en poner en contacto un líquido caliente (agua) con un gas insaturado (aire), y como consecuencia, parte del líquido se evapora y la temperatura del mismo desciende. (McCabe, 2004)

En el Gráfico 5-1 se observa una torre de enfriamiento de tiro inducido. Como se observa, el agua caliente ingresa al distribuidor superior, con el fin de esparcir el agua en todo el relleno. En contracorriente, el aire es inducido a subir por la torre, por acción del ventilador ubicado en la parte superior. Por lo que, el aire caliente humificado sale por la parte superior, mientras que en el fondo se colecta el agua fría.

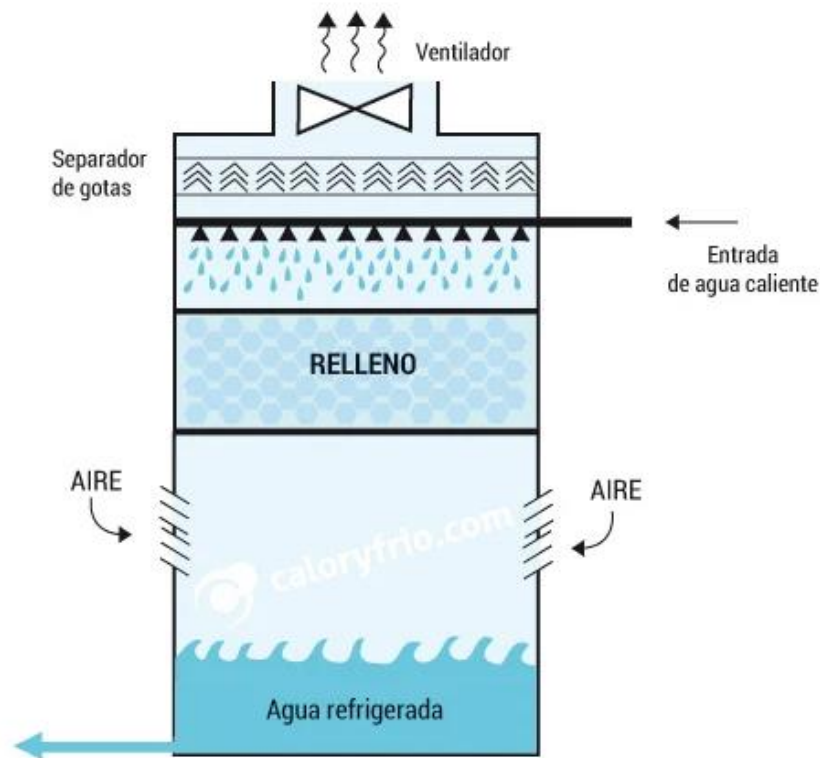


Gráfico 5- 1: Torre de enfriamiento tiro inducido. (CALORYFRIO, 2018)

Entre las principales ventajas, se destaca el ahorro energético, menor impacto ambiental, bajo impacto acústico. Una desventaja que posee, es la formación de algas y bacterias en el agua, por lo que requiere un control mediante biocidas.

Como parte del agua se evapora y sale con el aire caliente, es necesario tener una reposición de la misma. De ahí se deriva a la necesidad de un tanque de almacenamiento, el cual además de proveer agua para compensar la pérdida constante, posee una capacidad para poder alimentar el sistema de refrigeración por días, en caso de que haya corte en el suministro de agua de red.

En el siguiente diagrama de flujo, se muestra el circuito de agua de enfriamiento.

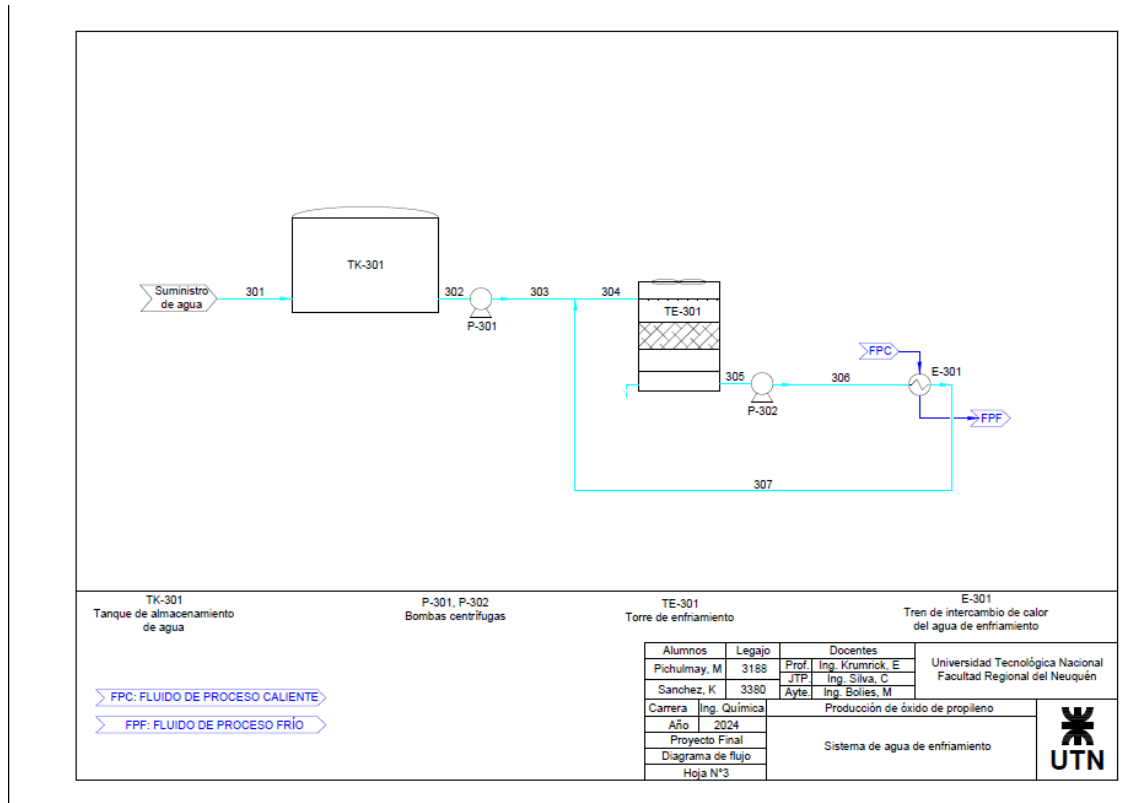


Diagrama de flujo 5- 1: Sistema de agua de enfriamiento

A través del simulador de Aspen Hysys mostrada en el capítulo 4, se obtendrá la cantidad de agua de enfriamiento a utilizar. Esto se muestra en la Tabla 5-1.

Demanda de agua de enfriamiento en el proceso			
Equipo	Tag	Caudal másico (kg/h)	Caudal volumétrico (m ³ /h)
R-001	Q-03	411.523,5	412,4
E-002	Q-04	28.348,1	28,4
T-001	Q-05	409.005,2	409,9
E-003	Q-08	4.115,7	4,1
T-002	Q-09	20.167,2	20,2
E-005	Q-11	68.236,2	68,4
T-003	Q-12	110.065,0	110,3
E-004	Q-17	35.122,1	35,2
T-004	Q-18	300.428,5	301,1
Total		1.387.011,6	1.389,9

Tabla 5- 1: Cantidad de agua de enfriamiento a utilizar.

Considerando una reposición del 1% por hora, el tamaño del tanque será tal, que el sistema de refrigeración pueda operar durante 3 días de la semana sin suministro de agua de red. Por lo tanto, el tanque tendrá una capacidad de alrededor de 1.000 m³.

5.4.2. Sistema de generación de vapor

Por otro lado, para poder obtener temperaturas elevadas, sobre todo en los rehervidores de las columnas, se utilizará vapor de agua.

Para esto, se instalará una caldera de vapor, que consiste básicamente en un recipiente dentro del cual se quema un combustible en contacto con aire, y ese calor generado es absorbido por el agua, el cual se evapora. (Quicsa, 2022)

Si bien, existen diferentes tipos de calderas, de forma general, poseen las mismas partes para llevar a cabo el objetivo de generar vapor.

- Quemador: tiene la función de quemar el gas combustible, dando lugar a la llama.
- Hogar o cámara de combustión: en esta se encuentra el quemador, y da lugar a la combustión del gas. Por lo tanto, aquí se generan los gases calientes que alcanzan temperaturas muy elevadas, que posteriormente entregarán energía.
- Tubos de intercambio de calor: al igual que en un intercambiador de calor, los tubos proporcionan la superficie para la transferencia de calor desde los gases calientes, hasta el fluido a calentar, en este caso agua.

- Chimenea: una vez aprovechado el calor de los gases, estos se liberan al medio ambiente a través del tubo chimenea.
- Salida de fluido caliente: una vez obtenido el vapor de agua, se deriva a los diferentes puntos donde se lo requiere para entregar energía a corrientes más frías o para hacer accionar una turbina a vapor.
- Bomba: se encarga de transportar el agua líquida a la alimentación de la caldera. Mantiene un flujo constante, en coordinación con el vapor de agua que deja la caldera. Para mayor aprovechamiento del calor de los gases, se recomienda que el agua de ingreso se precaliente (100°C), ingresando a la caldera a una temperatura mayor a la atmosférica.
- Carcasa o envolvente: Dentro de la cual se encuentra el hogar y el sistema de tubos de intercambio de calor. Generalmente se los recubre con un material cuya función es la de aislante térmico, para aprovechar la mayor energía posible y para evitar el contacto con las personas, ya que se encuentra a temperaturas elevadas.
- Válvulas de seguridad: como el recipiente genera vapor a la presión establecida, se requiere una barrera de seguridad que permita liberar el exceso presión acumulada en caso de alguna falla.
- Instrumentación: a su vez, la caldera posee instrumentos como control de nivel mínimo, que impida que trabaje sin nivel de líquido, controladores de presión y temperaturas, válvulas de ingreso y salidas, saca muestras, purgas, entre otros. (Barrera Puigdollers, Betoret Valls, Castelló Gómez, & Pérez Esteve)

Para garantizar la vida útil de la caldera y para obtener un mayor rendimiento en su funcionamiento, es necesario que el agua se encuentre en condiciones adecuadas. Lo que se busca, es disminuir la formación de espumas, disminuir la corrosión en el recipiente y equipos posteriores, disminuir la acumulación de incrustaciones, entre otros.

En este caso, se basará en el proceso de ablandamiento de agua, mediante el cual, el agua pasa por ablandadores, donde a través de resinas de intercambio iónico, eliminan el contenido de iones de calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}), que causan incrustaciones y depósitos, reemplazándolo por iones de sodio (Na^{+1}).

Posteriormente, se pasa el agua por un equipo llamado desaireador, con el objetivo de disminuir el contenido de O₂ y CO₂ disueltos, los cuales son gases no condensables, que causan corrosión. Luego, el agua se encuentra en condiciones para el ingreso de la caldera.

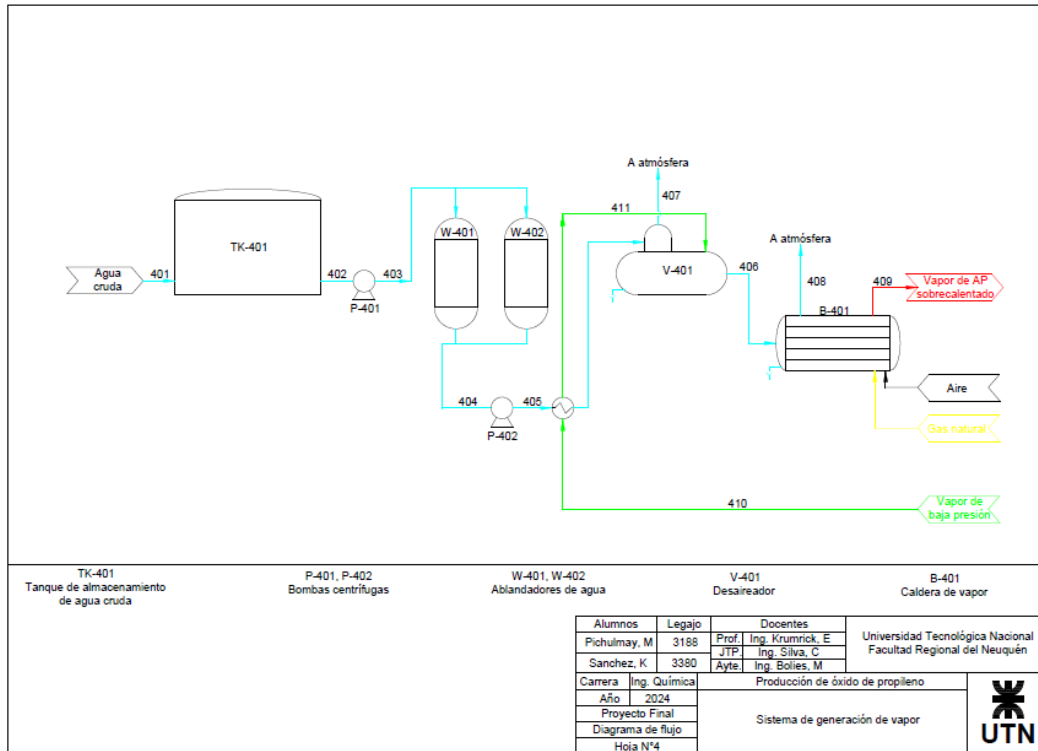


Diagrama de flujo 5- 2: Sistema de generación de vapor sobrecalentado.

Se ha seleccionado una caldera acuotubular, en donde el agua que se va a calentar y luego evaporar circulará por los tubos, y los gases calientes de combustión, circularán por alrededor de estos tubos.

A su vez, en su interior posee un sobrecalentador, aprovechando al máximo los gases de combustión, de forma de obtener vapor sobrecalentado para que no condense agua en las líneas. Este tipo de caldera si bien son un poco más caras que las pirotubulares, permiten obtener mayor producción de vapor y mayor rango de presión de trabajo.

Con respecto a la calidad del agua que ingresará a la caldera, se utilizarán los valores recomendados por la Norma BS 2486 “Recomendaciones para el tratamiento del agua para calderas de vapor y calentadores de agua”.

Parámetro	Valor requerido	Efecto
pH del Agua de Alimentación	8,5-9,5	Un pH adecuado previene la corrosión de las superficies metálicas.
Alcalinidad Total (como CaCO ₃)	150-300 ppm	Controla la formación de incrustaciones y la corrosión
Dureza del Agua (como CaCO ₃)	< 2 ppm	Minimiza la formación de incrustaciones en las superficies de transferencia de calor.
Conductividad	3.000-5.000 µS/cm	Indicador del nivel de sólidos disueltos, ayuda a prevenir la corrosión y el espumado.
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	3.000-5.000 ppm	Controla el nivel de impurezas en el agua, que puede llevar a incrustaciones y espumado.
Oxígeno Disuelto	< 0.02 ppm	El oxígeno disuelto puede causar corrosión; se recomienda la desaireación y el uso de desoxidantes químicos
Fosfatos (como PO ₄ ³⁻)	20-40 ppm	Utilizado para precipitar los iones de calcio y magnesio, previniendo incrustaciones.
Sílice	< 150 ppm	La sílice puede llevar a la formación de depósitos en las superficies de las calderas y turbinas
Sulfito (como SO ₃)	20-50 ppm	Utilizado como un desoxidante químico para eliminar el oxígeno disuelto.
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles	

Tabla 5- 2: Requerimientos de agua para caldera según BS 2486.

A continuación, en la Tabla 5-3 se detalla la cantidad de vapor necesario.

Demanda de vapor de agua en el proceso		
Equipo	Tag	Caudal másico (kg/h)
E-001	Q-02	25,4
T-001	Q-06	6.302,9
T-002	Q-10	1.078,6
T-003	Q-13	6.843,0
T-004	Q-19	1.458,0
E-006	Q-16	25,1
Total		15.733,0

Tabla 5- 3: Cantidad de vapor de agua necesario.

Por lo tanto, se estimará una reposición del agua para del 10% para la caldera. Por lo que se necesitará un tanque de 230 m³, para proveer una reposición de agua por 3 días en caso de una emergencia.

5.4.3. Agua para oficina

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, se estima un promedio de 50 litros como mínimo de agua por personal, para satisfacer sus necesidades, tanto de higiene personal como de consumo.

El personal total estimado en la empresa es de 74 personas, por lo tanto, contemplando los diagramas, hay un consumo diario de 2.500 litros o lo que es lo mismo 2,5 m³ por día.

Para mantener una reserva de suministro de agua durante 2 días en caso de que no haya suministro de agua de red, se estima tener un tanque de reserva para las oficinas de 5 m³ aproximadamente.

5.4.4. Sistema de red contra incendio

Es importante recalcar, que se debe poseer un almacenamiento de agua independiente de todos los usos mencionados anteriormente, que tenga la posibilidad alimentar al sistema de agua de red contra incendio por varias horas en caso de que ocurra una emergencia.

Este ítem, se desarrollará más en el Capítulo 7, “Seguridad de la planta”

5.4.5. Tratamiento de agua efluente

En el desarrollo del proceso, se genera una cantidad de agua constante debido a la descomposición del peróxido de hidrógeno.

Esta agua, no se obtiene pura, si no que contiene subproductos de las reacciones secundarias del proceso. Por lo tanto, este volumen de agua se tratará y se la utilizará como agua de riego.

Esto se explayará en la sección de Anexos, “Tratamiento de efluentes”.

5.4.6. Aire para instrumentos

El aire de instrumento es de vital importancia para el proceso, ya que se utiliza para la mayoría de la instrumentación instalada, como así también para el accionamiento de las

válvulas de forma neumática. A su vez, este aire puede estar disponible como aire de planta cerca de los equipos y líneas, ya sea para limpieza u otra necesidad.

El aire de instrumentos debe ser seco, ya que es crítico para su correcto funcionamiento, de lo contrario, provocarían errores ya sea en la medición, accionamiento y/o control.

Dependiendo la sensibilidad, precisión y diseño del instrumento, se verá afectado en mayor o menor medida con el contenido de humedad e impurezas contenido en el aire.

El circuito del aire comienza con la alimentación al compresor, dentro del cual se encuentran unos filtros de aire, con el fin de conservar la integridad del mismo, y evitar que ingresen partículas de suciedad.

En el compresor, generalmente el aire se comprime hasta una presión de 8 a 10 bar, para luego dirigirse a los secadores de aire, compuestos de alúmina activada, cuya función es la de retener la humedad por adsorción en su superficie. De esta forma, el aire comprimido y seco, se dirige a un pulmón de aire, donde es almacenado y listo para ser utilizado.

Con respecto al secado del aire, se opera con dos equipos en paralelos, mientras uno de ellos está secando el aire, el otro se está regenerando, con el objetivo de suministrar aire comprimido constante.

Cuando se está regenerando la alúmina saturada de humedad, el aire circula en contracorriente, es decir, desde arriba hacia abajo, saliendo en el fondo a través de los silenciadores de aire, que se encargan de descargar el aire con la humedad directamente al ambiente (Eacsa, 2017).

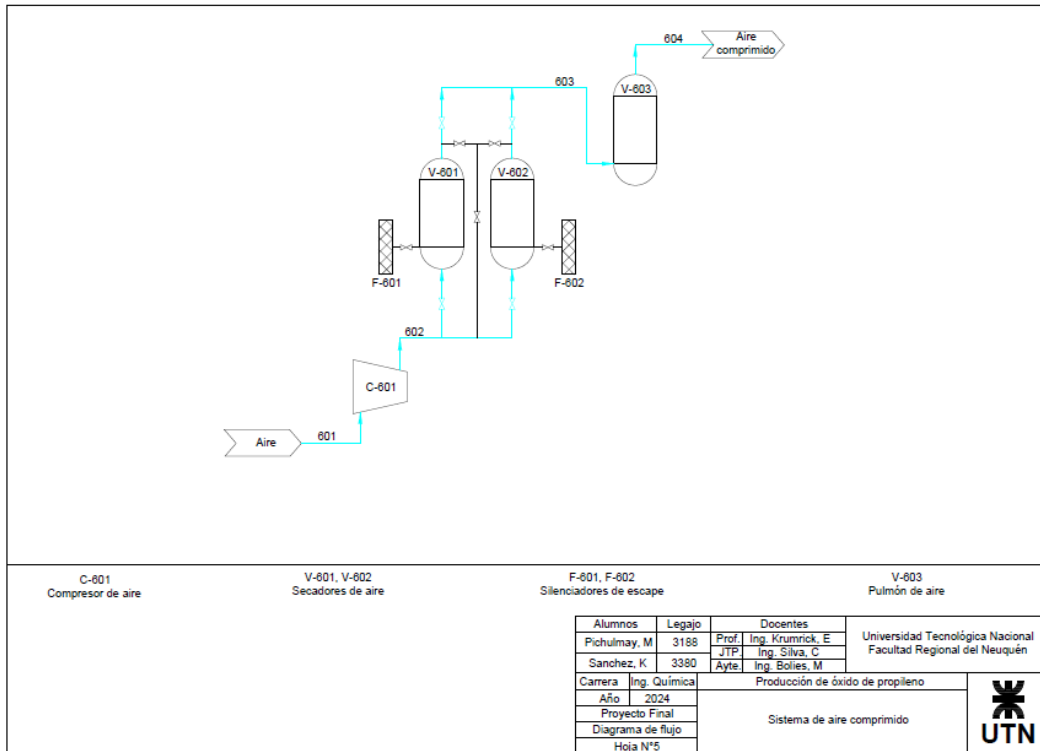


Diagrama de flujo 5- 3: Circuito de aire para instrumento.

Para el aire de instrumentación, de acuerdo a la norma ISO 8573-1:2010, la cual define las clases de pureza de aire comprimido para partículas, agua y aceite,

- Clase 1 para Partículas: Máximo de 100 partículas/m³, tamaño hasta 0.1 micrones.
- Clase 2 para humedad: Punto de rocío a presión de -40°C.
- Clase 1 para aceite: Máximo de 0.01 mg/m³ de aceite.

(Atlas Copco, 2023)

5.4.7. Electricidad

La energía será suministrada por EDES (Empresa Distribuidora de Energía Sur), ubicada en Bahía Blanca.

Para el suministro de energía eléctrica, se considera que la línea de alta tensión es de 132 kV, ya que es la que predomina en la ciudad de Bahía Blanca, y para disminuirla hasta un uso razonable, se utiliza una estación transformadora.

Primeramente, se utilizará un transformador con capacidad de bajar la tensión a 13,3 KV, y luego otro para disminuirla a 380V para alimentar los motores, y 220V para el uso en las oficinas.

A continuación, se muestran los consumos de energía de las bombas más representativas del proceso.

Consumo de energía en bombas			
Equipo	Tag	Flujo de energía (KJ/h)	Potencia (KW)
P-001	Q-01	84.108,55	23,36
P-002	Q-07	46.670,21	12,96
P-003	Q-14	8.030,48	2,23
P-004	Q-20	72.002,23	20,00
P-005	Q-21	41.503,40	11,53
P-006	Q-15	1.027,68	0,29
Total		253.342,56	70,37

Tabla 5- 4: Consumo de energía de las bombas.

5.4.8. Sistema de antorcha

El sistema de antorcha, es un sistema de seguridad que se encarga de quemar los gases combustibles en exceso que no pueden liberarse al medio ambiente, ya sea porque generan atmósferas explosivas peligrosas o son gases contaminantes.

Cuando la planta está operando en condiciones normales, las válvulas de seguridad instaladas en los diferentes puntos se encuentran cerradas. Pero cuando la presión del sistema varía o se genera una sobrepresión tal que, vence la presión ejercida por el resorte interno de la válvula, se habilita la descarga de este exceso hacia un colector de gases. Luego que se despresiona el sistema, la válvula vuelve a recuperar su posición de cerrado por acción del resorte.

Es decir, las válvulas de seguridad, están seteadas a una presión mayor que la presión de operación normal, pero se relaciona directamente con la integridad de los equipos y líneas de planta. En consecuencia, la presión de seteo está por debajo de la presión de diseño de los equipos y por encima de la presión de operación normal.

Esto permite tener un rango de trabajo, ya que existen variaciones pequeñas o bruscas en el proceso, y la planta debe estar preparada para asegurar la operación segura de las personas, proteger el medio ambiente y asegurar la integridad de los equipos.

Por otro lado, el colector de gases, tiene la función de acumular el exceso de las líneas de planta y purgar líquidos condensables, como hidrocarburos livianos. El resto de los gases, son conducidos al flare, en el cual se produce la combustión de los mismos.

Es importante mencionar, que el sistema de antorcha permite conducir al proceso a un estado seguro en caso de emergencia, ya que suelen haber partes del proceso con bypass, que permiten derivar gases directamente al sistema de antorcha.

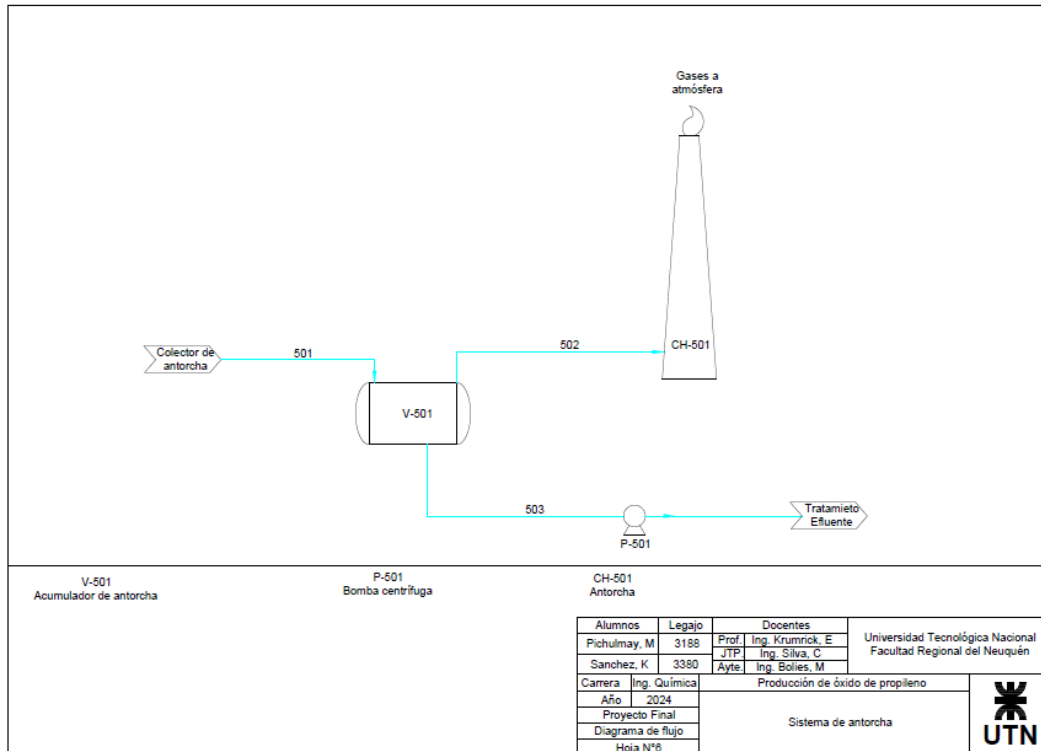


Diagrama de flujo 5- 4: Sistema de antorcha.

5.4.9. Gas natural

El gas natural se lo utilizará fundamentalmente como alimentación a los quemadores de las calderas, para la antorcha, y a su vez, como suministro a las oficinas.

De acuerdo a la localización, la empresa TGS (Transportadora de Gas del Sur) está asociada en la distribución y comercialización en la zona.

Para esto, se utilizará un skid de medición de gas natural, el cual está diseñado para controlar el flujo del mismo. Estos vienen equipados de medidores de flujo, de presión y temperaturas, como así también válvulas, entre otros componentes.

El gas natural se transporta a alta presión, entre 60 y 100 bares, cuando viaja distancias largas hasta los centros de descompresión y distribución. En estos últimos, el gas natural se descomprime a presiones cercanas a los 7 bares, y se deriva a lugares más cercanos para su acondicionamiento final, donde se obtienen presiones más bajas, en estaciones de baja presión, entre 0,4-1 bar para ser utilizado.

De acuerdo al código argentino de gas – NAG-602, se la composición y contenidos máximos de componentes, para el transporte y distribución del gas natural en la Argentina.

Contenido máximo	Valor
Dióxido de Carbono (CO ₂)	2% molar
Agua (H ₂ O)	65 mg/sm ³
Total de Inertes (N ₂ + CO ₂)	4% molar
Sulfuro de Hidrógeno (SH ₂)	3 mg/sm ³
Azufre entero	15 mg/sm ³
Hidrocarburos condensables (HC)	-4°C @ 5.500 kPa Abs.
Oxígeno (O ₂)	0,2% molar
Partículas sólidas	22,5 kg/MM de sm ³ (tamaño ≤ 5 um)
Partículas líquidas	100 I/MM de sm ³
Poder Calórico superior	Min. 8.850 kcal/sm ³ .- Máx. 10.200 kcal/sm ³
Temperatura	50°C
Otras consideraciones	Libre de arenas, polvos, gomas, aceites, glicoles y otras impurezas indeseables

Tabla 5- 5: Contenido máximo de componentes en el gas natural en Argentina. (Energas, 1998)

Para obtener un estimado del consumo del gas natural de caldera, se extraerán los datos del consumo de energía obtenidos de la simulación. Esto se muestra en la Tabla 5-5.

Demanda de energía por parte de las calderas		
Equipo	Tag	Flujo de calor (kW)
E-001	Q-02	70,01
T-001	Q-06	17.345,13
T-002	Q-10	2.968,24
T-003	Q-13	4.012,42
T-004	Q-19	10.387,92
E-006	Q-16	68,99
Total		17.415,14

Tabla 5- 6: Cálculo de flujo de calor en calderas.

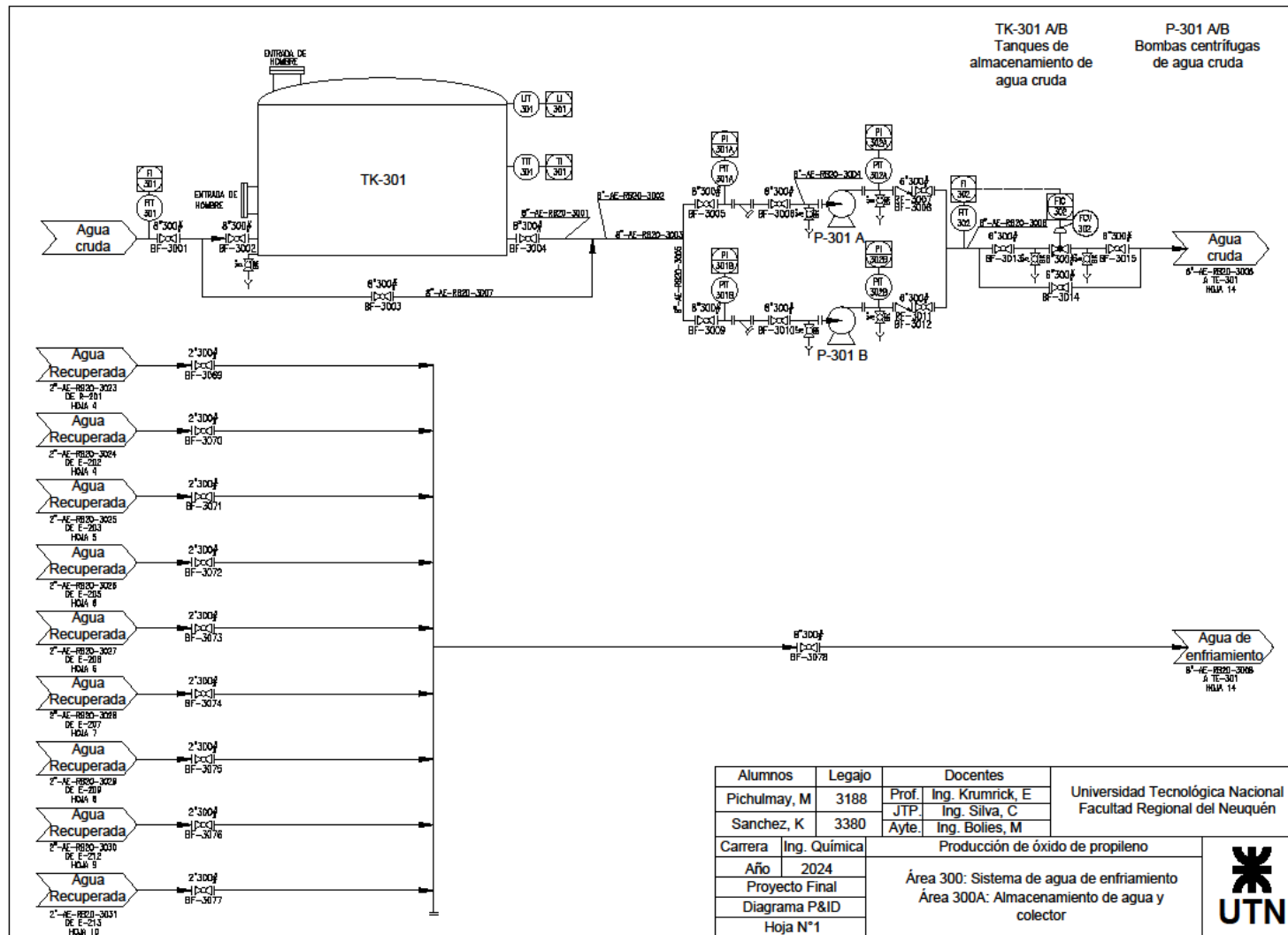
La cantidad de energía necesaria es igual a 17.415,14 kW, equivalente a 14.974.325 kcal/h.

Teniendo en cuenta la relación de entrega de energía por parte del gas natural de 9.300 Kcal/Nm³, se puede establecer el volumen de gas natural necesario.

En consecuencia, se necesitan 1.610,15 m³/h de gas natural.

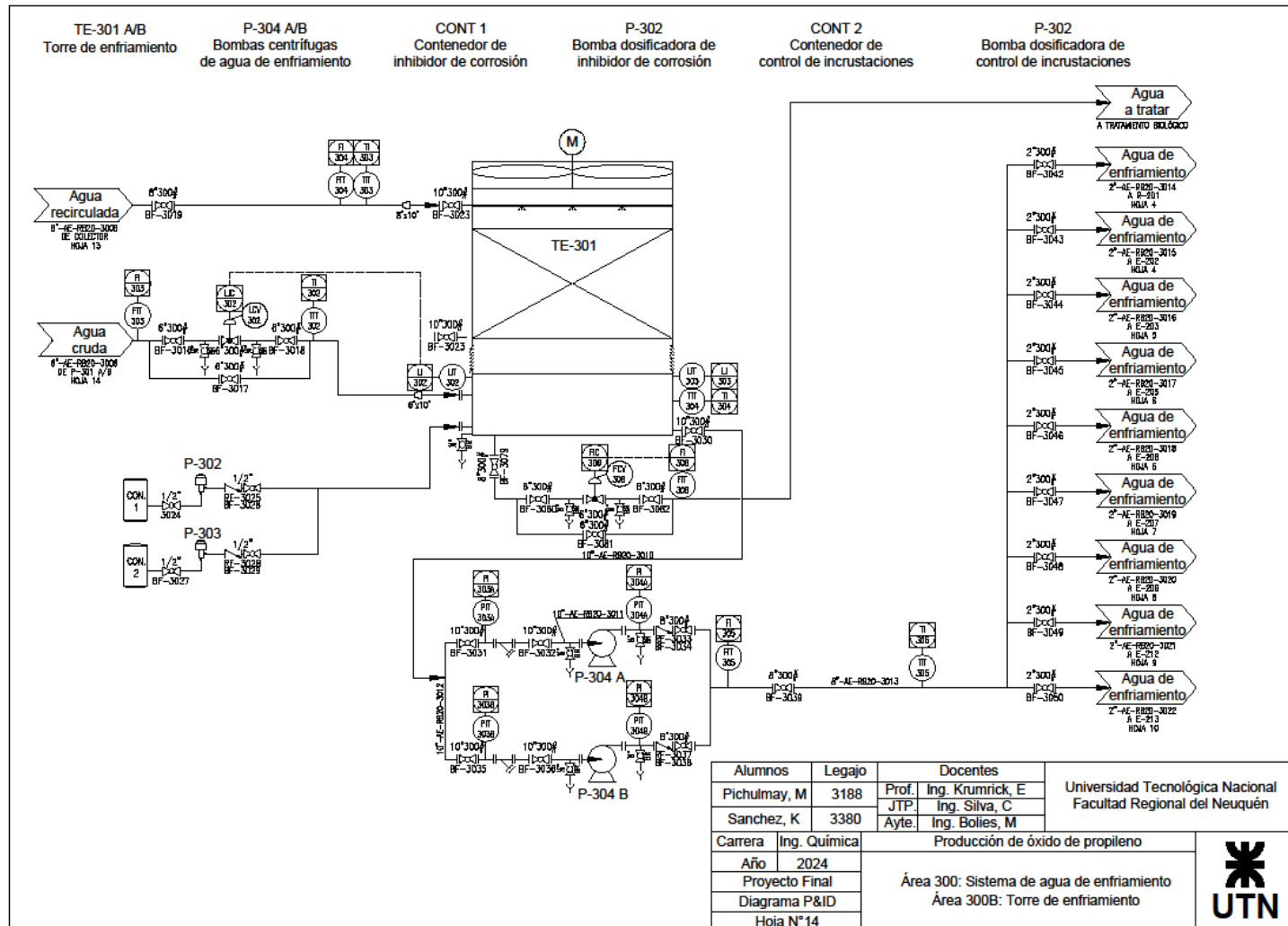
5.5. P&ID de servicios auxiliares

Producción de óxido de propileno

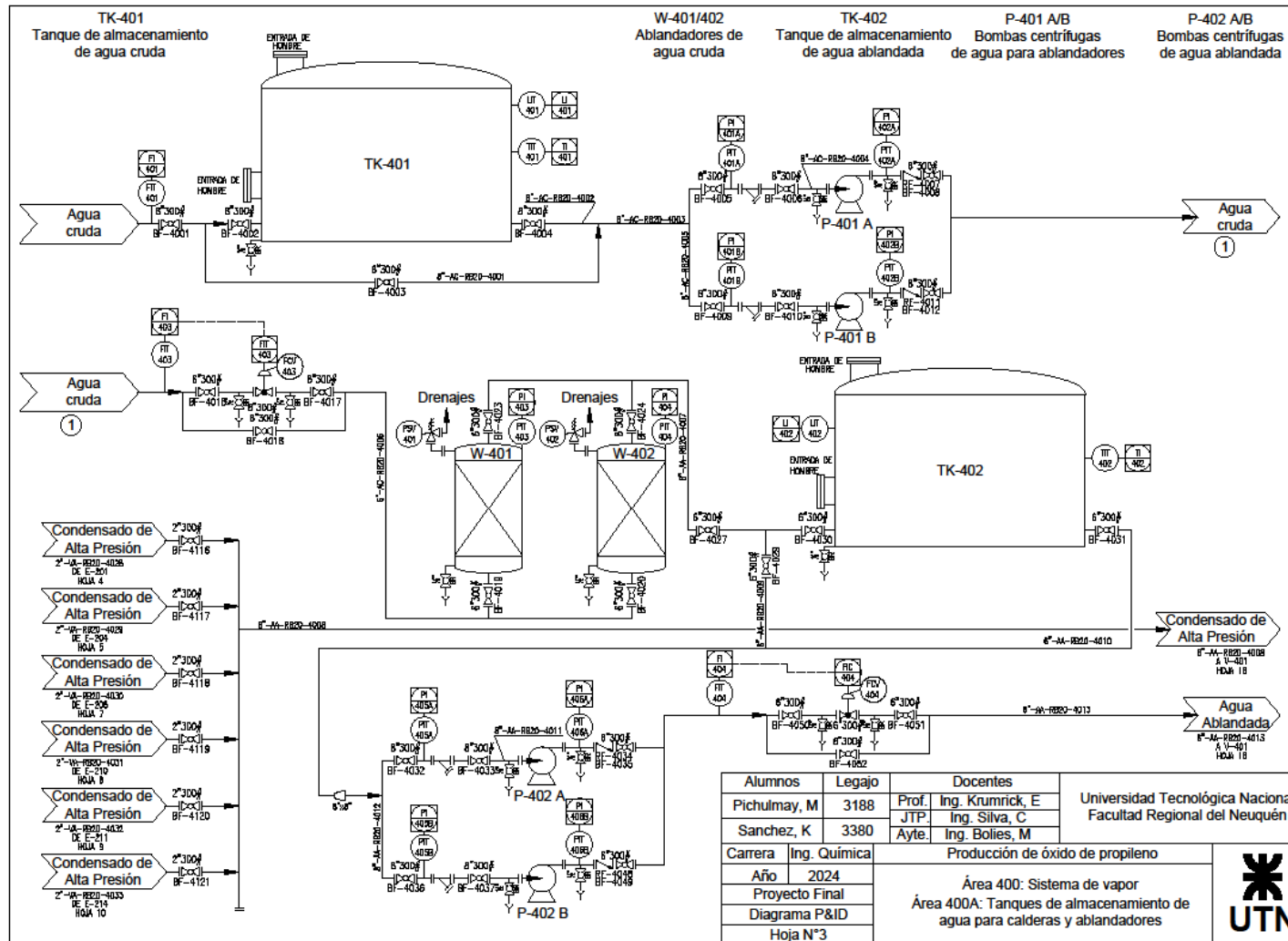


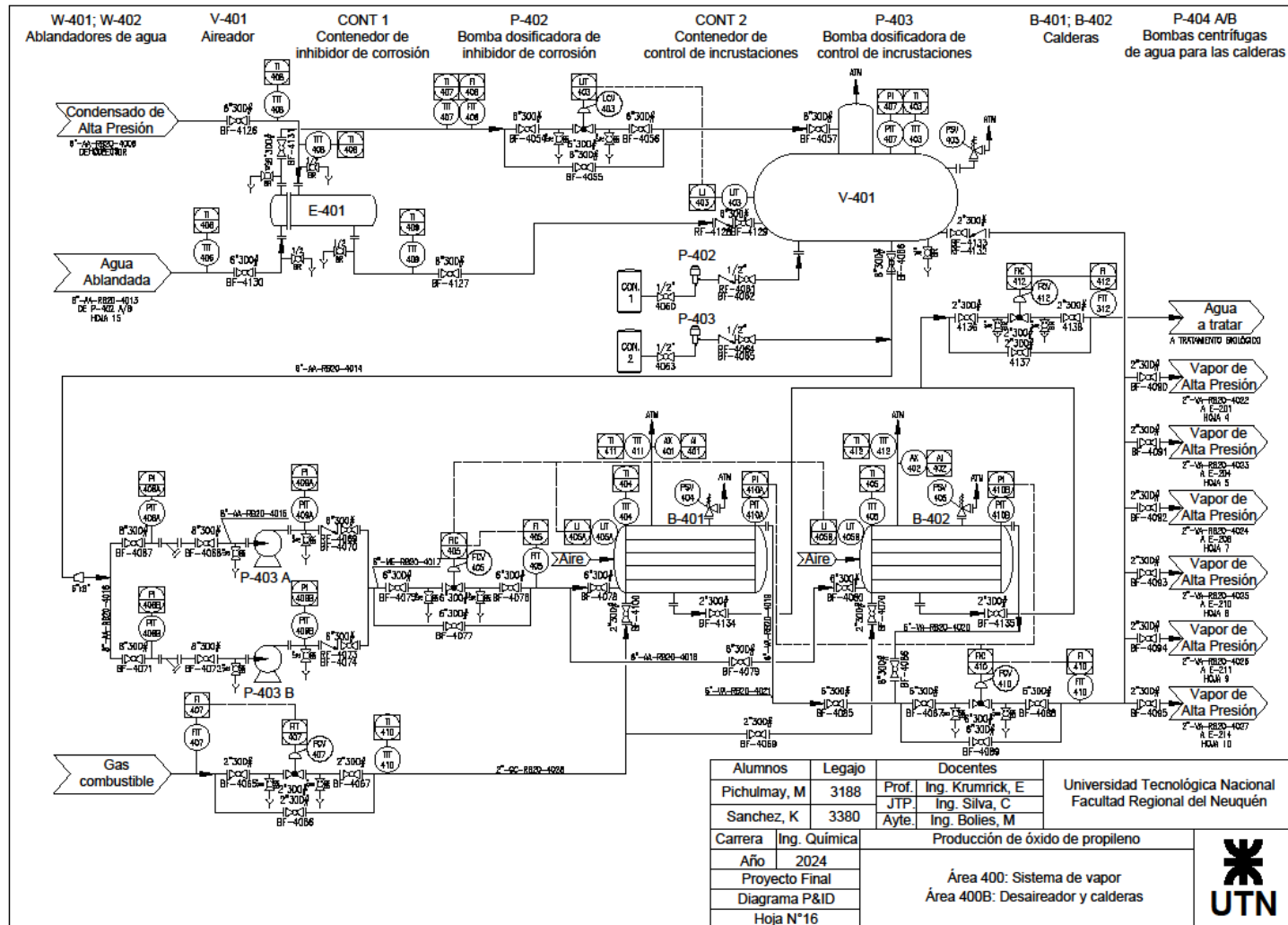
Alumnos	Legajo	Docentes		Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional del Neuquén
Pichulmay, M	3188	Prof. Ing. Krumrick, E	JTP. Ing. Silva, C	
Sanchez, K	3380	Ayte. Ing. Bolles, M		
Carrera	Ing. Quimica	Producción de óxido de propileno		
Año	2024	Área 300: Sistema de agua de enfriamiento		
	Proyecto Final	Área 300A: Almacenamiento de agua y colector		
	Diagrama P&ID			
	Hoja N°1			

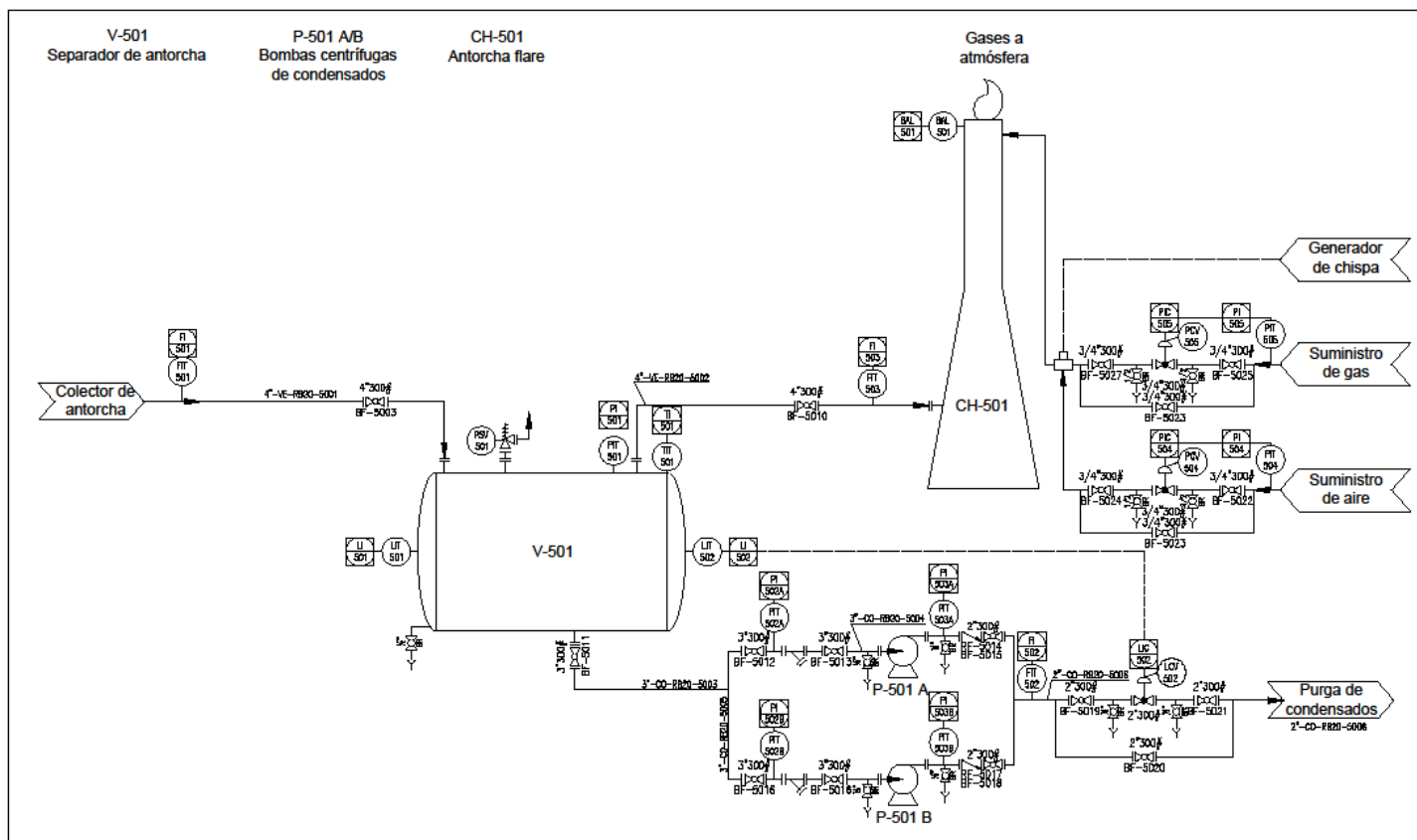




Producción de óxido de propileno







Alumnos	Legajo	Docentes	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional del Neuquén
Pichulmay, M	3188	Prof. Ing. Krumrick, E JTP. Ing. Silva, C	
Sanchez, K	3380	Ayte. Ing. Bolies, M	
Carrera	Ing. Química	Producción de óxido de propileno	
Año	2024	Área 500: Colector de venteos y flare	
Proyecto Final			
Diagrama P&ID			
Hoja N°17			



5.6. Bibliografía

- Atlas Copco. (2023). *Norma ISO 8573-1*. Obtenido de Norma ISO 8573-1:
<https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/air-compressor-blog/iso-8573-1-como-interpretamos-la-norma>
- Barrera Puigdollers, C., Betoret Valls, N., Castelló Gómez, M., & Pérez Esteve, É. (s.f.). *Aspectos básicos relacionados con el funcionamiento de una caldera*. Universitat Politècnica de València.
- CALORYFRIO, I. A. (2018). *¿Qué es una torre de refrigeración o enfriamiento? Funcionamiento y seguridad*. Obtenido de <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/que-es-torre-de-refrigeracion-enfriamiento-funcionamiento-seguridad.html>
- Eacsa. (2017). *Tipos de secadores de aire comprimido*. Obtenido de <https://energiaenaire.com.mx/tipos-secadores-aire-comprimido/>
- Energas. (1998). *Gas natural, Resolución 622/98*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-622-1998-51429/texto>
- McCabe, W. L. (2004). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (7ma ed.). McGraw-Hill Interamericana de México.
- Quicsa. (2022). <https://quicsa.com/como-funciona-una-caldera/>. Obtenido de ¿Cómo funciona una caldera?

6

P&ID

6. P&ID

6.1. Resumen ejecutivo

Este capítulo aborda el diseño y uso de los Diagramas de Tuberías e Instrumentación (P&ID) en plantas industriales, con un enfoque en la industria petroquímica y de procesos. Un P&ID es esencial para representar las líneas de proceso, tipos de instrumentos, válvulas, actuadores, equipos de planta y la lógica de control que asegura la seguridad operativa.

Como guía en la construcción de los P&ID, se basó en las normas ISA S5.1, ampliamente utilizadas para estandarizar la simbología y nomenclatura, la cual, detalla los elementos básicos de los sistemas de control, como sensores, transmisores, controladores, transductores y elementos finales.

También se plasman los cálculos en los diámetros de tuberías, y se justifica la elección del material para las tuberías, recomendando acero al carbono con revestimiento anticorrosivo para resistir condiciones operativas y evitar la corrosión. Se proporcionan las diferentes áreas de la planta, identificando secciones específicas como almacenamiento, reacción, purificación, sistemas de refrigeración y vapor.

6.2. Introducción

Un P&ID, "Pipe & Instrumentation Diagram" o también conocido como "Diagrama de tubería e instrumento" (DTI), es un diagrama, en el cual se visualizan y representan las líneas de proceso, los tipos de instrumentos, válvulas y sus actuadores, y los equipos de la planta, como así también la lógica de control para garantizar la seguridad de la planta y operar en condiciones seguras.

En estos, se resume información valiosa tal como: diámetro y material de la cañería, tipo de fluido que transporta, descripciones generales de los equipos, etc.

Para una mejor interpretación, es importante recurrir a las normas y criterios generales establecidos para la confección de los mismos. Generalmente se siguen las recomendaciones de la Norma ISA S5.1, (International Society of Automation), la cual, es un standard ampliamente utilizado, no solamente en la industria petrolera y petroquímica, sino también en procesos industriales en general.

La norma ISA S5.1 provee una nomenclatura, codificación, diferentes tipos de líneas, y una simbología práctica para su fácil comprensión. (Losa, 2015)

6.3. Objetivos

Los objetivos del capítulo son los siguientes:

- Describir y clasificar los distintos tipos de instrumentación de acuerdo a la Norma ISA S5.1.
- Definir el tamaño y el material de las cañerías.
- Confeccionar y detallar la filosofía de control en los P&ID.

6.4. Definiciones

6.4.1. Elementos de los sistemas de control

Un sistema de control se compone de varios componentes básicos necesarios para que juntos puedan cumplir con el propósito deseado.

- Sensor: tiene como objetivo medir la variable física o química del sistema. Es el primer instrumento que tendrá un lazo de control.
- Transmisor: Toma el valor del sensor y lo manda a equipos remotos, permitiéndoles controlar y supervisar el proceso.
- Controlador: recibe la señal de la variable medida y compara con un valor seteado o establecido, para realizar una acción correctora en caso de ser necesario.

- Transductor: toma una señal eléctrica y la convierte en una señal neumática que se envía al elemento final de control.
- Elemento final: Es un instrumento que actúa sobre la variable manipulada.

(Company, s.f.)

6.4.2. Instrumentos

Los instrumentos son dispositivos que se utilizan para medir o controlar directamente o indirectamente un variable del proceso. Estos incluyen elementos primarios, elementos de control final, dispositivos informativos y electrónicos como interruptores, pulsadores, etc. (ISA-5.1, 1992)

6.4.3. Clasificación de la instrumentación

- Instrumentos primarios: Estos consisten en la medición, el seguimiento y control, o el cálculo de los dispositivos y hardware y sus funciones. Cuentan con registradores, transmisores, controladores, dispositivos de control y válvulas, y funciones de software para identificarlos.
- Instrumentos secundarios: estos son muy similares a los anteriores, miden, monitorean y controlan dispositivos, que incluyen hardware, pero contemplan visores de nivel, manómetros, termómetros y reguladores de presión.
- Instrumentos auxiliares: estos constan de dispositivos y hardware, los cuales permiten la medición, el control o cálculo, y que son fundamentales para el funcionamiento de los dos anteriores. Incluyen medidores de purga, sistema de muestreo, aire para instrumentos, entre otros.
- Instrumentos de accesorios: estos incluyen dispositivos y hardware que no miden ni controlan, son fundamentales para la medición, monitoreo o sistema de control. (Carballo Sierra & Romero Lara, 2011)

6.4.4. Tipos de señales de instrumentación

De acuerdo a la norma ISA 5.1, dependiendo el tipo de línea que se representa en el P&ID, es la forma en la que se interconectan entre sí los diferentes instrumentos, formando lazos de control, con la correspondiente cañería. Estas se visualizan en la siguiente Tabla 6-1.




Tipo de línea	Descripción
	Conexión a proceso o enlace mecánico o conexión a instrumentos
	Señal eléctrica
	Señal neumática

Tabla 6- 1: Líneas y señales según Norma ISA 5.1.

6.4.5. Símbolos de la instrumentación

De acuerdo a la forma con la que se encuentre representado el instrumento, indica si es un instrumento aislado o discreto (círculo o globo), si es un instrumento que comparte un display o un control (círculo dentro de un cuadrado), si es un hexágono representa una función computacional, y los rombos dentro de un cuadrado representan controles lógicos programables (PLC's).





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

Tabla 6- 2: Simbología de instrumentación. (LOPEZ, 2015)

A su vez, también la diferente representación nos indica la ubicación del instrumento.

	Montado en Tablero		Ubicación Auxiliar.
	Normalmente accesible al operador	Montado en Campo	Normalmente accesible al operador.
Instrumento Discreto o Aislado			
Display compartido, Control compartido.			
Función de Computadora			
Control Lógico Programable			

Tabla 6- 3: Representación de instrumentos. (LOPEZ, 2015)

6.4.6. Nomenclatura de instrumentos

Es necesario una adecuada numeración y codificación de los instrumentos para que se puedan reconocer los componentes de cada lazo de control, como así también establecer, que tipo de instrumento es y cual es su función.

El gráfico “Identificación e información de los lazos de control”, detalla un ejemplo sencillo para poder interpretar toda la información que nos brindan los instrumentos en los P&ID.

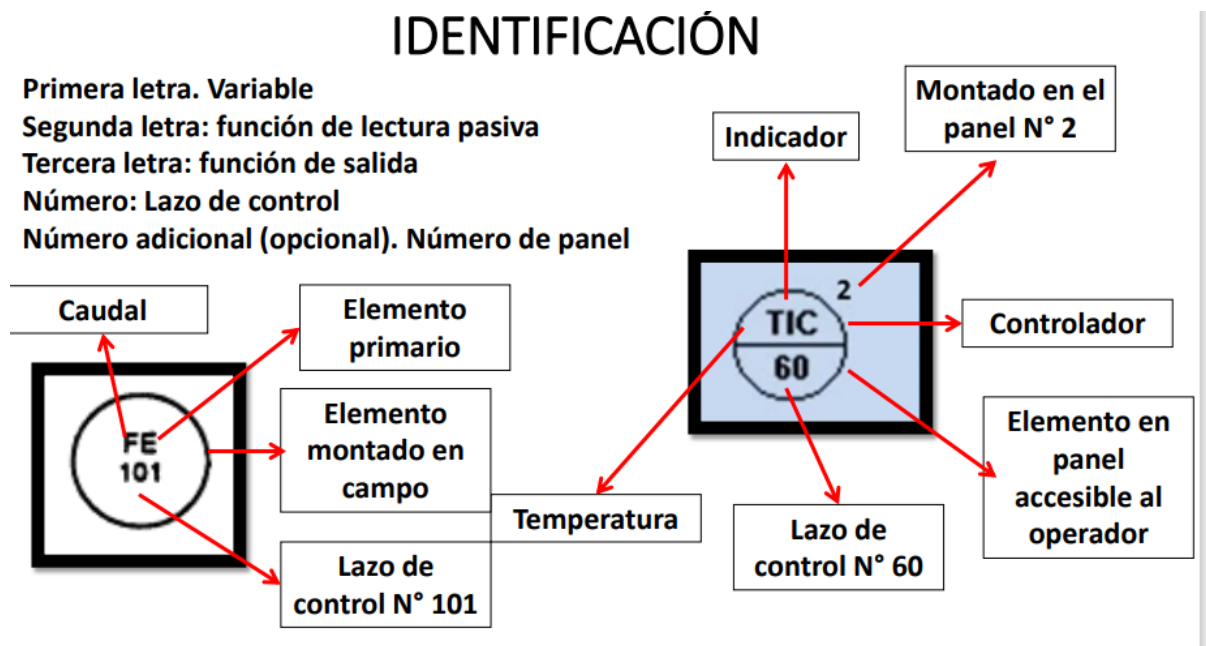


Gráfico 6- 1: Identificación e información de los lazos de control.

Comienza describiendo la primera letra, la cual indica la variable que está en estudio, y así sucesivamente, describiendo la funcionalidad de cada componente y armando el lazo de control.

6.4.7. Indicadores locales

La tabla “Indicadores locales en P&ID” da ejemplos de indicadores de variables comúnmente utilizados en la industria. Como ya se mencionó, los mismo facilitarían ver los valores de las variables medidas del proceso, ya sea de una línea o de los equipos.

En la práctica, un operador de planta o cualquier persona que necesite saber el valor de una variable, podrá acercarse a estos y visualizar el valor que marca en ese momento el instrumento. En algunos casos, donde no se sabe si la lectura que está llegando a sala control es correcta, estos instrumentos permiten comprobar o comparar este valor.


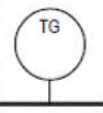

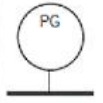

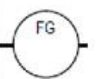

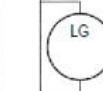
<u>EJEMPLO</u>	<u>P&ID</u>	<u>INDICADORES LOCALES</u>
		INDICADOR DE TEMPERATURA
		INDICADOR DE PRESIÓN
		INDICADOR DE CAUDAL
		INDICADOR DE NIVEL

Tabla 6- 4: Indicadores locales en P&ID. (Losa, 2015)

6.4.8. Transmisores

Los transmisores tomarán el valor medido por el sensor y lo enviará a equipos remotos, para visualizar el estado del proceso y evaluar alguna acción de corrección. Gracias estos, permite supervisar el proceso en tiempo real.

Además, puede configurarse de modo que puedan tener una indicación local de la variable, por lo que envían la señal y también muestra el valor medido.

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

Tabla 6- 5: Transmisores en los P&ID. (Losa, 2015)

6.4.9. Switches en P&ID

Estos son interruptores sumamente útiles que envían una señal cuando la variable que se está midiendo alcanza un valor preestablecido. Por ejemplo, son muy utilizados para alertar sobre alto o bajo caudal en un recipiente.

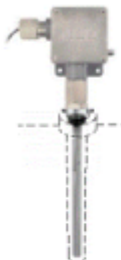





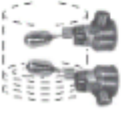
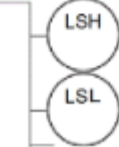
<u>EJEMPLO</u>	<u>P&ID</u>	<u>SWITCHES</u>
	 <p>TSH Interruptor de alta temperatura</p> <p>TSL Interruptor de baja temperatura</p>	SWITCHES DE TEMPERATURA
	 <p>PSH Interruptor de alta presión</p> <p>PSL Interruptor de baja presión</p>	SWITCHES DE PRESIÓN
	 <p>FSH Interruptor de alto caudal</p> <p>FSL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

Tabla 6- 6: Switches comúnmente utilizados en lo P&ID. (Losa, 2015)

6.4.10. Válvulas

En las plantas industriales existe una gran variedad y tipos de válvulas, las cuales pueden realizar distintos tipos de funciones, como facilitar el paso de un fluido, obstruir el paso del mismo, o regular su caudal, entre otras.

Las válvulas de control nos permitirán mantener el proceso entre las condiciones óptimas de operación, aunque también hay válvulas que pueden ser manuales y estar al alcance de los operadores.

Cabe destacar, que algunas válvulas solamente se utilizan en caso de emergencia, o en caso de paro de planta para el mantenimiento de los equipos, porque lo que se deriva el flujo a algún colector o tanques auxiliares.

De esta forma, las válvulas junto con chapa ciega, aíslan los equipos del ingreso de fuentes externas para que puedan ser intervenidos en condiciones seguras para el personal de mantenimiento.















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

Tabla 6- 7: Tipos de válvulas comúnmente utilizadas. (Losa, 2015)

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

Tabla 6- 8: Posicionadores y accesorios en las válvulas. (Losa, 2015)

6.5. Nomenclatura de las cañerías

Así como cada equipo e instrumento tiene su codificación y nomenclatura, también es necesario identificar cada línea del proceso.

Si bien, hay diferentes normas utilizadas, no existe un criterio universal, aunque estas son muy similares, y aportan información relevante. Generalmente se utilizan las normas de American Estándar Institute y la American Society of Mechanical Engineers ANSI/ASME.

Se procederá a utilizar la siguiente codificación para las líneas del proceso.

2"-PP-RB20-101

Lo que indica es que es una cañería de 2", que transporta propileno como fluido, siendo la cañería de acero al carbono con revestimiento, siendo la línea número 101, por lo tanto, está ubicada en el Área 100.

6.6. Determinación de diámetro de la cañería

Es necesario que el diámetro de cañería sea el adecuado, incluso se lo sobredimensiona en caso de ser necesario por seguridad, ya sea por modificaciones intencionales o variaciones de caudal, de forma que el área de la cañería contemple pérdidas de carga adicionales.

Para el cálculo de diámetro de la cañería, se basa en velocidades típicas de fluidos.

Como se conoce el caudal de la cañería y las velocidades típicas recomendadas, se puede obtener el área de sección necesario, con la fórmula $Q=V*A$.

Para esto, es necesario apoyarse de los resultados de la simulación de Aspen Hysys, y de las velocidades de fluidos recomendadas del libro “Operaciones unitarias, McCabe”

Una vez obtenido el diámetro necesario, se busca en las tablas de referencia de acero con diferentes Schedule, y se compara con aquellos diámetros nominales que proporcionen un área igual o mayor al necesario.

