

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA**

PRODUCCIÓN DE ÁCIDO FÓRMICO

Autor:

**Capellino, Stefanía Ruth
Cassani, Noelia Lucía**

**Villa María
2021**

Director de Proyecto: Ing. Baccifava, Rubén

FIRMA DE ALUMNAS

CAPELLINO, Stefania Ruth

CASSANI, Noelia Lucía

Aceptado por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María el día del mes de del año

APROBADA POR SU CONTENIDO Y ESTILO

Presidente del Tribunal:

Primer Miembro Vocal:

Segundo Miembro Vocal:

Nota final de aprobación:

AGRADECIMIENTOS

En esta oportunidad, queremos expresar nuestro agradecimiento a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María por abrirnos sus puertas y brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales. También agradecer a nuestros docentes que dedicaron su tiempo para enseñarnos y acompañarnos a lo largo de este trayecto. Además, a nuestros compañeros y conocidos en el ámbito universitario.

Noelia

Quiero agradecer enormemente a mis padres, Adriana y Jorge, por su apoyo y acompañamiento durante estos años, por ser mi guía y sostén, por luchar a mi lado para alcanzar hoy esta meta. A mis hermanos, por estar presentes siempre y ayudarme. A mi novio, en quien encontré compañía, aliento, afecto y paciencia. A mi familia en general y a mis amigos. Un agradecimiento especial al cielo, para mí querido abuelo quien me apoyó incondicionalmente.

Finalmente quiero agradecer a mi compañera Stefanía, por su apoyo, constancia y esfuerzo, con quien comparto una linda amistad gracias a este proyecto, y hemos vivido hermosos momentos.

No ha sido fácil, pero hoy puedo decir que he alcanzado uno de mis objetivos fruto de un gran esfuerzo, pero también gracias a Dios y las hermosas personas que me rodean.

Stefanía

Quiero agradecer a las personas que me apoyaron y acompañaron siempre en este trayecto, sin ellos no hubiese sido posible alcanzar esta meta. Gracias por alentarme, brindarme confianza, entenderme, darme la posibilidad de estudiar y estar siempre presentes.

Gracias a los profesores que estuvieron dispuestos a ayudarnos todos los días, y a Noelia por su amistad y compromiso para este proyecto.

Gracias a la vida por permitirme vivir esta experiencia. Fueron años de esfuerzo y dedicación que hoy dan sus frutos y serán recordados de la mejor manera por siempre.

A mis papás Gladys y Hubert, a mis hermanos, a mi familia, a mis amigos, a mis seres queridos y a Dios.

Resumen

El ácido fórmico, se encuentra en la naturaleza en las secreciones de varios insectos, particularmente en hormigas. La característica ácida de los vapores sobre hormigueros se conoce desde 1488 aproximadamente, pero el ácido puro no se aisló hasta 1671, cuando el químico británico John Ray realizó la obtención del ácido por destilación de hormigas. Este fue el principal método de preparación durante más de un siglo, hasta que Gay-Lussac reveló un método de laboratorio conveniente. En tanto, Marcellin Berthelot realizó la síntesis química de formiatos utilizando monóxido de carbono en 1856, dando lugar a la producción de ácido fórmico.

El ácido fórmico tuvo modesta importancia industrial hasta la década de 1960, cuando se obtuvo como subproducto en la producción de ácido acético por oxidación en fase líquida de hidrocarburos. Desde entonces, han aparecido gran variedad de procesos para su obtención, entre los que se destacan hidrólisis de formiato de metilo, oxidación de hidrocarburos, hidrólisis de formamida y preparación de formatos libres de ácido fórmico.

Este ácido posee gran variedad de usos industriales, incluyendo la conservación del ensilaje, el acabado de textiles, se lo utiliza en el cuero y caucho, en ganadería, además es utilizado como intermedio químico y en la industria farmacéutica. En la actualidad no existe producción, al menos significativa de ácido fórmico en Argentina, el abastecimiento en nuestro país proviene de importaciones.

Ante el entorno expuesto, toma sentido realizar un análisis técnico-económico para la instalación de una planta de ácido fórmico en Argentina, considerando un horizonte de 10 años.

Palabras claves: ácido fórmico, hidrólisis, carbonilación, destilación, extracción.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO N°1: OBJETIVOS Y GENERALIDADES DEL PROYECTO	10
1.1 INTRODUCCIÓN	11
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
CAPÍTULO N°2: DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO, MATERIAS PRIMAS E INSUMOS .	13
2.1 INTRODUCCIÓN	14
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: ÁCIDO FÓRMICO.....	14
2.2.1 Identificación y descripción	14
2.2.2 Propiedades fisicoquímicas	15
2.2.3 Aplicaciones.....	17
2.3 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	19
2.3.1 Metanol.....	19
2.3.2 Monóxido de carbono	20
2.4 DESCRIPCIÓN DEL CATALIZADOR.....	22
2.4.1 Identificación y descripción	22
2.4.2 Propiedades.....	23
2.4.3 Aplicaciones.....	23
2.5 DESCRIPCIÓN DEL EXTRACTANTE.....	23
2.5.1 Identificación y descripción	23
2.5.2 Propiedades.....	24
2.5.3 Aplicaciones.....	24
CAPÍTULO N°3: ESTUDIO DE MERCADO	25
3.1 INTRODUCCIÓN	26
3.2. MERCADO MUNDIAL DEL ÁCIDO FÓRMICO	26

3.3 MERCADO NACIONAL DEL ÁCIDO FÓRMICO	27
3.3.1 Importaciones	28
3.3.2 Exportaciones	31
3.3.3 Demanda insatisfecha	33
3.3.4 Precio del ácido fórmico.....	39
3.4 MERCADO NACIONAL DE LA PRINCIPAL MATERIA PRIMA: METANOL	43
3.4.1 Fábricas en Argentina	43
3.4.2 Importación y exportación	44
3.4.3 Comportamiento futuro de la materia prima	46
3.5 MERCADO DEL CATALIZADOR	47
3.6 ANÁLISIS FODA	49
3.7 CONCLUSIÓN	52
CAPÍTULO N°4: LOCALIZACIÓN DE PLANTA INDUSTRIAL	53
4.1 INTRODUCCIÓN	54
4.2 MACROLOCALIZACIÓN.....	55
4.2.1 Disponibilidad de materia prima	55
4.2.2 Mercado o zonas de consumo	56
4.2.3 Disponibilidad de transporte.....	57
4.2.4 Disponibilidad de parques industriales	62
4.2.5 Disponibilidad de mano de obra.....	65
4.2.6 Conclusión macrolocalización	67
4.3 MICROLOCALIZACIÓN	68
4.3.1 Disponibilidad de parques y áreas industriales	68
4.3.2 Legislación provincial.....	72
4.3.3 Disponibilidad de servicios y mano de obra	73

4.3.4 Método de puntuaciones ponderadas	74
4.3.5 Parque Industrial San Lorenzo.....	76
4.3.6 Condiciones climatológicas de la ciudad de San Lorenzo	79
CAPÍTULO N°5: CAPACIDAD DE LA PLANTA	82
5.1 INTRODUCCIÓN	83
5.2 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD.....	83
5.3 DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA.....	86
5.4 CONCLUSIÓN	86
CAPÍTULO N°6: SELECCIÓN DEL PROCESO	87
6.1 INTRODUCCIÓN	88
6.2 PROCESOS CONVENCIONALES	88
6.2.1 Hidrólisis de formiato de metilo	89
6.2.2 Otros procesos	93
6.3 ELECCIÓN DEL MÉTODO.....	96
6.4 DESCRIPCIÓN AMPLIADA DEL MÉTODO BASF POR HIDRÓLISIS DEL FORMIATO DE METILO	98
CAPÍTULO N°7: BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	105
7.1 INTRODUCCIÓN	106
7.2 DIAGRAMA DE FLUJO	107
7.3 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA.....	111
7.3.1 Balance de masa global.....	111
7.3.2 Sección 100: Reacción de carbonilación y destilación	112
7.3.3 Sección 200	127
7.3.4 Sección 300	137
CAPÍTULO N°8: DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS	151

8.1 INTRODUCCIÓN	152
8.2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO	152
8.2.1 Tanque de almacenamiento de metanol fresco.....	155
8.2.2 Tanque de almacenamiento de monóxido de carbono.....	156
8.2.3 Tanque de almacenamiento del extractante.....	157
8.2.4 Tanque de almacenamiento de agua	158
8.2.5 Tanque de almacenamiento de producto	159
8.2.6 Tolva para metóxido de sodio	159
8.3 MEZCLADORES	161
8.3.1 Mezclador de metanol y metóxido de sodio	163
8.3.2 Mezclador de agua, formiato de metilo y recirculación.....	166
8.4 REACTORES.....	168
8.4.1 Reactor carbonilación de metanol.....	168
8.4.2 Reactor de hidrolisis de formiato de metilo.....	178
8.5 SEPARADOR FLASH	187
8.6 TORRE DE DESTILACIÓN	188
8.6.1 Diseño columna C-101	188
❖ C-101.....	188
8.6.2 Diseño columna C-201.....	189
8.6.3 Diseño columna C-302.....	190
8.6.4 Diseño columna C-303.....	191
8.7 TORRE DE EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO C-301	193
8.8 INTERCAMBIADORES DE CALOR	196
8.8.1 Intercambiador E-101.....	197
8.8.2 Intercambiador E-102	198

8.8.3 Condensador E-103 de columna C-101	199
8.8.4 Rehervidor E-104 columna C-101	200
8.8.5 Intercambiador de calor E-201	201
8.8.6 Condensador E-202 de columna C-201	203
8.8.7 Rehervidor E-203 columna C-201	204
8.8.8 Condensador E-301 de columna C-302	205
8.8.9 Rehervidor E-302 columna C-302.....	206
8.8.10 Condensador E-303 de columna C-303	207
8.8.11 Rehervidor E-304 columna C-303.....	209
8.8.12 Intercambiador de calor E-305	210
8.9 ADOPCIÓN DE BOMBAS DEL PROCESO.....	211
8.9.1 Características de las bombas seleccionadas.....	214
CAPÍTULO 9: SERVICIOS AUXILIARES.....	224
9.1 INTRODUCCIÓN	225
9.2 AGUA DE ENFRIAMIENTO	225
9.2.1 Diagrama de abastecimiento de agua de enfriamiento	226
9.2.2 Adopción de torres de enfriamiento.....	226
9.2.3 Bombas para circulación de agua fría.....	228
9.2.4 Características de las bombas seleccionadas.....	229
9.3 SUMINISTRO DE AGUA PARA USO GENERAL.....	232
9.3.1 Adopción de cisterna para almacenamiento de agua.....	232
9.4 VAPOR DE CALDERA.....	233
9.4.1 Dimensiones tuberías de vapor.....	235
9.4.3 Retorno de condensados	238
9.4.4 Trampas de vapor.....	239

9.4.5 Caldera adoptada	239
9.4.6 Sistema de bombeo	241
9.4.7 Ablandamiento de agua	242
9.5 GAS	243
CAPÍTULO 10: CONTROL DE CALIDAD	245
10.1 INTRODUCCIÓN	246
10.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD.....	246
10.3 CONTROL DE CALIDAD EN LA PLANTA.....	248
10.3.1 Control de calidad de materias primas	248
10.3.2 Control de calidad del proceso de producción.....	251
10.3.3 Control de calidad del producto final	259
10.4 REGISTROS	260
10.4.1 Registro para productos finales.....	261
10.4.2 Registro para el control del proceso.....	262
10.5 TÉCNICAS	262
10.5.1 Cromatografía de gases (gas – líquido)	262
10.5.2 ASTM D1364-02 - Método de prueba estándar para agua en disolventes volátiles (método de valoración de reactivo de Karl Fischer).....	264
10.5.3 ASTM D-4052	267
10.5.4 Titrimetric ISO 731	269
10.5.5 Principio	269
10.5.6 Reactivos	270
10.5.7 Expresión de resultados.....	271
10.5.8 Directrices de ensayo 109 del OECD.....	272
CAPÍTULO 11: CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS	277

11.1 INTRODUCCIÓN	278
11.2 FUNDAMENTOS.....	278
11.3 AUTOMATIZACIÓN DE LA SECCIÓN 200	279
11.3.1 Hojas de especificaciones de instrumentos.....	281
CAPÍTULO 12: OBRAS CIVILES.....	292
12.1 INTRODUCCIÓN	293
12.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA.....	293
12.3 DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA	295
CAPÍTULO 13: INSTALACIONES ELÉCTRICAS	301
13.1 INTRODUCCIÓN	302
13.2 CONCEPTOS GENERALES	302
13.3 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO....	305
13.4 SISTEMA DE ILUMINACIÓN	307
13.4.1 Determinación del nivel de iluminación necesario para cada ambiente.....	307
13.4.2 Adopción de los tipos de luminarias	308
13.4.3 Determinación de la cantidad de luminarias requeridas	309
13.5 CONSUMO GLOBAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA PLANTA	316
CAPÍTULO 14:.....	317
ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.....	317
14.1 INTRODUCCIÓN	318
14.2 TIPO DE SOCIEDAD	318
14.3 ESTRUCTURA DE LA EMPRESA	319
14.4 PUESTOS DE TRABAJO PARA CADA ÁREA	320
14.4.1 Gerente.....	320
14.4.2 Área de mantenimiento	321

14.4.3 Área de calidad	322
14.4.4 Área de producción	323
14.4.5 Área de administración	324
14.4.6 Área de logística	325
14.4.7 Responsable de higiene y seguridad	326
14.5 Diagrama de turnos	326
CAPÍTULO 15: SEGURIDAD INDUSTRIAL	329
15.1 INTRODUCCIÓN	330
15.2 MARCO LEGAL	330
15.2.1 Política de higiene y seguridad	330
15.2.2 Gestión de higiene y seguridad	330
15.2.3 Responsabilidades del departamento de higiene y seguridad	331
15.2.4 Estructura del departamento de higiene y seguridad	331
15.3 SEGURIDAD EN INDUSTRIA QUÍMICA	345
15.4 SUSTANCIAS INVOLUCRADAS EN EL PROCESO	345
CAPÍTULO 16: ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO	362
16.1 INTRODUCCIÓN	363
16.2 INVERSIÓN	363
16.2.1 Activos fijos	364
16.2.2 Activos nominales	371
16.2.3 Capital de trabajo	373
16.2.4 Inversión total del proyecto	374
16.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN	375
16.3.1 Costos variables o directos	377
16.3.2 Costos fijos o indirectos	381

16.3.3 Costo de producción unitario para el ácido fórmico.....	388
16.4 INGRESO POR VENTAS.....	389
16.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	390
16.5.1 Estado de resultados.....	390
16.5.2 Valor Actual Neto (VAN).....	395
16.5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	395
16.5.4 Período de recupero de la inversión (PRI).....	396
16.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	397
16.6.1 Variación de la TIR con el precio de venta.....	397
16.6.2 Variación de la TIR con el precio de mano de obra.....	398
16.6.3 Variación de la TIR con el volumen de ventas.....	398
16.6.4 Variación de la TIR con el precio de venta.....	399
16.7 CONCLUSIONES.....	400
CONCLUSIONES FINALES.....	401
BIBLIOGRAFÍA.....	403
BIBLIOGRAFÍA.....	404
ANEXO PLANOS.....	410

CAPÍTULO N°1: OBJETIVOS Y GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se evalúa la factibilidad de instalación de una planta de producción de ácido fórmico a partir de metanol en Argentina, para abastecer al mercado nacional y sustituir así las grandes importaciones de este producto.

El ácido fórmico, se encuentra en la naturaleza en las secreciones de varios insectos, particularmente en hormigas. La característica ácida de los vapores sobre hormigueros se conoce desde 1488 aproximadamente, pero el ácido puro no se aisló hasta 1671, cuando el químico británico John Ray realizó la obtención del ácido por destilación de hormigas. Este fue el principal método de preparación durante más de un siglo, hasta que Gay-Lussac reveló un método de laboratorio conveniente. En tanto, Marcellin Berthelot realizó la síntesis química de formiatos utilizando monóxido de carbono en 1856, dando lugar a la producción de ácido fórmico.

Se trata del primer miembro de la serie homóloga de ácidos alquilcarboxílicos, es un líquido incoloro con olor penetrante.

El ácido fórmico tuvo modesta importancia industrial hasta la década de 1960, cuando se obtuvo como subproducto en la producción de ácido acético por oxidación en fase líquida de hidrocarburos. Desde entonces, han aparecido gran variedad de procesos para su obtención, entre los que se destacan hidrólisis de formiato de metilo, oxidación de hidrocarburos, hidrólisis de formamida y preparación de formatos libres de ácido fórmico.

Este ácido posee gran variedad de usos industriales, incluyendo la conservación del ensilaje, el acabado de textiles, se lo utiliza en el cuero y caucho, en ganadería, además es utilizado como intermedio químico y en la industria farmacéutica.

Particularmente en Asia, América del Sur y el Sur de Europa, la mayoría del ácido se usa para el procesamiento del cuero, mientras que en Europa central y Norte se destina a la agricultura e industria de alimentación animal.

Entre sus principales productores a nivel mundial se destacan BASF SE (Alemania), Feicheng Acid Chemical (China), Gujarat Narmada Valley Fertilizers & Chemicals Limited (India), Chongqing Chuandong Chemical (Group) Co., Ltd (China), LUXI Group Co., Ltd. (China), Eastman Chemical Company (EE. UU.) y Perstorp AB (Suecia).

En la actualidad no existe producción, al menos significativa de ácido fórmico en Argentina, el abastecimiento en nuestro país proviene de importaciones.

Ante el entorno expuesto, toma sentido realizar un análisis técnico-económico para la instalación de una planta de ácido fórmico en Argentina, considerando un horizonte de 10 años.

1.2 OBJETIVO GENERAL

- ❖ Comprobar y demostrar la viabilidad técnico-económica del proyecto de instalación de una planta de producción de ácido fórmico en Argentina.
- ❖ Integrar y aplicar los conocimientos y habilidades profesionales del ingeniero químico adquiridas durante la carrera para desarrollar el presente proyecto.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Entre los objetivos específicos propuestos, se destacan:

- ❖ Realizar un estudio de mercado nacional e internacional para poder analizar el mercado de consumidores, productores y proveedores del ácido fórmico, materias primas y catalizador teniendo en cuenta la evolución histórica hasta la actualidad.
- ❖ Determinar la capacidad óptima de producción según la demanda insatisfecha y las limitaciones de la planta.
- ❖ Evaluar la ubicación ideal de la planta de producción teniendo en cuenta la proximidad a proveedores y clientes.
- ❖ Analizar distintos métodos de producción de ácido fórmico con el fin de optar por el que sea más adecuado.
- ❖ Aplicar ingeniería básica y de detalle para diseñar equipos e instalaciones propias del proceso y para poder efectuar los balances de masa y energía correspondientes.
- ❖ Realizar un estudio económico-financiero para determinar factores del proyecto como la inversión inicial, la VAN y la TIR.
- ❖ Garantizar seguridad en el proceso y calidad del producto desarrollando un programa de automatización para la planta como así también un sistema de calidad.

CAPÍTULO N°2: DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO, MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se describen las principales características, propiedades y aplicaciones del ácido fórmico, de sus materias primas y del catalizador, lo cual será necesario para comprender los posteriores capítulos. Según el método de obtención elegido, que se desarrollará más adelante, debemos considerar: metanol y monóxido de carbono, como materias primas y metóxido de sodio como catalizador.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: ÁCIDO FÓRMICO

2.2.1 Identificación y descripción

El ácido fórmico es un compuesto orgánico de fórmula molecular HCOOH y peso molecular 46.03 g/mol, miscible en agua y otros disolventes polares, pero no en hidrocarburos. Es corrosivo, tóxico, inflamable por lo que puede causar quemaduras, lesiones internas serias, irritación y daños permanentes en la vista. (Subsecretaría de Lucha Contra el Narcotráfico).

Su código CAS es 64-18-6 y se lo denomina también, ácido formílico, ácido carboxílico de hidrógeno y ácido metanoico. (S.A., 2019). En la siguiente Figura 2.1 se muestra la disposición espacial que posee su molécula:

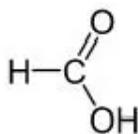


Figura 2.1: Disposición espacial molécula de ácido fórmico. Fuente: (www.manualdaquimica.com)

El ácido fórmico se produce en distintas concentraciones según su uso final, y con diferentes calidades. Se comercializa en concentraciones de 85, 90, 95, 98 y 99% en peso. El porcentaje de impurezas depende del proceso de producción.

El ácido fórmico al 85 % tiene larga vida útil si el material se conserva en envases adecuados y protegido, alejado de llamas, chispas y cualquier fuente de calor, ya que puede desprender vapores tóxicos al incrementar su temperatura.

Este ácido carboxílico no es explosivo ni inflamable espontáneamente en el aire, sin embargo, como se mencionó anteriormente, es combustible y corrosivo. Se debe evitar por ello el contacto con materiales inflamables y combustibles, así como materiales incompatibles. (QualityPro)

2.2.2 Propiedades fisicoquímicas

El ácido fórmico posee un punto de fusión de 8,3 °C y un punto de ebullición de 100,8 °C (a una presión de 101,3 kPa), es incoloro, transparente, muy corrosivo y tiene un pKa de 3.739. En estado puro es higroscópico.

Otro aspecto importante de este ácido es que es tanto un ácido carboxílico como un aldehído, esto implica que en algunas reacciones se comporte como un aldehído, razón por la cual tiene propiedades bactericidas. Mientras que en otras reacciones actúa como ácido carboxílico y por su naturaleza fuertemente ácida, muchos alcoholes (primarios y secundarios) pueden esterificarse con él, sin la adición de ácidos minerales. A su vez, debido a su grupo carboxilo extremadamente reactivo, las aminas pueden ser formiladas por ácido fórmico con alto rendimiento.

Otras características del ácido fórmico son:

- Se puede utilizar como fuente de monóxido de carbono.
- Junto con las bases orgánicas terciarias pueden formar compuestos de adición.
- No es muy estable, pero aun así puede destilarse a presión atmosférica.
- Puede descomponerse en monóxido de carbono y agua (deshidratación) o dióxido de carbono e hidrógeno (deshidrogenación).

En Tabla 2.1, se muestra como varía la densidad del ácido con la temperatura.

Tabla 2. 1: Dependencia de la densidad con la temperatura.

T (°C)	Densidad (g/cm ³)	T (°C)	Densidad (g/cm ³)
0	1.244	50	1.182
10	1.232	60	1.169
15	1.226	70	1.156
20	1.220	80	1.143
25	1.214	90	1.130
30	1.207	100	1.117
40	1.195		

Fuente: (Kieczka & Reutemann)

Una característica del ácido fórmico es que sus moléculas se dimerizan parcialmente en fase vapor. A presión normal y temperatura ambiente, el 95% del vapor del ácido consiste en ácido fórmico dimerizado de la forma:

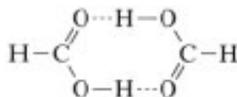


Figura 2.2: Ácido fórmico dimerizado. Fuente: (Kieczka & Reutemann)

La estructura dimérica tipo anillo existe tanto en la fase de vapor como en solución. El ácido fórmico en estado líquido consta de largas cadenas de moléculas enlazadas entre sí por enlaces de hidrógeno. Mientras que en el ácido fórmico sólido se pueden aislar en dos formas polimórficas:

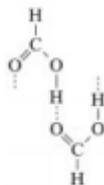


Figura 2.3: Porción de la cadena del cristal de ácido fórmico tipo α . Fuente: (Kieczka & Reutemann)

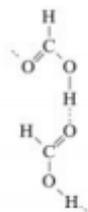


Figura 2.4: Porción de la cadena del cristal de ácido fórmico tipo β . Fuente: (Kieczka & Reutemann)

El ácido fórmico y el agua forman una mezcla isotrópica de máximo punto de ebullición, 107,6 °C a 101,3 kPa; con un 77,6% en peso de ácido fórmico y 22,4% en peso de agua. Este ácido puede formar mezclas isotrópicas con muchas otras sustancias.

La conductividad térmica del ácido fórmico es notablemente más alta que la de líquidos comparables, debido a su polaridad pronunciada.

La viscosidad dinámica de las mezclas de ácido fórmico y agua disminuye aproximadamente en forma lineal a medida que aumenta el contenido de agua en el ácido.

En cuanto a la capacidad calorífica específica de las mezclas de ácido fórmico puede considerarse con una disminución también lineal a medida que aumenta la concentración de ácido fórmico. (Kieczka & Reutemann)

A continuación, se presentan algunas propiedades:

- ❖ Olor: Penetrante
- ❖ Umbral Olfativo: 0,02 - 49,1 ppm
- ❖ pH: 2,2 a 10 g/L a 20°C
- ❖ Inflamabilidad: El producto es inflamable.
- ❖ Límite superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad: Límite inferior de explosión: 12% (v) Límite superior de explosión: 38% (v)
- ❖ Presión de vapor: 42 hPa a 20°C
- ❖ Coeficiente de reparto n-octanol/agua: log Pow: -2,1 (23 °C) Directrices de ensayo 107 del OECD No es de esperar una bioacumulación.
- ❖ Temperatura de auto-inflamación: 528 °C a 1.008 hPa
- ❖ Temperatura de descomposición: 350°C. Por calentamiento a 150°C libera monóxido de carbono y agua, a más de 150°C dióxido de carbono y gas hidrógeno, entre 300°C y 400°C se produce formaldehído.
- ❖ Viscosidad: 1,8 mPa.s a 20 °C
- ❖ Propiedades Explosivas: No clasificado como explosivo.
- ❖ Propiedades Comburentes: Información no disponible. (Biopack, 2017) (GTM, 2016)

2.2.3 Aplicaciones

El ácido fórmico, y sus sales, han sido utilizados durante muchas décadas como soluciones en numerosas aplicaciones. Principalmente se destacan sus propiedades como reductor, su acidez y naturaleza de aldehído.

Este ácido carboxílico se utiliza en la producción de fármacos por ser altamente reactivo, y es importante para la coagulación del caucho látex. (Kieczka & Reutemann). También se usa como conservante para la alimentación animal ya que previene el crecimiento de bacterias. En la industria del cuero, ayuda a lograr un curtido homogéneo y eficiente en pieles, asegura un rendimiento de bronceado constante en las mismas y facilita el fijado de tintes, reduciendo el consumo de agentes bronceadores.

Por otro lado, en el año 2017, la empresa BASF ha recibido la aprobación de la Administración de Alimentos y Medicamentos para lanzar ácido fórmico Amasil en dietas de aves de corral en los EE. UU.

Recientemente se analiza el uso del ácido fórmico para proyectos tales como el dispositivo HYFORM-PEMFC de GRT Group para almacenar hidrógeno. (Industry ARC)

En la siguiente tabla se observa en forma porcentual los diferentes usos en los que cobra mayor importancia el ácido fórmico.

Tabla 2. 2: Detalles del uso del ácido fórmico.

USOS	PORCENTAJE
Textiles y cuero	25%
Productos farmacéuticos, agentes fitosanitarios	10%
Látex y auxiliares de caucho	10%
Ensilaje	35%
Usos diversos	20%

Fuente: (Kieczka & Reutemann)

En la industria, regula el pH en el pretratamiento, acabado y limpieza del algodón. En comparación con otros ácidos, se necesitan pequeñas cantidades de este ácido para obtener el pH deseado.