Con la tabla de datos para cañería de acero Schedule 80 del libro “Mecánica de los fluidos” de Robert L. Mott, 6ta edición, se determinan los diámetros nominales, con sus respectivos espesores, diámetro interior y el flujo de área que proporciona. Con base a esta bibliografía se obtendrán los diámetros para las cañerías de presente proyecto. (Mott, 2006)

Línea	Producto	Estado	Caudal (m ³ /h)	Velocidad recomendada (m/s)	Área necesaria (m ²)	Diámetro seleccionado (in)
1	Peróxido de hidrógeno	L	4,96	1,8	7,66E-04	1 1/2
2	Propileno	L	18,81	1,8	2,90E-03	3
3	Propileno	L	1,01	1,8	1,55E-04	1
4	Metanol	L	38,45	1,8	5,93E-03	4
5	Metanol	L	0,16	1,8	2,53E-05	3/8
6	Mezcla de reactor	L	63,23	0,6	2,93E-02	8
7	Mezcla de reactor	L	63,23	2,1	8,36E-03	6
8	Mezcla de reactor	L	63,23	1,8	9,76E-03	6
9	Efluente de reactor	L	59,73	1,8	9,22E-03	6
10	Efluente de reactor	L	59,73	1,8	9,22E-03	6
11	Efluente de reactor	L	59,73	1,8	9,22E-03	6
12	Óxido propileno, metanol y propileno	L	31,92	0,6	1,48E-02	6
13	Metanol y agua	L	27,80	1,8	4,29E-03	4
14	Óxido propileno, metanol y propileno	L	31,92	2,1	4,22E-03	4
15	Óxido propileno, metanol y propileno	L	31,92	1,8	4,93E-03	4
16	Óxido propileno y metanol	L	28,57	1,8	4,41E-03	4
17	Propileno	L	3,35	1,8	5,17E-04	1 ½
18	Propileno	L	2,35	1,8	3,62E-04	1
19	Propileno	L	1,01	0,6	4,66E-04	1 ½
20	Propileno	L	1,01	2,1	1,33E-04	1
21	Óxido propileno y metanol	L	28,57	1,8	4,41E-03	4
22	Óxido propileno y metanol	L	28,57	1,8	4,41E-03	4
23	Óxido de propileno	L	13,67	0,6	6,33E-03	4
24	Óxido de propileno	L	13,67	2,1	1,81E-03	3
25	Metanol	L	14,90	0,6	6,90E-03	4
26	Metanol	L	14,90	2,1	1,97E-03	3
27	Metanol y agua	L	27,80	1,8	4,29E-03	4
28	Metanol y agua	L	27,80	1,8	4,29E-03	4
29	Agua	L	4,41	1,8	6,81E-04	1 ½
30	Metanol	L	23,39	0,6	1,08E-02	6
31	Metanol	L	23,39	2,1	3,09E-03	3
32	Metanol	L	38,29	1,8	5,91E-03	4

Tabla 6- 9: Cálculo de diámetro de cañerías.

6.7. Elección del material de la cañería

Para seleccionar el material de la cañería, es importante tener en cuenta las propiedades químicas de las sustancias con las que se está trabajando.

A su vez, es necesario tener presente las condiciones de operación de la planta, ya que el material debe poder resistir variaciones del proceso, sin deteriorarse.

Por lo tanto, para este proyecto, se eligió un acero al carbono con revestimiento interior anticorrosivo, el cual se observará en los diagramas de P&ID, con la abreviación “RB20”. El material es ASTM A 106 Gr. B sin costura, con bridados de serie 300.

La tabla “Rango de trabajo del material RB20” detalla las especificaciones de operación a las cuales se puede someter el material seleccionado.

Variable	Unidad	Valor		
Temperatura	°C	-29 a 38	100	150
Presión	kg/cm ²	52	47,3	46

Tabla 6- 10: Rango de trabajo del material RB20.

Se puede observar que soporta condiciones de operaciones acorde al proceso de producción de óxido de propileno.

Este material es elegido principalmente a su resistencia a la corrosión, ya que es recomendado para: agua de desecho (agua agria, sour water), gas ácido, hidrocarburos corrosivos, agua de formación corrosiva alta.

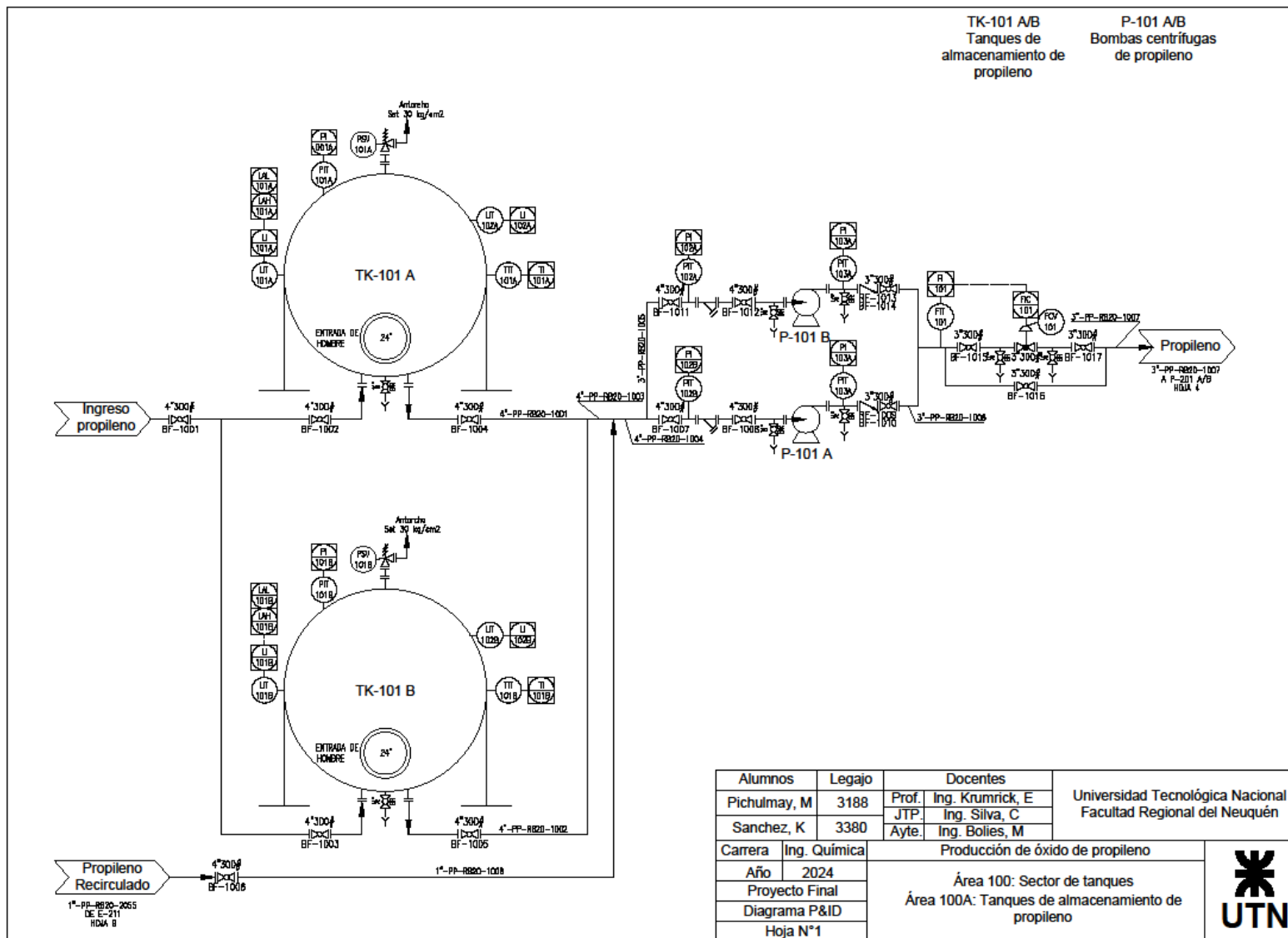
6.8. Identificación de áreas

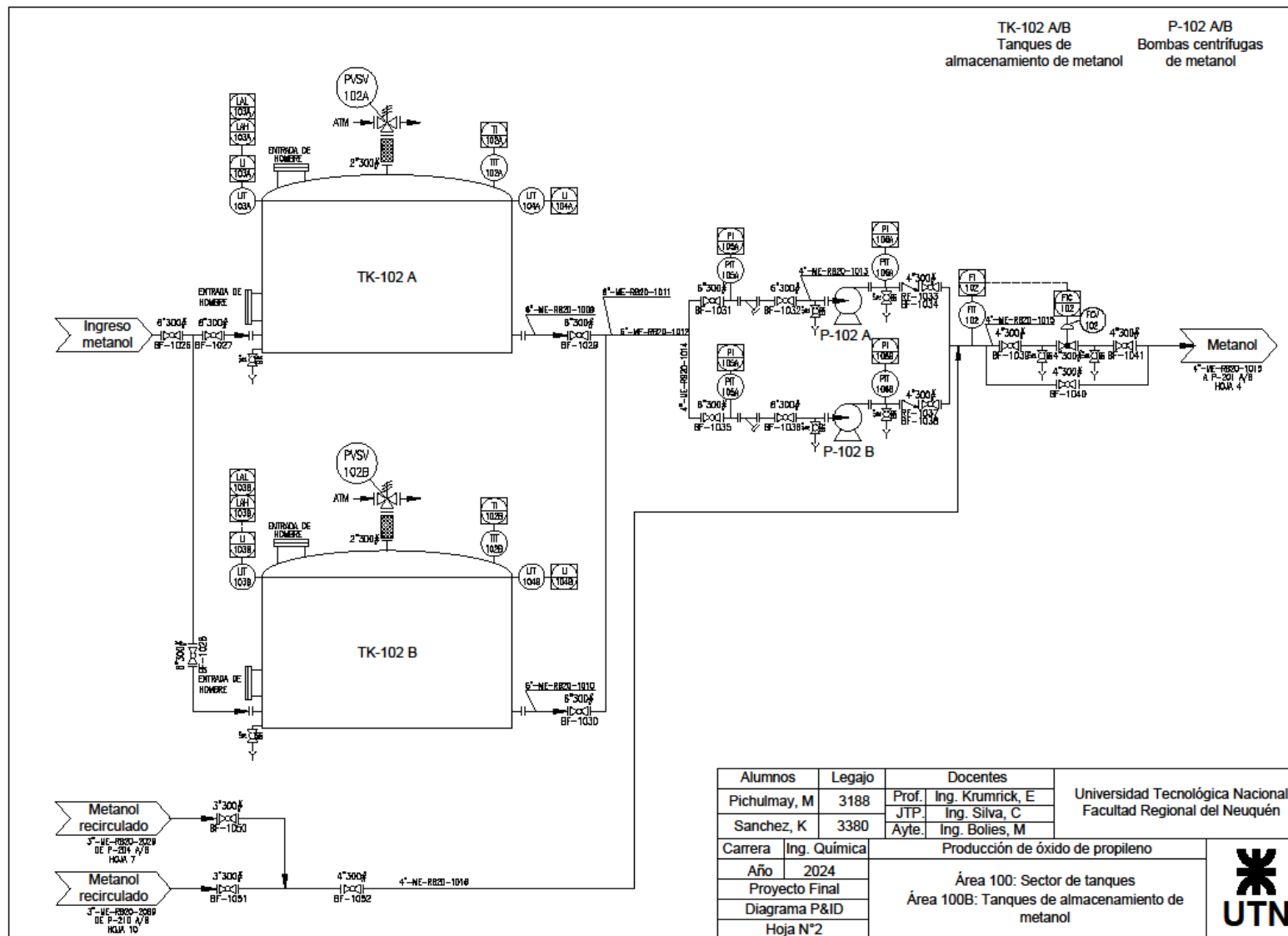
En la tabla “Áreas del P&ID” se describen las distintas áreas esquematizadas en los diagramas P&ID.

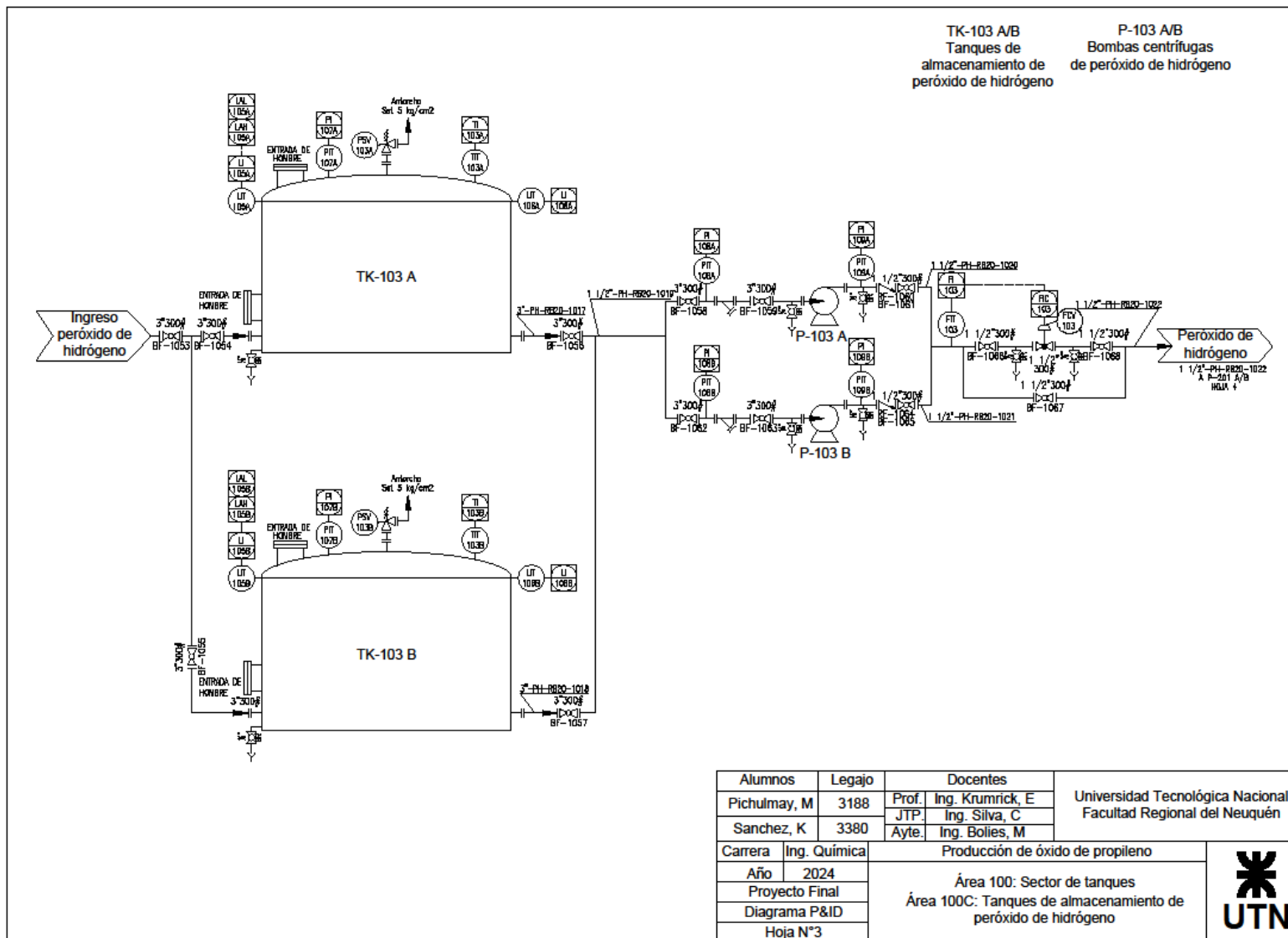
Área	Descripción
Área 100A	Tanques de almacenamiento de propileno
Área 100B	Tanques de almacenamiento de metanol
Área 100C	Tanques de almacenamiento de peróxido de hidrógeno
Área 100D	Tanques de almacenamiento de óxido de propileno
Área 100E	Tanques de almacenamiento de agua a tratar
Área 200A	Reacción y purificación. Zona de reacción
Área 200B	Reacción y purificación. Separación primaria. Columna T-201, separación de óxido de propileno y agua
Área 200C	Reacción y purificación. Acondicionamiento de efluentes de T-201 para futuras separaciones
Área 200D	Reacción y purificación. Columna T-202, separación de metanol y agua
Área 200E	Reacción y purificación. Separación terciaria. Columna T-203, separación de propileno y óxido de propileno
Área 200F	Reacción y purificación. Acondicionamiento de efluentes de T-203 para separación final
Área 200G	Reacción y purificación. Separación final. Columna T-204, obtención de óxido de propileno
Área 300A	Sistema de agua de refrigeración: Almacenamiento de agua y colector
Área 300B	Sistema de agua de refrigeración: Torre de enfriamiento
Área 400A	Sistema de vapor: Tanques de almacenamiento de agua para calderas y ablandadores
Área 400B	Sistema de vapor: Desaireador y calderas
Área 500	Colector de venteos y flare

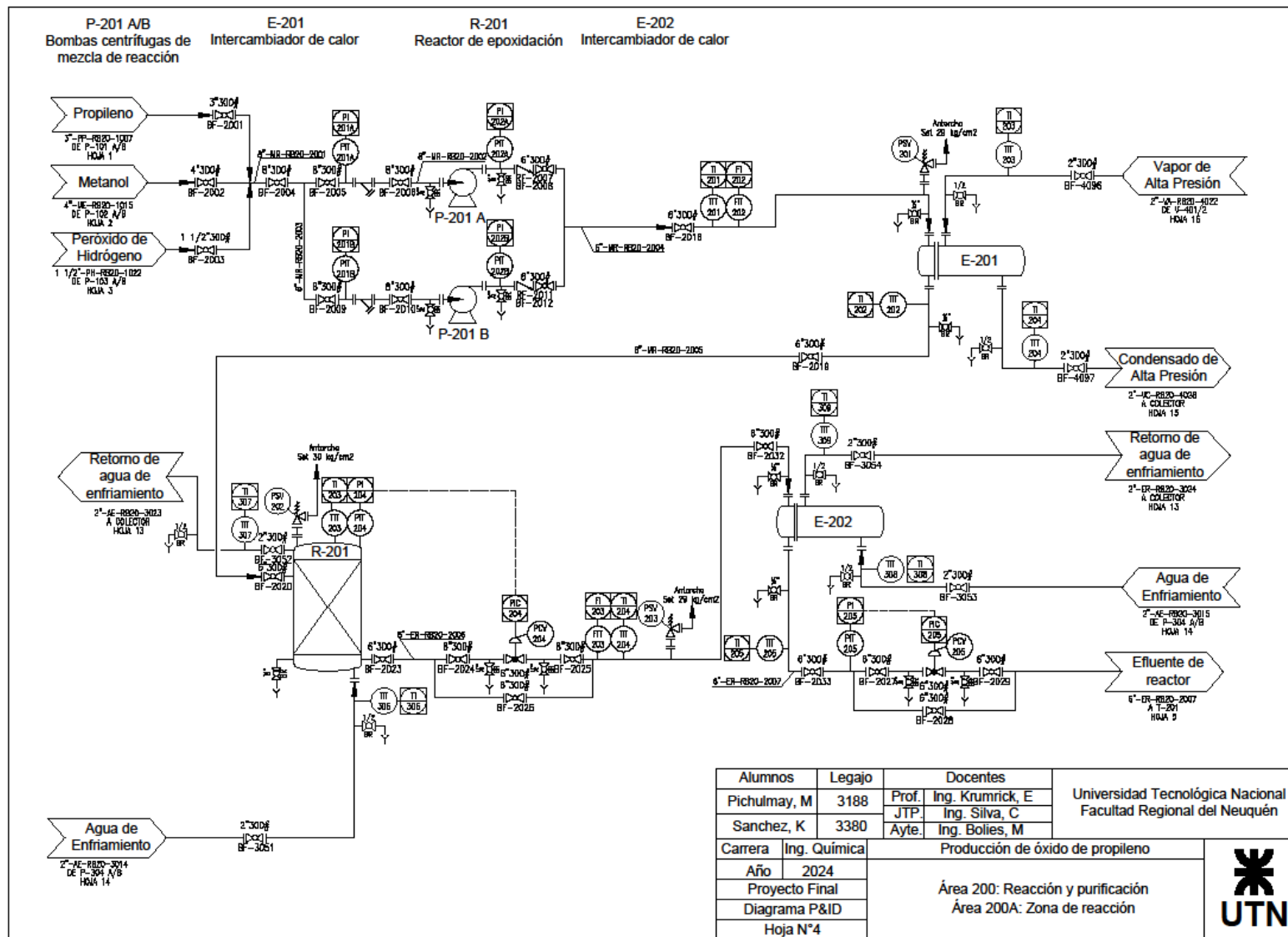
Tabla 6- 11: Áreas del P&ID.

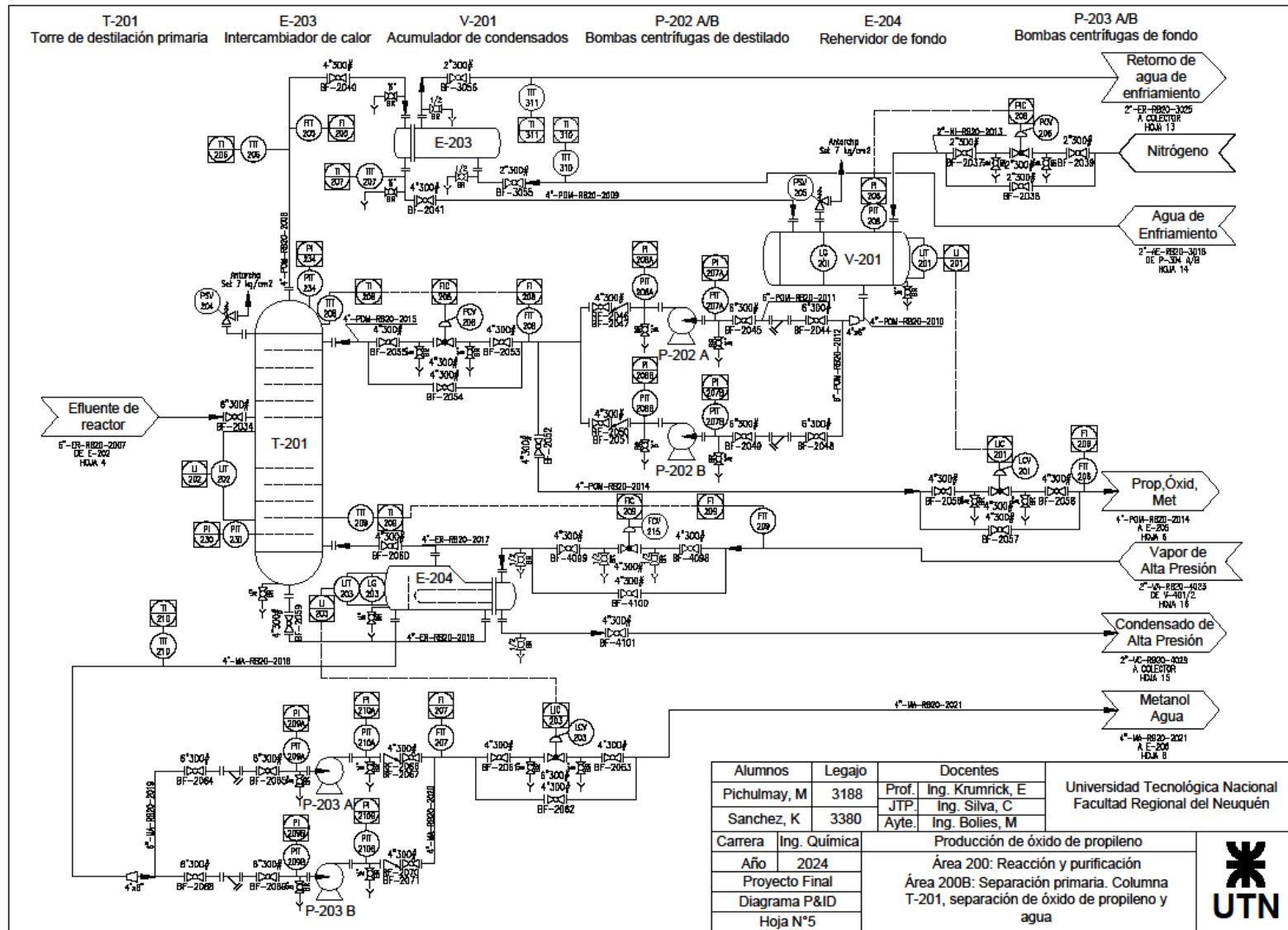
6.9. Diagramas P&ID





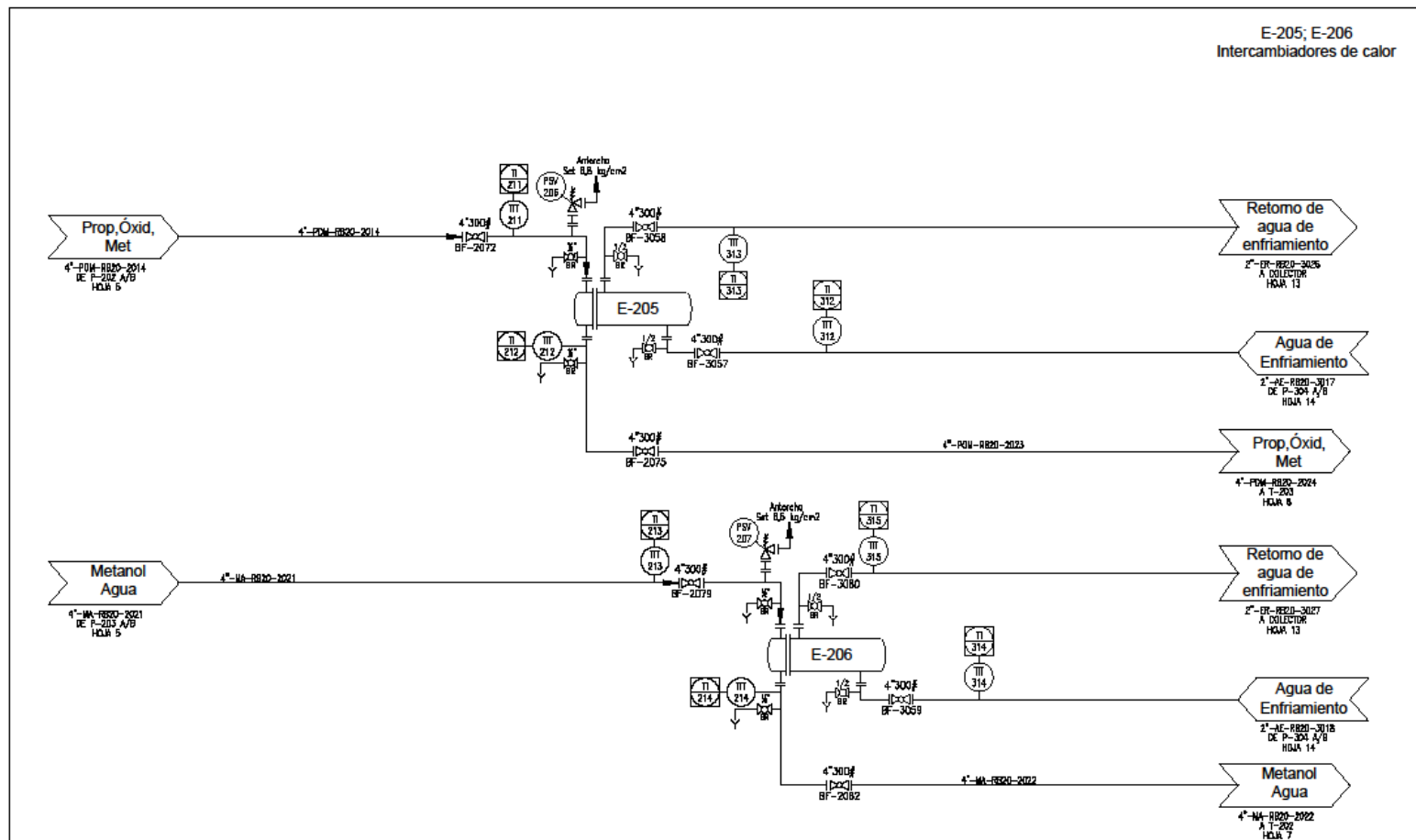






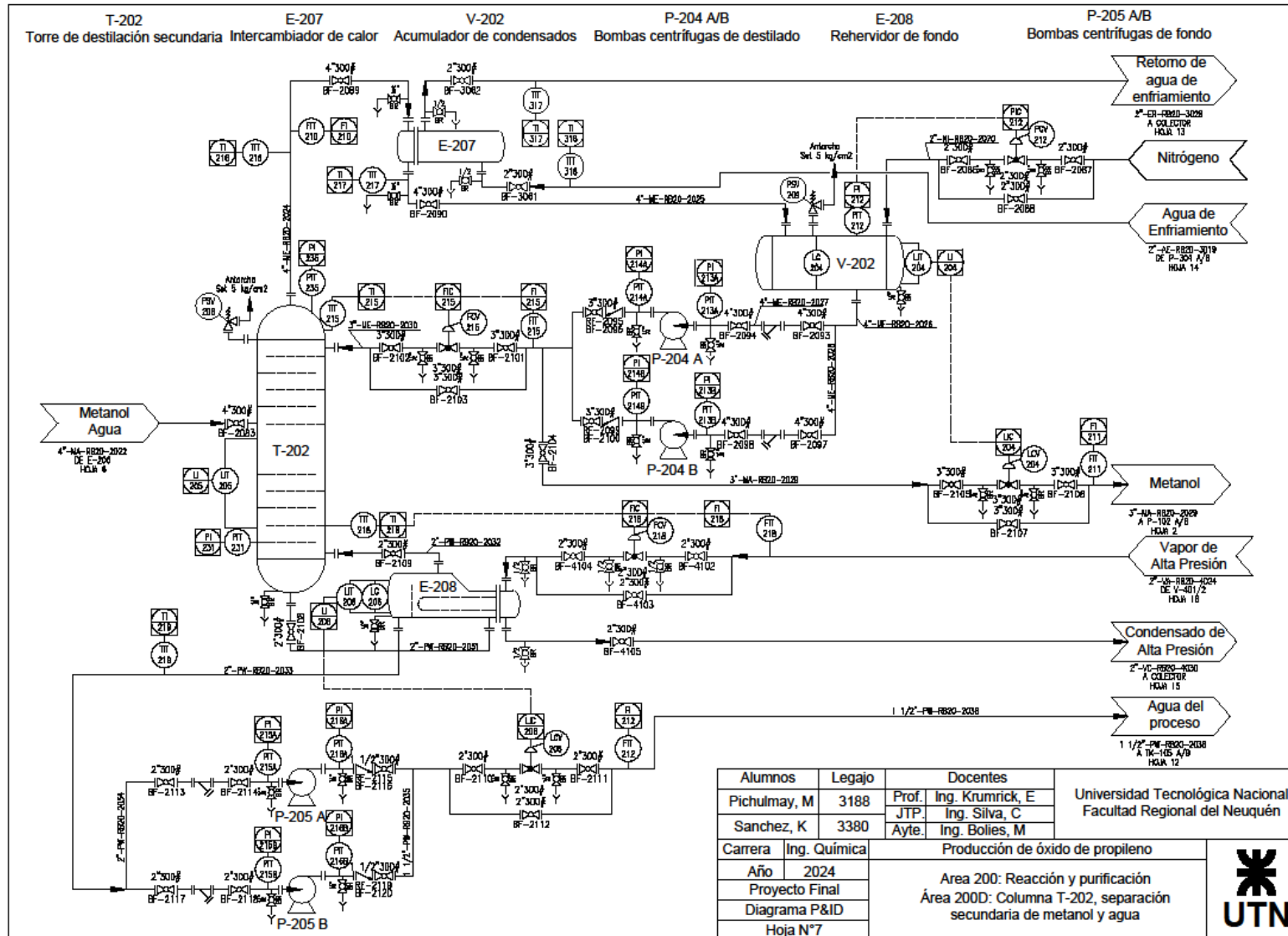
Alumnos	Legajo	Docentes		Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional del Neuquén
Pichulmay, M	3188	Prof. Ing. Krumrick, E	JTP. Ing. Silva, C	
Sanchez, K	3380	Ayte. Ing. Bolies, M		
Carrera	Ing. Química	Producción de óxido de propileno		
Año	2024	Área 200: Reacción y purificación		
Proyecto Final		Área 200B: Separación primaria. Columna T-201, separación de óxido de propileno y agua		
Diagrama P&ID				
Hoja N°5				

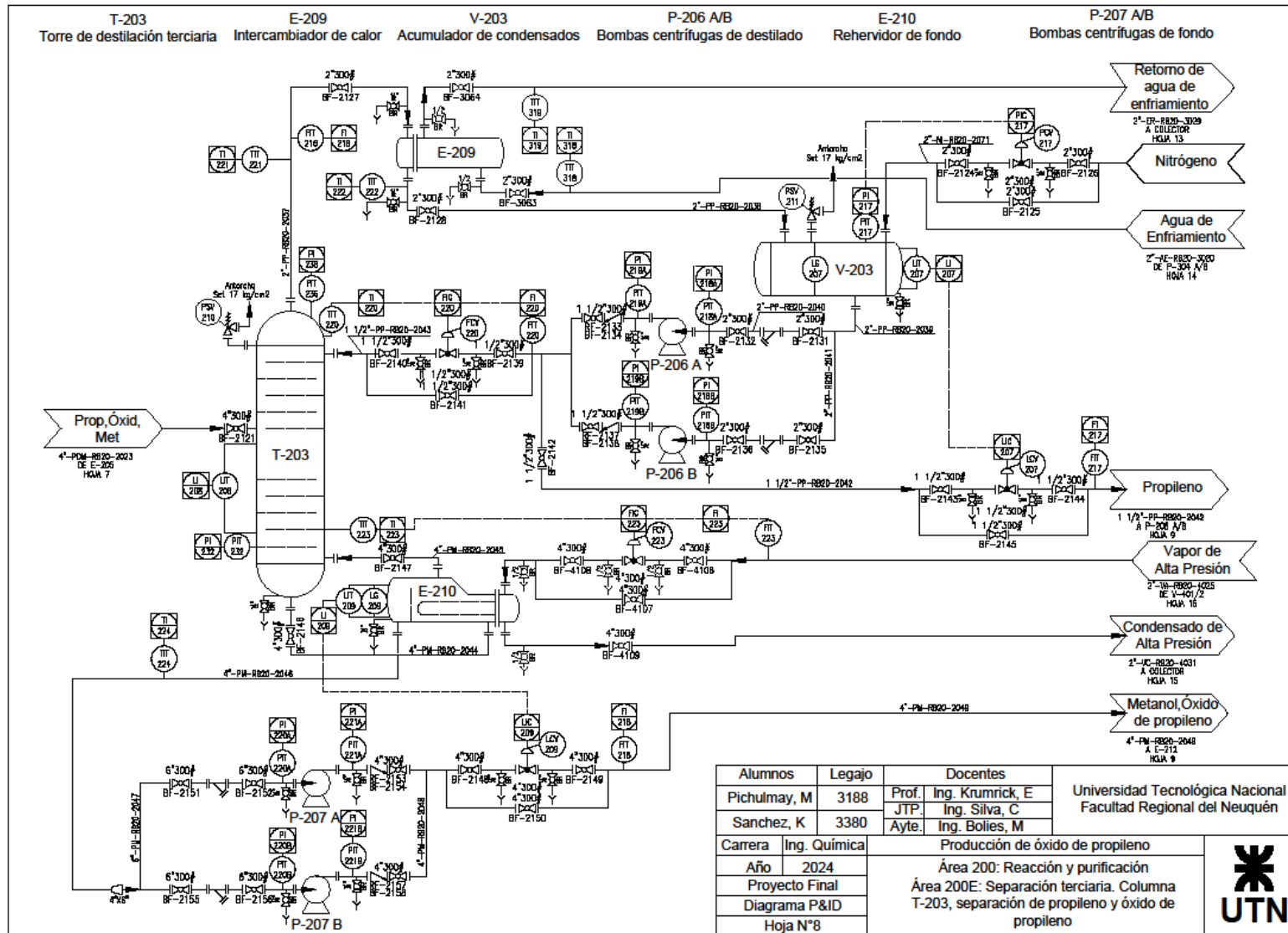


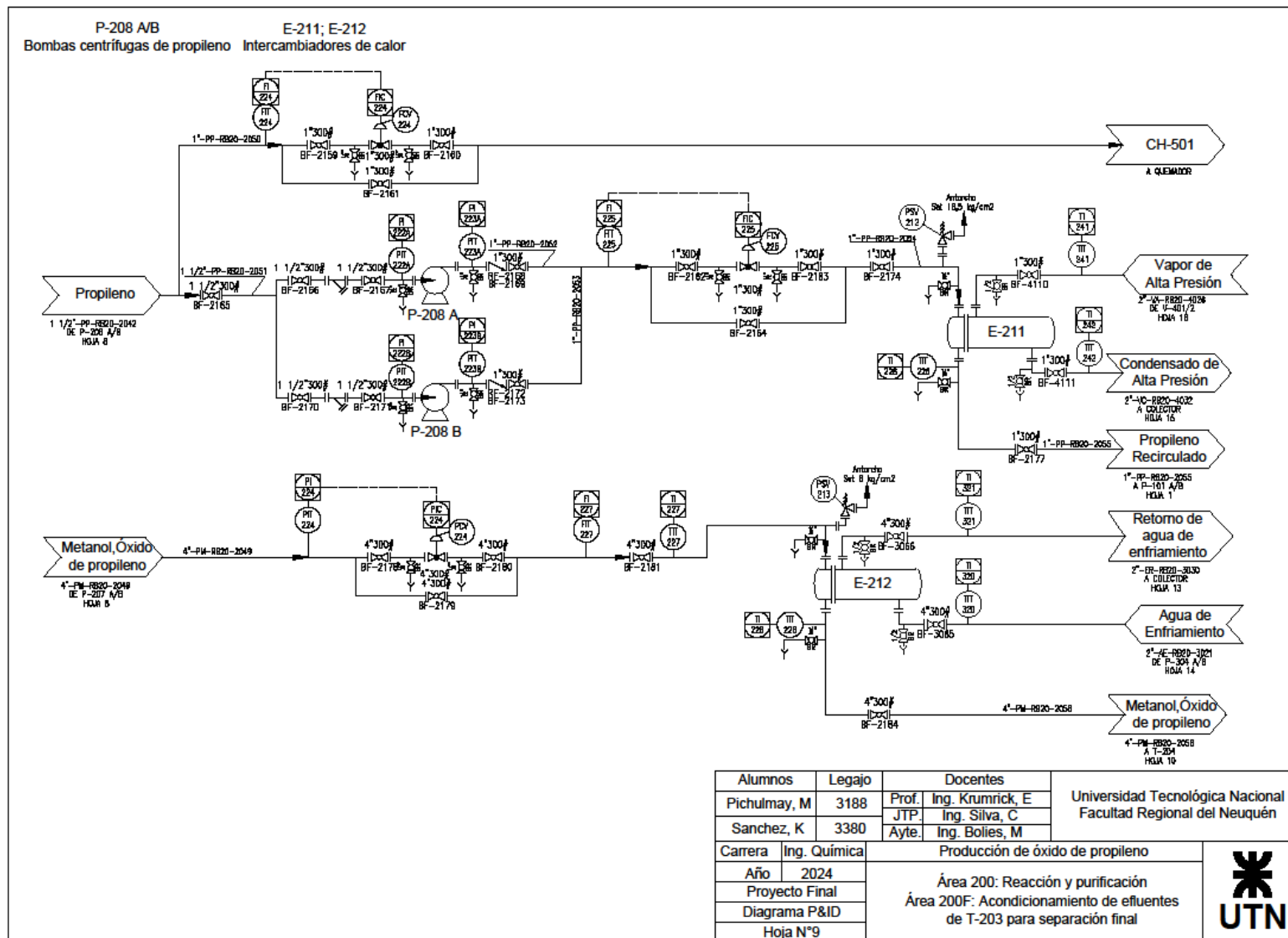


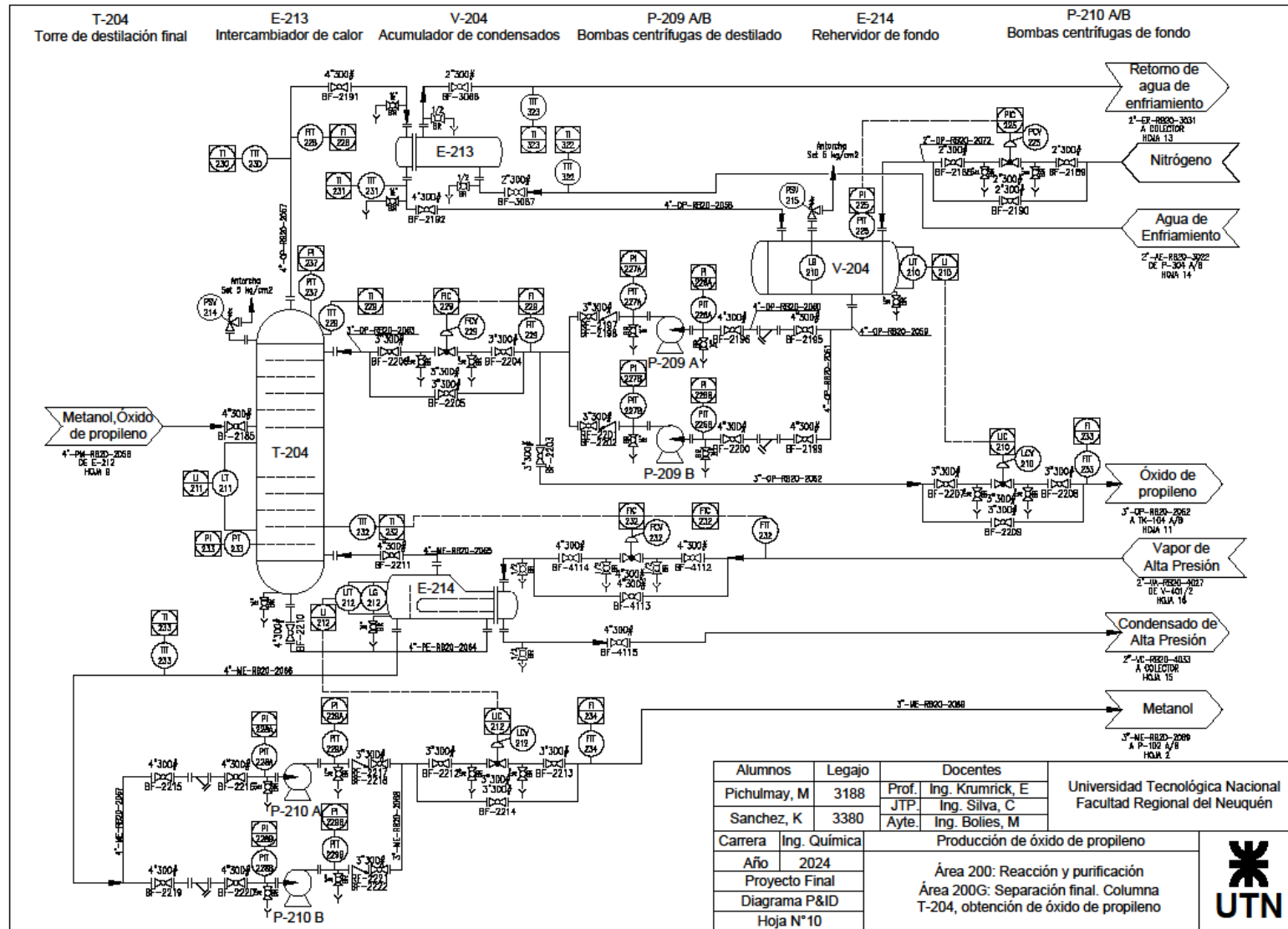
Alumnos	Legajo	Docentes		Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional del Neuquén
Pichulmay, M	3188	Prof.	Ing. Krumrick, E	
Sanchez, K	3380	JTP.	Ing. Silva, C	
		Ayte.	Ing. Bolies, M	
Carrera	Ing. Química	Producción de óxido de propileno		
Año	2024	Área 200: Reacción y purificación		
Proyecto Final		Área 200C: Acondicionamiento de efluentes		
Diagrama P&ID		de T-201 para futuras separaciones		
Hoja N°6				

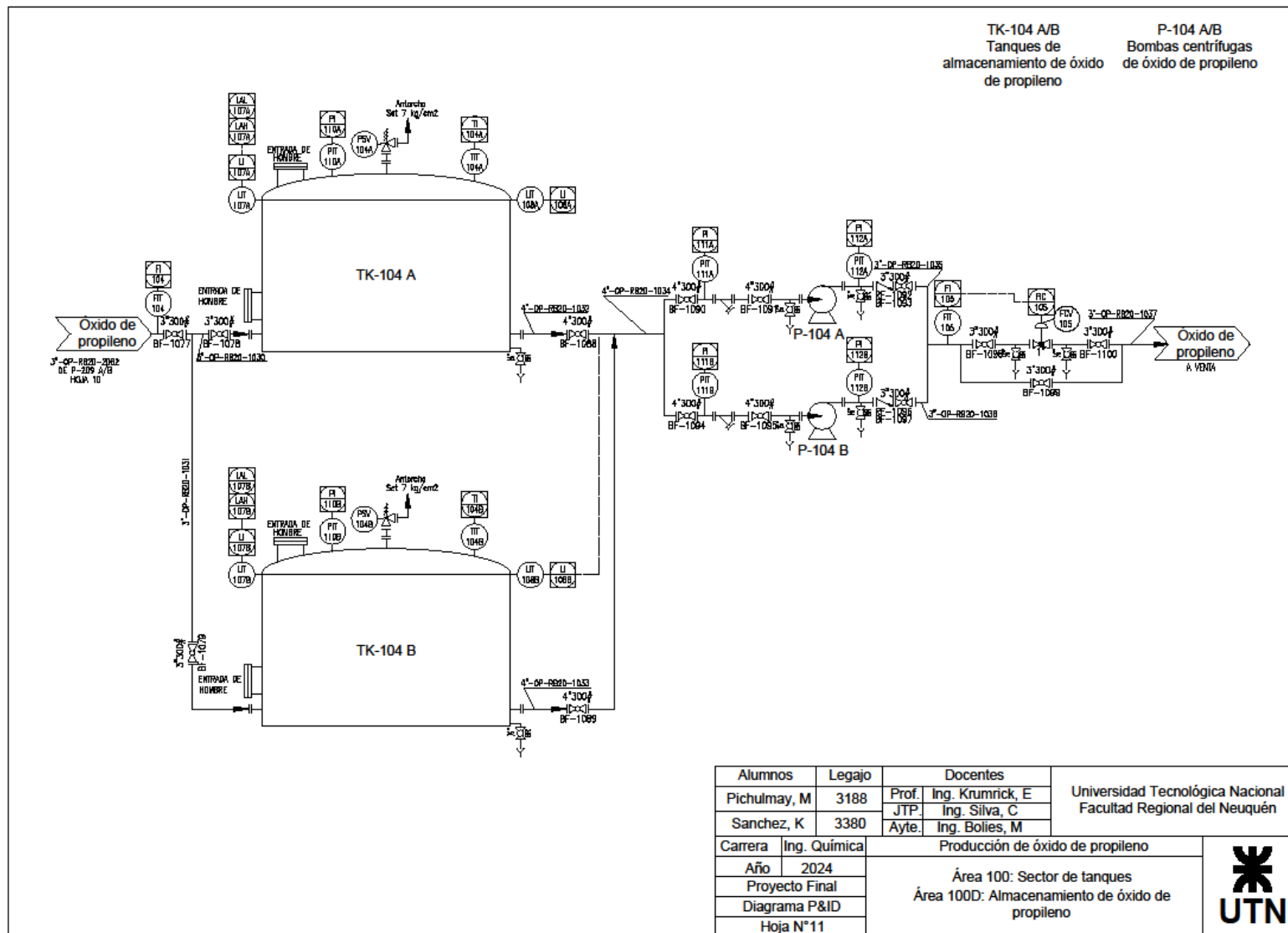


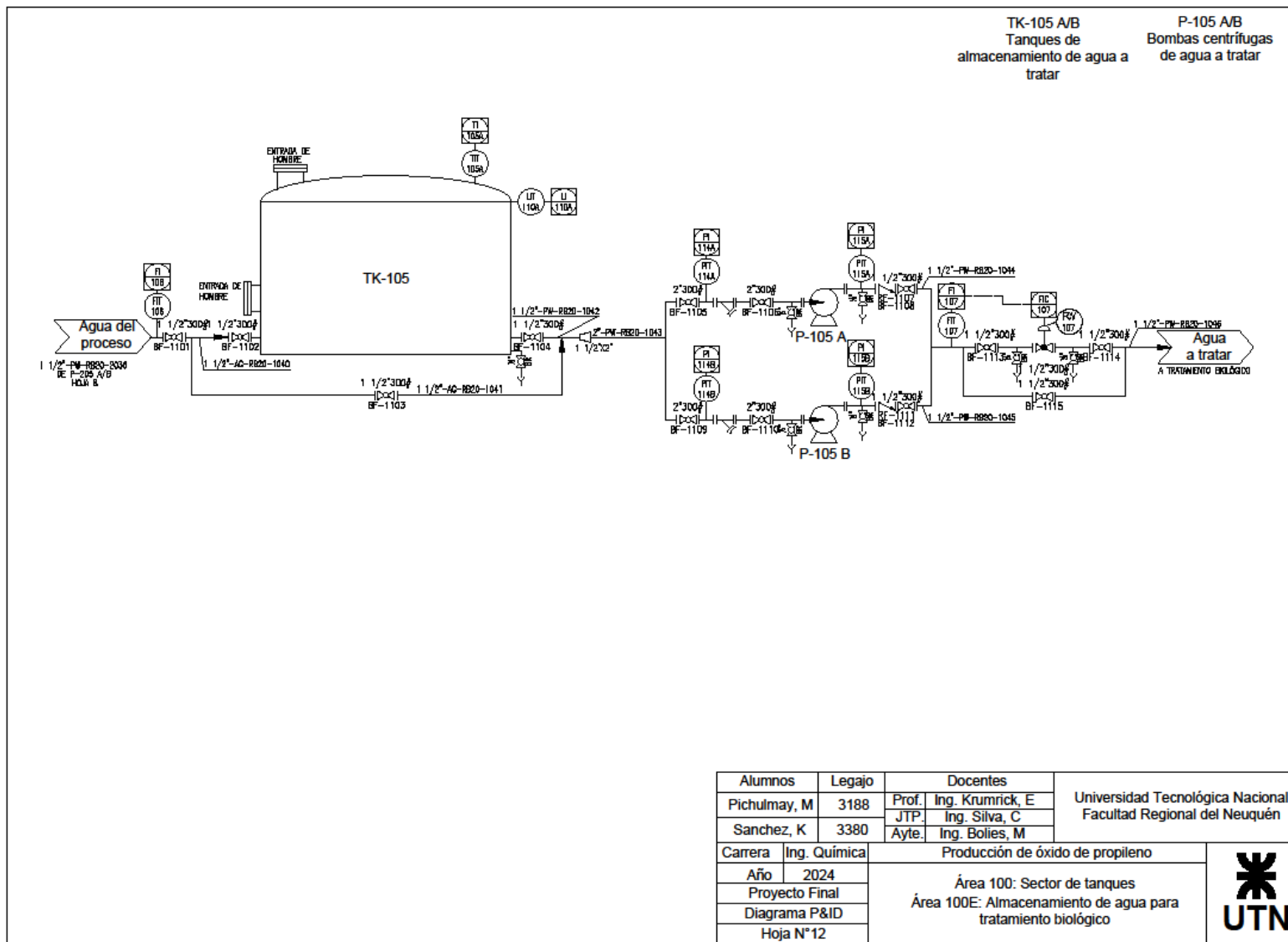












6.10. Bibliografía

Carballo Sierra, J., & Romero Lara, D. (2011). Tutorial norma ISA S5.1 y diagramas P&ID -Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de Ingenierías Eléctrica y Electrónica. Universidad Tecnológica de Bolívar.

<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062398.pdf>

Company, F. (s.f.). INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL-PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO FÓRMICO. Obtenido de

https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/168367/TFG_FormicCompany_v03.pdf

ISA-5.1. (1992). Instrumentation Symbols and Identification. ISA-5.1-. Obtenido de

<https://catedras.facet.unt.edu.ar/iidpr/wp-content/uploads/sites/86/2016/08/Tema-1-Anexo-Normas-de-Documentacion.pdf>

LOPEZ, A. C. (2015). NOMENCLATURA DE LA INSTRUMENTACIÓN DE UN PROCESO.

Obtenido de <https://es.slideshare.net/amaurycastillejoslopez/nomenclatura-de-la-instrumentacion-de-un-proceso>

Losa, J. C. (2015). Instrumentación hoy- Instrumentación y control de plantas industriales.

<https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2015/04/interpretar-un-p.html>

Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos (6ª ed.). Pearson.

7

Layout

7. Layout

7.1. Resumen ejecutivo

En este capítulo se describe el layout de la planta de producción de óxido de propileno, justificando la distribución física óptima, para garantizar una operación segura y eficiente a lo largo de la vida útil de la planta. Este diseño considera tanto las necesidades actuales como las futuras, incluyendo expansiones y modificaciones potenciales.

En esta distribución de los equipos, no solo se tiene en cuenta aspectos económicos, sino también se da gran importancia a la seguridad del personal y de los procesos, así como las implicaciones medioambientales y sociales.

Un buen layout facilita el mantenimiento diario y durante los paros de planta, y asegura la accesibilidad para la carga y descarga de materias primas y productos finales.

La planta está localizada en la ciudad de Bahía Blanca, en la provincia de Buenos Aires, aprovechando su cercanía al puerto para la importación de materias primas y la exportación de productos. El terreno tiene aproximadamente 100.000 m².

El documento identifica los equipos críticos, esenciales tanto por su importancia en el proceso como por razones de seguridad. Estos incluyen tanques de almacenamiento, reactor, entre otros.

Además, se detallan las interrelaciones entre equipos, las distancias recomendadas entre ellos, y los cálculos de volúmenes y distanciamiento entre tanques. También aborda el cálculo del recinto de tanques y la separación entre equipos para minimizar riesgos y optimizar la operación.

7.2. Introducción

En el presente capítulo, describiremos la distribución física de la planta, diferenciar las distintas áreas, y evaluar el distanciamiento entre los equipos.

Una óptima distribución de la planta, tiene en cuenta varios aspectos importantes, desde la parte económica, lo referido a la seguridad de las personas, seguridad de los procesos, medio ambiental, y también social.

Un buen diseño, contempla las necesidades del proceso y las maniobras realizadas para el mantenimiento diario de los equipos, como así también, los mantenimientos realizados en los paros de planta. A su vez, provee el espacio para futuras modificaciones y/o ampliaciones de los procesos de la planta.

También se destaca, la importancia de la accesibilidad para la descarga/despacho de las materias primas y los productos finales, por lo que los tanques también deben poseer una ubicación estratégica.

7.3. Objetivo

“Un buen layout no compensara un mal diseño del proceso, pero un mal layout puede conducir fácilmente a un proceso fallido o inseguro” (Moran, 2017)

Los objetivos del capítulo son los siguientes:

- Generar una plataforma segura y estable para la producción durante la vida útil de la planta.
- Identificar los equipos principales del proceso.
- Realizar la distribución de los equipos, teniendo en cuenta las distancias mínimas recomendadas entre los mismo, optimizando el espacio superficial.
- Considerar el espacio necesario para garantizar el mantenimiento de los equipos y/o modificaciones de la planta a futuro.
- Realizar una descripción del layout de la planta.

7.4. Equipos principales

Se determinarán los equipos principales de la planta, ya sea por importancia del proceso y por seguridad del proceso o del personal. Estos serán de guía para el desarrollo de las interrelaciones de los equipos en el inciso 7.5.

La Tabla 7-1 detalla los equipos críticos del proceso.

Equipos críticos	
TAG	Descripción
TK-101 A/B;	Almacenamiento de materia prima, propileno
TK-102 A/B	Almacenamiento del solvente, metanol
TK-103 A/B	Almacenamiento de materia prima, peróxido de hidrógeno
TK-104 A/B	Almacenamiento de producto, óxido de propileno
E-201	Intercambiador de calor, que acondiciona las materias primas para dar la reacción
R-201	Reactor de epoxidación
T-201; T-202; T-203; T-204	Las columnas deben asegurar una buena separación de los componentes
CH-501	La antorcha por seguridad debe estar alejado del proceso

Tabla 7- 1: Equipos críticos del proceso.

7.5. Interrelaciones entre equipos

A continuación, se detallarán las interrelaciones entre los equipos del proceso, que serán de guía al momento de plasmar su distribución en el área del proceso.

Se observa en la Tabla 7-2 que además del tipo de interrelación, también se agregan acciones/recomendaciones valiosas para la elaboración del layout.

Interrelación			Grado			Acción
Equipo	Equipo	Tipo	Fuerte	Media	Débil	
TK-101 A/B; TK-102 A/B; TK-103 A/B; TK-104 A/B	Todos los equipos	Seguridad	X			Distanciar el reactor de todos los equipos y edificios de personal
TK-101 A/B	P-101 A/B	Proceso	X			La bomba debe estar lo más cerca posible del tanque para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
TK-102 A/B	P-102 A/B	Proceso	X			La bomba debe estar lo más cerca posible del tanque para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
TK-103 A/B	P-103 A/B	Proceso	X			La bomba debe estar lo más cerca posible del tanque para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
TK-104 A/B	P-104 A/B	Proceso	X			La bomba debe estar lo más cerca posible del tanque para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
Tanques	Tanques	Seguridad	X			Se debe respetar la distancia mínima recomendadas
R-201	Todos los equipos	Seguridad	X			Distanciar el reactor de todos los equipos y edificios de personal
Bombas	Mismo equipo	Mantenimiento		X		Por accesibilidad y facilidad de mantenimiento, se suelen colocar las bombas en salas
Intercambiadores	Mismo equipo	Proceso/ Mantenimiento		X		Por accesibilidad y facilidad de mantenimiento, se recomienda estar ubicados en el mismo sector
E-201	R-201	Conexión/ Proceso	X			El intercambiador debe estar cerca para evitar grandes variaciones de la temperatura en la entrada del reactor
P-201 A/B	E-201	Conexión/ Proceso		X		No deben encontrarse muy alejados para evitar mayores pérdidas de carga
E-202	T-201	Conexión/ Proceso		X		El intercambiador debe estar cerca para evitar grandes variaciones de la temperatura al ingreso a la columna
E-206	T-202	Conexión/ Proceso		X		El intercambiador debe estar cerca para evitar grandes variaciones de la temperatura al ingreso a la columna
E-205	T-203	Conexión/ Proceso		X		El intercambiador debe estar cerca para evitar grandes variaciones de la temperatura al ingreso a la columna

Interrelación			Grado			Acción
Equipo	Equipo	Tipo	Fuerte	Media	Débil	
E-212	T-204	Conexión/ Proceso		X		El intercambiador debe estar cerca para evitar grandes variaciones de la temperatura al ingreso a la columna
T-201	E-203	Conexión/ Proceso	X			El condensador debe estar lo más cerca posible de la columna para enfriar y condensar la salida de tope de la columna.
	E-204	Conexión/ Proceso	X			El reboiler debe estar lo más cerca posible de la columna para formar el vapor recirculado al fondo de la torre y retirar la corriente de fondo
E-203	V-201	Conexión/ Proceso		X		Deben encontrarse cerca para que pueda acumularse el condensado
V-201	P-202 A/B	Conexión/ Proceso	X			La bomba debe estar lo más cerca posible del acumulador para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
P-202 A/B	T-201	Conexión/ Proceso		X		La bomba debe estar cerca de la columna para evitar mayores pérdidas de carga y recircular parte del condensado
P-203 A/B	E-204	Conexión/ Proceso		X		La bomba debe estar lo más cerca posible del reboiler para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
T-202	E-207	Conexión/ Proceso	X			El condensador debe estar lo más cerca posible de la columna para enfriar y condensar la salida de tope de la columna.
	E-208	Conexión/ Proceso	X			El reboiler debe estar lo más cerca posible de la columna para formar el vapor recirculado al fondo de la torre y retirar la corriente de fondo
E-207	V-202	Conexión/ Proceso		X		Deben encontrarse cerca para que pueda acumularse el condensado
V-202	P-204 A/B	Conexión/ Proceso	X			La bomba debe estar lo más cerca posible del acumulador para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
P-204 A/B	T-202	Conexión/ Proceso		X		La bomba debe estar cerca de la columna para evitar mayores pérdidas de carga y recircular parte del condensado
P-205 A/B	E-208	Conexión/ Proceso		X		La bomba debe estar lo más cerca posible del reboiler para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea

Interrelación			Grado			Acción
Equipo	Equipo	Tipo	Fuerte	Media	Débil	
T-203	E-209	Conexión/ Proceso	X			El condensador debe estar lo más cerca posible de la columna para enfriar y condensar la salida de tope de la columna.
	E-210	Conexión/ Proceso	X			El reboiler debe estar lo más cerca posible de la columna para formar el vapor recirculado al fondo de la torre y retirar la corriente de fondo
E-209	V-203	Conexión/ Proceso		X		Deben encontrarse cerca para que pueda acumularse el condensado
V-203	P-206 A/B	Conexión/ Proceso	X			La bomba debe estar lo más cerca posible del acumulador para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
P-206 A/B	T-203	Conexión/ Proceso		X		La bomba debe estar cerca de la columna para evitar mayores pérdidas de carga y recircular parte del condensado
P-207 A/B	E-210	Conexión/ Proceso		X		La bomba debe estar lo más cerca posible del reboiler para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
T-204	E-213	Conexión/ Proceso	X			El condensador debe estar lo más cerca posible de la columna para enfriar y condensar la salida de tope de la columna.
	E-214	Conexión/ Proceso	X			El reboiler debe estar lo más cerca posible de la columna para formar el vapor recirculado al fondo de la torre y retirar la corriente de fondo
E-213	V-204	Conexión/ Proceso		X		Deben encontrarse cerca para que pueda acumularse el condensado
V-204	P-209 A/B	Conexión/ Proceso	X			La bomba debe estar lo más cerca posible del acumulador para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
P-209 A/B	T-204	Conexión/ Proceso		X		La bomba debe estar cerca de la columna para evitar mayores pérdidas de carga y recircular parte del condensado
P-210 A/B	E-214	Conexión/ Proceso		X		La bomba debe estar lo más cerca posible del reboiler para aprovechar el ANPA y evitar mayores pérdidas de carga de la línea
R-201	E-202	Conexión/ Proceso		X		El intercambiador no debe estar muy lejos, para acondicionar el efluente del reactor, antes de ingresar a la columna

Interrelación			Grado			Acción
Equipo	Equipo	Tipo	Fuerte	Media	Débil	
P-202 A/B	E-205	Conexión/ Proceso			X	Para evitar mayores pérdidas de carga, se recomienda que no estén muy alejados
P-203 A/B	E-206	Conexión/ Proceso			X	Para evitar mayores pérdidas de carga, se recomienda que no estén muy alejados
P-208 A/B	E-211	Conexión/ Proceso			X	Para evitar mayores pérdidas de carga, se recomienda que no estén muy alejados
P-205 A/B	TK-105 A/B	Conexión/ Proceso		X		La bomba debe estar cerca para que el fluido llegue con la presión necesaria al tanque
P-209 A/B	TK-104 A/B	Conexión/ Proceso		X		La bomba debe estar cerca para que el fluido llegue con la presión necesaria al tanque
T-201; T-202; T-203; T-204	Oficinas	Seguridad	X			Distanciar las columnas de todos los edificios de personal
Antorcha CH-501	Todos los equipos	Seguridad	X			Distanciar la antorcha de todos los equipos y edificios de personal. Ver distancia mínima recomendada
Antorcha CH-501	Todos los equipos	Conexión/ Proceso			X	La antorcha se encontrará alejada de los demás equipos que conforman el proceso
B-401; B-402	Todos los equipos	Seguridad	X			Distanciar las calderas de todos los equipos y edificios de personal

Tabla 7- 2: Interrelaciones entre equipos del proceso

7.6. Distancias recomendadas

A continuación, se detallan las tablas de referencia para el desarrollo del layout de la planta. En la Tabla 7-3, las distancias que se especifican están en la unidad de medición de pie (ft). El símbolo “/” significa que no hay requisitos de espaciamiento. Aquellos cuadrados que poseen un “*”, indicar que hay que recurrir a la Tabla 7-4. (Services, 3 September, 2001)

/	Service Buildings																
/	/	Motor Control Centers And Electrical Substations															
50	50	/	Utilities Areas														
50	50	100	50	Cooling Towers													
/	/	100	100	/	Control Rooms												
100	100	100	100	100	30	Compressor Buildings											
100	100	100	100	100	30	30	Large Pump Houses										
100	100	100	100	100	30	30	50	Process Units Moderate Hazard									
200	100	100	100	200	50	50	100	100	Process Units Intermediate Hazard								
400	200	200	200	300	100	100	200	200	200	Process Units High Hazard							
250	250	250	250	250	250	250	250	300	350	*	Atmospheric Storage Tanks						
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	*	*	Pressure Storage Tanks					
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	*	*	*	Refrigerated Storage Tanks				
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	400	400	/	Dome Roof			
200	200	200	200	200	200	200	200	200	300	250	350	350	300	50	Flares		
50	50	50	50	50	200	200	200	300	300	350	350	350	300	200	/	Unloading And Loading Racks	
50	50	50	50	50	200	200	200	300	300	350	350	350	300	200	/	Fire Water Pumps	
															/	Fire Stations	

Tabla 7- 3: Distanciamiento de áreas y equipos. (Services, 3 September, 2001)

Tanques de techo flotante o fijo <477 m ³	1	0,5 . D'								
Tanques de techo flotante o fijo entre 477 y 1500 m ³	2	0,5 . D	0,5 . D							
Tanques de techo flotante entre 1500 y 47700 m ³	3	1 x D	1 x D	1 x D						
Tanques de techo flotante >47700 m ³	4	1 x D	1 x D	1 x D	1 x D					
Tanques de techo fijo para productos de clases II y III entre 1500 y 47700 m ³	5	0,5 . D	0,5 . D	1 x D	1 x D	0,5 . D				
Tanques de techo fijo para productos de clases I* inertizados entre 1500 y 23850 m ³	6	1 x D	1 x D	1 x D	1 x D	1 x D	1 x D			
Recipientes para almacenamiento a presión (esferas y esferoides).	7	1,5 . D 100' MIN	1,5 . D 100' MIN	1,5 . D 100' MIN	2 x D	1,5 . D 100' MIN	1,5 . D 100' MIN	1,5 . D 100' MIN		
Recipientes para almacenamiento a presión (depósitos y puros)	8	1,5 . D 100' MIN	1,5 . D 100' MIN	1,5 . D 100' MIN	2 x D	1,5 . D 100' MIN	1,5 . D 100' MIN	1 x D 100' MIN	1 x D	
Tanques para almacenamiento refrigerado (con cúpula)	9	2 x D 100' MIN	2 x D 100' MIN	2 x D 100' MIN	2 x D	2 x D 100' MIN	2 x D 100' MIN	1 x D 100' MIN	1 x D 100' MIN	1 x D 100' MIN
		1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabla 7- 4: Distanciamiento entre recipientes y tanques. (Services, 3 September, 2001)

La letra “D” en la Tabla 7-4 indica el diámetro del equipo.