Los formiatos, las sales del ácido fórmico, tienen una densidad relativamente alta, por lo cual son importantes para enfriar los fluidos y estabilizar los pozos de gas natural y petróleo. Las sales orgánicas ayudan a reducir los costos operativos y maximizar los rendimientos de hidrocarburos.

El ácido fórmico se utiliza en el procesamiento textil, como así también en la fabricación de cueros. En esta última, asegura homogeneidad de las pieles además de un curtido eficiente.

Este ácido es eficiente para reducir pH, neutralizando en el procesamiento textil hidróxido de sodio en exceso. (BASF, <https://www.basf.com/us/en/products/General-Business-Topics/formic-acid/oil-and-gas.html>)

2.3 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

2.3.1 Metanol

2.3.1.1 Identificación y descripción

El metanol, CH₃OH es un componente obtenido por síntesis a partir de gas natural, por combinación de óxidos de carbón e hidrógeno. Se sintetiza bajo presión en un proceso catalítico, y luego es purificado a grado químico por destilación. (YPF, 2017)

Su código CAS es 67-56-1 y otros sinónimos son alcohol metílico, hidrato metílico, monohidroximetano, carbinol, hidróxido metílico, metinol, entre otros. En cuanto a su peso molecular, es de 32.04g/mol. (Venezolana, 1997).

Su estructura molecular es la siguiente:

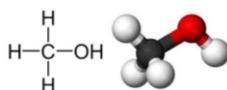


Figura 2.5: Estructura molecular. Fuente: www.acidosynitratos.es

2.3.1.2 Propiedades

En la siguiente tabla se presentan las propiedades del metanol.

Tabla 2. 3: Propiedades físicas y químicas.

Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Pungente
Umbral olfativo	59ppm
pH	N/D
Punto de fusión/congelación	-94°C
Punto/intervalo de ebullición	64°C
Inflamabilidad	Es inflamable
Punto de inflamabilidad	11°C
Límites de inflamabilidad	6%-36.5%
Presión de vapor a 20°C	97mmHg
Densidad a 20°C	0.791-0.793 g/cm ³

Solubilidad a 20°C	Miscible en agua, etanol, éter, acetona y cloroformo. Soluble en etanol, éter, benceno, cetonas y en la mayoría de los solventes orgánicos.
Temperatura de autoignición	455°C
Viscosidad cinemática a 20°C	0.69 cSt
Propiedades explosivas	No explosivo
Propiedades comburentes	No reacciona exotérmicamente con combustibles

Fuente: (GTM, 2016)

2.3.1.3 Aplicaciones

Aproximadamente el 70% de la producción de metanol es utilizada en industria química como materia prima o disolvente para la síntesis; el porcentaje restante se usa en el sector de combustibles y energía. A partir de él se produce formaldehído, ácido acético, dimetil éter (DME), propeno, entre otros. El formaldehído es el producto más importante sintetizado a partir del metanol.

El metanol se emplea en sistemas de refrigeración (en forma pura o mezclado con agua y glicoles), como protector en tuberías de gas natural contra la formación de hidratos de gas a baja temperatura y como agente de absorción en depuradores de gases. (Kieczka & Reutemann). Además, es utilizado para la elaboración de anticongelantes y MTBE (metil-terbutil éter) que interviene en la formulación de combustibles para motores de combustión interna. (YPF, 2017)

2.3.2 Monóxido de carbono

2.3.2.1 Identificación y descripción

El monóxido de carbono, CO, cuyo código CAS y peso molecular son 630-08-0 y 28.01 g/mol respectivamente, es un gas tóxico generado por la combustión incompleta de compuestos que contienen carbono. Fue preparado y aislado por primera vez en 1776 por J. M. F. de Lassone. (Kieczka & Reutemann)

Se trata de un gas parcialmente soluble en agua, alcohol y benceno. Consta de un átomo de carbono unido mediante enlace covalente a un átomo de oxígeno. (<http://www.crana.org/es/>)

Otros sinónimos para su denominación son óxido carbónico y óxido de carbono.

En la siguiente figura se encuentra la disposición espacial de la molécula del compuesto.

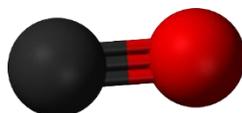


Figura 2.6: Disposición espacial de la molécula. Fuente: (Wikipedia)

2.3.2.2 Propiedades

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, insípido y altamente inflamable a temperatura ambiente y presión atmosférica. En estado sólido, se conocen dos fases alotrópicas diferentes a baja temperatura. El punto de fusión del monóxido de carbono sólido es 68,15 K (a 15,35 kPa) y aumenta con la presión.

Es una molécula insaturada, cuya química está dominada por sus propiedades reductoras y su capacidad para combinarse con una gran variedad de moléculas. (Kieczka & Reutemann)

Tabla 2. 4: Propiedades físicas y químicas.

Estado físico	Gas comprimido e incoloro
Olor	Sin olor característico
pH	No aplicable
Temperatura de fusión	-205.1°C
Temperatura de ebullición	-191.5°C
Punto de inflamación	No aplicable
Límites inflamabilidad	12.5-74%v
Solubilidad en agua	0.03g/l
Densidad relativa del vapor	0.967
Temperatura de autoignición	620°C

Viscosidad	No aplicable
Densidad a 21°C	0.0012g/cm ³

Fuente: (INDURA, 2016)

2.3.2.3 Aplicaciones

El monóxido de carbono, como compuesto puro o componente del gas de síntesis (CO + H₂), se utiliza para la producción de productos químicos intermedios como metanol, ácido acético, fosgeno, combustibles, etc.

Otro campo de aplicación es el de la metalurgia. Se usa en la recuperación de la alta pureza del níquel, para oro en bruto y como agente reductor. (Group, 2012)

2.4 DESCRIPCIÓN DEL CATALIZADOR

2.4.1 Identificación y descripción

El metilato de sodio (CH₃ONa), también conocido como metóxido de sodio, metanolato de sodio, metóxisodio, entre otros; es un polvo blanco muy reactivo e higroscópico, que reacciona con agua para formar hidróxido de sodio. Se puede presentar en solución al 30% en metanol, o en forma sólida incolora.

Es importante destacar que el metóxido de sodio, reductor y base fuerte, es muy inflamable, por ende, un calentamiento intenso puede producir una explosión. Solo es estable en ausencia de aire y humedad, con el agua reacciona violentamente. La reacción con el agua produce metanol inflamable e hidróxido de sodio corrosivo, por lo que, ataca muchos metales.

Su peso molecular y número de CAS son 54g/mol y 124-41-4 respectivamente. (Organization, 2009)

En la siguiente figura se muestra la disposición de la molécula.

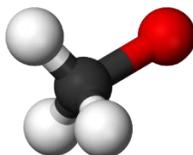


Figura 2.7: Disposición espacial de la molécula. Fuente: (Wikipedia)

2.4.2 Propiedades

En la siguiente tabla, se describen sus propiedades físicas y químicas.

Tabla 2. 5: Propiedades físicas y químicas.

Aspecto	Líquido
Color	No disponible
Olor	No disponible
Umbral olfativo	No disponible
pH	11 (2%, 20°C)
Punto de fusión	6°C
Punto de ebullición	92°C
Punto de inflamación	33°C
Límites de explosión	5.5-36.5%v/v
Densidad relativa	0.97
Temperatura de autoinflamación	455°C
Reactividad	Reacciona violentamente con el agua

Fuente: (CHEMICALS, 2016)

2.4.3 Aplicaciones

El metóxido de sodio es un compuesto organometálico, reactivo, catalizador y material precursor que tiene diversas aplicaciones en deposición de películas delgadas, química industrial, productos farmacéuticos, fabricación de LED, entre otros. (Elements)

Como catalizador, es muy útil y sustentable en la producción y el uso de biodiesel, como así también, cumple con los requerimientos de los fabricantes de motores ya que permiten obtener combustibles de alta calidad con emisiones al ambiente más bajas. Otro factor importante en el campo del biodiesel es que tiene un buen rendimiento y bajos costos de preparación. (BASF, 2019)

2.5 DESCRIPCIÓN DEL EXTRACTANTE

2.5.1 Identificación y descripción

El tetrahidrofurano es un compuesto orgánico, se clasifica como heterocíclico, formado por un anillo por 5 miembros en el que un átomo de carbono ha sido sustituido por un átomo de oxígeno, y un grupo metilo en posición alfa.

La principal aplicación del Tetrahidrofurano es actuar como solvente polar versátil en reacciones organometálicas o bifásicas, siendo una alternativa sostenible a otros disolventes convencionales.

Su número de CAS es 109-99-9.

2.5.2 Propiedades

En la siguiente tabla, se describen sus propiedades físicas y químicas.

Tabla 2. 6: Propiedades físicas y químicas.

Aspecto	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Como éter
pH	7-8 (en solución acuosa: 200 g/l, 20 °C)
Punto de fusión	-108.5°C
Punto de ebullición	65°C
Punto de inflamación	-21.2°C
Límites de explosión	1.5-12.4%v/v
Densidad	0.883 g/cm ³
Temperatura de autoinflamación	215°C

Fuente: (ROTH, 2021)

2.5.3 Aplicaciones

Se utiliza en polimerización, ya que, en presencia de ácidos fuertes, se convierte en un polímero lineal llamado poli (tetrametilen éter) glicol (PTMEG), también conocido como poli (óxido de tetrametileno).

Además, se usa como disolvente industrial para cloruro de polivinilo (PVC) y en barnices. Se trata de un solvente aprótico, moderadamente polar y puede disolver una gran cantidad de compuestos químicos no polares y polares.

El THF se ha investigado como un co-disolvente miscible en solución acuosa para ayudar en la licuefacción y deslignificación de la biomasa.

CAPÍTULO N°3: ESTUDIO DE MERCADO

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se analiza el mercado nacional e internacional del ácido fórmico, su principal materia prima, metanol y el catalizador metóxido de sodio. Se estudian a través del tiempo factores como la demanda, el consumo y la producción, para poder determinar el comportamiento futuro del mercado.

Se utiliza la información disponible sobre el consumo a nivel nacional para estimar la demanda actual y futura del ácido. Se cuenta con datos de importación y exportación, destacando que el país no cuenta con producción propia. Además, se analiza el mercado de ácido fórmico en Brasil.

También se realiza un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

3.2. MERCADO MUNDIAL DEL ÁCIDO FÓRMICO

Para el año 1988, la capacidad mundial instalada para la producción de ácido fórmico era de unas 330000 t/año. (Kieczka & Reutemann).

Entre los principales productores del mundo, se destacan: BASF SE (Alemania), Feicheng Acid Chemical (China), Gujarat Narmada Valley Fertilizers & Chemicals Limited (India), Chongqing Chuandong Chemical (Group) Co., Ltd (China), LUXI Group Co., Ltd. (China), Eastman Chemical Company (EE. UU.) Y Perstorp AB (Suecia). (Industry ARC)

El ácido fórmico es utilizado en sectores tales como el del petróleo y gas, debido a que uno de sus derivados, salmuera de formiato se agrega a los fluidos de perforación con el objeto de hacerlos más pesados. De aquí, que el aumento en la demanda de la industria del petróleo repercute en un aumento de la demanda en el mercado del ácido fórmico. (BASF)

Según la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), para 2021 se estima que la demanda mundial de petróleo aumentará en 5,90 millones de barriles / día, una revisión a la baja de 0,35 millones de barriles / día, dado la incertidumbre que rodea el impacto del COVID-19 en los combustibles para el transporte en las economías de la OCDE.



Figura 3. 1: Demanda de petróleo de la OCDE en América, interanual y cambio. Fuente: (OPEC, 2020)

También se ha observado un importante crecimiento industrial en el sector farmacéutico, con muchas empresas internacionales que invierten en economías en desarrollo, lo que se relaciona con un aumento en la demanda de ácido fórmico, que se utiliza en estas industrias.

El crecimiento del ácido fórmico está impulsado por:

- ❖ El crecimiento de la industria farmacéutica y del cuero.
- ❖ Su aplicación en el ganado.

Y se tiende a emplearlo para:

- ❖ Combatir carreteras resbaladizas.
- ❖ Dietas avícolas.
- ❖ Advenimiento de las pilas de combustible a base de ácido fórmico. (Industry ARC)

Además, en la actualidad, el ácido fórmico, se presenta como una alternativa para almacenar energía renovable de manera segura, ocupando menor volumen del necesario para la gasolina tradicional. El ácido, es una molécula orgánica ligera capaz de almacenar hidrógeno en forma de líquido a temperatura ambiente y, al ser líquido, es más compacto y seguro que el hidrógeno en forma de gas. Lo expresado también beneficia y potencia el consumo de ácido fórmico.

3.3 MERCADO NACIONAL DEL ÁCIDO FÓRMICO

Se realiza un análisis a partir de datos extraídos de las fuentes Scavage y Sistema de Consulta de Comercio Exterior de Bienes de INDEC. En dichas páginas se utilizó la posición

arancelaria 2915.11.00.000Q y código 29151100 para extraer datos de importación y exportación del ácido fórmico. Este análisis nos permite determinar el comportamiento del producto en los últimos 10 años y proyectar el mismo para los próximos años.

Se visualiza en la siguiente tabla 3.1, la estructura del mercado local.

Tabla 3. 1: Estructura del mercado local año 2018.

Industria textil y del cuero	70
Industria química	20
Varios	10

Fuente: ((IPA), 2019)

En el período mencionado con anterioridad se observan tanto importaciones como exportaciones, analizadas a continuación.

3.3.1 Importaciones

En la Tabla 3.2 se muestran los datos extraídos de la página INDEC en relación con los kilogramos importados en Argentina en los últimos 10 años.

Tabla 3. 2: Total de importaciones por año en Argentina.

Año	Importaciones (kg)
2010	11669507,00
2011	8505315,00
2012	9097830,00
2013	11420754,00
2014	10270829,00
2015	9671241,00
2016	10241008,00
2017	9437285,00
2018	10790264,00
2019	9881769,01
2020	7764845,2

Fuente: (INDEC, <https://comex.indec.gov.ar/#/>)

Asimismo, en la siguiente imagen se representan las importaciones en función del tiempo.

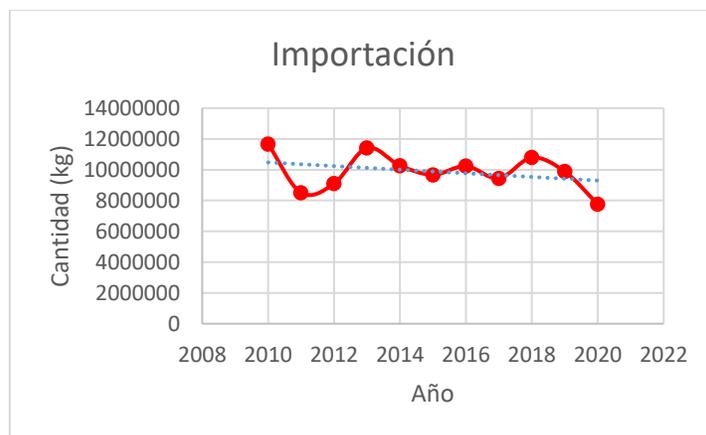


Figura 3. 2: Importaciones vs tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 3.3, la principal vía por cual llega al país el ácido fórmico es por la acuática (representando esta un 91% del total de ingresos) aunque también se ingresa de formas no declaradas y forma terrestre.

Tabla 3. 3: Vía de transporte.

Vía de transporte	Cantidad (kg)
Acuática	96880000,00
No declarado	8650000,00
Terrestre	360684,80
Aérea	1742,50

Fuente: (SCAVAGE, www.scavage.com, 2021)

El país que lidera las importaciones de este producto, como se puede observar en la Figura 3.4, es China; seguido por Alemania, Estados Unidos y Finlandia. En menor medida, las importaciones también provienen de Suecia, Holanda, República de Corea, Reino Unido, Bélgica e Indonesia.

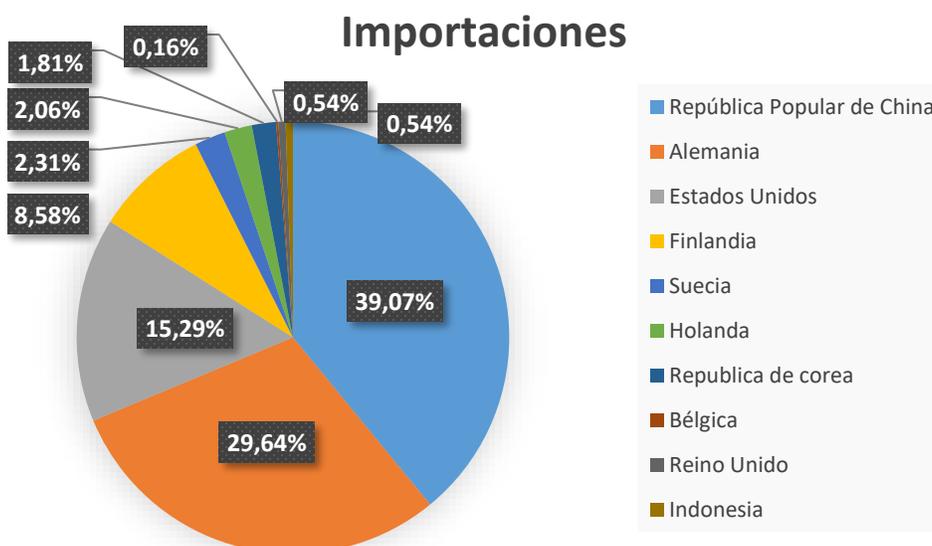


Figura 3. 3: Importaciones Argentina. Fuente: (SCAVAGE, www.scavage.com, 2021)

China y Alemania, son los principales importadores de nuestro país, representando un 69% de las importaciones nacionales. Las industrias que lideran la producción de ácido fórmico en estos países son, BASF en Alemania, Feicheng Acid Chemicals Co Ltd, Chongqing Chuandong Chemical (Group) Co., Ltd y LUXI Group Co., Ltd. en China.

Por su parte, BASF en Alemania, tiene sede central en Ludwigshafen, donde cuenta con 39.000 empleados y una superficie de planta de producción de 10 km². Es una empresa mundial, con más de 300 centros de producción. Posee unos 110000 empleados a nivel mundial, y ha generado ventas de 59000 millones de euros en el año 2020. Además, sus acciones cotizan en la bolsa de valores de Frankfurt (BAS) y como American Depositary Receipts (BASFY) en los EE. UU. (BASF, 2020)

Con respecto a las industrias chinas, una de las más destacadas es Feicheng Acid Chemicals Co Ltd. Es una de las 500 industrias químicas más importantes de China, con un capital social de alrededor de 8000490 dólares. Su capacidad de producción de ácido fórmico es de 100000 megatoneladas/año, lo que corresponde a la mayor capacidad de Asia.

Tabla 3. 4: Análisis China y Alemania.

Año	Importación (kg)
2010	11669507,00
2011	8505315,00
2012	9097830,00
2013	11420754,00
2014	10270829,00
2015	9671241,00
2016	10241008,00
2017	9437285,00
2018	10790264,00
2019	9881769,01
2020	7764845,20

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Exportaciones

El principal destino de las exportaciones, como se puede observar en la imagen siguiente, es Uruguay, seguido por Brasil, Paraguay, Chile y Perú.



Figura 3. 4: Exportaciones. Fuente: (SCAVAGE, www.scavage.com, 2021)

Las exportaciones se realizan mayoritariamente por vía terrestre y en menor medida por vía acuática y aérea, véase Tabla 3.5

Tabla 3. 5: Vías de transporte.

Vía de transporte	Cantidad (kg)
Terrestre	280242,89
Acuatica	27,02
Aérea	10,00

Fuente: (SCAVAGE, www.scavage.com, 2021)

En la Tabla 3.6 se muestran los datos extraídos en relación con los kilogramos exportados de ácido fórmico en Argentina en los últimos 10 años.

Tabla 3. 6: Exportaciones.

Año	Exportaciones (kg)
2010	23428,62
2011	130955,97
2012	14516,00
2013	12003,00
2014	16,32
2015	9,81
2016	14,4
2017	24079,1
2018	Insignificante
2019	Insignificante
2020	Insignificante

Fuente: (INDEC, <https://comex.indec.gov.ar/#/>)

A continuación, se representa en la siguiente figura, las exportaciones en función del tiempo.

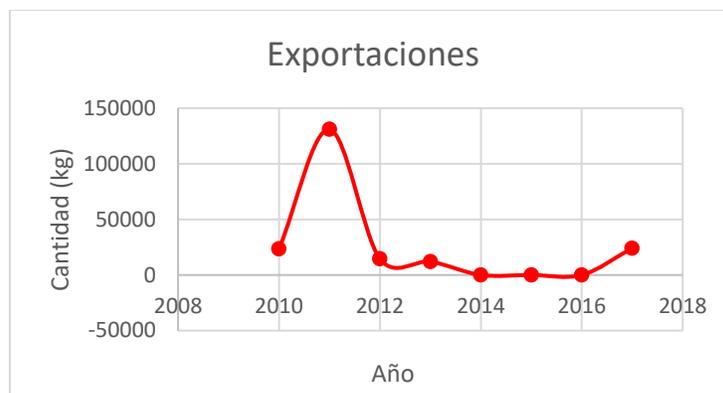


Figura 3. 5: Exportaciones. Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Demanda insatisfecha

Según las fuentes consultadas, no existe producción nacional de ácido fórmico, por lo que este producto sólo se obtiene de las importaciones. La demanda insatisfecha o consumo aparente sobre el total de las importaciones y exportaciones, se observa en la Tabla 3.7:

Tabla 3. 7: Consumo aparente.

Año	Consumo aparente (t)
2009	8464,00
2010	11596,00
2011	8374,00
2012	9126,00
2013	11409,00
2014	10271,00
2015	9671,00
2016	10241,00
2017	9389,00
2018	10790,00

Fuente: ((IPA), 2019)

En base a lo expuesto en la sección importaciones, se puede ver que las empresas nombradas conforman un oligopolio, lo que implica que la situación del mercado se ve dominada por un pequeño número de grandes industrias. Por esta razón, solo se considera abastecer un porcentaje de la demanda insatisfecha de nuestro país.

Para nuestro proyecto, va a considerar abastecer un 50% del consumo aparente, porcentaje que resulta razonable, ya que un 30% del consumo de ácido proviene de pequeñas y

medias industrias con las cuales se podría competir y el 20% restante se considera que por precio y calidad pueden incluirse como potenciales clientes.

Además, con el objetivo de ampliar nuestra capacidad de producción se analizan mercados de países limítrofes, entre los que se destacan Chile y Brasil. Seleccionando como mejor opción para exportar, Brasil, dado que presenta un amplio mercado, con grandes volúmenes de consumo de ácido fórmico. Se pretende cubrir un 30% del consumo aparente del mercado, por las mismas consideraciones descriptas para Argentina.

A continuación, se presenta tabla de análisis del mercado del ácido fórmico en Brasil, obtenidos de Scavage.

Tabla 3. 8: Consumo aparente de Brasil.

MERCADO BRASIL				
Período	Importación (kg)	Exportación (kg)	Demanda insatisfecha (kg)	Demanda a abastecer
2009	12350000,00	0	12350000,00	3705000,00
2010	19640000,00	50400,00	19589600,00	5876880,00
2011	16380000,00	0	16380000,00	4914000,00
2012	19210000,00	0	19210000,00	5763000,00
2013	20730000,00	7200,00	20722800,00	6216840,00
2014	20290000,00	68,00	20289932,00	6086979,60
2015	17780000,00	50,00	17779950,00	5333985,00
2016	22990000,00	19200,00	22970800,00	6891240,00
2017	17400000,00	25200,00	17374800,00	5212440,00
2018	21900000,00	3600,00	21896400,00	6568920,00
2019	18830000,00	2849,00	18827151,00	5648145,30
2020	18360000,00	10175,00	18349825,00	5504947,50

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las cifras obtenidas en INDEC y las consideraciones particulares asumidas, se genera la siguiente tabla y gráfico que representan el consumo aparente en nuestro proyecto.

Tabla 3. 9: Consumo aparente.

DEMANDA INSATISFECHA (kg/año)			
Año	Argentina (50%)	Brasil (30%)	Total
2010	5823039,19	5876880,00	11699919,19
2011	4187179,51	4914000,00	9101179,51
2012	4541657,00	5763000,00	10304657,00
2013	5704375,50	6216840,00	11921215,50
2014	5135406,34	6086979,60	11222385,94
2015	4835615,59	5333985,00	10169600,59
2016	5120496,80	6891240,00	12011736,80
2017	4706602,95	5212440,00	9919042,95
2018	5395132,00	6568920,00	11964052,00
2019	4940884,50	5648145,30	10589029,80
2020	3882422,60	5504947,50	9387370,10

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla 3.9, se genera el gráfica siguiente, que representa el consumo aparente en función de los años.

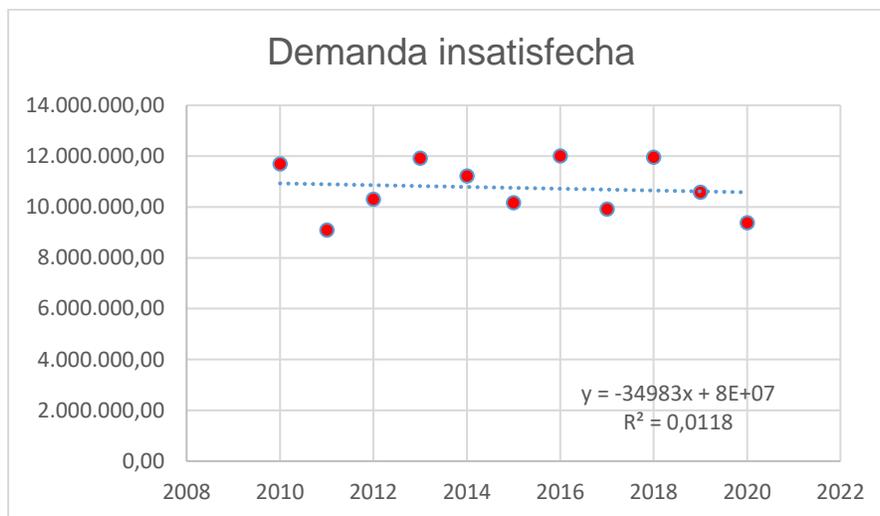


Figura 3. 6: Consumo aparente vs. años. Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior, se observan algunos puntos atípicos que son consecuencia de situaciones conocidas a nivel país y regional. Con lo cual, previo al cálculo de la línea de

tendencia se deben identificar aquellos valores más alejados y corregirlos, para obtener una regresión con un mejor valor de R^2 , ya que, su valor de 0,01 no brinda confianza alguna.