A su vez, hay tablas más específicas dependiendo del proceso o tipo de equipos con el que se cuenta en la planta. Por lo que también se recurren a recomendaciones como en la Tabla 7-5 y Tabla 7-6.

Compressors													
30	Intermediate Hazard Pumps												
30	5	High Hazard Pumps											
50	5	5	High Hazard Reactors										
50	10	15	25	Intermediate Hazard Reactors									
50	10	15	25	15	Moderate Hazard Reactors								
50	10	15	25	15	15	Columns, Accumulators, Drums							
50	10	15	50	25	25	15	Rundown Tanks						
100	100	100	100	100	100	100	100	Fired Heaters, Incinerators, Oxidizers					
50	50	50	50	50	50	50	100	25	Air Cooled Heat Exchanger				
30	15	15	25	15	15	15	100	50	/	Heat Exchanger			
30	10	15	25	15	10	10	100	50	15	5	Pipe Racks		
30	10	15	25	15	10	10	100	50	/	10	/	Unit Block Valves	
50	50	50	100	50	50	50	100	50	50	50	50	/	Analyzer Rooms
50	50	50	50	50	50	50	100	50	50	50	50	/	/

Tabla 7- 5: Distancias recomendadas entre equipos de una planta. (Services, 3 September, 2001)

Al igual que en las tablas anteriores, las distancias se encuentra el pie (ft).

LETRAS DE REFERENCIAS	TIPO DE EQUIPO O EDIFICACION										SEPARACION BASICA (m)
A	COMPRESORES DE GAS										10
B	COMPRESORES ACC POR MEDOS DE A TURBINAS A VAPOR O MOTOR ELECTRICO										15
C	EDIFICIO SALA DE CONTROL CENTRAL										20
D	SALA DE CONTROL DE UNA UNIDAD DE PROCESO										15
E	ENFRIADORES POR AIRE										3
F	TORRES DE ENFRIAMIENTO										15 A 30
G	TANQUES Y CILINDROS										1.5
H	SUB-ESTACIONES ELECTRICAS										15
I	CUBICULOS DE INTERRUPTORES ELECTRICOS CRITICOS										5
J	VALV. DE BLOQUEO DE EMERG. VALV. DE VAPOR DE APOCO VALV. DE SISTEMA DE AGUA INTERCAB. QUE OPERAN A TEMP. MAYOR O IGUAL QUE LA DE AUTONFLAMACION										15
K	INTERCAB. QUE OPERAN A TEMP. MENOR QUE LA DE AUTONFLAMACION (BORNAS Y CALDERAS)										1.5
L	BORNAS DE PROCESO CON PRODUCTOS A TEMP. MAYOR O IGUAL QUE LA DE AUTONFLAMACION										15
M	EQUIPOS QUE MANEJEN PRODUCTOS NO COMBUSTIBLES										5
N	REACTORES CON TEMP MAYOR QUE LA DE AUTONFLAMACION (CON AISLAMIENTO EXTERNO)										3
O	REACTORES CON TEMP MAYOR QUE LA DE AUTONFLAMACION (SIN AISLAMIENTO EXTERNO)										5
P	RECIPIENTES DE ALMACENAMIENTO A PRESION EN AREAS DE SEPARACIONES (TORRES SEPARADORAS)										8
Q	RECIPIENTES DE PROCESO (TORRES DE PURGA Y SEPARADORAS)										25
R	TANQUES DE PURGA Y DRENAJE DE AGUA										3
S	VALS DE TUBERIAS INTERNAS										7.5
T											5
U											1
V											25
W											3
X											5
Y											1
Z											1

Tabla 7- 6: Distancia recomendadas entre equipos por el “Manual de ingeniería de riesgos”. (PDVSA, 1993)

Las distancias indicadas en la Tabla 7-6 están dadas en metros (m).

7.7. Cálculo de volúmenes y distanciamiento entre tanques

Para poder determinar las distancias entre los diferentes tanques, es necesario conocer la dimensión de estos, por lo que es necesario determinar su capacidad, contemplando el suministro del producto que almacenan por un cierto tiempo determinado.

Para la determinación del volumen de tanques, se contempló que puedan almacenar ya sea materia prima, solvente o producto, por un lapso de 3 días.

Componente	Volumen total (m ³)	TAG	Volumen de tanque	Diámetro (m)	Diámetro de diseño (m)	Altura (m)	Volumen real del tanque (m ³)	Distancia entre tanque (m)
Propileno	1509,3	TK-101 A	754,6	11,3	11,4	11,4	777,5	16,5
		TK-101 B	754,6	11,3	11,4	11,4	777,5	16,5
Metanol	1109,0	TK-102 A	554,5	9,0	9,1	8,8	572,3	11,0
		TK-102 B	554,5	9,0	9,1	8,8	572,3	11,0
Peróxido de hidrógeno	392,23	TK-103 A	196,1	6,4	6,6	6,1	208,7	11,0
		TK-103 B	196,1	6,4	6,6	6,1	208,7	11,0
Óxido de propileno	1103,67	TK-104 A	551,8	9,0	9,1	8,7	565,8	11,0
		TK-104 B	551,8	9,0	9,1	8,7	565,8	11,0
Agua de proceso	378,43	TK-105	378,4	7,9	8,0	7,7	387,0	11,0
Agua para refrigeración	1000,73	TK-301	1.000,7	10,9	11,0	10,8	1.026,4	11,0
Agua para caldera	229,68	TK-401	229,7	6,6	7,0	6,7	257,8	11,0
	229,68	TK-402	229,7	6,6	7,0	6,7	257,8	11,0
Agua RCI	1.400,00	TK-600	1.400,0	12,4	12,4	11,6	1.400,6	11,0

Tabla 7- 7: Dimensionamiento y separación entre tanques.

A su vez, el distanciamiento entre equipos se basa en la ley 13.660, en específico el espaciado entre tanques con materias primas o productos petroquímicos tiene una reglamentación apartada, que establece que la distancia mínima entre tanques será igual al diámetro del tanque más grande que exista en el área de almacenamiento (Art. 320 de la ley). Si bien el de mayor diámetro corresponde a un tanque de agua de proceso, se considera que la peligrosidad de este es inferior a los demás tanques, es por ello que se opta por utilizar como referencia 11 metros, que es el del tanque siguiente. (Argentina.gob, 1960)

Para el caso del almacenamiento del propileno, como son recipientes a presión, se toma referencia los datos proporcionados por la Tabla 7-4, es decir, el valor de 1.5D.

7.8. Cálculo de recinto de tanques

Teniendo los diámetros y volúmenes de los diferentes tanques de almacenamiento, se procede a calcular las dimensiones de los recintos, que sirven de contención en caso de derrames o contingencia.

El diseño del recinto también está bajo legislación nacional, más precisamente bajo el artículo 329 de la ley 13.660. El cual establece que el volumen del recinto debe poseer el volumen del

tanque al cual albergara más un 10% de margen. Como así también, no deberá superar 1,80m de altura.

Como se puede ver en la tabla a continuación, se podrá observar que se eligió una altura de 1,75m, como así también se tomó como referencia la forma de un rectángulo para obtener el volumen total del recinto.

Consideraciones:

- Los recintos no deben superar los 1,8 metros de altura.
- Deben ser construido a base de hormigón.
- El volumen del recinto debe contemplar el volumen del tanque más un 10 %.

TAG	Volumen real del tanque (m ³)	Volumen teórico del recinto (m ³)	Diámetro del tanque (m)	Largo del recinto (m)	Ancho del recinto (m)	Alto del recinto (m)	Volumen de recinto diseñado (m ³)
TK-101 A	777,5	855,3	11,4	22,2	22,2	1,75	862,5
TK-101 B	777,5	855,3	11,4	22,2	22,2	1,75	862,5
TK-102 A	572,3	629,6	9,1	19,0	19,0	1,75	631,8
TK-102 B	572,3	629,6	9,1	19,0	19,0	1,75	631,8
TK-103 A	208,7	229,6	6,6	11,5	11,5	1,75	231,4
TK-103 B	208,7	229,6	6,6	11,5	11,5	1,75	231,4
TK-104 A	565,8	622,4	9,1	18,9	18,9	1,75	625,1
TK-104 B	565,8	622,4	9,1	18,9	18,9	1,75	625,1
TK-105	387,0	425,7	8,0	15,6	15,6	1,75	425,9
TK-301	1.026,4	1.129,0	11,0	25,4	25,4	1,75	1.129,0
TK-401	257,8	283,6	7,0	12,8	12,8	1,75	286,7
TK-402	257,8	283,6	7,0	12,8	12,8	1,75	286,7
TK-600	1.400,8	1.540,9	12,4	28,0	28,0	1,75	1.372,0

Tabla 7- 8: Cálculo de recinto de tanques.

7.9. Separación entre equipos

Finalmente, luego de repasar las tablas de referencias, consideraciones particulares para los tanques y los respectivos cálculos, se procede a la elaboración de la siguiente Tabla 7-9, con doble entrada, que abrirá el camino para la construcción del layout.

7.10. Distribución, vías de acceso para vehículos, camiones y mantenimiento

Además de la separación de los equipos, es necesario tener presente diferentes situaciones cotidianas, o situaciones que pueden darse en la intervención de un equipo o paradas de planta.

Es por eso, que las calles tienen un ancho mínimo de 6 metros, tanto las que se encuentran alrededor de la planta, como las de zonas de tanque y terminal de cargadero. Las mismas cuentan con veredas de 3 metros de ancho de ambos lados.

Se garantiza un radio de giro de los camiones de 10 metros, con el fin de que puedan ingresar y trasladarse a diferentes puntos de la planta, ya sea para modificación y/o intervenciones de equipos.

A su vez, las calles poseen bocas de tormentas con el fin de evitar acumulación de agua sobre la calle en caso de lluvias o restos de aguas de lavado.

Un ejemplo claro, es el caso de la limpieza y mantenimiento de los intercambiadores de calor. Dependiendo del alcance de la intervención, una vez desmontado uno de los cabezales con ayuda de grúa o camión hidrogrúa, se pueden limpiar los tubos in situ con una bomba de alta presión.

Asimismo, se debe contar con la disponibilidad de espacio necesario para desmontar el mazo de tubos para acceder a la envolvente y su posterior limpieza, si así se quisiese.

En este tipo de situaciones, se requiere la utilización de un sacamazo para desmontar el haz tubular, y grúa para sujetar el haz tubular.

Así mismo, se requerirá espacio físico para la intervención, mantenimiento y limpieza de los demás equipos.

7.11. Descripción del layout de la planta

Con los valores de la Tabla 7-9 y el resto de las consideraciones se procedió a la elaboración del layout de la planta.

En el layout se observa la representación de la dirección del viento predominante, desde el noroeste al sudeste. En consecuencia, se justifica la ubicación de la antorcha, la cual se encuentra alejada mínimamente 122 metros de distancia de cualquier edificio o equipo.

Otros de los equipos que tiene gran importancia, es el reactor, el mismo está ubicado a 60 metros de todas las oficinas y de todos los tanques, a su vez, posee una separación menor a los demás equipos por ser partes del proceso.

Las columnas T-201, T-202, T-203 y T-204 se encuentran distanciadas entre sí 15 metros, pero alejadas de todas las oficinas y de los tanques 60 metros.

En el parque de tanques, los recintos de cada uno de ellos están diseñados de forma que puedan soportar el volumen del tanque más el 10%.

La mayoría de los tanques están separados mínimamente 11 metros, a excepción, de los tanques de propileno que son tanques a presión, por lo que se debe respetar la distancia de 1,5D. Por lo tanto, estos están separados 16,5 metros.

El tanque TK-600, correspondiente al tanque de la red contra incendio, se encuentra estratégicamente ubicado cercano a las bombas de RCI y al cuartel, de forma que sea independiente del proceso mismo de la planta, y alejado de los demás tanques, para que pueda operar sin problema ante una emergencia.

El cuartel de bombero queda enfrente al reactor y demás equipos, para que pueda accionar de forma inmediata. A su vez, tiene acceso a los tanques, y vía disponible para llegar a la antorcha mediante dos accesos diferentes.

La distribución de las oficinas se realizó de tal forma, de que aquellas oficinas como sala de control, sala de producción, procesos, entre otras, se encuentre más cercanas al proceso productivo, a diferencia de otras como oficina de RRHH, comedor, etc., se encuentra más distanciadas. Independientemente de la oficina que sea, se encuentran a una distancia mínima de 60 metros de los equipos del proceso.

La terminal de despacho quedó distanciada a 45 metros del tanque más cercano, y alejado lo suficientemente del proceso, para que la actividad de carga y descarga de productos sea independiente de este.

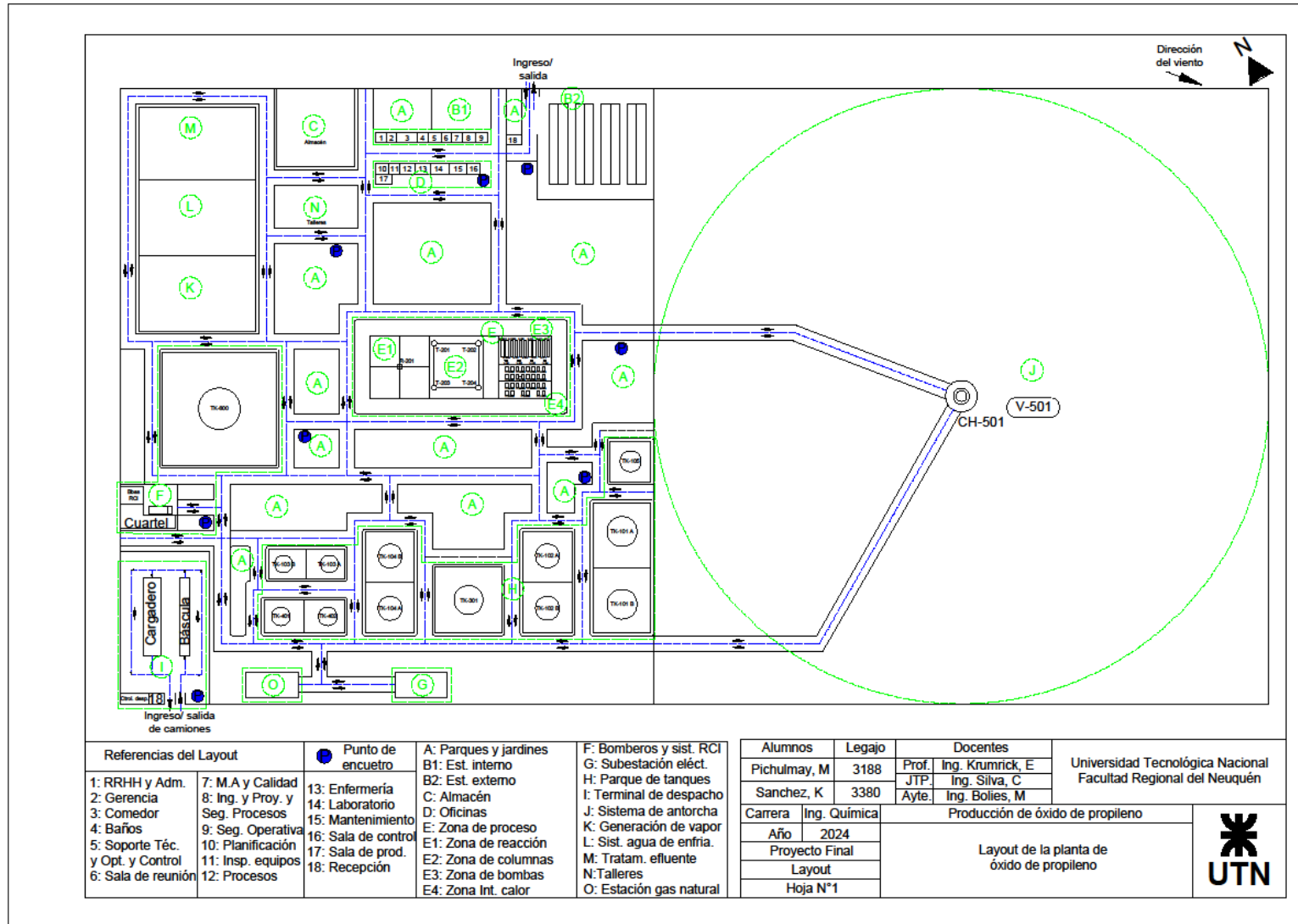


Diagrama de flujo 7- 1: Layout de la planta de óxido de propileno.

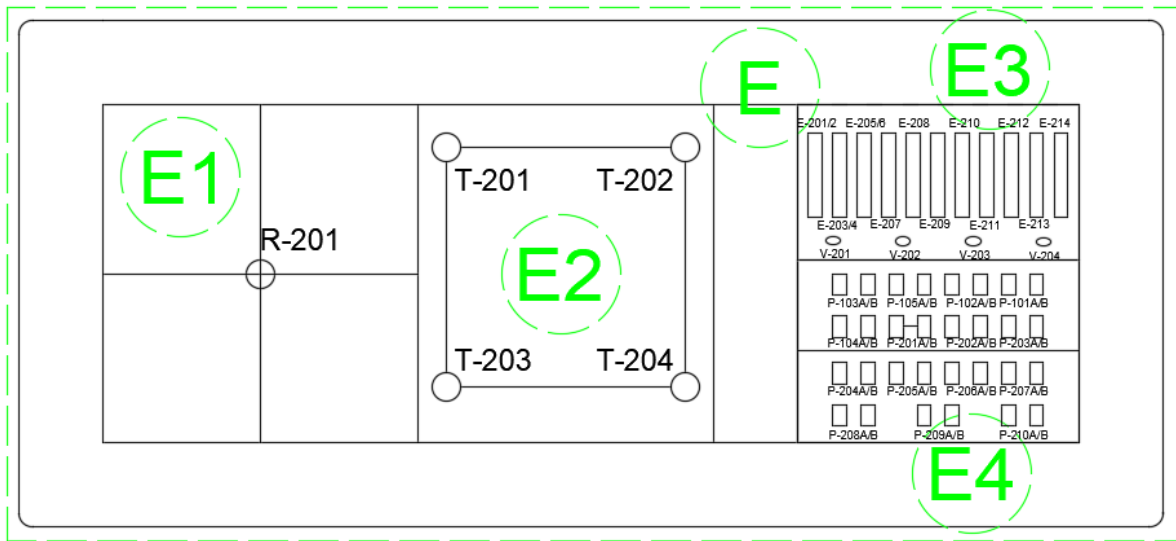


Ilustración 7- 1: Distribución de equipos en planta.

7.12. Bibliografía

Moran, S. (2017). Process Plant Layout (2ª ed.). Butterworth-Heinemann.

Argentina.gob. (1960). Ley 13600. Decreto 10877/1960.

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-10877-1960-67157/texto>.

PDVSA. (1993). Manual de ingeniería de riesgos - Separación entre equipos e instalaciones V1.

Services, G. G. (3 September, 2001). GAP.2.5.2- OIL AND CHEMICAL PLANT LAYOUT AND SPACING.

<https://ia802907.us.archive.org/5/items/DistanciamientoEntreEquipos/GeGap2.5.2.0-2001.pdf>.

Silva, C. (2023). Material de la Cátedra de Modelado y simulación de los procesos.

8

Seguridad de la planta

8. Seguridad de la planta

8.1. Resumen ejecutivo

Este capítulo estudia los aspectos cruciales para garantizar la seguridad en una planta industrial, diferenciando la seguridad de los procesos y la seguridad personal. La primera se enfoca en la gestión de sistemas y la contención de energías, mientras que la segunda se centra en la protección de los individuos. Se menciona el accidente de Piper Alpha en 1988, donde murieron 165 personas debido a fallos de mantenimiento.

Se calcula la capacidad del tanque de agua contra incendios en 1,386 m³ y se analiza el manejo de sustancias peligrosas como propileno, peróxido de hidrógeno, óxido de propileno y metanol, utilizando la clasificación NFPA para evaluar riesgos y recomendar medidas de manejo seguro. Se introduce el Sistema Globalmente Armonizado (SGA) para la identificación de peligros, que reemplazará gradualmente el rombo NFPA y facilitará la toma de decisiones en emergencias.

Además, se introduce el Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA), que busca unificar los sistemas de identificación de peligros, sustituyendo gradualmente el rombo de la NFPA. Este sistema, desarrollado por la ONU, es más visualmente reconocible y facilita la toma de decisiones en situaciones de emergencia.

Se explica el plan de contingencia para el caso de un derrame/pérdida de metanol, en el cual, se plantean diferentes escenarios, mencionando a los sectores involucrados y las medidas a tener en cuenta.

Finalmente, se presenta un análisis Hazop en el nodo que contempla la corriente de salida desde los tanques de alimentación hasta el reactor R-201, identificando y mitigando posibles riesgos operacionales. Este análisis es crucial para la identificación y control de peligros, asegurando una operación segura y eficiente de la planta.

8.2. Introducción

Para darle comienzo a este capítulo, resulta de vital importancia diferenciar seguridad de los procesos y seguridad personal, ya que es muy frecuente que se preste a confusión a la hora de definir las.

En cuanto a la seguridad de los procesos refiere a la gestión de los sistemas involucrados dentro del proceso de la planta para lograr la contención efectiva de las diferentes energías utilizadas y evitar así, su liberación. Esto con el fin de evitar el daño a la personas, medio ambiente o activos.

Mientras que la seguridad personal refiere a la protección de los individuos interactuando con el proceso, sistemas o medio ambiente.

La seguridad de los procesos es un marco interdisciplinario que comienza desde la base de diseño de una planta, hasta la operación y mantenimiento de la misma durante su funcionamiento. Ocupándose de la prevención y control de los eventos que tienen potencial liberación de energías y/o sustancias peligrosas.

Para darle dimensión a lo que refiere en materia de seguridad se trae a colación, el siguiente evento producido en la plataforma UK del mar del norte, en Piper Alpha el 6 de julio de 1.988. El mismo se muestra en la Ilustración 8-1.



Ilustración 8- 1: Accidente en Piper Alpha, UK.

Piper Alpha era una plataforma petrolera que desempeñaba tareas a 180 km de Aberdeen (Escocia). Sufrió catastróficas explosiones e incendios que destruyeron por completo la plataforma. En ella se encontraban 226 personas, de las cuales 165 murieron, incluyendo dos

equipos de respuesta de emergencia durante las maniobras de rescate.

El accidente fue causado por la pérdida de vapores que se produjeron de una bomba de condensado, que fue puesta en marcha antes de terminar con el mantenimiento de la válvula de seguridad de la bomba.

Se introdujo una brida ciega en donde debía ir la válvula de seguridad, esta brida no fue apretada y al momento de accionamiento de la bomba comenzó a fugarse el hidrocarburo ligero donde comenzó a formarse una nube con su posterior ignición para finalmente producir la explosión.

Luego de una exhaustiva investigación se logró detectar que este acontecimiento de la mantención de la válvula de seguridad se realizó antes de un cambio de turno y ante una ineficaz comunicación el turno siguiente no pudo constatar que este dispositivo no se encontraba en dicho equipo. (BBC News Mundo, 2010)

En la actualidad, existen un marco regulatorio que, para diferentes operadoras dentro de la industria del gas y petróleo, poseen diferentes nombres, como ser “reglas que salvan vidas”. Específicamente hay unas series de pautas que podrían haberse utilizado para evitar semejante catástrofe. La implementación de permisos de trabajo, como así también el bloqueo y etiquetado de equipos bajo mantenimiento. Quizás, esta última hubiese sido de mucha utilidad para el turno entrante y así, tener noción del estado de la bomba.

Si bien este hecho lamentable lleva ya casi 40 años, es importante traerlo al presente para recordar que la seguridad es una cuestión que nos tiene que englobar a todos. y que debe estar en constante actualización y difusión para las nuevas generaciones.

8.3. Objetivo

Los objetivos del capítulo incluyen:

- Garantizar la seguridad de los procesos y del personal de la planta.
- Implementar medidas de seguridad desde el diseño hasta el mantenimiento.
- Detallar un plan de contingencia.
- Realizar un análisis HAZOP para identificar y mitigar riesgos operacionales.

8.4. Seguridad e Higiene ocupacional

De acuerdo con el Artículo 4 de la Ley 19.587/72, la higiene y seguridad en el trabajo deben incluir información técnica y medidas sanitarias, precautorias, de cautela o de cualquier índole, con el objetivo de:

- Proteger la vida, preservar y mantener la integridad psicofísica de los trabajadores.
- Prevenir, reducir, eliminar o aislar los riesgos de los distintos centros o lugares de trabajo.
- Estimular y desarrollar una actitud positiva respecto a la prevención de los accidentes o enfermedades que puedan derivarse de la actividad laboral. (Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo, 1979)

8.4.1. Disposiciones generales

8.4.1.1. Sanitarios

El decreto 351/79 de dicha ley, más precisamente en el Art. 46 y 47 se promulga que en todo establecimiento dispondrá de servicios sanitarios adecuados e independientes para cada sexo en cantidad proporcionada al número de personas que trabajen en él. Estos servicios contarán con:

- Lavabos y duchas con agua caliente y fría
- Retretes individuales con puerta que asegure el cierre del baño en no menos de 3/4 de su altura (2,10m).
- Como así también deberá contar con mingitorios.

Según Art. 49, hasta un total de 10 personas se podrá contar con un inodoro, 1 lavabo y una ducha. A su vez con un total de 10 de personas dentro del establecimiento se deberá contar con un vestidor, en lo posible cerca de los servicios sanitarios.

8.4.1.2. Provisión de agua

Todo establecimiento deberá contar con provisión y reserva de agua para uso humano. Se entiende por agua para uso humano la que se utiliza para beber, higienizarse o preparar alimentos y cumplirá con los requisitos para agua de bebida aprobados por laboratorios externos que certifiquen su potabilidad, a estos se le realizarán ensayos fisicoquímicos y bacteriológicos para determinar si es apta o no.

La provisión de agua apta para uso humano entregada por el establecimiento, deberá asegurar en forma permanente una reserva mínima diaria de 50 litros por persona y jornada.

8.4.1.3. Desagües industriales

En el Art. 59 se expresa que los efluentes industriales deberán ser recogidos y canalizados impidiendo su libre escurrimiento por los pisos y conducidos a un lugar de captación y alejamiento para su posterior evacuación. Los desagües serán canalizados por conductos cerrados cuando exista riesgo de contaminación, deberá evitarse poner en contacto líquidos que puedan reaccionar produciendo vapores, gases tóxicos o desprendimiento de calor.

8.4.2. Riesgo de acuerdo a la superintendencia de riesgos del trabajo

La superintendencia de riesgos del trabajo (ART) es un organismo creado por la ley N°24.557 que en concordancia con la ley que se pone en manifiesto más arriba, tienen como objeto la supervisión y ejecución de dichos enunciados. La ART permite diferenciar los riesgos en cinco grandes grupos.

8.4.2.1. Riesgos físicos

8.4.2.1.1. Temperatura

Para esto será necesario medir la temperatura de bulbo seco, la de bulbo húmedo y temperatura del globo. En conjunto con la velocidad del aire y radiación térmica, el conjunto de todas estas variables son las condiciones higrotérmicas. Las cuales son necesarias para determinar si la carga térmica (suma de la carga ambiental y calor generado por la persona) varían a lo largo de la jornada de trabajo.

8.4.2.1.2. Ruido/vibraciones

Determinación del riesgo acústico al que se encuentra expuesto el personal e identificación de las máquinas o zonas más ruidosas de la planta. La dosis máxima en la que ningún trabajador deberá estar expuesto será de 90 dB(A) de Nivel Sonoro Continuo Equivalente (NSCE), para una jornada de 8 h. y 48 h. semanales. Por encima de 115 dB(A) no se permitirá ninguna exposición sin protección individual ininterrumpida mientras dure la agresión sonora. Asimismo, en niveles mayores de 135 dB(A) no se permitirá el trabajo ni aún con el uso obligatorio de protectores individuales.

8.4.2.1.3. Iluminación

En el Art. 71 se establece que la composición espectral de la luz deberá ser adecuada a la tarea a realizar, de modo que permita observar o reproducir los colores en la medida que sea necesario.

Según norma IRAM-AADL J 20-06, la iluminancia mínima será el menor valor de iluminancia en las superficies de trabajo o en un plano horizontal a 0,80 m.

Clase de tarea visual	Iluminación sobre el plano de trabajo (lux)	Ejemplos de tareas visuales
Visión ocasional solamente	100	Para permitir movimientos seguros por ejemplo en lugares de poco tránsito: sala de calderas, depósito de materiales voluminosos y otros.
Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes	100 a 300	Trabajos simples, intermitentes y mecánicos, inspección general y contado de partes de stock, colocación de maquinaria pesada.
Tareas moderadamente críticas y prolongadas, con detalles medianos	300 a 750	Trabajos medianos, mecánicos y manuales, inspección y montaje: trabajos comunes de oficina, tales como: lectura, escritura y archivo.
Tareas severas y prolongadas y de poco contraste	750 a 1500	Trabajos finos, mecánicos y manuales, montaje e inspección: pintura extrafina, sopleteado, costura de ropa oscura.
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste	1.500 a 3.000	Montaje e inspección de mecanismos delicados, fabricación de herramientas y matrices; inspección con calibrados

Tabla 8- 1: Tareas visuales y valores de referencia.

8.4.2.1.4. Ventilación

En todos los establecimientos, la ventilación contribuirá a mantener condiciones ambientales que no perjudiquen la salud del trabajador, los establecimientos en los que se realicen actividades laborales, deberán ventilarse preferentemente en forma natural. La ventilación

mínima de los locales, determinada en función del número de personas, será la establecida en la siguiente tabla.

Cantidad de personas	Cubaje del local (m ³ por persona)	Caudal de aire (m ³ por persona)
1	3	65
1	6	43
1	9	31
1	12	23
1	15	18

Tabla 8- 2: Referencia para la ventilación en los espacios.

Si existiera contaminación de cualquier naturaleza o condiciones ambientales que pudieran ser perjudiciales para la salud, tales como carga térmica, vapores, gases, nieblas, polvos u otras impurezas en el aire, la ventilación contribuirá a mantener permanentemente en todo el establecimiento las condiciones ambientales y en especial la concentración adecuada de oxígeno y la de contaminantes dentro de los valores admisibles y evitará la existencia de zonas de estancamiento.

8.4.2.2. Riesgos químicos

La NFPA (National Fire Protection-Association) a través de la norma 704 permite establecer y comunicar los riesgos al operar o manipular materiales peligrosos. Para contextualizar, un material peligroso está definido por esta norma como, cualquier producto químico o sustancia química que puede atentar contra la integridad física o la salud de una persona.

Por otro lado, es importante poder definir que es el peligro y diferenciarlo del riesgo debido a que es muy frecuente que se torne a confusión. El peligro es aquel acto o suceso que puede ocasionar un daño potencial, mientras que el riesgo es la probabilidad de que ocurra ese acto, como así también la ponderación de sus consecuencias.

La NFPA comunica los peligros y riesgos a través de un sistema de marcas simples, de fácil reconocimiento y comprensión para tener noción de la peligrosidad de un material y su gravedad en relación con la respuesta a una posible emergencia.

Este es de vital importancia para los socorristas a la hora de toma de decisiones, como evacuar un área o controles de emergencias, este sistema también ayuda en técnicas de extinción de incendios.

El sistema de identificación de peligros se ilustra con un cuadrado en punta o rombo, identificando la gravedad de los peligros para la salud, la inflamabilidad y la inestabilidad. Esta gravedad puede ponderarse o cuantificarse mediante una clasificación de números que va desde el peligro mínimo equivalente a cero (0) hasta cuatro (4) correspondiente al de un peligro de alta severidad. (NFPA 704: Significado y características, 2015)

A continuación, se puede observar el sistema descrito por el NFPA en la Ilustración 8-2.



Ilustración 8- 2: Sistema de identificación de peligros NFPA. (NFPA704, s.f.)

El recuadro blanco ubicado espacialmente a las seis en punto denominado especial hace referencia a peligros especiales que pueden llegar a tener las sustancias químicas, pero no siempre se encuentra completo.

8.4.2.2.1. Propileno

El propileno o comúnmente denominado propileno es un compuesto químico orgánico insaturado, que pertenece a la familia de los alquenos. Este puede ser utilizado en gran parte para la producción de polipropileno, acrilonitrilo (plásticos), como intermediario químico y como es en este caso, para la obtención de óxido de propileno.

En condiciones ambientales es un gas incoloro e inodoro, donde la doble ligadura la otorga

una alta reactividad conociéndolo como el segundo compuesto más utilizado dentro de la industria petroquímica.


	Salud	2
	Inflamabilidad	4
	Inestabilidad	0
	Especial	Ninguno

Tabla 8- 3: Clasificación NFPA para el propileno.

El propileno es parte vital del proceso de producción de óxido de propileno, dado que es una de las materias primas utilizadas. Este debe estar bajo resguardo de cambios de temperatura debido a que es altamente volátil, aun así, es un reactivo estable pero como puede observarse en el rombo posee la más alta calificación en inflamabilidad porque lo que deberá diseñarse o tener en consideración diferentes dispositivos para la protección de los recipientes que alberguen esta sustancia, lo cual se discutirá más adelante en este capítulo.

En cuanto a la salud, una rápida evaporación del líquido puede producir congelación cuando entra en contacto con la piel. Además, en presencia de este puede experimentarse pérdida o disminución del oxígeno contenido en el aire. (Organización Internacional del Trabajo, 1998)

8.4.2.2.2. Peróxido de propileno

Conocido vulgarmente como agua oxigenada, es el compuesto más simple y común dentro de la química orgánica. Es un líquido incoloro y casi inodoro a temperatura ambiente. Puede utilizarse a escala industrial para la producción de diferentes sustancias, como ácido peracético, perborato de sodio y, principalmente, para la oxidación directa en la obtención de óxido de propileno. Tiene otros usos en menor medida en la industria farmacéutica como así también en el agro, como pesticidas.

Se descompone bajo la influencia de la luz y por calentamiento suave produciendo oxígeno.


	Salud	3
	Inflamabilidad	0
	Inestabilidad	3
	Especial	Ninguno

Tabla 8- 4: Clasificación NFPA para el peróxido de hidrógeno.

Este reactivo utilizado también como materia prima tiene un peligro alto para la salud (3), debido a que puede absorberse y decolorar la piel, producir hinchazón, enrojecimiento y quemaduras cutáneas. En la vista, puede producir daño corneal y como así también

quemaduras. Resulta ser muy corrosivo a la ingestión provocando espuma con riesgo de asfixia y aspiración, puede provocar burbujas de oxígeno en la sangre dando lugar al shock. El riesgo de inflamabilidad es relativamente baja pero todas maneras no deben estar en contacto con materiales incompatibles. (Organización Internacional del Trabajo, 2018)

8.4.2.2.3. Óxido de propileno

Es un líquido volátil, incoloro, con olor característico al éter. Su utilización, está principalmente destinada para la producción de poliols de poliésteres (espumas), glicoles de propileno (anticongelantes) y éteres de propilenglicol (solventes de pinturas). En combinación con óxido de etileno, pueden obtenerse tensioactivos útiles en detergentes y emulgentes.

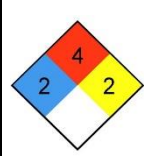
	Salud	2
	Inflamabilidad	4
	Inestabilidad	2
	Especial	Ninguno

Tabla 8- 5: Clasificación NFPA para el óxido de propileno.

Esta sustancia química tiene cierta inestabilidad y es debido a su alta volatilidad. Su vapor es más denso que el aire y puede extenderse al ras del suelo. Debe tenerse especial cuidado debido a que este puede generar cargas electrostáticas.

En cuanto a salud tiene fuerte afinidad por la piel debido a que puede absorberse fácilmente en ella, un contacto prolongado o repetido puede provocar dermatitis. Como así también tiene consecuencia para los ojos mediante la irritación.

Como puede observarse en el rombo la inflamabilidad es bastante elevada debido a que su vapor genera mezcla explosiva con el aire, para composiciones de 2 a 37% en volumen de óxido de propileno puede comenzar a arder ante fuentes de calor o ignición a una temperatura igual o superior a los -37°C . Cabe destacar que debe almacenarse en sistemas cerrados, ventilación e iluminación a prueba de explosiones. (Organización Internacional del Trabajo, 2009)

8.4.2.2.4. Metanol

También conocido por alcohol metílico, es el compuesto alcohólico más simple. Este es incoloro, inflamable y volátil con un olor muy similar al alcohol etílico. Dentro de sus usos,

este alcohol es utilizado a escala industrial para la producción de formaldehído, a su vez permitiendo la fabricación de resinas y plásticos. El metanol es también utilizado para ser la parte solvente en la producción de pinturas, tintas y productos de limpieza.

Dentro de la industria del oil & gas, es comúnmente utilizado para prevenir la formación de hidratos debido a la disminución de la temperatura del fluido en las líneas que sufren una expansión abrupta.

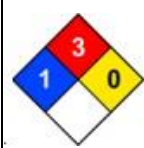
	Salud	1
	Inflamabilidad	3
	Inestabilidad	0
	Especial	ninguno

Tabla 8- 6: Clasificación NFPA para el metanol.

En cuanto a salud ocupacional, es una sustancia que se absorbe por inhalación, por la piel y por ingestión, causando irritabilidad en la piel y pérdida de conocimiento por ingestión. Una alta exposición puede causar ceguera y dermatitis a través de la piel.

Este compuesto es altamente inflamable donde las mezclas aire/vapor son explosivas y debe evitarse el contacto con sustancias incompatibles debido a que también generan mezclas explosivas. Todo el equipamiento para su procesamiento debe ser antiexplosivo, debido a que la mínima chispa puede generar incendios.

Dichos incendios pueden combatirse con agua pulverizada, dióxido de carbono o un sistema de espuma. (Organización Internacional del Trabajo, 2018)

8.4.2.2.5. Sistema globalmente armonizado (SGA)

El sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos, es otro sistema de identificación de peligros y riesgos. Actualmente, este sistema es más utilizado que el rombo de seguridad de la NFPA, y se está buscando unificar éste dentro de la SGA.

Este sistema nace del Subcomité de expertos del SGA creado por las Naciones Unidas en 1.999, desarrollando lo que se conoce hoy en día como el “Libro Violeta” del SGA o GHS por sus siglas en inglés, con su quinta y última revisión publicada en 2.013.

El sistema consta de una serie de rombos denominados pictogramas los cuales cada uno representa un peligro asociado. Este sistema está buscando implementarse y sustituir al rombo de la NFPA debido a que son imágenes más reconocibles a la vista y que son de fácil

interpretación a la hora de tomar decisiones en el caso de que ocurra un evento indeseable. Este sistema ya se encuentra implementado desde la sustancia producida desde escala industrial hasta los envases más pequeños de reactivos utilizados en laboratorios.

(Superintendencia de Riesgos del Trabajo, 2017).

A continuación, se presentan los pictogramas con sus correspondientes peligros. Para luego implementar estos a cada sustancia dentro del proceso de producción de óxido de propileno.



Ilustración 8- 3: Pictogramas del SGA

	Propileno
	Peróxido de hidrógeno
	Óxido de propileno

Tabla 8- 7: SGA para sustancias en planta.

8.4.2.3. Riesgos de exigencia biomédica

Muchos de estos riesgos son comunes en este tipo de plantas petroquímicas, debido a que son tareas de operación y mantenimiento frecuentes y que requieren un seguimiento exhaustivo para alivianar las diferentes cargas que se generen sobre el cuerpo.

-Movimientos repetitivos.

-Posturas forzadas.

-Esfuerzo o fuerza física.

-Movimiento manual de cargas.

-Posturas estáticas.

8.4.2.4. Riesgos de accidentes

Por lo general son los riesgos que más frecuencia tienen en el ámbito laboral y es necesario, no solo remitirse a leyes, sino crear consciencia y capacitación continua hacia el trabajador para recordarle que puede tener un mal día, que puede ser una situación fortuita pero siempre evitar que,

-Caídas/torceduras/cortes: con baldosas o pisos levantados. .

-Quemaduras: con equipos a temperatura y presión. O con un simple calefactor.

-Picaduras: por lo general las plantas petroquímicas se encuentran a campo abierto donde pueden existir insectos/arácnidos peligrosos para nuestra salud. Fumigaciones periódicas es lo que corresponde

-Electricidad: líneas vivas de alta tensión caídas y sin mantenimiento.

-Incendio: tratar de ayudar sin tener capacitaciones correspondientes.

-Agresión por terceros/golpes: discusiones entre compañeros/as que pudiesen llegar a golpes

8.4.2.5. Riesgos biológicos

Es importante recordar que no hace mucho tiempo, hemos salido de una gran pandemia global. En la cual se debieron adaptar las diferentes tareas de la vida laboral para evitar la ingesta y contagio de las siguientes infecciones.

-Hongos.

-Virus.

-Bacterias.

-Parásitos.

Si bien resulta remota la posibilidad que ocurra un evento tan desafortunado como fue la pandemia por el coronavirus en 2.020, existen cuestiones que llegaron para quedarse. El uso más frecuente de barbijos, el distanciamiento entre personas cuando se percibe que una de las partes está enferma, toser sobre el antebrazo.

8.4.3. Equipos/elementos de protección personal (EPP)

Los equipos y elementos de protección personal, serán de uso individual y no intercambiables cuando razones de higiene y practicidad. Queda prohibida la comercialización de equipos y elementos recuperados o usados, los que deberán ser destruidos al término de su vida útil.

Los más utilizados son:

-Casco: protección de la cabeza, comprenderá, cráneo, cara y cuello, incluyendo en caso necesario la específica de ojos y oídos. En los lugares de trabajo, en que los cabellos sueltos puedan originar riesgos por su proximidad a máquinas o aparatos en movimiento, o cuando se produzca acumulación de sustancias peligrosas o sucias, será obligatorio la cobertura de los mismos con cofias, redes, gorros, boinas u otros medios adecuados, eliminándose los lazos, cintas y adornos salientes. Siempre que el trabajo determine exposiciones constantes al sol, lluvia o nieve, deberá proveerse cubrecabezas adecuados.

-Pantalón y camisa de jean o mameluco: se ajustará bien al cuerpo del trabajador, sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos. Será de tela flexible, que permita una fácil limpieza y desinfección y adecuada a las condiciones del puesto de trabajo.

-Protección ocular: en función de los siguientes riesgos: por proyección o exposición de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas. O también pueden derivarse debido a radiaciones nocivas, como exposiciones prolongadas al sol, exposiciones prologadas a llamas o equipos que imitan algún tipo de energía radiante no importa la frecuencia expuesta.

-Protección auditiva: ya sean del tipo vincha/orejera o tipo tapones de algún elastómero sintético. Estos deberán utilizados cuando el nivel de sonoridad exceda los permisivos los cuales ya fueron expuestos.

-Botines o borcegos: cuando exista riesgo capaz de determinar traumatismos directos en los pies, los zapatos, botines, o botas de seguridad llevarán la puntera con refuerzos de acero. Si el riesgo es determinado por productos químicos o líquidos corrosivos, el calzado será confeccionado con elementos adecuados, especialmente la suela, y cuando se efectúen tareas de manipulación de metales fundidos, se proporcionará al calzado aislación con amianto.

8.4.4. Señalización de los sectores

Una de las acciones de comunicación más importante dentro de la industria petroquímica que pueden hasta determinar la vida de las personas, es por ello que es de vital importancia la señalización de los diferentes riesgos existentes, precauciones, obligaciones a través de

colores y señales. (IRAM 10005-2)

Las condiciones mínimas que debe cubrir la señalización es la siguientes:

- Atraer la atención.
- Dar a conocer el mensaje.
- Ser clara y de interpretación única.
- Fácil de entender por alguien que la ve por primera vez.
- Informar por la conducta a seguir.

El uso de las señalizaciones permite identificar los riesgos existentes en la empresa, informando al personal de la conducta a seguir.

Forma de seguridad	Descripción	Significado	Color de seguridad	Color del contraste	Color del símbolo
	Corona circular con una barra transversal superpuesta al símbolo	Prohibición	Rojo	Blanco	Negro
	Circulo de color azul sin contorno	Obligatoriedad	Azul	azul	Blanco
	Triángulo de contorno negro	Precaución	Amarillo	Negro	Amarillo
	Cuadrado o rectángulo sin contorno	Advertencia	Verde	Blanco	Verde
	Banda de amarillo combinado con bandas de color negro	Advertencia			

Tabla 8- 8: Señalización.

8.5. Seguridad de la planta

8.5.1. Cumplimiento de la Ley 13.660

Esta ley nos revela información acerca de la salubridad y seguridad de las instalaciones de elaboración, transformación y almacenamiento de productos petroquímicos. (Gobierno de Argentina, 1960)

Esta divide las instalaciones en tres secciones o zonas:

- Zona I: esta refiere a toda ahora ocupada por los equipos e instalaciones destinados a la elaboración de productos.
- Zona II: destinada al almacenamiento tanto de la materia prima como los productos terminas y productos intermedios.
- Zona III: instalaciones auxiliares que no están comprendidos en las otras dos zonas.

Existen diferentes tipos de defensas que hacen a la seguridad de la planta, puntalmente la ley las divide en defensas pasivas y activas la lucha contra incendios que pudiesen ocurrir dentro de la planta. Las defensas activas se centran en la “extinción” de los focos de fuegos, es decir, es una defensa correctiva. Mientras que las defensas pasivas se centran en la “contención” de los focos de ignición, hace referencia más hacia una defensa preventiva.

Para continuar con el presente capítulo, se irá definiendo las defensas pasivas y las defensas activas que se crean convenientes en cada zona descriptas con anterioridad más arriba.

8.5.1.1. Defensas Activas

8.5.1.1.1. Agua contra incendio

La ley establece que debe existir una red de cañerías exclusivamente para esta agua, independiente del agua que se utiliza en el proceso (servicios auxiliares), a estas deberán conectarse los hidrantes que permitirán el suministro de agua a través de las mangueras, monitores o pitones fijos.

Se establece que en cualquier punto de las zonas se encuentre disponible seis chorros de agua, con un caudal de 30 m³/h, donde las mangueras conectadas a estos puntos no superen los 120 metros. En cuanto operabilidad se deberá mantener un caudal constante durante 4 horas en caso de que el suministro principal se encuentre suspendido con una presión máxima de 7kg/cm².

Es importante resaltar que para contar dos fuentes de bombeo independiente que establece la

ley, será utilizada la red principal de agua en cual si ocurre el fallo o desabastecimiento se procederá a utilizar la reserva RCI. Este sistema de bombeo desde el sistema RCI debería contar con una bomba principal y su correspondiente back up.

Zona I:

Tomando en cuenta todas estas consideraciones se logra de terminar que con el mínimo de 6 tomas que establece la ley se encuentra cubierta la zona de operación. Se podría hasta considerar usar menos pitones ya que, en ningún momento las mangueras podrían exceder los 120 metros debido a que se cuenta con un área de operación pequeña de 1.800m² aproximadamente.

Zona II:

Para esta zona se distribuyeron 8 hidrantes debido a la cantidad de tanques que se encuentran en la zona de almacenamiento. Son necesarias estas cantidades de hidrantes para conectar las correspondientes mangueras, donde estas en ningún momento superan los 120 metros que establece la ley.

Los hidrantes están distribuidos de forma tal, que puedan ser accesibles ante cualquier evento o emergencia. A su vez, los tanques de propileno, peróxido de hidrógeno y metanol, poseen un circuito de refrigeración alrededor de los mismos.

Zona III:

Para la correspondiente zona se tomaron como referencia tres hidrantes con la salvedad de agregar dos más en la zona de cargadero.

A continuación, se ilustra los metros cuadrados expuestos a posibles incendios en cada tanque, estos nos permitirán obtener un caudal necesario para sofocar dichos incendios que se sumarán a la cantidad de m³/h que se debe mantener en cada hidrante. Del cual se obtuvieron 23 hidrantes/monitores, lo que llevaría a mantener un caudal de **180 m³/h** para asegurar en todo momento los 30 m³/h que establece la ley.

Datos	Peróxido de hidrógeno (2)	Óxido de propileno (2)	Metanol (2)	Propileno (2)
Altura(m)	6,1	8,7	8,8	11,4
Diámetro (m)	6,6	9,1	9,1	11,4
Área transversal (m ²)	34,19	65,01	65,01	102,02
Área lateral (m ²)	126,42	248,59	251,45	408,07
Área total de tanques (m ²)	321,22	627,2	632,91	1.020,19
Área total expuesta (m ²)	2.601,52			

Tabla 8- 9: Área expuesta de los tanques a posibles incendios.

La ley en su artículo n°302b establece que debe un mínimo de litros por metro cubico hora disponible en esta zona, el cual es de 30 L/m². h. Con el área total expuesta en metros cuadrados podremos obtener los m³/h necesarios de agua provista por el RCI.

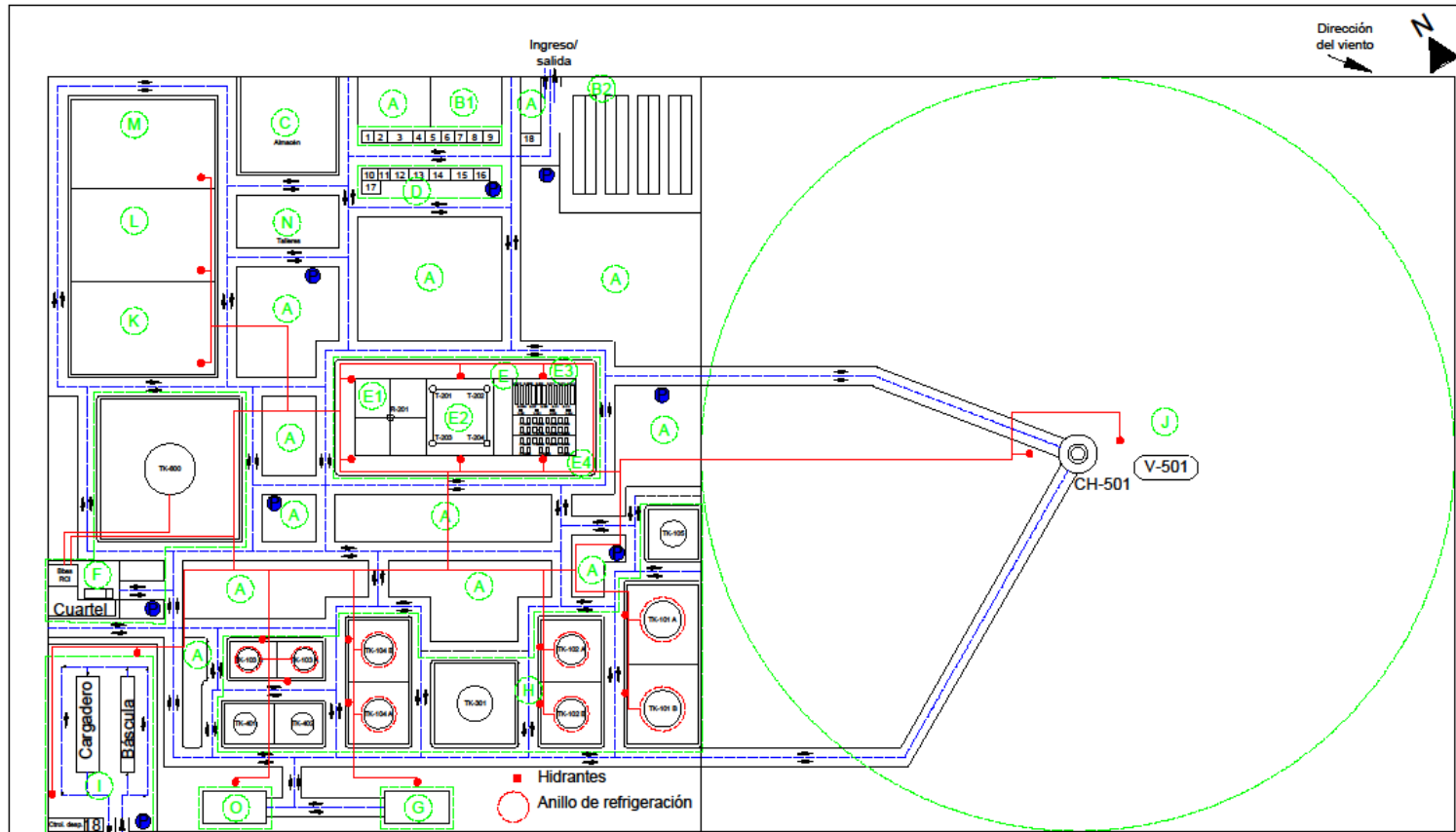
Este cálculo se obtiene de la siguiente manera:

$$Q = \frac{\frac{30L}{m^2} \cdot h * 2.601,52m^2}{\frac{1.000L}{m^3}}$$

Dando un caudal de agua necesaria de **78 m³/h**.

Obteniéndose en su totalidad hasta el momento los **180 m³/h** que se debe mantener en todos los hidrantes más los **78 m³/h** obtenidos en este último cálculo. Pero todavía se debe obtener el caudal de agua necesaria para el sistema ignifugo que se describirá a continuación.

Hasta el momento, serían 258 m³/h.



Referencias del Layout 1: RRHH y Adm. 2: Gerencia 3: Comedor 4: Baños 5: Soporte Téc. y Opt. y Control 6: Sala de reunión 7: M.A y Calidad 8: Ing. y Proy. y Seg. Procesos 9: Seg. Operativa 10: Planificación 11: Insp. equipos 12: Procesos		Punto de encuentro 13: Enfermería 14: Laboratorio 15: Mantenimiento 16: Sala de control 17: Sala de prod. 18: Recepción	A: Parques y jardines B1: Est. interno B2: Est. externo C: Almacén D: Oficinas E: Zona de proceso E1: Zona de reacción E2: Zona de columnas E3: Zona de bombas E4: Zona Int. calor	F: Bomberos y sist. RCI G: Subestación eléct. H: Parque de tanques I: Terminal de despacho J: Sistema de antorcha K: Generación de vapor L: Sist. agua de enfria. M: Tratam. efluente N: Talleres O: Estación gas natural	<table border="1"> <tr> <th>Alumnos</th> <th>Legajo</th> <th colspan="2">Docentes</th> </tr> <tr> <td>Pichulmay, M</td> <td>3188</td> <td>Prof. Ing. Krumrick, E</td> <td rowspan="3">Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional del Neuquén</td> </tr> <tr> <td>Sanchez, K</td> <td>3380</td> <td>JTP. Ing. Silva, C</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>AyU. Ing. Boles, M</td> </tr> </table>	Alumnos	Legajo	Docentes		Pichulmay, M	3188	Prof. Ing. Krumrick, E	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional del Neuquén	Sanchez, K	3380	JTP. Ing. Silva, C			AyU. Ing. Boles, M
Alumnos	Legajo	Docentes																	
Pichulmay, M	3188	Prof. Ing. Krumrick, E	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional del Neuquén																
Sanchez, K	3380	JTP. Ing. Silva, C																	
		AyU. Ing. Boles, M																	
Ingreso/salida de camiones		Ingreso/salida			Dirección del viento														
Cargadero Báscula Cuartel		Hidrantes Anillo de refrigeración			CH-501 V-501														
Referencias del Layout		Layout			Producción de óxido de propileno														
Año 2024		Proyecto Final			Layout de la Red Contra Incendio														
Layout RCI		Hoja N°1																	



8.5.1.1.2. Servicio ignífugo especial

La supresión de fuego mediante un sistema de espuma es para aumentar la eficacia del agua como agente extintor, por lo tanto, es frecuente contar con este en zona de parques de tanques que alberguen líquidos combustibles como el caso del presente proyecto.

Esta espuma, es una combinación de agua, aire y un espumógeno, el cual cumple la función de variar la tensión superficial del agua. Es por ello, que se necesitará una cantidad de agua adicional a la que se cuenta para la generación de dicha espuma.

Para la formación de dicha espuma, se partirá de la ayuda de la NFPA 11 para la caracterización de dicha espuma. Esta establece que para hidrocarburos se necesita de una AAAF (concentrado de espuma formador de película acuosa) debido a que esta excluye tanto al aire como al oxígeno y permite desarrollar una película acuosa sobre la superficie del combustible evitando la formación de sus vapores, la cual, en su composición posee agentes espumantes sintéticos agregados a los tensioactivos fluoroquímicos. La proporción o concentración que requiere dicha espuma varía en torno del 3 al 6% de espumógeno. La forma de aplicar también puede variar debido a que se pueden instalar los cabezales dosificadores sobre los techos de cada tanque o también pueden instalarse tambores que alberguen el espumógeno, adyacente a cada pitón de descarga de agua. Al accionar el sistema, se realizará la mezcla de espumógeno, aire y agua in situ, este es conocido normalmente como sistema mecánico y el que se utilizara dentro de la zona de tanques. A continuación, se detalla la cantidad de agua necesaria para la acción de la espuma dentro de la zona de tanques establecido por la ley 13.660.

	Óxido de propileno (2)	Metanol (2)
Área transversal de todos los tanques (m ²)	130,02	130,02
Caudal de agua para espuma (m ³ /h)	234,04	234,04
Agua (m ³ /h)	88	

Tabla 8- 10: Agua necesaria para la formación de la espuma.

El caudal de agua para la espuma de los ocho tanques que albergan los líquidos combustibles se obtuvo de la siguiente manera:

$$Q = 468,08 \frac{m^3}{h} * 0,94 * 0,2$$

El Factor de 0,94 representa la fracción de correspondiente al agua dentro de la mezcla agua y espumógeno.

Por lo tanto a estos 88 m³/h de agua para la generación de espuma debe sumarse a los 258 m³/h obtenidos anteriormente, alcanzando un total de 346 m³/h.

Es importante recalcar, que se debe garantizar el suministro de agua de RCI durante 4 horas, por lo que el caudal se debe multiplicar por cuatro, lo que nos permite obtener el volumen final del tanque de agua, de 1.384 m³.

8.5.1.1.3. Aparatos extintores de fuego

Para poder definir la cantidad de extintores que deberán estar presentes en cada zona primero se clasificarán los diferentes fuegos:

- Clase A: incendio en materiales combustibles sólidos que al quemarse dejan brasas o cenizas. Donde la mejor opción de extinción es el agua.
- Clase B: se produce debido a líquidos inflamables como nafta, aceites, etc. Donde la ignición es sobre la superficie del líquido, estos deben ser extintos restringiendo el oxígeno utilizando espumas que se interponen entre la superficie y el oxígeno.
- Clase C: fuegos producidos en superficies eléctricas o instalaciones donde exista presencia de corriente eléctrica. Su utilización elementos de sofocación o enfriamiento pero que sean no conductores.
- Clase D: producidos sobre superficies metálicas combustibles como magnesio, titanio, zirconio, sodio, potasio. Para su aislamiento o asfixia se debe tratar con polvos químicos especiales.
- Clase K: fuegos producidos por aceites vegetales o grasas animales producidos por las freidoras, planchas dentro de la cocina. Se requiere extintores que tengan una base acuosa de acetato de potasio creando una capa jabonosa cuando entra en contacto con el aceite caliente.

La ley en su art 239, establece que debe existir un aparato extintor cada 300m² es por ello que se elabora una tabla que especifica la cantidad de extintores por zonas y además se termina el tipo de extintores que se necesitan en función de las sustancias que estarán presente en el proceso.

En todos los casos se necesitan extintores clase ABC debido a que hay presente superficies sólidas, líquidas e instalaciones donde hay corriente eléctrica.

En función al artículo 240 de la ley, se establece que para la zona de oficinas será necesario reducir el área de exposición a 200 m², dicho artículo establece que será necesario contar con

un recipiente metálico, con tapas conteniendo arena y dos palas en caso de que ocurra un derrame. Generalmente este se hace efectivo en la zona de laboratorio que es donde se trabaja con reactivos o muestras provenientes de la planta.

Zona	Área (m ²)	Cant. Extintores	Tipo
Zona 1	1.800	6	ABC x 10kg
Zona 2	8.816	30	ABC x 10kg
Zona 3	3.456	12	ABC x 10kg
Almacén	1.144	6	ABC x 10kg
Oficinas	774	4	ABC x 10kg
Cargadero	1.736	6	ABC x 10kg

Tabla 8- 11: Cantidad de extintores en función los metros cuadrados utilizados.

8.5.1.2. Defensas pasivas

8.5.1.2.1. Separación entre equipos e instalaciones

- Zona I:

Este ítem se encuentra desarrollado dentro del “Capítulo 7: Layout” en la sección “7.10.

Separación entre equipos”. Se dejan las referencias que se utilizaron para este diseño.

Primeramente, se realiza la referencia del artículo n°216 de la ley para la zona de operación.

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

Tabla 8- 12: Distancias mínimas establecidas por ley 13.660.

- Zona II

Seguidamente, se realiza la referencia de los artículos que se tomaron en consideración para la elaboración de los planos. Estos están definidos para el distanciamiento del parque de tanques:

- Distanciamiento de tanques de un diámetro del tanque más grande tomado como referencia, medido de pared a pared.
- Se usarán recintos individuales a partir de volúmenes de 10.000 m³, teniendo en cuenta que cuando se trate de tanques de más de 15.000 m³ se llegara a un acuerdo

con el organismo competente. Tampoco se deberán agrupar tanques con capacidades de más de 2.000 m³ (Artículo 321).

- Además de las distancias mínimas que deben tener entre sí, cualquier tanque debe poseer ½ diámetro de distancia con el límite de concesión, de los caminos públicos 1 diámetro con un mínimo de 15 metros. Como así también deberán tener 1 ½ diámetro de las vías férreas con un mínimo de 45 metros de distancia.
- De lugares residenciales como de otras industrias deberán estar distanciados al menos 2 diámetros del tanque de mayor capacidad y, por último, pero no menos importante, 150 metros de distancia entre bosques cercanos. (Artículo 322).

8.5.1.2.2. Muros de contención y corta llamas

Este ítem se relaciona más con la zona II, parque de tanques. Donde los muros de contención fueron diseñados en el “Capítulo 7: Layout” debido a que eran necesarios para obtener la dimensión real de cada tanque en particular y así poder obtener el área total de esta zona.

8.5.1.2.3. Descarga de electricidad estática

Cada tanque deberá contar con un sistema de puesta a tierra con el fin de eliminar o suprimir estática, pero debe tenerse en cuenta a que a donde se conecte esta puesta a tierra la humedad relativa debe permanecer en todo momento superior al 50%.

8.5.2. Plan de contingencia en caso de un derrame

A continuación, se analizará una situación en particular, que puede darse durante una operación normal de la planta, y en la cual, debe tenerse un plan de contingencia adecuado, y así, poder actuar de forma segura, planeada y efectiva, para proteger la integridad de las personas, equipos y medio ambiente, y lograr que el daño ocasionado sea el menor posible.

Un caso que se puede dar comúnmente, es el derrame de una sustancia, para lo cual, se detallarán los pasos a tener en cuenta en esta situación. Se analizará el caso de derrame del solvente, metanol, ya que se presenta en grandes volúmenes en el proceso.

8.5.2.1. Identificación de la pérdida

La pérdida puede ser detectado durante un recorrido cotidiano del operador, mediante personal que se encuentre realizando tareas cercanas a esa zona, o incluso, cualquier persona habilitada que circule cerca y detecte un ligero olor dulce de metanol.

En caso que la pérdida sea muy grande, la medición de los instrumentos puede advertir una variación en los parámetros normales, detectando bajos caudales, disminución de la presión, disminución en niveles de tanques, o cualquier otra anomalía que pueda delatar una alarma.

Es importante saber, que una pérdida o derrame de producto se puede dar en muchas situaciones. Desde el conexionado de cañerías a través de una brida, rebalses de tanques, pérdidas debajo de la superficie de tanques, hasta pérdidas de producto en cañerías debido a corrosiones puntuales.

Entonces, se puede dar una pérdida de producto a través de una brida que esté asociada a la conexión de un tanque, que sea alimentación o descarga de una bomba, conexiones bridadas entre válvulas, o conexiones a cualquier tipo de equipos.

Cabe mencionar que, a la hora de intervenir equipos como intercambiadores de calor, columnas de destilación, calderas, y demás equipos que trabajen a presión, se les realiza prueba hidráulica para comprobar el sellado efectivo de los mismos, y mitigar fugas, en caso que las hubiera, antes de que entren en servicio nuevamente.

A su vez, una pérdida puede ser causada por fallas en válvulas, debido al desgaste de los asientos o fallas en el accionamiento de las mismas, lo cual no logran una apertura y cierre efectivo.

Existen casos extremos, como en las líneas que se tienen doble bloqueo, muchas veces debido al desgaste de estas, existe pasaje de producto en ambas. En estas situaciones, donde se debe entregar una línea o algún equipo, y no se cuentan con más bloqueos aguas arriba de las válvulas, y no hay posibilidad alguna de colocar una chapa ciega (porque la válvula es soldada, roscada, o simplemente no hay espacio físico), se debe realizar un análisis de riesgo, es decir, un análisis más riguroso de la tarea que se desea hacer, ya que no es un caso normal de entrega de equipos, de forma de buscar la vía más segura para realizar la tarea.

Por último, también existen errores humanos que pueden lograr la liberación indeseada de productos, como puede ser, una purga abierta, no señalizar el bloqueo de válvulas con

candado, no realizar un correcto pasaje de novedades con el turno siguiente, no colocar la chapa ciega adecuada en la desvinculación de una línea, un bridado deficiente, entre otras.

8.5.2.2. Acciones inmediatas

Es importante mencionar, que intervienen varias partes a la hora de accionar ante una emergencia, las cuales deben actuar de forma coordinada, conjunta y segura, para lograr controlar la situación lo antes posible.

Sea el motivo que fuese la pérdida, se debe avisar de forma inmediata al sector de producción, más precisamente, al supervisor de planta, el cual, dará aviso al bombero y técnicos de seguridad, quienes tomarán los recaudos necesarios para identificar y aislar ese lugar evitando que las personas se acerquen.

Los técnicos de seguridad se encargarán de realizar el vallado y delimitación de la zona, cortando calles de acceso si es necesario, y derivando a los vehículos cercanos. De forma tal, que el camión de bombero tenga vía libre de acceso y salida en todo momento. Todos los vehículos que ingresen a la planta deberán contar con arrestallamas, en el caño de escape de gases.

A su vez, contarán con los elementos de protección personal necesarios para poder realizar la medición de gases periódicas en el lugar, y saber si la pérdida se agrava o si surgen nuevas. Además, los técnicos verificarán que cada personal que ingrese al lugar cuente con todos los elementos de protección personal necesario. Es decir, en caso que sea trabajo en altura, a su vez, requerirán un arnés de seguridad; si el ambiente tiene partículas sólidas o vapores orgánicos, deberán ingresar con máscaras con filtros, y si el ambiente es deficiente de oxígeno o posee partículas tóxicas, será necesario ingresar con aire asistido, como puede ser un equipo autónomo. También deberán contemplar el uso de trajes especiales, si así lo requiere.

En caso que se tratase de un espacio confinado, en el que requiere ingresar personal a trabajar para reparar la pérdida, o en el que se encuentra personal trabajando, también preparan el sistema de rescate de emergencia.

A su vez, el jefe de seguridad operativa será el encargado de avisar la situación a los demás sectores por un canal de emergencia (a través de la radio), y de comunicar el estado de la

situación, es decir, si la situación pudo ser controlada, o si es necesario tomar recaudos adicionales.

Luego de evaluar la situación, el bombero tomará la decisión de activar el rol de brigadista, y de esta forma, personal capacitado de los distintos sectores se acercarán al cuartel de forma inmediata, se pondrán la ropa y la protección adecuada, y prepararán y acercarán los equipos de mitigación de incendio, en caso de ser necesario. Estos trabajarán de forma coordinada con el bombero y darán apoyo al mismo.

Cabe mencionar, que esta coordinación, preparación y capacitación de los brigadistas, será evaluada de ante mano, a través de simulacros programados de diferentes situaciones de emergencia, que serán desarrolladas y llevadas a cabo con el bombero.

Por otro lado, el sector de producción se encargará de aislar del resto del proceso, ese nodo que presenta la pérdida. De tal forma, que se pueda by passear la línea o tanque a través de apertura y cierre de válvulas, derivando esta alimentación a otro tanque secundario. La idea principal, es evitar que llegue más producto a ese punto, y que luego se realicen las tareas de mantenimiento adecuadas.

Esta tarea la coordinará el jefe de producción de planta, junto con el supervisor, tablerista de sala de control y los operadores. Una vez lograda esta maniobra, informará al bombero que el punto en cuestión se encuentra desvinculado del proceso.

El sector de producción también será responsable de resguardar los equipos y prever las maniobras necesarias para seguir operando puenteando este punto o, pasar directamente a la parada de planta de emergencia controlada.

8.5.2.3. Acciones de mitigación

Paralelamente que se controla la alimentación al nodo, y una vez presente in situ todas las personas necesarias y vinculadas al control de la situación, seguirán las indicaciones del jefe de emergencias, el supervisor de planta.

Las acciones a desarrollar, deberán ir en coordinación con la medición de gases, para conocer la situación en todo momento.

El jefe de emergencia evaluará la necesidad de agua de la red contra incendio y espuma a través del hidrante más cercano. En caso de tener el metanol líquido contenido, deberá cubrirse completamente con espuma resistente al alcohol.

Las instalaciones se encuentran impermeabilizadas debido al uso de metanol, de forma tal, que el metanol no penetre en la tierra. Una vez contenido el metanol, puede succionar con una bomba o camión vector, con el objetivo de darle disposición final. En este caso, como el metanol es un compuesto inflamable y puede generar atmósferas explosivas, tanto la bomba particular o la bomba del camión vector, deben estar certificada para su uso de atmósfera explosivas. A su vez, se deben tomar precauciones adicionales, como por ejemplo, el uso de sistemas de conexiones puesta a tierra para evitar la acumulación de electricidad estática, que pueden actuar como fuente de ignición.

Acompañado a esto, se le hace seguimiento con estudios de laboratorio a este volumen drenado para conocer su composición, con el fin de recuperar el metanol o derivarlo a tratamiento de efluentes.

Por otro lado, ya sea que la pérdida se produzca sobre otra superficie en la que pueda drenar hacia los niveles inferiores, se pueden utilizar materiales absorbentes como carbón activado o esponjas absorbentes.

Tanto los materiales absorbentes como la tierra contaminada con metanol, debe buscarle disposición final, ya sea que se recuperen o se descarten.

Esta tarea es importante, ya que se debe impedir que penetre el suelo y contamine las napas de agua.

Con respecto a la espuma en cuestión, es una espuma multipropósito AR-AFFF, que se podrá aplicar alrededor de la zona y sobre la superficie de la mezcla, para desplazar el aire, evitando la formación de mezclas explosivas.

La espuma multipropósito AR-AFFF (Aqueous Film Forming Foam resistente al alcohol), es utilizada para aquellos líquidos combustibles e inflamables que contienen solventes polares, como es el caso del metanol, y también es aplicable a hidrocarburos. Posee propiedades que le permite formar una película acuosa (AFFF) que facilita suprimir los vapores de los hidrocarburos como para resistir la mezcla y degradación cuando entra en contacto con las sustancias polares, que es característico de la espuma resistente al alcohol (AR).

En el caso de los tanques, poseen un anillo de refrigeración que puede ser activado en caso que requieran controlar un incendio o la temperatura del mismo. También se encontrarán monitores cercanos, que se pueden apuntar hacia éste o cualquier punto en cuestión que lo requiera.

8.5.2.4. Acciones posteriores

Luego de haber cortado el suministro y haber purgado la línea, el sector de mantenimiento evaluará la gravedad de la pinchadura, rotura o pérdida por brida, y una vez vacía la línea procederá a realizar la reparación.

En caso que la línea se pueda desbridar y poder retirar el carretel del lugar, la reparación se puede hacer en el taller, distante al lugar en cuestión. De lo contrario, se trabajará en el lugar con los EPP necesarios y tomando los recaudos necesarios.

De acuerdo a la disponibilidad de la línea y los tiempos, se puede colocar una grampa en la pinchadura, se puede soldar un poncho sobre la línea. Sea cualquiera el caso, esto sería provisorio, y se trabajaría para el cambio de la línea en una parada de planta.

En caso de no existir la posibilidad de cortar el suministro, se debe proceder a intentar de disminuir el caudal de la misma, y evaluar la estrategia que proporcione la mayor seguridad posible. Se tendrán en cuenta chapas ciegas, bridas ciegas y/o espaciadores a través de las bridas para aislar la línea.

Existen casos, en el que la pérdida o fuga se da en líneas críticas del proceso, que no se pueden intervenir fácilmente, ya que obliga a una parada de planta de emergencia. En tal caso, luego del análisis de riesgo correspondiente, se evaluará proceder a colocar una caja abulonada del diámetro exterior de la línea, dentro de la cual, se inyectará a presión una resina selladora, que luego de un tiempo se endurecerá, logrando el sellado completo de la caja con línea.

Por otro lado, luego de las reparaciones correspondiente, sector de medio ambiente se dedicará a realizar un estudio del suelo y del entorno, para detectar los daños ocasionados, y proceder a su remediación.

En caso que corresponda, se procederá a la remediación de suelo, retirando la tierra contaminada y reponiendo el sector con tierra nueva. A su vez, se realizarán análisis

periódicos de sectores de suelo más profundos para analizar y estudiar el comportamiento en su composición luego del evento.

8.5.2.5. Diagrama plan de emergencia

El uso de un plan de emergencia es un instrumento útil para la toma de decisiones en el caso de un incendio potencial, liberación de gases a la atmosfera, explosiones. No solo para tener la noción de que hacer cuando ocurre un evento de estos sino también si es que existe la posibilidad de tomar intervención en el siniestro.

Es muy importante la capacitación constante en cuanto al plan de emergencia, ya sea desde un simulacro hasta un pantallazo teórico. El esquema que se presenta a continuación deberá ser plasmado en toda área operativa de la planta para que el personal siempre pueda identificarlo en cualquier sitio.

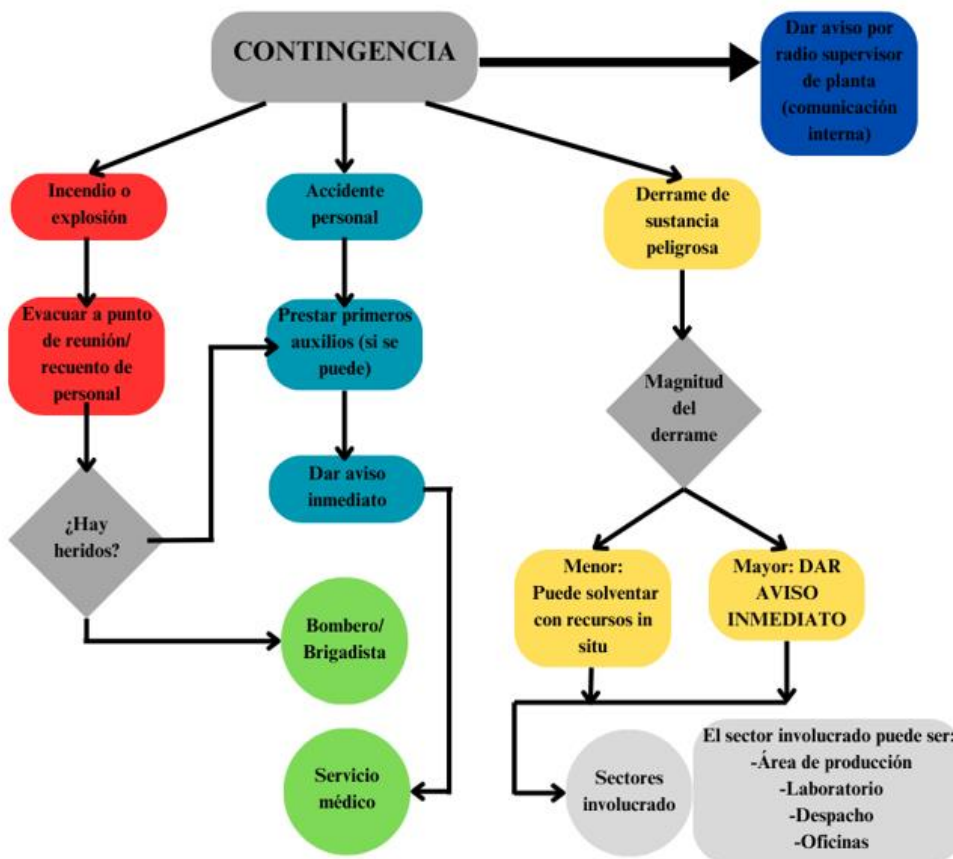


Ilustración 8- 4: Plan de emergencia.

8.5.3. Análisis Hazop

En la siguiente sección, se realizará un análisis Hazop, con el objetivo de detectar problemas operativos, peligros asociados al proceso, mejorar la confiabilidad de las instalaciones, y verificar condiciones técnicas y de diseño, que afecten la seguridad, salud, medio ambiente, y la integridad de los equipos e instalaciones, para asegurar el correcto funcionamiento de la planta. Un Hazop, básicamente es una metodología para identificar riesgos asociado a la operación del proceso.

En los análisis Hazop interactúan distintos sectores y personal experimentado de diferentes sectores que conocen el completo funcionamiento de la planta, con el fin de realizar una sesión de brainstorming para identificar aspectos importantes que se deban estudiar. A su vez, se discuten diferentes causas y consecuencias relacionados a los desvíos, y también se identifican protecciones que posee la instalación o que se deban incorporar. (DEKRA, s.f.)

Se involucran los diagramas de P&ID, en donde se visualiza el nodo estudiado para una mejor interpretación de los equipos y variables que intervienen en el análisis.

El nodo en cuestión, contempla las corrientes de salidas desde los tanques de alimentación de metanol, propileno y peróxido de hidrógeno, hasta la corriente de salida del reactor R-201, ya que es la parte más crítica.

Para conformar y completar la matriz Hazop, es necesario definir los valores de referencia de “Consecuencia”, “Probabilidad”, “Exposición” y “Riesgo”.

- Matriz de Exposición

Se basa en determinar la frecuencia con la podría ocurrir el evento iniciador en el ámbito de evaluación.

Exposición (E)			Valor de referencia
Muy rara	Frecuencia: 10^{-3} /año	No se espera que ocurra	0,3
Rara	Frecuencia: 10^{-2} /año	Es posible que ocurra	0,6
Poco usual	Frecuencia: 10^{-1} /año	Se espera que ocurra al menos una vez	1,2
Ocasional	Frecuencia: 10^0 /año	Ocurre con frecuencia anual	2,5
Frecuente	Frecuencia: 10^1 /año	Algunas veces al año	5
Muy frecuente	Frecuencia: 10^2 /año	Más de una vez al mes	10

Tabla 8- 13: Valores de referencias para Exposición.

- Matriz de probabilidad

Se refiere a la probabilidad de que, una vez desarrollado el evento iniciador, se alcance una determinada consecuencia.

Probabilidad (P)		Valor de referencia
Prácticamente imposible	10^{-5}	0,3
Altamente improbable	10^{-4}	0,6
Remotamente posible	10^{-3}	1,2
Poco usual	10^{-2}	2,5
Posible	10^{-1}	5
Casi seguro	10^0	10

Tabla 8- 14: Valores de referencia de probabilidad.

- Matriz de consecuencia

De acuerdo a la consecuencia que puede causar el evento, se selecciona el valor más adecuado.

	Consecuencias (C)				
	Daños a las personas	Bienes materiales	Medio ambiente	Nivel de difusión, reputación	Valor
Cuasi accidente	Sin consecuencias reales	Sin consecuencias reales	Sin consecuencias reales	Sin consecuencias reales	0,9
Menores	Incidentes sin baja	5 k-100 k USD	Incidencia ambiental no relevante o en zona sin contención garantizada que provoca un daño ambiental local dentro de los límites de la propiedad	Sin difusión	1,7
Moderadas	Menos de 30 días de baja	100 K USD a 1 M USD	Daño ambiental relevante que excede los niveles de referencia de calidad ambiental o que es capaz de generar una denuncia y no tiene efectos permanentes	Crisis Nivel Verde: Incidente que no generan interés en periodistas, vecinos, asociaciones o autoridades locales, más allá de lo rutinario de estos casos	3
Serias	Más de 30 días de baja	1 M USD a 10 M USD	Daño ambiental grave que puede afectar al entorno de la propiedad, que supera en amplias zonas los niveles de referencia de calidad ambiental y puede afectar a terceros	Crisis de nivel amarillo: accidente o incidentes que quedan limitadas al ámbito local, que tienen efectos severos sobre la seguridad, el medio ambiente o la solvencia económica y la gestión de la compañía y que podrían generar interés de los periodistas, vecinos, asociaciones o autoridades locales	7
Muy serias	Puede causar una muerte o lesiones permanente	10 M USD a 100 M USD	Daño ambiental muy grave. Se requiere a la compañía medidas de corrección y/o compensación importante, excede en amplias zonas los niveles de referencia de calidad ambiental; alta probabilidad de daño residual permanente.	Crisis de nivel rojo: accidentes o incidentes que exceden por su importancia al ámbito local y que previsiblemente generen interés en los periodistas, vecinos, asociaciones o autoridades nacionales o internacionales por tener, o poder tener, graves consecuencias sobre el medio ambiente, la seguridad o la solvencia económica y la gestión de la compañía	16
Desastrosas	Puede causar de 2 a 9 muertes	100 M USD a 1000 M USD	Daño ambiental catastrófico y de gran extensión; pérdidas de recursos y servicios ambientales. Daños permanentes	Afectación a nivel internacional de forma transitoria	40
Catastróficas	Puede causar 10 o más muertes	>1000 M USD	Daño ambiental catastrófico y de gran extensión; pérdidas extensivas de recursos y servicios ambientales. Daños permanentes	Afectación a nivel internacional de forma permanente	100

Tabla 8- 15: Referencia de valores de consecuencia.

- Matriz de Riesgo

Finalmente, con los valores de referencias establecidos, se determina el valor del riesgo.

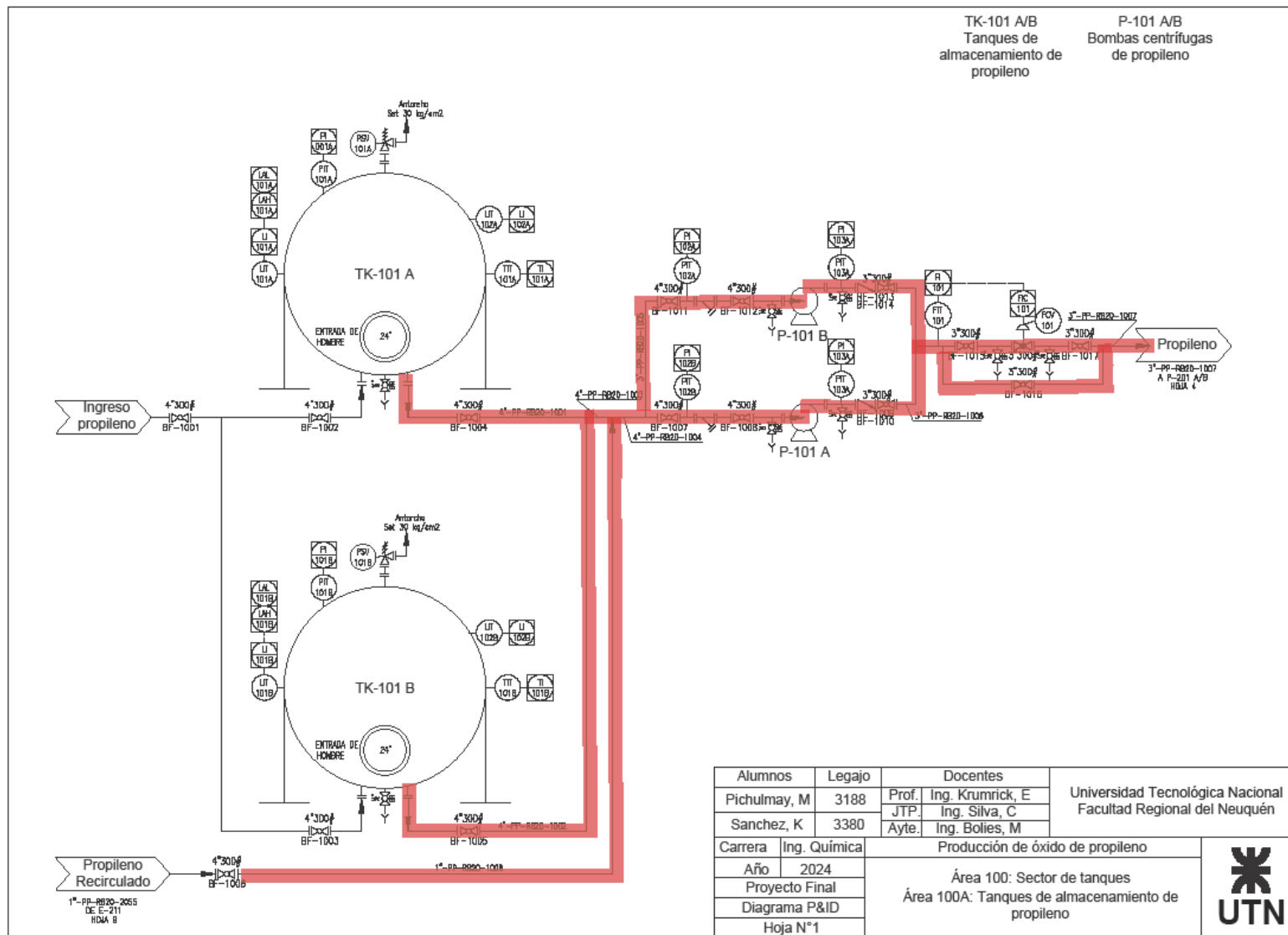
$$\text{Riesgo} = \text{Exposición} \times \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}$$

Luego, con la matriz de riesgo, se evalúan las acciones a realizar, para que éste disminuya en caso que se requiera o se mantenga igual.

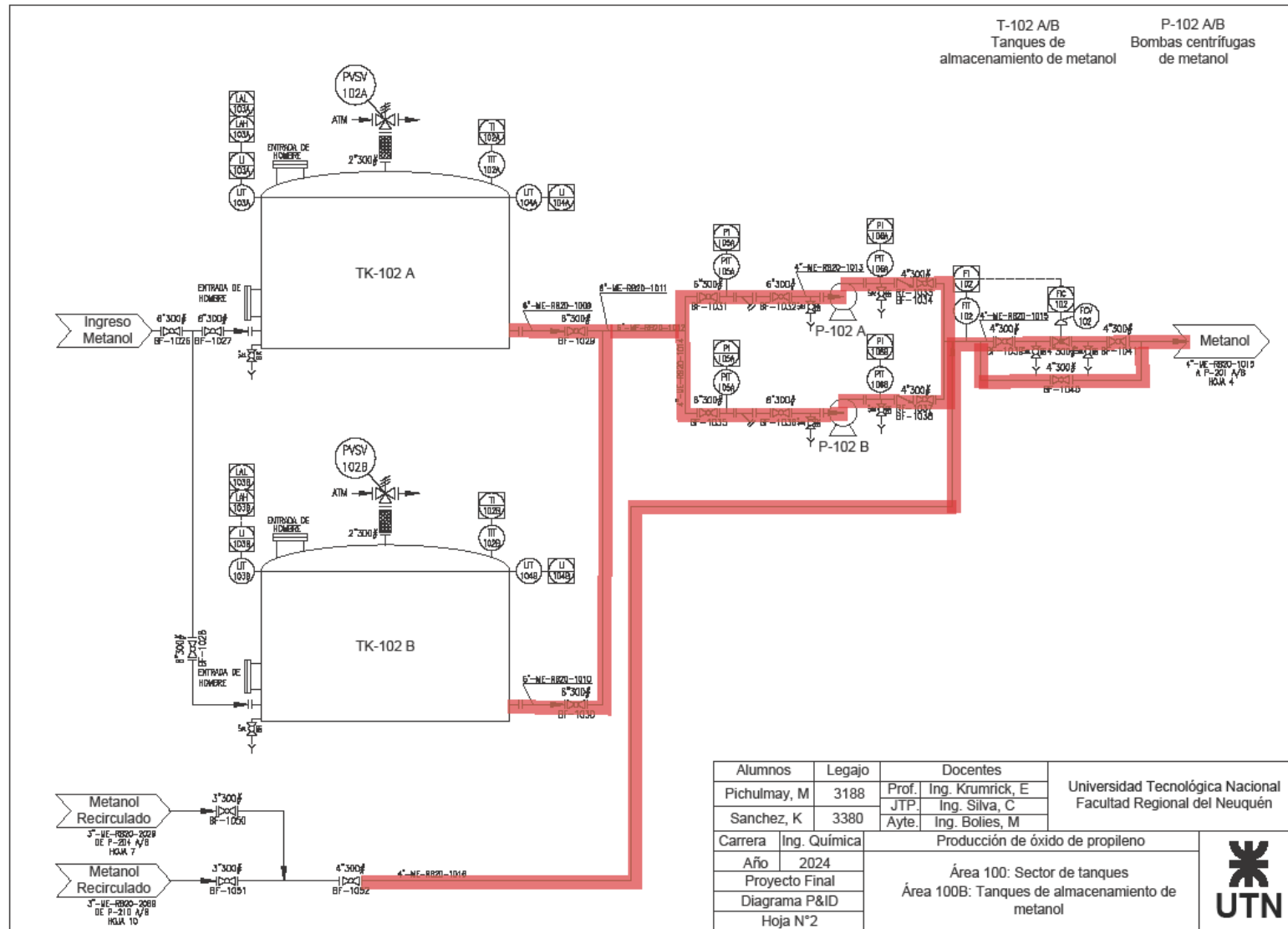
Tipo	$R=ExPxC$	Actuación necesaria
Riesgo menor	$R \leq 14$	Evaluar la necesidad de medidas correctoras con el objetivo de mejora continua. Se implantará aquellas medidas que supongan una baja inversión.
Riesgo moderado	$14 < R \leq 35$	Medidas correctoras de prioridad normal (pueden ser implementadas después de la puesta en marcha). Todas las medidas cuyo beneficio supere su costo deben ser implementadas. Nivel inferior de autorización.
Riesgo alto	$35 < R \leq 82$	Medidas correctoras de prioridad alta (deben ser implementadas antes de la puesta en marcha). Revisión previa puesta en marcha. Deben evaluarse, registrarse e implementarse, siempre que sea razonablemente posible, las medidas de reducción de riesgo necesarias para reducirlo, al menos, a niveles moderados. El riesgo debe ser reevaluado después de aplicar las medidas de prevención y/o mitigación. Nivel superior de autorización.
Riesgo urgente	$R > 82$	Medidas correctoras de prioridad inmediata. Deben evaluarse y registrarse e implementarse las medidas de reducción de riesgo necesarias para reducir el riesgo a niveles inferiores. Se requiere registro y verificación para asegurar que se resuelven en tiempo y forma adecuadas. Se requiere autorización del Comité de Negocio para continuar con la actividad con este nivel de riesgo.

Tabla 8- 16: Matriz de riesgo.

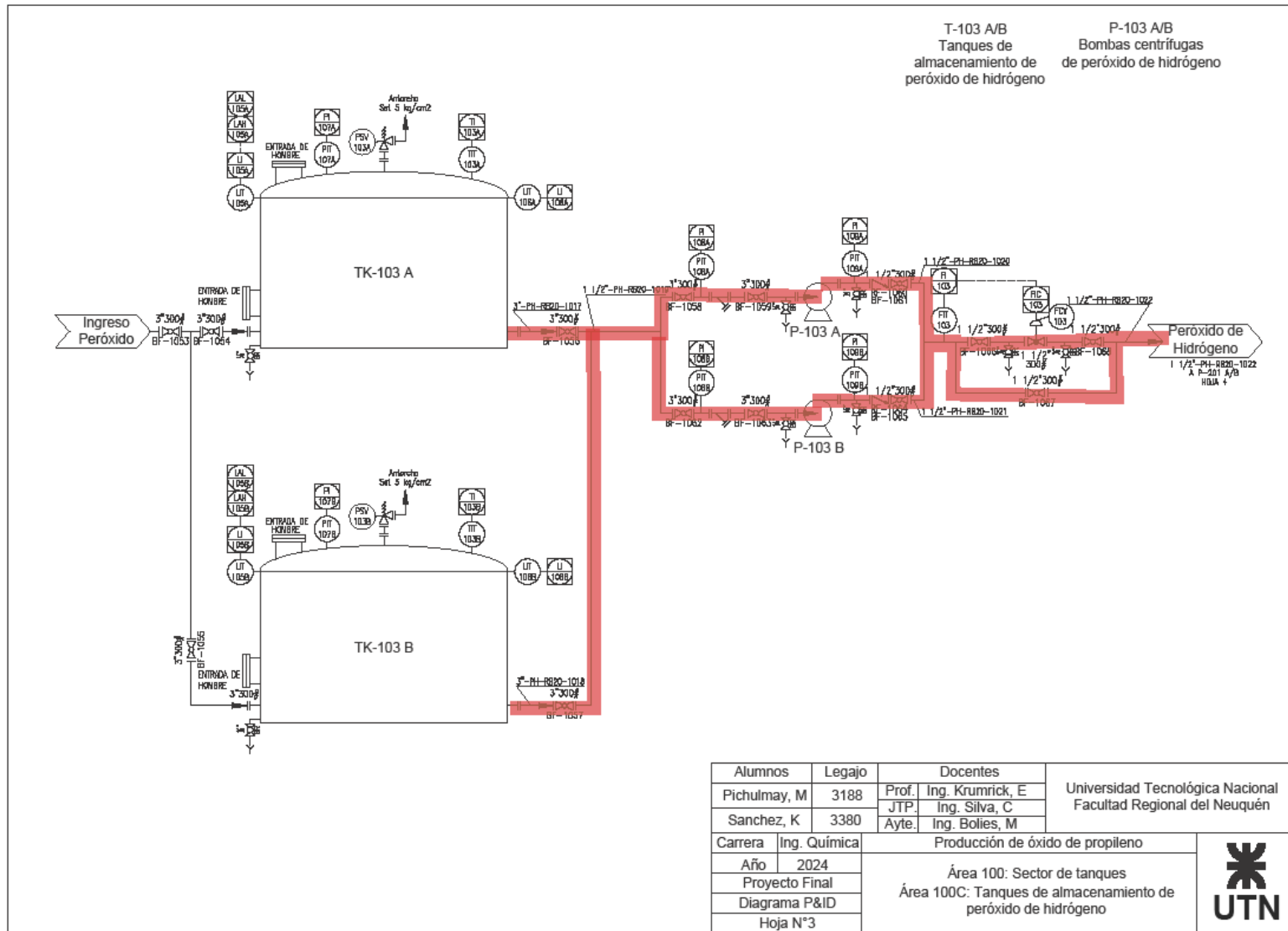
Producción de óxido de propileno



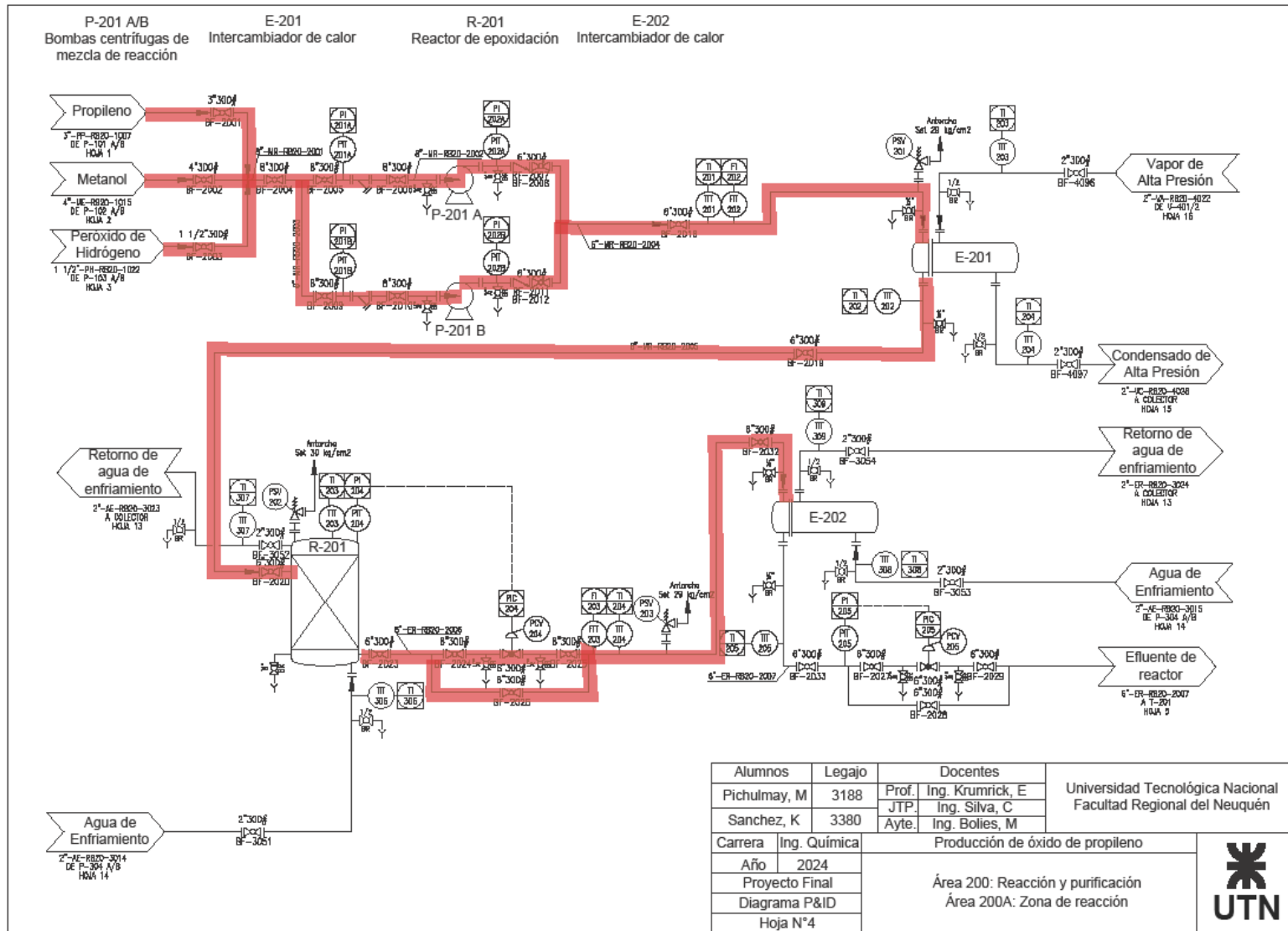
Producción de óxido de propileno



Producción de óxido de propileno



Producción de óxido de propileno



Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
1 No/ Bajo caudal (Metanol)	• Falla en bomba de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Menor conversión de materias primas en el reactor • Mayor volúmenes de materias primas recirculando en el reactor • Inconvenientes en la purificación de óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo de bombas • Arranque automático de bomba de back up 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor
	• Obstrucción en filtros	<ul style="list-style-type: none"> • Menor conversión de materias primas en el reactor • Mayor volúmenes de materias primas recirculando en el reactor • Inconvenientes en la purificación de óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo de filtro • Arranque automático de bomba de back up 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor
	• Falla en LI-104	<ul style="list-style-type: none"> • Menor conversión de materias primas en el reactor • Mayor volúmenes de materias primas recirculando en el reactor • Inconvenientes en la purificación de óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivos transmisores de nivel • Colocar un indicador visual para constatar el nivel de los tanques o algún método alternativo adicional 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
1 No/ Bajo caudal (Metanol)	• Falla en cierre de la válvula de purga de tanques.	<ul style="list-style-type: none"> • Menor conversión de materias primas en el reactor • Mayor volúmenes de materias primas recirculando en el reactor • Inconvenientes en la purificación de óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta • Incendio • Contaminación flora y fauna 	Bienes materiales	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Doble bloqueo en purgas • Limpieza y cambios de válvulas en paro de planta • Mantenimiento preventivo 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Personas	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Doble bloqueo en purgas • Uso de EPP • Personal capacitado 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Medio ambiente	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Detectores de llama • Accesibilidad de hidrantes y espuma en diferentes puntos de la planta 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
	• Falla en válvulas de alimentación o salida de bombas, que obstruyan el flujo	<ul style="list-style-type: none"> • Menor conversión de materias primas en el reactor • Mayor volúmenes de materias primas recirculando en el reactor • Inconvenientes en la purificación de óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • By pass disponibles para el mantenimiento de válvulas • Mantenimiento preventivo 	1,2	1,2	1,2	1,73	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
1 No/ Bajo caudal (Metanol)	• Fuga/ pérdida en cañería	<ul style="list-style-type: none"> • Menor conversión de materias primas en el reactor • Mayor volúmenes de materias primas recirculando en el reactor • Inconvenientes en la purificación de óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta • Incendio • Contaminación flora y fauna 	Bienes materiales	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo • Medición de espesores de líneas durante operación normal • En paro de planta limpiar líneas críticas; reemplazo de tramos de líneas deterioradas • Apertura de by pass en líneas para reajuste de brida/cambio de juntas/ reparación de pérdidas • Personal capacitado para emergencias 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Personas	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de protección personal • Personal capacitado para emergencias 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Medio ambiente	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Detectores de llama • Sistema de vapor de sofocación • Accesibilidad de hidrantes y espuma en diferentes puntos de la planta 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
2 Mayor caudal (Metanol)	• Falla en bomba de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas debido al exceso de solvente • Conversión descontrolada de materias primas • Rebalse de tanque de metanol • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo de bombas • Arranque automático de bomba de back up 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
2 Mayor caudal (Metanol)	• Falla en válvula de control LI-104	<ul style="list-style-type: none"> • Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas debido al exceso de solvente • Conversión descontrolada de materias primas • Rebalse de tanque de metanol • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivos transmisores de nivel • Colocar un indicador visual para constatar el nivel de los tanques o algún método alternativo adicional 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor
	• Falla en cierre de válvulas de by pass	<ul style="list-style-type: none"> • Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas debido al exceso de solvente • Conversión descontrolada de materias primas • Rebalse de tanque de metanol • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo • Doble bloqueo en purgas 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor
3 No/ Bajo caudal (Peróxido de hidrógeno)	• Falla en bomba de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de óxido de propileno • Mayor volumen de propileno que no reaccionó • Inconvenientes en la purificación del óxido propileno en las columnas • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo de bombas • Arranque automático de bomba de back up 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
3 No/ Bajo caudal (Peróxido de hidrógeno)	• Obstrucción en filtros	<ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de óxido de propileno • Mayor volumen de propileno que no reaccionó • Inconvenientes en la purificación del óxido propileno en las columnas • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo de filtro • Arranque automático de bomba de back up 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor
	• Falla en válvula de control LI-106	<ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de óxido de propileno • Mayor volumen de propileno que no reaccionó • Inconvenientes en la purificación del óxido propileno en las columnas • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	3	0,6	2,5	4,5	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivos transmisores de nivel • Colocar un indicador visual para constatar el nivel de los tanques o algún método alternativo adicional 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
3 No/ Bajo caudal (Peróxido de hidrógeno)	• Falla en cierre de la válvula de purga de tanques.	<ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de óxido de propileno • Mayor volumen de propileno que no reaccionó • Inconvenientes en la purificación del óxido propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta • Contaminación flora y fauna 	Bienes materiales	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Doble bloqueo en purgas • Limpieza y cambios de válvulas en paro de planta • Mantenimiento preventivo 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
			Personas	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Doble bloqueo en purgas • Uso de EPP • Personal capacitado 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
			Medio ambiente	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Accesibilidad de hidrantes y espuma en diferentes puntos de la planta 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
	• Falla en válvulas de alimentación o salida de bombas, que obstruyan el flujo	<ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de óxido de propileno • Mayor volumen de propileno que no reaccionó • Inconvenientes en la purificación del óxido propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • By pass disponibles para el mantenimiento de válvulas • Mantenimiento preventivo 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
3 No/ Bajo caudal (Peróxido de hidrógeno)	• Fuga/ pérdida en cañería	<ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de óxido de propileno • Mayor volumen de propileno que no reaccionó • Inconvenientes en la purificación del óxido propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo • Medición de espesores de líneas durante operación normal • En paro de planta limpiar líneas críticas; reemplazo de tramos de líneas deterioradas • Apertura de by pass en líneas para reajuste de brida/cambio de juntas/ reparación de pérdidas • Personal capacitado para emergencias 	7	0,6	1,2	5,04	Riesgo menor
			Personas	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de protección personal • Personal capacitado para emergencias 	7	0,6	1,2	5,04	Riesgo menor
			Medio ambiente	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Accesibilidad de hidrantes y espuma en diferentes puntos de la planta 	7	0,6	1,2	5,04	Riesgo menor
4 Mayor caudal (Peróxido de hidrógeno)	• Falla en bomba de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas debido al exceso de peróxido de hidrógeno • Conversión descontrolada de materias primas • Rebalse de tanque de peróxido de hidrógeno 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo de bombas • Arranque automático de bomba de back up 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
4 Mayor caudal (Peróxido de hidrógeno)	<ul style="list-style-type: none"> Falla en válvula de control LCV-106 	<ul style="list-style-type: none"> Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas debido al exceso de peróxido de hidrógeno Conversión descontrolada de materias primas Rebalse de tanque de peróxido de hidrógeno 	Bienes materiales	3	0,6	2,5	4,5	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivos transmisores de nivel Colocar un indicador visual para constatar el nivel de los tanques o algún método alternativo adicional 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor
	<ul style="list-style-type: none"> Falla en cierre de válvulas de by pass 	<ul style="list-style-type: none"> Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas debido al exceso de peróxido de hidrógeno Conversión descontrolada de materias primas Rebalse de tanque de peróxido de hidrógeno 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivo Doble bloqueo en purgas 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor
5 No/Bajo caudal (propileno)	<ul style="list-style-type: none"> Falla en bomba de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> Menor producción de óxido de propileno Mayor volumen de peróxido de hidrógeno que no reaccionó Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> Cavitación de bombas Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivo de bombas Arranque automático de bomba de back up 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor
	<ul style="list-style-type: none"> Obstrucción en filtros 	<ul style="list-style-type: none"> Menor producción de óxido de propileno Mayor volumen de peróxido de hidrógeno que no reaccionó Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> Cavitación de bombas Parada de planta 	Bienes materiales	3	0,3	0,6	0,54	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivo de filtro Arranque automático de bomba de back up 	1,2	0,3	0,6	0,22	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
5 No/Bajo caudal (propileno)	• Falla en válvula de control LI-102	<ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de óxido de propileno • Mayor volumen de peróxido de hidrógeno que no reaccionó • Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivos transmisores de nivel • Colocar un indicador visual para constatar el nivel de los tanques o algún método alternativo adicional 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor
	• Falla en cierre de la válvula de purga de tanques.	<ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de óxido de propileno • Mayor volumen de peróxido de hidrógeno que no reaccionó • Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Doble bloqueo en purgas • Limpieza y cambios de válvulas en paro de planta • Mantenimiento preventivo 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Personas	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Doble bloqueo en purgas • Uso de EPP • Personal capacitado 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Medio ambiente	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Detectores de llama • Accesibilidad de hidrantes y espuma en diferentes puntos de la planta • Sistema de refrigeración de tanques 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
• Falla en válvulas de alimentación o salida de bombas, que obstruyan el flujo	<ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de óxido de propileno • Mayor volumen de peróxido de hidrógeno que no reaccionó • Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • By pass disponibles para el mantenimiento de válvulas • Mantenimiento preventivo 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor	

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
5 No/Bajo caudal (propileno)	• Fuga/ pérdida en cañería	<ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de óxido de propileno • Mayor volumen de peróxido de hidrógeno que no reaccionó • Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas <ul style="list-style-type: none"> • Cavitación de bombas • Parada de planta • Incendio • Contaminación flora y fauna 	Bienes materiales	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo • Medición de espesores de líneas durante operación normal • En paro de planta limpiar líneas críticas; reemplazo de tramos de líneas deterioradas • Apertura de by pass en líneas para reajuste de brida/cambio de juntas/ reparación de pérdidas • Personal capacitado para emergencias 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Medio ambiente	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de protección personal • Personal capacitado para emergencias 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Personas	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Detectores de llama • Sistema de vapor de sofocación • Accesibilidad de hidrantes y espuma en diferentes puntos de la planta 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
6 Mayor caudal (Propileno)	• Falla en bomba de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas, debido al exceso de peróxido de hidrógeno • Conversión descontrolada de materias primas • Rebalse de tanque de propileno • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo de bombas • Arranque automático de bomba de back up 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)						Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)					
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
6 Mayor caudal (Propileno)	<ul style="list-style-type: none"> Falla en válvula de control LI-102 	<ul style="list-style-type: none"> Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas, debido al exceso de peróxido de hidrógeno Conversión descontrolada de materias primas Rebalse de tanque de propileno Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivos transmisores de nivel Colocar un indicador visual para constatar el nivel de los tanques o algún método alternativo adicional 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor
	<ul style="list-style-type: none"> Falla en cierre de válvulas de by pass 	<ul style="list-style-type: none"> Inconvenientes en la purificación del óxido de propileno en las columnas, debido al exceso de peróxido de hidrógeno Conversión descontrolada de materias primas Rebalse de tanque de propileno Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivo Doble bloqueo en purgas 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
7 Menor temperatura	<ul style="list-style-type: none"> Falla en la producción de vapor en la caldera, afecta E-201 	<ul style="list-style-type: none"> La reacción en el R-201 tendría menos rendimiento Exceso de materias primas circulando en el sistema Inconvenientes al purificar el óxido de propileno en las columnas 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivos de bombas, filtros y transmisores de nivel Arranque automático de bomba de back up 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
7 Menor temperatura	• Fuga/pérdida/taponamiento en líneas de agua	<ul style="list-style-type: none"> • La reacción en el R-201 tendría menos rendimiento • Exceso de materias primas circulando en el sistema • Inconvenientes al purificar el óxido de propileno en las columnas 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivos • En paro de planta limpiar líneas críticas; reemplazo de tramos de líneas deterioradas 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
	• Obstrucción en filtros de alimentación a la caldera	<ul style="list-style-type: none"> • La reacción en el R-201 tendría menos rendimiento • Exceso de materias primas circulando en el sistema • Inconvenientes al purificar el óxido de propileno en las columnas 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivos de filtros • Arranque automático de bomba de back up 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
	• Falla en LI-303 de la torre de enfriamiento, mayor caudal de agua en R-201, enfriamiento excesivo	<ul style="list-style-type: none"> • La reacción en el R-201 tendría menos rendimiento • Exceso de materias primas circulando en el sistema • Inconvenientes al purificar el óxido de propileno en las columnas 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo de instrumentación • Instrumentación adicional 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
	• Falla en válvulas de alimentación o salida de bombas de caldera, que obstruyan el flujo	<ul style="list-style-type: none"> • La reacción en el R-201 tendría menos rendimiento • Exceso de materias primas circulando en el sistema • Inconvenientes al purificar el óxido de propileno en las columnas 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • By pass disponibles para el mantenimiento de válvulas • Mantenimiento preventivo 	1,2	1,2	1,2	1,73	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
7 Menor temperatura	• Falla en cierre de la válvula de purga de tanques.	<ul style="list-style-type: none"> • La reacción en el R-201 tendría menos rendimiento • Exceso de materias primas circulando en el sistema • Inconvenientes al purificar el óxido de propileno en las columnas • Incendio • Contaminación flora y fauna 	Bienes materiales	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Doble bloqueo en purgas • Limpieza y cambios de válvulas en paro de planta • Mantenimiento preventivo 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Medio ambiente	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Doble bloqueo en purgas • Uso de EPP • Personal capacitado 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Personas	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Detectores de llama • Accesibilidad de hidrantes y espuma en diferentes puntos de la planta • Sistema de refrigeración de tanques 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
8 Mayor temperatura	• Mayor flujo de vapor enviado desde la caldera, falla en instrumentación de la caldera	<ul style="list-style-type: none"> • Reacción descontrolada en el reactor R-201, temperatura excesiva • Parada de planta • Riesgo en la integridad de los equipos • Cavitación en bombas del sistema de enfriamiento 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	• By passear el reactor hasta bajar la temperatura del mismo.	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
	• Falla en cierre de válvulas de by pass	<ul style="list-style-type: none"> • Reacción descontrolada en el reactor R-201, temperatura excesiva • Parada de planta • Riesgo en la integridad de los equipos • Cavitación en bombas del sistema de enfriamiento 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo • Doble bloqueo en purgas 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
8 Mayor temperatura	<ul style="list-style-type: none"> Una reducción del flujo de alimentación producirá un calentamiento excesivo de la corriente de alimentación del reactor (aplica el ítem 1,3,5) 	<ul style="list-style-type: none"> Reacción descontrolada en el reactor R-201, temperatura excesiva <ul style="list-style-type: none"> Parada de planta Riesgo en la integridad de los equipos Cavitación en bombas del sistema de enfriamiento <ul style="list-style-type: none"> Incendio Contaminación flora y fauna 	Bienes materiales	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivo de bombas <ul style="list-style-type: none"> Arranque automático de bomba de back up Mantenimiento preventivo de filtro <ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivos transmisores de nivel Colocar un indicador visual para constatar el nivel de los tanques o algún método alternativo adicional By passear el reactor hasta bajar la temperatura del mismo. <ul style="list-style-type: none"> Detectores de llama Accesibilidad de hidrantes y espuma en diferentes puntos de la planta 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Medio ambiente	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> Doble bloqueo en purgas <ul style="list-style-type: none"> Uso de EPP Personal capacitado 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Personas	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> By pass disponibles para el mantenimiento de válvulas Mantenimiento preventivo 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> By pass disponibles para el mantenimiento de válvulas Mantenimiento preventivo 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor		

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
9 Menor presión	• Falla en PCV-204	<ul style="list-style-type: none"> • Menor rendimiento de reacción • Evaporación indeseada de compuestos • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento preventivo • Disponibilidad de by pass para revisar válvulas 	1,2	0,6	1,2	0,86	Riesgo menor
	• Válvulas de seguridad (PSV) descalibradas, que despresionen el sistema cuando no lo requiera	<ul style="list-style-type: none"> • Menor rendimiento de reacción • Evaporación indeseada de compuestos • Parada de planta 	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	<ul style="list-style-type: none"> • Calibración periódicas/o en paros de planta de válvulas PSV 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
	• Fuga/ pérdida en cañería	<ul style="list-style-type: none"> • Menor rendimiento de reacción • Evaporación indeseada de compuestos • Parada de planta • Incendio • Contaminación flora y fauna 	Bienes materiales	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Doble bloqueo en purgas • Limpieza y cambios de válvulas en paro de planta • Mantenimiento preventivo 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Medio ambiente	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Doble bloqueo en purgas • Uso de EPP • Personal capacitado 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Personas	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> • Detectores de llama • Accesibilidad de hidrantes y espuma en diferentes puntos de la planta • Sistema de refrigeración de tanques 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Salvuardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)					
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial		C	E	P	R	Riesgo Residual actual
9 Menor presión	• Falla en bombas de alimentación	• Menor rendimiento de reacción • Evaporación indeseada de compuestos • Parada de planta	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	• Mantenimiento preventivo de bombas • Arranque automático de bomba de back up	1,2	0,6	1,2	0,864	Riesgo menor
	• Falla en cierre de válvulas de purgas que despresionan el sistema	• Menor rendimiento de reacción • Evaporación indeseada de compuestos • Parada de planta	Bienes materiales	3	1,2	2,5	9	Riesgo menor	• Mantenimiento preventivo • Doble bloqueo en purgas	1,2	0,6	1,2	0,864	Riesgo menor
10 Mayor presión	• Falla en bombas de alimentación	• Menor rendimiento de reacción • Parada de planta • Inconvenientes en la purificación de propileno en las columnas • Riesgo en la integridad de los equipos	Bienes materiales	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	• Mantenimiento preventivo de bombas • Arranque automático de bomba de back up	7	0,6	1,2	5,04	Riesgo menor
	• Obstrucción de válvulas de entrada y salida	• Menor rendimiento de reacción • Parada de planta • Inconvenientes en la purificación de propileno en las columnas • Riesgo en la integridad de los equipos	Bienes materiales	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	• By pass disponibles para el mantenimiento de válvulas • Mantenimiento preventivo	7	0,6	1,2	5,04	Riesgo menor
	• Obstrucción de filtros	• Menor rendimiento de reacción • Parada de planta • Inconvenientes en la purificación de propileno en las columnas • Riesgo en la integridad de los equipos	Bienes materiales	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	• Mantenimiento preventivo de filtro • Arranque automático de bomba de back up	7	0,6	1,2	5,04	Riesgo menor

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
10 Menor presión	<ul style="list-style-type: none"> Válvulas de seguridad (PSV) descalibradas, que no se abran cuando el sistema lo requiera 	<ul style="list-style-type: none"> Menor rendimiento de reacción Parada de planta Inconvenientes en la purificación de propileno en las columnas Riesgo en la integridad de los equipos 	Bienes materiales	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	<ul style="list-style-type: none"> Calibración periódicas/o en paros de planta de válvulas PSV 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
	Falla en PCV-204	<ul style="list-style-type: none"> Menor rendimiento de reacción Parada de planta Inconvenientes en la purificación de propileno en las columnas Riesgo en la integridad de los equipos 	Bienes materiales	7	1,2	2,5	21	Riesgo moderado	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivo Disponibilidad de by pass para revisar válvulas 	3	0,6	1,2	2,16	Riesgo menor
	<ul style="list-style-type: none"> Sobre calentamiento en E-201 	<ul style="list-style-type: none"> Menor rendimiento de reacción Parada de planta Inconvenientes en la purificación de propileno en las columnas Riesgo en la integridad de los equipos Incendio Contaminación flora y fauna 	Bienes materiales	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento preventivo de bombas Arranque automático de bomba de back up Mantenimiento preventivo de filtro Mantenimiento preventivos transmisores de nivel Colocar un indicador visual para constatar el nivel de los tanques o algún método alternativo adicional By passear el reactor hasta bajar la presión del mismo. 	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado

Producción de óxido de propileno

Nodo:		Tanques de alimentación hasta efluente de R-201												
IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO			Evaluación de riesgo inicial (sin barreras)					Evaluación de riesgo actual (con barreras existentes)						
Situación específica de peligro o posible desvío identificado relativo al tema guía (se puede pensar en "qué pasaría si...")	Causas de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado	Consecuencias (Efectos) de posibles incidentes o desvíos relativos al peligro identificado (se puede pensar en "qué pasaría si" se da la situación o desvío identificado)	Ámbito de afectación	C	E	P	R	Riesgo Inicial	Salvaguardas/Barreras/Acciones existentes de prevención (Reducen exposición o Probabilidad)	C	E	P	R	Riesgo Residual actual
10 Mayor presión	• Sobre calentamiento en E-201	Menor rendimiento de reacción • Parada de planta • Inconvenientes en la purificación de propileno en las columnas • Riesgo en la integridad de los equipos • Incendio • Contaminación flora y fauna	Medio ambiente	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	• Detectores de llama • Accesibilidad de hidrantes y espuma en diferentes puntos de la planta	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
			Personas	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	• Doble bloqueo en purgas • Uso de EPP • Personal capacitado	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado
	• Enfriamiento deficiente en el reactor	Menor rendimiento de reacción • Parada de planta • Inconvenientes en la purificación de propileno en las columnas • Riesgo en la integridad de los equipos	Bienes materiales	40	1,2	2,5	120	Riesgo urgente	• Mantenimiento preventivo de bombas • Arranque automático de bomba de back up • Mantenimiento preventivo de filtro • Mantenimiento preventivos transmisores de nivel • Colocar un indicador visual para constatar el nivel de los tanques o algún método alternativo adicional • By passear el reactor hasta bajar la presión del mismo	40	0,6	1,2	28,8	Riesgo moderado

Tabla 8- 17: Análisis Hazop de nodo que incluye los tanques de alimentación hasta efluente de R-201.

8.6. Conclusiones

De acuerdo al análisis desarrollado se pueden recalcar las siguientes conclusiones:

- Se ha determinado la importancia de higiene y seguridad en el trabajo aplicada a la planta.
- El plan de contingencia funcionará de guía y de utilidad en simulacros, de esta forma, el personal se capacitará para reaccionar de forma adecuada ante un evento.
- Implementación del análisis Hazop. Se han reconocido los peligros asociados a la operación de la planta, y en base a esto, se han determinado las barreras aplicables para los mismos, para que el riesgo sea menor.

8.7. Bibliografía

- BBC News Mundo. (2010, mayo 1). ¿Cuáles son los peligros del derrame de petróleo en Luisiana? BBC News Mundo. Obtenido de https://www.bbc.com/mundo/internacional/2010/05/100501_luisiana_derrame_petroleo_peligros_rec
- Gobierno de Argentina. (1960). Decreto 10877/1960 Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/recurso/32030/texact/htm>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1984). *Norma IRAM 10005-1: Colores y señales de seguridad. Colores y señales fundamentales*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1984). Norma IRAM 10005-1: Colores y señales de seguridad. Colores y señales fundamentales. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1984). *Norma IRAM 10005-1: Colores y señales de seguridad. Colores y señales fundamentales*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo. (1979). Ley N°19587. *Gobierno de la República Argentina*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-10877-1960-67157/texto>
- NFPA 704: Significado y características. (2015). Revista *Seguridad Minera*. Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/emergencias/nfpa-704-significado-caracteristicas/>

- DEKRA. (s.f.). *Análisis de riesgos de proceso (HAZOP)*. Obtenido de <https://www.dekra.es/es/analisis-de-riesgos-de-proceso-hazop/>
- Organización Internacional del Trabajo. (2018). Metanol: Hoja internacional de seguridad química (ICSC). Chemical Safety Cards. Obtenido de https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_version=2&p_card_id=0057&p_lang=es
- Organización Internacional del Trabajo. (2009). Óxido de propileno: Hoja internacional de seguridad química (ICSC). Chemical Safety Cards. Obtenido de https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0192&p_version=2
- Organización Internacional del Trabajo. (2018). Peróxido de hidrógeno: Hoja internacional de seguridad química (ICSC). Chemical Safety Cards. Obtenido de https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=164&p_version=2&p_lang=es
- Organización Internacional del Trabajo. (1998). Propileno: Hoja internacional de seguridad química (ICSC). Chemical Safety Cards. Obtenido de https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=164&p_version=2&p_lang=es
- Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2017). Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). Obtenido de https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2017/06/SGA_2017_WEB.pdf
- Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2016). *Manual de buenas prácticas para la industria petrolera*. Obtenido de <https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/08/MBP-.-Industria-Petrolera.pdf>

9

Ingeniería de detalle

9. Ingeniería de detalle

9.1. Resumen ejecutivo

En el presente capítulo, se realiza el paso a paso para el diseño de dos equipos fundamentales de la planta: un intercambiador de calor, y un tanque de almacenamiento de metanol.

El intercambiador de calor de casco y tubo, se basa en las normas TEMA para su desarrollo, utilizando el método de Kern, y luego comparándolo con el software HTRI.

Se detallan aspectos fundamentales como la configuración de los tubos, la selección de materiales y las especificaciones constructivas.

Por otro lado, para el diseño del tanque se utiliza fundamentalmente la norma API 650, que regula los aspectos de diseño y construcción de tanques de almacenamiento.

Se destacan los principales techos para tanques de acuerdo a los fluidos que se almacenan en estos, tipos de materiales utilizados, tamaños de boquillas, entre otros.

9.2. Introducción

La ingeniería de detalle, se aboca al diseño en detalle de los equipos que componen el proceso, realizando cálculos precisos, y una mayor descripción del mismo.

A continuación, se detalla el paso a paso para el diseño de dos equipos seleccionados.

Por un lado, se diseñará el intercambiador de calor tubo y coraza, el E-002, basándose en la bibliografía de “Procesos de Transferencia de Calor” de Donald Q Kern, y se constatará con el simulador de intercambiadores de calor, HTRI.

Por el otro lado, se realizará el diseño de un tanque de almacenamiento de metanol TK-102, utilizando como referencias las normas API-650.

9.3. Objetivos

El objetivo general del capítulo es el siguiente:

- Realizar el diseño de dos equipos de la planta de óxido de propileno.

Por otro lado, se definen objetivos más específicos para el diseño de los dos equipos:

- Definir los parámetros principales en base a la norma TEMA para diseñar el intercambiador de calor E-002.
- Realizar el diseño del intercambiador de calor por el método de Kern, y compararlo con el software de simulación HTRI.
- Diseñar un tanque de almacenamiento de metanol, garantizando las medidas de seguridad de construcción.
- Mencionar y utilizar las Normativas y Estándares para el diseño del tanque.
- Realizar hojas de datos de equipos del proceso.

9.4. Diseño de intercambiador de calor

9.4.1. Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor son equipos diseñados con el objetivo de transferir calor de un fluido de mayor temperatura a otro de menor temperatura. Esta transferencia se logra a través de una superficie de contacto entre ambos, que impiden que los mismos se mezclen.

En estos, la fuerza impulsora es la diferencia de temperatura entre ambos fluidos, existiendo transferencia de calor por convección en cada fluido, y transferencia de calor por conducción en la pared que los separa.

Los intercambiadores de calor, son fundamentales para el proceso y acondicionamiento de los fluidos, y están presente en la mayoría de los procesos industriales que requieren calentar o enfrían una corriente.

9.4.2. Tipos de intercambiadores de calor

A continuación, se detallan las características generales de los distintos tipos de intercambiadores de calor.

9.4.2.1. Intercambiadores de calor de doble tubo

Estos son los equipos más sencillos para que se pueda dar la transferencia de calor.

Se compone de dos tubos concéntricos; uno de los fluidos circula por el tubo interior, y el otro por el espacio anular comprendido entre los dos tubos. La disposición de las corrientes puede ser en paralelas o en contracorriente.

Los fluidos circulan por el interior de los tubos en su trayectoria, transfiriéndose calor a través de la pared interna, provocando que el fluido que cede calor disminuya su temperatura, y el que recibe, la aumente. (Cao, 2016)

En la Figura 9-1 se muestra este tipo de intercambiador de calor.

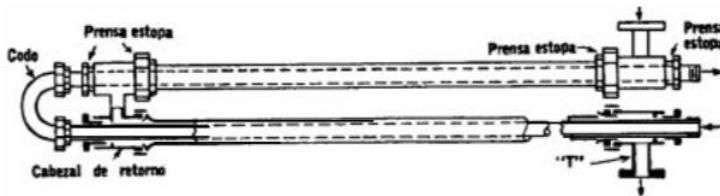


Figura 9- 1: Horquilla de intercambiador de calor doble tubo. (Kern, 1998)

La horquilla de este intercambiador de calor, incluye dos juegos de tubos concéntricos con las adecuadas piezas de conexión. Se debe tener en cuenta, la colocación de empaques en los extremos, con sus correspondientes prensaestopas, para que el equipo pueda ser desarmado e intervenido para su limpieza, y evitando el uso de uniones soldadas. En caso que se requiera mayor área de transferencia, es posible agregar varias horquillas más, uniéndose una a continuación de la otra, conformando una configuración en serie.

Una de las razones por las cuales este intercambiador de calor no es muy utilizado en la industria, es por su complejidad en su desarme para su limpieza. Además, de que la longitud máxima de los tubos es del orden de los 6 metros, ya que largos mayores, se flexionarían y se distorsionaría el área anular, lo que conlleva a una mala distribución del flujo.

En consecuencia, el área máxima de transferencia de una horquilla es limitada, por lo que, adicionando más horquillas, daría como resultado un intercambiador de calor muy grande, que ocupa mucho espacio, y requiera gran mantenimiento. (Cao, 2016)

Se podría pensar en aumentar el diámetro de los tubos, pero al hacerlo, disminuye la relación entre el área de transferencia/área de flujo, por lo que es contraproducente.

9.4.2.2. Intercambiadores de calor de tubo y coraza

Estos intercambiadores de calor son muy utilizados en la industria, ya que aportan una mayor área de transferencia, son muy versátiles, y a su vez, su mantenimiento y limpieza es más sencillo.

El intercambiador de calor tubo y coraza más sencillo, es el de cabezal fijo o con cabezal de tubo estacionario, que se muestra en la Figura 9-2.

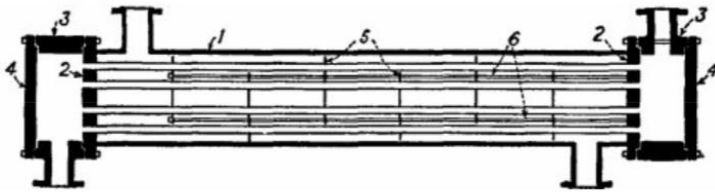


Figura 9- 2: Intercambiador de calor tubular de cabezal fijo. (Kern, 1998)

Con respecto a sus partes más importantes, se observa la coraza (1), que envuelve a toda la placa de tubos, contiene una entrada y una salida, y posee dos cabezales de tubos o espejos (placa de tubos) en sus extremos (2), que también sirven como bridas para abulonar los dos carretes (3) y sus tapas (4). Los tubos son fijos, y están insertados dentro de la placa tubular, fijándose mediante expansión o soldadura. A su vez, dentro del lado de la coraza, hay deflectores transversales que inducen cierta turbulencia, y que se mantiene fijos gracias a espaciadores (6).

El fluido ingresa por uno de los extremos de los cabezales que funciona como colector y distribuidor, y se dirige por el interior de todos los tubos recorriendo todo el largo de los mismos, para salir por el cabezal del lado opuesto, por donde se extrae. A diferencia del otro fluido, que ingresa a la carcasa por una de sus conexiones, y llena todo el espacio vacío que rodea a los tubos, fluyendo hacia la conexión de salida. Existen diversas configuraciones de acuerdo a la norma TEMA, la cual se detalla más adelante.

Generalmente, el fluido de más corrosivo y más sucio, se transporta por el haz tubular, ya que es más fácil de limpiar el interior de los tubos, que el interior de la carcasa. Por lo que ambas partes, deberán construirse del material adecuado.

En la mayoría de los casos, el fluido más caliente circula por el interior de los tubos, por razones de seguridad y se aprovecha mayor la transferencia de calor. Asu vez, los fluidos más viscosos fluyen por el exterior de los tubos, de manera de favorecer la turbulencia que aumenta la transferencia de calor.

9.4.3. Normas constructivas de intercambiadores de calor

La construcción de los intercambiadoras de calor casco y tubos, se encuadra dentro de la sección VIII del código ASME, el cual establece normas generales para el diseño de recipientes a presión.

A su vez, la asociación de Estados Unidos, TEMA (Tubular Exchangers Manufacturers Association), engloba a los fabricantes de intercambiadores de calor, y ha elaborado normas para la construcción de los mismo, lo que se conoce como normas TEMA.

Las normas TEMA complementan el código ASME con respecto a los aspectos constructivos para los intercambiadores de calor. (Cao, 2016)

Estas normas definen 3 clases de intercambiadores de calor:

Clase R: Para los requerimientos severos, de la industria petrolera, y otras aplicaciones de proceso asociadas a la misma. Se busca el máximo de confiabilidad y durabilidad en condiciones de servicio rigurosas.

Clase C: Aplicaciones comerciales, y de procesos generales. Las condiciones de servicio de este estilo se definen como moderadas.

Clase B: Contempla la industria química de procesos.

Por otro lado, la normas TEMA, resumen las combinaciones posibles de la carcasa con los cabezales, designando una codificación de tres letras. La primera se refiere al cabezal anterior o de entrada; la segunda refiere al tipo de carcaza, y la tercera, al cabezal de retorno o posterior.

9.4.4. Componentes de un intercambiador tubo y carcasa

Si bien, ya se han mencionados las partes más fundamentales del intercambiador de calor, se detallarán cada uno de ellos.