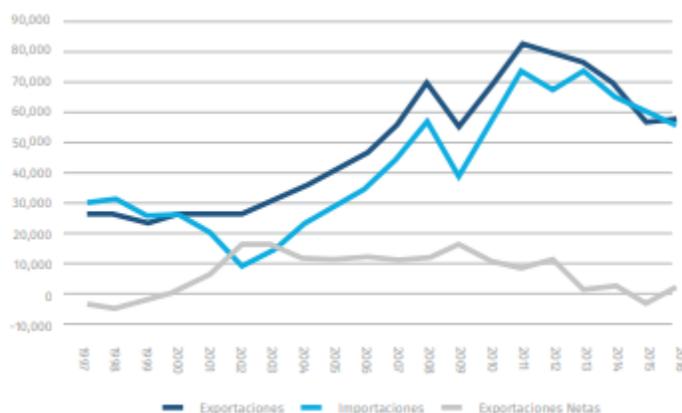


Figura 3. 7: Evolución de exportaciones netas. Fuente: INDEC

En el año 2010 las exportaciones argentinas mostraron aumentos en sus precios (5,3%) y en mayor nivel en sus cantidades (16,8%); en este período las exportaciones alcanzaron el valor de 68500,3 millones de dólares, 23,0% superior al 2009. Los índices de precios de las importaciones en el año 2010, aumentaron 5,7%, en tanto los índices de cantidad aumentaron un 37,7%, en este período las importaciones fueron de 56443,3 millones de dólares, el 45,5% superior a igual período del año anterior. El índice de los términos del intercambio, que mide la relación entre los índices de precios de exportación e importación, registró una leve variación negativa (-0,4%) en el año 2010. (INDEC, <https://comex.indec.gov.ar/#/>)

En el año 2013, las exportaciones argentinas registraron una leve baja en sus precios (-0,9%), en tanto las cantidades se incrementaron el 4,9%; en este período las exportaciones alcanzaron el valor de 63479 millones de dólares, un 3,9% superior al mismo período de 2012. Los índices de precios de las importaciones en 2013 aumentaron 3,8% en tanto los de cantidad lo hicieron un 6,7%, en este período las importaciones fueron de 56338 millones de dólares, un 10,7% superior a igual período del año anterior. El índice de los términos del intercambio registró una baja del 4,6% en los nueve meses de 2013 respecto a igual período del año anterior. (INDEC, <https://comex.indec.gov.ar/#/>)

En el tercer trimestre de 2017, el índice de precios de exportación se redujo 4,1% y el índice de cantidades aumentó 3,8%, en ambos casos respecto a igual período del año anterior. El valor de las exportaciones alcanzó 15734 millones de dólares, con una caída de 0,4% en relación con igual período del año anterior. Los índices de precios y de cantidades de las importaciones se incrementaron en este trimestre, de manera interanual, 4,1% y 19,7%, respectivamente. El valor de las importaciones alcanzó 18318 millones dólares, 24,7% superior a igual trimestre del año anterior. El índice de términos del intercambio registró en el tercer trimestre de 2017 un deterioro de 7,9% respecto al tercer trimestre del año 2016. (INDEC, <https://comex.indec.gov.ar/#/>)

En los años 2010 y 2017 se observa un crecimiento en el PIB (producto bruto interno), en tanto que en el año 2013 se presenta una recesión de la economía Argentina y cae el valor del PIB en el último cuatrimestre.

Ante las situaciones descriptas, se procede a suavizar la curva en los valores atípicos utilizando un promedio, generado a partir de valores contiguos. De forma tal, de obtener una función que represente la tendencia histórica de consumo con suficiente confiabilidad.

Para alcanzar el objetivo, además, no se tendrán en cuenta en el análisis para obtener la ecuación de proyección, los años 2019 y 2020. En 2019 se presenta en Argentina, una crisis económica, se realiza un pedido de préstamo el Fondo Monetario Internacional por monto récord. Además, hubo una caída anual del 2,1 %, según el informe del Instituto Nacional de Estadística y Censos, después de que la recesión se agravara en los últimos meses del Gobierno del presidente Mauricio Macri.

En el 2020 se presenta una nueva crisis a nivel mundial y pandemia COVID-19 .
Afectando todo esto, al mercado normal del ácido fórmico.

A partir de los nuevos valores, se construye la gráfica demanda insatisfecha suavizada y una nueva tabla.

Tabla 3. 10: Consumo aparente suavizado.

Demanda insatisfecha (kg/año)			
Año	Argentina (50%)	Brasil (30%)	Total
2009	4231932,93	3705000,00	7936932,93
2010	5823039,19	5876880,00	8519056,22
2011	4187179,51	4914000,00	9101179,51
2012	4541657,00	5763000,00	10304657,00
2013	5704375,50	6216840,00	10763521,47
2014	5135406,34	6086979,60	11222385,94
2015	4835615,59	5333985,00	10169600,60
2016	5120496,80	6891240,00	12011736,80
2017	4706602,95	5212440,00	11987894,40
2018	5395132,00	6568920,00	11964052,00
2019	4940884,50	5648145,30	12902515,7
2020	3882422,60	5504947,50	13357863,71

Fuente: Elaboración propia.

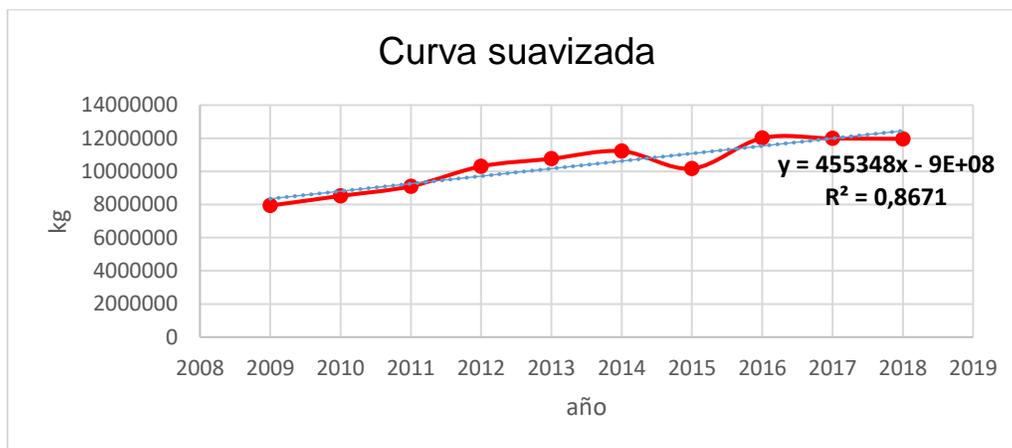


Figura 3. 8: Demanda aparente. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en Figura 3.8 se obtiene un R^2 de 0,8671, el cual brinda confianza suficiente para realizar la proyección.

La recta de tendencia que representa a los valores corregidos es $y = 455348x - 9 \times 10^8$

El cálculo de la proyección demanda de ácido fórmico se realiza utilizando los valores anuales obtenidos a partir de la recta de regresión lineal, a 12 años. Este período se debe

a que si bien, no se han considerado los años 2019 y 2020 para la obtención de la ecuación, si deben tenerse en cuenta en la proyección a futuro.

En el siguiente gráfico se realizó la proyección de la demanda insatisfecha.

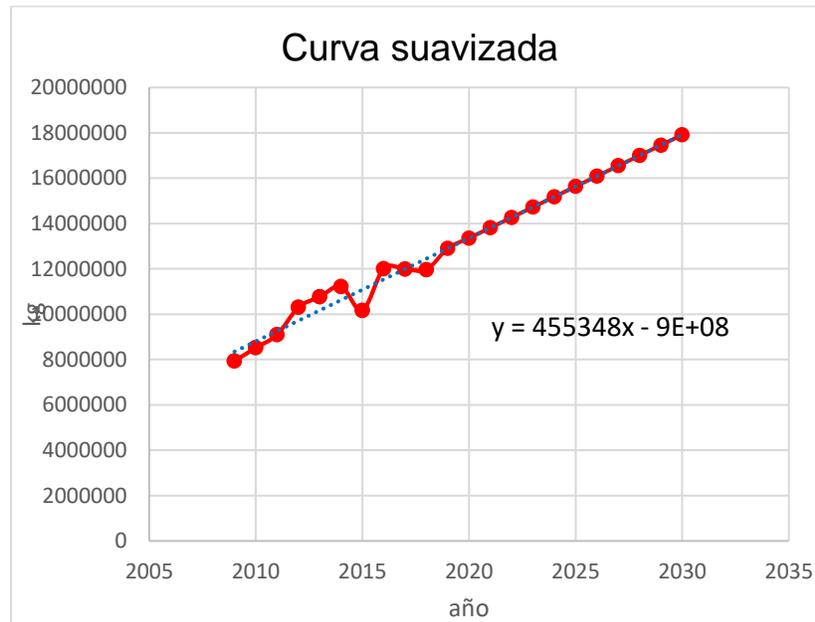


Figura 3. 9: Consumo aparente a 12 años. Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Precio del ácido fórmico

3.3.4.1 Argentina

Dado que el ácido fórmico no se produce en nuestro país, su precio estará fijado principalmente a partir de las importaciones, ya que, para las exportaciones, no se cuenta con datos suficientes en los últimos años como para hacer proyecciones. Para visualizar y analizar la variabilidad de los precios en los últimos años, se utiliza la base de datos de INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina). Se estudiará, el comportamiento del valor CIF (Costo, Seguro y Flete) a lo largo del tiempo, expresado en dólares por año, como así también el valor del FOB (Franco a bordo, Puerto de carga convenido).

En la tabla 3.11, se expresan los valores referidos a la importación, en el período 2010-2020, estos datos además se presentan en la gráfica 3.10.

Tabla 3. 11: Monto CIF.

Año	Monto CIF (USD)
2010	10284091,00
2011	7458517,00
2012	8330801,00
2013	9476653,00
2014	6807113,00
2015	4988754,00
2016	4796833,00
2017	6354113,00
2018	12389024,00
2019	5263001,71
2020	3448711,36

Fuente: Elaboración propia.

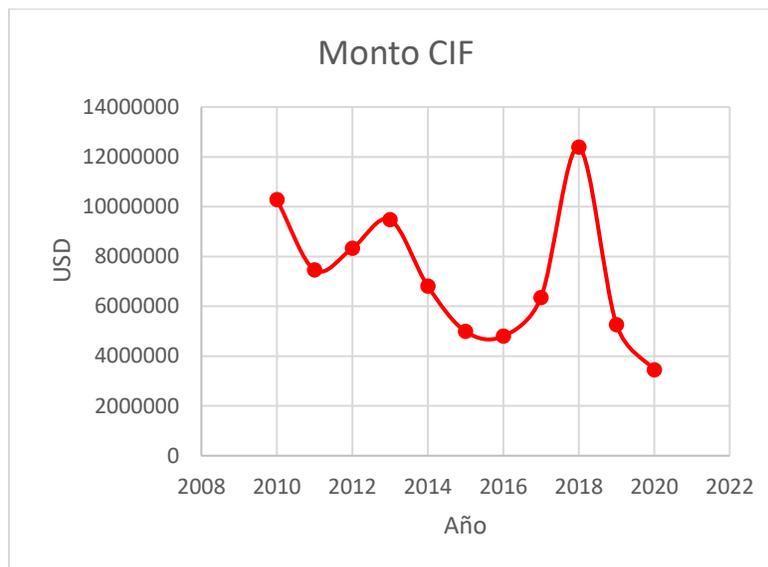


Figura 3. 10: Monto CIF. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.12, se expresan los valores del FOB para ácido fórmico en el período 2010-2020, utilizados para generar la figura 3.11.

Tabla 3. 12: Monto FOB.

Año	Monto FOB (USD)
2010	31365,00
2011	99268,00
2012	19386,00
2013	11432,00
2014	492,00
2015	162,00
2016	99,00
2017	20301,00
2018	Insignificante
2019	Insignificante
2020	Insignificante

Fuente: Elaboración propia.

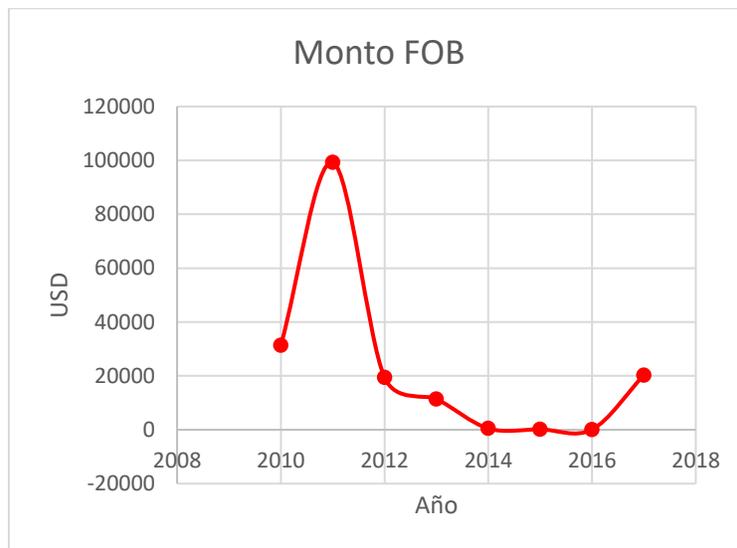


Figura 3. 11: Monto FOB. Fuente: Elaboración propia.

3.3.4.2 Brasil

A continuación, se presenta la tabla y gráficas correspondientes según la base de datos de SCAVAGE, de los montos CIF y FOB de Brasil respecto del ácido fórmico.

Tabla 3. 13: Montos CIF y FOB.

Año	Monto CIF (USD)	Monto FOB (USD)
2010	16520000,00	56504,00
2011	14210000,00	-
2012	17620000,00	-
2013	17650000,00	6307,00
2014	13050000,00	16569,00
2015	9150000,00	192,00
2016	10550000,00	19200,00
2017	10150000,00	44834,00
2018	24830000,00	5568,00
2019	9970000,00	21340,00
2020	8090000,00	14841,00

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. 12: CIF. Fuente: Elaboración propia.

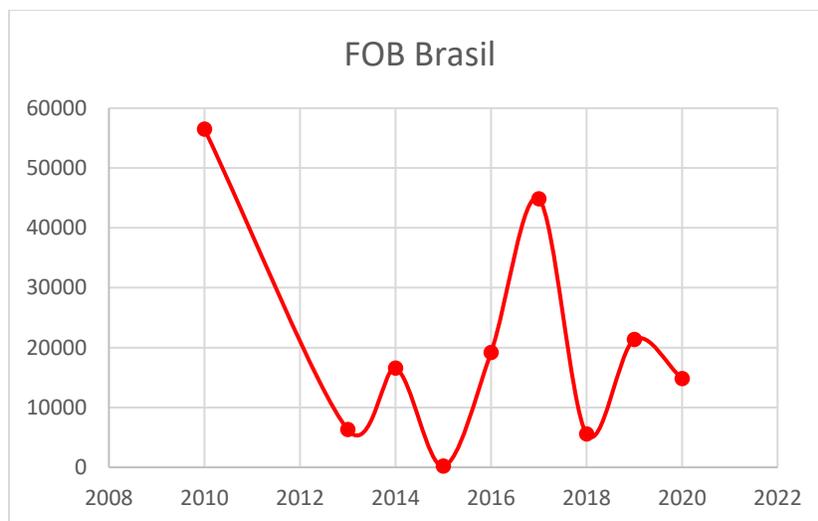


Figura 3. 13: FOB. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en las gráficas 3.12 y 3.13, hay valores atípicos de los montos, producto de las diferentes situaciones socioeconómicas que atravesó el país.

3.4 MERCADO NACIONAL DE LA PRINCIPAL MATERIA PRIMA: METANOL

3.4.1 Fábricas en Argentina

En Argentina los principales productores de metanol se encuentran distribuidos en Buenos Aires, Santa Fe y Neuquén. Entre ellos:

- Industrias Químicas Carbinol S.A.: Es una empresa ubicada en Ezeiza, Buenos Aires fundada en 1967, que se dedica a la fabricación de sustancias químicas básicas como alcoholes (excepto etílico), sustancias químicas para la elaboración de otras plásticas, carbón vegetal, entre otros.
- YPF S.A.: Con sede en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Argentina), YPF es una empresa que se dedica a la exploración, explotación, y demás actividades, para la producción de energía eléctrica, gas, petróleo y derivados de los hidrocarburos. También venden combustibles, lubricantes, fertilizantes, y otros productos relacionados.

Cuenta con tres refinerías en Argentina: La Plata (Buenos Aires), Plaza Huincul (Neuquén) y Luján de Cuyo (Mendoza). La producción de metanol se realiza en las dos primeras. La refinería de Neuquén tiene una capacidad instalada de 411000t/a.

Para el año 2019, la producción de petróleo crudo fue de 12 mmbbl (millones de barriles) y la producción de gas natural de 60 bcf (miles de millones de pies cúbicos). (YPF)

- Arauco Argentina.: Es una empresa ubicada en Puerto General San Martín, Santa Fe que produce metanol, formaldehído, concentrado de urea formaldehído, resinas ureicas y resinas melamínicas de alta calidad, para la producción de tableros FAPLAC y TRUPAN, y para su comercialización. Su capacidad instalada es de 50000t/a.
- Dara S.A.: es una empresa fundada en 1993 ubicada en Alvear, Santa Fe, que se dedica a la rectificación de alcoholes y mezclas hidroalcohólicas. Sus productos son metanol 99.9% alcohol etílico anhidro, disolvente de esencias y disolvente M1. Además, brindan servicios de: recuperación y purificación de metanol, deshidratado de alcoholes, producción de etanol buen gusto.

3.4.2 Importación y exportación

En el año 2020 los principales importadores fueron Estados Unidos, Georgia y Arabia Saudita, mientras que la exportación fue hacia Paraguay y Uruguay.

Las cantidades que se detallan en las tablas son significativas debido a las numerosas aplicaciones del metanol. Hasta el año 2016 la cantidad importada era elevada pero no superior a la exportada. En 2017 y 2020 la importación fue muy grande.

A continuación, se presentan gráficos y tablas a partir de datos extraídos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) para metanol, lo cual permite determinar el comportamiento del mismo a partir de 2010 hasta 2020.

En el período mencionado se observan tanto importaciones como exportaciones.

Tabla 3. 14: Importación.

Año	Cantidad (kg)
2010	35033300,00
2011	30553581,00
2012	10094162,00
2013	7402959,00
2014	9869135,00
2015	94814,00
2016	31248868,00
2017	74742915,74
2018	9962316,04
2019	14733924,79
2020	88236890,51

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. 14: Importación. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 15: Exportación.

Año	Cantidad (kg)
2010	79278937,00
2011	37404531,00
2012	42721075,00
2013	42525223,00
2014	78872470,00
2015	149122296,00
2016	7695237,00
2017	5826325,00
2018	105333380,00
2019	116965460,00
2020	37198327,00

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. 15: Exportación. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Comportamiento futuro de la materia prima

El metanol se obtiene por síntesis a partir de gas natural, por lo que analizar su fuente de obtención, permite conocer su comportamiento futuro.

La producción de gas natural en Argentina en el año 2018 alcanzó los 47000 millones de metros cúbicos, registrando un aumento de un 5,4% respecto de la producción en 2017. Este incremento estuvo impulsado por la mayor producción de la cuenca Neuquina

(Neuquén, Mendoza, Río Negro y La Pampa). Sin embargo, se puede observar que la cantidad producida fue menor que años atrás.

La producción en la cuenca Austral (Santa Cruz, Tierra del Fuego y plataforma continental) se incrementó entre los años 2017 y 2018, al igual que la cuenca Cuyana (Mendoza y San Juan) pero esta última en menor proporción. Mientras que las cuencas Noroeste (Jujuy, Salta, Tucumán, Santiago del Estero y Formosa) y Golfo San Jorge (Chubut, Santa Cruz y plataforma continental) la producción disminuyó aproximadamente un 10%.

En el año 2018 el 65% del gas producido era convencional y el 35% no convencional, indicador importante para el futuro de nuestro país.

La producción de gas convencional tuvo una caída de casi el 40% en los últimos diez años, en tanto, la producción de gas no convencional creció fuertemente en el periodo mencionado, multiplicándose más de 20 veces. (Bolsa de Comercio Rosario)

Tabla 3. 16: Producción de gas natural en Argentina por cuenca.

Millones de m ³ anuales - MMm ³ /año						
Año	Austral	Golfo San Jorge	Neuquina	Noroeste	Cuyana	Total
2008	9136	4967	29581	6880	58	50622
2009	9918	5191	26972	6280	60	48421
2010	10436	5231	25981	5403	59	47110
2011	10818	4880	25159	4609	61	45528
2012	11135	5219	23857	3853	58	44123
2013	10514	5234	22642	3260	58	41708
2014	10016	5304	23217	2893	56	41487
2015	9654	5715	24628	2853	54	42903
2016	10592	5704	25968	2671	51	44986
2017	10682	5348	26141	2401	48	44620
2018	11521	4948	28393	2109	49	47020

Fuente: (Bolsa de Comercio Rosario)

Según lo analizado, las proyecciones para el metanol son favorables en estos últimos años por el aumento en la producción de gas natural.

3.5 MERCADO DEL CATALIZADOR

En Argentina, el metóxido de sodio (metilato de sodio) se produce únicamente en la planta de Evonik Metilatos S.A., ubicada en Rosario, Santa Fe. Esta empresa es una de las

principales compañías de productos químicos especializados del mundo y se encuentra en más de 100 países.

Por la gran demanda de biodiesel en América del Sur, Evonik tiene previstas ampliaciones en sus plantas. En Argentina, aumentará su capacidad de producción de metilato de sodio de 60000 a 90000 toneladas hasta 2021. (Evonik)

Tabla 3. 17: Importaciones.

Año	Cantidad (t)
2009	21461,00
2010	33165,00
2011	42546,00
2012	40529,00
2013	33510,00
2014	21839,00
2015	7226,00
2016	9949,00
2017	8781,00
2018	5016,00

Fuente: ((IPA), 2019)



Figura 3. 16: Importaciones. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 18: Exportaciones.

Año	Cantidad (t)
2009	Insignificante
2010	7,00
2011	Insignificante
2012	Insignificante
2013	Insignificante
2014	10870,00
2015	13701,00
2016	4880,00
2017	6364,00
2018	11205,00

Fuente: ((IPA), 2019)



Figura 3. 17: Exportaciones. Fuente: Elaboración propia.

3.6 ANÁLISIS FODA

El análisis FODA es una herramienta de estudio y planificación estratégica que permite analizar la situación de una empresa o proyecto teniendo en cuenta sus características internas y externas.



Figura 3. 18: Esquema FODA.

A continuación, se presenta el análisis:

Tabla 3. 19: Análisis FODA.

<p>Fortalezas</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existencia nula de industrias de ácido fórmico en Argentina. ➤ Consumo aparente nacional creciente en los próximos 10 años. ➤ Proximidad de materias primas y catalizador en Argentina. ➤ Disponibilidad de mano de obra. ➤ El producto obtenido tiene múltiples aplicaciones lo que facilita su comercialización.
<p>Oportunidades</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Posibilidad de asociación con proveedores de materia prima. ➤ Posibilidad de asociación con empresas que tomen como materia prima nuestro producto. ➤ Única planta de producción del tipo en el país. ➤ Posibilidad de acceso a mercados externos. ➤ Mercado crecimiento en consumo de este producto. ➤ Oportunidad de instalar una industria rentable para inversores.
<p>Debilidades</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inestabilidad económica. ➤ Contracción de la economía y por ende el consumo. ➤ El único modo de obtener una de las materias primas es importándola.
<p>Amenazas</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gran competencia internacional que producen a bajos costos y con excelente posición en el mercado. ➤ Amplio crecimiento de importaciones provenientes de China. ➤ Incertidumbre en los mercados mundiales y nacionales por crisis económicas. ➤ Repercusiones perjudiciales por COVID-19.

Fuente: Elaboración propia.

3.7 CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta el análisis FODA realizado y lo expuesto en este capítulo, se concluye que es viable llevar a cabo este proyecto en Argentina. A pesar de la situación socioeconómica de nuestro país, que es inestable y poco confiable, las proyecciones sobre el consumo del ácido fórmico son crecientes para los próximos años, sumado el hecho de que no hay producción industrial nacional. Se trata de una buena oportunidad para abastecer al mercado nacional.

CAPÍTULO N°4: LOCALIZACIÓN DE PLANTA INDUSTRIAL

4.1 INTRODUCCIÓN

La ubicación más adecuada de una planta industrial es un factor relevante para su éxito. En el presente capítulo, se pretende hacer un análisis tan amplio como sea posible de los factores que afectan a la locación o ubicación de la misma, para permitir reunir los insumos necesarios, realizar el proceso de fabricación y entregar el producto a los clientes con un costo de instalación, producción y distribución mínimo. Además, se debe considerar la posibilidad de una futura ampliación de planta.

Para realizar el análisis antes mencionado y acotar las numerosas posibilidades se aplica en un primer paso, el método de Cribado. Éste, consiste en seleccionar regiones sobre las cuales se aplica un segundo método, llamado método de Puntuaciones Ponderadas, a través del cual se evalúan comparativamente los diferentes sitios y se determinan las zonas sobre las que se profundizará el estudio.

Para determinar el mejor sitio de emplazamiento se deben tener en cuenta diversos factores, entre los cuales se destacan:

- Disponibilidad de materia prima.
- Disponibilidad de mercados o zonas de consumo.
- Disponibilidad de transporte.
- Disponibilidad de parques industriales.
- Disponibilidad de mano de obra.
- Legislación y normas públicas vigentes.
- Normas internas de las empresas.
- Infraestructura existente.

Teniendo en cuenta que nuestro proyecto se clasifica como una industria secundaria, por utilizar materiales ya tratados para ser sometidos a un proceso adicional, el estudio de localización se centrará en zonas industriales bien desarrolladas, con buenas posibilidades para la obtención de materia prima y la distribución del producto final.

4.2 MACROLOCALIZACIÓN

En el estudio para la localización se deben tener en cuenta diversos factores para encontrar la región más ventajosa para el proyecto. Se considerarán características físicas e indicadores socioeconómicos relevantes, destacando ventajas y desventajas en las distintas regiones.

4.2.1 Disponibilidad de materia prima

Tomando como materia prima esencial al metanol se realiza el siguiente estudio.

De acuerdo al Anuario IPA 2019, se verifican las empresas YPF y Arauco Argentina, ubicadas en las provincias de Neuquén y Santa Fe respectivamente, con sus correspondientes capacidades de producción.

Por otro lado, según el Instituto Nacional de Vitivinicultura de nuestro país, se incluyen como industrias productoras de metanol YPF Buenos Aires, Dara S.A. en Santa Fe e Industrias Químicas Carbinol S.A. en la provincia de Buenos Aires. Se ha optado por omitir estas últimas en el análisis de locación debido a que no se cuenta con información sobre su capacidad y no han sido incluidas en los anuarios IPA 2019 y petroquímico latinoamericano 2014.

Se observa en la Tabla 4.1 la localización de las plantas elaboradoras.

Tabla 4. 1: Localización de las plantas productoras de metanol en Argentina y su capacidad de producción.

Provincia	Empresa	Nivel de producción	Capacidad de producción
Neuquén	YPF S.A.	Elevado	411000t/año
Santa Fe	Arauco Argentina S.A. – División Química	Moderado	50000t/año
Santa Fe	Dara S.A.	-	-
Buenos Aires	Industrias Químicas Carbinol S.A.	-	-

Fuente: ((IPA), 2019)

En la Figura 4.1 se visualizan coloreadas las provincias donde la ubicación de la planta es probable.