9.4.4.1. Tubos

Para el diseño de los tubos de intercambiadoras de calor, el diámetro exterior de los tubos es el diámetro real en pulgadas, a diferencia de otros tubos de acero usados para tuberías. Los diámetros exteriores de tubos más utilizados son los de 3/4" y 1 ".

Existen tubos fabricados de diferentes materiales, de acero, cobre, latón, aluminio-bronce, aceros inoxidable, entre otros. Y existen diferentes gruesos de pared, definido por el calibrador BWG del tubo.

El largo de los tubos está limitado a 6 metros, ya que, de lo contrario, su construcción y mantenimiento se dificulta. Parte de la función de los baffles, es actuar como sostén de los tubos.

Los tubos no están distribuidos de formas aleatoria, si no que están caracterizados por diferentes arreglos de tubos; al igual que los orificios de los tubos no pueden estar tan cerca unos de otro, ya que la franja adyacente de la placa de tubos se debilitaría.

El espaciado de los tubos, Pt, se refiere a la menor distancia de centro a centro entre tubos adyacentes, y el arreglo puede ser cuadrado, cuadrado rotado, triangular o triangular rotado.

Cuando se utilizan tubos de 3/4" o 1", la distancia suele ser del orden de 5 a 6 mm.

Los arreglos de tubos cuadrado tienen la ventaja de que son accesibles para su limpieza externa, y a su vez, tienen poca caída de presión con respecto al flujo exterior transversal a los tubos.

En cambio, los arreglos triangulares ofrecen mayores coeficientes de transferencia, pero presenta mayor caída de presión que en los anteriores.

Es fundamental, que el arreglo seleccionado sea el óptimo, que permita mayores coeficientes de transferencia y menores caídas de presión.

9.4.4.2. Placa de tubos

Esta placa es la que contiene todos los tubos en los cuales circula uno de los fluidos. La placa está montada dentro de la coraza.

Esta placa puede estar subdivididas en diferentes partes, dependiendo la cantidad de pasos por tubos.

9.4.4.3. Coraza

Las corazas que poseen diámetros hasta 12" se fabrican de tubo de acero. Si el diámetro está comprendido entre 12" a 24", el diámetro exterior real y el diámetro nominal del tubo son

iguales. El grueso estándar de la pared es de 3/8" para diámetros interiores de 12" a 24", los cuales soportan presiones de operación de 300 lb/plg² del lado de coraza.

En caso que las presiones sean superiores, se pueden fabricar corazas de mayor espesor de pared.

9.4.4.4. Deflectores o baffles

Los deflectores se encargan de brindarle turbulencia al fluido que circula por carcaza, ya que aumenta el coeficiente de transferencia de calor. Estos deflectores, producen que el fluido externo a los tubos fluya en ángulos rectos a los tubos.

Se llama espaciado entre deflectores, a la separación centro a centro entre los deflectores. Esta separación no debe ser menor que una separación equivalente al quinto del diámetro interior de la coraza, pero tampoco es mayor al diámetro interior. Los deflectores se mantienen fijos en su lugar, debido a espaciadores.

Los deflectores más comunes son los segmentados, los cuales son hojas de metal circular perforadas, y su altura es el 75% del total del diámetro interior de la coraza.

La separación de los baffles es importante, ya que una distancia inadecuada, podría provocar que los tubos se flexionen, es por esto, que los baffles funcionan como sostén de los tubos.

9.4.4.5. Cabezal anterior

Este tiene el objetivo de recibir y distribuir el fluido fuera de este hacia los tubos. En caso que el intercambiador sea de dos pasos por tubos o más, estará dividido en compartimientos separados para cumplir esta función. El último compartimiento lo enviará hacia la brida de salida.

9.4.4.6. Cabezal posterior o de retorno

Este cabezal está en el lado opuesto al cabezal anterior, y se encarga de recibir el fluido que proviene de los tubos y distribuirlo hacia fuera por la brida de salida (si es de un paso), o devolverlo nuevamente a los tubos, si es de más de un paso.

9.4.5. Diseño de intercambiadores de calor casco y tubo

En principio, se planteará el diseño mediante el método Kern, para poder obtener algunas estimaciones y aproximaciones. Luego, para constatar estos datos, se utilizará el software HTRI, el cual posee mayor precisión en los resultados.

9.4.5.1. Método Kern

El método Kern, desarrollado durante la década 1.930-1.940, es muy utilizado para obtener parámetros preliminares de diseño.

Existen ciertos factores que no contempla este método, es por eso, que, en algunos casos, difiere en gran medida de la realidad.

Se enlistan los factores no considerados por método Kern:

- Caudales de by-pass y fugas
- Distribución de los tubos
- Efecto de distorsión de los perfiles de temperatura

9.4.5.2. Características generales del intercambiador a diseñar

El objetivo de este capítulo, es diseñar un intercambiador de calor con la capacidad de enfriar la corriente 010 del proceso desde 55,4°C a 40°C, utilizando agua de enfriamiento.

Se describirán las principales características tenidas en cuenta para el diseño del intercambiador. Entre ellas:

- Tipo de intercambiador de calor: Se ha definido utilizar un intercambiador de tubo y coraza, debido a su gran versatilidad.
- De acuerdo a la norma TEMA, será un intercambiador de tipo AEU, con dos pasos por tubo (tubos en U) y un paso por carcasa.
- El agua de enfriamiento circulará por tubos (facilitando su limpieza), y el fluido de la corriente 010, circulará por carcasa
- Los tubos utilizados serán de 3/4" de diámetro exterior, de acuerdo a la norma BWG.
- Se eligió un arreglo triangular con un pitch (Pt) de 23,813mm, ya que este arreglo ofrece mayores coeficientes de transferencia.

9.4.5.3. Cálculo de diseño del intercambiador

El intercambiador se puede observar en la Figura 9-3 y los datos de las corrientes, fueron obtenidas del software de simulación, Aspen Hysys.

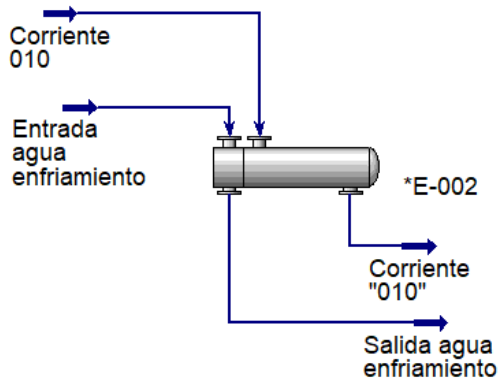


Figura 9- 3: Intercambiador de calor E-002.

La Tabla 9-2, resume las propiedades de los fluidos que ingresaran al intercambiador de calor.

Datos de fluidos		
	Agua de enfriamiento (tubos)	Corriente 010 (coraza)
Temperatura de entrada (°C) t1; T1	30	55,37
Temperatura de salida estimada (°C) t2; T2	40	40
Presión (KPa)	1.000	750
W (kg/s)	24,44	14,64
ρ (kg/m ³)	1.003,80	780,16
c (J/kg.K)	4.045,71	4.176,39
μ (kg/m.s)	8,27E-04	3,85E-04
k (W/m.K)	0,62	0,20

Tabla 9- 1: Datos de las corrientes que ingresan al intercambiador de calor E-002.

Por otro lado, la Tabla 9-3 define los valores de los parámetros seleccionado para realizar los cálculos correspondientes del intercambiador de calor. Es necesario definir estos valores, ya que permiten comenzar con los cálculos.

Datos del equipo	
Tubos	
BWG	16
Diámetro externo (Do), m	0,019
Diámetro interno (Di), m	0,0157
Arreglo	Triangular
Pt, m	0,0238
Longitud de tubos (L), m	6,096
Espaciado central de baffles (B)	0,18
N (número de tubos)	480
n (Número de pasos por tubos)	2
Tipo de intercambiador según norma TEMA	AEU
Diámetro de coraza (Ds), m	0,62
NB (número de baffles)	33
Rf por tubo (m².K/W)	2E-04
Rf por coraza (m².K/W)	2E-04
Rf total (m².K/W)	4E-04

Tabla 9- 2: Datos de diseños del intercambiador de calor E-002.

En principio, se harán los cálculos térmicos correspondientes al lado de tubos, y posteriormente, del lado coraza. Luego, se obtendrá el coeficiente de transferencia global, y se comparará el área requerida con el área real del equipo.

La Tabla 9-4 muestra los valores de los parámetros calculados para el diseño del lado de tubos, donde circula el agua de enfriamiento, y de esta forma, obtener el coeficiente pelicular del lado de tubos.

Cálculo de coeficiente pelicular lado de tubos	Valor	Unidad
a't (Área de flujo por tubo)	1,94E-04	m ²
at (Área total de flujo en tubos)	0,046	m ²
Gt (Velocidad másica)	526,12	kg/m ² .s
Ret (Número de Reynolds)	9.992,95	
Pr (Número de Prandtl)	5,42	
hi (coeficiente pelicular interno)	2.571,67	W/m ² . K
hio (coeficiente pelicular del fluido del tubo referido al área externa)	2.125,01	W/m ² . K

Tabla 9- 3: Parámetros calculados lado de tubos.

En la Tabla 9-5, se realiza el cálculo de caída de presión del lado de tubos, y se compara con la caída de presión permitida. Se observa, que la caída de presión es menor que la permitida, por lo tanto, el diseño de los tubos cumple con esta especificación.

Caída de presión lado de tubos	Valor	Unidad
f (Factor de fricción)	9,55E-03	
Δp_t (Caída de presión en tubos)	4.091,73	Pa
Δp_r (Caída de presión debido al cambio de dirección)	1.103,01	Pa
Δp_{tubos}	5,2	kPa
ΔpT permitida	10	kPa

Tabla 9- 4: Cálculo de caída de presión lado tubos.

Por otro lado, en la Tabla 9-6, se realizan los cálculos necesarios para obtener el coeficiente pelicular por el lado de carcasa.

Cálculo de coeficiente pelicular lado carcasa	Valor	Unidad
a_s (área de flujo de carcasa)	0,03	m ²
G_s (velocidad másica)	491,83	kg/m ² . s
D_e (diámetro equivalente)	0,0185	m
Res (Número de Reynolds)	23.607,83	
Pr (Número de Prandtl)	7,88	
h_o (Coeficiente pelicular de carcasa)	1.997,81	W/m ² .K

Tabla 9- 5: Parámetros calculados lado carcasa.

En la Tabla 9-7 se calcula la caída de presión por el lado de carcasa, donde se puede observar, que la misma está dentro del rango permitido.

Cálculo de caída de presión lado carcasa	Valor	Unidad
f (Factor de fricción)	0,26	
Δp_t (Caída de presión en tubos)	45,98	kPa
ΔpT permitida	50	kPa

Tabla 9- 6: Cálculo de caída de presión de lado carcasa.

A continuación, con los coeficientes peliculares obtenidos anteriormente, y con los coeficientes de ensuciamiento definidos, se obtiene el coeficiente global de transferencia de calor.

Así mismo, con los datos preseleccionados y calculados, se obtendrá el calor transferido, y se recalculará la temperatura final de salida del agua de enfriamiento. Esto servirá de

comprobación, para saber si el intercambiador de calor diseñado cumple con los datos de salida esperados.

Con el calor obtenido y el coeficiente global de transferencia de calor, se obtendrá el área necesaria del intercambiador y se comparará con el área real de diseño, obteniendo el valor de sobre diseño, el cual proporciona un margen seguridad en la operación del mismo.

Los resultados, se reflejan en la Tabla 9-8.

Cálculos finales	Valor	Unidad
U (coeficiente total de transferencia de calor)	729,32	W/m ² . K
Q	93.9732,86	W
T2	39,50	K
R	1,62	
S	0,37	
Ft	0,77	
DMLT	12,71	°C
A calculada	131,65	
A real	174,66	
Exceso de área	32,66	%

Tabla 9- 7: Resultados finales del intercambiador de calor.

Por lo tanto, los parámetros seleccionados y calculados mediante el método aproximado de Kern, cumplen con los resultados esperados. Estos, se compararán con los obtenidos mediante el software HTRI, el cual es más preciso.

9.4.5.4. Diseño de intercambiador de calor HTRI

A continuación, se realizará una comparativa del método Kern con el diseño obtenido con el software HTRI.

Cuando se inicia el programa y se desea crear un nuevo archivo, es necesario definir qué equipo se desea diseñar. Es por esto, que se selecciona un intercambiador de calor tubo y coraza, “New Shell and Tube Exchange”. Esto se muestra en la Figura 9-4.

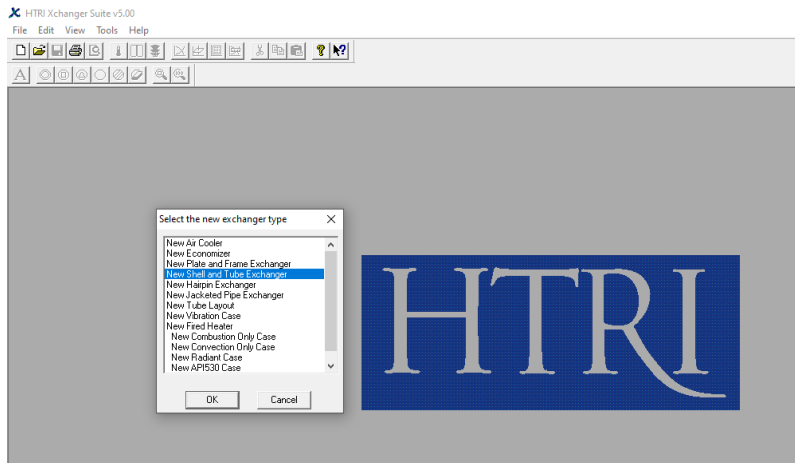


Figura 9- 4: Creación de nuevo archivo en HTRI.

Luego, es necesario ingresar las propiedades de las corrientes que ingresarán al intercambiador de calor, la corriente fría y la caliente. Para esto, el programa de HTRI tiene la facilidad de importar las propiedades de las corrientes existentes del programa de simulación Aspen Hysys, sin necesidad de cargar propiedades manualmente.

Ya finalizada la etapa de carga de datos de los fluidos de trabajo, se procede a establecer las características necesarias para el diseño del intercambiador de calor.

En consecuencia, se cargan los caudales másicos, las temperaturas, presiones, coeficientes de ensuciamiento, diámetros y geometría, entre otros datos relevantes que solicita el programa.

Todos los datos cargados se muestran en la Figura 9-5.

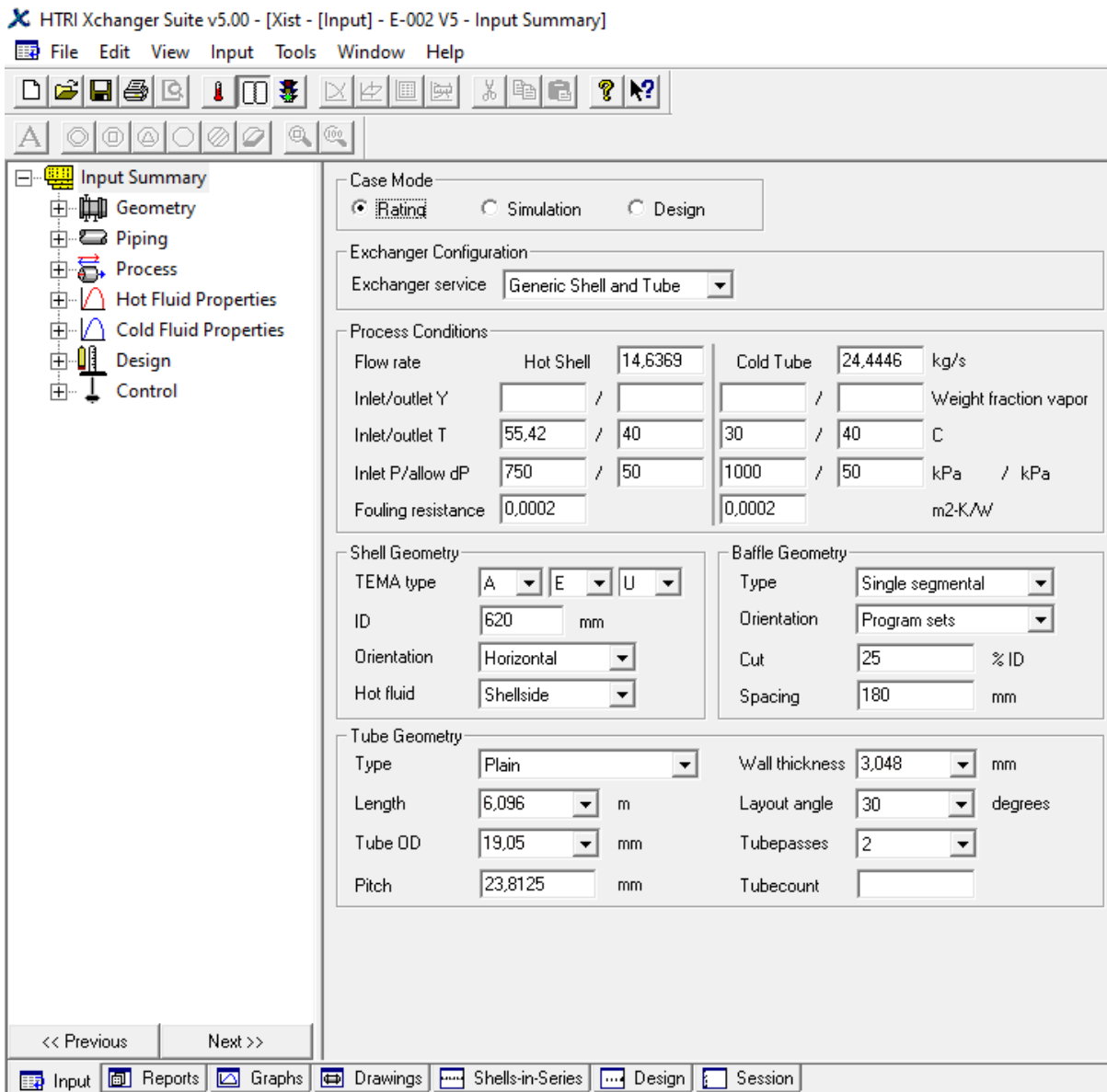


Figura 9- 5: Datos de diseño del intercambiador de calor cargados en HTRI.

Finalmente se hace correr el programa para obtener los resultados finales, en la Figura 9-6.

HTRI		HEAT EXCHANGER RATING DATA SHEET				Page 1
						SI Units
Service of Unit		Item No.				
Type	AEU	Orientation	Horizontal	Connected In	1 Parallel 1 Series	
Surf/Unit (Gross/Eff)	178,64 / 177,20 m2	Shell/Unit	1	Surf/Shell (Gross/Eff)	178,64 / 177,20 m2	
PERFORMANCE OF ONE UNIT						
Fluid Allocation		Shell Side		Tube Side		
Fluid Name		Corriente 010		Entrada agua enfriamiento		
Fluid Quantity, Total		kg/s		24,4447		
Vapor (In/Out)		wt%		0,0		
Liquid		wt%		100,0		
Temperature (In/Out)		C		30,00		
Density		kg/m3		996,23		
Viscosity		mN-s/m2		0,6519		
Specific Heat		kJ/kg-C		4,0381		
Thermal Conductivity		W/m-C		0,6317		
Critical Pressure		kPa				
Inlet Pressure		kPa		750,011		
Velocity		m/s		0,32		
Pressure Drop, Allow/Calc		kPa		19,874		
Average Film Coefficient		W/m2-K		2103,72		
Fouling Resistance (min)		m2-K/W		0,000200		
Heat Exchanged		0,9837 MegaWatts		MTD (Corrected)		9,5 C
Transfer Rate, Service		585,77 W/m2-K		Calculated		732,73 W/m2-K
				Clean		1148,59 W/m2-K
				Overdesign		25,09 %
CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)		
		Shell Side		Tube Side		
Design Pressure		kPaG		1034,21		
Design Temperature		C				
No Passes per Shell		1		2		
Flow Direction		Downward		Upward		
Connections		In mm		1 @ 102,261		
Size & Rating		Out mm		1 @ 102,261		
		Liq. Out mm		@		
Tube No.		474 OD 19,050 mm		Thk(Avg) 3,048 mm		Length 6,096 m
Tube Type		Plain		Material		CARBON STEEL
Shell ID		620,000 mm		Kettle ID		mm
Cross Baffle Type		PARALLEL SINGLE-SEG.		%Cut (Diam)		25,0
Spacing(c/c)		180,000 mm		Inlet		337,760 mm
Rho-V2-Inlet Nozzle		4115,64 kg/m-s2		Shell Entrance		2827,68
				Bundle Entrance		426,70
Weight/Shell		5842,17		Filled with Water		7510,22
				Bundle		3840,96 kg
Notes:		Thermal Resistance, %		Velocities, m/s		Flow Fractions
		Shell		Shellside		0,32 A 0,279
		Tube		Tubeside		0,78 B 0,299
		Fouling		Crossflow		0,70 C 0,043
		Metal		Window		0,55 E 0,150
						F 0,229

Figura 9- 6: Resultados finales de diseño del intercambiador de calor con HTRI.

De los resultados obtenidos del programa, se puede establecer cierta similitud con el método Kern, ya que se observa que el coeficiente global de transferencia de calor y el calor transferido, son muy cercano al calculado, al igual que el sobre diseño establecido y el área de transferencia de calor. Por otro lado, también se obtienen caídas de presión menores a las permitidas, lo cual cumple con otro de los requisitos.

En la Tabla 9-8 se realizará la comparativa de estos valores mencionados.

Comparativa de resultados	Método Kern	HTRI	Unidad
Área de transferencia de calor	174,66	177,20	m ²
Porcentaje de sobre diseño	32,66	25,09	%
Coefficiente global de transferencia de calor	729,32	732,73	W/m ² . K
Calor transferido	939.732,86	983.700	W

Tabla 9- 8: Comparación de resultados del método Kern y HTRI.

A su vez, en la Figura 9-7 también obtenida del programa HTRI, se adjunta la planilla con las especificaciones TEMA, la cual también incluye el tamaño de las bridas de ingreso y salida de los fluidos.


HTRI		HEAT EXCHANGER SPECIFICATION SHEET				Page 1
						SI Units
Customer		Job No.				
Address		Reference No.				
Plant Location		Proposal No.				
Service of Unit		Date 26/6/2024				Rev
Size 620,000 x 6095,93 mm		Type AEU	Horz.	Connected In	1 Parallel	1 Series
Surtl/Unit (Gross/Eff) 178,64 / 177,20 m ²		Shell/Unit 1	Surtl/Shell (Gross/Eff) 178,64 / 177,20 m ²			
PERFORMANCE OF ONE UNIT						
Fluid Allocation		Shell Side		Tube Side		
Fluid Name		Corriente 010		Entrada agua enfriamiento		
Fluid Quantity, Total		kg/hr 52693,1		88001,0		
Vapor (In/Out)						
Liquid		52693,1		88001,0		
Steam						
Water						
Noncondensables						
Temperature (In/Out) C		55,42 40,00		30,00 40,00		
Specific Gravity		0,7720 0,7870		1,0043 0,9967		
Viscosity mN-s/m ²		0,3514 0,4142		0,7986 0,6519		
Molecular Weight, Vapor						
Molecular Weight, Noncondensables						
Specific Heat kJ/kg-C		4,1767 4,0644		4,0398 4,0381		
Thermal Conductivity W/m-C		0,2023 0,2037		0,6184 0,6317		
Latent Heat kJ/kg		230,001 216,901		232,590 232,590		
Inlet Pressure kPa		750,011		1000,02		
Velocity m/s		0,32		0,78		
Pressure Drop, Allow/Calc kPa		50,001 19,874		50,001 18,816		
Fouling Resistance (min) m ² -K/W		0,000200		0,000200		
Heat Exchanged W 983719		MTD (Corrected)		9,5 C		
Transfer Rate, Service 585,77 W/m ² -K		Clean	1148,59 W/m ² -K	Actual 732,73 W/m ² -K		
CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)		
Design/Test Pressure kPaG		1034,21 / 1034,21 /				
Design Temperature C						
No Passes per Shell		1 2				
Corrosion Allowance mm						
Connections		In mm 1 @ 102,261		1 @ 102,261		
Size & Rating		Out mm 1 @ 102,261		1 @ 102,261		
Rating		Intermediate @		@		
Tube No. 2371	OD 19,050 mm	Thk(Avg) 3,048 mm	Length 6,096 m	Pitch 23,812 mm	Layout 30	
Tube Type Plain	Material CARBON STEEL		Shell Cover			
Shell ID 620,000 mm	OD	mm	Channel Cover			
Channel or Bonnet	Tubesheet-Stationary		Tubesheet-Floating			
Floating Head Cover	Impingement Plate		Circular plate			
Baffles-Cross	Type SINGLE-SEG.	%Cut (Diam) 25,0	Spacing(c/c) 180,000	Inlet 337,760 mm		
Baffles-Long	Seal Type		Type			
Supports-Tube	U-Bend		Type			
Bypass Seal Arrangement	Tube-Tubesheet Joint		Type			
Expansion Joint	Type		Type			
Rho-V2-Inlet Nozzle 4115,64 kg/m-s ²	Bundle Entrance 426,70		Bundle Exit 185,82		kg/m-s ²	
Gaskets-Shell Side	Tube Side					
-Floating Head						
Code Requirements		TEMA Class				
Weight/Shell 5842,17	Filled with Water 7510,22		Bundle 3840,96		kg	
Remarks:						

Figura 9- 7: Especificaciones TEMA aportada por HTRI.

El programa HTRI, también nos permite obtener las vistas de la geometría del intercambiador de calor obtenido. Estos se plasman en la Figura 9-8, 9-9, 9-10, 9-11 y 9-12.

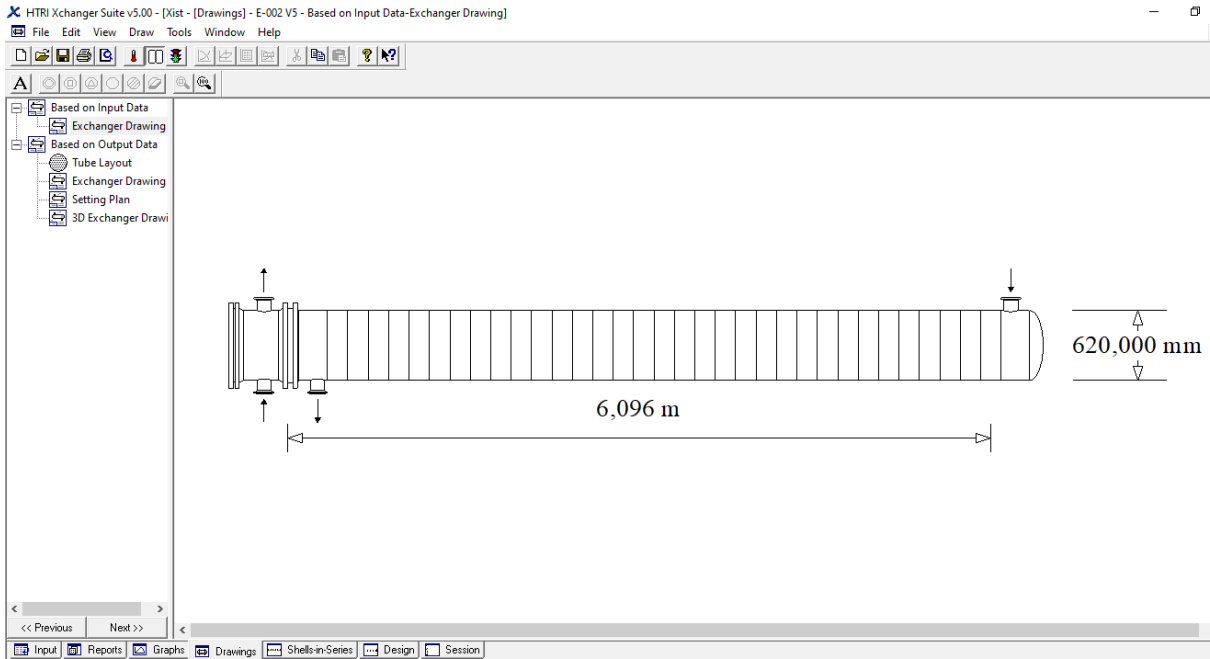


Figura 9- 8: Dimensiones del intercambiador de calor.

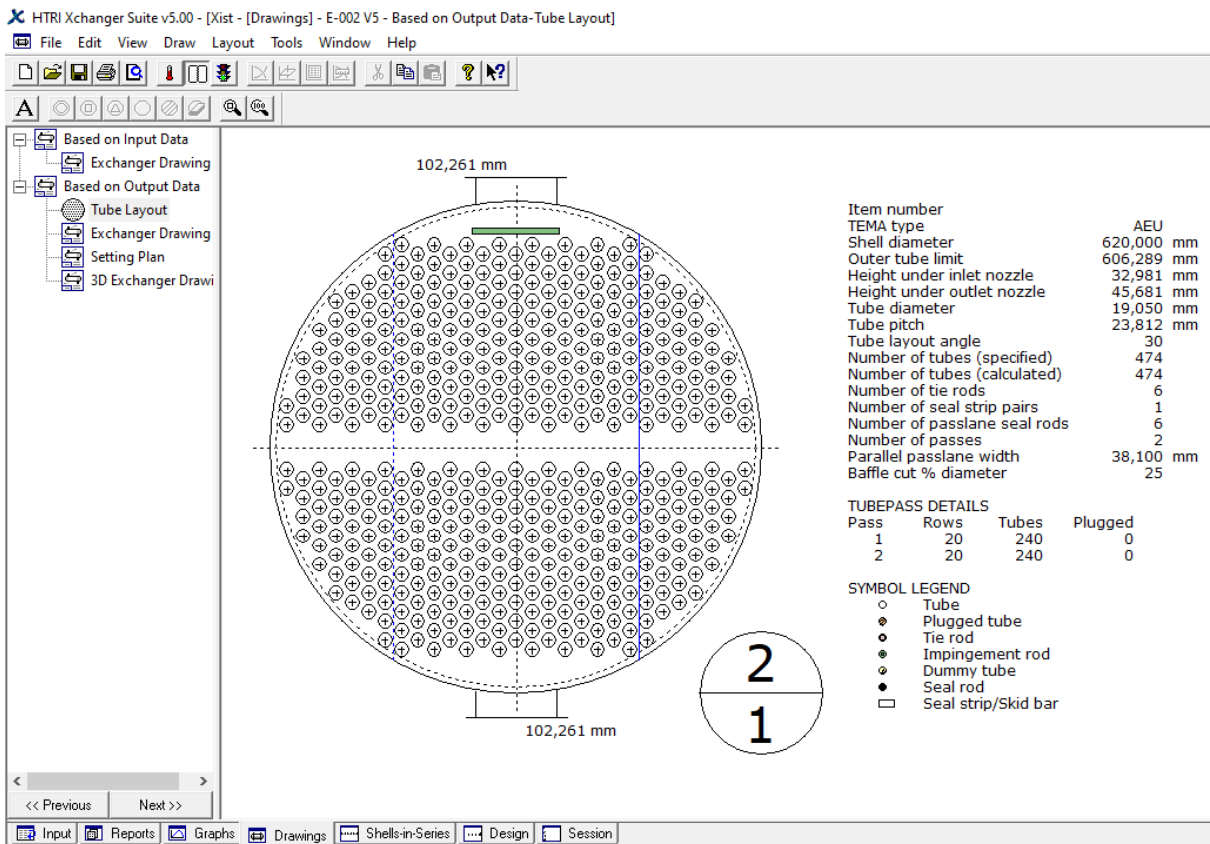


Figura 9- 9: Especificaciones de la distribución de los tubos.

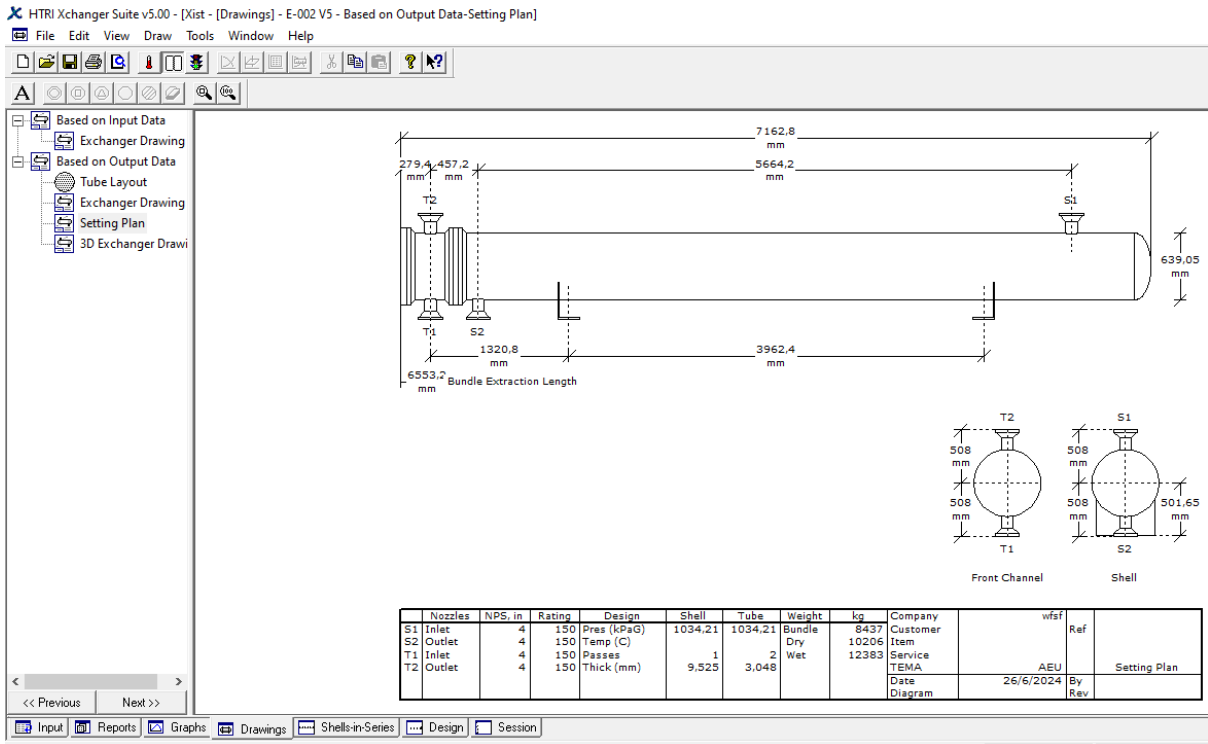


Figura 9- 10: Diámetros de las bridas de entrada y salida.

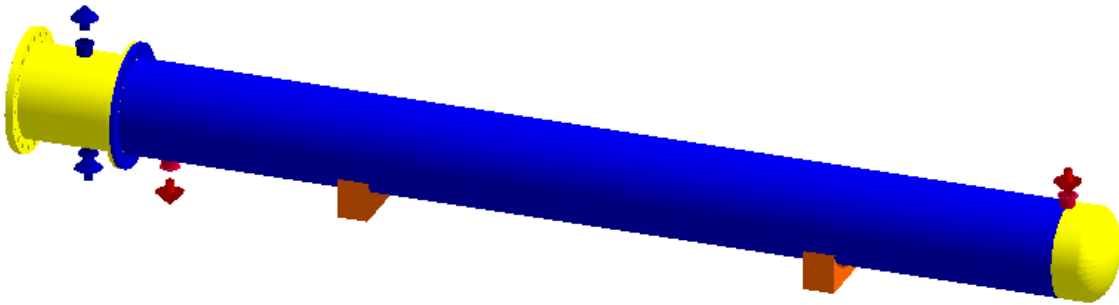


Figura 9- 11: Intercambiador de calor obtenido en HTRI.

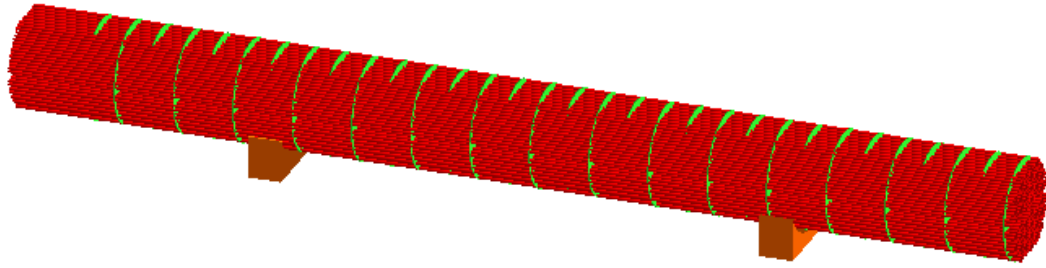
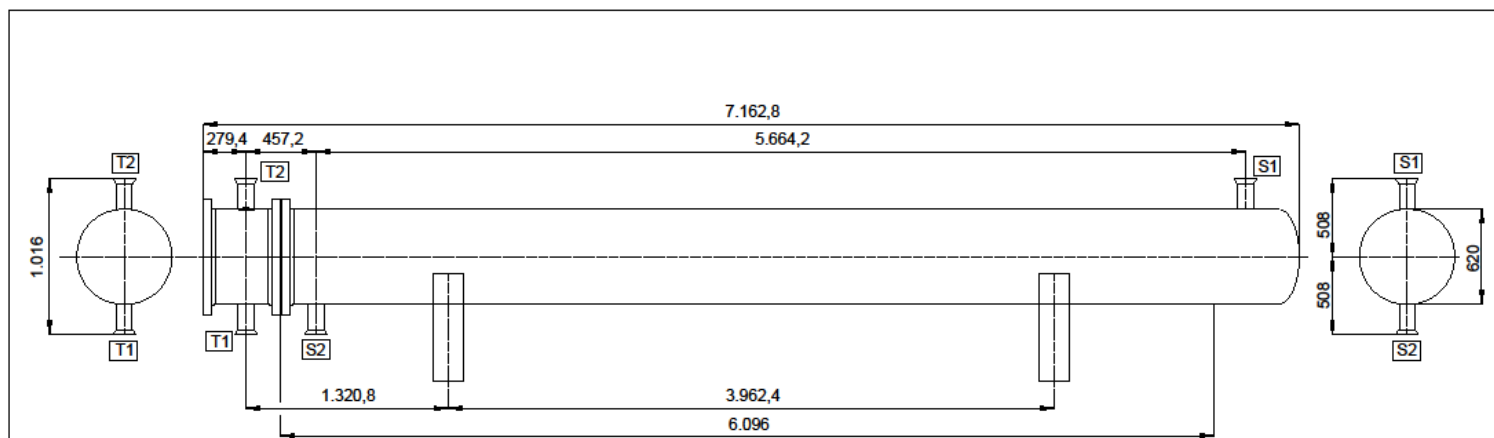



Figura 9- 12: Tubos y deflectores del intercambiador de calor en HTRI.



Conexiones	Lado de tubos	Brida (pulg)	Serie
T1	Ingreso lado tubos	4	150
T2	Salida lado tubos	4	150
S1	Ingreso lado envolvente	4	150
S2	Salida lado envolvente	4	150

Condiciones de operación	Lado de tubos	Lado envolvente
Temperatura de ingreso °C	30	55,4
Temperatura de salida °C	40	40
Presión de ingreso kPa	1000	750
Presión de salida kPa	981,184	730,1
Fluido	Agua	Metanol/óxido de propileno

Alumnos	Legajo	Docentes		Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional del Neuquén
Pichulmay, M	3188	Prof.	Ing. Krumrick, E	
Sanchez, K	3380	JTP.	Ing. Silva, C	
		Ayte.	Ing. Boltes, M	
Carrera	Ing. Química	Producción de óxido de propileno		
Año	2024	Intercambiador de calor E-002		
Proyecto Final				
Diseño				
Hoja N°1				
				

9.5. Diseño de tanque de almacenamiento

9.5.1. Introducción a tanques de almacenamiento de metanol

El almacenamiento de metanol en plantas petroquímicas implica una serie de precauciones específicas debido a la naturaleza del producto químico.

El cumplimiento de normativas de seguridad es fundamental para prevenir accidentes y garantizar un entorno de trabajo seguro para todos los involucrados.

Esta sección estará abocada al diseño tanto en detalle como de seguridad.

9.5.2. Códigos aplicables

En los Estados Unidos de Norteamérica y en muchos otros países del mundo, el diseño y cálculo de tanques de almacenamiento, hace referencia al “Instituto Americano del Petróleo”, al que esta institución designa como “STÁNDAR A.P.I 650” para tanques de almacenamiento a presión atmosférica y “STÁNDAR A.P.I 620” para tanques de almacenamiento sometidos a presiones internas cercanas a 1kg/cm² o 14psi.

El código a utilizar por el presente proyecto es el A.P.I 650 el cual establece pautas para diseños de tanques que almacenen fluidos líquidos y estén contruidos de acero con el fondo uniformemente soportado sobre grava, arena, asfalto.

Como se mencionó, deberán soportar presiones atmosféricas o presiones internas que no excedan el peso del techo por unidad de área y una temperatura no mayor a 93°C y que no utilicen sistemas de refrigeración.

9.5.3. Tipos de tanques

Los tanques son depósitos o recipientes utilizados para albergar o almacenar un determinado producto para luego utilizarlo internamente en el proceso o finalmente para comercializarlo.

Estos pueden ser:

- Cilíndricos horizontales.
- Cilíndricos verticales de fondo plano.

Para el correspondiente proyecto se utilizarán tanques verticales de fondo plano ya que nos permiten albergar grandes cantidades volumétricas de producto, considerándose los más económicos pero limitados en presiones de operación.

En la mayoría de las operaciones tanto en upstream como en downstream, que pueden incluir procesos petroquímicos, se utilizan tanques verticales API para almacenar materias primas,

subproductos y productos finales. Esto se debe a la gran estabilidad que ofrecen estos tanques, así como a la facilidad de acceso para su mantenimiento.

9.5.4. Tipos de techos

A su vez, el estándar A.P.I 650 nos permite clasificar los techos de los tanques en tres tipos:

- De techo fijo
- De techo flotante
- Sin techo

9.5.4.1. Techo fijo

Como su nombre lo expresa, no tiene la posibilidad de moverse por acción del nivel del líquido que se contenga en el mismo.

Generalmente se emplean para contener productos no volátiles o de bajo contenido de ligeros (no inflamables) como son: agua, diésel, asfalto, petróleo crudo, etc. Ya que, al disminuir la columna del fluido, se va generando una cámara de aire que facilita la evaporación del fluido, lo cual, es altamente peligroso.

Dentro de la clasificación de techos fijos se encuentra una subclasificación que se divide en techos cónicos, de domo y de sombrilla.

- El techo cónico es una cubierta con la forma y superficie de un cono recto.
- El tipo domo es un casquete esférico.
- El de tipo sombrilla, es un polígono regular curvado por el eje vertical.

9.5.4.2. Techo flotante

Se caracterizan por un techo que se encuentra flotando sobre la superficie del líquido almacenado, y se mueve hacia arriba y hacia abajo según el nivel del líquido dentro del tanque. Esto quiere decir que es un techo sellado y que está diseñado para mantener una barrera entre el líquido almacenado y el aire sobre él, minimizando la evaporación y/o contaminación. A su vez, cuentan con un sistema de seguridad más riguroso debiendo prevenir la acumulación de gases inflamables o tóxicos.

Estos tanques también son muy utilizados para la industria petrolera para almacenar tanto productos finales como intermediarios, naftas y todo compuesto que pueda variar su volumen debido a una inestabilidad. La finalidad de estos tanques, es evitar sobrepresiones en su interior.

Tanto para tanques con techos fijos, como para techos flotantes, comparten una clasificación en común es que estos pueden ser diseñados en techos autosoportados y soportados. Los primeros tienen las características de estar apoyados únicamente en su periferia, calculados y diseñados para que su forma geométrica en función de su espesor mínimo requerido, absorban la carga generada por su propio peso más las cargas vivas, mientras que los soportados contarán con una estructura que admita dicha carga.

9.5.4.3. Sin techo

Por último, los tanques de almacenamiento sin techo son comunes en ciertos tipos de almacenamiento industrial, donde la evaporación no es un problema crítico o donde el líquido almacenado no requiere protección contra la contaminación atmosférica. Ejemplos de estos, incluyen tanques utilizados para almacenar agua para el enfriamiento industrial, sistema de tratamientos de agua efluente, ciertos productos químicos a granel; y, en aplicaciones donde el acceso abierto al líquido es necesario para procesos de carga y descarga.

9.5.4.4. Selección del techo empleado

En cuanto a la selección del techo empleado para el presente tanque de almacenamiento de metanol, se optó por un techo fijo tipo cónico autosoportado.

Los tanques sin techo para estos tipos de fluidos no son recomendables debido a su volatilidad, es por ello que la selección va en función de un techo fijo o uno flotante.

Finalmente se escoge un techo fijo descartando así al techo flotante, debido a que las prestaciones para el almacenaje de esta sustancia son las mismas siempre considerando en su diseño la correspondiente válvula de presión y vacío. Cabe destacar, que esta sustancia no es un producto final obtenido dentro del proceso, sino que es un solvente.

Como ejemplo podemos mencionar que dentro del complejo industrial de Plaza Huincul (CIPH), dentro de zona de tanques hay existencia de tanques de techo fijo tanto cónicos como domos para el almacenamiento de metanol.

En cuanto a una segunda clasificación respecto a los tipos de tanques de techo fijos, nos encontramos con los soportados y autosoportados. En este sentido, la norma API 650 es bastante clara en enunciar que para tanques relativamente pequeños se recomienda la implementación de techos cónicos autosoportados, en este caso el volumen de tanque necesario es de 500 m^3 , aun así, para tanques de 5000 m^3 se siguen utilizando estos tipos de

techos. Esto se evidencia, en las dos plantas procesadoras de crudo más importantes de YPF en Loma Campana, PTC Lach y PTC Loma Campana.

El techo tipo domo es utilizado para grandes volúmenes de almacenamiento, que en general, requieren una estructura interna para mantener las cargas vivas y las de su propio cuerpo, tal es el caso, de la nueva terminal de despacho que está construyendo YPF también en Loma Campana, Cabo Vmon.



Ilustración 9- 1: Tanque de almacenamiento con techo flotante autosoportado (izquierda) y techo tipo domo estructurado. (Plaremesa, s.f.)

9.5.5. Elección del material a utilizar

El código no recomienda ni sugiere ningún material para ninguna aplicación en concreto, solamente indica y enumera los materiales con los que un tanque de almacenamiento puede construirse y los requerimientos que estos materiales deben cumplir. (American Petroleum Institute, 2020; García, 1994)

A continuación, se puede observar la lista de materiales que sugiere la norma API 650 para la implementación en los diseños de tanques.

Si bien, la gran mayoría de los materiales listados pueden ser implementados para el presente proyecto debido a que el espesor calculado (el cual se podrá ver reflejado más adelante en este capítulo) no supera los espesores permitidos para la gran mayoría de estos materiales.

En la industria de la petroquímica es muy frecuente el uso de aceros estructurales como es el caso del A-36 y de aceros al carbono como es el A-283-C. Este último es el que se utilizará a emplear en la construcción del tanque debido a que puede utilizarse para todo el conjunto estructural, además de contar con buena soldabilidad y es uno de los aceros más económicos utilizados.

Por otro lado, debido a las propiedades químicas de metanol, y para proteger al material de la corrosión, se puede aplicar un recubrimiento de pintura epóxido, para extender la vida útil del material.

Material	Grado	Descripción
A-36 Acero estructural	-	Para espesores iguales o menores de 38mm. Este material es aceptable y usado en perfiles, ya sean comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque.
A-131 Acero estructural	A	Para espesor menor o igual a 12,7 mm (1/2 plg)
	B	Para espesor menor o igual a 25,4 mm (1 plg)
	C	Para espesores iguales o menores a 38 mm (1-1/2 plg)
	EH36	Para espesores iguales o menores a 44,5 mm (1-3/4 plg)
A-283 Placas de acero al carbono con medio y bajo esfuerzo a la tensión	C	Para espesores iguales o menores a 25 mm (1 pulg). Este material es el más socorrido, porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque.
A-285 Placa de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión	C	Para espesores iguales o menores de 25,4 mm. (1 pulg). Es el material recomendable para la construcción del tanque (cuerpo, fondo, techo y accesorios principales), el cual no es recomendable para elementos estructurales debido a que tiene un costo relativamente alto comparado con los anteriores.
A-516 Placa de acero al carbón para temperaturas de servicio moderado	55,60, 65 y 70.	Para espesores iguales o menores a 38mm (1-1/2 plg). Este material es de alta calidad y, consecuentemente, de un costo elevado, por lo que se recomienda su uso en casos en que se requiera de un esfuerzo a la tensión alta, que justifique el costo.
A- 53	A y B	Para tubería en general.
A-106	A y B	Tubos de acero al carbono sin costura para servicios de alta temperatura. En el mercado nacional, es fácil la adquisición de cualquiera de estos dos materiales, por lo que puede usarse indistintamente, ya que ambos cumplen satisfactoriamente con los requerimientos exigidos por el estándar y la diferencia no es significativa en sus propiedades y costos.
A-105. Forja de acero al carbón para accesorios de acoplamiento de tuberías	-	-
A-181 Forja de acero al carbón para usos en general	-	-
A-193.	B7	Material para tornillos sometidos a alta temperatura y de alta resistencia, menores a 64 mm. (2-1/2 pulg), de diámetro.
A-194	2H	Material para tuercas a alta temperatura y de alta resistencia.
A-307	B	Material de tornillos y tuercas para usos generales.

Tabla 9- 9: Materiales empleados por la norma API 650/ASTM. (American Petroleum Institute, 2020)

9.5.6. Soldaduras en tanques de almacenamiento

El estándar A.P.I. 650, se auxilia del Código A.S.M.E. sección IX para dar los alineamientos que han de seguirse en la unión y/o soldado de materiales.

El Código A.S.M.E. sección IX, establece que toda junta soldada deberá realizarse mediante un procedimiento de soldadura de acuerdo a la clasificación de la junta y que, además, el operador deberá contar con un certificado que lo acredite como soldador calificado, el cual, le permite realizar cierto tipo de soldaduras de acuerdo con la clasificación.

Una vez realizada la soldadura o soldaduras, éstas se someterán a pruebas y ensayos tales como: ultrasonido, radiografiado, líquidos penetrantes, dureza, etc., donde la calidad de la soldadura es responsabilidad del fabricante. Al efectuar el diseño se deberán preparar procedimientos específicos de soldadura para cada caso.

Debido a que el esfuerzo mínimo a la tensión es de 5.625 Kg/cm^2 , los electrodos de arco manual deben estar hechos de materiales cuya clasificación sea AWS: E-60XX y E70XX. La tensión mínima aviene dada para el tipo de material empleado que en este caso es acero al carbono A-283-C, el cual presenta un esfuerzo de tensión de 3.870 Kg/cm^2 .

Este valor podrá verse representado más adelante en este capítulo cuando se vea el cálculo del espesor de las paredes.

Las soldaduras típicas entre placas de acero se muestran en la Figura 9-13. La cara de las juntas en "V" y en "U" puede estar en el exterior o en el interior del cuerpo del tanque, dependiendo de la facilidad para realizar la soldadura. Los cordones de soldadura en la zona del cuerpo y el fondo deben ser verticales, horizontales y paralelos; sin embargo, en el caso del techo, pueden ser radiales y/o circunferenciales.

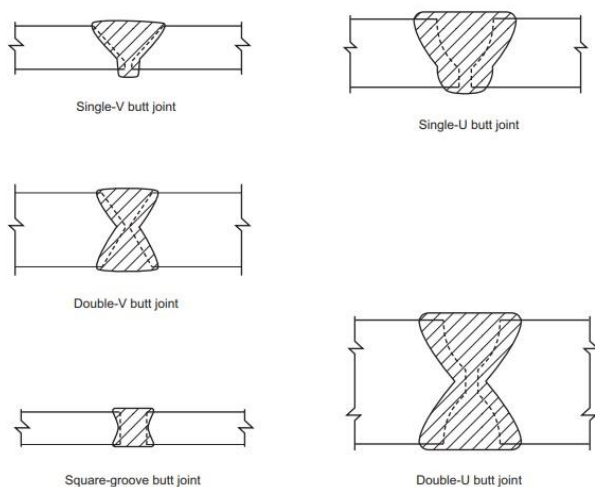


Figura 9- 13: Juntas en forma de "V" y "U", simple o doble soldadura. (American Petroleum Institute, 2020)

Las juntas verticales se caracterizan por ser de penetración y fusión completa, lo cual, se podrá lograr con una soldadura doble, de tal forma que se obtenga la misma cantidad del metal adherido en el interior y exterior del tanque. Estas no deben estar en hileras de revestimiento adyacentes, sino desplazadas entre si un mínimo de distancia de cinco veces el espesor de la placa (5t).

Como se puede observar en la Figura 9-14, el tercer esquema, “square-groove butt joint – complete penetration”, es un reflejo de cómo serán las soldaduras entre virolas desde abajo hacia arriba, debido a que las virolas del fondo poseerán un mayor espesor que las que subsiguientes hacia arriba.

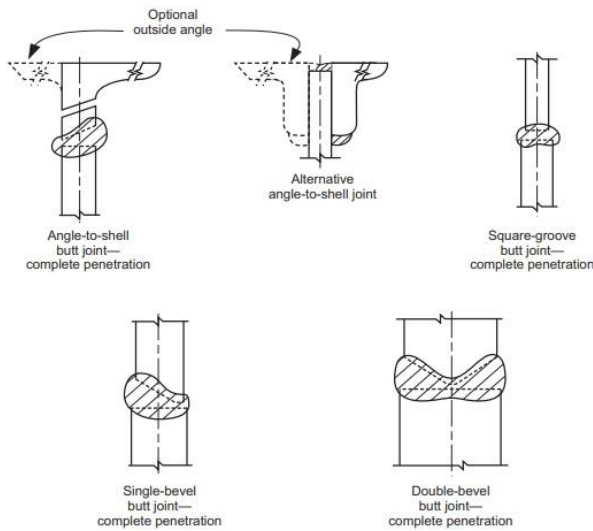


Figura 9- 14:Soldaduras verticales para diferentes tipos de materiales y diferentes ángulos de unión. (American Petroleum Institute, 2020)

En cuanto a las juntas horizontales, también deberán ser de penetración y fusión completa, excepto por la que se realiza en el ángulo de coronamiento y el cuerpo, las cuales pueden ser unidas por doble soldadura a traslape. A menos que otra cosa se especificada, la junta a tope con o sin bisel entre las placas del cuerpo, deberán tener una línea de centros o fibra media común.

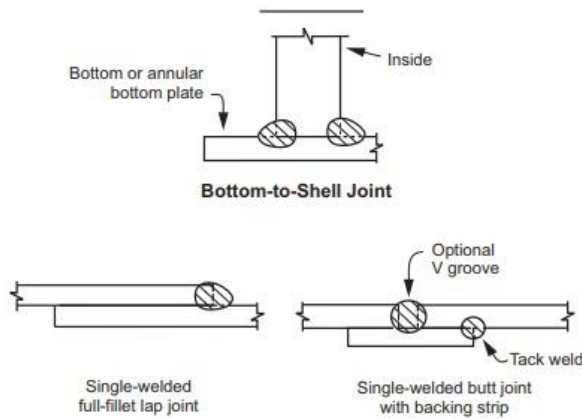


Figura 9- 15: Soldaduras horizontales a tope, con traslape. (American Petroleum Institute, 2020)

En cuanto a la soldadura del fondo deberá realizarse a tope, en donde los cantos (bordes de las placas) serán preparadas de tal manera que puedan recibir el cordón de soldadura, ya sean encuadrando o con biseles en forma de “V” como se pueden observar en las primeras imágenes. Si es utilizada esta técnica, la raíz de abertura no deberán tener una abertura mayor a 6,3mm.

Cuando se realicen juntas entre tres placas en el fondo del tanque, éstas deberán conservar una distancia mínima de 305 mm entre sí y/o con respecto a la pared del tanque.

Para la junta entre el cuerpo y el fondo, si el espesor de las placas del fondo o de las placas anulares es de 12,7 mm o menor (sin incluir corrosión), la unión entre el fondo y el canto de las placas del cuerpo deberá realizarse con un filete continuo de soldadura que cubra ambos lados de la placa del cuerpo. El tamaño de cada cordón, sin tomar en cuenta la corrosión permisible, no será mayor que 12,7mm y no menor que el espesor nominal de la placa más delgada a unir o menor que los siguientes valores en la Tabla 9-11.

Como los espesores de las siete virolas calculadas en ninguno de sus tramos supera los 4,76mm, la dimensión mínima para el cordón de soldadura entre el cuerpo y el fondo deberá ser de 4,76mm.

Máximo de espesor del tanque (mm)	Dimensión mínima del filete (mm)
4,76	4,76
> 4,76 – 19,05	6,35
> 19,05 – 31,75	7,93
> 31,75 – 44,45	9,52

Tabla 9- 10: Espesores de filete en función del espesor de placas. (American Petroleum Institute, 2020)

9.5.7. Accesorios exteriores de tanques

9.5.7.1. Boquillas en tanques de almacenamiento

Todos los tanques de almacenamiento deberán estar provistos de boquillas, las que a continuación se enlistan como las mínimas requeridas que deberán ser instaladas en los tanques de almacenamiento:

- 1.- Entrada de producto
- 2.- Salida de producto
- 3.- Drene (con o sin sumidero)
- 4.- Venteo
- 5.- Entrada de hombre
- 6.- Conexiones para indicador y/o control de nivel.

La Figura 9-16 permite ver con facilidad las boquillas mínimas y necesaria para el control de nivel y presión dentro de un tanque de almacenamiento, boquillas en las cuales se conectarán los diferentes sensores para tomar dichos datos.

A su vez, faltan resaltar ciertos elementos que ayudaran para el mantenimiento correctivo, si es que lo hubiese, en los diferentes paros de plantas dispuestos por la seguridad de la planta. Estos elementos son las entradas hombre laterales y entradas hombre en el techo, las cuales permitirán ingresar al recinto para realizar las correspondientes verificaciones de integridad del tanque.

Como el diseño de tanque está sometido presiones atmosféricas y a la columna del líquido almacenado, es decir, presiones muy inferiores, en las conexiones no existe un diseño exhaustivo, sino que se eligen de las diferentes tablas que presenta la norma API 650.

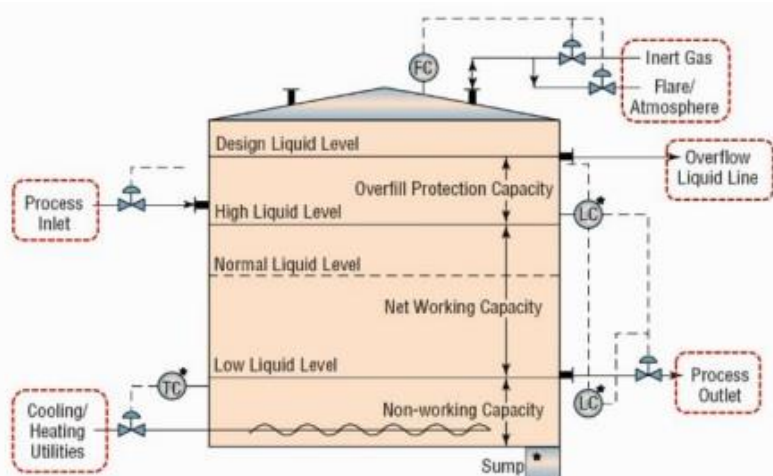


Figura 9- 16: Boquillas de un tanque de almacenamiento.

Para el caso específico de la entrada y salida de producto, se deberá calcular el área necesaria para la elección de la boquilla. En este caso la sustancia contenida en el tanque que va a estar siendo utilizada como solvente es metanol con un consumo de metanol fresco, dado que existe un recirculado recuperado de proceso, de 160 m³/h. Este dato corresponde con la boquilla de egreso, mientras que la boquilla de ingreso se seleccionara en función del volumen total del tanque el cual es de 520 m³.

Para realizar el cálculo del diámetro de la boquilla se supondrá una velocidad de descarga y carga del de 2 m/s para realizar los correspondientes cálculos, que es una velocidad acorde para el producto empleado. Para saber el caudal de entrada para así obtener el diámetro, es necesario contar con la hora o cantidad de horas que llevara a cabo llenar el tanque con los 520 m³.

A continuación, se presenta los cálculos para obtención de diámetros de boquillas necesarias para la entrada y salida de metanol.

Salida de metanol		Entrada de metanol	
Metanol utilizado m ³ /h	0,16	Metanol m ³ en tanque	520
Velocidad supuesta m/s	2	Llenado (h)	1
Velocidad supuesta m/h	7.200	Q caudal de ingreso (m ³ /h)	520
Área (m ²)	2,220E-05	Velocidad supuesta (m/s)	2
D (m)	0,0053	Velocidad supuesta m/h	7.200
D (mm)	5,32	Área (m ²)	0,072
D (cm)	0,53	D (m)	0,3033
		D (mm)	303,32

Tabla 9- 11: Cálculos para estimación de diámetros internos de boquillas.

En función de las tablas estandarizadas que presenta la norma API 650 para el caso de la entrada de metanol se precisará una boquilla de 303,32 mm. Donde la que más se asemeja a esta dimensión es la boquilla de 305mm con un diámetro exterior de 324mm, es decir, una brida de aproximadamente 12”, con una placa de refuerzo, la cual puede ser en forma de diamante o circular (Figura 9-17).

La placa de refuerzo tiene un diámetro interior de DR/2 el cual corresponde a 163,5mm, una longitud de lado “L” de 685 mm y un ancho de placa de placa de refuerzo “W” igual a 638 m. Mientras que, para la salida de metanol al tener un caudal pequeño, se tendrá una boquilla pequeña, en donde se opta por la utilización de un diámetro de 3 para evitar obstrucción de

flujo, y a su vez, poder alimentar el proceso con un mayor flujo en los arranques de planta sin tener inconvenientes.

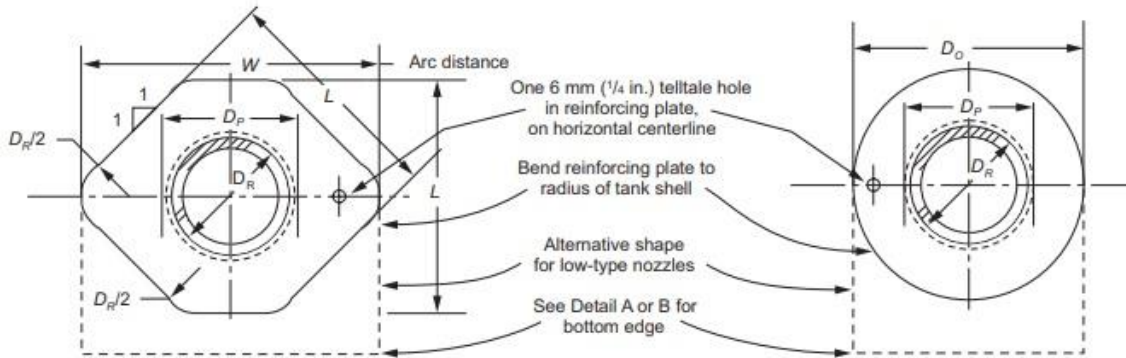


Figura 9- 17: Placa de refuerzo. (American Petroleum Institute, 2020)

Con respecto a las soldaduras, dado que los cálculos posteriores indican que los espesores del cuerpo y de la placa de refuerzo son de 4,76 mm, se requiere una soldadura con un ancho de filete de 6,35 mm para boquillas mayores y menores de 2 pulgadas (50,8 mm), que es el caso de todas las conexiones utilizadas en el tanque. (American Petroleum Institute, 2020)

Para elección de las bridas que irán conectadas a las boquillas la norma también tiene una estandarización con ayuda de ANSI B16.5 y B16.20. Las dimensiones y características de las bridas slip-on(roscadas) y welding-neck(soldadas) con diámetro de 38 a 508 mm (1 ½ a 20 pulg.) y la de 610 mm (24 pulg.), son idénticas a lo especificado en ANSI B16.5 para clase 150 en bridas de acero. Las dimensiones y características para bridas con diámetros de 762, 914, 1067, y 1219 mm (30, 36, 42, y 48 pulg.) están unificadas con ANSI b16.1 para clase 125 de bridas de acero forjado; las dimensiones de las bridas mayores pueden estar conforme a ANSI/API 605.

9.5.7.2. Escaleras y plataformas

Las escaleras, plataformas y barandales tienen la finalidad de situar al personal que así lo requiera, en una zona del tanque que necesite de constante mantenimiento o supervisión, generalmente sobre el techo donde se localizan diversas boquillas y la entrada hombre, además de brindar protección y seguridad al personal.

9.5.7.3. Requerimientos para plataformas y pasillos

De acuerdo a las normas API 650:

- 1.- Todos los componentes deberán ser metálicos.
- 2.- El ancho mínimo del piso será de 610mm. (24 pulg).
- 3.- Todo el piso deberá ser de material antiderrapante.
- 4.- La altura del barandal a partir del piso será de 1.067mm. (42 pulg).
- 5.- La altura mínima del rodapié será de 76mm. (3 pulg).
- 6.- El máximo espacio entre el suelo y la parte inferior del espesor de la placa del pasillo será de 6.35mm. (1/4 pulg).
- 7.- La altura del barandal central será aproximadamente la mitad de la distancia desde lo alto del pasillo a la parte superior del barandal.
- 8.- La distancia máxima entre los postes del barandal deberá ser de 1.168mm. (46 pulg).
- 9.- La estructura completa tendrá que ser capaz de soportar una carga viva concentrada de 453 kg (1.000 lb), aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto del barandal.
- 10.- Los pasamanos estarán en ambos lados de la plataforma, y estarán interrumpidos donde sea necesario para un acceso.
- 11.- Cualquier espacio mayor de 152 mm (6 pulg) entre el tanque y la plataforma deberá tener piso.
- 12.- Los corredores de los tanques que se extienden de un lado al otro del suelo o a otra estructura deberán estar soportados de tal manera que tenga un movimiento relativo libre de las estructuras unidas por los corredores; ésta puede estar acompañada por una firme atadura del corredor a los tanques, además del uso de una junta corrediza o de dilatación en el puente de contacto entre el corredor y el otro tanque (este método permite que en caso de que un tanque sufra ruptura o algún movimiento brusco, el otro no resulte dañado).

9.5.8. Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento bajo el estándar API 650

La adecuada definición de las condiciones de diseño es fundamental para el diseño satisfactorio.

En algunos casos, la dificultad que se puede presentar en un diseño, no radica en el cálculo mecánico propiamente, sino en la definición de las condiciones de diseño. Algunos requerimientos de diseño que deben ser tomados en consideración son:

- Presión de operación.
- Temperatura del fluido.
- Caracterización del fluido (como ser peso específico).
- Cargas a las que está sometido el tanque como peso propio, cargas vivas o muertas.
- Volumen de líquido a almacenar.

- La corrosión admisible.
- Los requerimientos externos de viento, sismo, nieve.
- La capacidad del tanque: diámetro, altura, altura neta.
- Consideraciones de fabricación.

Se podrá especificar el material a utilizar en el tanque, así como el de sus componentes.

Mientras que el fabricante podrá sugerir los materiales recomendables en cada caso para que el dueño de la instalación los apruebe. (Gonzalez, 2018)

A continuación, se puede observar un esquema que permite tener noción de los diferentes instrumentos que son necesarios para el diseño de un tanque de almacenamiento bajo norma API 650.

En esta sección, se llevará a cabo un diseño más exhaustivo de las partes más importantes de un tanque, estos son el cuerpo, el techo y piso del tanque.

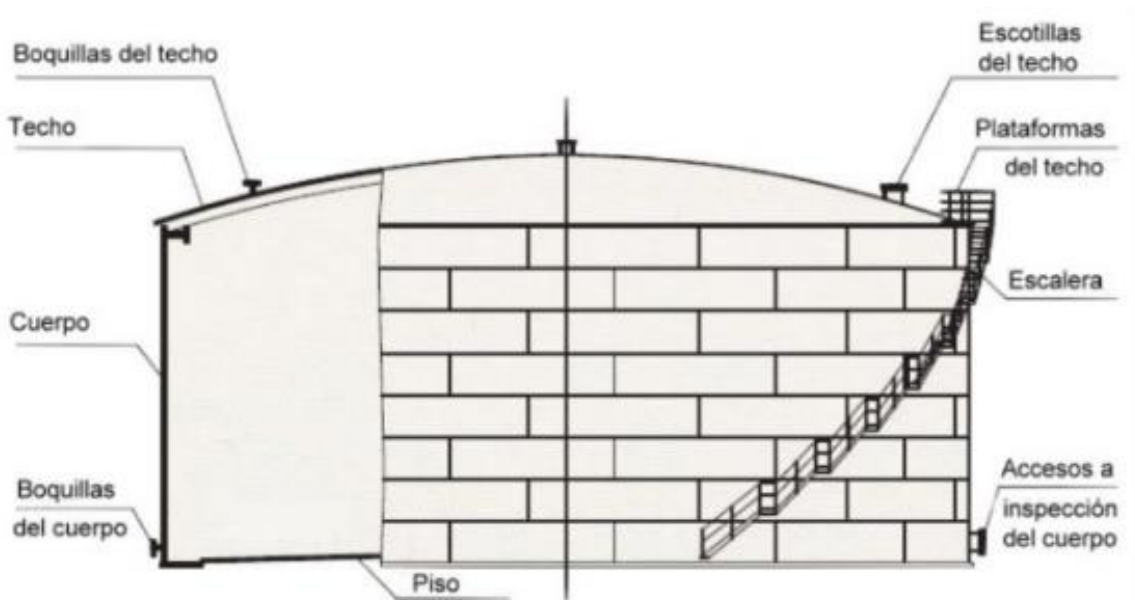


Figura 9- 18: Elementos que componen el diseño de un tanque.

9.5.8.1. Diseño y cálculo de la envolvente del tanque (cuerpo)

La pared del tanque es el componente más grande y crítico de los tanques de almacenamiento, representando aproximadamente el 60% del material total utilizado. La pared del tanque se construye a partir de placas comerciales con dimensiones de ancho y largo estándar según la procedencia del material.

Uno de los aspectos más importante para el diseño del cuerpo de un tanque, es la selección del material, dado que desde allí nacen todas las propiedades y condiciones necesarias para el

cálculo de espesores y cargas que soportara dicho tanque. Como se mencionó anteriormente en la sección de materiales propuestos, el tipo de material a usar es el acero al carbono A-283-C.

El espesor de la pared del cuerpo requerido para resistir la carga hidrostática será mayor que el calculado por condiciones de diseño o por condiciones de prueba hidrostática, pero en ningún caso será menor a lo que señala la siguiente tabla.

Diámetro nominal en metros	Espesor mínimo en mm
< 15.24	4.76
15.24 < 36.576	6.35
36.576 < 60.96	7.93
> 60.96	9.52

Tabla 9- 12: Espesores mínimos de virolas.

Cuando sea posible, el tanque podrá ser llenado con agua para la prueba hidrostática, pero si esto no es posible y el cálculo del espesor por condiciones de prueba hidrostática es mayor que el calculado por condiciones de diseño, deberá usarse el obtenido por condiciones de prueba hidrostática.

Existen dos métodos para calcular el espesor de las virolas que componen la envolvente de un tanque:

- Para tanques con un diámetro inferior a 61 m, el método de cálculo de los espesores de virola es el Método del Pie.
- Para tanques con un diámetro superior a 61 m, el método de diseño utilizado para el cálculo de los espesores de las virolas es el Método del Punto Variable.

En el desarrollo de este proyecto se emplea el primer método dado que no se cuenta con tanques de mayores diámetros. De todas maneras, cada método aplica dos procedimientos de diseño del espesor: por condición de diseño en base al nivel del líquido, tomando la densidad relativa del producto a almacenar; y por condiciones de prueba hidrostática considerando el mismo nivel de diseño, pero utilizando la densidad relativa del agua. La opción más desfavorable permite obtener el espesor óptimo.

La carga actuando sobre una pared de almacenamiento y que define su espesor es la presión hidrostática del fluido, es decir, el nivel máximo del líquido en operación normal y la columna de líquido debido a la prueba hidrostática.

El esfuerzo calculado de la carga hidrostática para cada anillo (virola) no deberá ser mayor que el permitido por el material y su espesor no será menor que el de los anillos subsecuentes.

El esfuerzo máximo permisible de diseño (S_d) y de prueba hidrostática (S_t) recomendado por el estándar API 650 en el diseño de tanques de almacenamiento en la Tabla 9-13.

Debido a que el material empleado es el acero al carbono A-283-C, los esfuerzos permisibles para diseño del espesor de pared del tanque para este material será de 1.410 Kg/cm^2 ($138,27 \text{ MPa}$) utilizando la densidad relativa del fluido a almacenar (metanol), mientras que el esfuerzo de prueba será de 1.580 Kg/cm^2 ($154,94 \text{ MPa}$).

El cálculo de espesores del cuerpo por el método de un pie se calcula el espesor de la pared de un tanque, por condiciones de diseño y por prueba por hidrostática, considerando una sección transversal ubicada a $304,8 \text{ mm}$, es decir, un pie por debajo de cada unión de cada anillo/virola como se muestra en la Figura 9-19.

Debido a que el material empleado es el acero al carbono A-283-C, los esfuerzos permisibles para diseño del espesor de pared del tanque para este material será de 1.410 Kg/cm^2 ($138,27 \text{ MPa}$) utilizando la densidad relativa del fluido a almacenar (metanol), mientras que el esfuerzo de prueba será de 1.580 Kg/cm^2 .

El cálculo de espesores del cuerpo por el método de un pie se calcula el espesor de la pared de un tanque, por condiciones de diseño y por prueba por hidrostática, considerando una sección transversal ubicada a $304,8 \text{ mm}$, es decir un pie, por debajo de cada unión de cada anillo/virola como se muestra en la siguiente imagen ilustrativa de como por cada anillo se va calculando el espesor. (American Petroleum Institute, 2020)

Materiales más comunes y esfuerzos permisibles					
Especificación	Grado	Esfuerzo en punto cedencia	Esfuerzo a la tensión	Esfuerzo de diseño	Esfuerzo de prueba
ASTM					
A-283	C	2.110	3.870	1.410	1.580
A-285	C	2.110	3.870	1.410	1.580
A-131	A, B, CS	2.390	4.080	1.600	1.750
A-36		2.530	4.080	1.630	1.750
A-131	EH36	2.580	4.990	1.200	2.140
A-442	55	2.110	3.870	1.410	1.580
A-442	60	2.250	4.220	1.500	1.690
A-573	58	2.250	4.080	1.500	1.690
A-573	65	2.460	4.570	1.640	1.850
A-573	70	2.950	4.920	1.970	2.110
A-516	55	2.110	3.870	1.410	1.580
A-516	60	2.250	4.220	1.500	1.690
A-516	65	2.460	4.570	1.640	1.850
A-516	70	2.670	4.920	1.780	2.000
A-662	B	2.810	4.570	1.830	1.960
A-662	C	3.020	4.920	1.970	2.110
A-537	1	3.510	4.920	1.970	2.110
A-537	2	4.220	5.620	2.250	2.410
A-633	C, D	3.510	4.920	1.970	2.110
A-678	A	3.510	4.920	1.970	2.110
A-678	B	4.220	5.620	2.250	2.410
A-737	B	3.510	4.920	1.970	2.110

Tabla 9- 13: Esfuerzos permisibles en kg/cm^2 para diferentes materiales ASTM.

Como se puede observar, a medida que se colocan las virolas una encima de otra, el perfil de espesores disminuye a medida que aumenta el nivel del líquido. Esto se debe a que la carga que deben soportar estos anillos o virolas es cada vez menor debido a la presión hidrostática del fluido almacenado.

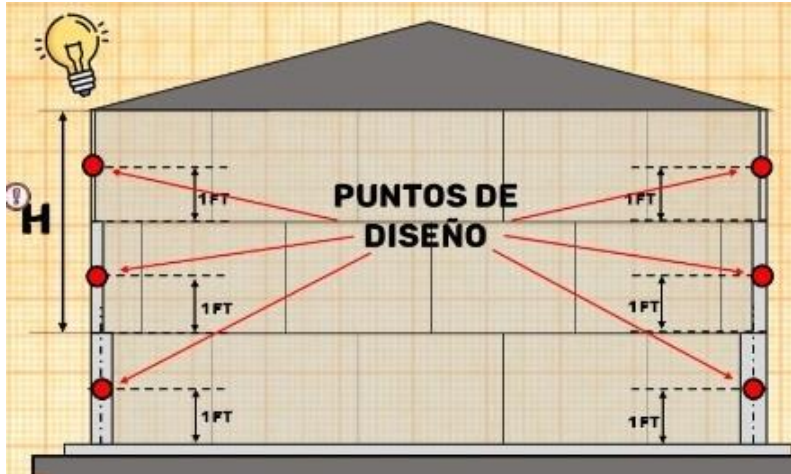


Figura 9- 19: Método de un pie para espesores de un tanque.

Para realizar dicho cálculo este método se basa en dos fórmulas en donde ya se encuentra descontado ese pie de distancia.

Ecuación 1:

$$t_d = \frac{4,9D(H - 0,3)G}{s_d} + CA$$

Ecuación 2:

$$t_t = \frac{4,9D(H - 0,3)}{s_t}$$

Los términos utilizados se detallan a continuación:

D: Diámetro nominal del tanque (m).

H: Altura de diseño del nivel del líquido (m).

G: Densidad relativa del líquido a almacenar o del agua para el cálculo de la prueba hidrostática.

CA: Corrosión admisible (mm).

Sd: Esfuerzo permisible por condiciones de diseño (MPa).

St: Esfuerzo permisible por condiciones de prueba hidrostática (MPa).

9.5.8.2. Cálculo de altura, volumen y diámetro

Antes de comenzar con los cálculos de espesores por el método de un pie, es necesario conocer algunos datos primordiales, ya que se necesitan para el cálculo y para el dimensionamiento total del tanque.

En una primera instancia en el “Capítulo 7: Layout”, se tomó un aproximado del volumen

necesario calcular los recintos para contención de derrames, obteniendo un volumen de 516,4 m³.

En esta instancia, se hará el dimensionamiento tanto de volumen, altura y diámetro del correspondiente tanque de almacenamiento de metanol, bajo norma API 650.

Sabemos que el volumen un tanque tiene una forma cilíndrica, por lo tanto, el volumen de un cilindro se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi D^2 H}{4}$$

Para darle una primera aproximación al diámetro y la altura necesaria para el diseño, se utilizará el volumen propuesto anteriormente, pero de aquí surge que se tiene una ecuación con dos incógnitas (D, H), por tanto, se procede a utilizar una expresión muy utilizada y conocida para dar una primera aproximación, esta es H/D=1,5.

Reemplazando H=1,5D en la ecuación donde el único dato que teníamos era el volumen, podemos despejar fácilmente el diámetro y luego obtener la altura.

De esto se obtiene una primera aproximación tanto en diámetro como en altura, los cuales podemos utilizar para empezar a utilizar las tablas propuesta por norma API 650 y así obtener estos valores reales. (Quispe & Aguilar, 2019; American Petroleum Institute, 2020)

De esta aproximación, se obtuvo la siguiente información:

-Volumen: 516,4 m³

-Altura: 7,5 m

-Diámetro: 11,8 m

De acuerdo a la norma API 650, tomando de base el diámetro, se puede obtener la relación de volumen en m³ por metro de altura, en este caso sería 113m³ equivalente a 1 metro en altura.

Teniendo de referencia el diámetro de 7,5m, se multiplica cada m³ por la cantidad de metros en altura necesarios para llegar a un volumen cercano de 516,04m³.

Luego, con la siguiente fórmula propuesta por la norma, se obtiene el volumen final necesario para el almacenamiento de metanol, el cual es de 521m³.

$$C = 0,785D^2H$$

Una vez calculados estos parámetros se puede continuar con el cálculo de espesores por el método de un pie, se reflejan los resultados obtenidos para información que se fue suministrando.

Virola	Altura de la virola(m)	Td	Tt
1	8	5,38	2,69
2	6,4	4,89	2,13
3	4,8	4,39	1,57
4	3,2	3,89	1,01
5	1,6	3,4	0,45

Tabla 9- 14: Espesores de pared para las virolas que componen el tanque.

De las ecuaciones mencionadas anteriormente, se utilizó la densidad relativa del metanol la cual tiene un valor de 0,792.

Td se refiere a los espesores obtenidos para la condición de diseño y es por ello, que se utilizó el esfuerzo permisible por diseño (138,27 Mpa), mientras que Tt es el espesor de pared utilizado para la condición de prueba hidrostática utilizando su correspondiente esfuerzo permisible (154,94Mpa).

Es importante denotar, que de estos dos espesores se escoge del que tenga mayor valor, en este caso los espesores utilizados van a ser los calculados por la condición de diseño y no los calculados por condición de prueba hidrostática.

La altura H que se refleja en la fórmula de este método no es solo la altura total del tanque, sino que esta altura va cambiando a medida que se va posicionando en la unión de cada virola. En este caso se optó por una altura de virola de 1,6 metros dado que es un valor comercial de material, obteniendo una altura total de 8 metros de tanque, esta distancia es comúnmente llamada altura de la envolvente que es diferente a la altura del nivel del líquido, el cual es de 7,5 metros.

Por lo tanto, para resumir este tanque contará con 5 virolas de 1,6 metros de altura cada una. Las virolas se irán formando a medida que se vayan soldando las placas de acero una con otra horizontalmente, siguiendo las soldaduras mencionadas al inicio del capítulo, hasta formar la circunferencia. La primera, por ejemplo, tendrá que tener un espesor de 5,38 mm y se entiende que como es la primera virola soldada al fondo del tanque deba ser la de mayor espesor para soportar toda la carga del tanque de almacenamiento.

9.5.8.3. Diseño y cálculo del techo

El tipo de techo empleado será un techo fijo, tipo cónico autosoportado. El mismo tendrán como máximo una pendiente de 9:12 (37°), y como mínimo 2:12 (9.5°), con respecto a la horizontal. (American Petroleum Institute, 2020).

Para este tipo de techos, se recomienda un espesor de 4,76 mm. a 9,52 mm. y en base a estos

espesores se obtiene la pendiente más conveniente, dentro de las limitantes especificadas con anterioridad, de forma que el techo no sea demasiado pesado y a su vez, no presente dificultad para su fabricación.

Para el cálculo de espesor del techo será mediante la siguiente ecuación propuesta por la norma API 650.

$$Tt = \frac{D}{4800 \text{Sen}\theta} \sqrt{\frac{Cm + Cv}{220}}$$

Donde:

Tt: Espesor mínimo requerido (mm)

D: Diámetro medio del tanque (cm)

θ : Angulo con respecto a la horizontal (grados)

Cm: carga muerta (kg/m^2)

Cv: carga viva (kg/m^2)

Este espesor será incrementado cuando la suma de las cargas muertas más las cargas vivas excedan 220 kg/m^2 , más cualquier corrosión permisible. Este incremento será la raíz cuadrada que se observa en la ecuación, si tal suma no es mayor al valor especificado, a la ecuación se le elimina el término de la raíz.

La norma API 650 da como referencia un valor de carga viva Cv igual a 1 Kpa ($101,97 \text{ kg/m}^2$) y para obtener la carga muerta del techo podremos obtenerla de:

$$W = \rho * V_{techo} * g$$

Donde:

ρ : Densidad del acero (kg/m^3)

V_{techo} : Volumen del techo (m^3)

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2)

Para obtener el volumen del techo necesitamos conocer el área total y la altura de este. Donde el área total se puede obtener mediante la resta del área del cono debido a la forma que va a poseer el techo y la entrada hombre que poseen los techos para inspecciones.

$$A_{total\ techo} = A_{total\ cono} - A_{entrada}$$

El área de la entrada la obtendremos en base a la norma API 650, dado que es una boquilla más que se encuentra especificada más arriba en este capítulo donde especifica una entrada hombre de 610 mm. Por tanto, el área de esta entrada hombre estará expresada por la siguiente ecuación:

$$A_{entrada} = \pi * R^2$$

$$A_{entrada} = 0,292m^2$$

Ahora para obtener el área del cono del techo, se realizará la suma de su área lateral y su base. Esta área estará definida por:

$$A_{total\ cono} = \pi * R * ge + \pi * R^2$$

$$ge = \sqrt{h^2 + R^2}$$

Donde:

ge: generatriz del cono (m).

h: altura del cono (m)

R: radio del cono (m)

El radio utilizado para el cálculo de la generatriz y el área total del cono es de 3,75 m (la mitad del diámetro utilizado para el tanque). Mientras que la altura empleada fue de 1 metro.

Por lo tanto, el área total del cono será igual a:

$$A_{total\ cono} = (3,14 * 3,75 * \sqrt{0,2^2 + 3,75^2}) + (3,14 * 3,75^2)$$

$$A_{total\ cono} = 88,38\ m^2$$

Para sacar el área total del techo solo queda restar el área del cono y el área de la entrada hombre, esta última se resta debido a que no formara parte de la carga ejercida sobre el techo.

Por consiguiente:

$$A_{total\ techo} = 88,38m^2 - 0,292m^2$$

$$A_{total\ techo} = 88,08m^2$$

El último dato que necesitamos conocer antes de determinar la carga ejercida en el techo es su volumen. Dado que la altura definida para el techo es de 0,2 metros, solo queda multiplicar el área total del techo por esta altura. Por lo tanto, el volumen del techo será de 17,62 m³.

Para finalizar, se obtendrá la carga del techo definida por $W = \rho * V_{techo} * g$.

La carga para el diseño de techo será:

$$W = 7850 * 17,62 * 9,8$$

$$W = 1355,24\ KN$$

$$W = 1568,91\ Kg/m^2$$

En base a la carga total entre la suma de las cargas vivas y muertas que se obtuvo, la cual fue de 1.670,88 kg/m².

Se procederá a obtener la mejor pendiente (ángulo de inclinación del techo).

θ	Seno (θ)	T (mm)
37	0,6018	1,57
36	0,5877	1,61
35	0,5735	1,64
34	0,5591	1,69
33	0,5446	1,73
32	0,5299	1,78
31	0,515	1,83
30	0,5	1,89
29	0,4848	1,95
28	0,4695	2,01
27	0,4539	2,08
26	0,4384	2,15
25	0,4226	2,23
24	0,4067	2,32
23	0,3907	2,41
22	0,3746	2,52
21	0,3583	2,63
20	0,342	2,76
19	0,3255	2,90
18	0,309	3,05
17	0,2923	3,23
16	0,2756	3,42
15	0,2588	3,65
14	0,2419	3,90
13	0,2249	4,19
12	0,2079	4,54
11	0,1908	4,94
10	0,1736	5,43
9,5	0,165	6,03

Tabla 9- 15: Espesores de techos para diferentes ángulos.

Lo que se buscó al obtener los diferentes espesores para todos los ángulos en un rango (37° a $9,5^\circ$), es evaluar el mejor espesor de diseño debido a que la norma también establece un rango de espesores convenientes para el diseño, de 4,76 mm a 9,52mm.

Como se puede observar en la Tabla 9-15, cualquier ángulo de pendiente cumple con los requisitos que la norma establece, teniendo en cuenta las cargas que debe soportar el techo.

Por lo tanto, se utilizará un ángulo de 10° para el diseño del mismo.

9.5.8.4. Diseño de fondo de tanque

Para garantizar la adecuada operación del tanque, se deben considerar varios factores: los cimientos utilizados para soportarlo, el método de evacuación del producto almacenado, el grado de sedimentación de sólidos en suspensión, la corrosión en el fondo y el tamaño del tanque. En este contexto, se recomienda el uso de un fondo plano, y la resistencia permisible del suelo deberá ser de al menos 1.465 kg/cm². (American Petroleum Institute, 2020).

Para prevenir deformaciones durante el proceso de soldadura, se utilizarán placas con un espesor mínimo nominal de 6,3 mm y una densidad de 49,8 kg/m², excluyendo cualquier corrosión permisible especificada por el usuario, que en este caso es de 2 mm para el material empleado. El material utilizado es acero al carbono A-283-C, que es adecuado para todas las partes del tanque, incluido el fondo. Como se muestra en la siguiente tabla, dado que el espesor de las virolas es significativamente menor que 19,05 mm y el esfuerzo permisible para la prueba hidrostática del acero no supera los 1.989 kg/cm², se empleará un espesor mínimo de 6,35 mm.

Espesor mínimo (mm) del primer anillo del cuerpo	Esfuerzo calculado para prueba hidrostática en el primer anillo del cuerpo (kg/cm ²)			
	<1.989	<2.109	<2.320	<2.530
T < 19,05	6,35	6,35	7,14	8,73
19,05 < 25,4	6,35	7,14	9,52	11,11
25,4 < 31,75	6,35	8,73	11,91	14,28
31,75 < 38,10	7,93	11,11	14,28	17,46
38,10 < 44,45	8,73	12,7	15,87	19,05

Tabla 9- 16: Espesores mínimos de placas de fondo y placas anulares.

El fondo tendrá que ser de un diámetro mayor que el diámetro exterior del tanque, por lo menos, 51 mm más en el ancho del filete de soldadura de la unión entre cuerpo y el fondo. Como el tanque posee un diámetro de 11,8 m, el fondo deberá tener al menos un diámetro de 11,851 m, lo que se llevará el diámetro de las placas de acero en el fondo a un valor acorde de 11,86 m.

Por debajo las placas unidas para formar el fondo del tanque, se proveerá de una placa anular con el fin de aliviar tensión sobre este fondo. Tal placa anular tendrá un ancho radial descrito a continuación:

$$A = \frac{2153tb}{(HG)^{0,5}}$$

A: ancho radial (cm)

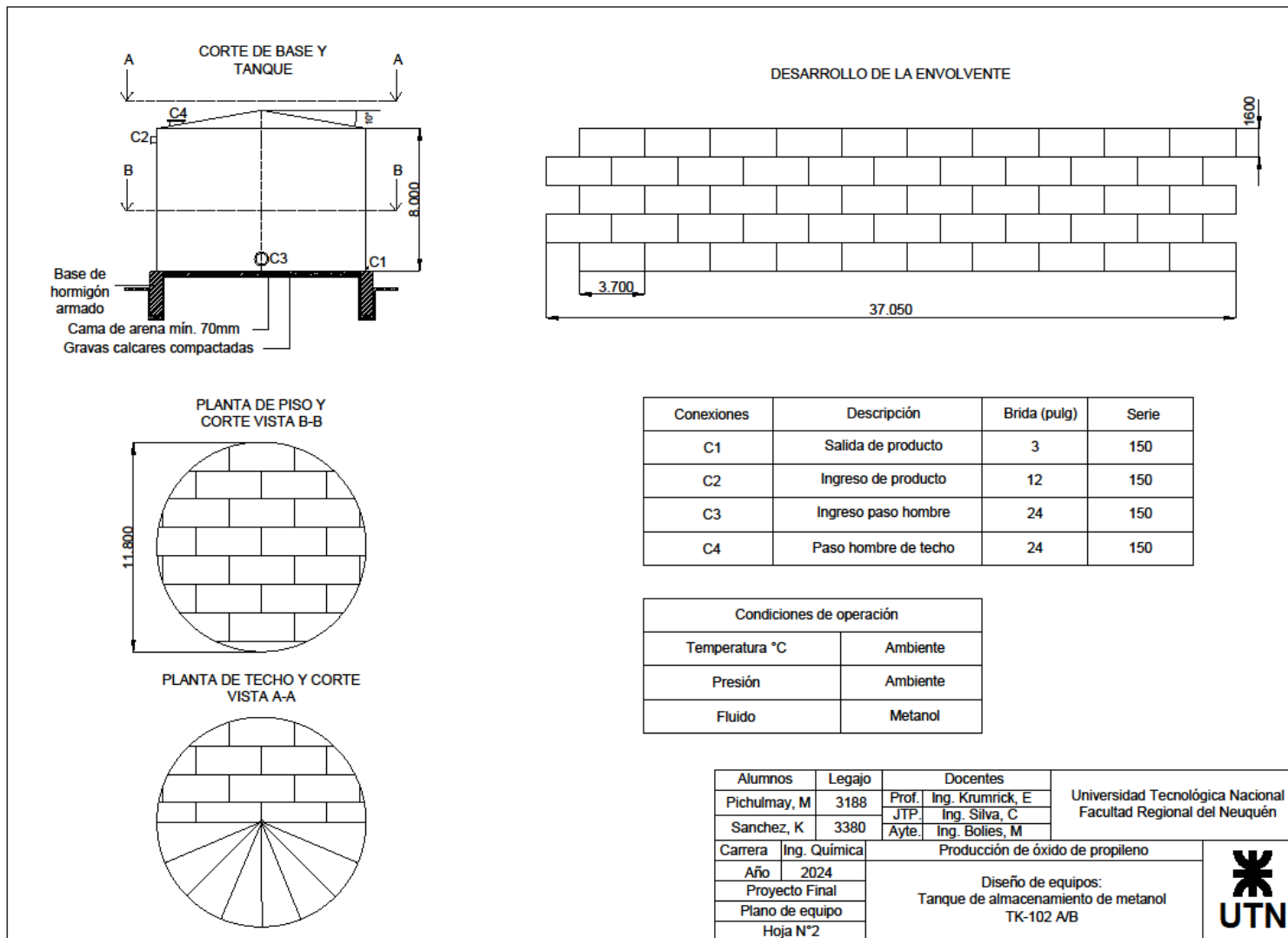
Tb: espesor de placa anular (cm)

H: nivel máximo de diseño del líquido (cm)

G: densidad relativa del líquido.

$$A = \frac{2153 * 0,635cm}{(11,78cm * 0,792)^{0,5}}$$

$$A = 44,76 \text{ cm}$$

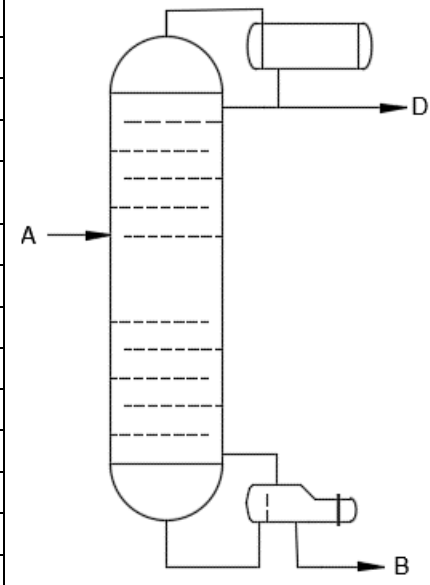


9.6. Hojas de datos de equipos

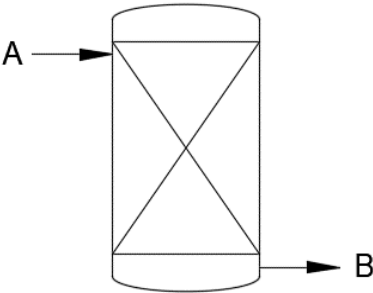
9.6.1.E-202

Intercambiador de calor de tubo y coraza				
TAG	E-202			
Área	200			
Datos de operación				
Parámetros	Tubos		Coraza	
Fase	Líquido		Líquido	
Fluido	Agua		Metanol/óxido de propileno	
Flujo másico (kg/s)	24,44		14,64	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Presión kPa	1000	980,12	750,01	731,2
Caída de presión kPa	19,88		18,81	
Temperatura °C	30	40	55,42	40
Datos de construcción				
Norma de diseño	TEMA			
Clasificación TEMA	AEU			
Orientación	Horizontal			
Material	Acero al carbono			
Temperatura de diseño °C	70			
Presión de diseño coraza kPa	900			
Presión de diseño tubos kPa	1200			
Diámetro de coraza	0,62			
Tubos BWG	16			
Diámetro externo de tubo (m)	0,019			
Diámetro interno de tubo (m)	0,0157			
Arreglo de tubos	Triangular			
Longitud de tubos (m)	6,096			
Pitch (m)	0,0238			
Número de tubos	474			
Espaciado central de bafles	0,18			
Número de bafles	33			
Pasos por tubo	2			
Pasos por envolvente	1			
Conexiones	T1	T2	S1	S2
Tamaño	4"	4"	4"	4"

9.6.2. T-204

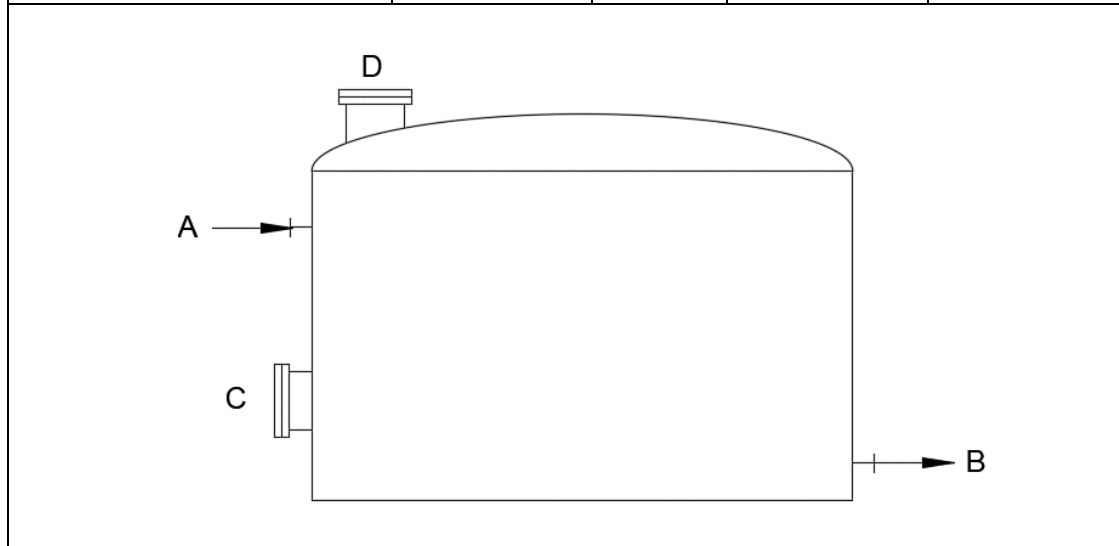
Columna de destilación			
TAG	T-204		
Área	200		
Datos de operación			
	Entrada (A)	Corriente de fondo (B)	Corriente de destilado (D)
Fase	Líquido	Líquido	Líquido
Fluido	Metanol/ óxido de propileno	Metanol	Óxido de propileno
Flujo másico (kg/s)	6,85	3,40	3,45
Temperatura °C	50	77,61	37,23
Presión kPa	550	150	110
Datos de diseño			
Diámetro de columna m	2,9		
Altura de columna m	15,05		
Material de equipo	Acero al carbono		
Temperatura de diseño °C	100		
Presión de diseño kPa	680		
Número de etapas	43		
Eficiencia de cada etapa	80%		
Bandeja de alimentación	28		
Relación de reflujo	1,3		
Tipo de bandeja	Flex A-18		
Número de pasadas	1		
Material de la válvula	Acero al carbono		
Longitud de las patas de la válvula mm	11.13		
Espesor de la válvula mm	1,21		
Número de válvulas por bandeja	427		
Número de Válvulas por Área Activa	75		
Espesor de la plataforma mm	6,35		
Ancho del Downcomer Lateral mm	350		
Longitud del Vertedero Lateral m	1,89		
Altura del Vertedero mm	50		
Distancia del Downcomer mm	37,3		
Espaciado entre Bandejas m	0,35		
Conexiones	A	B	D
Tamaño	4"	4"	3"

9.6.3.R-201

Reactor de reacción		
TAG	R-201	
Área	200	
Reacción: Epoxidación de propileno a óxido de propileno		
Condiciones de operación		
	Entrada	Salida
Fase	Líquida	Líquida
Temperatura(°C)	55	55
Presión (kPa)	2.800	2.800
Caudal(kg/s)	14,64	14,64
Flujo de energía(kJ/h)	1,24E+06	
Condiciones de diseño		
Material para su construcción	Acero inoxidable 304 en aleación con Níquel	
Tipo	Tubular	
Cantidad de fases	1	
Largo(m)	5	
Diámetro(m)	1	
Volumen(m ³)	39,27	
Cantidad de tubos	10	
Espesor de pared(m)	5,00E-03	
Catalizador	Silicata de titanio TS-1	
Densidad del catalizador(kg/m ³)	2.500	
Diámetro de la partícula del catalizador(m)	1,00E-03	
		
Conexiones	A	B
Tamaño	6"	6"

9.6.4.TK-102

Tanque de almacenamiento				
TAG	TK-102			
Área	200			
Condiciones de proceso				
	Entrada	Salida		
Fase	Líquida	Líquida		
Temperatura(°C)	Ambiente	76,32		
Presión (Kpa)	Ambiente	2000		
Caudal(kg/h)		146,36		
Condiciones de diseño				
Fluido almacenado	Metanol			
Tipo	Cilíndrico con techo cónico autosopotado			
Material para su construcción	Acero al carbono A-283-C			
Cantidad de fases	1			
Altura(m)	8			
Diámetro(m)	11,8			
Volumen(m3)	520			
Espesor de pared(m)	5,39mm (1er virola) a 3,4m (5ta virola)			
Conexiones	A	B	C	D
Tamaño	12"	3"	24"	24"



9.6.5.P-102

Bomba centrífuga		
TAG	P-201	
Área	200	
Condiciones de proceso		
	Entrada	Salida
Fase	Líquida	Líquida
Fluido	Metanol/ Peróxido de hidrógeno/ Propileno	
Temperatura(°C)	53,68	53,68
Presión (kPa)	1.950	2.850
Caudal(kg/s)	14,6	14,6
Flujo de energía(kJ/h)	8,41E+04	
Condiciones de diseño		
Material para su construcción	Acero al carbono con revestimiento de polipropileno	
Tipo	Centrífuga	
NPHSr	4,5	
Eficiencia	75	
Capacidad Normal (m3/h)	92	
Potencia (KW)	15	
Revoluciones (RPM)	2.900	
Frecuencia (Hz)	50	
Tensión (Kw)	380	
Conexiones		
	A	B
Tamaño	8"	6"

9.7. Conclusiones

De acuerdo al desarrollo del capítulo, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- Se identificaron los distintos tipos de intercambiadores de calor, junto con sus componentes principales.
- Se remarcan las distintas combinaciones que pueden obtenerse en un intercambiador de calor de casco y tubo según norma TEMA.
- Se desarrolló y diseño el intercambiador de calor E-002. La selección se basó en las condiciones del proceso, optando por un intercambiador de casco y tubo, de tipo AEU según norma TEMA.
- Se definieron los tipos de techos utilizados para tanques de acuerdo al servicio en cuestión.
- Se establecen los parámetros principales definidos por la norma API 650.
- Se desarrolló y se definen las dimensiones principales de un tanque de almacenamiento de metanol de techo cónico autosoportado.

9.8. Bibliografía

American Petroleum Institute. (2020). API Standard 650: Welded steel tanks for oil storage (13ª ed.). Washington, D.C.: American Petroleum Institute.

Cao, E. (2016). Transferencia de calor en ingeniería de procesos (4ta edición ed.). Nueva librería.

García, J. (1994). Manual de diseño, construcción y montaje de tanques estacionarios de techo cónico. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente.

Gonzalez, D. (2018). Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de un fluido a alta temperatura.

HTRI. (2012). HTRI Xchanger Suite (versión 5.00). Software de computación.

Kern, D. Q. (1998). Procesos de transferencia de calor. México: Mcgraw Hill Book Company, INC.

Plaremesa. (s.f.). *Tanques de techo flotante: Seguridad en el manejo de combustibles*.

Obtenido de <https://www.plaremesa.net/tanques-de-techo-flotante/>

Quispe, N. Aguilar T. (2019). Diseño de un tanque de almacenamiento de petróleo de 10000 galones según norma API 650 y su análisis empleando un programa CAD/CAE

10

Estudio de impacto ambiental

10. Estudio de impacto ambiental

10.1 Resumen ejecutivo

Este proyecto se encuentra en conformidad con el Decreto 2656/99 de la provincia del Neuquén, el cual requiere un Estudio de Impacto Ambiental debido a su potencial impacto medio/alto.

En el presente estudio de impacto ambiental para el proceso HPPO para la producción de óxido de propileno, se evaluarán y mitigarán los impactos ambientales negativos contemplados en las distintas fases del proyecto, construcción, operación y abandono.

En el mismo se identificarán las materias primas necesarias, insumos y la mano de obra necesarios, y con esto, se evalúan las emisiones y vertidos, destacando la importancia de gestionar adecuadamente los efluentes y residuos generados.

El estudio también incluye la identificación y valoración de impactos ambientales en distintas fases del proyecto, considerando factores como aire, suelo, hidrología, flora, fauna, paisaje, población, recursos humanos, economía e infraestructura. Se han propuesto medidas de mitigación para minimizar los impactos negativos y maximizar los positivos, como la generación de empleo y el incremento de la actividad económica local.

La metodología de Vicente Conesa Fernández-Vítora se emplea para calcular la importancia de los impactos, asegurando una evaluación detallada y la implementación de estrategias efectivas para garantizar la viabilidad ambiental del proyecto.

10.2 Introducción

A continuación, se detalla el estudio de impacto ambiental realizado en la Cátedra, que contempla las normas y leyes establecidas para la provincia de Neuquén, que serán aplicadas para este proyecto.

10.3 Objetivos

Los objetivos del capítulo son:

- Realizar un estudio de impacto ambiental, destacando aquellos impactos en las diferentes fases del proyecto, construcción, operación y abandono.
- Identificar y mitigar los impactos negativos.
- Promover un desarrollo sostenible a través del tiempo.

10.4 Caracterizar de acuerdo a el decreto 2656/99 de la provincia del Neuquén el tipo de estudio que correspondería ejecutar

Se establece de acuerdo al decreto 2656/99 de la provincia del Neuquén, que al presente proyecto final le corresponde un Estudio de Impacto Ambiental, ya que se supone que presenta un impacto medio/alto. (Gobierno de la Provincia de Neuquén, 1999)

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

10.5 Recursos demandados. Tipos y cuantificación

Considerando las tres etapas: construcción, operación y abandono

Se presenta una caracterización de las materias primas, insumos y suministros, bajo condiciones normales de operación.

Materias primas	Etapas del proyecto	Cantidad (Ton/h)	Transporte	Forma de almacenamiento
Propileno	Operación	10,68	Camión	Tanque
Peróxido de hidrógeno	Operación	7,86	Camión	Tanque
Metanol	Operación	0,15	Camión	Tanque

Tabla 10- 1: Descripción de materias primas.

Insumos	Etapas del proyecto	Consumo estimado	Unidad de medida	Comentarios
Mano de obra	Construcción	20	Personas	Montaje de equipos y cañerías
	Operación	74	Personas	Operación de la planta, sala de control, laboratorio, y demás sectores
	Abandono	20	Personas	Para el desarmado de equipos y cañerías
Gas natural	Construcción/ Operación/ Abandono	1.771,16	m ³ /h	Como combustible calderas, antorcha, oficinas
Energía eléctrica	Construcción/ Operación/ Abandono	647.263	kWh/año	Funcionamiento de equipos eléctricos, iluminación, oficinas
Agua potable	Construcción/ Operación/ Abandono	3.701,37	litros/día	Para consumo e higiene.
Agua de enfriamiento	Inicial	13,9	m ³ /h	Es el volumen en el circuito necesario para comenzar con la operación
	Operación	1,39	m ³ /h	Es el volumen de reposición
Agua para calderas	Inicial	0,57	m ³ /h	Es el volumen en el circuito necesario para comenzar con la operación
	Operación	5,74E-02	m ³ /h	Es el volumen de reposición

Tabla 10- 2: Insumos para el proyecto.

10.6 Efluentes del proyecto

Considerando las tres etapas: Construcción, operación y abandono.

10.6.1. Emisiones

Compuesto	Etapa del proyecto	Emisión estimada	Unidad de medida	Observaciones
Ruido	Construcción y operación	50	dB	
Vapor de agua	Operación	S/D	m ³ /día	
CO ₂	Construcción, operación y abandono	2.7	9ppm en 8hr. O 35ppm en 1 hr.	Gases emitidos por vehículos y por el proceso
CO	Construcción, operación y abandono	8.7	9ppm en 8hr. O 35ppm en 1 hr.	Gases emitidos por el proceso y/o combustión
Partículas en suspensión	Construcción Operación y Abandono	S/D	0.03ppm en un año. 0.11ppm por día.	Gases de escape de los vehículos de motor; procesos industriales; generación de calor y electricidad; reacción de gases contaminantes en la atmósfera.

Tabla 10- 3: Emisiones del proyecto.

10.6.2. Vertidos

Identificación de la fuente de descarga	Etapa del proyecto	Volumen estimado	Unidad de medida	Destino del efluente	Tipo de manejo del efluente
Cloacales	Construcción	4	m ³ /día	Red cloacal	Planta de tratamiento de efluente
Cloacales	Operación	14,8	m ³ /día	Red cloacal	Planta de tratamiento de efluente
Cloacales	Abandono	4	m ³ /día	Red cloacal	Planta de tratamiento de efluente

Tabla 10- 4: Vertidos del proyecto.

10.6.3. Residuos

Identificación de residuos	Etapas del proyecto	Cantidad estimada	Unidad de medida	Destino de los residuos generados
Residuos de construcción	Construcción	N/D	Diaria (durante la primera etapa)	A cargo de municipio
Residuos sólidos urbanos	Construcción y operación	N/D	Diaria	A cargo del municipio
Residuos Industriales	Operación/ abandono	S/D	Diaria	A tratamiento de efluentes

Tabla 10- 5: Residuos del proyecto.

10.7 Identificación y valoración de los impactos

10.7.1. Identificación de impactos

A continuación, se identifican los impactos a partir del análisis de la interacción entre las acciones del proyecto y los factores y subfactores del entorno en las tres fases.

10.7.1.1. Árbol de acciones

En el árbol de acciones se describen todas las acciones causadas por la ejecución del proyecto en sus tres fases.

Árbol de acciones				
Proyecto	Fase	Elemento	Acciones	
	Proyecto	Construcción	Movimiento de suelos	Desmonte, nivelación, relleno y compactación (cercado)
Acopio de material				
Operación de equipos				
Tránsito de vehículos pesados				
Emisión de ruido y vibraciones				
Obrador			Instalación de tráiler	
			Generación de vertidos cloacales	
			Generación de residuos	
			Demanda de mano de obra	
Obra civil y montaje			Excavaciones	
			Operación de maquinarias y equipos	
			Emisión de ruidos y vibraciones	
			Ejecución de canaletas colectoras y recinto de tanques	
			Tendido de ductos	
			Tránsito de maquinarias y vehículos	
			Tapado de ductos	
			Ejecución de bases	
			Instalación de todos los equipos y líneas de procesos	
			Ejecución de galpones para compresores	
			Recinto para tanques	
			Platea de bombas	
			Cámara de drenaje	
			Obra eléctrica (para todas las instalaciones)	
Operación			Planta	Instalación de compresores
				Instalación de tanques
				Pruebas de hermeticidad
				Instalación de instrumentación y sistema de control
				Ejecución de galpón para almacenaje de productos
				Ejecución de playa de estacionamiento para camiones
				Construcción de oficinas, laboratorio, talleres, etc.
Instalaciones auxiliares		Obra eléctrica		
		Movimiento de personal y maquinarias		
Operación		Planta	Circulación de carga y camiones	
	Vertidos de efluentes			
	Producción de residuos industriales			
	Emisión de ruidos y vibraciones			
	Demanda de mano de obra			
	Emisión de gases (CO ₂ , CO, etc.)			
	Producción de efluentes cloacales			
	Residuos sólidos			

Continúa

Proyecto	Abandono	Planta	Desmontaje total de planta
			Movimiento de maquinarias, vehículos, camiones, etc.
			Reacondicionamiento del terreno
			Despidos
			Recolección y transporte de residuos por desmontaje de planta

Tabla 10- 6: *Árbol de acciones.*

10.7.1.2. Factores afectados

En la tabla siguiente se marcan los factores que se consideran que serán afectados en todas las fases y una breve descripción del tipo de afectación.

Factores a considerar	Fases			Descripción somera de la afectación
	Construcción	Operación	Abandono	
Aire	x	x	x	Afectación de la calidad de ruidos y vibraciones, desprendimiento de polvo y emisión de vapor de agua
Suelo	x	x	x	Afectación de la calidad por movimientos o vertido de efluentes cloacales
Hidrología superficial	x	x	x	Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales y disminución del consumo de agua para fractura
Flora	x			Desmante para la construcción
Fauna	x			Alteración del hábitat de especies autóctonas
Paisaje	x	x	x	Afectación del paisaje intrínseco
Población	x	x	x	Aceptabilidad social del proyecto Interacciones sociales Estilos de vida Despidos
Recursos humanos	x	x	x	Demanda de mano de obra y despidos
Economía	x	x	x	Generación de fuente de trabajo Pago al superficiario por uso del terreno
Infraestructura	x			Infraestructura para instalación de servicios
Equipamiento	x	x	x	Transporte y comunicación

Tabla 10- 7: *Factores afectados.*

10.7.1.3. Identificación de impactos

Las acciones que el proyecto puede generar sobre el medio son las causas que provocan los impactos, estas pueden ser agrupadas de dos formas:

- Acciones operativas: son aquellas que la actividad produce por el solo hecho de su concepción, construcción, operación y abandono.
- Acciones accidentales o de contingencias: son todo hecho o acción, de origen natural o humano, cuya ocurrencia involucra un riesgo potencial. Son aquellas que se producen como consecuencia de una emergencia, es decir, lo que acontece cuando, de una circunstancia o combinación de circunstancias, surge un fenómeno inesperado de índole accidental, que debe ser controlado a fin de evitar daños, lo que se denomina Contingencia.

En la tabla siguiente se describen los impactos Operativos y por Contingencias en las tres fases que actúan sobre cada factor.

Fase: Construcción.		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Aire	1	Desprendimiento de polvo y emisiones de gases
	2	Generación de ruido y vibraciones
Suelo	3	Movimiento de suelos
	4	Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales
Flora	5	Desmonte de la superficie floral
Fauna	6	Perturbación del hábitat de especies
Paisaje	7	Perturbación del paisaje intrínseco
Recursos humanos	8	Despidos al finalizar la construcción
Factores Afectados	Nº	Por Contingencias
Suelo	1	Posibilidad de incendios
Flora		
Fauna		
Suelo	2	Posibilidad de derrames
Flora		
Fauna		
Recursos humanos	3	Accidente laboral
Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Recursos humanos	1	Generación de empleo
Economía	2	Aumento de la demanda de servicios
	3	Indemnizaciones y sueldos

Tabla 10- 8: Impactos en la fase de construcción.

Fase: Operación.		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Aire	1	Desprendimiento de polvo por transporte y carga y descarga de sólidos
	2	Generación de ruidos y vibraciones
Suelo	3	Variación en calidad por vertido de efluentes cloacales
Paisaje	4	Perturbación del paisaje intrínseco
Recursos humanos	5	Despidos
Factores Afectados	Nº	Por Contingencias
Suelo	1	Posibilidad de incendios
Suelo	2	Posibilidad de derrames
Recursos humanos	3	Accidentes laborales
Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Suelo	1	Disminución de la contaminación por creación de pozos sumideros
Hidrología superficial	2	Poco uso del mismo
Hidrología subterránea	3	Poco uso del mismo
Recursos humanos	4	Generación de empleo
	5	Capacitación del personal
	6	Aceptabilidad social del proyecto
Economía	7	Aumento de la actividad económica

Tabla 10- 9: Impactos en la fase de operación.

Fase: Abandono.		
Impactos Negativos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Aire	1	Desprendimiento de polvo y emisión de gases de combustión
	2	Generación de ruidos y vibraciones
Suelo	3	Producción de residuos de abandono
	4	Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales
Recursos humanos	5	Despidos
Economía	6	Disminución de la actividad productiva
Factores Afectados	Nº	Por Contingencias
Suelo	1	Posibilidad de incendios
Suelo	2	Posibilidad de derrames
Recursos humanos	3	Accidentes laborales
Impactos Positivos		
Factores Afectados	Nº	Operativos
Paisaje	1	Restablecimiento del paisaje
Recursos humanos	2	Demanda de mano de obra para desarme

Tabla 10- 10: Impactos en la fase de abandono.

10.7.2. Valoración de los impactos operativos

La valoración se realiza considerando la Importancia del Impacto, es decir, la categoría del efecto de una acción sobre un determinado factor afectado de acuerdo a lo estipulado por la Resolución 25/04 de la Secretaría de Energía de la Nación. (Ministerio de Economía y Producción, 2004).

10.7.2.1. Cálculo de importancia

Para el cálculo de la Importancia se han tomado solamente los impactos negativos por ser ellos los que gravitarán sobre la viabilidad ambiental del proyecto. La expresión adoptada es la correspondiente a la metodología propuesta por Vicente Conesa Fernández – Vítora y adoptada por la Resolución 25/04.

$$\text{Importancia} = \pm [3 I + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC] (1)$$

Dónde:

I = Intensidad

EX = Extensión

MO = Momento

PE = Persistencia

RV = Reversibilidad

SI = Sinergia

AC = Acumulación

EF = Efecto

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad

Los criterios de valoración son:

Intensidad	
Grado de perturbación que imponen la acción del proyecto al valor ambiental asignado al factor.	
Extensión	
Puntual	Cuando la acción impactante produce una alteración muy localizada en el entorno considerado
Parcial	Cuando la acción impactante produce una alteración apreciable en el entorno considerado
Extenso	Cuando la acción impactante produce una alteración en una gran parte del entorno considerado
Total	Cuando la acción impactante produce una alteración generalizada en el entorno considerado
Momento	
Largo plazo	> 5 años
Medio plazo	1-5 años
Inmediato	< 1 año
Crítico	Circunstancia crítica
Persistencia	
Tiempo de permanencia del efecto desde su aparición hasta su posible desaparición	
Fugaz	< 1 año
Temporal	1-10 años
Permanente	>10 años
Reversibilidad	
La capacidad que tiene el factor afectado de revertir el efecto por medios naturales	
Corto plazo	< 1 año
Medio plazo	1-10 años
Irreversible	> 10 años
Recuperabilidad	
La posibilidad de revertir el efecto por medio de la intervención humana	

Tabla 10- 11: Criterios de valoración.

Fase: Construcción											
Cálculo de la Importancia											
				Impactos operativos							
Atributo	Carácter	Valor	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8
Signo	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Perjudicial	(-)									
Intensidad	Baja	1									
	Media	2									
	Alta	4	3	2	2	1	1	1	2	1	1
	Muy alta	8									
	Total	12									
Extensión	Puntual	1									
	Parcial	2									
	Extenso	4	2	2	2	1	2	1	1	2	1
	Total	8									
	Crítica	(+ 4)									
Momento	Largo plazo	1									
	Medio plazo	2									
	Inmediato	4	1	4	3	3	4	4	4	4	4
	Crítico	(+ 4)									
Persistencia	Fugaz	1									
	Temporal	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
	Permanente	4									
Reversibilidad	Corto plazo	1									
	Medio plazo	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1
	Irreversible	4									
Sinergia	Sin sinergismo	1									
	Sinérgico	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Muy sinérgico	4									
Acumulación	Simple	1									
	Acumulativo	4	1	1	4	4	1	4	1	1	1
Efecto	Indirecto	1									
	Directo	4	1	1	1	4	4	4	4	4	4
Periodicidad	Irregular o periódico	1									
	Periódico	2	1	4	4	4	1	1	1	1	1
	Continuo	4									

Continúa

Fase: Construcción											
Cálculo de la Importancia											
				Impactos operativos							
Atributo	Carácter	Valor	Peso	1	2	3	4	5	6	7	8
Signo	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Perjudicial	(-)									
Recuperabilidad	Recuperación inmediata	1									
	Recuperable medio plazo	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mitigable	4									
	Irrecuperable	8									
Importancia				27	29	27	23	25	25	23	21

Tabla 10- 12: Cálculo de importancia para la fase de construcción.

Fase: Operación									
Cálculo de la Importancia									
				Impactos operativos					
Atributo	Carácter	Valor	Peso	1	2	3	4	5	
Signo	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	
	Perjudicial	(-)							
Intensidad	Baja	1							
	Media	2							
	Alta	4	3	2	2	2	2	2	
	Muy alta	8							
	Total	12							
Extensión	Puntual	1							
	Parcial	2							
	Extenso	4	2	2	2	1	1	1	
	Total	8							
	Crítica	(+ 4)							
Momento	Largo plazo	1							
	Medio plazo	2							
	Inmediato	4	1	4	4	4	4	4	
	Crítico	(+ 4)							
Persistencia	Fugaz	1							
	Temporal	2	1	2	1	2	2	2	
	Permanente	4							
Reversibilidad	Corto plazo	1							
	Medio plazo	2	1	2	1	2	2	2	
	Irreversible	4							

Continua

Fase: Operación									
Cálculo de la Importancia									
				Impactos operativos					
Atributo	Carácter	Valor	Peso	1	2	3	4	5	
Signo	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	
	Perjudicial	(-)							
Sinergia	Sin sinergismo	1							
	Sinérgico	2	1	1	1	1	1	1	
	Muy sinérgico	4							
Acumulación	Simple	1							
	Acumulativo	4	1	4	4	4	1	1	
Efecto	Indirecto	1							
	Directo	4	1	4	4	4	4	4	
Periodicidad	Irregular o periódico	1							
	Periódico	2	1	4	4	4	4	1	
	Continuo	4							
Recuperabilidad	Recuperación inmediata	1							
	Recuperable medio plazo	2	1	2	2	2	2	2	
	Mitigable	4							
	Irrecuperable	8							
Importancia				33	31	31	28	25	

Tabla 10- 13: Cálculo de importancia para la fase de operación.

Fase: Abandono									
Cálculo de la Importancia									
				Impactos operativos					
Atributo	Carácter	Valor	Peso	1	2	3	4	5	6
Signo	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Perjudicial	(-)							
Intensidad	Baja	1							
	Media	2							
	Alta	4	3	2	2	2	2	2	2
	Muy alta	8							
	Total	12							
Extensión	Puntual	1							
	Parcial	2							
	Extenso	4	2	2	2	2	2	2	2
	Total	8							
	Crítica	(+ 4)							

Continúa

Fase: Abandono									
Cálculo de la Importancia									
				Impactos operativos					
Atributo	Carácter	Valor	Peso	1	2	3	4	5	6
Signo	Beneficioso	(+)		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Perjudicial	(-)							
Momento	Largo plazo	1	1	4	4	4	4	4	4
	Medio plazo	2							
	Inmediato	4							
	Crítico	(+ 4)							
Persistencia	Fugaz	1	1	2	1	1	2	2	2
	Temporal	2							
	Permanente	4							
Reversibilidad	Corto plazo	1	1	2	1	1	2	2	2
	Medio plazo	2							
	Irreversible	4							
Sinergia	Sin sinérgico	1	1	1	1	1	1	1	1
	Sinérgico	2							
	Muy sinérgico	4							
Acumulación	Simple	1	1	4	4	4	4	1	1
	Acumulativo	4							
Efecto	Indirecto	1	1	4	4	4	4	4	4
	Directo	4							
Periodicidad	Irregular o periódico	1	1	4	4	2	2	2	2
	Periódico	2							
	Continuo	4							
Recuperabilidad	Recuperación inmediata	1	1	2	2	2	2	2	2
	Recuperable medio plazo	2							
	Mitigable	4							
	Irrecuperable	8							
Importancia				33	31	30	31	28	28

Tabla 10- 14: Cálculo de importancia para la fase de abandono.

10.7.3. Impactos por contingencia

Al considerar las acciones por contingencias, estas se evaluarán a través de la Estimación del Riesgo.

10.7.3.1. Estimación de los riesgos

La Estimación del Riesgo, por causa de los impactos por contingencias se evalúa de la siguiente manera:

$$\text{Estimación de Riesgo (ER)} = \text{Amenaza (A)} \times \text{Vulnerabilidad (V)}$$

a) Amenaza (A)

$$\text{Amenaza (A)} = \text{Control (C)} + \text{Ocurrencia (O)}$$

a.1 Control: Se obtiene a partir de las consideraciones expresadas en la tabla

Control	Valor
No controlado	5
Parcialmente controlado	3
Controlado	1

Tabla 10- 15: Referencias para el control.

No controlado: Cuando no existen:

- Legislación nacional y/o provincial y/o municipal
- Reglamentación nacional y/o provincial y/o municipal
- Procedimientos
- Instrucciones técnicas
- Planes de contingencia
- Protección o barreras físicas
- Monitoreos
- Programas de mantenimiento

Que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento.

Parcialmente controlado: Cuando existen:

- Legislación nacional y/o provincial y/o municipal
- Reglamentación nacional y/o provincial y/o municipal

- Procedimientos
- Instrucciones técnicas
- Planes de contingencia
- Protección o barreras físicas
- Monitoreos
- Programas de mantenimiento

Que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento, pero no son suficientes para evitar que se produzca el impacto ambiental.

Aspecto controlado: Cuando existen:

- Legislación nacional y/o provincial y/o municipal
- Reglamentación nacional y/o provincial y/o municipal
- Procedimientos
- Instrucciones técnicas
- Planes de contingencia
- Protección o barreras físicas
- Monitoreos
- Programas de mantenimiento

Que permitan prevenir o evitar la ocurrencia de un determinado evento y las mismas son efectivas para un control total del impacto medioambiental.

a.2 Ocurrencia: Se estima considerando el periodo de tiempo de duración de la operación. De acuerdo a la ocurrencia se le asigna los valores descriptos en la Tabla.

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

Tabla 10- 16: Valores de referencia para la ocurrencia.

b) Vulnerabilidad (V)

Vulnerabilidad (V) = Factor afectado (Fr)+ Magnitud (M)

b.1 Factor afectado: El valor se obtiene de acuerdo a las características:

Factor afectado	Valor
<ul style="list-style-type: none"> • Aire: - Calidad del aire • Agua: - Superficial - Recarga de acuíferos - Cauces aluvionales - Napa de agua dulce • Procesos • Suelo: - Con actividades agrícolas/ganaderas de magnitud • Vegetación: - Especies vegetales protegidas y/o singulares • Fauna - Especies protegidas - Puntos de paso o rutas migratorias • Ecosistemas especiales • Socioeconómico - Población - Recursos humanos • Infraestructura y núcleos: - Asentamientos urbanos 	10
<ul style="list-style-type: none"> • Paisaje • Áreas protegidas • Patrimonio cultural 	8
<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: - Con actividades ganaderas y/o agrícolas de escasa magnitud - Recreativo 	7
<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: - No comprendidos en los puntos anteriores • Vegetación: - No comprendidos en los puntos anteriores • Fauna: - No comprendidos en los puntos anteriores • Infraestructura 	6
<ul style="list-style-type: none"> • Agua: - Napa con alto contenido salino • Suelo: - Sin actividades agrícolas/ganaderas -Extractivo 	3
<ul style="list-style-type: none"> • Suelo: - Ocupado con instalaciones 	1

Tabla 10- 17: Valores de referencia para los factores afectados.

b.2 Magnitud: En referencia a la extensión del daño sobre el factor afectado.

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

Tabla 10- 18: Referencias para la magnitud del factor afectados.

En las Tabla se desarrolla el cálculo de la estimación de los riesgos.

Estimación de los Riesgos									
Fases	Impactos por Contingencias	Factores afectados	Amenaza		Suma	Vulnerabilidad		Suma	Estim. del Riesgo
			Control	Ocurrencia		Factor afectado	Magnitud		
Construcción	Posibilidad de incendio.	Suelo	3	1	4	6	10	16	64
		Flora							
		Fauna							
	Posibilidad de derrame.	Suelo	3	1	4	6	10	16	64
		Flora							
		Fauna							
Accidente laboral	Recursos humanos	3	1	4	10	10	20	80	
Operación	Posibilidad de incendio	Suelo	3	1	4	1	10	11	44
	Posibilidad de derrame	Suelo	3	1	4	1	10	11	44
	Accidente laboral	Recursos humanos	3	1	4	10	10	20	80
Abandono	Posibilidad de incendio	Suelo	3	1	4	1	5	6	24
	Posibilidad de derrame	Suelo	3	1	4	1	10	11	44
	Accidente laboral	Recursos humanos	3	1	4	10	10	20	80

Tabla 10- 19: Estimación de riesgos.

10.8 Declaración de impactos

10.8.1. Impactos operativos

Para efectuar el enjuiciamiento de los impactos de acuerdo a su valoración, se toman la escala dada por la Resolución 25/04.

Jerarquía	Valor
Bajo	0 - 25
Moderado	25 - 50
Critico	> 50

Tabla 10- 20: Escala de referencia de la Resolución 25/04.

La clasificación se define de la siguiente manera:

Bajo: de rápida recuperación sin medidas correctoras.

Moderado: la recuperación puede tardar de cierto a bastante tiempo, no necesitando medidas correctoras, o en el peor de los casos ser mitigable necesitando medidas correctoras simples.

Crítico: la recuperación requiere bastante tiempo y como mínimo requiere medidas correctoras más complejas, puede superar el umbral tolerable y en este caso no es recuperable independientemente de las medidas correctoras.

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

Fase	Impactos Operativos				
	Factores afectados	Negativos	Signo	Importancia	Categoría del impacto
Construcción	Aire	Desprendimiento de polvo y emisiones de gases	-	27	Moderado
		Generación de ruidos y vibraciones	-	29	Moderado
	Suelo	Movimiento de suelos	-	27	Moderado
		Afectación de la calidad por vertido de efluentes cloacales	-	23	Bajo
	Flora	Desmante de la superficie floral	-	25	Bajo
	Fauna	Perturbación del hábitat de las especies	-	25	Bajo
	Paisaje	Afectación del paisaje intrínseco	-	23	Bajo
	Recursos humanos	Despidos una vez finalizada la obra	-	21	Moderado
Operación	Aire	Desprendimiento de polvo por transporte y carga y descarga de sólidos		33	Moderado
		Generación de ruidos y vibraciones		31	Moderado
	Suelo	Variación en la calidad por vertido de efluentes cloacales	-	31	Moderado
	Paisaje	Afectación del paisaje intrínseco	-	28	Moderado
	Recursos humanos	Despidos	-	25	Bajo
Abandono		Desprendimiento de polvo y emisión de gases	-	33	Moderado
	Aire	Generación de ruidos y vibraciones.	-	31	Moderado
	Suelo	Producción de residuos de abandono	-	30	Moderado
		Variación en la calidad por vertido de efluentes cloacales	-	31	Moderado
	Recursos humanos	Despidos	-	28	Moderado
Economía	Disminución de la actividad productiva	-	28	Moderado	

Tabla 10- 21: Categorización de los impactos operativos.

10.8.2. Impactos por contingencia

Estimación del Riesgo

De acuerdo a la categorización:

Riesgo Irrelevante: no requiere acción específica.

Riesgo Tolerable: no requiere medidas adicionales de control.

Riesgo Moderado: requiere medidas para reducir el riesgo.

Riesgo Importante: no se puede dar comienzo a la operación hasta reducir el riesgo.

Riesgo Intolerable: se debe interrumpir la ejecución del proyecto hasta que no se vean las causas que originan el Riesgo.

En la Tabla se detallan los intervalos de encuadre de los valores estimados de los riesgos calculados.

Nivel de Riesgo	
Categoría	Intervalo (Estimación de Riesgo)
Irrelevante	-30
Tolerable	31 - 70
Moderado	71 - 110
Importante	111 - 160
Intolerable	> 160

Tabla 10- 22: Referencias para el Nivel de Riesgo.