Figura 4. 1: Zonas de producción de materia prima. Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Mercado o zonas de consumo

Como se puede observar en la siguiente Tabla 4.2, el ácido fórmico se utiliza en todo el país por sus diversas aplicaciones en la industria del textil, cuero y en la industria química. La manufacturación del cuero y textil se centra en Buenos Aires, sin embargo, también se destacan Córdoba y Santa Fe por ser conglomerados urbanos y presentar un mercado más extenso.

Tabla 4. 2: Mercado o zonas de consumo.

Provincia	Nivel de consumo
Córdoba	Elevado
Buenos Aires	Elevado
Santa Fe	Elevado
Jujuy	Bajo
Salta	Bajo
Formosa	Bajo
Tucumán	Bajo
La Rioja	Bajo
Santiago del Estero	Bajo
Chaco	Bajo
Misiones	Bajo
Corrientes	Bajo
Entre Ríos	Bajo
San Luis	Bajo
Catamarca	Bajo
Mendoza	Bajo
La Pampa	Bajo

San Juan	Bajo
Neuquén	Bajo
Río Negro	Bajo
Chubut	Bajo
Santa Cruz	Bajo
Tierra del Fuego	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.2 se visualizan coloreadas las provincias donde se centran los mayores centros de consumo.



Figura 4. 2: Mercado o zonas de consumo. Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Disponibilidad de transporte

A continuación, se presenta un análisis del nivel de transporte en las distintas provincias.

Tabla 4. 3: Disponibilidad de transporte.

Provincia	Nivel de transporte
Tierra del Fuego	Bajo
Santa Cruz	Bajo
Chubut	Bajo
Río Negro	Bajo
Neuquén	Bajo
San Juan	Bajo
La Pampa	Bajo
Buenos Aires	Elevado

Jujuy	Bajo
Salta	Bajo
Formosa	Bajo
Tucumán	Moderado
La Rioja	Bajo
Santiago del Estero	Bajo
Chaco	Bajo
Santa Fe	Elevado
Misiones	Bajo
Corrientes	Bajo
Entre Ríos	Moderado
Córdoba	Elevado
San Luis	Moderado
Catamarca	Bajo
Mendoza	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente Figura 4.3, se muestran con diferente intensidad de color las provincias con sus niveles de transporte, correspondiendo el color más oscuro a nivel elevado.



Figura 4. 3: Disponibilidad de transporte. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en Tabla 4.3, Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba tienen la mayor variedad y disponibilidad de vías de transporte ya que allí se encuentran numerosas industrias que lo necesitan para hacer llegar insumos y transportar sus productos.

Según la Bolsa de Comercio de Rosario (2018), se puede decir que el 91% de las cargas, se traslada en camión. El ferrocarril corresponde al 4,2% del transporte, y el 4,8% se traslada por la Hidrovía Paraná. Con respecto al transporte aéreo, éste ocupa menos de un 0,1%.

En cuanto al transporte terrestre, la red troncal une los grandes polos de producción, con los centros de consumo, y los puertos nacionales, los cuales son la principal vía de ingreso y egreso de mercaderías del país.

Los principales puertos comerciales son Buenos Aires, Bahía Blanca, Quequén, Rosario y Paraná. Cabe aclarar que más del 90% del comercio exterior argentino, se realiza por vía marítima. (Rosario)

A continuación, se presentan diversos mapas donde se visualiza la distribución en el país de las diferentes vías de transporte.

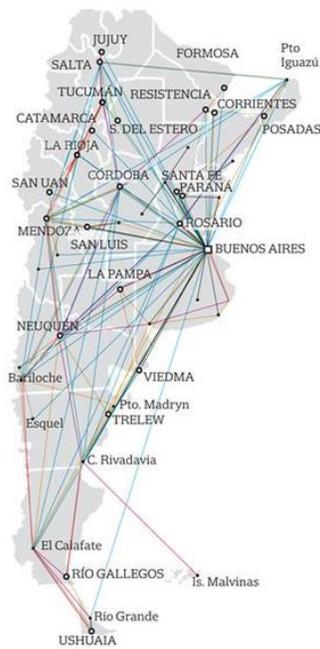


Figura 4. 4: Rutas terrestres. Fuente: (Argentina)



Figura 4. 5: Red ferroviaria argentina en 2010. Fuente: (Transporte)



Figura 4. 6: Sistema portuario argentino. Fuente: (marítimas)



Figura 4. 7: Red vial troncal. Fuente: (<https://www.mapacarreteras.org/p13-argentina/>)

4.2.4 Disponibilidad de parques industriales

Tabla 4. 4: Disponibilidad de parques industriales.

Provincia	Disponibilidad de parques industriales
Córdoba	Elevado
Buenos Aires	Elevado
Santa Fe	Elevado
Jujuy	Bajo
Salta	Bajo
Formosa	Bajo
Tucumán	Bajo
La Rioja	Bajo
Santiago del Estero	Bajo
Chaco	Bajo
Misiones	Bajo
Corrientes	Bajo
Entre Ríos	Elevado
San Luis	Muy bajo
Catamarca	Muy bajo
Mendoza	Muy bajo
La Pampa	Moderado
San Juan	Muy bajo
Neuquén	Muy bajo
Río Negro	Moderado
Chubut	Moderado
Santa Cruz	Moderado
Tierra del Fuego	Moderado

Fuente: Elaboración propia.

En Figura 4.8 se muestran coloreadas las provincias con mayor disponibilidad de parques industriales en el país.



Figura 4. 8: Disponibilidad de parques industriales. Fuente: Elaboración propia.

Los parques industriales son una herramienta indispensable para el ordenamiento territorial y una estrategia de desarrollo local. Algunos se promueven en municipios con estructuras primarias, sin embargo, la mayoría se ubica en los grandes centros urbanos que cuentan con mejores condiciones de infraestructura y mayor tasa de ocupación, como en Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos según se indica en la anterior figura.

Actualmente en Argentina hay más de 400 agrupamientos industriales que se encuentran en distintos niveles de desarrollo.

A continuación, se presentan imágenes sobre la distribución de parques en el país, brindadas por el Ministerio de Producción de Argentina.

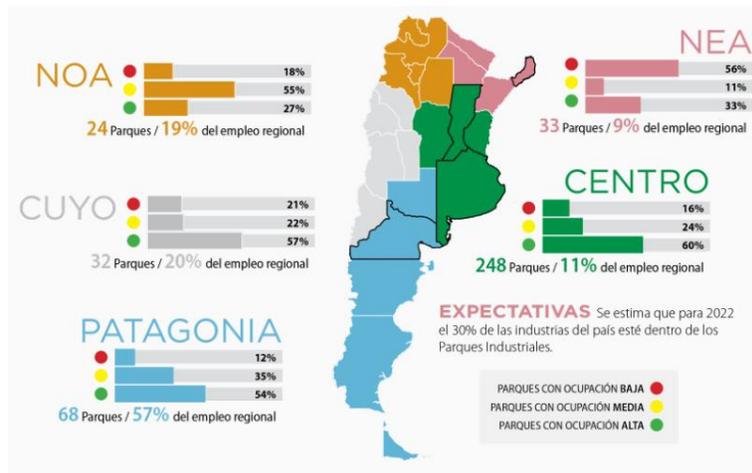


Figura 4. 9: Parques industriales. Fuente: (RED PARQUES)

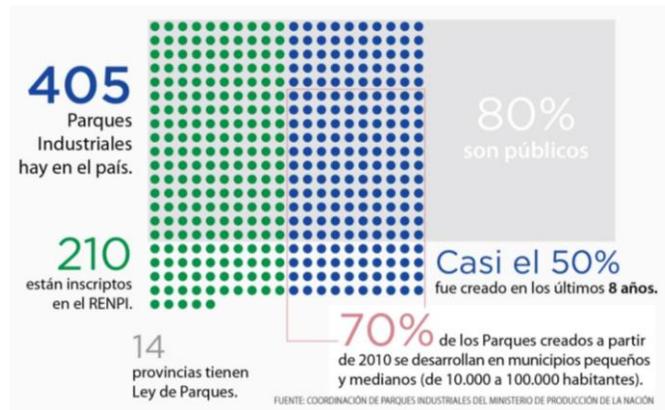


Figura 4. 10: Parques industriales. Fuente: (RED PARQUES)

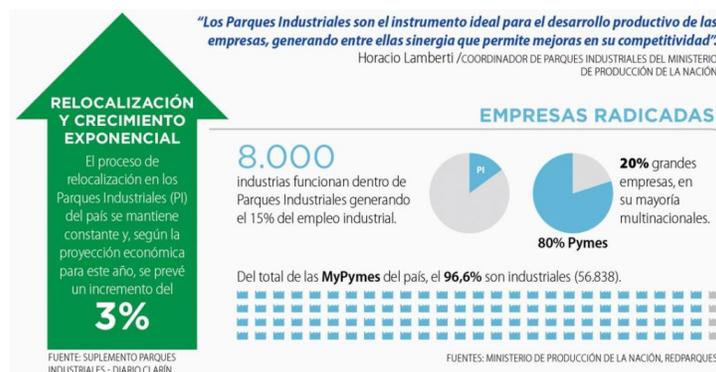


Figura 4. 11: Parques industriales y porcentaje de Pymes. Fuente: (RED PARQUES)

4.2.5 Disponibilidad de mano de obra

Según el CENSO de INDEC del 2010 en Argentina se destacan los siguientes resultados:

- Población total: 40117096 habitantes
- Esperanza de vida para ambos sexos: 75 años
- Densidad demográfica: 10,7 hab/km²
- Índice de alfabetización: 98,1%
- Hombres: 47,6% del total de habitantes
- Mujeres: 51,3% del total de habitantes

Más del 62% de habitantes de Argentina se concentran en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Por lo que es de esperarse que allí se encuentre mayor mano de obra disponible. (INDEC)

Tabla 4. 5: Disponibilidad de mano de obra.

Provincia	N° de habitantes
Buenos Aires	Elevado
Santa Fe	Elevado
Córdoba	Elevado
Entre Ríos	Moderado
Mendoza	Moderado
Misiones	Moderado
Formosa	Moderado
Chaco	Moderado
Jujuy	Moderado
Tucumán	Moderado
San Juan	Bajo
San Luis	Bajo
Neuquén	Bajo

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. 12: Disponibilidad de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la pirámide demográfica del Censo 2010, donde puede observarse la distribución de sexos y edades.

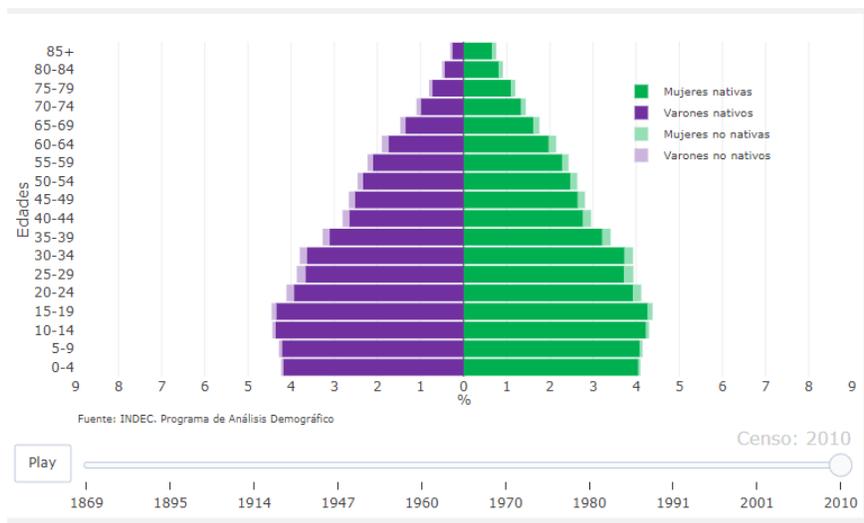
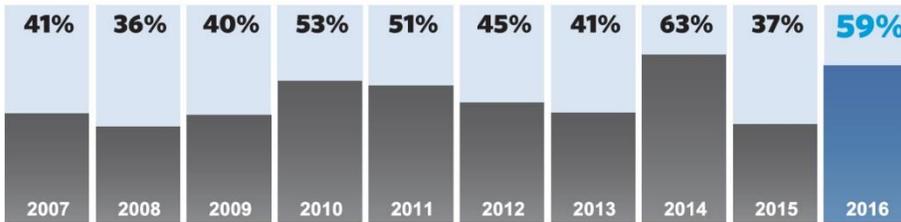


Figura 4. 13: Pirámide poblacional. Fuente: (INDEC)

En la siguiente imagen, se pueden observar, los puestos más difíciles de conseguir, la cantidad de empleados que tienen dificultad para conseguir esos puestos y las causas posibles de ello, en Argentina.

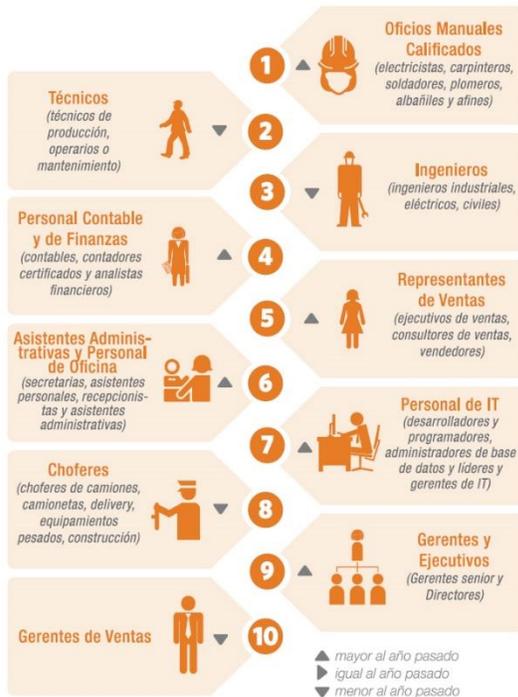
Escasez de Talentos 2016 / 2017 en Argentina

59% DE LOS EMPLEADORES tiene DIFICULTADES PARA CUBRIR POSICIONES



Los PUESTOS MÁS DIFÍCILES de cubrir

Por primera vez, las posiciones de **Oficios Manuales Calificados** son las más difíciles de cubrir en Argentina; los **Técnicos** se encuentran en segundo lugar, seguidos por **Ingenieros y Personal Contable y de Finanzas**.



¿POR QUÉ los empleadores dicen que las posiciones son DIFÍCILES DE CUBRIR?

La falta de **competencias duras** y **experiencia** son las principales razones por las que los empleadores no pueden cubrir posiciones.



72% DE LOS EMPLEADORES están ENTRENANDO Y DESARROLLANDO A SUS ACTUALES COLABORADORES para cubrir posiciones vacantes



Ofrece entrenamiento y desarrollo a sus empleados actuales



Ofrece beneficios adicionales para reclutar



Está buscando candidatos fuera de las fuentes tradicionales de talento



Explora estrategias alternativas de reclutamiento de talento



Terceriza el trabajo



Cambia los modelos de trabajo existentes



Paga mayores paquetes de compensaciones salariales

Fuente: Manpower Group

Figura 4. 14: Escasez de talentos. Fuente: (Group)

4.2.6 Conclusión macrolocalización

Según lo expuesto anteriormente se elige a la provincia de Santa Fe como lugar óptimo para la macrolocalización de la planta, ya que en dicha provincia se reúnen las características de mano de obra disponible y calificada, cercanía a materia prima, proximidad a consumos, buena infraestructura en cuento a las diversas formas de transporte y cercanía a puertos.

4.3 MICROLOCALIZACIÓN

La microlocalización consiste en la selección específica del terreno o sitio dentro de la provincia o región que ha sido evaluada como la más conveniente. Para la toma de decisión de la localización de la planta de producción de ácido fórmico se tendrán en cuenta factores tales como geográficos, sociales, económicos y ambientales.

En una preselección de la localización se tendrán en consideración los distintos parques industriales de Santa Fe, Argentina. En esta provincia están radicadas dos empresas petroquímicas que producen la materia prima esencial, metanol.

4.3.1 Disponibilidad de parques y áreas industriales

A continuación, se alistan los parques y áreas industriales de la provincia de Santa Fe, reconocidos por el Registro Nacional de Parques Industriales (RENPI).

Tabla 4. 6: Parques industriales reconocidos.

Parques Industriales reconocidos	
Denominación	Ubicación
Parque Industrial Oficial de Sauce Viejo	Ruta Nacional 11, Sauce Viejo
Parque Industrial Oficial de Alvear	Ruta Provincial 21, Alvear
Parque Industrial Oficial Rafaela	Ruta Nacional 34, Rafaela
Parque Industrial Oficial Venado Tuerto	Ruta Nacional 8, Venado Tuerto
Parque Industrial Oficial de Avellaneda	Calle 21, Avellaneda
Parque Industrial Oficial de Reconquista	Reconquista

Fuente: (Secretaría de Industria de Santa Fe)

Tabla 4. 7: Áreas industriales reconocidas.

Áreas Industriales reconocidas	
Denominación	Ubicación
Área Industrial Oficial de Las Parejas	Las Parejas
Área Industrial Oficial de Villa Ocampo	Villa Ocampo
Área Industrial Privada de San Lorenzo	San Lorenzo
Área Industrial Oficial de Las Toscas	Las Toscas

Área Industrial Oficial de Carcarañá	Carcarañá
Área Industrial Oficial de Sunchales	Sunchales
Área Industrial Privada de Armstrong	Armstrong
Área Industrial Oficial de San Justo	San Justo
Área Industrial Oficial de Colonia Belgrano	Colonia Belgrano
Área Industrial Mixta de San Guillermo	San Guillermo
Área Industrial Mixta de Rufino	Rufino
Área Industrial Oficial de Calchaquí	Calchaquí
Área Industrial Oficial de Arequito	Arequito
Área Industrial Oficial de Galvez	Galvez
Área Industrial Municipal de Firmat	Firmat
Área Industrial Oficial de Villa Gobernador Gálvez	Villa Gobernador Gálvez
Área Industrial Oficial de Cañada de Gómez	Cañada de Gómez
Área Industrial Oficial de Malabrigo	Malabrigo
Área Industrial Oficial de Casilda	Casilda
Área Industrial Oficial de San Cristobal	San Cristobal
Área Industrial Oficial de Correa	Correa
Área Industrial Privada de Pérez	Pérez
Área Industrial Oficial de El Trebol	El Trebol

Fuente: (Secretaría de Industria de Santa Fe)

De los cuales, se descartan para el análisis, los siguientes parques o áreas debido a su nula o escasa disponibilidad de lotes. Véase Tabla 4.8

Tabla 4. 8: Parques descartados.

Denominación	Superficie (Hectáreas)	Disponibilidad de lotes
Área Industrial Oficial de Desarrollo de El Trébol	10	LIMITADA
Área Industrial de la Ciudad de Las Parejas	80	NO
Área Industrial Carcarañá	29,33	NO

Parque Industrial Cañada de Gómez	40,72	NO
Área Industrial Oficial de Promoción Gálvez	10,16	LIMITADA
Área Industrial Oficial de Desarrollo de Correa	19,97	LIMITADA
Parque Industrial Oficial de Desarrollo y Descongestión de Alvear	175,41	NO
Área Industrial Mixta de Armstrong	51,45	NO
Área Industrial Oficial de Desarrollo de Villa Gobernador Gálvez	25,19	NO
Parque Industrial Oficial de Desarrollo de Rafaela "Ing. Víctor Santiago Monti"	32,99	LIMITADA
Área Industrial Oficial de Promoción de San Justo	10,73	LIMITADA
Área Industrial Privada de Desarrollo y Descongestión de Rosario I	12	NO

Fuente: (Ministerio de Producción y Trabajo, 2019)

De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Productivo de Argentina, para junio de 2020, el 65% de los parques industriales de Santa Fe poseen lotes disponibles, con aproximadamente 5 hectáreas de lotes disponibles. Por otro lado, aproximadamente el 85% de la superficie total pública está ocupada. Mientras que tanto los parques industriales privados como el mixto tienen ocupada el 89% de su superficie.

A continuación, en la Figura 4.15, se encuentra un esquema de la situación, elaborado a partir de la base de datos de RENPI 2016.



Figura 4. 15: Fuente: (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2020)

En la Figura 4.16 se muestra la ubicación de las dos industrias productoras de metanol en la provincia de Santa Fe: Arauco Argentina S.A. y Dara S.A.

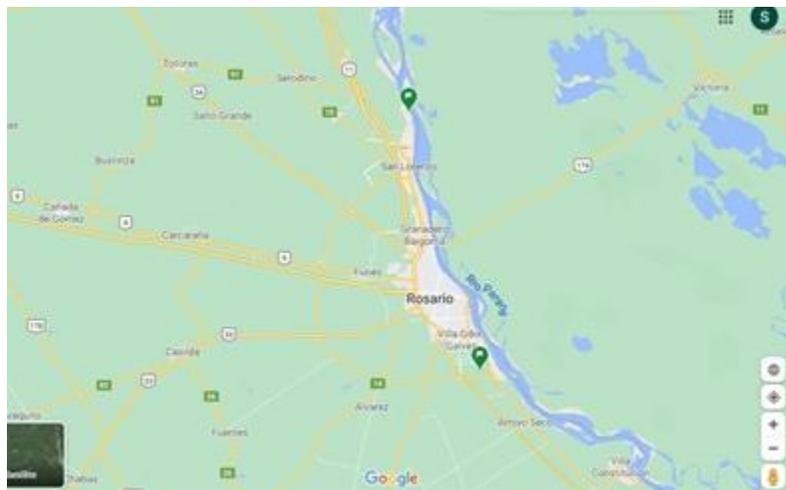


Figura 4. 16: Plantas elaboradoras de metanol en Argentina. Fuente: Fuente: Google Maps.

Como sólo se tiene información de la capacidad de producción de metanol de Arauco S.A., se tomará ésta como fuente de abastecimiento de materia prima. Además, al calcular la capacidad de ácido fórmico del proyecto en el capítulo 5, se determinó una capacidad inicial de materia prima de 45.000t/año, lo cual está dentro de los límites de producción de Arauco.

En la Tabla 4.9 se detallan las distancias entre la empresa proveedora de la principal materia prima y los posibles parques industriales en donde se ubicará la planta.

Tabla 4. 9: Distancias entre materia prima y planta a instalar.

Parques/Áreas industriales	Arauco S.A.
San Lorenzo	9.3km
Arequito	151km
Sauce Viejo	130km
Avellaneda	466km

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta una tabla con los precios en pesos argentinos del transporte de materia prima hasta posible parque industrial considerando un Scania 2018 con un consumo de 30 litros por cada 100km y un costo de diésel de \$80,28 según Global Petrol Prices en enero 2021.

Tabla 4. 10: Precio de combustible para transporte entre materia prima y planta a instalar.

Parques/Áreas industriales	Arauco S.A.
San Lorenzo	\$223,98
Arequito	\$3636,68
Sauce Viejo	\$3130,92
Avellaneda	\$11223,14

. Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Legislación provincial

La provincia de Santa Fe tiene diversos programas y acuerdos para promover el desarrollo industrial.

La Secretaría de Industria Agregado de Valor e Innovación dispone de un Plan de Desarrollo Industrial, para promover el fortalecimiento de la industria provincial con diversas políticas

y programas destinados a aumentar la competitividad de las empresas, mejorar la infraestructura industrial, fortalecer a las cadenas de valor y modernizar el Estado.

El Gobierno de la Provincia de Santa Fe tiene un acuerdo con Garantizar SGR para poder facilitar el acceso a Certificados de Garantías y poder aplicar Líneas de Crédito de Entidades Financieras públicas y privadas. También cuentan con una Guía de Trámites y Procedimientos para simplificar los trámites necesarios para la radicación de industrias.

Las empresas industriales que se encuentren radicadas o quieran hacerlo en la provincia de Santa Fe, pueden solicitar la exención del 100% de impuestos provinciales por un plazo máximo de 10 años. Además, las empresas con actividad industrial en la provincia pueden obtener, con una evaluación de la Dirección General de Industrias, la constancia de actividad industrial, para gozar de la exención del Impuesto Provincial de Sellos.

Otro programa de financiamiento es el Fondo Provincial para Parques, Áreas y Distritos Industriales (FOPROPI), el cual tiene como objetivo la ejecución de obras de infraestructura en parques, áreas y distritos industriales reconocidos por la provincia. (Provincia de Santa Fe)

4.3.3 Disponibilidad de servicios y mano de obra

Los parques y áreas industriales analizadas cuentan con servicios esenciales disponibles, como iluminación, red de agua corriente, internet, red de telefonía, cloacas, desagües, entre otros.

Algunas características de los parques marcan la diferencia entre ellos. El parque Avellaneda se destaca por tener precio promocional y financiamientos especiales para la compra de lotes, por su parte, el de Sauce Viejo cuenta con un salón de usos múltiples y un centro de capacitación. El parque de San Lorenzo cuenta con salón de usos múltiples, centro de emergencias médicas, gimnasio, espacios verdes y de recreación, minimercado, y demás.

Otro factor importante en la instalación de una nueva planta industrial es la cantidad de mano de obra disponible en la zona; para ello, se analiza la densidad demográfica de la provincia de Santa Fe. En la siguiente imagen, se puede observar la distribución de habitantes por departamentos.

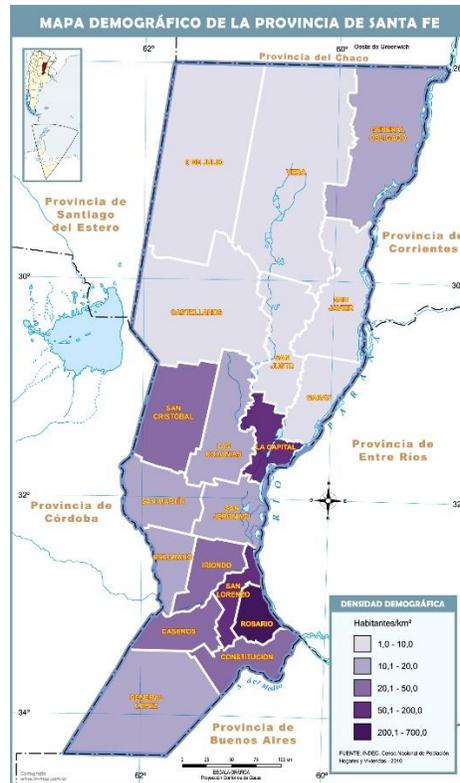


Figura 4. 17: Densidad demográfica Santa Fe. Fuente: (Gifex, <https://www.gifex.com/>, 2010)

De allí se deduce que la mayor concentración de habitantes se centra en Rosario, Santa Fe Capital y San Lorenzo, lo cual está asociado a una mayor disponibilidad de mano de obra.

4.3.4 Método de puntuaciones ponderadas

Este método se basa en ponderar a diferentes factores que se deben considerar para la ubicación de la planta, según a su importancia, de manera que la sumatoria de todas las ponderaciones sume 1000. Posteriormente, se le asigna un puntaje (%) de cada región a cada uno de los factores, representando 100 % la perfección para el factor en cuestión. Luego, esos porcentajes se multiplican por las ponderaciones correspondientes, donde el resultado da indicio del grado de perfección. Como último paso, se suman los grados de perfeccionamiento de todos los factores para cada región y el mayor valor obtenido indica la región más adecuada. (UTN Facultad Regional Rosario)

A continuación, se realiza el análisis para el presente proyecto.

Tabla 4. 11 : Método de ponderación.