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

Fases	Impactos por Contingencias	Factores Afectados	Estimación del Riesgo	Nivel de Riesgo
Construcción	Posibilidad de incendio	Suelo	64	Tolerable
		Flora		
		Fauna		
	Posibilidad de derrame	Suelo	64	Tolerable
		Flora		
		Fauna		
	Accidente laboral	Recursos humanos	80	Moderado
Operación	Posibilidad de incendio	Suelo	44	Tolerable
	Posibilidad de derrame	Suelo	44	Tolerable
	Accidente laboral	Recursos humanos	80	Moderado
Abandono	Posibilidad de incendio	Suelo	24	Irrelevante
	Posibilidad de derrame	Suelo	44	Tolerable
	Accidente laboral	Recursos humanos	80	Moderado

Tabla 10- 23: Nivel de Riesgo de los impactos por contingencia.

10.9 Plan de gestión ambiental

En la tabla siguiente se presenta una síntesis del tipo y descripción de la/s medidas a introducir a los efectos de minimizar el impacto que ha resultado en el caso de los Operativos o por Contingencias igual o superior a Moderado.

Síntesis de medidas de minimización de impactos						
Impactos		Tipo de medida		Fase	Descripción	Objeto
		Prev	Cor			
Operativos	Desprendimiento de polvo y emisiones de gases	x		Construcción, operación y abandono	Peligrosidad sobre el suelo	Tomar los recaudos necesarios para emitir menor cantidad de polvo en suspensión, como la utilización de maquinaria de gran porte de tamaño
	Generación de ruidos y vibraciones	x		Construcción, operación y abandono	Afectación de los oídos en trabajadores	Buscar la manera de que todos los trabajadores posean elementos de protección de oídos como tapones
	Afectación de la calidad del suelo por vertido de efluentes cloacales		x	Construcción, operación y abandono	Afectación del suelo y aire	Utilización de baños químicos en las tres etapas del proceso
	Afectación de la calidad del suelo por vertido de efluentes cloacales	x		Construcción, operación y abandono	Afectación del suelo y aire	Minimizar la cantidad de residuos cloacales para evitar emisiones y vertidos en el suelo
	Despidos			Construcción, operación y abandono	Preavisos pertinentes e indemnizaciones correspondientes	Minimización del impacto
	Movimientos de suelos	x		Construcción, operación y abandono	Afectación del suelo y aire	Buscar medios mecánicos que evite gran desprendimiento de sólidos
Contingencia	Accidente laboral	x		Construcción, operación y abandono	Uso de elementos de protección personal y seguridad	Minimización de los efectos del accidente
	Disminución en la actividad productiva		x	Construcción, operación y abandono	Afectación de trabajadores y familias	Proponer un proyecto post-actividad realizada para los trabajadores que en ella intervinieron

Tabla 10- 24: Síntesis de medidas de minimización de impactos.

10.10 Bibliografía

Gobierno de la Provincia de Neuquén. (1999). Ley 1875: Marco Regulatorio del Saneamiento Ambiental (Texto ordenado por Decreto 2267/09).

[https://ambiente.neuquen.gov.ar/frmwrk/pdfs/ley_1875/1875\(TO2267\).pdf](https://ambiente.neuquen.gov.ar/frmwrk/pdfs/ley_1875/1875(TO2267).pdf)

Ministerio de Economía y Producción. (2004). Resolución 25/2004.

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-25-2004-91789>

11

Análisis económico- financiero

11. Estudio económico financiero

11.1. Resumen ejecutivo

En este capítulo, se realiza un estudio económico financiero para determinar la viabilidad y la implementación del proyecto. Los resultados obtenidos, servirán de base para la toma de decisiones y para destacar los parámetros más relevantes a tener en cuenta.

Se detallarán tablas analíticas en las que se visualizan los costos de la mano de obra, infraestructura, equipos, y demás, permitiendo utilizar herramientas financieras como el flujo de caja, la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el periodo de recuperación, las cuales sirven de orientación para determinar la rentabilidad del proyecto. Se destacan valores obtenidos relevantes y prometedores en base al proyecto en cuestión.

Se recalcan las inversiones necesarias antes de la puesta en marcha, como también durante la operación normal de la planta. Estos valores, permiten identificar y obtener el valor de la amortización, el cual debe mostrarse en el flujo de caja, y se refiere a la depreciación de los activos. A su vez, se obtiene el punto de equilibrio, el cual indica el punto mínimo de ventas en el cual, no se producen pérdidas ni ganancias.

Sumado a lo anterior, se realiza el análisis de sensibilidad del precio de venta del óxido de propileno y de la compra de la materia prima, propileno. Este sirve para determinar hasta que variación de los mismos pueden afectar de forma positiva y negativa al proyecto.

Se destaca que el proyecto muestra estabilidad, ya que mantiene una tasa interna de retorno mayor al 20% incluso con una disminución del 3% en el precio del óxido de propileno. Además, se ha determinado que un aumento de hasta el 5% en el costo del propileno puede ser absorbido sin comprometer la viabilidad del proyecto. Sin embargo, variaciones superiores a estos límites podrían llevar a la inviabilidad del proyecto.

En consecuencia, de acuerdo a los valores obtenidos en el análisis, se podrá determinar la aprobación de la implementación del proyecto, siempre y cuando, se mantengas las condiciones económicas y financieras dentro de los parámetros analizados.

11.2. Introducción

A continuación, se desarrollará un análisis exhaustivo de acuerdo con los datos económicos recopilados, que serán fundamentales para la toma de decisiones y evaluación de la viabilidad del proyecto.

Con el fin de ordenar y sistematizar los datos financieros, se llevará a cabo el desarrollo de tablas analíticas relacionadas entre sí, para determinar la rentabilidad del proyecto. A través de cálculos de diferentes indicadores, se obtendrán valores relevantes que podrán definir la conveniencia del desarrollo e implementación del mismo.

A su vez, un factor importante para esta evaluación, es el tiempo, ya que se analiza la evolución del proyecto en los sucesivos años luego de su instalación. Para lo cual, se analizan los factores más relevantes que pueden influir en el crecimiento de la misma.

Cabe destacar, que en cierta fase del análisis se recurrirá a los datos obtenidos del “Capítulo 2: Estudio de mercado”.

11.3. Objetivo

Los objetivos del capítulo son los siguientes:

- Definir los costos principales del proyecto.
- Analizar la rentabilidad del proyecto a través de indicadores como el TIR y el Van.
- Identificar el punto de equilibrio.
- Realizar un análisis de sensibilidad de las variables críticas.

11.4. Inversiones del proyecto

Generalmente, las mayores inversiones suelen realizarse antes de la puesta en marcha del proyecto, pero también hay inversiones que deben tenerse en cuenta durante la operación normal de la planta, ya sea para reposición de las materias primas, aumento de la capacidad de producción, entre otros. Por otro lado, en caso que se produzcan cambios en los niveles de actividad de la planta, el capital de trabajo inicial también puede variar en el transcurso del tiempo.

11.4.1. Inversiones antes de la puesta en marcha

Se detallarán los principales activos fijos tenidos en cuenta para el análisis del presente proyecto.

11.4.1.1. Inversiones en activos fijos

Se consideran inversiones en activos fijos, aquellas inversiones efectuadas sobre bienes tangibles del proceso que son necesarios para la transformación de los insumos y producir bienes o servicios, como así también se incluyen aquellas inversiones usadas en la operación normal del proyecto. Ejemplos claros de estos son: las obras físicas (edificios industriales, laboratorios, oficinas de administración y/o recepción, estacionamiento, entre otros), el área o terreno, los equipos del proceso, como así también, recursos necesarios como agua potable, electricidad, energía, etc.

Es importante tener en cuenta que la mayoría de estos activos se amortizan durante sus años de utilidad ya que se consideran que van perdiendo valor a través del tiempo.

A continuación, se describen las siguientes inversiones en activos fijos: Obra y edificio; y equipamiento.

11.4.1.1.1. Obra y edificio

Se analizan las obras y edificios necesarios para el desarrollo de la actividad. Se tiene en cuenta la infraestructura para el proceso, pero también edificios comunes del personal asociado directamente a la parte operativa o no.

En esta sección, nos apoyaremos del “Capítulo 7- Lay out”, en el cual se identifican las distintas zonas y edificios de la planta, por lo que sirve de referencia para estimar el área superficial para los distintos espacios como laboratorios, oficinas, estacionamientos, etc.

Dependiendo la dimensión y la distribución de las obras edilicias obtendremos un costo que será de gran utilidad para el cálculo de los indicadores económicos.

Esto se muestra en la Tabla 11-1, donde además de las distintas áreas, también se muestra el valor del terreno.

De acuerdo a la información obtenida de “World Population Review”, se utilizará el valor de referencia para la construcción de 1.790 u\$/m². (World Population Review, 2024)

Costo en edificación			
Edificio	Área (m ²)	Costo (u\$/m ²)	Costo Total (u\$)
Almacén	900	1.790	1.611.000
Cargadero	398	1.790	712.420
Estacionamiento	868	1.790	1.553.720
Sala de control	20	1.790	35.800
Procesos	24	1.790	42.960
Sala de producción	24	1.790	42.960
Laboratorio	28	1.790	50.120
Seguridad operativa	20	1.790	35.800
Inspección de equipos	16	1.790	28.640
Mantenimiento	28	1.790	50.120
Talleres	528	1.790	945.120
Planificación	20	1.790	35.800
Ingeniería y proyectos, y seguridad de los procesos	20	1.790	35.800
RRHH y Administración	16	1.790	28.640
Gerencia	16	1.790	28.640
Sala de reuniones	16	1.790	28.640
Medio ambiente y Calidad	16	1.790	28.640
Soporte técnico	20	1.790	35.800
Enfermería	36	1.790	64.440
Comedor	32	1.790	57.280
Baño	16	1.790	28.640
Recepción	24	1.790	42.960
Cuartel de bomberos	141	1.790	252.390
Montaje de Equipos	N/A	N/A	577.633
Total Edificios (u\$)		N/A	6.353.963
Edificación total (m ²)	3.227		

Tabla 11- 1: Costos en edificación.

Y la Tabla 11-2 muestra el costo del terreno que ocupara alrededor de 100.000 m², aproximadamente.

Descripción	Área (m ²)	Costo (u\$/m ²)	Costo Total (u\$)
Terreno	103.840	30	3.115.200

Tabla 11- 2: Costos del terreno.

11.4.1.1.2. Equipamiento

Una vez determinado los equipos esenciales para el proceso, se estimarán los costos a través de la página web “Matche”, la cual nos permite obtener un valor internacional referido al año 2.014, que posteriormente será actualizado con el índice CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) del año 2.024. (Matche, 2014)

Se tomará un valor de referencia para la corrección y actualización de los precios de 1,39. El mismo se obtiene de la relación de los índices correspondientes al año 2.014 y 2.024. Por lo tanto, se corregirá el valor en dólares para poder obtener un valor actual más representativo. (Towering Skills, 2024).

En la Tabla 11-3, se detallan los costos del equipamiento para la planta.

Equipamiento para la producción de óxido de propileno							
Equipo	TAG	Unidad	Precio por unidad U\$S	Total	Ajuste Índice CEPCI	Precio por unidad U\$S	Contemplando 40% más en costos de fabricación e importación en Argentina
Bombas	P-101 A/B	2	7.800	15.600	1,39	21.663	30.328
	P-102 A/B	2	9.200	18.400	1,39	25.551	35.772
	P-103 A/B	2	4.400	8.800	1,39	12.220	17.108
	P-104 A/B	2	7.800	15.600	1,39	21.663	30.328
	P-105 A/B	2	4.400	8.800	1,39	12.220	17.108
	P-201 A/B	2	11.400	22.800	1,39	31.661	44.326
	P-202 A/B	2	9.200	18.400	1,39	25.551	35.772
	P-203 A/B	2	9.200	18.400	1,39	25.551	35.772
	P-204 A/B	2	7.800	15.600	1,39	21.663	30.328
	P-205 A/B	2	4.400	8.800	1,39	12.220	17.108
	P-206 A/B	2	4.400	8.800	1,39	12.220	17.108
	P-207 A/B	2	9.200	18.400	1,39	25.551	35.772
	P-208 A/B	2	4.400	8.800	1,39	12.220	17.108
	P-209 A/B	2	7.800	15.600	1,39	21.663	30.328
	P-210 A/B	2	7.800	15.600	1,39	21.663	30.328
	P-301 A/B	2	11.400	22.800	1,39	31.661	44.326
	P-304 A/B	2	13.400	26.800	1,39	37.216	52.102
	P-401 A/B	2	11.400	22.800	1,39	31.661	44.326
	P-402 A/B	2	11.400	22.800	1,39	31.661	44.326
	P-403 A/B	2	11.400	22.800	1,39	31.661	44.326
P-501 A/B	2	6.300	12.600	1,39	17.497	24.496	
Tanques	TK-101 A/B	2	121.300	242.600	1,39	336.886	471.640
	TK-102 A/B	2	122.500	245.000	1,39	340.219	476.306
	TK-103 A/B	2	62.300	124.600	1,39	173.026	242.236
	TK-104 A/B	2	122.500	245.000	1,39	340.219	476.306
	TK-105 A/B	2	95.300	190.600	1,39	264.676	370.547
	TK-301	1	179.200	179.200	1,39	248.846	348.384
	TK-401	1	69.000	69.000	1,39	95.817	134.143
	TK-402	1	69.000	69.000	1,39	95.817	134.143
	TK-600	1	366.200	366.200	1,39	508.523	711.932

(Continúa)

Equipamiento para la producción de óxido de propileno							
Equipo	TAG	Unidad	Precio por unidad U\$\$	Total	Ajuste Índice CEPCI	Precio por unidad U\$\$	Contemplando 40% más en costos de fabricación e importación en Argentina
Intercamb. de calor	E-201	1	1.900	1.900	1,39	2.638	3.694
	E-202	1	24.200	24.200	1,39	33.605	47.047
	E-203	1	61.100	61.100	1,39	84.846	118.785
	E-204	1	47.600	47.600	1,39	66.100	92.539
	E-205	1	9.300	9.300	1,39	12.914	18.080
	E-206	1	11.100	11.100	1,39	15.414	21.580
	E-207	1	43.000	43.000	1,39	59.712	83.597
	E-208	1	25.300	25.300	1,39	35.133	49.186
	E-209	1	43.000	43.000	1,39	59.712	83.597
	E-210	1	22.500	22.500	1,39	31.245	43.742
	E-211	1	1.900	1.900	1,39	2.638	3.694
	E-212	1	9.300	9.300	1,39	12.914	18.080
	E-213	1	65.800	65.800	1,39	91.373	127.922
	E-214	1	12.100	12.100	1,39	16.803	23.524
	E-401	1	43.000	43.000	1,39	59.712	83.597
Reactor	R-201	1	200.000	200.000	1,39	277.730	388.821
Columnas	T-201	1	300.000	300.000	1,39	416.594	583.232
	T-202	1	300.000	300.000	1,39	416.594	583.232
	T-203	1	300.000	300.000	1,39	416.594	583.232
	T-204	1	300.000	300.000	1,39	416.594	583.232
Acumuladores	V-201	1	15.200	15.200	1,39	21.107	29.550
	V-202	1	15.200	15.200	1,39	21.107	29.550
	V-203	1	15.200	15.200	1,39	21.107	29.550
	V-204	1	15.200	15.200	1,39	21.107	29.550
	V-401	1	15.200	15.200	1,39	21.107	29.550
	V-501	1	15.200	15.200	1,39	21.107	29.550
Torre de enfriamiento	TE-301	1	97.600	97.600	1,39	135.532	189.745
Caldera	B-401	1	1.660.200	1.660.200	1,39	2.305.433	3.227.606
	B-402	1	1.660.200	1.660.200	1,39	2.305.433	3.227.606
Ablandadores	W-401	1	14.500	14.500	1,39	20.135	28.190
	W-402	1	14.500	14.500	1,39	20.135	28.190
Antorcha	CH-501	1	400.000	400.000	1,39	555.459	777.643
Total (u\$s)				7.839.500		10.886.304	15.240.826

Tabla 11- 3: Costo en equipamiento.

11.4.1.1.3. Sistema de red contra incendio

A la vez, es necesario tener en cuenta el costo para el sistema de la red contra incendio, el cual incluirá todo el equipamiento para la actuación antes un evento o emergencia. En este equipamiento se contemplará hidrantes, lanzas, manguerotes, conexiones y cañerías, extintores, entre otros.

Para estimar este valor mostrado en la Tabla 11-4, se tomará como referencia, el 10% del gasto en la construcción total de los edificios.

Sistema de Red contra incendio	
Descripción	Costo Total (u\$s)
Equipamiento e Instalación	635.396

Tabla 11- 4: Costos del sistema de red contra incendio.

11.4.1.1.4. Tratamiento de efluente

En la Tabla 11-5 se estima el costo de los equipos para el tratamiento de efluentes.

Sistema de tratamiento de efluente	Costo Total (u\$s)
Equipamiento e instalación	953.094

Tabla 11- 5: Costos de equipos para tratamiento de efluentes.

11.4.1.1.5. Metanol como solvente

Es necesario aclarar, que el proceso utiliza como solvente metanol, el cual forma un circuito cerrado y no se consume en la reacción, por lo tanto, sólo hay que reponer una pequeña porción del metanol que se pierde durante la purificación del óxido de propileno.

Es decir, que la inversión es grande al inicio del proceso para tener todo el metanol necesario para la reacción. Por lo tanto, el metanol que se encuentra dentro del circuito se considera un activo fijo, y la cantidad de metanol que es necesario reponer a medida que se lleva a cabo el proceso, se considera un costo en la sección de materias primas.

Producto	u\$\$/ Tonelada	Toneladas iniciales	u\$S iniciales
Metanol cíclico	378	781	295.142

Tabla 11- 6: Costos en metanol dentro del circuito cerrado.

11.4.1.1.6. Costos en activos fijos

Finalmente, se realiza la suma de los costos mencionados anteriormente, para obtener los costos totales en activos fijos.

Activos Fijos	
Concepto	Total (u\$s)
Mano de obra de Edificios y Terreno	9.469.163
Equipos	15.240.826
Sistema contra Incendios	635.396
Planta de Tratamiento de Efluentes	953.094
Total activos fijos en planta/equipos	26.298.480
Metanol cíclico	295142
Total	26.593.622

Tabla 11- 7: Costos en activos fijos.

11.5. Amortizaciones

Es importante tener en cuenta que la mayoría de los activos fijos van perdiendo su valor a través del tiempo, ya sea por desgaste, tecnología obsoleta, entre otras, por lo tanto, deben amortizarse a través del tiempo.

La amortización es la distribución del costo de un activo fijo a lo largo de su vida útil o durante un periodo de tiempo. Se debe aclarar, que la inversión inicial del activo ya es tenida en cuenta en los gastos totales de activos fijos, por lo que la amortización involucra su pérdida de valor durante el transcurso del tiempo, y, en consecuencia, una pérdida de dinero. Es decir, este es un gasto que debe contemplarse en el balance general, que queda reflejado en los libros financiero de la empresa.

La amortización se realizará de manera anual, por lo tanto, se contemplarán todos los activos fijos, a excepción del terreno, ya que este puede incrementar su propio valor con el tiempo o mantenerse constante.

Si bien, existen amortizaciones variables y lineales, para este estudio se contemplará una amortización lineal anual. Para obtenerla, se utiliza la siguiente ecuación:

$$A=V_0/n$$

Donde V_0 es el costo de inversión del bien inicial, n es equivalente al tiempo de la vida útil o el periodo de amortización elegido en años. Se tomará un tiempo de amortización de referencia de 10 años, ya que resulta representativo para el proyecto.

Amortización					
Período	Obras y Edificios (u\$s)	Equipamiento (u\$s)	Red Contra Incendio (u\$s)	PTE (u\$s)	Total (u\$s)
1	635.396	1.524.083	63.540	95.309	2.318.328
2	635.396	1.524.083	63.540	95.309	2.318.328
3	635.396	1.524.083	63.540	95.309	2.318.328
4	635.396	1.524.083	63.540	95.309	2.318.328
5	635.396	1.524.083	63.540	95.309	2.318.328
6	635.396	1.524.083	63.540	95.309	2.318.328
7	635.396	1.524.083	63.540	95.309	2.318.328
8	635.396	1.524.083	63.540	95.309	2.318.328
9	635.396	1.524.083	63.540	95.309	2.318.328
10	635.396	1.524.083	63.540	95.309	2.318.328

Tabla 11- 8: Cálculo de amortización.

11.6. Egresos

A continuación, se detallan los principales egresos de dinero que son fundamentales para cualquier tipo de proyecto. Estos costos se clasifican en fijos los cuales son aquellos que no varían al modificar el nivel de producción o ventas como mano de obra, mantenimiento, entre otros; y variables, aquellos que se ven modificados al variar el nivel de producción, tales como materia prima, energía, etc. Estos costos son fundamentales para la representación del flujo de caja.

A su vez, entran en juego los flujos de dinero debido a los impuestos que apliquen para el proyecto.

11.6.1. Costos fijos

Cuando nos referimos a costos fijos, hacemos referencia a un costo que es independiente del módulo de producción y es fundamental para el funcionamiento básico de la empresa, por lo tanto, siempre está presente en cualquier periodo de tiempo analizado.

11.6.1.1. Mano de obra

En la Tabla 11-9 se especifica la cantidad de personal por área, cómo así también el horario laboral y el sueldo mensual.

Sueldos del personal							
Sueldo mensual (\$)	Jornadas de trabajo	Puesto de trabajo	Cant. de personas	Sueldo (u\$/año)	Sueldo Total (u\$/año)	Prest. Social (u\$/año)	Total (u\$/año)
3.600.000	Lun a Vie	Gte. de general	1	50.824	50.824	15.247	66.071
2.700.000	Lun a Vie	Jefe de Planta	1	38.118	38.118	11.435	49.553
1.800.000	Diagr. 7x7	Supervisor de producción	4	25.412	101.647	30.494	132.141
1.400.000	Diagr. 7x7	Operador de producción	8	19.765	158.118	47.435	205.553
1.100.000	Lun a Vie	Administrativo	1	15.529	15.529	4.659	20.188
1.500.000	Diagr. 7x7	Laboratorista	4	21.176	84.706	25.412	110.118
1.200.000	Lun a Vie	Operador de Almacén	2	16.941	33.882	10.165	44.047
1.600.000	Lun a Vie	Mantenimiento	10	22.588	225.882	67.765	293.647
1.600.000	Diagr. 7x7	Operador de Sala de Control	4	22.588	90.353	27.106	117.459
1.900.000	Lun a Vie	Procesistas	3	26.824	80.471	24.141	104.612
1.100.000	Lun a Vie	RRHH	1	15.529	15.529	4.659	20.188
1.200.000	Lun a Vie	Medio ambiente	1	16.941	16.941	5.082	22.024
1.500.000	Lun a Vie	Planificación	3	21.176	63.529	19.059	82.588
1.200.000	Lun a Vie	Soporte técnico	1	16.941	16.941	5.082	22.024
1.500.000	Lun a Vie	Opt. y control	2	21.176	42.353	12.706	55.059
1.100.000	Lun a Vie	Maestranza	2	15.529	31.059	9.318	40.376
1.100.000	Lun a Vie	Cocina	3	15.529	46.588	13.976	60.565
1.100.000	Lun a Vie	Compras y contratos	2	15.529	31.059	9.318	40.376
1.500.000	Lun a Vie	Insp. de equipos	2	21.176	42.353	12.706	55.059
1.500.000	Lun a Vie	Ing. y proy.	2	21.176	42.353	12.706	55.059
1.300.000	Diagr. 7x7	Seg. patrimonial	4	18.353	73.412	22.024	95.435
1.400.000	Lun a Vie	Seg. de los procesos	1	19.765	19.765	5.929	25.694
1.700.000	Diagr. 7x7	Médico	4	24.000	96.000	28.800	124.800
1.400.000	Diagr. 7x7	Bombero	4	19.765	79.059	23.718	102.776
1.400.000	Lun a Vie	Seg. operativa	3	19.765	59.294	17.788	77.082
1.400.000	Lun a Vie	Calidad	1	19.765	19.765	5.929	25.694
99.200.000		Total	74		1.575.529	472.659	2.048.188

Tabla 11- 9: Costos de mano de obra.

11.6.1.2. Costos de mantenimiento

Debido al uso constante de los equipos y de las instalaciones, se producen desgastes de los mismos y de sus componentes, que pueden provocar alguna falla o inconvenientes en el correcto funcionamiento de la planta.

Es por esto, que debe existir un plan de mantenimiento preventivo para los diferentes equipos, en el cual, a través de inspecciones periódicas se podrán revisar e identificar posibles averías.

Por otro lado, se estudiarán los continuos valores de las variables críticas del proceso, para analizar sus tendencias, y poder detectar de antemano una avería o falla. Esto compone al mantenimiento predictivo.

Por otro lado, una vez detectada la falla o la avería en la instalación o equipo, se debe realizar un mantenimiento correctivo. Se busca lograr y restaurar el funcionamiento normal del equipo.

Para estimar los gastos de mantenimiento, se tomó como referencia el 10% del costo de activos fijos de las instalaciones y equipos. Por lo tanto, el 70% del mismo se destinará al mantenimiento preventivo/predictivo, y el 30% restante será para el mantenimiento correctivo.

Costo por Mantenimiento	
Tipo de Mantenimiento	Costo (u\$s/ año)
Preventivo/Predictivo	1.840.894
Correctivo	788.954
Total	2.629.848

Tabla 11- 10: Costos en mantenimiento.

El mantenimiento de las instalaciones es sumamente importante, ya que afecta directamente la vida útil de los equipos.

Teniendo planes de mantenimiento adecuados y analizando las variables más importantes del proceso que pueden provocar daños o averías, disminuyen las probabilidades de paros de planta para reparar los equipos, lo cual afecta la producción. A su vez, el mantenimiento periódico promueve el trabajo seguro del personal en las instalaciones, lo cual le confiere confiabilidad a la planta.

11.6.2. Costos variables

En este apartado, se detallarán los costos variables asociados al proceso, los cuales dependen del nivel de producción de la planta. Se incluyen los costos en materias primas, en servicios de luz, agua, electricidad, entre otros.

11.6.2.1. Gastos en materia primas

Para estimar el gasto de las materias primas, se tomó como referencia el módulo de producción anual, equivalente a 100.000 toneladas de óxido de propileno.

Para obtener estos valores del mercado, se extraerán los datos del “Capítulo 2- Estudio de mercado”, en el cual se evalúan los valores de las materias primas necesarias.

Costos de materias primas			
Materia prima	u\$\$/ Tonelada	Toneladas anuales	u\$\$/año
Propileno	1085	85.837	93.133.182
Peróxido de hidrógeno	477	63.170	30.132.143
Metanol de reposición	378	1.141	431.153
Total		417.123	123.696.479

Tabla 11- 11: Costo de las materias primas.

11.6.2.2. Costos en agua, electricidad, gas

De acuerdo a los datos del Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) en la página de Argentina.gob.ar, se obtiene un promedio del precio de 0,08 u\$\$s/kWh. (Ente Nacional Regulador de la Electricidad, 2024)

Este valor se utilizará para calcular el costo de la energía eléctrica consumido por los equipos, del alumbrado e iluminación externo del lugar (estimado como el 3% del consumo de equipos), y del consumo de oficinas (2% del consumo de equipos).

Costo de Energía			
Ubicación	Consumo (kWh/año)	Precio (u\$\$s/kWh)	Costo (u\$\$s/año)
Alumbrado	18.493	\$ 0,08	1.479
Equipamiento	616.441	\$ 0,08	49.315
Edificios	12.329	\$ 0,08	986
Total (u\$\$s/año)	647.263	\$ 0,08	51.781

Tabla 11- 12: Costo de la energía eléctrica.

Con respecto al consumo de gas natural, se tomará de referencia el valor de 0,069 u\$/m³ de gas natural, con capacidad de 9.300 Kcal/m³.

Costo de Gas Natural			
Utilización	Consumo (m ³ /año)	Precio (u\$/m ³)	Costo (u\$/año)
Caldera	14.104.914	\$ 0,0690	973.239
Antorcha	1.410.491	\$ 0,0690	97.324
Total (u\$/año)	15.515.405		1.070.563

Tabla 11- 13: Costos del gas natural.

Teniendo en cuenta los diferentes consumos de agua en la empresa, se obtienen los costos de la misma.

Costo de Agua			
Utilización	Consumo Total (m ³ /año)	Costo (u\$/m ³)	Costo total (u\$/año)
Oficinas	1.351	0,5	675
Reposición en torre de enfriamiento	121.755,24	0,5	60.878
Reposición en caldera	13.782,11	0,5	6.891
Total	136.888		68.444

Tabla 11- 14: Costos del consumo de agua.

11.6.3. Egresos totales

Realizando un resumen, se detallan todos los costos tenidos en cuenta en el presente proyecto.

Resumen de costos	
Sueldos	2.048.188
Mantenimiento	2.629.848
Materia Prima	123.696.479
Energía	51.781
Gas Natural	1.070.563
Amortización	2.318.328
Agua	68.444
Total (u\$/año)	131.883.631

Tabla 11- 15: Resumen de costos del proyecto.

11.7. Ingresos

El único ingreso que poseerá esta empresa será por a producción de óxido de propileno.

Se ha definido el módulo de producción de óxido de propileno de 100.000 toneladas anuales.

Para el cálculo de ingresos, se toma de referencia un precio de 1.475 dólares la tonelada.

Periodo	0	1	2	3	...	10
Producción (Ton/año)	-	100.000	100.000	100.000	...	100.000
U\$/ton	1.475	1.475	1.475	1.475	...	1.475
Millones U\$/año	0	147,5	147,5	147,5	...	147,5

Tabla 11- 16: Ingresos debido al óxido de propileno.

11.8. Indicadores económicos

Para buscar herramientas representativas que nos den indicios de la viabilidad del proyecto, se recurrirá a la definición de los indicadores del VAN (valor actual neto) y el TIR (tasa interna de retorno), las cuales se describirán a continuación. Estos dos valores nos indican la conveniencia de la inversión o no en el proyecto, es decir, la aceptación o rechazo de parte de los inversionistas. (Sapag Chain et al., 2014)

11.8.1. Valor actual neto (VAN)

El VAN es un indicador financiero, que sirve para medir y cuantificar la rentabilidad de un proyecto de inversión. Se basa en la comparación de los flujos de caja generados con respecto a la inversión inicial, a una tasa de interés fijada. Por lo que determina el excedente de la rentabilidad exigida o deseada, luego de recuperar la inversión.

- VAN>0: Indica que el proyecto es rentable, generando ganancias superiores a la tasa de interés exigida por el inversor. Proyecto aprobado.
- VAN=0: En términos financieros, genera beneficios iguales a la tasa de interés exigida. Es opcional su implementación.
- VAN<0: Indica que la rentabilidad es inferior a la exigida por el inversor. Proyecto no aprobado.

Para calcular el VAN, se hace la resta entre el valor presente o actual de los futuros flujos que se esperan en el tiempo, y el valor de la inversión inicial del proyecto.

Para determinar el valor actual de esos flujos de dinero futuros, se utiliza una tasa de descuento (T_d o K), equivalente al rendimiento que se espera recibir por colocar estos recursos en la inversión del proyecto.

11.8.2. Tasa interna de retorno (TIR)

Otro indicador importante para la evaluación del proyecto, es la tasa interna de retorno, la cual indica la tasa de descuento que provoca que el VAN sea cero, es decir, determina la tasa de interés en la que los flujos de caja positivos y negativos son iguales.

Así como el VAN, el TIR se utiliza para analizar la rentabilidad de un proyecto. Se busca que la TIR sea mayor que el valor de la tasa de descuento (k). En estas condiciones, el proyecto se considera rentable.

- $TIR > k$: Indica que conviene invertir en el proyecto.
- $TIR = k$: En términos financieros, genera beneficios iguales a la tasa de interés exigida. Se debe realizar una evaluación más detallada.
- $TIR < k$: No conviene invertir en el proyecto.

11.8.3. Periodo de recuperación de la inversión o Payback

Este indicador económico, hace referencia al tiempo en el que tarda en recuperarse la inversión inicial en un proyecto a través de los flujos de efectivo netos que este genera. En otras palabras, es el tiempo que debe transcurrir para que los ingresos acumulados sean equivalentes al costo inicial de la inversión.

Este indicador sirve de complemento para los indicadores del TIR y el VAN.

Año	Flujo neto de fondos (u\$s)	Flujo acumulado (u\$s)
0	-29.223.470	-29.223.470
1	12.235.671	-16.987.800
2	12.235.671	-4.752.129
3	12.235.671	7.483.541
4	12.235.671	19.719.212
5	12.235.671	31.954.882

Tabla 11- 17: Cálculo del periodo de recuperación.

Esta tabla se construye con los valores extraído del flujo de caja.

Finalmente, se obtiene como resultado que en 2 años y 5 meses (aproximadamente), se recupera la inversión inicial.

11.9. Flujo de caja

Una vez definidos los indicadores financieros VAN y TIR, se procede a la representación de los flujos de caja. Los flujos de caja involucran los ingresos y egresos a través del tiempo.

Los flujos de caja contienen tres elementos básicos:

- Egresos iniciales de fondos.
- Ingresos y egresos de operación
- Momento en que ocurre estos ingresos y egresos.

Se determinó realizar la evolución en un plazo de 10 años, ya que resulta un tiempo representativo para estos tipos de proyectos.

Producción de óxido de propileno

Flujo de Caja							
Periodo		0	1	2	3	4	5
Inversión	Activo Fijo (u\$s)	26.593.622					
	Capital de Trabajo (u\$s)	2.629.848					
	Total (u\$s)	29.223.470					
Ingresos	Por venta (u\$s)		147.501.493	147.501.493	147.501.493	147.501.493	147.501.493
Egresos	Costo Fijo (u\$s)		4.678.036	4.678.036	4.678.036	4.678.036	4.678.036
	Costo Variable (u\$s)		124.887.267	124.887.267	124.887.267	124.887.267	124.887.267
	Total (u\$s)		129.565.303	129.565.303	129.565.303	129.565.303	129.565.303
Amortización (u\$s)			2.318.328	2.318.328	2.318.328	2.318.328	2.318.328
Utilidad antes de Impuestos			15.617.862	15.617.862	15.617.862	15.617.862	15.617.862
Impuestos	Ganancia (35%)		5.466.252	5.466.252	5.466.252	5.466.252	5.466.252
	Ingresos Brutos (1,5%)		234.268	234.268	234.268	234.268	234.268
	Total (u\$s)	0	5.700.520	5.700.520	5.700.520	5.700.520	5.700.520
Utilidad Neta			9.917.343	9.917.343	9.917.343	9.917.343	9.917.343
Amortización (u\$s)			2.318.328	2.318.328	2.318.328	2.318.328	2.318.328
Flujo Neto de Fondos (u\$s)		-29.223.470	12.235.671	12.235.671	12.235.671	12.235.671	12.235.671
Flujo Neto de Fondos Acumulados (u\$s)		-29.223.470	-16.987.800	-4.752.129	7.483.541	19.719.212	31.954.882
Parámetros de Evaluación							
Tasa de Descuento	20,00%						
TIR	36%						
VAN (u\$s)	\$ 57.237.733						
Estado de proyecto	PROYECTO RENTABLE						

(Continúa)

Producción de óxido de propileno

Flujo de Caja						
Periodo		6	7	8	9	10
Inversión	Activo Fijo (u\$s)					
	Capital de Trabajo (u\$s)					
	Total (u\$s)					
Ingresos	Por venta (u\$s)	147.501.493	147.501.493	147.501.493	147.501.493	147.501.493
Egresos	Costo Fijo (u\$s)	4.678.036	4.678.036	4.678.036	4.678.036	4.678.036
	Costo Variable (u\$s)	124.887.267	124.887.267	124.887.267	124.887.267	124.887.267
	Total (u\$s)	129.565.303	129.565.303	129.565.303	129.565.303	129.565.303
Amortización (u\$s)		2.318.328	2.318.328	2.318.328	2.318.328	2.318.328
Utilidad antes de Impuestos		15.617.862	15.617.862	15.617.862	15.617.862	15.617.862
Impuestos	Ganancia (35%)	5.466.252	5.466.252	5.466.252	5.466.252	5.466.252
	Ingresos Brutos (1,5%)	234.268	234.268	234.268	234.268	234.268
	Total (u\$s)	5.700.520	5.700.520	5.700.520	5.700.520	5.700.520
Utilidad Neta		9.917.343	9.917.343	9.917.343	9.917.343	9.917.343
Amortización (u\$s)		2.318.328	2.318.328	2.318.328	2.318.328	2.318.328
Flujo Neto de Fondos (u\$s)		12.235.671	12.235.671	12.235.671	12.235.671	12.235.671
Flujo Neto de Fondos Acumulados (u\$s)		44.190.553	56.426.223	68.661.894	80.897.564	93.133.235
Parámetros de Evaluación						
Tasa de Descuento	20,00%					
TIR	36%					
VAN (u\$s)	\$ 57.237.733					
Estado de proyecto	PROYECTO RENTABLE					

Tabla 11- 18: Flujo de caja.

Para este proyecto, se definió una tasa de descuento del 20%, ya que resulta representativo para fines práctico.

Entre los puntos destacar del flujo de caja, se remarca que resulta una tasa interna de retorno del 36%, siendo mayor a la tasa de descuento o interés establecida (20%), y a su vez, un VAN del 57.237.733 u\$s, lo cual indica que la inversión en el proyecto resulta favorable, es decir, es un proyecto rentable.

11.10. Punto de equilibrio

El punto de equilibrio, o también llamado análisis costo-volumen-utilidad, es una herramienta sencilla que permite obtener relaciones básicas, entre los costos y los ingresos del proyecto, a diferentes niveles de producción y venta. En este, se tiene en cuenta los valores constantes de ingresos y costos dentro del margen estudiado.

Básicamente, el punto de equilibrio indica el punto en el cual los ingresos por ventas igualan a los costos totales. Es decir, la utilidad es 0, no hay ganancia ni pérdida.

$$0=R = P*Q - CV*Q -CF$$

Con la utilidad $R=0$, con P (precio), Q (cantidad producida), CV (costo variable unitario) y CF (costos fijos). Por lo tanto,

$$Q=CF / (P - CV_{\text{unitario}})$$

En este caso Q , representaría la cantidad de unidades necesarias en el que se encuentra el punto de equilibrio. Es decir, si se vende más de esta cantidad, se tendrán ganancias; de lo contrario, si es menor, se obtendrán pérdidas.

De acuerdo a los cálculos, se obtienen los siguientes datos mostrados en la Tabla 11-19.

Abreviatura	Detalle	Valor
I	Ingresos por ventas (u\$s/año)	147.501.493
CF	Costos fijos (u\$s/año)	4.678.036
CV	Costos variables (u\$s/año)	124.887.267
Q	Producción (Tn/año)	100.000
CT	Costos totales (u\$s/Día)	129.565.303
CV unitario	Costo variable unitario(u\$s/Tn)	1.249
P	Ingreso unitario (u\$s/Tn)	1.475

Tabla 11- 19: Datos para el cálculo del punto de equilibrio.

Y, con ayuda de estos valores, se obtiene el punto de equilibrio.

Punto de Equilibrio	PE (Tn/año)	20.687,62
	PE (u\$s/año)	30.514.239

Tabla 11- 20: Punto de equilibrio.

Es decir, se deben vender aproximadamente 20.687 toneladas anuales para solventar los gastos del proyecto. Con los resultados de la Tabla 11-20, se puede representar el punto de equilibrio gráficamente.

Producción de óxido de propileno

Toneladas vendidas	Costo total	Ingresos
0	4.678.036	0
1.000	5.926.909	1.475.000
2.000	7.175.782	2.950.000
3.000	8.424.654	4.425.000
4.000	9.673.527	5.900.000
5.000	10.922.400	7.375.000
6.000	12.171.272	8.850.000
7.000	13.420.145	10.325.000
8.000	14.669.018	11.800.000
9.000	15.917.890	13.275.000
10.000	17.166.763	14.750.000
11.000	18.415.636	16.225.000
12.000	19.664.508	17.700.000
13.000	20.913.381	19.175.000
14.000	22.162.254	20.650.000
15.000	23.411.126	22.125.000
16.000	24.659.999	23.600.000
17.000	25.908.872	25.075.000
18.000	27.157.744	26.550.000
19.000	28.406.617	28.025.000
20.000	29.655.490	29.500.000
21.000	30.904.362	30.975.000
22.000	32.153.235	32.450.000
23.000	33.402.108	33.925.000
24.000	34.650.980	35.400.000
25.000	35.899.853	36.875.000
26.000	37.148.726	38.350.000
27.000	38.397.598	39.825.000
28.000	39.646.471	41.300.000
29.000	40.895.344	42.775.000
30.000	42.144.216	44.250.000
31.000	43.393.089	45.725.000
32.000	44.641.962	47.200.000
33.000	45.890.834	48.675.000
34.000	47.139.707	50.150.000
35.000	48.388.580	51.625.000

Tabla 11- 21: Cálculos para la representación gráfica del punto de equilibrio.

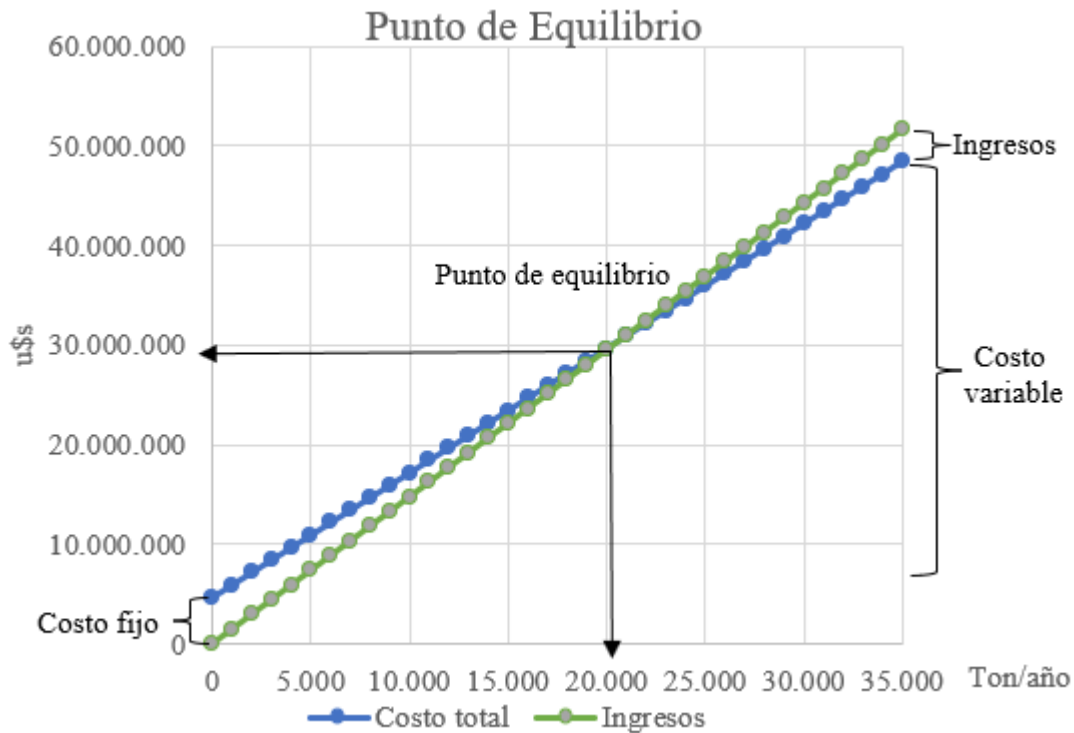


Gráfico 11- 1: Representación del punto de equilibrio.

11.11. Análisis de sensibilidad

Cuando se estudiaron los valores de los indicadores de la viabilidad del proyecto, se utilizaron valores que debido a las incertidumbres o diferentes pronósticos del mercado pueden sufrir variaciones o desviaciones diferente a lo esperado.

Por lo tanto, se debe realizar un análisis de sensibilidad de ciertas variables, que permita medir y cuantificar, que tan sensible es el proyecto a las variaciones de las variables más importante.

El análisis puede clasificarse como unidimensional o multidimensional, de acuerdo al número de variables que se sensibilicen al mismo tiempo. En el caso del unidimensional la sensibilización se aplica a una única variable, a diferencia del multidimensional, en el que se estudian los resultados debido a la simultaneidad de varias variables.

Lo que se busca, es determinar cuáles son las variables que se les debe asignar prioridad, y si es necesario dedicarle un estudio en mayor profundidad, para realizar los cambios o ajustes necesarios en el proyecto.

En este caso, se realizará el análisis de sensibilidad a las siguientes variables:

- Precio del óxido de propileno
- Precio de la materia prima (propileno)

11.11.1. Análisis de sensibilidad del precio del óxido de propileno

Unas de las variables más importantes en este proyecto, es el precio de venta del óxido de propileno en el mercado, ya que es el que genera los ingresos del proyecto.

Es por esto, que es una de las variables a estudiar en el análisis de sensibilidad.

Realizando los cálculos correspondientes, se construye el Gráfico 11-2.

Variación en el precio del óxido de propileno			
Porcentaje de Variación (%)	Precio (u\$/Tn)	VAN (U\$S)	TIR (%)
-5	1.401	23.019.901	12%
-4	1.416	6.751.461	18%
-3	1.431	9.516.978	23%
-2	1.446	25.785.417	28%
-1	1.460	40.696.294	32%
0	1.475	57.237.733	36%
5,0	1.549	137.495.367	55%
10	1.623	217.753.001	73%

Tabla 11- 22: Cálculos en la variación del precio del óxido de propileno.

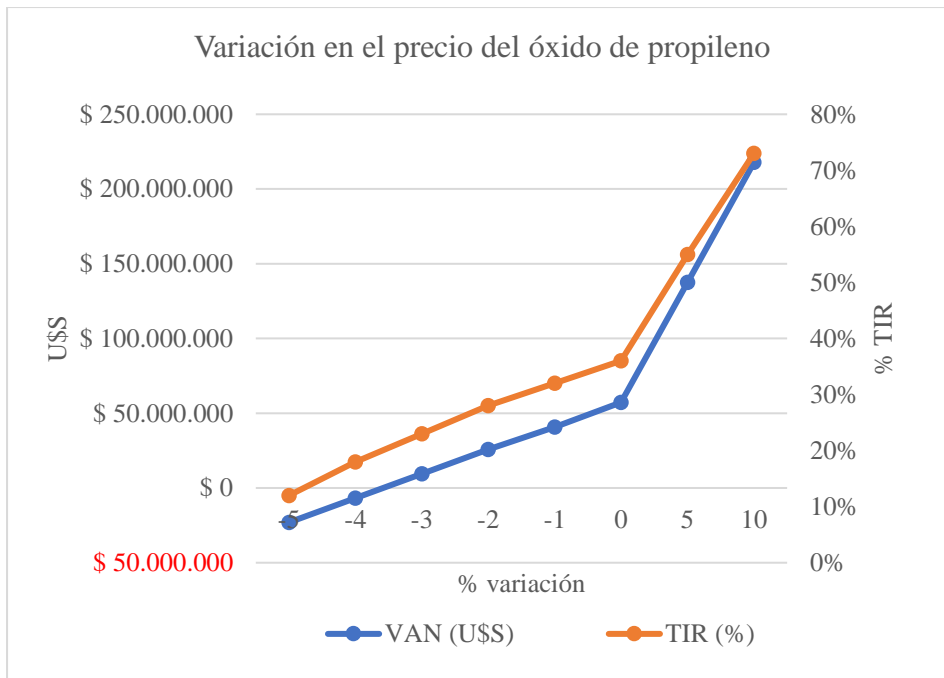


Gráfico 11- 2: Análisis de sensibilidad del precio del óxido de propileno.

Se identifica el valor del TIR y el VAN cuando no hay variación, es decir, cuando nos referimos al 0% de la variación, obteniendo los resultados ya indicados en las secciones anteriores, un TIR del 36% y un VAN del 57.237.733 U\$S.

Luego, al determinar el resto de las variaciones, se observa claramente que, a medida que el precio del producto aumenta, favorece el valor del TIR y del VAN. Como ejemplo claro, un aumento del 10% del valor del producto, aumente un TIR del 36% al 73%, logrando un VAN del 217.753.001 U\$S. Esto favorece a la aprobación del proyecto.

Por el contrario, cuando el precio del óxido de propileno disminuye a valores menores del 3%, la tasa interna de retorno (TIR) se acerca a la tasa de interés (20%), por lo que el proyecto deja de ser rentable. Es decir, en este punto, el VAN se aproxima a 0, no habiendo ni ganancias ni pérdidas.

11.11.2. Análisis de sensibilidad del precio del propileno

Otro aspecto importante que requiere atención, es el costo de la materia prima.

En este caso, se estudiará la variación del precio de compra del propileno, ya que es mucho más cara comparada con las demás, y es fundamental para el proceso.

Variación en precio de materia prima, propileno			
Porcentaje de Variación (%)	Precio (u\$/Tn)	VAN (U\$S)	TIR (%)
-10,00	977	157.780.005	60%
-5,00	1.031	107.508.869	48%
0,00	1.085	57.237.733	36%
1,00	1.096	46.997.317	33%
2,00	1.107	36.756.900	31%
3,00	1.118	26.516.483	28%
4,00	1.128	17.207.014	25%
5,00	1.139	6.966.597	22%
6,00	1.150	3.273.819	19%
7,00	1.161	13.514.236	16%

Tabla 11- 23: Variación del precio del propileno.

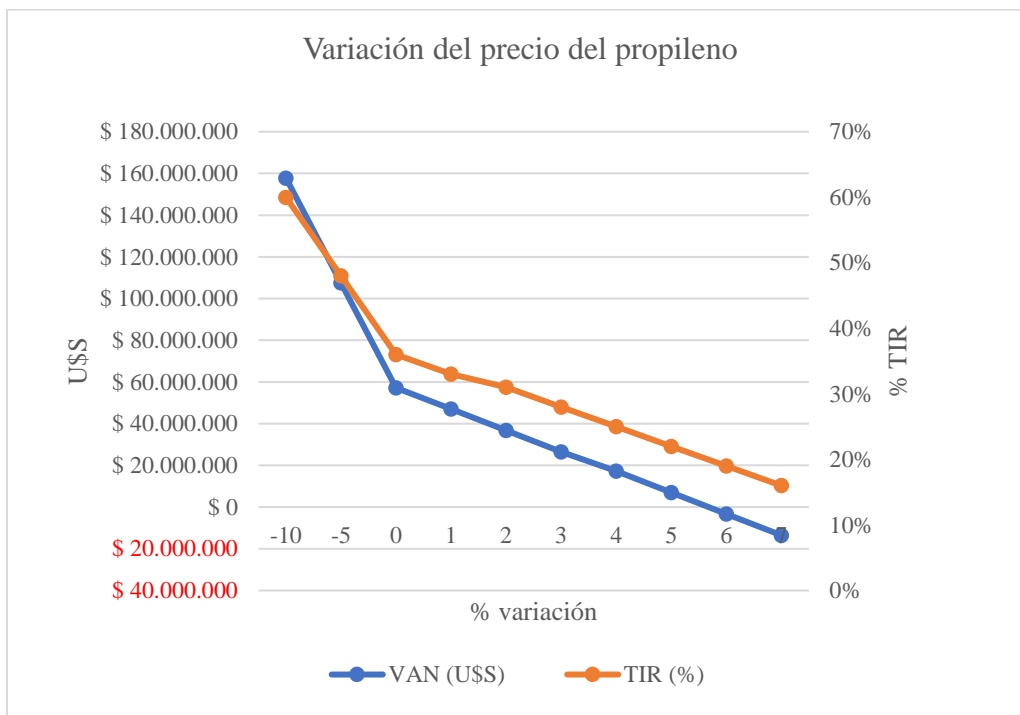


Gráfico 11- 3: Análisis de sensibilidad del precio del propileno.

Como se puede observar, en caso que disminuya el costo del propileno, aumentará el valor del TIR y el VAN, por lo que resulta favorable. Por ejemplo, si el valor del mismo disminuye en un 10%, se alcanza un TIR del 60%, y un VAN del 157.780.005 U\$S. Esto favorece a la aprobación del proyecto.

En caso que se produzca un aumento en el precio del 5% del propileno, aún se registran valores positivos, es decir, el proyecto sigue siendo rentable. Pero aumentos mayores al 5%

resulta desfavorable, ya que se obtiene un TIR del 19% (menor a la tasa de descuento 20%), y un VAN negativo, de -3.273.819 U\$S, lo que estaría indicando pérdidas en el proyecto.

11.12. Conclusiones finales

De acuerdo al análisis realizado, se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- Se lo considera un proyecto atractivo y rentable para los inversionistas, ya que se obtiene una marcada tasa interna de retorno (TIR) del 36% (el cual es superior a la tasa de descuento establecida, 20%), y un valor actual neto (VAN) de 57.237.733 U\$S.
- Contemplando la producción anual de 100.000 toneladas de óxido de propileno, basta con vender 20.688 toneladas anuales para apalancar los costos totales, es decir, para que no haya ni pérdidas ni ganancias.
- El precio de venta del óxido de propileno es fundamental para el proyecto, ya que es la única fuente de ingreso del mismo. Mientras mayor sea su valor, mayor será la tasa interna de retorno y el valor actual neto. Pero en caso de que este disminuya a valores menores del 3% se pueden generar pérdidas.
- A su vez, el valor del propileno, el cual es una de las materias primas, es otra variable a tener en cuenta. Mientras menor sea su costo, mayor será la tasa interna de retorno, y mayor el valor actual neto. Pero si su precio aumenta demasiado, más del 5%, puede llegar a provocar pérdidas.

11.13. Bibliografía

Ente Nacional Regulador del Gas. (2024). Precios y tarifas vigentes. ENARGAS.
<https://www.enargas.gob.ar/secciones/precios-y-tarifas/resoluciones-tarifas-vigentes.php>

Ente Nacional Regulador de la Electricidad. (2024). Cuadros tarifarios de EDENOR y EDESUR. Argentina.gob.ar. ENRE
https://www.argentina.gob.ar/enre/cuadros_tarifarios

Matche. (2014). *Equipment cost data, labor & material, insurance & taxes*. Matche.
<https://www.matche.com/equipcost/Default.html>

Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. & Sapag J.M.P. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (6ª ed.). McGraw-Hill.

Towering Skills. (2024). *Cost indices*. Towering Skills.
<https://toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices/>

World Population Review. (2024). Construction cost index by country. World Population Review. Retrieved July 15, 2024, from <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/construction-cost-index-by-country>

Anexos

Anexo 1: Tratamiento de efluente

Contenido

12. Tratamiento de efluente	423
12.1. Resumen ejecutivo	423
12.2. Introducción	425
12.3. Objetivos.....	425
12.4. Identificación y cuantificación de efluentes.....	425
12.5. Característica del efluente a tratar	425
12.6. Destino del efluente.....	427
12.7. Condiciones de efluente a tratar.....	427
12.8. Descripción de planta tratamiento de efluentes.....	428
12.9. Planta tratamiento de efluentes.....	428
12.9.1. Biodisco	429
12.9.2. Filtro lento de arena (FLA).....	430
12.9.3. Desinfección	432
12.10. Diagrama de flujo	434
12.11. Dimensionamiento de la PTE	434
12.11.1. Biodiscos.....	435
12.11.2. Filtro lento de arena (FLA)	438
12.11.3. Desinfección con hipoclorito de sodio.....	442
12.12. Balances de la PTE	443
12.12.1. Cuadro de resultados	443
12.12.2. Cuadro de resultados comparativos	444
12.13. Bibliografía.....	445

- Ilustraciones:
 - Ilustración 12- 1: Biodiscos.....430*
 - Ilustración 12- 2: Filtro de arena.....432*
 - Ilustración 12- 3: Sistema de cloración.....433*
- Diagramas de flujo:
 - Diagrama de flujo 12- 1: Planta tratamiento de efluente.....434*
- Tablas:
 - Tabla 12- 1: Composición de efluente de proceso.....426*
 - Tabla 12- 2: Composición en ppm del efluente de entrada y salida.428*
 - Tabla 12- 3: Parámetros seleccionados para el diseño de Biodiscos, según recomendaciones.436*
 - Tabla 12- 4: Cálculos de parámetros de diseño de biodisco.....438*
 - Tabla 12- 5: Verificación del diseño de Biodiscos.438*
 - Tabla 12- 6: Parámetros seleccionados para el diseño de filtro lento de arena, según recomendaciones.....439*
 - Tabla 12- 7:Datos obtenidos del diseño de filtro lento de arena.441*
 - Tabla 12- 8: Verificación del diseño del filtro lento de arena.441*
 - Tabla 12- 9: Parámetros típicos y valores seleccionados para el diseño de tanque de cloración.442*
 - Tabla 12- 10: Cálculos realizados para el diseño del tanque de cloración.....442*
 - Tabla 12- 11: Verificación de diseño de tanque de cloración.....443*
 - Tabla 12- 12:Balance de caudales másicos.....443*
 - Tabla 12- 13: Cuadro de resultados.....444*
 - Tabla 12- 14: Comparación de resultados.444*

12. Tratamiento de efluente

12.1. Resumen ejecutivo

La presente sección se basa en la identificación y cuantificación de la corriente efluente del proceso, con el fin de tratarla y darle una disposición final.

En este caso, se evalúa su composición y se propone un sistema de tratamiento, para que finalmente el agua sea apta para utilizarla para riego.

12.2. Introducción

En el siguiente anexo, se detalla el desarrollo de tratamiento de efluentes generados en el proceso de producción de óxido de propileno realizado en la cátedra de tratamiento de efluentes.

12.3. Objetivos

El objetivo de la sección de tratamiento de efluente, es diseñar un sistema con el fin de tratar el agua residual del proceso, obteniendo agua para riego en óptimas condiciones.

12.4. Identificación y cuantificación de efluentes

Con ayuda del simulador, se obtiene la corriente número 029, la cual es el efluente que se considera para este proyecto, ya que posee en su mayor porcentaje agua, además de reactivos que no se recuperaron en el proceso, y subproductos de las reacciones secundarias.

El tratamiento de efluente se diseño para una producción del mismo, de aproximadamente 45,824 l/h.

12.5. Característica del efluente a tratar

Los efluentes contienen una gran variedad de componentes dependiendo de su lugar de procedencia.

En el presente proyecto, el afluente se genera como un subproducto, donde su mayor proporción es agua, y el resto contaminantes orgánicos. Debido a esto, existe ciertos parámetros que son necesarios tener en cuenta, y su valor de referencia, el cual está regulado, depende del destino final que se le dé al agua. Estos a su vez, son sumamente importantes para el diseño de la planta de tratamientos, ya que determinará los equipos y procesos necesarios para cumplir con las especificaciones del agua.

A continuación, en la Tabla 12-1, se muestra la composición de los distintos contaminantes presentes en el efluente.

Contaminante	Volumen	Masa	Fracción masa
	l/h	kg/h	kg/kg
Agua	38,76	40,092	0,83
Metanol	0,798	0,635	0,01
Propilenglicol	6,263	6,515	0,16

Tabla 12- 1: Composición de efluente de proceso.

Para la caracterización de los efluentes a tratar, se enlistan una serie de parámetros fundamentales. Para esto, se tiene en cuenta que los contaminantes en su mayor proporción solo son hidrocarburos (sustancias orgánicas) polares, no polares, y que, debido al tipo de proceso, no se presentan sólidos en suspensión, y tampoco sustancias inorgánicas.

Análisis y estudios a determinar en el efluente según (Jae, 2010):

- **Temperatura:** Es un método sumamente sencillo, que consiste la inmersión de un termómetro en el efluente, aproximadamente un tiempo de 1 minuto.
- **pH:** La técnica consiste en un electrodo de vidrio y su capacidad de respuesta ante soluciones de actividad diferente de iones H^+ .
- **Conductividad:** El método se basa en el uso de células conductivas en conjunto con una fuente externa de corriente y un puente de Wheatstone, con el fin de hallar la conductividad de la solución.
- **DBO5:** consiste en el consumo de oxígeno debido a la incubación a 20°C durante 5 días en oscuridad, y de esta manera que los microorganismos degraden la materia orgánica en el agua.
- **DQO:** Se utiliza dicromato de potasio, con el fin de oxidar las materias orgánicas e inorgánicas, en un medio ácido, de ácido sulfúrico y en caliente, y de esta forma medir el oxígeno consumido.
- **COT:** se refiere a la cantidad de carbono total. Se mide básicamente por la cantidad de dióxido de carbono que se genera al oxidar la materia orgánica en condiciones especiales. La técnica empleada es la de combustión-infrarrojos. En este, luego de homogeneizar y diluir la mezcla, se inyecta en una cámara de reacción caliente rellena de catalizador oxidante. Con la evaporación del agua, se logra la oxidación catalítica del carbono orgánico a 950°C hasta CO_2 , que, transportado en un flujo de gas, se determina mediante un analizador de IR no dispersivo. (Carbono Orgánico Total, s.f.)

12.6. Destino del efluente

Considerando el hecho de no contar con red cloacal en las cercanías de las instalaciones de la planta, el destino del efluente será como agua de riego, por lo que debe cumplir con los requisitos impuestos por las normas de calidad de agua proporcionadas por la Cátedra “Tratamiento de efluentes”, que se detalla a continuación:

- pH=6-7
- Detergentes < 3ppm
- Fenoles <0.5ppm
- Grasas y aceites <50ppm
- Cl libre residual $0.05 < Cl < 2$ ppm
- E.Coli < 250 NMP / 100 ml muestra (NMP: número más probable)
- DBO5 < 100 ppm
- DQO < 250 ppm
- Nt < 50 ppm (nitrógeno total)
- Pt < 5 ppm (fósforo total)

12.7. Condiciones de efluente a tratar

De acuerdo a los datos obtenido del simulador y con los datos proporcionados por la cátedra, se detalla la siguiente.

Composición	Concentración de salida (ppm) (a)	Concentración según normativa vigente (ppm) (b)	Condición	Estado
Contaminantes orgánicos Metanol y propilenglicol	260630,62	<50 (grasas y aceites)	b-a 260580,133	El efluente requiere tratamiento para reducir el contenido de grasas y aceites.

Tabla 12- 2: Composición en ppm del efluente de entrada y salida.

12.8. Descripción de planta tratamiento de efluentes

Para seleccionar los equipos necesarios para el tratamiento del efluente, se analizó adecuadamente los tipos de contaminantes presentes en éste, y las operaciones involucradas para adecuación del mismo.

Al ingresar el efluente a la planta, ingresa directamente al tratamiento biológico encargado degradar la materia orgánica.

Se ha elegido como tratamiento biológico principal, el uso de un biodisco, debido a su gran versatilidad, eficiencia y flexibilidad. El mismo, posee una gran capacidad de adaptación al tipo de agua residual que se trate gracias a los distintos tipos de diseños existentes.

Por última instancia, el agua al salir del tratamiento biológico, pasa por una desinfección, para eliminar microorganismos patógenos que pueden ser arrastrados mediante el tratamiento biológico.

12.9. Planta tratamiento de efluentes

De acuerdo al método empleado, a continuación, se detallan los equipos que conformaran la planta de tratamiento de efluente.

12.9.1. Biodisco

Los biodiscos, o también conocidos como Contactor biológico rotativo, es un sistema de tratamiento biológico secundario, usado para la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y para el pulido de efluentes nitrificados, mediante los cuales se alcanza una remoción del 80 al 95% de remoción de DBO dependiente los tipos de efluentes. Entre las principales ventajas se encuentran el bajo consumo de energía y fácil mantenimiento.

La función de los biodiscos es remover la materia orgánica soluble y coloidal presente en el agua residual, bajo condiciones aeróbicas. Consiste de una serie de discos de plástico de 3 a 4 m de diámetro y de 1,5 mm de espesor aproximadamente, colocados en una flecha (eje) horizontal sumergidos en el agua a tratar e instalados en un tanque de concreto, que giran sobre el agua.

El movimiento produce la transferencia de oxígeno entre la atmósfera y la flora microbiana adherida a los rellenos de los discos. Ésta a través de procesos bioquímicos degrada y elimina la materia orgánica del agua consiguiendo la depuración de la misma.

Los discos giran a velocidades entre 1 y 2 r.p.m. y aproximadamente el 40 a 50 % del área superficial de los discos está sumergida en el agua residual, asegurando que toda la superficie sucesivamente quede totalmente sumergida en el agua residual, y posteriormente en el aire. Consiguiendo que la película biológica que se forma sobre ellos queda alternativamente sumergida en el agua residual y posteriormente expuesta al aire, permitiendo que los microorganismos puedan utilizar el oxígeno del aire y los nutrientes del agua. De esta manera se logra que el 95% del disco esté en contacto con el agua residual. Adicionalmente, la rotación ocasiona la aireación de la biomasa residual, manteniéndola en condiciones aeróbicas y evitando el desprendimiento de gases no deseables. (Yisus, 2018) (Caro, 2016) (Martínez)

Los discos en los que soportan los microorganismos generalmente son de poliestireno, cloruro de polivinilo o polímeros orgánicos similares, y también se suministran de diferentes configuraciones o corrugados. Corrugado para que aumente la superficie disponible y favorecer su estabilidad estructural.

En comparación con el sistema de lodos activados, los microorganismos que se adhieren a la superficie corresponden básicamente a las mismas familias, la mayoría son microorganismos heterótrofos; hay presencia de muchos hongos y bacterias, predominan las facultativas y algas

se presentan cerca de la superficie, donde está la luz solar, entre otros) (Enrique, Valdez, B, & González, 2003)



Ilustración 12- 1: Biodiscos. (Biodiscos)

12.9.2. Filtro lento de arena (FLA)

Una vez terminada la etapa de tratamiento en los contactores biológicos el efluente ingresa al filtro lento de arena (FLA), reconocido como una tecnología sencilla, confiable y eficiente.

El tratamiento del agua en una unidad de FLA es el producto de un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, los cuales interactúan de manera compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua. (RURAL, 2005)

Así mismo se ha comprobado su efectividad en la reducción de partículas y sólidos en suspensión, así como una reducción importante de la materia orgánica. (Díaz, s.f.)

La filtración se produce al hacer circular el agua a través del medio filtrante de arena. Durante el proceso las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación biológica que reducen la materia orgánica retenida a formas más simples.

El agua que ingresa al FLA permanece sobre el medio filtrante, dependiendo de las velocidades de filtración adoptadas.

La formación de una capa biológica superficial en donde coexisten bacterias, protozoos y algas entre otros, produce una relación de simbiosis en donde las algas proveen el oxígeno necesario para la supervivencia de los demás microorganismos, mientras que estos aportan el dióxido de carbono que las algas consumen, es importante destacar que la radiación solar juega un papel importante en el crecimiento de los microorganismos y de las algas. Los microorganismos son los responsables de la degradación de la materia orgánica.

El mantenimiento del FLA se produce cuando hay aumento en la turbiedad o el incremento de microorganismos o algas que provocan la obturación del filtro, ya sean el producto de un fenómeno hidrológico o climático, como fuertes lluvias o el verano intenso respectivamente. Este mantenimiento consiste en remover la capa superior de arena junto con el lecho biológico, lavarlas con agua potable y almacenarla para su posterior colocación y una vez colocada poner nuevamente en funcionamiento el filtro.

Un filtro lento de arena (FLA) consiste en un tanque que contiene:

- Una capa de agua sobrenadante.
- Un lecho de arena filtrante.
- Una capa de soporte.
- Un sistema de drenaje.
- Una estructura de entrada y salida.

La altura total del filtro está determinada por la altura de:

- Lecho de arena.
- Capa de soporte y sistema de drenaje.
- Sobrenadante.
- Borde libre.

El medio filtrante está compuesto por material granular inerte y durable, generalmente se selecciona arena porque es barata, inerte, duradera y de fácil obtención. Cuando se coloca en el filtro, la arena debe estar libre de arcilla, tierra y materia orgánica. Este medio está compuesto por arena de filtro, arena gruesa, y dos tipos de grava de distinta granulometría, que impiden que el material granular del lecho del filtro se acarreado hacia el sistema de drenaje. (ORDOÑEZ., 2011)

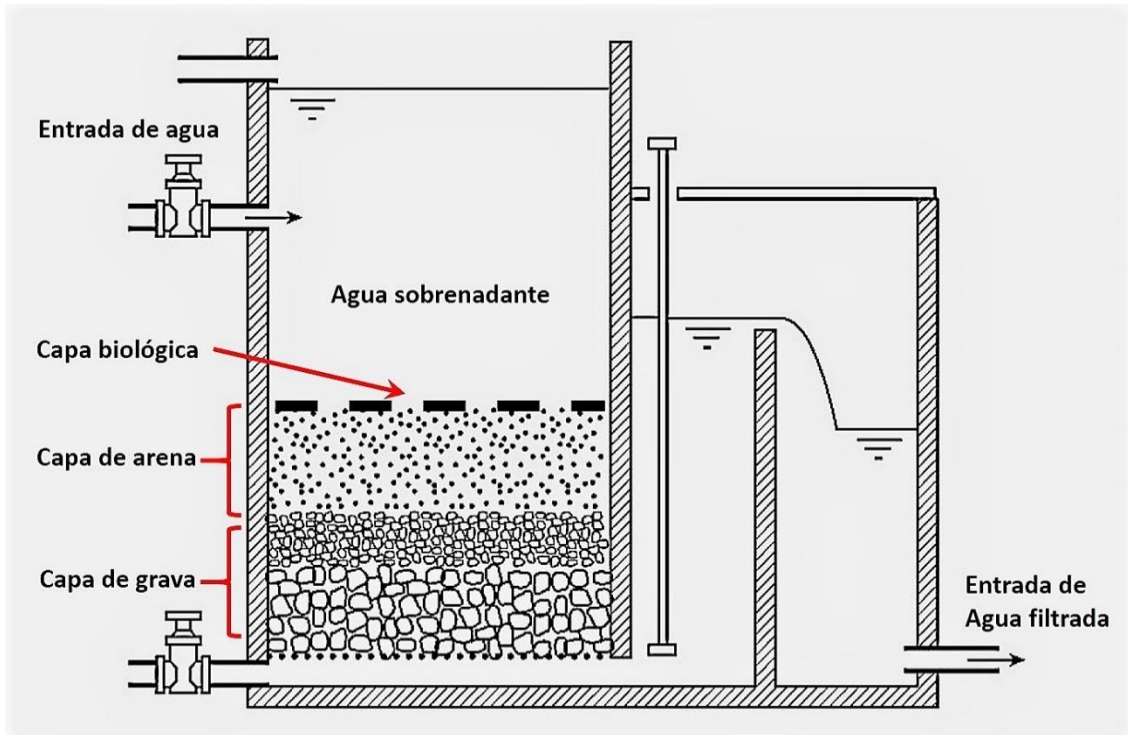


Ilustración 12- 2: Filtro de arena. (arena, s.f.)

12.9.3. Desinfección

La desinfección es la destrucción selectiva de aquellos organismos que pueden causar enfermedades. No todos son destruidos, y esa es la diferencia con la esterilización, la cual elimina todos los microorganismos, es decir, la destrucción de la totalidad. (METCALF & EDDY)

De todos los desinfectantes utilizados, el cloro es el agente químico universal, ya que cumple con la mayoría de las condiciones que se requieren para definirlo como un buen desinfectante para su uso.

Para una mejor eficacia de la desinfección, para una mejor control y dosificación de productos, hay empresas que se dedican al diseño de sistemas que pueden funcionar automáticamente, para garantizar y alcanzar los parámetros deseados. A continuación, se describe el sistema seleccionado, el sistema Hidritec.

Este sistema contiene un tanque que, junto con una recirculación, garantizan un tiempo de retención adecuado, entre 15 a 45 minutos, para garantizar la desinfección.

El tanque cuenta con una entrada, por donde ingresa el agua proveniente del filtro lento de arena, y una salida, la cual posee la derivación para la recirculación, que va a una bomba, para que luego el líquido vuelva a ingresar al tanque. A la salida de esta bomba, se toma una muestra, la cual se analiza y se mide el cloro libre en el agua. De acuerdo a este valor, y a al valor seteado como objetivo, envía una señal a la bomba dosificadora de hipoclorito de sodio, para que agregue más o menor cantidad, según sea el caso que se esté dando.

Toda esta reacción del sistema es automática, por lo tanto, una vez fijado el valor objetivo, el sistema acciona el agregado del desinfectante. A su vez, en caso de querer verificar el buen funcionamiento del equipo, se pueden tomar muestras cada cierto tiempo, las cuales pueden ser analizadas en el laboratorio, para realizar los ajustes necesarios.

Además, este sistema puede ir acoplado de un sistema de control y regulador de pH, ya que este debe mantenerse dentro de un rango adecuado, para el correcto funcionamiento del cloro. En caso de que el pH se eleve, mayor a 7, se agregaría ácido clorhídrico, para que éste pase de básico a ácido. (Hidritec, s.f.)

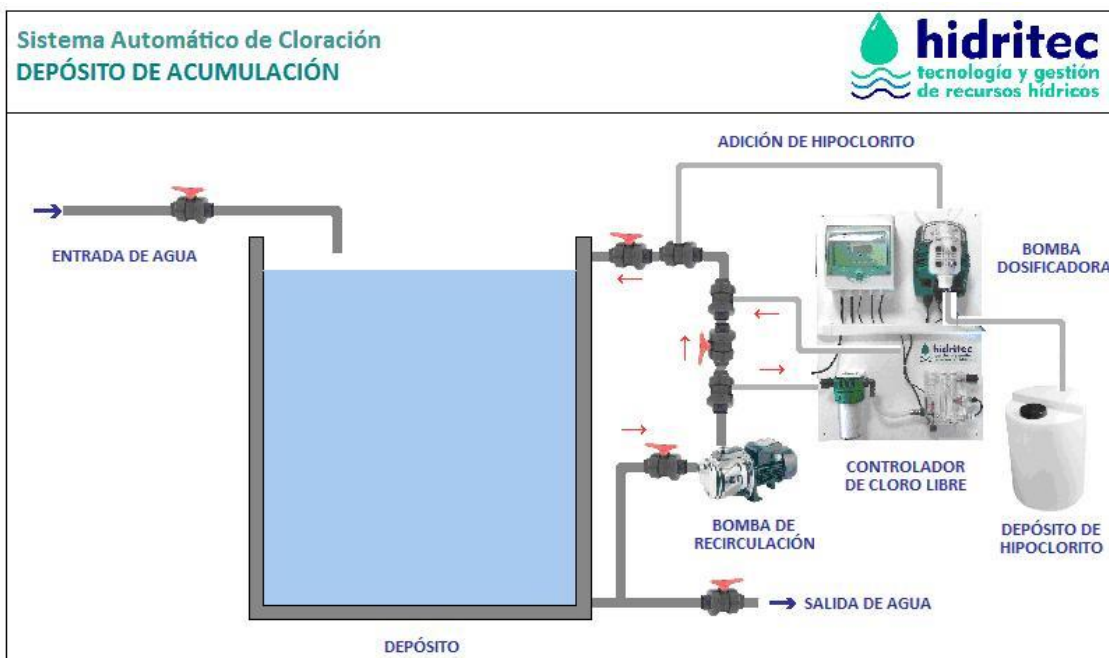


Ilustración 12- 3: Sistema de cloración. (Hidritec, s.f.)

12.10. Diagrama de flujo

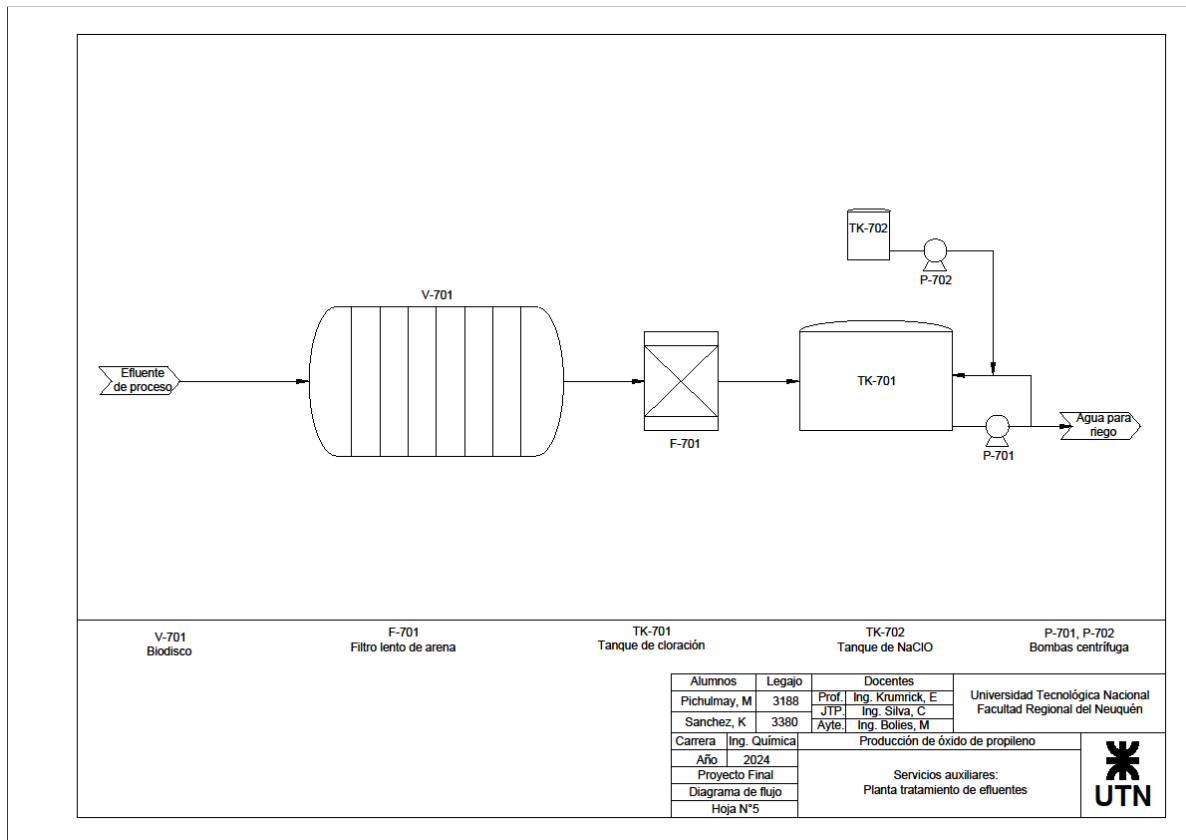


Diagrama de flujo 12- 1: Planta tratamiento de efluente.

12.11. Dimensionamiento de la PTE

12.11.1. Biodiscos

A continuación, en la Tabla 12-3, se adjuntan los valores seleccionados para el diseño.

Parámetros seleccionados	Unidad	Valores típicos	Valor seleccionado
Factor de Carga Orgánica DBOT	g DBOT/m ² d	30 - 40	31
Diámetro de disco (d)	m	2-3,6	3,6
Espesor disco (e)	m	0,01	0,01
Separación entre disco (sd)	m	0,03-0,04	0,04
Separación entre etapas (se)	m	0,096	0,096
Velocidad de rotación	rpm	1,0-2,0	1,5
Espesor de biopelícula	m	0,002-0,004	0,003
Relación (Área sumergida/Área total del disco)		0,4	0,4
Separación del disco y el suelo (su)	m	0,05	0,05
Separación del disco con las paredes (dp)	m	0,05	0,05
Espesor de pantalla deflectora que	m	0,04	0,04

separa las etapas (ep)			
D/d (Altura sumergida del disco/Diámetro del disco)		0,42	0,42
Separación del disco hacia el techo (dt)	m	0,05	0,05
Número de etapas por Biodiscos (NE)		4,0-5,0	5
Máximo de discos por biodiscos (NM)		40-60	60

Tabla 12- 3: Parámetros seleccionados para el diseño de Biodiscos, según recomendaciones.

En la Tabla 12- 4, se adjuntan los cálculos realizados y obtenidos.

Área total necesaria (At)	$A_t = \frac{Q \cdot DBOT}{\text{Factor de carga organica DBOT}}$	m ²	7385,69
Área (A1)	$A_1 = \frac{A_t}{2}$	m ²	3692,85
Área por disco (Ad)	$A_d = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	m ²	10,18
Área sumergida por disco (a)	$a = A_d \cdot 0.4$	m ²	4,07
Área del disco no sumergido (an)	$an = A_d \cdot 0.6$	m ²	6,11
Altura sumergida del disco (D)	$D = 0,42 \cdot d$	m	1,51
Altura sumergida desde el piso (Hp)	$Hp = D + su$	m	1,56

Nº de discos (N)	$N = \frac{A_1}{A_d}$		362,80
Nº de discos corregidos (Nc)	Redondeo de N		363
Nº de Biodiscos en paralelos (B)	$B = \frac{Nc}{NM}$		7
Nº de discos por biodisco (DB)	$DB = \frac{Nc}{B}$		52
Número de etapas por biodiscos (NE)			5
Distribución de discos por etapa	1º Etapa, redondeado		11
	2º Etapa, redondeado		11
	3º Etapa, redondeado		11
	4º Etapa, redondeado		11
	5º Etapa, redondeado		8
Longitud del Reactor (LR)	$LR = DB * (e + sd) + (NE - 1) * (se + ep)$	m	3,15
Ancho del reactor (AR)	$AR = d + 2 \cdot dP$	m	3,7
Altura del reactor (HR)	$HR = d + dt + su$	m	3,7
Volumen del reactor (VR)	$VR = LR * AR * 2 * Hp$	m ³	36,41

Tiempo de retención hidráulico (td)	$td = \frac{VR}{Q}$	h	794,57
Área de contacto por biodisco (AB)	$AB = Ad \cdot BD \cdot 2$	m ²	1058,59
Área total corregido (AC)	$AC = Ad * Nc * 2$	m ²	7389,78

Tabla 12- 4: Cálculos de parámetros de diseño de biodisco.

Y, posteriormente, en la Tabla 12-5 se realiza la verificación del mismo.

Parámetros	Ecuación	Unidad	Valor	Rango de salida
				30-40 g DBO/m ² d
Factor de carga orgánica (FC)	$FC = \frac{Q * DBOT}{AC}$	g DBO/m ² d	30,98	CUMPLE

Tabla 12- 5: Verificación del diseño de Biodiscos.

12.11.2. Filtro lento de arena (FLA)

En la Tabla 12-6 se adjuntan los valores típicos, para el diseño de un filtro lento de arena (FLA) extraídos de la bibliografía y los valores seleccionados.

Parámetros seleccionados	Unidad	Valores típicos	Valor seleccionado
Velocidad de filtración (V)	m/s	0,1-0,4	0,2
Número de unidades (Nf)		2	2
Altura de agua sobrenadante sobre el filtro (ag)	m	0,8-1,5	1

Altura total del lecho de grava (alg)	m	0,1-0,3	0,3
Altura del lecho de arena (ala)	m	0,3-0,4	0,4
Relación de la composición del medio filtrante de referencia (ar)	m	0,45	0,45
Arena de filtro 0,2-0,3 mm (a1)	m	0,1	0,1
Arena de gruesa 1-1,14 mm (a2)	m	0,1	0,1
Grava 4-5,6 mm (a3)	m	0,1	0,1
Grava 16-23 mm (a4)	m	0,15	0,15
Espesor del sistema de drenaje(ed)	m	0,25	0,25
Altura de bordes libres (ali)	m	0,3	0,3

Tabla 12- 6: Parámetros seleccionados para el diseño de filtro lento de arena, según recomendaciones.

En la Tabla 12-7, donde se realizaron los cálculos y se obtuvieron los resultados del diseño de un filtro lento de arena (FLA).

Parámetro	Ecuación	Unidad	Valor
Área superficial (As)	$A_s = \frac{Q}{Nf Vf}$	m ²	0,11

Coeficiente de costo mínimo (K)	$K = \frac{2 * Nf}{Nf + 1}$		1,33
Largo de la unidad (Lf)	$Lf = \frac{L}{\sqrt{As * K}}$	m	0,39
Largo de la unidad adoptado (La)	Redondeo de Lf	m	0,40
Ancho de la unidad (Af)	$Af = \sqrt{\frac{As}{K}}$	m	0,29
Ancho de la unidad adoptado (Aa)	Redondeo de Af	m	0,30
Altura del lecho filtrante (al)	$al = alg + ala$	m	0,70
Arena de filtro 0,2-0,3 mm (a1c)	$a1c = \frac{ala * a1}{a1 + a2}$	m	0,20
Arena de filtro 0,2-0,3 mm corregido (a1f)	Redondeo de a1c	m	0,20
Arena de gruesa 1-1,14 mm (a2c)	$a2c = \frac{ala * a2}{a1 + a2}$	m	0,20
Arena de gruesa 1-1,14 mm corregido (a2f)	Redondeo de a2c	m	0,20
Grava 4-5,6 mm (a3c)	$a3c = \frac{alg * a3}{a3 + a4}$	m	0,12
Grava 4-5,6 mm corregido (a3f)	Redondeo de a3c	m	0,12

Grava 16-23 mm (a4c)	$a4c = \frac{alg*a4}{a3+a4}$	m	0,18
Grava 16-23 mm corregido (a4f)	Redondeo de a4c	m	0,18
Altura corregida del lecho (ALe)	$ALe = a1f + a2f + a3f + a4f$	m	0,70
Altura total del filtro (Hf)	$Hf = ALe + ag + ed + ali$	m	2,25
Área real del filtro (Af)	$Af = La^2 / K$	m ²	0,12
Volumen de filtro (VoF)	$VoF = Af * Hf$	m ³	0,27

Tabla 12- 7: Datos obtenidos del diseño de filtro lento de arena.

Y finalmente, en la tabla siguiente se detalla la verificación correspondiente al filtro lento de arena.

Parámetros	Ecuación	Unidad	Valor	Condición
Velocidad de filtración	$Vf = \frac{Q}{Af * Nf}$	m/h	0,191	CUMPLE

Tabla 12- 8: Verificación del diseño del filtro lento de arena.

12.11.3. Desinfección con hipoclorito de sodio

En la Tabla 12-9 se adjuntan los valores típicos, para el diseño de un tanque cloración con recirculación.

Parámetros seleccionados	Unidad	Valores típicos	Valor seleccionado
Tiempo de retención (TR)	min	>15	30
Relación altura (h) / radio (rt)		≥1,75	1,75
Volumen total (VT) /Volumen de tanque real (Vreal) (Vv)		0,75	0,75

Tabla 12- 9: Parámetros típicos y valores seleccionados para el diseño de tanque de cloración.

En la Tabla 12-10, se detallan los cálculos realizados para el mismo.

Parámetros seleccionados	Ecuación	Unidad	Valor
Volumen útil (VU)	$VU = TR * Q$	m ³	0,02
Volumen total (VT)	$VT = TR * rt$	m ³	0,03
Radio (rt)	$rt = \left(\frac{VT/Vv}{hrt*\pi}\right)^{1/3}$	m	0,19
Diámetro (D)	$D = rt * 2$	m	0,37
Altura (h)	$h = hrt * rt$	m	0,32
Volumen del tanque real (Vr)	$Vr = \pi * D^2 * h$	m ³	0,04

Tabla 12- 10: Cálculos realizados para el diseño del tanque de cloración.

Por último, en la Tabla 12-11 se observa la verificación realizada para garantizar que el volumen útil del recipiente, sea el 75% del volumen total del tanque.

Parámetros	Ecuación	Unidad	Valor	Condición
Volumen total (VT) /Volumen de tanque real (Vreal) (Vv)	Relación = $\frac{VT}{Vr}$		0,750	CUMPLE

Tabla 12- 11: Verificación de diseño de tanque de cloración.

12.12. Balances de la PTE

En la siguiente Tabla 12-12, se realiza un balance de con los caudales máxicos.

Caudales máxicos(kg/h)		
Ingreso	salida	Removido
47,24	40,1	7,14

Tabla 12- 12:Balance de caudales máxicos.

12.12.1. Cuadro de resultados

En la Tabla 12-13, se detallan la variación de los parámetros de referencia utilizados para el diseño de los equipos, a medida que el efluente pasa por los equipos, y sale lista con las condiciones de agua de riego.

Parámetro	Alimentación de Biodiscos (mg/l)	Salida de Biodiscos (mg/l)	Alimentación de filtro lento de arena (mg/l)	Salida de filtro lento de arena (mg/l)
DBOT	208184,5	30,98	30,98	30,98
Cloro libre residual	-	-	-	-

Salida de filtro lento de arena (mg/l)	Entrada de desinfección (mg/l)	Salida de desinfección (mg/l)	Valor objetivo (mg/l)	Condición
30,98	30,98	30,98	< 100	CUMPLE
-	-	2,00	2,00	CUMPLE

Tabla 12- 13: Cuadro de resultados.

12.12.2. Cuadro de resultados comparativos

Finalmente, en la Tabla 12-14, se realiza una comparación de la composición del efluente de entrada, con respecto al de salida.

Comparación	Entrada		Salida	
	Caudal másico (kg/h)	Porcentaje masa (%)	Caudal másico (kg/h)	Porcentaje masa (%)
Agua	40,09	83,00	40,09	99,997
Metanol	0,63	1,00	9,4E-05	2,4E-04
Propilenglicol	6,51	16,00	9,7E-04	2,4E-03
TOTAL	47,24	100,0	40,1	100,0
DBOT (mg/l)	208.184,50		30,98	
DBOQ (mg/l)	260.230,62		41,31	

Tabla 12- 14: Comparación de resultados.

12.13. Bibliografía

- (s.f.). Obtenido de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/sistema-de-biodiscos/arena>, F. I. (s.f.). Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/filtraci%C3%B3n-lenta-de-arena>.
- Caro, D. (31 de Mayo de 2016). *you tube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=Jfg-9iQ7ecE>
- Diaz, F. (s.f.). https://www.academia.edu/25465236/A2_Filtro_Arena_San_Luis.
- Enrique, Valdez, C., B, A., & González, V. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*.
- González, J. S. (2016). *Ingeniería básica de una planta de deshidrogenación*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90566/fichero/TFG+Julia+Sena.pdf>
- Hidritec*. (s.f.). Obtenido de <http://www.hidritec.com/hidritec/sistemas-de-cloracion>
- Jae, U. d. (2010). *Análisis de Agua*. Obtenido de http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf
- Martínez, M. A. (s.f.). *Biodiscos:una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales*. Obtenido de <file:///C:/Users/Kevin%20Sanchez/Downloads/Dialnet-Biodiscos-4835478.pdf>
- Material proporcionado por la cátedra. (2020).
- METCALF & EDDY, I. (s.f.). *Ingeniería de aguas residuales- Tratamiento, vertido y reutilización*.
- ORDOÑEZ., D. A. (2011). *FILTROS BIOLÓGICOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA*. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>
- Oyama, S. T. (2018). *Mechanisms in Homogeneous and Heterogeneous Epoxidation Catalysis*.
- Repsol Global-Óxido de propileno*. (s.f.). Obtenido de <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/quimica/productos/oxido-propileno/index.cshtml>

Resolución EPAS N°181/00.NEUQUEN. (28 de julio de 2000.).

RURAL, U. U. (2005).

<http://www.elaguapotable.com/Guia%20dise%C3%B1o%20filtraci%C3%B3n%20en%20múltiples%20etapas.pdf>.

Wikipedia- Propylene Oxide. (s.f.). Obtenido de

https://en.wikipedia.org/wiki/Propylene_oxide

Wikipedia-Carbono Orgánico Total. (s.f.). Obtenido de

https://es.wikipedia.org/wiki/Carbono_org%C3%A1nico_total

Yisus, A. (28 de Noviembre de 2018). *you tube*. Obtenido de

https://www.youtube.com/watch?v=l8ZwwmQEi_Q

Anexo 2: Hojas de seguridad

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÓXIDO DE PROPILENO		ICSC: 0192	
		Noviembre 2009	
1,2-Epoxipropano. Metiloxirano. Óxido de metil etileno. Óxido de propeno.			
CAS:	75-56-9	C ₃ H ₆ O / CH ₃ CHCH ₂ O	
RTECS:	TZ2975000	Masa molecular: 58.1	
NU:	1280		
CE Índice Anexo I:	603-055-00-4		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Espuma resistente al alcohol o pulverización con agua.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej., con conexión a tierra). NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡HIGIENE ESTRICTA!	
Inhalación	Tos. Dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio. Reposo, si se siente mal.
Piel	Enrojecimiento.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor de garganta.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar inmediatamente asistencia médica ya que es posible tener dificultad respiratoria y/o fiebre con efectos retardados.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en un recipiente seco y hermético. Absorber el líquido residual en arena seca o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.		Envase irrompible; colocar el envase frágil en un recipiente irrompible cerrado. Clasificación UE Símbolo: F+, T R: 45-46-12-20/21/22-36/37/38; S: 53-45; Nota: E Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3; Grupo de Envasado NU: I Clasificación GHS Peligro Líquido y vapores extremadamente inflamables. Nocivo en caso de ingestión. Nocivo en contacto con la piel. Nocivo si se inhala el vapor. Provoca irritación cutánea. Provoca irritación ocular. Susceptible de provocar defectos genéticos. Susceptible de provocar cáncer. Puede provocar irritación respiratoria. Puede ser nocivo en caso de ingestión y de penetración en las vías respiratorias.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H3; F4; R2		A prueba de incendio. Separado de ácidos, bases y oxidantes fuertes. Mantener en lugar seco, fresco y bien cerrado. Mantener en la oscuridad.	
IPCS International Programme on Chemical Safety			
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2010			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÓXIDO DE PROPILENO**ICSC: 0192****DATOS IMPORTANTES****ESTADO FÍSICO; ASPECTO:**

Líquido incoloro, muy volátil y de olor característico.

PELIGROS FÍSICOS:

El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.

PELIGROS QUÍMICOS:

La sustancia puede polimerizar violentamente, bajo la influencia de bases, ácidos y cloruros metálicos, con peligro de incendio o explosión. Reacciona violentamente con cloro, amoníaco, oxidantes fuertes y ácidos, originando peligro de incendio y explosión.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 2 ppm como TWA; A3 (cancerígeno animal) SEN; (ACGIH 2009).

MAK: H (absorción dérmica) Cancerígeno: categoría 2 (DFG 2009).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. En caso de ingestión la sustancia puede causar vómitos, lo que puede provocar neumonía por aspiración.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 34 °C

Punto de fusión: -112 °C

Densidad relativa (agua = 1): 0.83

Solubilidad en agua, g/100 ml a 20 °C: 40

Presión de vapor, kPa a 20 °C: 59

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.0

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1.6

Temperatura de autoignición: 430 °C

Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.9-36.3

Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.03

Viscosidad, mm²/s a 25 °C: 0.34**DATOS AMBIENTALES****NOTAS**

NO llevar a casa la ropa de trabajo.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2011):

VLA-ED: 2 ppm; 4,8 mg/m³

C1B (Sustancia carcinogénica de categoría 1B).

M1B (Sustancia mutagénica de categoría 1B).

Nota: Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

© IPCS, CE 2010

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOL

ICSC: 0057



METANOL
Alcohol metílico
Carbinol
Monohidroximetano
CH3OH
Masa molecular: 32.0

Nº CAS 67-56-1
Nº RTECS PC1400000
Nº ICSC 0057
Nº NU 1230
Nº CE 603-001-00-X



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable. Arde con una llama invisible. Explosivo.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones (véanse Notas).	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR LA EXPOSICION DE ADOLESCENTES Y NIÑOS!	
• INHALACION	Tos, vértigo, dolor de cabeza, náuseas.	Ventilación. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca, enrojecimiento.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Dolor abdominal, jadeo, pérdida del conocimiento, vómitos (para mayor información véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!) y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, eliminar el líquido derramado con agua abundante y el vapor con agua pulverizada. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco.	No transportar con alimentos y piensos. símbolo F símbolo T R: 11-23/24/25-39-23/24/25 S: (1/2)-7-16-36/37-45 Clasificación de Peligros NU: 3 Riesgos Subsidiarios NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: II CE:

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE


ICSC: 0057

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOL

ICSC: 0057

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.	RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo monóxido de carbono y otros gases altamente inflamables y tóxicos.	EFFECTOS DE EXPOSICION CORTA La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, dando lugar a una pérdida del conocimiento. La exposición por ingestión puede producir ceguera y sordera. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 200 ppm; 262 mg/m ³ (piel) (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 250 ppm; 328 mg/m ³ (piel) (ACGIH 1993-1994).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 65 °C Punto de fusión: -94 °C Densidad relativa (agua = 1): 0.79 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20 °C: 12.3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.1	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire=1): 1.01 Punto de inflamación: (c.c.) 12 °C Temperatura de autoignición: 385 °C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6-35.6 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.82/-0.66
DATOS AMBIENTALES	 La sustancia presenta una baja toxicidad para los organismos acuáticos y terrestres.	
NOTAS		
EXPLOSION/PREVENCIÓN: Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas. Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-36 Código NFPA: H 1; F 3; R 0;		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 3-138 METANOL		
ICSC: 0057		METANOL
© CCE, IPCS, 1994		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).	

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PEROXIDO DE HIDROGENO

Rótulo NFPA



Rótulos UN



Fecha Revisión: 21/03/2005

SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre del Producto:	PEROXIDO DE HIDROGENO
Sinónimos:	Dióxido de hidrógeno.
Fórmula:	H2O2
Número interno:	
Número UN:	2015
Clase UN:	5.1
Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad:	Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia.

Teléfonos de Emergencia:

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES

Componente	CAS	TWA	STEL	%
Peróxido de hidrógeno	7722-84-1	1.4 mg/m3 (1 ppm) (ACGIH 2004)	N.R. (ACGIH 2004)	> 90

Uso: Blanqueadores de textiles, alimentos, papel, en la producción de químicos, plásticos, farmacéuticos, electroplateado, tratamiento de agua, refinado y limpieza de metales, combustible de cohetes, caucho para espuma, antiséptico, agente neutralizante en la destilación del vino, desinfectante de semillas.

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

¡Peligro! Oxidante fuerte. Corrosivo. Al contacto con otro material puede causar fuego. Puede ser dañoso si es ingerido. Puede causar efectos en el Sistema nervioso central, anomalías en la sangre, irritación severa en los tractos respiratorio y digestivo e irritación en la piel con posibles quemaduras. Al contacto con los ojos puede dar lugar a daños permanentes.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación:	Sensación de ardor en la garganta, tos. Posible paro respiratorio y edema pulmonar.
Ingestión:	Corrosivo. Ardor en la garganta, dolor en el pecho, vómito, hemorragias. La formación espontánea de oxígeno en el esófago o estómago puede ocasionar heridas.
Piel:	Corrosivo a concentraciones mayores del 10%. Blanqueamiento de la piel y picazón.
Ojos:	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa. Puede causar daños irreparables en la retina y eventualmente ceguera. Efectos retardados hasta 1 semana después.
Efectos crónicos:	El contacto prolongado o repetido con la piel puede causar dermatitis. Los experimentos del laboratorio han dado lugar a efectos mutágenos. El contacto repetido puede causar daño córneo.

SECCIÓN 4: PROCEDIMIENTOS DE PRIMEROS AUXILIOS

PEROXIDO DE HIDROGENO

CISPROQUIM 1

Inhalación:	Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. No usar el método boca boca. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la víctima abrigada y en reposo. Buscar atención médica inmediatamente.
Ingestión:	Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua. No inducir el vómito, si éste se presenta inclinar la víctima hacia adelante. Buscar atención médica inmediatamente. Si está inconsciente no dar a beber nada.
Piel:	Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Retirar la ropa y calzado contaminados. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.
Ojos:	Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.
Nota para los médicos:	Después de proporcionar los primeros auxilios, es indispensable la comunicación directa con un médico especialista en toxicología, que brinde información para el manejo médico de la persona afectada, con base en su estado, los síntomas existentes y las características de la sustancia química con la cual se tuvo contacto.
SECCIÓN 5: MEDIDAS EN CASO DE INCENDIO	
Punto de inflamación (°C):	N.A.
Temperatura de autoignición (°C):	N.A.
Limites de inflamabilidad (%VVV):	40 - 100
Peligros de incendio y/o explosión:	No inflamable. Con el calor propicia la combustión espontánea de materiales combustibles. Libera oxígeno el cual intensifica y favorece la combustión.
Medios de extinción:	Solo utilizar agua. No utilizar espuma, producto químico seco, Dióxido de carbono o polvo.
Productos de la combustión:	N.R.
Precauciones para evitar incendio y/o explosión:	Mantener alejado de toda fuente de calor. No colocar junto a materiales combustibles, ni impurezas. Evitar golpes y fricción.
Instrucciones para combatir el fuego:	Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Estar a favor del viento. Usar equipo de protección personal.
SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL	
Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Estar a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. Eliminar toda fuente de ignición. Usar agua en forma de rocío para reducir los vapores.	
SECCIÓN 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO	
Manejo:	Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que va a realizar con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en dónde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente.
Almacenamiento:	Lugares ventilados, frescos y secos. Mantener lejos de fuentes de calor, chispa e ignición. Separar de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos bien cerrados. Almacenar protegido de luz y a temperaturas inferiores a 35 °C. CONTENEDORES: Botellas de vidrio ámbar, garrapas, barriles de aluminio, barriles no retornables de polietileno con envoltura de fibra y acero; camiones y vagones cisterna.
SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCIÓN PERSONAL	
Controles de ingeniería:	Ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los

PEROXIDO DE HIDROGENO
CISPROQUIM 2

límites de exposición ocupacional o se mantenga lo más baja posible. Considerar la posibilidad de encerrar el proceso. Garantizar el control de las condiciones del proceso. Suministrar aire de reemplazo continuamente para suplir el aire removido. Disponer de duchas y estaciones lavaojos.

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Protección de los ojos y rostro:	Usar las gafas o anteojos de seguridad apropiados para productos químicos según lo descrito por las regulaciones de la OSHA en 29 CFR 1910.133 o en el Estándar Europeo EN166.
Protección de piel:	Guantes largos, botas y ropa de protección impermeables al producto.
Protección respiratoria:	Respirador con filtro para vapores inorgánicos. Un programa de protección respiratoria que resuelve los requisitos de la OSHA 29 CFR:1910.134 y del ANSI Z88.2 o del Estándar Europeo EN 149 debe ser seguido siempre que el lugar de trabajo condicione el uso de un respirador.
Protección en caso de emergencia:	Equipo de respiración autónomo (SCBA) y ropa de protección TOTAL.

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Apariencia, olor y estado físico:	Líquido incoloro con ligero olor.
Gravedad específica (Agua=1):	1.2 a 20°C
Punto de ebullición (°C):	141
Punto de fusión (°C):	-11
Densidad relativa del vapor (Aire=1):	1.0
Presión de vapor (mm Hg):	18.3 a 30°C
Viscosidad (cp):	1.245 a 20°C
pH:	5.1
Solubilidad:	Soluble en agua y alcohol.

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química:	Estable bajo condiciones normales de presión y temperatura.
Condiciones a evitar:	Choque mecánico, sustancias incompatibles, luz, fuentes de ignición, generación de polvo, exceso de calor.
Incompatibilidad con otros materiales:	Materiales combustibles, agentes reductores, iones metálicos, materiales oxidables, hierro, cobre, latón, bronce, cromo, cinc, plomo, plata, manganeso.
Productos de descomposición peligrosos:	Oxígeno, Gas de hidrógeno, agua.
Polimerización peligrosa:	N.R.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

DL50 (oral,rata) = 376 mg/kg, Efectos: peritonitis, cambio en la cuenta de leucocitos.
DL50 (piel, ratas) = 4.06 g/kg .
LC50 (inhalación, ratas) = 2 g/m3 en 4h, Efectos: sobre los pulmones, tórax; embolia pulmonar.

No es listado como Carcinógeno por la ACGIH, IARC, NIOSH, NTP y OSHA.

Ensayos en ojos:

Una dosis de concentración entre 5 - 30% de Peróxido de hidrógeno en los ojos de los conejos causó cataratas.

Mutagenicidad:

Presenta cambios en el DNA para la bacteria (E. Coli) y mutaciones en la Saccharomyces cerevisiae.

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

CL50 (trucha) =40 ppm/tns agua salada.
CL50 (Daphnia Magna) = 0.007 g/L durante 24h.

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN

PEROXIDO DE HIDROGENO

CISPROQUIM 3

El material derramado puede ser recogido y recuperarse, o diluirse con abundante agua y desecharse según normatividad.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

Etiqueta amarilla de sustancia comburente, clase UN 5.1, grupo II. No transportar con ningún tipo de sustancia química. Proteger los contenedores del daño físico y del calor.

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

1. Ley 769/2002. Código Nacional de Tránsito Terrestre. Artículo 32: La carga de un vehículo debe estar debidamente empacada, rotulada, embalada y cubierta conforme a la normatividad técnica nacional.
2. Los residuos de esta sustancia están considerados en: Ministerio de Salud. Resolución 2309 de 1986, por la cual se hace necesario dictar normas especiales complementarias para la cumplida ejecución de las leyes que regulan los residuos sólidos y concretamente lo referente a residuos especiales.
3. Ministerio de Transporte. Decreto 1609 del 31 de julio de 2002. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
4. Ministerio de Transporte. Resolución número 3800 del 11 de diciembre de 1998. Por el cual se adopta el diseño y se establecen los mecanismos de distribución del formato único del manifiesto de carga.

SECCIÓN 16: OTRAS INFORMACIONES

La información relacionada con este producto puede no ser válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular.

Bibliografía



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013 Versión: 1.1 No. FDS: 000010021744
 Fecha de revisión: 27.08.2015 1/16

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Nombre del producto: Propileno (propeno)
Nombre comercial: Propileno, Propileno 2.5, Propeno
Identificación adicional
Determinación química: propeno (propileno)
Fórmula química: C₃H₆
Número de identificación - UE: 601-011-00-9
No. CAS: 115-07-1
N.º CE: 204-062-1
No. de registro REACH: 01-2119447103-50

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Uso identificado: Industriales y profesionales. Realizar la evaluación de riesgos antes de su uso. Gas combustible para la soldadura, aplicaciones de corte, calentamiento y aplicaciones de soldadura. Refrigerante. Traslado de gas o líquido. Uso como medio intermedio (transporte, aislamiento). Uso para fabricación de componentes electrónicos. Uso del gas solo o en mezclas para la calibración de equipos de análisis. Uso del gas como materia prima en procesos químicos. Formulación de mezclas de gases en recipientes a presión.
Usos no recomendados: Consumo particular.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Proveedor:
 Abelló Linde, S. A. teléfono: +34 93 4 76 74 00
 Calle Bailén 105
 E-08009 Barcelona
 Correo electrónico: customerservice@es.linde-gas.com

1.4 Teléfono de emergencia: +34 93 4 76 74 00

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013
 Fecha de revisión: 27.08.2015

Versión: 1.1

No. FDS: 000010021744
 2/16

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación con arreglo a la directiva 67/548/CEE o la directiva 1999/45/CE con sus modificaciones posteriores.

F+; R12

El texto completo de todas las frases R figura en la sección 16.

Clasificación de acuerdo con el reglamento (CE) No. 1272/2008 con sus modificaciones posteriores.

Peligros Físicos

Gas inflamable	Categoría 1	H220: Gas extremadamente inflamable.
Gases a presión	Gas líquido	H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

2.2 Elementos de la Etiqueta



Palabras de Advertencia: Peligro

Indicación(es) de peligro: H220: Gas extremadamente inflamable.
 H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Consejos de Prudencia

Prevención:	P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
Respuesta:	P377: Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. P381: Eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro en hacerlo.
Almacenamiento:	P403: Almacenar en un lugar bien ventilado.
Eliminación:	Ninguno.

2.3 Otros peligros: El contacto con un líquido que está evaporándose puede causar quemaduras por frío o congelación de la piel.

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013 Versión: 1.1 No. FDS: 000010021744
 Fecha de revisión: 27.08.2015 3/16

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Determinación química	propeno (propileno)
Número de identificación - UE:	601-011-00-9
No. CAS:	115-07-1
N.º CE:	204-062-1
No. de registro REACH:	01-2119447103-50
Pureza:	100%

La pureza de la sustancia indicada en esta sección se utiliza únicamente con fines de clasificación y no representa la pureza real de la sustancia tal como se suministra, para conocer la cual debe consultarse otra documentación.

Nombre comercial: Propileno, Propileno 2.5, Propeno

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

General: 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.

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Inhalación: 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.

Contacto con los ojos: Enjuagar el ojo con agua inmediatamente. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. Lavar abundantemente con agua al menos durante 15 minutos. Recibir asistencia médica de inmediato. Si la asistencia médica no está disponible de inmediato, lavar con abundante agua durante 15 minutos más.

Contacto con la Piel: El contacto con un líquido que está evaporándose puede causar quemaduras por frío o congelación de la piel.

Ingestión: La ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados: Parada respiratoria. El contacto con gas licuado puede causar lesiones (deterioro por congelación) debido a un enfriamiento rápido por evaporación.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Riesgos: Parada respiratoria. El contacto con gas licuado puede causar lesiones (deterioro por congelación) debido a un enfriamiento rápido por evaporación.

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013 Versión: 1.1 No. FDS: 000010021744
 Fecha de revisión: 27.08.2015 4/16

Tratamiento: Descongelar las partes heladas con agua tibia. No frotar la zona afectada. Consultar a un médico inmediatamente.

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

- Riesgos Generales de Incendio:** El calor puede ocasionar explosión de los recipientes.
- 5.1 Medios de extinción**
 - Medios de extinción apropiados:** Agua pulverizada o niebla. Polvo seco. Espuma.
 - Medios de extinción no apropiados:** Dióxido de carbono.
- 5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla:** No hay datos disponibles.
- Productos de combustión peligrosos:** Óxidos de carbono.
- 5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios**
 - Medidas especiales de lucha contra incendios:** En caso de incendio: Detener la fuga, si no hay peligro en hacerlo. No extinga las llamas en el lugar donde se produjo la fuga porque existe la posibilidad de reencendido incontrolado con explosión. 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. Evite que las aguas residuales entren en las cunetas, alcantarillados o vías fluviales.
 - Equipos de protección especial que debe llevar el personal de lucha contra incendios:** Los bomberos deben utilizar un equipo de protección estándar incluyendo chaqueta ignífuga, casco con careta, guantes, botas de goma, y, en espacios cerrados, equipo de respiración autónomo (SCBA, según sus siglas en inglés). Guía: EN 469: Ropa de protección contra incendios. Requisitos de funcionamiento para la ropa de protección contra incendios. EN 15090 Calzado para extinción de incendios. EN 659 Guantes de protección para extinción de incendios. EN 443 Cascos para la lucha contra incendios en edificios y otras estructuras. EN 137 Equipos de protección respiratoria - Dispositivos autónomos de circuito abierto de aire comprimido para aparato de respiración con máscara completa - requisitos, ensayos, marcado.

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión:	16.01.2013	Versión: 1.1	No. FDS: 000010021744
Fecha de revisión:	27.08.2015		5/16

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

- | | |
|---|---|
| <p>6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia:</p> | <p>Evacuar la zona. Procure una ventilación adecuada. Considere el riesgo de atmósfera potencialmente explosiva. Eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro en hacerlo. 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. EN 137 Equipos de protección respiratoria - Dispositivos autónomos de circuito abierto de aire comprimido para aparato de respiración con máscara completa - requisitos, ensayos, marcado.</p> |
| <p>6.2 Precauciones Relativas al Medio Ambiente:</p> | <p>Impedir nuevos escapes o derrames de forma segura.</p> |
| <p>6.3 Métodos y material de contención y de limpieza:</p> | <p>Procure una ventilación adecuada. Elimine las fuentes de ignición. Mantener el área evacuada y libre de fuentes de ignición hasta que el líquido derramado se haya evaporado. El suelo deberá estar libre de heladas.</p> |
| <p>6.4 Referencia a otras secciones:</p> | <p>Ver también secciones 8 y 13.</p> |

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión:	16.01.2013	Versión:	1.1	No. FDS:	000010021744
Fecha de revisión:	27.08.2015				6/16

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento:

7.1 Precauciones para una manipulación segura:

Los gases a presión únicamente deben ser manipulados por personas con experiencia y adecuadamente formadas. Utilizar sólo equipo específicamente apropiado para este producto y para su presión y temperatura de suministro. Purgue el sistema con un gas inerte seco (por ejemplo helio o nitrógeno) antes de introducir el producto y cuando el sistema esté puesto fuera de servicio. Purgar el aire del sistema antes de introducir el gas. Los recipientes que contienen o han contenido sustancias inflamables o explosivos no deben ser inertizados con dióxido de carbono líquido. Evaluar el riesgo de atmósferas potencialmente explosivas y la necesidad de disponer de equipos a prueba de explosiones. Evítese la acumulación de cargas electrostáticas. Mantener lejos de fuentes de ignición, incluyendo descarga estática. Los aparatos y el equipo eléctrico usados en ambientes explosivos tienen que estar conectados a tierra. Utilizar únicamente herramientas que no produzcan chispas. Consulte al proveedor sobre instrucciones de uso y manipulación. La sustancia debe ser manipulada de acuerdo a procedimientos de correcta higiene industrial y seguridad. Asegurarse que el sistema ha sido (o es regularmente) comprobado antes de su uso para detectar que no haya fugas. Proteja los recipientes de daños físicos; no arrastrar, deslizar, rodar o tirar. No quite las etiquetas suministradas por el proveedor como identificación del contenido del recipiente. Cuando mueva los recipientes, incluso en distancias cortas, use un carro diseñado para el transporte de este tipo de recipientes. Asegurarse que los recipientes estén siempre en posición vertical y cerrar las válvulas cuando no se estén usando. Procure una ventilación adecuada. Debe prevenirse la filtración de agua al interior del recipiente. No permitir el retroceso hacia el interior del recipiente. Evitar la succión de agua, ácido y alcalino. Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado. Cumpla con todos los reglamentos y requisitos legales locales sobre el almacenamiento de los recipientes. No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización. Almacenar conforme a las normativas locales/regionales/nacionales/internacionales. Nunca use una llama directa o equipos eléctricos para aumentar la presión del recipiente. No retire las protecciones de las válvulas y en caso de necesidad nunca antes que el recipiente esté situado en su ubicación definitiva y asegurado en una pared o banco de trabajo adecuado. Recipientes con válvulas dañadas deben ser devueltos inmediatamente al proveedor. Cierre la válvula del recipiente después de su uso, incluso cuando esté vacío o esté conectado a un equipo. Nunca debe intentar reparar o modificar las válvulas o equipos de seguridad de los recipientes. Vuelva a colocar todas las protecciones de las válvulas tan pronto como el recipiente haya sido desconectado de su equipo. Mantenga todas las válvulas limpias y libres de aceites, petróleo o agua. Si el usuario tiene alguna dificultad en operar la válvula del recipiente, paralizar su uso y contactar con el proveedor. Nunca intente traspasar gases de un recipiente a otro. Las protecciones de las válvulas deben estar en su lugar.

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013

Versión: 1.1

No. FDS: 000010021744

Fecha de revisión: 27.08.2015

7/16

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades:

Todos los equipos eléctricos en las áreas de almacenamiento debe ser compatibles con el riesgo de atmósfera potencialmente explosiva. 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. 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.

7.3 Usos específicos finales: Ninguno.

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de Control

Valores Límite de Exposición Profesional

Determinación química	tipo	Valores Límite de Exposición		Fuente
propeno (propileno)	VLA-ED	500 ppm		España. Límites de Exposición Ocupacional (2012)
propeno (propileno)	Trabajador - por inhalación, corto plazo - local	860 mg/m ³	-	
	Trabajador - por inhalación, corto plazo - sistémico	860 mg/m ³	-	

Valores PNEC

Componente crítico	tipo	Valor	Observaciones
propeno (propileno)	agua dulce	1,38 mg/l	-
	agua de mar	1,38 mg/l	-

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados:

Utilizar sistema de permisos de trabajo (por ejemplo para actividades de mantenimiento). Asegurar la adecuada ventilación de aire. Proveer ventilación adecuada de escape general y local. Mantener las concentraciones muy por debajo de los límites de explosividad inferior. Deben utilizarse detectores de gases cuando pueden ser liberados gases inflamables. Asegure una ventilación adecuada, incluyendo una extracción local adecuada para que los límites de exposición profesional no se excedan. Los sistemas bajo presión deben ser regularmente revisados para detectar fugas. El producto debe ser utilizado en sistemas cerrados. Usar únicamente instalaciones permanentemente libres de fugas (por ejemplo tuberías soldadas). Evítese la acumulación de cargas electroestáticas.

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013 Versión: 1.1 No. FDS: 000010021744
 Fecha de revisión: 27.08.2015 8/16

Medidas de protección individual, tales como equipos de protección personal

- Información general:** Debe realizarse y documentarse la evaluación del riesgo en cada área de trabajo para evaluar los riesgos relacionados con el uso del producto y para seleccionar los equipos de protección individual correspondientes al riesgo. Se deben seguir las siguientes recomendaciones. Disponer de aparato de respiración autónomo para uso en caso de emergencia. Los equipos de protección individual para el cuerpo se deben seleccionar en base a las tareas a ejecutar y a los riesgos involucrados. Consulte la normativa local para la restricción de las emisiones a la atmósfera. Vea la sección 13 para los métodos específicos para el tratamiento de gases residuales. Prohibido comer, beber y fumar durante la utilización del producto.
- Protección de los ojos/la cara:** Se deben usar gafas de seguridad, guantes de seguridad y pantalla de protección facial para evitar el riesgo de exposición por salpicadura de líquido. Use protección ocular, según la norma EN 166, cuando se utilicen gases.
 Guía: EN 166: Gafas de protección.
- Protección cutánea**
Protección de las Manos: Use guantes de protección cuando manipule los recipientes.
 Guía: EN 388 Guantes de protección contra riesgos mecánicos.
 Guía: EN 374-1/2/3 Guantes de protección contra productos químicos y microorganismos.
 Material: Neopreno.
 Tiempo de perforación: 240 min
 Guía: EN 511 Guantes de protección contra el frío.
 Material: Nitrilo.
 Tiempo de perforación: 240 min
 Guía: EN 511 Guantes de protección contra el frío.
- Protección corporal:** Llevar prendas ignífugas/resistentes al fuego/resistentes a las llamas.
 Guía: ISO / TR 2801:2007 Ropa de protección contra el calor y el fuego - Recomendaciones generales para la selección, cuidado y uso de ropa protectora.
- Otros:** Use zapatos de seguridad cuando manipule los recipientes.
 Guía: EN ISO 20345 Equipo de protección individual - Calzado de seguridad.
- Protección respiratoria:**
 Guía: EN 136: Equipos de protección respiratoria. Máscaras faciales completas. Requisitos, ensayos, marcado. Material: Filtro AX.
 Guía: EN 14387: Equipos de protección respiratoria. Filtros para gas (es) y filtros combinado (s). Requisitos, ensayos, marcado.
- Peligros térmicos:** No hay medidas preventivas necesarias.
- Medidas de higiene:** No son necesarias medidas de evaluación de riesgos más allá de la correcta manipulación de acuerdo a la higiene industrial y a los procedimientos de seguridad. Prohibido comer, beber y fumar durante la utilización del producto.

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013
 Fecha de revisión: 27.08.2015

Versión: 1.1

No. FDS: 000010021744
 9/16

Controles de exposición
 medioambiental:

Para información sobre la eliminación, véase la sección 13.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto

Forma/estado:	Gas
Forma/Figura:	Gas líquido
Color:	Incoloro
Olor:	Prácticamente inodoro
Olor, umbral:	La superación de los límites por el olor es subjetiva e inadecuada para advertir del riesgo de sobreexposición.
pH:	No aplicable.
Punto de fusión:	-185,24 °C
Punto ebullición:	-47,69 °C (1.013 hPa)
Punto de sublimación:	No aplicable.
Temperatura crítica (°C):	92,4 °C
Punto de inflamación:	No aplicable para gases y mezclas de gases
Velocidad de evaporación:	No aplicable para gases y mezclas de gases
Inflamabilidad (sólido, gas):	Gas inflamable
Límite de inflamabilidad - superior (%):	11 %(v)
Límite de inflamabilidad - inferior (%):	1,8 %(v)
Presión de vapor:	1.158,5508 kPa (25 °C)
Densidad de vapor (aire=1):	1,49 AIRE = 1
Densidad relativa:	0,5139 (20 °C) 4 °C
Solubilidad(es)	
Solubilidad en agua:	200 mg/l (25 °C)
Coefficiente de reparto (n-octanol/agua):	1,77
Temperatura de autoignición:	460 °C 455 °C
descomposición, temperatura de:	Desconocido.
Viscosidad	
Viscosidad cinemática:	No hay datos disponibles.
Viscosidad dinámica:	0,083 mPa.s (16,7 °C)
Propiedades explosivas:	No corresponde.
Propiedades comburentes:	No aplicable.

9.2 OTRA INFORMACIÓN:

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

Peso molecular: 42,08 g/mol (C₃H₆)
 Energía mínima de ignición: 0,28 mJ

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013 Versión: 1.1 No. FDS: 000010021744
 Fecha de revisión: 27.08.2015 10/16

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

- 10.1 Reactividad:** No existen peligros de reacción distintos de los descritos en otras secciones.
- 10.2 Estabilidad Química:** Estable en condiciones normales.
- 10.3 Posibilidad de Reacciones Peligrosas:** Puede formar atmósferas potencialmente explosivas en aire. Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes.
- 10.4 Condiciones que Deben Evitarse:** Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.
- 10.5 Materiales Incompatibles:** Aire y oxidantes. Por la compatibilidad de los materiales, consultar la última versión de la norma ISO-11114.
- 10.6 Productos de Descomposición Peligrosos:** Bajo condiciones normales de uso y almacenamiento, no debe producirse descomposición en productos peligrosos. La combustión incompleta puede formar monóxido de carbono. Óxidos de carbono.

SECCIÓN 11: Información toxicológica

Información general: Ninguno.

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda - Ingestión Producto A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Toxicidad aguda - Contacto dermal Producto A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Toxicidad aguda - Inhalación Producto **No clasificado en cuanto a toxicidad aguda con los datos disponibles.**

propeno (propileno) LC 50 (Rata, 4 h): 369733 ppm

Corrosión/Irritación Cutáneas Producto A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Lesiones Oculares Graves/Irritación Ocular Producto A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013 Versión: 1.1 No. FDS: 000010021744
 Fecha de revisión: 27.08.2015 11/16

Sensibilización de la Piel o Respiratoria

Producto A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Mutagenicidad en Células Germinales

Producto A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Carcinogenicidad

Producto A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Toxicidad para la reproducción

Producto A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Toxicidad Sistémica Específica de Órganos Diana- Exposición Única

Producto A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Toxicidad Sistémica Específica de Órganos Diana- Exposiciones Repetidas

Producto A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Peligro por Aspiración

Producto No aplicable para gases y mezclas de gases.

SECCIÓN 12: Información ecológica**12.1 Toxicidad****Toxicidad aguda**

Producto Sin daños ecológicos causados por este producto.

**Toxicidad aguda - Pez
propeno (propileno)**

LC 50 (Peces (Varios), 96 h): 51,7 mg/l

Toxicidad aguda - Invertebrados Acuáticos

propeno (propileno) LC 50 (Daphnia magna, 48 h): 28,2 mg/l

Toxicidad crónica - Pez

propeno (propileno) NOEC (Varios (agua dulce), 30 Días): 51,7 mg/l

Toxicidad crónica - Invertebrados Acuáticos

propeno (propileno) LC50 (Daphnia magna, 16 d): 3,1 mg/l

Toxicidad para plantas acuáticas

propeno (propileno) EC 50 (Plantas acuáticas, 96 h): 12,1 mg/l
 NOEC (Plantas acuáticas, 96 h): 4,5 mg/l

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013 Versión: 1.1 No. FDS: 000010021744
 Fecha de revisión: 27.08.2015 12/16

12.2 Persistencia y Degradabilidad

Producto

No aplicable para gases y mezclas de gases.

12.3 Potencial de Bioacumulación

Producto

Se supone que el producto es biodegradable y no se supone que persista en el ambiente acuático durante períodos prolongados.

12.4 Movilidad en el Suelo

Producto

Debido a su alta volatilidad, el producto es poco probable que cause contaminación del suelo o del agua.

propeno (propileno)

Henry, Ley de la Constante de: 1.099 MPa (25 °C)

12.5 Resultados de la valoración

PBT y mPmB

Producto

No clasificada como PBT o vPBT.

12.6 Otros Efectos Adversos:

Sin daños ecológicos causados por este producto.

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Información general:

No descargar dentro de ningún lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa. Consultar con el suministrador para recomendaciones específicas. No descargar en áreas donde hay riesgo de que se forme una mezcla explosiva con el aire. El gas residual debe ser quemado a través de un quemador adecuado que disponga de antiretroceso de llama.

Métodos de eliminación:

Consulte el código de buenas prácticas de EIGA (Doc.30 "La eliminación de gases", descargable en <http://www.eiga.org>) para obtener más orientación sobre los métodos apropiados para la eliminación. Eliminación de la botella sólo a través del proveedor. Las actividades de descarga, tratamiento o eliminación pueden estar sujetas a leyes nacionales, estatales o locales

Códigos del Catálogo Europeo de Residuos

Contenedor:

16 05 04*: Gases en recipientes a presión (incluidos los alones) que contienen sustancias peligrosas.

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013 Versión: 1.1 No. FDS: 000010021744
 Fecha de revisión: 27.08.2015 13/16

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

ADR

14.1 Número ONU: UN 1077
 14.2 Designación Oficial de Transporte de las Naciones Unidas: PROPILENO
 14.3 Clase(s) de Peligro para el Transporte
 Clase: 2
 Etiqueta(s): 2.1
 No. de riesgo (ADR): 23
 Código de restricciones en túneles: (B/D)
 14.4 Grupo de Embalaje: -
 14.5 Peligros para el medio ambiente: No aplicable
 14.6 Precauciones particulares para los usuarios: -

RID

14.1 Número ONU: UN 1077
 14.2 Designación Oficial de Transporte de las Naciones Unidas: PROPILENO
 14.3 Clase(s) de Peligro para el Transporte
 Clase: 2
 Etiqueta(s): 2.1
 14.4 Grupo de Embalaje: -
 14.5 Peligros para el medio ambiente: No aplicable
 14.6 Precauciones particulares para los usuarios: -

IMDG

14.1 Número ONU: UN 1077
 14.2 Designación Oficial de Transporte de las Naciones Unidas: PROPYLENE
 14.3 Clase(s) de Peligro para el Transporte
 Clase: 2.1
 Etiqueta(s): 2.1
 EmS No.: F-D, S-U
 14.3 Grupo de Embalaje: -
 14.5 Peligros para el medio ambiente: No aplicable
 14.6 Precauciones particulares para los usuarios: -

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013 Versión: 1.1 No. FDS: 000010021744
 Fecha de revisión: 27.08.2015 14/16

IATA

- 14.1 Número ONU: UN 1077
 14.2 Designación oficial de transporte: Propylene
 14.3 Clase(s) de Peligro para el Transporte:
 Clase: 2.1
 Etiqueta(s): 2.1
 14.4 Grupo de Embalaje: -
 14.5 Peligros para el medio ambiente: No aplicable
 14.6 Precauciones particulares para los usuarios: -

OTRA INFORMACIÓN

- Transporte aéreo de pasajeros y mercancías: Prohibido.
 Únicamente avión de carga: Permitido.

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC: No aplicable

Identificación adicional: Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimiento del conductor. Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce que hacer en caso de un accidente o emergencia. Asegurar el recipiente de gas antes del transporte Asegurarse que las válvulas de las botellas están cerradas y no fugan. Las protecciones de las válvulas deben estar en su lugar. Asegurar la adecuada ventilación de aire.

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específica para la sustancia o la mezcla:

Legislación de la UE

Reglamento (CE) No. 1907/2006, Anexo XVII, Sustancias sujetas a restricciones aplicables a la comercialización y uso:

Determinación química	No. CAS	Concentración
propeno (propileno)	115-07-1	

Directiva 96/82/CE (Seveso II) relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas:

Determinación química	No. CAS	Concentración
propeno (propileno)	115-07-1	100%

Directiva 98/24/CE relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo:

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propileno)

Fecha de Emisión: 16.01.2013 Versión: 1.1 No. FDS: 000010021744
 Fecha de revisión: 27.08.2015 15/16

Determinación química	No. CAS	Concentración
propileno (propileno)	115-07-1	100%

Reglamentaciones nacionales

Directiva 89/391/CEE sobre la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo. Directiva 89/686/CEE sobre equipos de protección personal. Directiva 94/9/CE sobre equipos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas (ATEX). Sólo los productos que cumplen con los reglamentos alimentarios (CE) N° 1333/2008 y (UE) N° 231/2012 y que están etiquetados como tales pueden ser utilizados como aditivos alimentarios.

Esta Ficha de Datos de Seguridad ha sido elaborada en cumplimiento del reglamento UE 453/2010.

15.2 Evaluación de la seguridad química:

No se ha realizado ninguna evaluación de la seguridad química.

SECCIÓN 16: Otra información

Información sobre revisión:

No pertinente.

Principales referencias bibliográficas y las fuentes de datos:

Se han utilizado diversas fuentes de datos en la elaboración de esta FDS. Esto incluye, no de forma exclusiva, lo siguiente:
 Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR) - Agencia para las sustancias tóxicas y registro de enfermedades (<http://www.atsdr.cdc.gov/>).
 Agencia Europea de Productos Químicos: Guía para la elaboración de fichas de datos de seguridad.
 Agencia Europea de Productos Químicos: Información sobre sustancias <http://apps.echa.europa.eu/registered/registered-sub.aspx#search>
 European Industrial Gases Association (EIGA) Doc.169 Guía para la clasificación y etiquetado.
 Programa Internacional sobre Seguridad Química (<http://www.inchem.org/>)
 ISO 10156:2010 Gases y mezclas de gases - Determinación del potencial de inflamabilidad y de oxidación para la selección de válvulas de botellas.
 Matheson Gas Data Book, 7ª edición.
 National Institute for Standards and Technology (NIST) Standard Reference Database Number 69.
 The ESIS (European chemical Substances Information System) platform of the former European Chemicals Bureau (ECB) ESIS (<http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/>).
 The European Chemical Industry Council (CEFIC) ERICards.
 United States of America's National Library of Medicine's toxicology data network TOXNET (<http://toxnet.nlm.nih.gov/index.html>).
 Los valores umbral límite (TLV) de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH).
 Información específica de la sustancia por parte de los proveedores.
 Los detalles dados son ciertos y correctos en el momento de publicarse este documento.

SDS_ES - 000010021744



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Propileno (propeno)

Fecha de Emisión:	16.01.2013	Versión:	1.1	No. FDS:	000010021744
Fecha de revisión:	27.08.2015				16/16

Enunciado de las frases R y H en los apartados 2 y 3

H220	Gas extremadamente inflamable.
H280	Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
R12	Extremadamente inflamable.

Información sobre formación: Los usuarios de los aparatos de respiración deben ser entrenados. Asegurarse que los operarios conocen el riesgo de inflamabilidad.

Clasificación de acuerdo con el reglamento (CE) No. 1272/2008 con sus modificaciones ulteriores.

Flam. Gas 1, H220
 Press. Gas Liq. Gas, H280

OTRA INFORMACIÓN:

Antes de utilizar el producto en un nuevo proceso o experimento, debe llevarse a cabo un estudio completo de seguridad y de compatibilidad de los materiales. Asegurar la adecuada ventilación de aire. Asegúrese que se cumplen las normativas nacionales y locales. Asegúrese que el equipo esté adecuadamente conectado a tierra. A pesar de que durante la preparación de este documento se ha tomado especial cuidado, no se acepta ninguna responsabilidad por las lesiones o los daños.

Fecha de revisión:

27.08.2015

Exención de responsabilidad:

Se proporciona esta información sin ninguna garantía. Se cree que la información es correcta. Esta información debe usarse para hacer una determinación independiente de los métodos para proteger a los trabajadores y el medio ambiente.

SDS_ES - 000010021744

Anexo 3: Diagramas de flujo del proceso HPPO

Anexo 4: Diagramas de flujo de servicios auxiliares

Anexo 5: Diagramas P&ID

Anexo 6: Diagramas P&ID de servicios auxiliares

Anexo 7: Layout de la planta

Anexo 8: Layout de la red contra incendio

Anexo 9: Planos de diseño de equipos