Factores	Ponderación	Parque Industrial San Lorenzo		Área Industrial Oficial de Arequito		Parque Industrial Oficial de Sauce Viejo		Parque Industrial Oficial de Avellaneda	
		%	Grado	%	Grado	%	Grado	%	Grado
Disponibilidad de materia prima	350	98	343	94	329	97	339,5	91	318,5
Suministro de servicios	150	86	129	40	60	53	79,5	67	100,5
Flete de materia prima	200	98	196	70	140	75	150	40	80
Cercanía al mercado consumidor	100	90	90	80	80	85	85	80	80
Beneficio impositivo	100	90	90	90	90	90	90	90	90
Disponibilidad de mano de obra	100	90	90	65	65	50	50	75	75
Total	1000		938		764		794		744

Fuente: Elaboración propia.

Como se expuso anteriormente, por mayor cercanía a la materia prima, disponibilidad de lotes, legislación favorable para el desarrollo industrial, mejores servicios, mayor disponibilidad de mano de obra y, por ende, la mayor puntuación en el método de ponderación, con un total 938, se escoge al parque industrial San Lorenzo como localización de la planta.

4.3.5 Parque Industrial San Lorenzo

El Parque Industrial San Lorenzo, se ubica al Noroeste de la ciudad de San Lorenzo, en el área delimitada por la Autopista Rosario-Santa Fe, la intersección de la Ruta Provincial N°10, las vías del Ferrocarril Nuevo Central Argentino y el Arroyo San Lorenzo.



Figura 4. 18: Ubicación del parque. Fuente: (Parque Industrial San Lorenzo, <https://www.pisanlorenzo.com>)



Figura 4. 19: Ubicación del parque en Argentina. Fuente: (Google Maps, 2021)

Como se puede observar en las figuras 4.18 y 4.20 su ubicación es ideal porque posee conexiones a otras ciudades a través de diversos medios de transporte y cercanías a autopistas Rosario-Córdoba, Rosario- Buenos Aires, a las Rutas Nacionales N° 11, 9 y A012, al Puente Rosario-Victoria, a los puertos fluviales sobre la Hidrovía Paraná-Paraguay y al Aeropuerto Internacional Rosario.



Figura 4. 20: Ubicación del parque. Fuente: (Parque Industrial San Lorenzo, <https://www.pisanlorenzo.com>)

En la siguiente imagen, se puede observar la ubicación del parque industrial San Lorenzo, y Arauco, proveedora de materia prima.

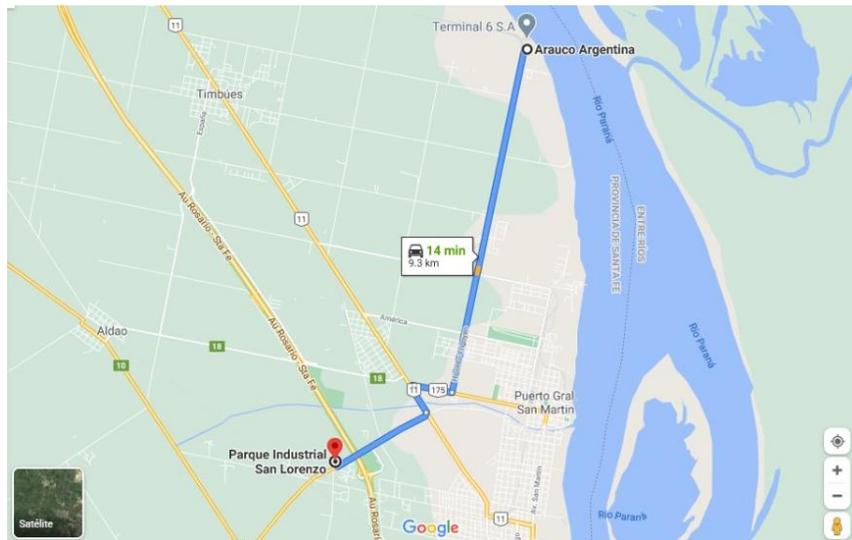


Figura 4. 21: Distancia materia prima-planta de producción. Fuente: Google Maps.

El parque cuenta con diversos servicios: red eléctrica de baja y media tensión, red de agua corriente, red de media y alta presión de gas natural, red de cloacas, sistema de desagües pluviales, red de telefonía, servicio de internet/wifi, iluminación interior y alumbrado público, sistema hidrantes contra incendios, balanza común, salón de usos múltiples, centro de emergencias médicas, hotel, doble cerco perimetral, seguridad 24 horas, sistema integrado de monitoreo, sistema de control de ingreso y egreso, edificio de oficinas, minimercado, bar, gimnasio, espacios verdes y de recreación, entre otros.

Algunas ventajas que brinda el Parque Industrial San Lorenzo son:

- Tarifas preferenciales de servicios.
- Reducción de los costos por generación de economías de aglomeración.
- Posibilidad de modernización tecnológica, edilicia y logística.
- Relaciones entre las empresas, promovidas por el consorcio de administración.
- Cooperación entre las empresas por intercambio y producción conjunta de conocimientos tecnológicos, por la contratación de servicios y la colocación de la producción.

En cuanto a los sectores del parque, se distinguen 3 grandes sectores diferenciados pero interconectados: 1 Centro Industrial, 1 Centro Logístico y 1 Centro Tecnológico. Cada uno cuenta con múltiples beneficios impositivos y tarifas preferenciales de servicios, para permitir disminuir los costos fijos y maximizar la inversión. En la siguiente imagen se visualizan los sectores y los tamaños de lotes.

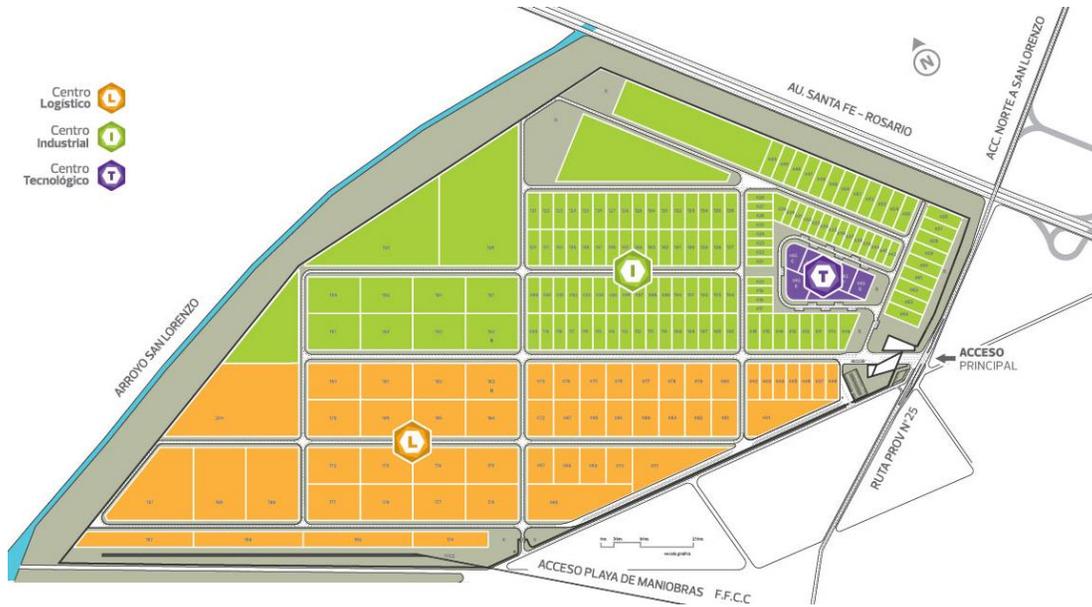


Figura 4. 22: Sectores del parque. Fuente: (Parque Industrial San Lorenzo, <https://www.pisanlorenzo.com>)

LOTES COMERCIALIZABLES (2º ETAPA)



Figura 4. 23: Medidas de los lotes del parque. Fuente: (Parque Industrial San Lorenzo, <https://www.pisanlorenzo.com>)

4.3.6 Condiciones climatológicas de la ciudad de San Lorenzo

A continuación, se describen condiciones relevantes respecto al clima para la zona donde se ubicará la planta.

❖ **Temperatura**

La temporada más calurosa dura 3,5 meses, del 26 de noviembre al 9 de marzo, con una temperatura máxima promedio diario de más de 28 °C. En cuanto a la temporada fresca, ésta dura 2,9 meses, del 22 de mayo al 19 de agosto, y presenta una temperatura máxima promedio diaria de menos de 19 °C.

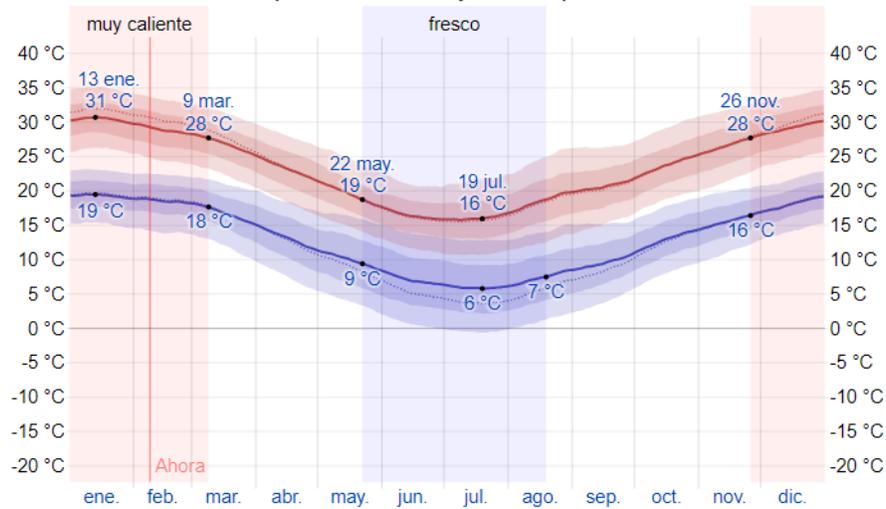


Figura 4. 24 Temperatura máxima y mínima promedio. La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) Fuente: (Weather Spark)

❖ Lluvia

La lluvia presenta una variación mensual según la estación. Generalmente, la mayor parte de la lluvia se da durante los 31 días alrededor del 22 de febrero, con una acumulación promedio de 137 milímetros.

La fecha aproximada se registra poca lluvia es el 8 de julio, con una acumulación promedio de 22 milímetros.

En cuanto a la humedad, esta varía ampliamente. El período más húmedo del año se da entre el 7 de noviembre y el 22 de abril.

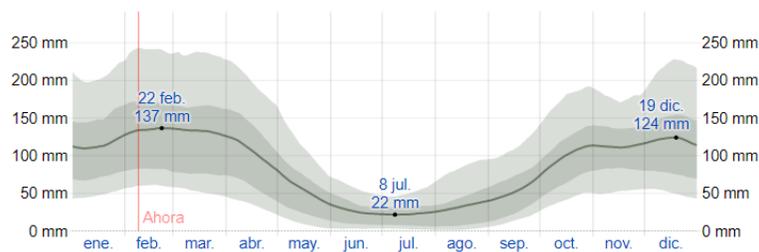


Figura 4. 25: Precipitación de lluvia mensual promedio. Fuente: (Weather Spark)

❖ Viento

En San Lorenzo, la velocidad promedio del viento por hora tiene variaciones estacionales leves durante el año. La parte más ventosa ocurre entre el 11 de julio y el 10 de diciembre,

con velocidades promedio de más de 14,0 kilómetros por hora. El día más ventoso del año es el 13 de septiembre, con una velocidad promedio de 15,6 kilómetros por hora.

❖ Topografía

Las coordenadas geográficas de San Lorenzo son latitud: $-32,743^{\circ}$, longitud: $-60,736^{\circ}$, y elevación: 30 m.

La topografía en un radio de 3 kilómetros de San Lorenzo presenta variaciones modestas de altitud, con un cambio máximo de altitud de 37 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 22 metros. Hasta 80 kilómetros se puede decir que también tiene solo variaciones modestas de altitud (143 metros).

En un radio de 3 kilómetros el área está cubierta de tierra de cultivo (35 %), agua (30 %), pradera (11 %) y árboles (10 %), y en un radio de 80 kilómetros presenta tierra de cultivo (55 %) y vegetación herbácea (13 %). (Weather Spark)

CAPÍTULO N°5: CAPACIDAD DE LA PLANTA

5.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se determina uno de los aspectos principales, el tamaño de la planta. Para estimar la capacidad de la misma, es necesario proyectar la demanda futura del producto y analizar otros factores, como disponibilidad de materia prima, financiamiento, equipos y tecnología disponible de manera que se logre un tamaño óptimo, con costos totales mínimos.

5.2 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD

El estudio de mercado que se realizó en el capítulo 3 de este proyecto nos permite estimar la tasa de crecimiento anual promedio (r) del ácido fórmico, que se utiliza para obtener la capacidad óptima de producción futura (D_n).

Al proyectar la demanda del producto esperada en los próximos 12 años en Argentina, como se explicó anteriormente, se puede observar que tiene una tendencia creciente a lo largo de los años, por lo que, la producción también deberá crecer al mismo ritmo.

Tabla 5. 1: Demanda insatisfecha ácido fórmico.

Año	Demanda insatisfecha proyectada (t/año)
2018	11964,05
2019	12902,51
2020	13357,86
2021	13813,21
2022	14268,55
2023	14723,90
2024	15179,25
2025	15634,60
2026	16089,95
2027	16545,29
2028	17000,64
2029	17455,99
2030	17911,34

Fuente: Elaboración propia.

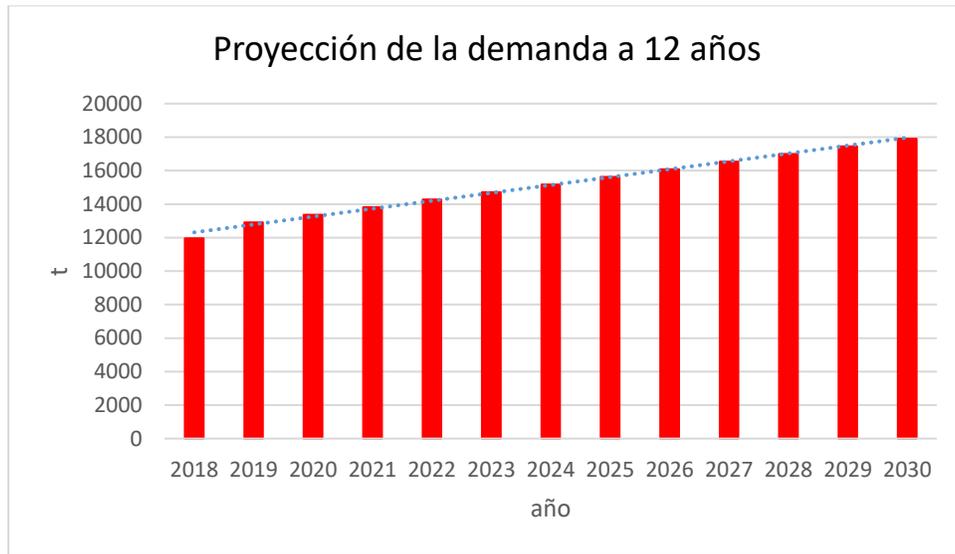


Figura 5.1: Proyección de demanda a 12 años. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la capacidad óptima de producción de ácido fórmico se debe estimar el valor de la tasa de crecimiento anual promedio (r) a partir de la tabla 5.1 y con la siguiente ecuación (Sistema de Estadística Ambiental Argentina, s.f.):

$$TMAC = \left[\frac{N_f}{N_i} \right]^{\frac{1}{t}} - 1$$

Ecuación 5.1

TMAC: tasa media anual de crecimiento (r)

N_i : Capacidad en el momento inicial del período

N_f : Capacidad al final del período

t: tiempo transcurrido entre i y f.

Se encuentra que tiene un valor de 0.034. A partir de esto y teniendo en cuenta que:

$$R = r + 1$$

Ecuación 5.2

Se obtiene que, $R=1,034$

Otro factor a considerar es, α (factor de escala), el cual tiene un valor de 0,65 según la lista de factores calculados para las industrias químicas, de alimentos, fármacos, petroquímicas y automovilísticas, del boletín N°20 “Industrialización y Productividad” de las Naciones Unidas. También se debe estimar la vida útil de los equipos “N”, que por convención se establece igual a 10 años.

Con los factores determinados anteriormente y la siguiente ecuación, se calcula el valor de “n” (período óptimo) por medio de aproximaciones sucesivas.

$$\frac{1}{R^n} = 1 - 2 * \frac{1-\alpha}{\alpha} * \frac{R-1}{R+1}^{N-n}$$

Ecuación 5.3

R: Desarrollo porcentual de la demanda

α : Exponente del factor escala

N: Vida útil del equipo

n: Período óptimo

Se obtiene que n tiene un valor de 9,31 años aproximadamente.

A partir del período óptimo estipulado y el tamaño del mercado actual, considerado con un valor igual a 11964 t/año (según Tabla 5.1), se determina la capacidad óptima del proyecto, “D_n” con la siguiente ecuación (Sapag Chain & Sapag Chain, 1989):

$$D_n = D_0 * (1 + r)^n$$

Ecuación. 5.4

D₀: Magnitud del mercado actual

D_n: Tamaño o capacidad óptima

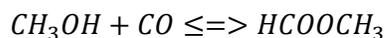
La capacidad óptima entonces corresponde a 16330 t/año para el año número 12 del proyecto.

5.3 DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima es un aspecto fundamental en el proyecto ya que condiciona el tamaño del mismo.

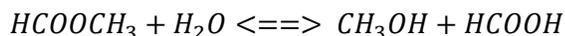
Según la vía de proceso elegida en el capítulo 6, el mismo se lleva a cabo en dos partes:

- a) Reacción de carbonilación



Ecuación 5.5

- b) Reacción de hidrólisis de formiato de metilo



Ecuación 5.6

Teniendo en cuenta una conversión del metanol del 30% y 60% para el formiato de metilo, se calcula estequiométricamente la cantidad de metanol. Esta cantidad de materia prima se logra abastecer de plantas nacionales, específicamente de Arauco Química S.A. y Dara S.A., ya que cuentan con la capacidad necesaria y se encuentran ubicadas en la provincia de Santa Fe.

5.4 CONCLUSIÓN

En base a lo analizado anteriormente, se adopta una capacidad de producción de ácido fórmico de 11964 t/año para comenzar, la cual incrementará progresivamente año a año en un 3,4%, para satisfacer la demanda insatisfecha hasta alcanzar la capacidad prevista para el año 2030, valor que se adopta como 16000 t/año.

CAPÍTULO N°6: SELECCIÓN DEL PROCESO

6.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo que se presenta a continuación se describen los diferentes métodos para la obtención de ácido fórmico. A partir de ello, se elige el proceso más favorable teniendo en cuenta características económicas, materia prima, rendimiento, producto principal, condiciones de operación, entre otros.

6.2 PROCESOS CONVENCIONALES

Los procesos de fabricación principales del ácido fórmico se pueden clasificar en cuatro grupos:

- 1) Hidrólisis de formiato de metilo.
- 2) Oxidación de hidrocarburos.
- 3) Hidrólisis de formamida.
- 4) Preparación de ácido fórmico libre a partir de formiatos.

El interés sobre cada proceso individual ha ido variando de acuerdo con las modificaciones que ha sufrido la economía de la materia prima y demás factores. Anteriormente, el ácido fórmico era en su mayoría obtenido como subproducto de la producción de ácido acético.

En Europa, en el año 1972, la producción de ácido fórmico por hidrólisis de formamida se volvió importante, pero el consumo de amoníaco, ácido sulfúrico y la producción de sulfato de amonio, afectaron su rentabilidad.

Se desarrolló entonces, un proceso dedicado a la producción de ácido fórmico sin subproductos indeseables. En la década de 1970, la hidrólisis del formiato de metilo a metanol y ácido fórmico fue investigada comercialmente por varias empresas, transformándose en un método económicamente viable.

En la siguiente tabla se muestra la capacidad mundial para algunos procesos de producción de ácido fórmico en año 1986.

Tabla 6.1: Capacidad de producción de ácido fórmico en 1986 (evaluación de BASF).

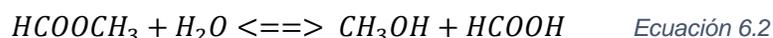
Proceso	Capacidad (t/año)	Porcentaje total de capacidad (%)
Hidrólisis de formiato de metilo	160000	49
Subproducto en la oxidación de hidrocarburos	74000	22
Hidrólisis de formamida	10000	3
Acidólisis de formatos alcalinos	86000	26
Total	330000	

Fuente: (Kieczka & Reutemann, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1989)

Se han patentado y desarrollado otros métodos de producción de ácido fórmico, como la producción electroquímica, pero estos tienen aplicación industrial.

6.2.1 Hidrólisis de formiato de metilo

La hidrólisis de formiato de metilo es un proceso de dos etapas, en primer lugar, se realiza la carbonilación del metanol con monóxido de carbono; y luego el formiato de metilo se hidroliza para dar ácido fórmico y metanol. El metanol que se obtiene se devuelve a la primera etapa de reacción.



La carbonilación del metanol se lleva a cabo sin inconvenientes y se ha implementado industrialmente por mucho tiempo, mientras que la hidrólisis del formiato de metilo es recientemente un proceso económicamente viable, para el cual existen problemas referidos al tratamiento de la mezcla de hidrólisis: posición desfavorable del equilibrio, reesterificación del metanol y transformación de ácido fórmico a formato de metilo que se produce rápidamente durante la separación del formato de metilo sin reaccionar. Otro problema importante es la selección de materiales suficientemente resistentes a la corrosión.

Existen en la actualidad varias industrias productoras de ácido fórmico basadas en este proceso, tales como BASF (República Federal de Alemania) y Kemira (Finlandia).

En la hidrólisis del formiato de metilo se utilizan como catalizadores ácidos fuertes, pero la eficiencia de estos ácidos fuertes está limitada porque también promueven la descomposición del ácido fórmico, razón por la cual, los procesos descritos por BASF, Leonhard y Halcón - Diseño científico - Bethlehem Steel, utilizan la autocatálisis por ácido fórmico.

La última etapa por este método es la deshidratación de la mezcla de hidrólisis. Esta es importante, ya que el ácido fórmico se comercializa en concentraciones superiores a 85% en peso.

Existen varios procesos para ahorrar energía en la deshidratación, descritos por BASF. Uno de ellos es una destilación extractiva con N-formilmorfolina. Otro, consiste en extraer ácido fórmico del agua mediante extracción líquido-líquido.

❖ Proceso Kemira -Leonard

Kemira desarrolló un proceso basado en un método de Leonard, en donde la reacción del formiato de metilo y la carbonilación se llevan a cabo aproximadamente 4MPa (40 bar) y 80 °C, en presencia de alcóxidos con aditivos como catalizadores.

Para la hidrólisis se utilizan dos reactores con condiciones de operación diferentes. El formiato de metilo y el agua reaccionan de forma preliminar en proporciones prácticamente equimolares. El ácido fórmico que se produce se emplea como catalizador en la hidrólisis en el reactor principal, además de un exceso de formiato de metilo, y la hidrólisis se da a 120 °C y 0.9MPa.

El reactor se descarga a presión atmosférica en un tanque flash; con un enfriamiento por evaporación se evita la reesterificación. Con respecto al metanol, este se separa en vacío.

Un problema que tiene este proceso es la condensación del formiato de metilo de bajo punto de ebullición en el vacío. Sin embargo, se puede obtener una elevada concentración del ácido fórmico como destilado, alcanzando un valor máximo del 98% en peso.

En la siguiente imagen se puede ver el diagrama de flujo de dicho proceso.

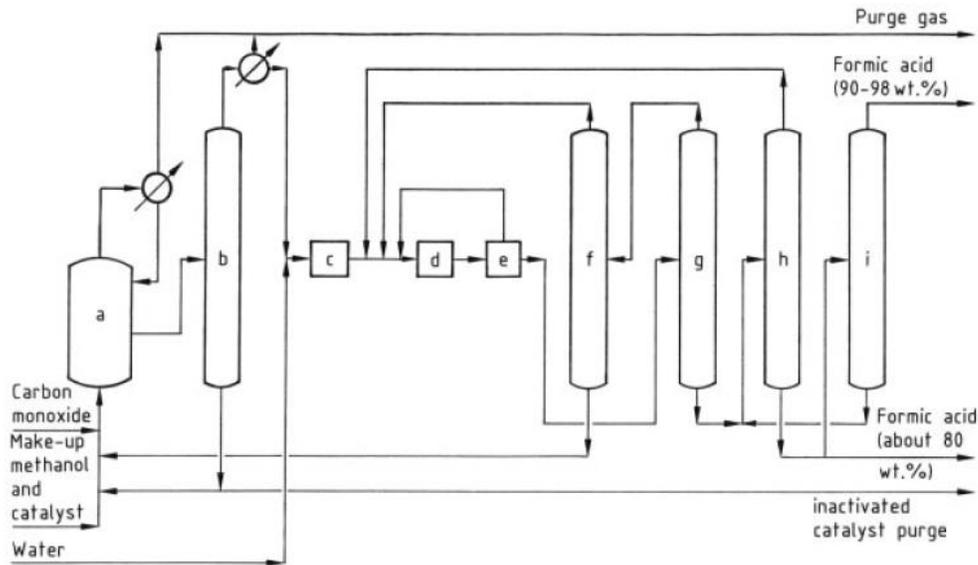


Figura 6.1: Producción de ácido fórmico por proceso de Kemira-Leonard. a) Reactor de formiato de metilo, b) columna de formiato de metilo, c) reactor preliminar, d) reactor principal, e) tanque flash, f) columna de reciclaje, g) columna de separación de ácido, h) primera columna de producto, i) segunda columna de producto. Fuente: (Kieczka & Reutemann, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1989)

❖ Proceso BASF

En el proceso BASF, la etapa de carbonilación es muy similar a la del proceso Kemira-Leonard, pero la hidrólisis y la deshidratación del ácido fórmico difieren. Para la hidrólisis se necesita un gran exceso de agua (5 mol de agua por mol de formiato de metilo) para cambiar el equilibrio en la dirección del ácido fórmico. Luego, parte del agua se separa por extracción líquido-líquido con una amida secundaria.

La reacción de carbonilación se lleva a cabo en presencia de metóxido de sodio como catalizador.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo.

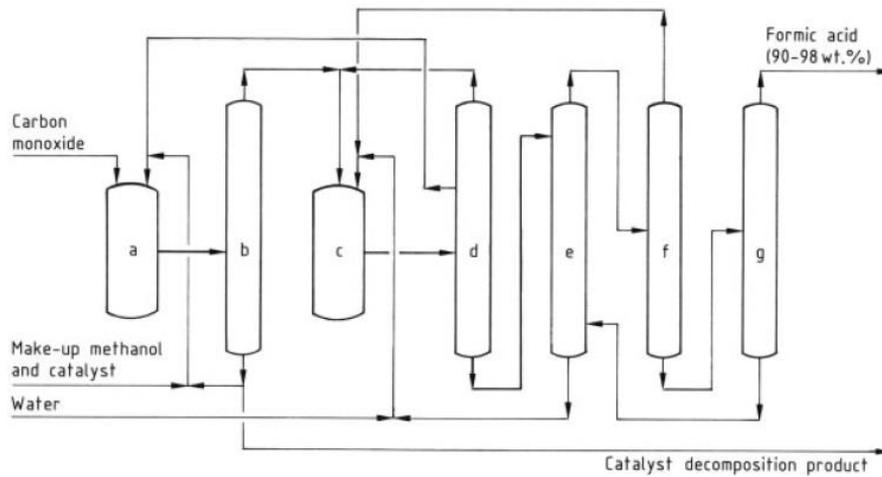


Figura 6.2: Producción de ácido fórmico por proceso de BASF, a) reactor de formiato de metilo, b) columna de formiato de metilo, c) reactor de hidrólisis, d) columna de caldera baja, e) unidad de extracción, f) columna de deshidratación, g) columna de purificación de ácido. Fuente: (Kieczka & Reutemann, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1989)

❖ Proceso USSR

En este proceso, la hidrólisis se lleva a cabo a 80°C y 0.6MP (6 bar) a en un reactor de lecho fijo que dispone de un tapón de burbuja con bandejas en la parte superior. Se evita la reesterificación descomprimiendo y enfriando a 45°C .

El ácido fórmico se produce en una columna de presión como una mezcla azeotrópica con agua que contiene 85% en peso de ácido fórmico.

A continuación, se puede observar su diagrama de flujo.

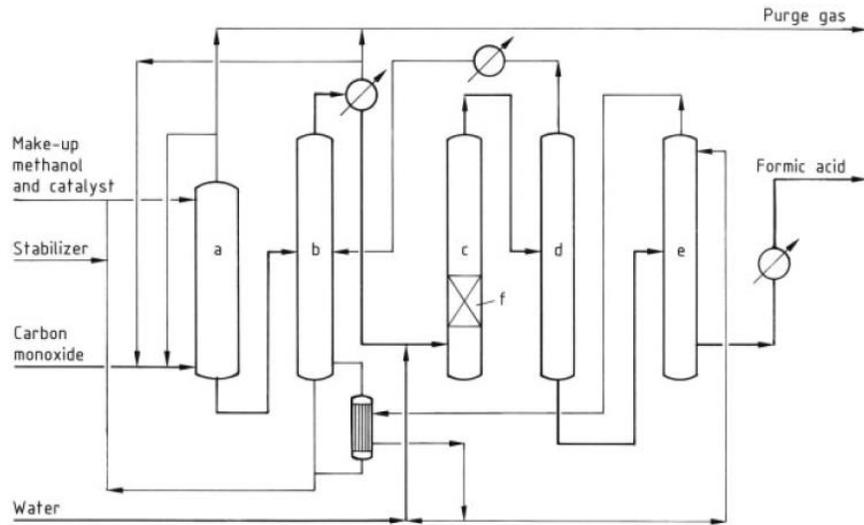


Figura 6.3: Producción de ácido fórmico por proceso USSR, a) reactor de formiato de metilo, b) columna de formiato de metilo, c) reactor de hidrólisis, d) columna de caldera baja, e) columna de ácido fórmico, f) catalizador de lecho fijo. Fuente: (Kieczka & Reutemann, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1989)

❖ Proceso Bethlehem

Este proceso, desarrollado por Scientific Design y Bethlehem Steel no se ha aplicado a gran escala. La etapa de carbonilación es prácticamente similar a la de los procesos mencionados anteriormente.

La concentración de monóxido de carbono influye en el número de etapas. Si es mayor al 90% molar, se emplea un solo reactor de mezcla inversa, mientras que, si la concentración está entre 50 y 90% molar, se recomienda un sistema de reactor de mezcla inversa en contracorriente de dos etapas. Es importante destacar que, si la concentración de monóxido de carbono es baja, la presión total debe aumentarse.

Con respecto a la hidrólisis, ésta es catalizada por ácido fórmico; y la deshidratación se realiza mediante destilación.

6.2.2 Otros procesos

❖ Oxidación de hidrocarburos

En la oxidación en fase líquida de hidrocarburos a acético ácido, el ácido fórmico se produce como un subproducto.

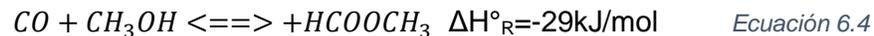
El hidrocarburo que se utiliza varía según cada región, en Estados Unidos se emplea butano y se obtienen 50 kg de ácido fórmico por tonelada de ácido acético; en Europa, en tanto, se utiliza nafta, y se producen hasta 250 kg de ácido fórmico por tonelada de ácido acético.

En una primera instancia, se separan del producto de oxidación, los hidrocarburos que no han reaccionado, algunos constituyentes volátiles y agua. En una siguiente columna, se separa el ácido fórmico generalmente por destilación azeotrópica, como agente arrastrador se prefiere el uso de benceno o hidrocarburos clorados.

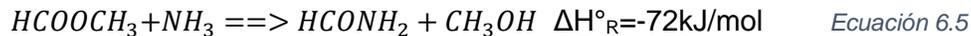
El ácido fórmico que se obtiene tiene aproximadamente 2% en peso de ácido acético, 5% en peso de agua y 3% en peso de benceno, lo cual se puede mejorar con una destilación adicional donde se obtiene ácido fórmico 98% en peso.

❖ Hidrólisis de formamida

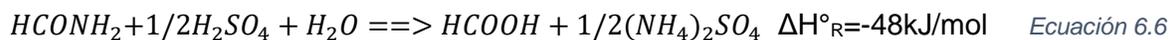
El ácido fórmico se produce en tres etapas. En la primera etapa, el metanol se carbonila para producir formiato de metilo:



En la segunda, la formamida es producida por amonólisis de formiato de etilo:



Y en la tercera, se utiliza ácido sulfúrico para hidrolizar formamida a ácido fórmico y sulfato de amonio:



La primera etapa se realiza al igual que los procesos descritos anteriormente.

En cuanto a la segunda, la conversión a formamida se lleva a cabo a 0.4 - 0.6 MPa y 80 - 100 °C. y el metanol es destilado y recirculado al proceso.

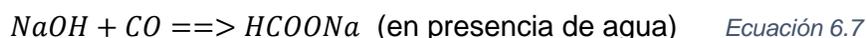
En la tercera etapa, la formamida se hidroliza continuamente en presencia de 68 - 74% de ácido sulfúrico a temperaturas entre 85°C y el punto de ebullición del ácido fórmico. Para esta reacción se emplean recipientes con agitación. Por fuera de los mismos, fluye una lechada caliente de sulfato de amonio y ácido fórmico, donde se destila el ácido fórmico residual para que se produzca sulfato de amonio puro y seco al final del horno.

El rendimiento de ácido fórmico es mayor al 90% y la eficiencia económica de este proceso está determinada por el valor comercial del sulfato de amonio.

❖ Producción de ácido fórmico a partir de formiatos

Este es el proceso más antiguo para producir ácido fórmico comercialmente. Implica la reacción de formiato de sodio o formiato de calcio con ácidos minerales fuertes, como ácido sulfúrico y nítrico.

La primera etapa es la formación del formiato, utilizando hidróxido de sodio o hidróxido de calcio.



Luego, el formiato de sodio cristaliza y reacciona con un ácido fuerte, como ácido sulfúrico en un reactor de tanque agitado y refrigerado:



Después de evaporar y purificar se obtiene un ácido fórmico al 75 %p/p.

Una manera de producir ácido fórmico sin grandes gastos es aprovechar los formiatos o el hidróxido de sodio disponibles como subproductos en otros procesos.

- Formatos como subproductos en la producción de alcoholes polihídricos: Los formiatos producidos de esta manera se utilizan en varias plantas como alimento para la fabricación de ácido fórmico.
- Formatos de hidróxido de sodio y monóxido de carbono: La eficiencia económica para producir ácido fórmico a partir de sus sales se ve limitada porque se produce un equivalente de una sal inorgánica de bajo valor (por ejemplo, sulfato de sodio) por mol de ácido fórmico.

❖ Síntesis directa de monóxido de carbono y agua

La síntesis directa de monóxido de carbono y agua es el método más simple.



Conforme aumenta la presión y disminuye la temperatura, el equilibrio la reacción exotérmica se direcciona a favor del ácido fórmico.

Si la temperatura es menor a 150 °C, la velocidad de reacción es muy lenta, y por más que el equilibrio se alcance rápidamente a mayor temperatura, la presión debe aumentarse demasiado para obtener concentraciones aceptables de ácido fórmico.

Como catalizadores suelen usarse ciertos ácidos y sales inorgánicas. Sin embargo, si no se logra aumentar considerablemente la velocidad de reacción mediante algún nuevo catalizador, este método no es conveniente económicamente.

❖ A partir de dióxido de carbono

La síntesis de ácido fórmico por este método es un proceso que aún no se ha utilizado industrialmente.

En cuanto a los catalizadores para la hidrogenación de dióxido de carbono, se han propuesto algunos, como el seleniuro de zinc y el telururo de zinc. Si se utilizan metales de transición homogéneos, el dióxido de carbono, el hidrógeno y el agua se pueden convertir en ácido fórmico.

BP Chemicals ha desarrollado un proceso de obtención de ácido fórmico a partir de dióxido de carbono e hidrógeno:

- Primera etapa: una base de nitrógeno reacciona con dióxido de carbono e hidrógeno en presencia de un catalizador de metal noble (como complejo de rutenio) para producir el formiato de la base de nitrógeno.
- Segunda y tercera etapa: el formiato se separa del catalizador y los componentes de bajo punto de ebullición.
- Cuarta etapa: el formiato reacciona con una base de alto punto de ebullición, para producir un formiato que puede descomponerse térmicamente. Al mismo tiempo, la base de bajo punto de ebullición se libera y se destila.
- Quinta etapa: el formiato se descompone térmicamente, se destila el ácido fórmico y la base de alto punto de ebullición se devuelve a la cuarta etapa. (Kieczka & Reutemann, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1989)

6.3 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La producción de ácido fórmico a partir de dióxido de carbono y la síntesis directa a partir de monóxido de carbono y agua se descartan debido a que no se llevan a cabo industrialmente. Por lo que, se analizan los métodos restantes.

La reacción de las sales de formiato con ácidos minerales como el ácido sulfúrico es el proceso industrial muy antiguo en donde se produce una acidólisis técnicamente sencilla, pero se obtiene inevitablemente sulfato de sodio, lo que hace de esta vía una clara desventaja.

La oxidación en fase líquida de los hidrocarburos inferiores (butano en Estados Unidos y nafta en Europa) producen ácido fórmico como coproducto. Aproximadamente se obtienen entre 0,05 y 0,25 toneladas de ácido fórmico por cada tonelada de ácido acético, pero el producto de reacción es una mezcla muy compleja y requiere varios pasos de destilación para aislar los productos y reciclar los intermedios. La purificación del ácido fórmico requiere el uso de agentes azeotrópicos. Pero este método ha perdido importancia debido al desarrollo de la ruta catalizada a partir de CO y metanol (Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 2012)

La coproducción de sulfato de amonio es una desventaja de la ruta de la formamida, y ha sido reemplazada en gran medida por procesos basados en la hidrólisis directa de formiato de metilo.

En base a lo expresado con anterioridad, se ha elaborado la siguiente tabla comparativa.

Tabla 6.2: Comparación de los métodos de hidrólisis de formiato de metilo

Proceso	Ventaja	Desventaja
Hidrólisis de formiato de metilo	<ul style="list-style-type: none"> - Más industrializado - Elevada pureza del ácido 	<ul style="list-style-type: none"> - Exceso de agua
Hidrólisis de formamida	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimiento mayor al 90% 	<ul style="list-style-type: none"> - Coproducción de sulfato de amonio.
A partir de formiatos	<ul style="list-style-type: none"> - No necesita catalizador 	<ul style="list-style-type: none"> - Método antiguo - Subproducto de Sulfato de Sodio - Baja pureza del ácido

<p>Oxidación de hidrocarburos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - No necesita catalizador - Elevada pureza del ácido 	<ul style="list-style-type: none"> - Él ácido fórmico es un subproducto - Requiere destilación adicional para elevar pureza
-----------------------------------	---	---

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis realizado sobre las diferentes alternativas para producir ácido fórmico se selecciona el método de hidrólisis de formiato de metilo, por sus mayores ventajas y aplicaciones en la actualidad. Además, dado las variantes en la segunda reacción bajo este método, se opta por el proceso BASF, en combinación con otras patentes y documentos por falta de información.

Los métodos restantes de obtención de ácido fórmico por hidrólisis del formiato de metilo se descartan por ciertos inconvenientes:

- El proceso Kemira-Leonard utiliza dos reactores para la hidrólisis y un exceso de formiato de metilo en el reactor principal.
- El proceso USSR utiliza un reactor de lecho fijo.
- El proceso SD-Bethlehem no se utiliza a gran escala.

6.4 DESCRIPCIÓN AMPLIADA DEL MÉTODO BASF POR HIDRÓLISIS DEL FORMIATO DE METILO

Como se menciona anteriormente, por falta de información disponible, el proceso de obtención de ácido fórmico para nuestro proyecto se basa en la metodología de BASF expuesta en la Enciclopedia de Industria Química Ullmann's y en la patente US 1982/4326073 de BASF, en conjunto con la patente US 2012/0123157A1 de la Universidad Nacional de Taipei, la patente US 1980/4218568 de BASF y documento de extracción líquido-líquido de ácido fórmico a partir de 2-Metiltetrahidrofurano de varios centros de investigación y facultades de Finlandia, India y Países Bajos.

En este apartado se especifican las etapas y corrientes con sus respectivos parámetros de operación, dividiendo el diagrama de flujo en 3 secciones, como se puede observar en la imagen a continuación.

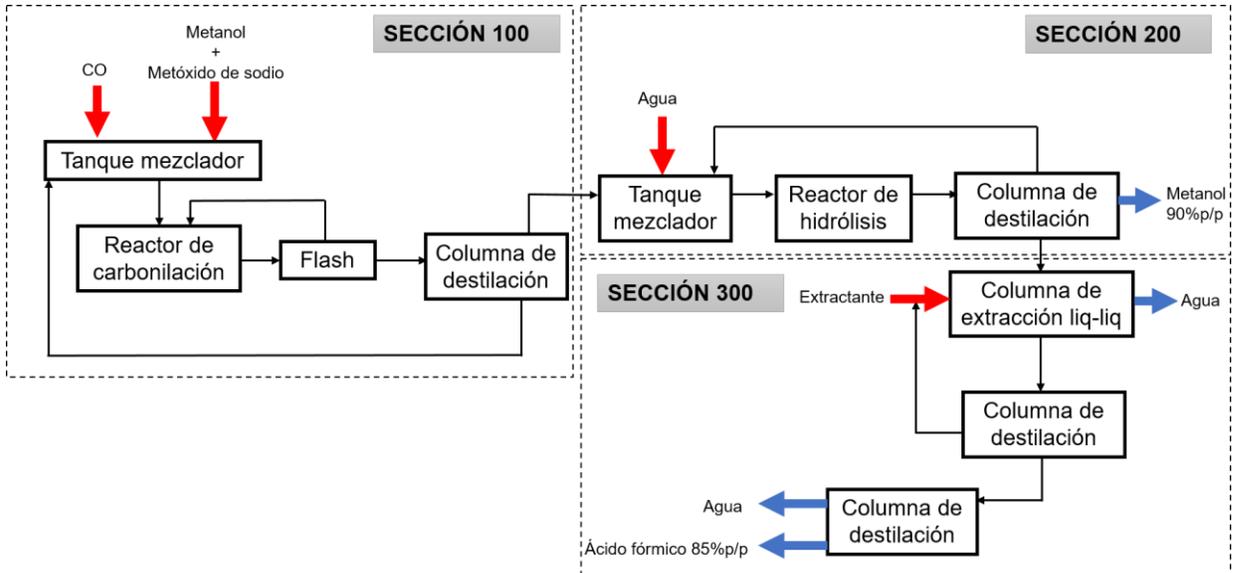


Figura 6.4: Diagrama de flujo representativo. Fuente: Elaboración propia.

- Sección 100: Reacción de carbonilación.
- Sección 200: Reacción de hidrólisis.
- Sección 300: Purificación de ácido fórmico.

6.4.1.1 Sección 100: Reacción de carbonilación

En la primera sección del proceso, se da la reacción de carbonilación de metanol en fase líquida con monóxido de carbono fase gas, lo cual se hace posible mediante la presencia de un catalizador básico, metóxido de metal alcalino o alcalinotérreo.

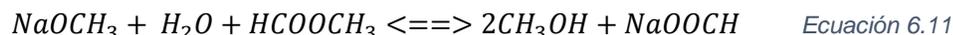


El catalizador más utilizado es el metóxido de sodio, ya que permite alcanzar una mayor velocidad de reacción a bajas presiones. (Kieczka & Reutemann, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1989)

Por otro lado, el metóxido de sodio seleccionado como catalizador, posee gran solubilidad en el metanol usado como materia prima y baja solubilidad en el formiato de metilo formado en la reacción; produciendo como resultado un precipitado sólido de catalizador si el metanol se convierte más allá de cierto límite, lo que puede obstruir tuberías, válvulas y otros equipos. Además, en presencia de humedad, el metóxido de sodio reacciona con el monóxido de carbono para formar el formiato de metal alcalino o alcalinotérreo, que es poco

soluble en formiato de metilo y, en consecuencia, también da lugar a incrustaciones. (Bélgica Patente nº US 4,216,339)

Las sustancias utilizadas deben ser anhidras, de otro modo, el formiato de sodio se precipita en mayor grado:



El riesgo de incrustación y bloqueo por la precipitación de formiato de sodio puede disminuirse agregando polietilenglicol. (Kieczka & Reutemann, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1989)

Para el reactor de carbonilación, se emplean condiciones de 4.5MPa (44 atm), 80 °C y 2.5% en peso de metóxido de sodio. Con las mismas, se convierte el 95% monóxido de carbono, y un 30% de metanol. Teniendo en cuenta estas conversiones, se puede observar que se logrará una conversión mayor de metanol en formiato de metilo recirculando el metanol y el monóxido de carbono sin reaccionar. (Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 2012)

El metanol fresco líquido 99.9% p/p se encuentra almacenado en un tanque a 20°C y 1 atm, al igual que el catalizador sólido. Ambos se ponen en contacto en un tanque mezclador para que se disuelva el catalizador, junto con una corriente de metanol de reciclaje. Esta mezcla atraviesa una bomba para elevar su presión a 2 atm, luego un intercambiador de calor, para elevar su temperatura hasta otra cercana a los 80°C y por último por una bomba que eleva su presión hasta 44 atm. Cabe destacar, que el aumento de presión se realiza en dos etapas para no tener que realizar un intercambiador robusto de 44 atm.

Por su parte, el monóxido de carbono puro se encuentra almacenado en un tanque a presión a 98.6 atm y 20°C, como se especifica en sus fichas técnicas. El mismo, atraviesa una válvula de expansión para bajar su presión hasta 44 atm, y luego se calienta en un intercambiador de calor, desde 40°C hasta 80°C.

Las corrientes de materia prima ya acondicionadas ingresan al primer reactor, donde se prefiere un tanque agitado para asegurar el contacto entre fases mixtas. La reacción se da bajo las condiciones antes mencionadas, y se debe tener en cuenta que esta reacción es muy exotérmica (se generan aproximadamente 8 kcal por mol de formiato de metilo

formado), lo cual hace necesario disponer una camisa refrigerante para disipar el calor de reacción. (Kieczka & Reutemann, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1989)

La corriente de salida del reactor que contiene formiato de metilo, metanol, CO y metóxido de sodio, se alimenta un tanque flash para separar la mezcla vapor-líquido de forma tal que por la parte superior se devuelva al reactor el CO, mientras que por el fondo se envía a la columna siguiente la mezcla líquida de formiato de metilo, metanol y metóxido de sodio. (Taipei City Patente nº US 0123157A1, 2012) Este equipo trabaja a 44 atm para lograr separar la mayor cantidad posible de monóxido y poder recircularlo al reactor de carbonilación. Por el fondo del flash, salen 1,52 kg de monóxido de carbono, el cual será venteado al aire libre ya que se encuentra dentro de los parámetros que establece la Ley N° 20284 de la calidad del aire en Argentina que permite liberar hasta 50ppm en 1h.

La corriente del fondo restante del flash atraviesa una válvula de expansión para reducir su presión hasta 1 atm, e ingresa en una columna de destilación donde se separan dos corrientes: por la cabeza formiato de metilo (que pasa a la siguiente sección del proceso) y por el fondo una corriente compuesta principalmente por metanol y metóxido que se recircula al tanque mezclador de la primera sección para emplearse en la reacción de carbonilación. Este equipo trabaja con una presión de hasta 5 atm encontrando una mejor separación a 1 atm con 10 platos y alimentación en el cuarto. Además, posee calderín, condensador y reflujo. (Taipei City Patente nº US 0123157A1)

6.4.1.2 Sección 200: Reacción de hidrólisis

En esta sección se da la reacción de hidrólisis del formiato de metilo de acuerdo a la siguiente ecuación:



Esta reacción, se da en fase líquida y el ácido fórmico actúa como auto catalizador de la misma. Se utiliza un reactor tanque agitado, y debido a que la reacción en este caso es endotérmica, se emplean camisas calefactoras para aportarle el calor necesario y mantener la reacción en la temperatura deseada. (Kieczka & Reutemann, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry)

Al reactor ingresa la corriente de formiato de metilo proveniente de la sección anterior y una corriente de agua fresca almacenada a 20°C y 1 atm, que se introduce en exceso, relación 5:1 molar aproximadamente respecto al formiato de metilo. Se emplean como condiciones de operación, temperatura de 120 °C y presión de 10 bar logrando una conversión de 60% a 95% de formiato de metilo. (BASF Alemania Patente nº US4218568)

Para lograr las condiciones de la reacción de hidrólisis antes mencionadas, se mezclan en un tanque agitado la corriente de formiato de metilo proveniente de la sección 200 junto con el agua fresca en exceso y una corriente de reciclo de formiato de metilo. Esta mezcla eleva su presión a 9.86 atm al atravesar una bomba y luego alcanza los 120°C con un intercambiador de calor. Cabe destacar que en este caso se prefirió este orden de bomba-intercambiador para evitar el cambio de fase de los componentes.

La corriente de producto del reactor de esta sección atraviesa una válvula de expansión para disminuir su presión hasta 1 atm y tratarse en una columna de destilación que separa en tres fracciones:

- Por cabeza una corriente de formiato de metilo, la cual se recircula al tanque mezclador de esta sección
- Una corriente intermedia, de principalmente metanol, la cual será vendida a Carboclor Campana de la provincia de Buenos Aires quienes disponen de la instalación necesaria para tratarla y aprovechar el metanol que emplean como materia prima para producir MTBE. Esta corriente no se aprovechó para este proyecto porque eran elevados los costos para eliminarle totalmente el agua, ya que no podía ingresar metanol con agua en el reactor de carbonilación por las reacciones secundarias.
- Por el fondo, una corriente de ácido fórmico acuoso con trazas de metanol, que se envía a la siguiente sección.

La presión de operación en esta columna es de 1 atm y se emplean 35 platos con alimentación en el plato 20. Cabe aclarar que las impurezas que quedan luego de la destilación no interfieren en la síntesis de ácido fórmico ya que la corriente de formiato de metilo recirculada tiene una pureza elevada. (Alemania Patente nº US 4,326,073, 1982)

6.4.1.3 Sección 300: Purificación de ácido fórmico

El ácido fórmico acuoso diluido que se extrae del fondo de la columna anterior se trata en la unidad de extracción líquido-líquido en contracorriente con 2-metiltetrahidrofurano como extractante. Este equipo trabaja a 1 atm, con 12 platos y una eficiencia del 100%. (Extracción líquido-líquido de ácido fórmico con 2-metiltetrahidrofurano: experimentos, modelado de procesos y economía)

La corriente de extracto que contiene la mayor parte del ácido fórmico y del extractante, con algo de agua, pasan a una columna de destilación; mientras que el refinado que contiene principalmente agua se envía a un tanque de almacenamiento para emplearse como agua de proceso.

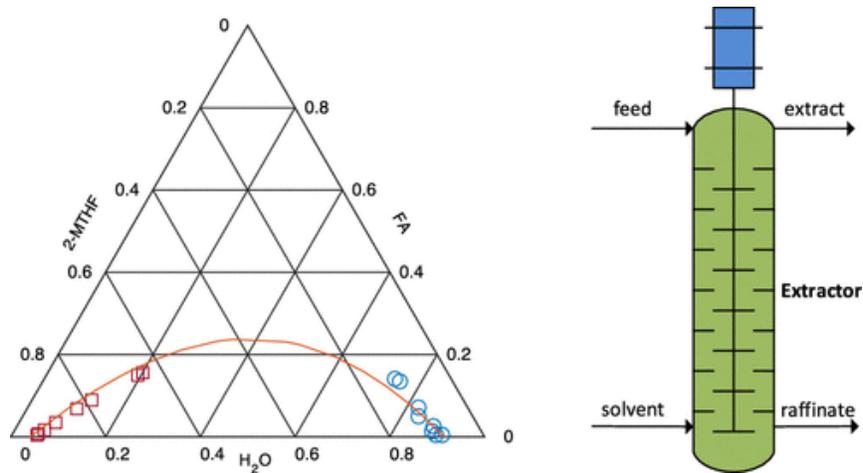


Figura 6.5: Extracción con 2-MTHF. Fuente: (Laitinen, y otros)

En el siguiente paso, se emplea una columna de destilación para recuperar el extractante. Esta torre de destilación opera a 1 atm, con mínimo 5 platos, y con temperatura del fondo de entre 140 y 180°C. (Alemania Patente nº US 4,326,073, 1982)

Por la cabeza se obtiene una corriente de principalmente extractante, la cual se envía a un tanque pulmón donde se mezcla con el extractante fresco e ingresan a la columna de extracción; y por el fondo se obtiene una corriente de ácido fórmico al 54%p/p, que se tratará en una siguiente etapa de destilación.

Luego, la corriente de ácido fórmico 54%p/p eleva su presión hasta 4 atm al pasar por una bomba, y se trata en la última columna de destilación de la sección que separa en 2 corrientes:

- Por cabeza se obtiene una corriente de principalmente agua, la cual será enviada a un tanque de almacenamiento para usarse en otra etapa del proceso.
- Por el fondo, se obtiene la corriente de producto, de ácido fórmico 85%p/p, la cual será almacenada en el correspondiente tanque. (Taipei City Patente nº US 0123157A1, 2012) (Laitinen, y otros)

CAPÍTULO N°7: BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

7.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describen los balances de masa y energía correspondientes al proceso de producción de ácido fórmico a partir de metanol y monóxido de carbono. Se analizan las corrientes másicas entrantes y salientes, sus composiciones, como así también sus requerimientos energéticos.

A partir del balance de masa y energía, se especifican los consumos de materias primas, insumos, vapor, agua y otros servicios necesarios.

El objetivo de este capítulo es la realización de balances para luego enfocarse en el diseño y adopción de equipos, a partir de los diferentes caudales másicos calculados.

Se toma como base la capacidad calculada en Capítulo 5. A su vez, se organiza un ciclo de producción a fin de establecer el régimen de trabajo y determinar turnos necesarios para producir la capacidad antes mencionada. Se decide implementar un régimen de trabajo de lunes a viernes, trabajando 24 horas al día en tres turnos de 8 horas cada uno.

Para el cálculo de la masa de ácido fórmico que debe obtenerse por hora, es necesario definir los días de actividad de la planta. Se fija una cantidad de 345 días al año, considerando 15 días para paradas destinadas a mantenimiento y 5 días para detenciones imprevistas. Para 16000 t/año de ácido fórmico y los 345 días definidos, considerando a su vez, 24 h/día de producción, por tratarse de un proceso continuo se obtiene:

$$16000 \frac{t}{\text{año}} \times \frac{1000kg}{1t} \times \frac{1 \text{ año}}{345 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{24h} = 1932,37 \frac{kg}{h}$$

Teniendo en cuenta una pérdida global del proceso de 3,5%, se producirán 2000 kg/h de ácido fórmico.

En la Tabla 7.2 se muestra la producción anual, semanal y horaria del ácido fórmico para régimen continuo. Se han incluido para el desarrollo de tabla, las pérdidas globales.

Tabla 7. 1: Producción continua ácido fórmico.

Producción anual	16479,9 t/año
Producción diaria	47,77 t/día
Producción horaria	2000 kg/h

Fuente: Elaboración propia.

7.2 DIAGRAMA DE FLUJO

Se presenta a continuación el diagrama de flujo del proceso para ácido fórmico, seccionado en diferentes etapas.

Para su mejor comprensión se dividirá el proceso en:

1. Sección 100: Reacción de carbonilación y destilación.

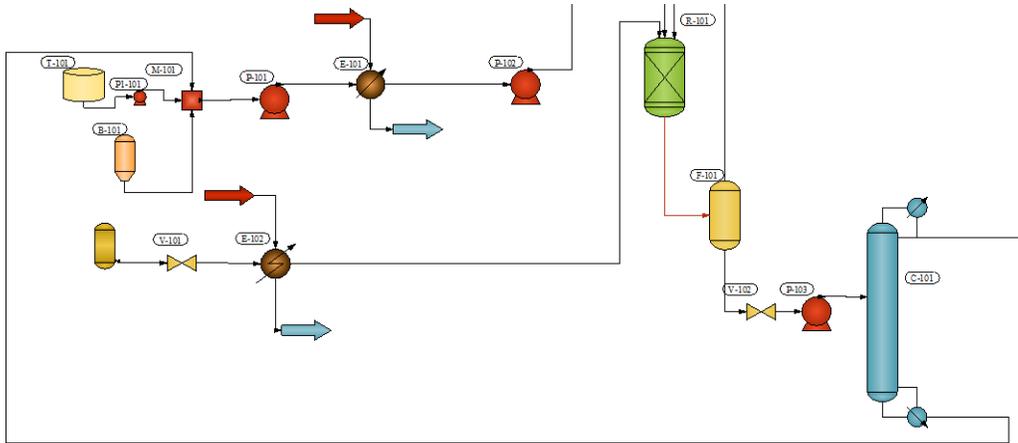


Figura 7. 1: Diagrama de flujo sección 100.

2. Sección 200: Reacción de hidrólisis.

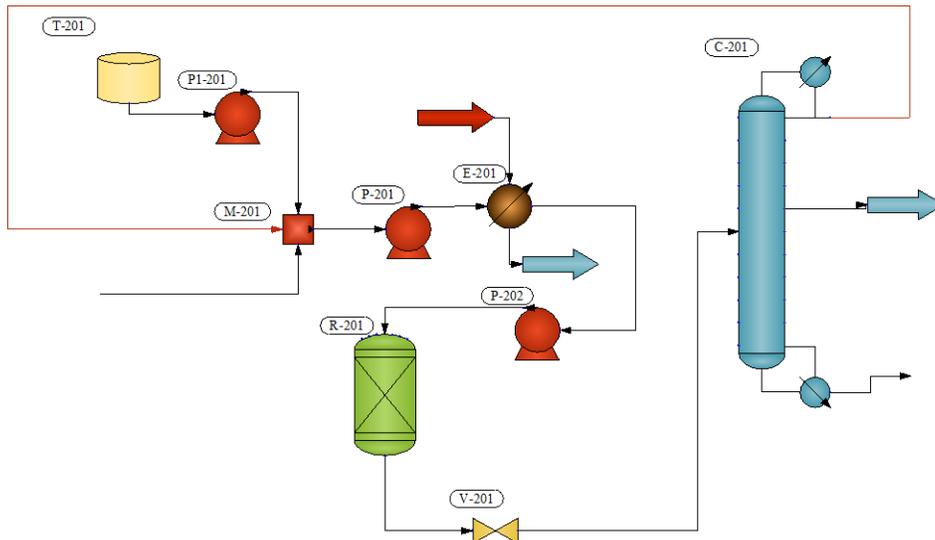


Figura 7. 2: Diagrama de flujo sección 200.

3. Sección 300: Destilación y purificación de ácido fórmico.

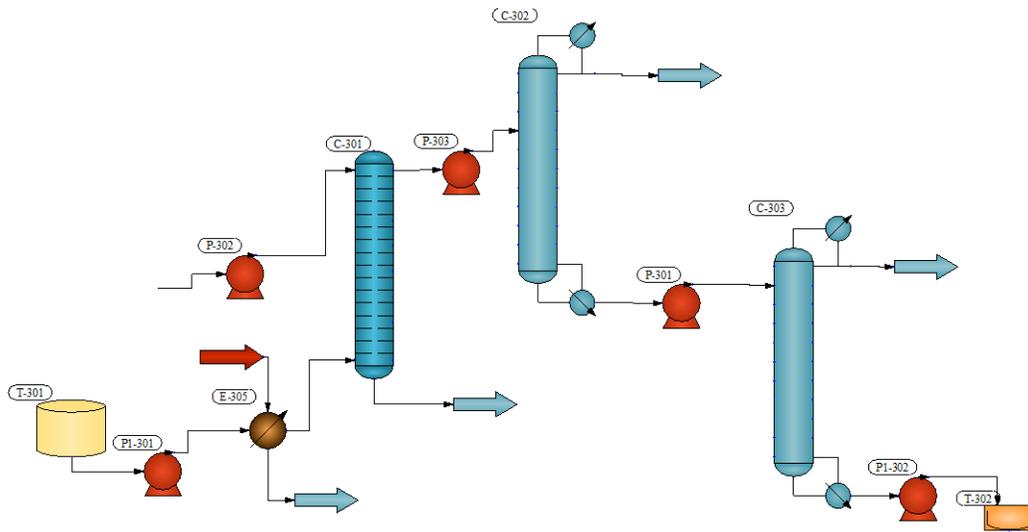


Figura 7. 3: Diagrama de flujo sección 300.

A continuación, en las tablas 7.2 y 7.3 se exponen la codificación de cada uno de los equipos y nomenclatura de las corrientes que integran el proceso productivo.

Tabla 7. 2: Codificación de equipos.

Codificación	Equipo
T	Tanque de almacenamiento
C	Columna de destilación/extracción
V	Válvula de expansión
E	Intercambiador de calor
P	Bomba
M	Mezclador
R	Reactor
F	Tanque flash

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. 3: Nomenclatura de las corrientes del proceso.

Nomenclatura	Corriente	Nomenclatura	Corriente
A1	Metanol al 99,99% p/p	M1	Corriente de metanol con metóxido disuelto y formiato de metilo
B1	Metóxido de sodio sólido	M2	Corriente de metanol con metóxido disuelto y formiato de metilo a 2 atm de presión
C1	Monóxido de carbono 99,99% p/p	M3	Corriente de metanol con metóxido disuelto y tazas de formiato de metilo caliente
V1	Vapor para calefacción	V2	Vapor condensado
M4	Mezcla de metanol con metóxido disuelto y tazas de formiato de metilo a 44 atm de presión	C2	Monóxido de carbono descomprimido
V3	Vapor para calefacción	V4	Vapor condensado
C3	Monóxido de carbono caliente	P	Corriente de monóxido de carbono y metanol sin reaccionar con formiato de metilo y catalizador
R1	Recirculación gaseosa de monóxido de carbono con tazas de metanol y formiato de metilo	F1	Corriente líquida de metanol con catalizador y formiato de metilo con trazas de CO
F2	Corriente de metanol con catalizador y formiato de metilo con trazas de CO, descomprimido	R2	Recirculación líquida metanol con catalizador y formiato de metilo

Nomenclatura	Corriente	Nomenclatura	Corriente
D1	Corriente líquida de formiato de metilo con trazas metanol	W1	Agua pura en exceso para reacción
N1	Corriente de formiato de metilo, agua y trazas metanol	N2	Corriente de formiato de metilo, agua y trazas metanol comprimida
N3	Corriente de formiato de metilo, agua y trazas metanol caliente	V5	Vapor de calefacción
V6	Vapor condensado	U1	Corriente de agua y formiato de metilo sin reaccionar, ácido fórmico y metanol
U2	Corriente de agua y formiato de metilo sin reaccionar, ácido fórmico y metanol descomprimida	R3	Recirculación de formiato de metilo
J1	Corriente de metanol, agua y trazas de ácido fórmico y formiato de metilo	L1	Corriente líquida de ácido fórmico, agua y metanol
E1	Extractante	T1	Corriente de extracto: ácido fórmico, agua y extractante
J2	Corriente de refinado: agua con trazas de ácido y extractante	K1	Corriente de ácido fórmico y agua
S1	Corriente de extractante con agua y trazas de ácido	K2	Corriente de ácido fórmico y agua presurizados

Nomenclatura	Corriente	Nomenclatura	Corriente
G1	Corriente de agua y traza de ácido fórmico	X	Ácido fórmico concentrado 85%p/p
O	Corriente de monóxido de carbono considerada como pérdida		

7.3 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Se exponen los balances de masa y de energía correspondientes a cada uno de los equipos del proceso de producción en kg/h y kcal/h.

Para la realización de los balances de masa se tiene en cuenta que se opera en estado estacionario, por lo cual no hay acumulación en el sistema y se contempla una pérdida global del proceso, produciéndose un 3,5% p/p más de producto final, que luego es considerado como pérdida global.

Los cálculos se efectúan con ayuda del simulador CHEMCAD, en base a los modelos termodinámicos UNIQUAC y UNIFAC.

En cuanto al balance de energía se tienen en cuenta aquellas etapas donde la energía intercambiada es relevante y justifica el análisis.

En las ecuaciones de los balances, X representa la fracción másica del componente que se indica y H representa la entalpía en kilocalorías por kilogramo de la corriente total respecto a una temperatura de referencia.

7.3.1 Balance de masa global

En la Tabla 7.4 se evidencia el balance global del proceso de obtención de ácido fórmico, operando en continuo. Se considera al mismo como una caja negra y se tienen en cuenta todas las corrientes externas de ingreso y egreso.

Tabla 7. 4: Balance global.

Entrada (kg/h) = Salida (kg/h)	
Entrada	Salida
A1 + B1 + C1 + W1 + E1	O + J1+ J2 + S1 + G1 + X

$1410 + 0,011 + 1211 + 4370 +$ 8500 15491,01	$1,52 + 1518,20 + 740,54 + 9871,68 + 1290 +$ $2069,07$ 15491,01
---	--

7.3.2 Sección 100: Reacción de carbonilación y destilación

❖ Equipo M-101

Al mezclador M-101 ingresan una corriente de alimentación fresca de metanol al 99,99% p/p y una corriente de metóxido de sodio sólido, ambas corrientes mencionadas a 20°C. Además, ingresa al mezclador, una recirculación constituida principalmente por metanol a 66°C.

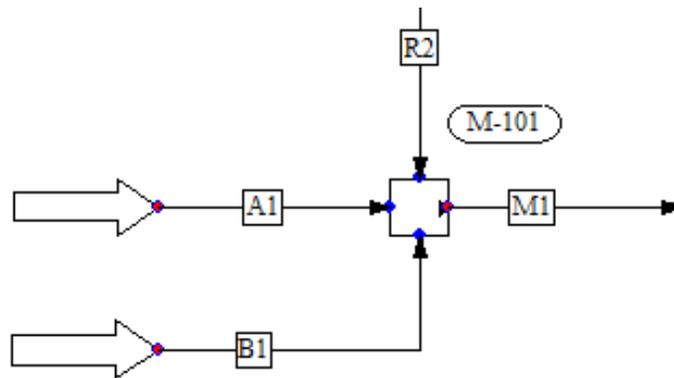


Figura 7. 4: Diagrama mezclador M-101.

El objetivo de este equipo es lograr la disolución del catalizador y recuperar el metanol que no reacciona.

Consideraciones:

- No ocurre reacción química en el mezclador.
- No existen pérdidas de masas.

Tabla 7. 5: Ecuaciones balance de masa de M-101.

Balance de masa	
Balance global	$A1 + B1 + R2 = M1$
Balance parcial de metanol (A)	$A1 \cdot X_{A1-A} + R2 \cdot X_{R2-A} = M1 \cdot X_{M1-A}$

Tabla 7. 6: Balance de masa M-101

Balance de masa M-101					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
A1	Entrada	1410,00	Líquido	Metanol	1,000
B1	Entrada	0,01	Sólido	Metóxido de sodio	1,000
R2	Entrada	3442,00	Líquido	Metanol	0,964
				Metóxido de sodio	0,010
				Formiato de metilo	0,026
Masa de entrada total (kg/h) = 4852,01					
M1	Salida	4852,01	Líquido	Metanol	0,975
				Metóxido de sodio	0,007
				Formiato de metilo	0,018
Masa de salida total (kg/h) 4852,01					

❖ Equipo E-101

Al intercambiador E-101 ingresan una corriente de metanol con metóxido disuelto y trazas de formiato de metilo a 0.20265 MPa (2 atm) de presión.

El calentamiento ocurre por contacto indirecto con una corriente de vapor de calefacción a 165°C, para alcanzar cambios energéticos y de fase, en el caso del vapor. Se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable.

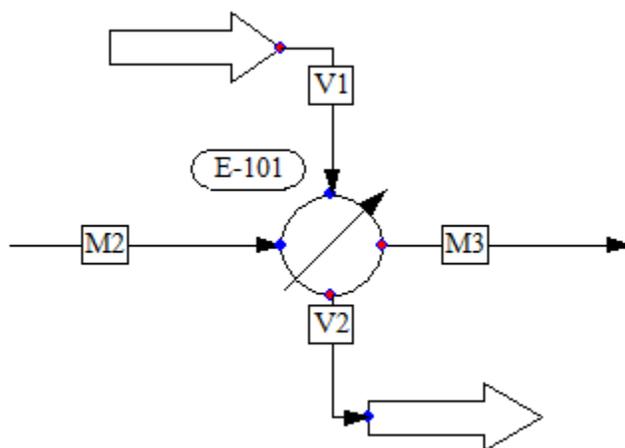


Figura 7. 5: Diagrama intercambiador de calor E-101.

El objetivo de este equipo es alcanzar una temperatura próxima a la necesaria para la reacción de carbonilación.

Tabla 7. 7: Ecuaciones para balance de masa de E-101.

Balance de masa	
Balance global	$M2 + V1 = M3 + V2$
Balance de energía	
Balance global	$Q_M = Q_V$ $C_{pM}.M.\Delta T = V.\lambda$ $M2.H_{M2} + V1 H_{V1} = M3 H_{M3} + V2 H_{V2}$

Donde:

- V = masa de vapor.
- Q_M = Calor sensible necesario para elevar la temperatura.
- Q_V = Calor latente cedido por el vapor de caldera.
- λ = Calor de vaporización.
- C_{pM} = Calor específico medio de M.
- ΔT = Diferencia de temperaturas entre las corrientes de entrada y salida.

Tabla 7. 8: Balance de masa y energía E-101

Balance de masa E-101					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
M2	Entrada	4852,01	Líquido	Metanol	0,975
				Metóxido de sodio	0,007
				Formiato de metilo	0,018
V1	Entrada	167,51	Vapor	Agua	1,000
Masa de entrada total (kg/h) = 5019,52					
M3	Salida	4852,01	Líquido	Metanol	0,975
				Metóxido de sodio	0,007
				Formiato de metilo	0,018
V2	Salida	167,51	Líquido	Agua	1,000
Masa de salida total (kg/h) = 5019,52					
Balance de energía E-101					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)	
M2	Entrada	53,55	0,000	0,645	
V1	Entrada	165,00	1,000	0,451	
M3	Salida	79,00	0,000	0,689	
V2	Salida	165,00	0,000	1,039	
Calor intercambiado Q_{M2} (kcal/h)			83118,46		
Masa de vapor necesaria (kg)			1637,51		
λ (kcal/kg)			494,78		

❖ Equipo E-102

Al intercambiador E-102 ingresa una corriente descomprimida de monóxido de carbono a 40°C aproximadamente, para elevar su temperatura hasta 80°C; para ello se hace circular por el equipo una corriente de vapor a 165°C.

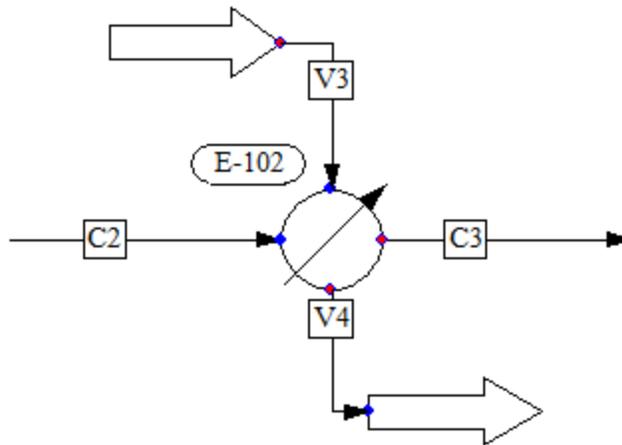


Figura 7. 6: Diagrama intercambiador de calor E-102.

El calentamiento ocurre por contacto indirecto con una corriente de vapor de calefacción, para alcanzar cambios energéticos y de fase, en el caso del vapor. Se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable.

Tabla 7. 9: Ecuaciones para balance de masa de E-102.

Balance de masa	
Balance global	$C2 + V3 = V4 + C3$
Balance de energía	
Balance global	$Q_c = Q_v$ $C_{pC} \cdot C \cdot \Delta T = V \cdot \lambda$ $C2 \cdot H_{C2} + V3 \cdot H_{V3} = C3 \cdot H_{C3} + V4 \cdot H_{V4}$

Donde:

- V = masa de vapor.
- Q_c = Calor sensible necesario para elevar la temperatura.
- Q_v = Calor latente cedido por el vapor de caldera.
- λ = Calor de vaporización.
- C_{pC} = Calor específico medio de C.
- ΔT = Diferencia de temperaturas entre las corrientes de entrada y salida.

Tabla 7. 10: Balance de masa y energía E-102.

Balance de masa E-102					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
C2	Entrada	1211,00	Gaseoso	Monóxido de carbono	1,000
V3	Entrada	24,03	Vapor	Agua	1,000
Masa de entrada total (kg/h) = 1235,03					
C3	Salida	1211,00	Gaseoso	Monóxido de carbono	1,000
V4	Salida	24,03	Líquido	Agua	1,000
Masa de salida total (kg/h) = 1235,03					
Balance de energía E-102					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)	
C2	Entrada	40,56	1,000	0,249	
V3	Entrada	165,00	1,000	0,451	
C3	Salida	80,00	1,000	0,249	
V4	Salida	165,00	0,000	1,039	
Calor de intercambiado Q_c (kcal/h)			11891,35		
Masa de vapor necesaria (kg)			24,03		
λ (kcal/kg)			494,78		

❖ Equipo R-101

Al reactor R-101 ingresan la corriente de metanol con catalizador disuelto junto con una corriente de monóxido de carbono gaseosa y una corriente de monóxido de carbono no convertido y trazas de metanol y formiato, proveniente de la recirculación de tanque flash F-101.

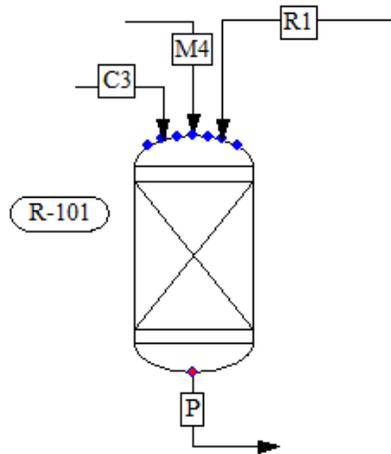


Figura 7. 7: Diagrama reactor R-101.

Por medio de la reacción que tiene lugar en R-101, se obtiene formiato de metilo bajo las condiciones de 80°C de temperatura y 44 atm de presión. La conversión alcanzada es de 0,95 respecto al CO.

La reacción de carbonilación es exotérmica, por lo cual, se debe utilizar agua de enfriamiento para retirar el calor para mantener la temperatura de operación mencionada.

Tabla 7. 11: Ecuaciones para balance de masa de R-101.

Balance de masa	
Balance global	$M4 + C3 + R1 = P$
Balance de energía	
Balance global	$Q_{R-101} = Q_Y$ $Q_Y = Y \cdot C_{pY} \cdot \Delta T$ $M4 \cdot H_{M4} + C3 \cdot H_{C3} + R1 \cdot H_{R1} - \Delta R_{FM} = P \cdot H_P + Q_{R-101}$

Donde:

Q_{R-101} = Calor a retirar del reactor para mantener la temperatura a 80°C.

Q_Y = Calor retirado por el agua de enfriamiento.

Y = masa agua de enfriamiento.

ΔR_{FM} = Calor de reacción exotérmica de la reacción de formación de formiato de metilo a 80°C.

Tabla 7. 12: Balance de masa y energía R-101

Balance de masa R-101					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
C3	Entrada	1211,00	Gaseoso	Monóxido de carbono	1,000
M4	Entrada	4852,01	Líquido	Metanol	0,975
				Metóxido de sodio	0,007
				Formiato de metilo	0,018
R1	Entrada	70,69	Vapor	Metanol	0,041
				Formiato de metilo	0,080
				Monóxido de carbono	0,879
Masa de entrada total (kg/h) = 6133,70					
P	Salida	6133,70	Vapor/Líquido	Monóxido de carbono	0,010
				Formiato de metilo	0,438
				Metanol	0,546
				Metóxido de sodio	0,006
Masa de salida total (kg/h) = 6133,70					
Balance de energía R-101					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Calor específico (kcal/kg°C)	
C3	Entrada	80,00	1,000	0,2491	
M4	Entrada	80,96	0,000	0,7027	
R1	Entrada	80,00	1,000	0,2575	
P	Salida	80,00	0,010	0,2575	
Calor enfriamiento $Q_{R-101} = Q_Y$ (kcal/h)			-2,79x10 ⁵		
Calor de reacción ΔR_{FM} (kJ/gmol)			-31,49		
Agua de enfriamiento					
Masa (kg/h)		Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)		
56330,93		20	40		

❖ Equipo F-101

En el separador flash F-101 ingresa una corriente proveniente del reactor de carbonilación a 44atm y 80°C, con el fin de separar por cabeza la fracción de vapor, que contiene principalmente monóxido de carbono y recircularla al reactor R-101, y separar por el fondo una corriente de metanol, formiato de metilo y metóxido de sodio.

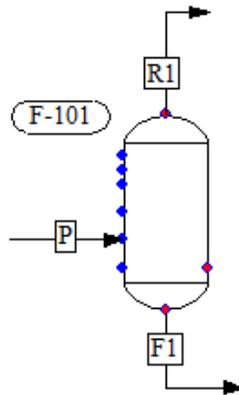


Figura 7. 8: Diagrama flash F-101.

Consideraciones:

- Se considera una pérdida de 1,52kg de monóxido de carbono que representa un 2% del total de CO que ingresa al equipo. Esta diferencia se ventea porque se encuentra dentro de los límites permisibles de la Ley 20.384 para emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.
- El caudal antes mencionado, se sustituye por alimentación fresca de CO.

Tabla 7. 13: Ecuaciones para balance de masa de F-101

Balance de masa	
Balance global	$P = R1 + F1$

Tabla 7. 14: Balance de masa y energía F-101.

Balance de masa F-101					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
P	Entrada	6133,70	Líquido/vapor	Monóxido de carbono	0,010
				Metanol	0,546
				Formiato de metilo	0,438
				Metóxido de sodio	0,006
Masa de entrada total (kg/h) = 6133,70					
R1	Salida	70,69	Gaseoso	Monóxido de carbono	0,879
				Metanol	0,041
				Formiato de metilo	0,080
F1	Salida	6063,01	Líquido	Monóxido de carbono	0,001
				Metanol	0,552
				Formiato de metilo	0,442
				Metóxido de sodio	0,005
Masa de salida total (kg/h) = 6133,70					
Balance de energía F-101					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)	
P	Entrada	80	0,016	0,2575	
R1	Entrada	80	1,000	0,2575	
F1	Salida	80	0,000	0,6199	

❖ Equipo C-101

La columna de destilación C-101 tiene como objetivo separar por cabeza todo el formiato de metilo posible para ingresar a una columna de destilación en la segunda sección del proceso, y por el fondo, separar mayormente metanol con el catalizador para recircularlo al tanque M-101 y emplearse en la reacción de carbonilación.

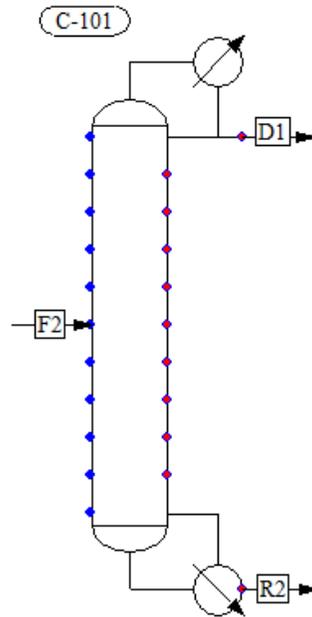


Figura 7. 9: Diagrama columna destilación C-101.

Tabla 7. 15: Ecuaciones para balance de masa de C-101.

Balance de masa	
Balance global	$F2 = D1 + R2$
Balance parcial para el formiato de metilo (F)	$F2 \cdot X_{F2-F} = D1 \cdot X_{D1-F} + R2 \cdot X_{R2-F}$
Balance de energía	
Balance global	$F2 \cdot H_{F2} + Q_C = D1 \cdot H_{D1} + R2 \cdot H_{R2} + Q_R$

Donde:

- Q_C = Calor retirado en el condensador.
- Q_R = Calor entregado en el reboilador.

Tabla 7. 16: Balance de masa y energía C-101

Balance de masa C-101					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
F2	Entrada	6061,49	Líquido/vapor	Metanol	0,552
				Metóxido de sodio	0,006
				Formiato de metilo	0,442
Masa de entrada total (kg/h) = 6061,49					
D1	Salida	2619,49	Líquido	Formiato de metilo	0,989
				Metanol	0,010
R2	Salida	3442,00	Líquido	Metóxido de sodio	0,010
				Formiato de metilo	0,025
				Metanol	0,965
Masa de salida total (kg/h) = 6061,49					
Balance de energía C-101					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)	
F2	Entrada	79,00	0,989	0,3284	
D1	Salida	32,17	0,000	0,4818	
R2	Salida	66,51	0,000	0,6698	
Calor retirado en el condensador Q _C (kcal/h)			-5,68x10 ⁶		
Calor entregado en el rehervidor Q _R (kcal/h)			4,44x10 ⁶		

❖ Equipo E-103

El intercambiador de calor E-103 representa el condensador de la columna C-101 en la cabeza de esta. Aporta la energía necesaria para que la columna funcione de acuerdo a los requisitos establecidos para alcanzar la separación.

El condensador total empleado, condensar la corriente de vapor d1, constituida principalmente por formiato de metilo. Para el enfriamiento se utiliza agua y por contacto indirecto se llevan a cabo los cambios energéticos y de fase. Se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable.

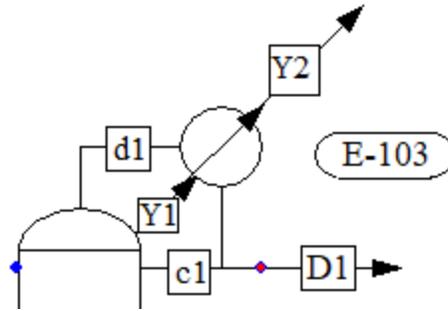


Figura 7. 10: Diagrama intercambiador E-103.

Tabla 7. 17: Ecuaciones para balance de masa de E-103

Balance de masa	
Balance global	$d1 + Y1 = Y2 + c1 + D1$
Balance de energía	
Balance global	$Q_c = Q_Y$ $\lambda_{d1} \cdot c1 = C_{pY} \cdot Y \cdot \Delta T$ $d1 \cdot H_{d1} + Y1 \cdot H_{Y1} = Y2 \cdot H_{Y2} + c1 \cdot H_{c1} + D1 \cdot H_{D1}$

Donde:

- d = Corriente de cabeza de torre C-101.
- Y = agua de enfriamiento.
- c = Corriente de reflujo a la columna.
- Q_c = Calor a retirar para condensar el vapor de la cabeza de la torre.
- Q_Y = Calor sensible a retirar por el agua de enfriamiento.
- λ_{d1} = Calor vaporización de d1.
- C_{pY} = Calor específico del agua.
- ΔT = Diferencia de temperaturas entre las corrientes de entrada y salida.

Tabla 7. 18: Balance de masa y energía E-103

Balance de masa E-103				
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	
d1	Entrada	49806,98	Vapor	
Y1	Entrada	1133246,00	Líquido	
Masa de entrada total (kg/h) = 1183052,98				
D1	Salida	2619,49	Líquido	
Y2	Salida	1133246,00	Líquido	
c1	Salida	47187,49	Líquido	
Masa de salida total (kg/h) = 1183052,98				
Balance de energía E-103				
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)
d1	Entrada	32,17	1,000	0,4815
Y1	Entrada	20,00	0,000	1,0000
D1	Entrada	32,17	0,000	0,4815
c1	Salida	32,17	0,000	0,4815
Y2	Salida	40,00	0,000	1,0000
Calor intercambiado (kcal/h)			-5,68x10 ⁶	
Agua de enfriamiento				
Masa (kg/h)		Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)	
1133246,00		20	40	

❖ Equipo E-104

El intercambiador de calor E-104 representa el rehedidor de la columna C-101 en el fondo de esta. Aporta la energía necesaria para que la columna funcione de acuerdo a los requisitos establecidos para alcanzar la separación.

Se trata un rehedidor parcial empleado para vaporizar parte de la corriente de líquido del fondo de la torre. Para el calentamiento se utiliza vapor, y por contacto indirecto de dan los cambios energéticos y de fase. Además, se considera que la pérdida de energía hacia el exterior es despreciable.

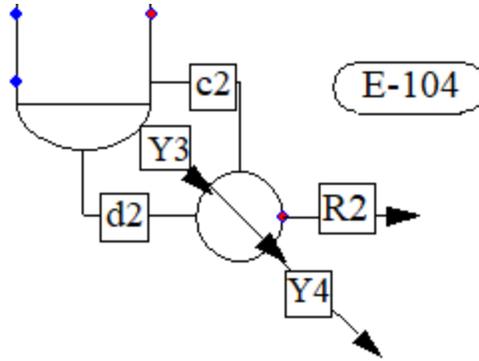


Figura 7. 11: Diagrama intercambiador E-104.

Tabla 7. 19: Ecuaciones para balance de masa de E-104

Balance de masa	
Balance global	$d2 + Y3 = Y4 + c2 + R2$
Balance de energía	
Balance global	$Q_R = Q_Y$ $\lambda_d \cdot c2 = \lambda_Y \cdot Y$

Donde:

- d = Corriente de fondo de torre C-101.
- Y = vapor de calentamiento.
- c = Corriente de reflujo a la columna.
- Q_R = Calor a entregar para vaporizar la corriente c2.
- Q_Y = Calor latente entregado por el vapor.
- λ_d = Calor de vaporización de d.

Tabla 7. 20: Balance de masa y energía E-104

Balance de masa				
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	
d2	Entrada	20673,76	Líquido	
Y3	Entrada	8978,69	Vapor	
Masa de entrada total (kg/h) = 29652,45				
Y4	Salida	8978,69	Líquido	
R2	Salida	3442,00	Líquido	
c2	Salida	17231,76	Vapor	
Masa de salida total (kg/h) = 29652,45				
Balance de energía E-104				
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)
d2	Entrada	66,49	0,000	0,669
Y3	Entrada	165,00	1,000	0,451
R2	Salida	66,49	0,000	0,669
c2	Salida	66,49	1,000	0,669
Y4	Salida	165,00	0,000	1,039
Calor intercambiado (kcal/h)			4,44x10 ⁶	
λ (kcal/kg)			494,78	
Masa de vapor necesaria (kg/h)			8978,69	

7.3.3 Sección 200

❖ Equipo M-201

En el mezclador M-201, ingresan dos corrientes, la primera, corresponde al destilado de la sección anterior, que contiene principalmente formiato de metilo a 32°C, y la segunda, a una corriente de agua pura en exceso a 20°C necesaria para la reacción de hidrólisis.

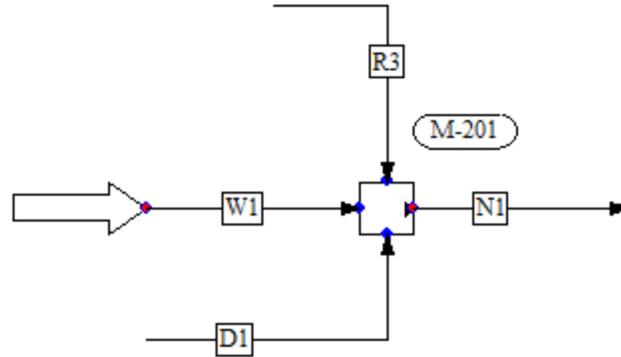


Figura 7. 12: Diagrama mezclador M-201.

Tabla 7. 21: Ecuaciones para balance de masa de M-201.

Balance de masa	
Balance global	$W1 + D1 + R3 = N1$
Balance parcial de formiato de metilo (F)	$W1.X_{W-F} + D1.X_{D1-F} + R3.X_{R3} = N1.X_{N1-F}$

Tabla 7. 22: Balance de masa M-201

Balance de masa M-201					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
W	Entrada	4370,00	Líquido	Agua	1,000
D1	Entrada	2619,49	Líquido	Formiato de metilo	0,990
				Metanol	0,001
R3	Entrada	116,91	Líquido	Formiato de metilo	1,000
Masa de entrada total (kg/h) = 7106,40					
N1	Salida	7106,40	Líquida	Metanol	0,039
				Formiato de metilo	0,381
				Agua	0,615
Masa de salida total (kg/h) = 7106,40					

❖ Equipo E-201

El intercambiador de calor E-201 se emplea para elevar la temperatura la corriente proveniente de la bomba P-201, desde 23°C hasta la temperatura de reacción próxima que corresponde a 120°C. El vapor que ingresa en este equipo está a 0,70 MPa (6,91 atm) y lo abandona condensado.

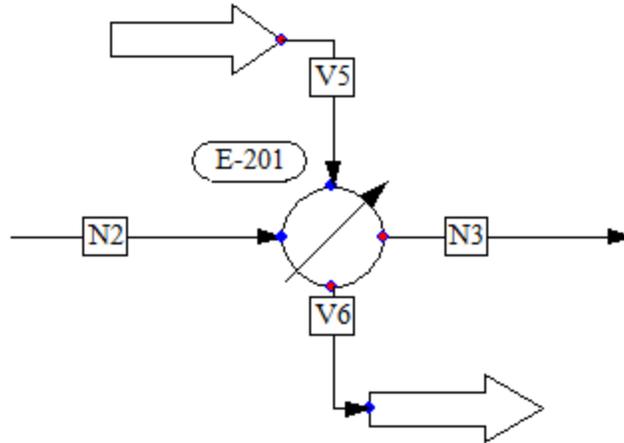


Figura 7. 13: Diagrama intercambiador E-201.

Tabla 7. 23: Ecuaciones para balance de masa de E-201.

Balance de masa	
Balance global	$N2 + V5 = N3 + V6$
Balance de energía	
Balance global	$Q_N = Q_V$ $C_{pN} \cdot N \cdot \Delta T = V \cdot \lambda$ $N2 \cdot H_{N2} + V5 H_{V5} = N3 \cdot H_{D3} + V6 H_{V6}$

Donde:

- Q_N = Calor a entregar.
- Q_V = Calor latente de vaporación.
- λ = Calor de vaporización de V.
- C_{pN} = Calor específico de la corriente N.
- ΔT = Diferencia de temperaturas entre las corrientes de entrada y salida.

Tabla 7. 24: Balance de masa y energía E-201

Balance de masa E-201					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
N2	Entrada	7106,40	Líquido	Metanol	0,004
				Agua	0,615
				Formiato de metilo	0,381
V5	Entrada	1136,89	Vapor	Agua	1,000
Masa de entrada total (kg/h) = 8243,39					
N3	Salida	7106,40	Líquido	Metanol	0,004
				Agua	0,615
				Formiato de metilo	0,381
V6	Salida	1136,89	Líquido	Agua	1,000
Masa de salida total (kg/h) = 8243,39					
Balance de energía E-201					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Calor específico (kcal/kg°C)	
N2	Entrada	23	0,000	0,805	
V5	Entrada	165	1,000	0,451	
N3	Salida	120	0,000	0,848	
V6	Salida	165	0,000	1,039	
Calor de intercambiado Q_N (kcal/h)			5,61x10 ⁵		
Masa de vapor (kg/h)			1136,89		
λ (kcal/kg)			494,78		

❖ Equipo R-201

En el reactor R-201 ingresa una corriente que contiene formiato de metilo, agua y trazas de metanol a 120°C y 9,86atm, para obtener ácido fórmico y metanol.

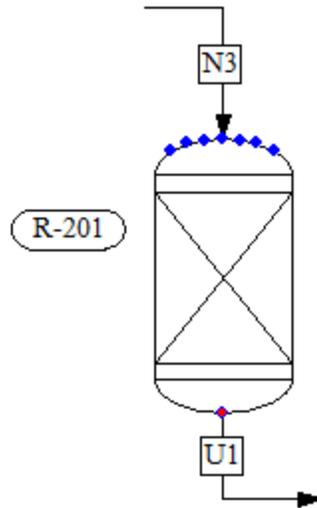


Figura 7. 14: Diagrama reactor R-201.

Como la conversión del formiato de metilo es del 95%, queda la cantidad restante en la corriente de producto, la cual será descomprimida para ingresar a una columna de destilación en la siguiente sección.

Tabla 7. 25: Ecuaciones para balance de masa de R-201.

Balance de masa	
Balance global	$N3 = U1$
Balance parcial para el formiato de metilo (F)	$N3 \cdot X_{N3-F} = U1 \cdot X_{U1-F}$
Balance de energía	
Balance global	$Q_{R-201} = Q_Y$ $Q_Y = Y \cdot \lambda$ $N3 \cdot H_{N3} + Q_{R-201} - \Delta R_{FM} = U1 \cdot H_{U1}$

Donde:

- Y = agua de calentamiento.
- Q_{R-201} = Calor a entregar para mantener la temperatura de reacción.
- Q_Y = Calor latente.
- λ = Calor vaporización.
- ΔT = Diferencia de temperaturas entre las corrientes de entrada y salida.

Tabla 7. 26: Balance de masa y energía R-201

Balance de masa R-201					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
N3	Entrada	7106,40	Líquido	Metanol	0,004
				Agua	0,615
				Formiato de metilo	0,380
Masa de entrada total (kg/h) = 7106,40					
U1	Salida	7106,40	Líquido	Metanol	0,187
				Agua	0,512
				Formiato de metilo	0,038
				Ácido fórmico	0,263
Masa de salida total (kg/h) = 7106,40					
Balance de energía R-201					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Calor específico (kcal/kg°C)	
N3	Entrada	120	0,000	0,8483	
U1	Salida	120	0,000	0,8436	
Calor calentamiento $Q_{R-201} = Q_Y$ (kcal/h)			273894		
Calor de reacción ΔR_{AF} (kJ/gmol)			14,68		
Masa de vapor					
Masa (kg/h)		Temperatura entrada (°C)		Temperatura salida (°C)	
584,33		165		165	

❖ Equipo C-201

La columna de destilación C-201 tiene como objetivo separar todo el formiato de metilo posible para recircularlo como destilado al mezclador de esta sección. Por arriba sale una corriente de formiato de metilo puro, por un plato intermedio se obtiene una corriente de principalmente metanol, mientras que por el fondo sale una corriente de ácido fórmico, agua y trazas de metanol a 100°C, que será enviada a una columna de extracción líquido-líquido.

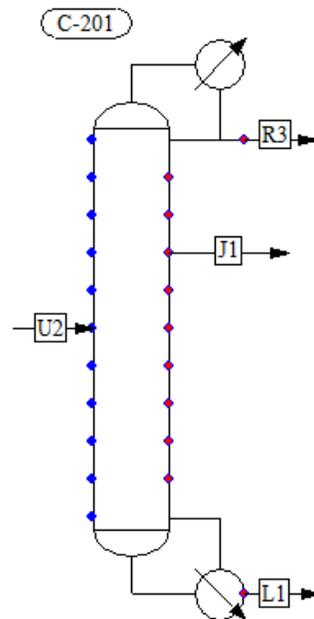


Figura 7. 15: Diagrama columna destilación C-201.

Tabla 7. 27: Ecuaciones para balance de masa de C-201.

Balance de masa	
Balance global	$U2 = R3 + J1 + L1$
Balance parcial para el formiato de metilo (F)	$U2.X_{U2-F} = R3.X_{R3-F} + J1.X_{J1-F} + L1.X_{L1-F}$
Balance de energía	
Balance global	$U2.H_{U2} + Q_C = R3.H_{R3} + J1.H_{J1} + L1.H_{L1} + Q_R$

Tabla 7. 28: Balance de masa y energía C-201

Balance de masa C-201					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
U2	Entrada	7106,40	Líquido	Metanol	0,187
				Agua	0,512
				Formiato de metilo	0,038
				Ácido fórmico	0,263
Masa de entrada total (kg/h) = 7106,40					
R3	Salida	116,91	Líquido	Formiato de metilo	1,000
J1	Salida	1518,20	Líquido	Agua	0,103
				Formiato de metilo	0,101
				Metanol	0,778
				Ácido fórmico	0,018
L1	Salida	5471,29	Líquido	Ácido fórmico	0,338
				Agua	0,636
				Metanol	0,026
Masa de salida total (kg/h) = 7106,40					
Balance de energía C-201					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Calor específico (kcal/kg°C)	
U2	Entrada	67,80	0,000	0,3732	
R3	Salida	31,75	0,000	0,4795	
J1	Salida	66,25	0,000	0,7018	
L1	Salida	100,97	0,000	0,8471	
Calor retirado en el condensador Q_C (kcal/h)			-1,07x10 ⁶		
Calor entregado en el rehervidor Q_R (kcal/h)			9,2x10 ⁵		

❖ Equipo E-202

El intercambiador de calor E-202 representa el condensador de la columna C-201 en la cabeza de esta. Aporta la energía necesaria para que la columna funcione de acuerdo a los requisitos establecidos para alcanzar la separación.

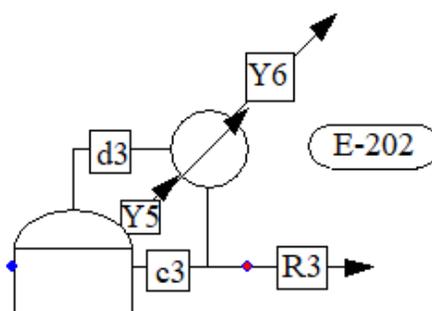


Figura 7. 16: Diagrama intercambiador E-202

Tabla 7. 29: Ecuaciones para balance de masa de E-202

Balance de masa	
Balance global	$d3 + Y5 = Y6 + R3 + c3$

Tabla 7. 30: Balance de masa y energía E-103

Balance de masa E-202				
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	
d3	Entrada	9581,80	Líquido	
Y5	Entrada	214818,40	Líquido	
Masa de entrada total (kg/h) = 224400,20				
R3	Salida	116,91	Líquido	
Y6	Salida	214818,40	Líquido	
c3	Salida	9464,89	Líquido	
Masa de salida total (kg/h) = 224400,20				
Balance de energía E-202				
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)
d3	Entrada	31,75	1,000	0,4815
Y5	Entrada	20,00	0,000	1,0000
R3	Salida	31,75	0,000	0,4815
c3	Salida	31,75	0,000	0,4815
Y6	Salida	40,00	0,000	1,0000
Calor intercambiado (kcal/h)			$-1,07 \times 10^6$	
Agua de enfriamiento				
Masa (kg/h)		Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)	
214818,40		20	40	

❖ Equipo E-203

El intercambiador de calor E-203 representa el rehedidor de la columna C-201 en el fondo de esta. Aporta la energía necesaria para que la columna funcione de acuerdo a los requisitos establecidos para alcanzar la separación.

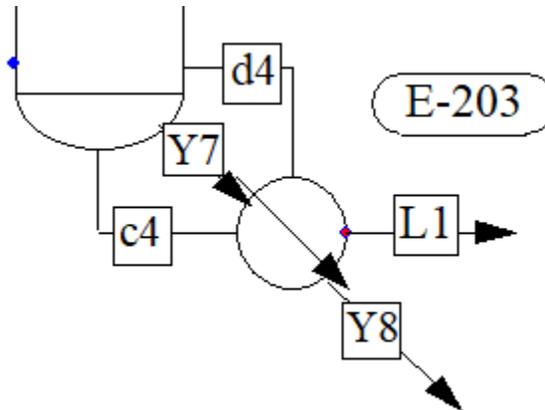


Figura 7. 17: Diagrama intercambiador E-203

Tabla 7. 31: Ecuaciones para balance de masa de E-203

Balance de masa	
Balance global	$d4 + Y7 = Y8 + L1 + c4$

Tabla 7. 32: Balance de masa y energía E-203

Balance de masa				
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	
d4	Entrada	7820,15	Líquido	
Y7	Entrada	1859,29	Vapor	
Masa de entrada total (kg/h) = 9679,44				
Y8	Salida	1859,41	Líquido	
L1	Salida	5471,29	Líquido	
c4	Salida	2348,86	Vapor	
Masa de salida total (kg/h) = 9679,44				
Balance de energía E-203				
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)
d4	Entrada	100,97	0,000	0,847
Y7	Entrada	165,00	1,000	0,451
L1	Salida	100,97	0,000	0,847
c4	Salida	100,97	1,000	0,847
Y8	Salida	165,00	0,000	1,039
Calor intercambiado (kcal/h)			9,2x10 ⁵	
λ (kcal/kg)			494,78	
Masa de vapor necesaria (kg/h)			1859,41	

7.3.4 Sección 300

❖ Equipo C-301

En la columna de extracción líquida-líquida, ingresan por el fondo una corriente de extractante fresca a 70°C y por el tope la corriente proveniente de C-201, compuesta de ácido fórmico, metanol y agua a separar a 101°C. El extracto se compone de ácido fórmico, extractante y en menor proporción agua, mientras que el refinado contiene agua y trazas de los demás componentes. El extracto, se envía a la columna de destilación siguiente, y el refinado, se envía a un tanque de almacenamiento.

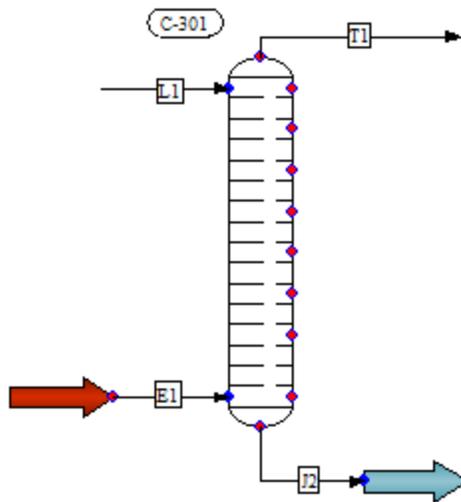


Figura 7. 18: Diagrama columna extracción C-301.

Tabla 7. 33: Ecuaciones para balance de masa de C-301.

Balance de masa	
Balance global	$L1 + E1 = T1 + J2$
Balance parcial para el ácido fórmico (A)	$L1 \cdot X_{L1-A} + E1 \cdot X_{E1-A} = T1 \cdot X_{T1-A} + J2 \cdot X_{J2-A}$

Tabla 7. 34: Balance de masa y energía C-301

Balance de masa C-301					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
L1	Entrada	5471,29	Líquido	Metanol	0,026
				Agua	0,636
				Ácido fórmico	0,338
E1	Entrada	8500,00	Líquido	Extractante	1,000
Masa de entrada total (kg/h) = 13971,29					
T1	Salida	13230,75	Líquido	Ácido fórmico	0,139
				Agua	0,210
				Metanol	0,011
				Extractante	0,640
J2	Salida	740,54	Líquido	Ácido fórmico	0,020
				Agua	0,930
				Extractante	0,049
				Metanol	0,001
Masa de salida total (kg/h) = 13971,29					
Balance de energía C-301					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada		
L1	Entrada	100,97	0,000		
E1	Entrada	78,00	0,000		
J2	Salida	78,00	0,000		
T1	Salida	90,77	0,000		

❖ Equipo E-305

El intercambiador de calor E-305 se emplea para elevar la temperatura de la corriente de extractante proveniente del tanque de almacenamiento, desde 20°C hasta la temperatura de para torre de extracción de 78°C. El vapor que ingresa en este equipo está a 0,70 MPa (6,91 atm) y lo abandona condensado.

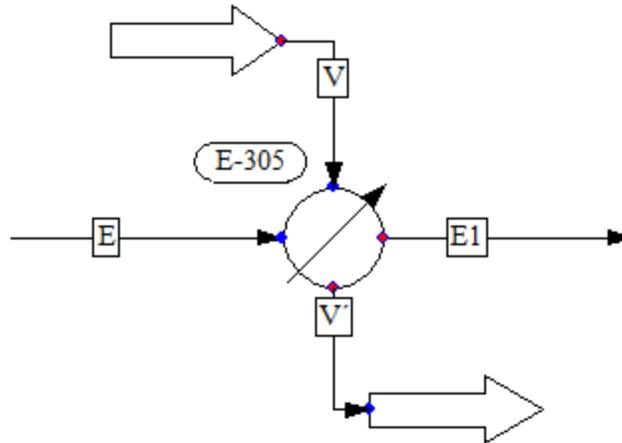


Figura 7. 19: Diagrama intercambiador E-305.

Tabla 7. 35: Ecuaciones para balance de masa de E-305.

Balance de masa	
Balance global	$E + V = E1 + V'$
Balance de energía	
Balance global	$Q = Q_v$ $C_{pE} \cdot E \cdot \Delta T = V \cdot \lambda$ $E \cdot H_E + V \cdot H_v = E1 \cdot H_{v'} + V' \cdot H_{v'}$

Donde:

- Q = Calor a entregar.
- Q_v = Calor latente de vaporación.
- λ = Calor de vaporización de V .
- C_{pE} = Calor específico de la corriente E .
- ΔT = Diferencia de temperaturas entre las corrientes de entrada y salida.

Tabla 7. 36: Balance de masa y energía E-305.

Balance de masa E-305					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
E	Entrada	8500,00	Líquido	Extractante	1,000
V	Entrada	462,83	Vapor	Agua	1,000
Masa de entrada total (kg/h) = 8962,83					
E1	Salida	8500,00	Líquido	Extractante	1,000
V'	Salida	462,83	Líquido	Agua	1,000
Masa de salida total (kg/h) = 8962,83					
Balance de energía E-305					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Calor específico (kcal/kg°C)	
E1	Entrada	20	0,000	0,4254	
V	Entrada	165	1,000	0,4568	
E1	Salida	78	0,000	0,5072	
V'	Salida	165	0,000	0,4568	
Calor de intercambiado Q (kcal/h)			2,29 x10 ⁵		
Masa de vapor (kg/h)			462,84		
λ (kcal/kg)			494,78		

❖ Equipo C-302

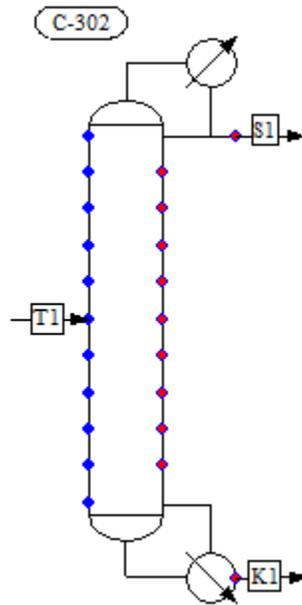


Figura 7. 20: Diagrama columna de destilación C-302.

En esta columna de destilación, ingresa una corriente a 90,77°C que contiene ácido fórmico, extractante, metanol y agua para obtener:

- Por el tope una corriente líquida que contiene principalmente extractante y en pequeña proporción agua, metanol y ácido. Esta corriente se podría recircular a un tanque pulmón para que ingresen a la columna de extracción junto con el extractante fresco.
- Por el fondo se obtiene una corriente de ácido fórmico acuoso al 40%p/p que se envía a la siguiente columna de destilación para seguir concentrando.

Tabla 7. 37: Ecuaciones para balance de masa de C-302.

Balance de masa	
Balance global	$T1 = S1+K1$
Balance parcial para el ácido fórmico (A)	$T1.X_{T1-A} = S1.X_{S1-A} + K1.X_{K1-A}$
Balance de energía	
Balance global	$T1.H_{T1} + Q_C = S1.H_{S1} + K1.H_{K1} + Q_R$

Tabla 7. 38: Balance de masa y energía C-302.

Balance de masa C-302					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
T1	Entrada	13230,75	Líquido	Metanol	0,011
				Agua	0,210
				Extractante	0,640
				Ácido fórmico	0,139
Masa de entrada total (kg/h) 13230,75					
K1	Salida	3359,07	Líquido	Agua	0,464
				Ácido fórmico	0,536
S1	Salida	9871,68	Líquido	Ácido fórmico	0,003
				Agua	0,125
				Extractante	0,857
				Metanol	0,015
Masa de salida total (kg/h) 13230,75					
Balance de energía C-302					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Calor específico (kcal/kg°C)	
T1	Entrada	90,77	0,000	0,3718	
S1	Salida	75,31	0,000	0,5649	
K1	Salida	105,14	0,000	0,767	
Calor retirado en el condensador Q_C (kcal/h)			$-3,68 \times 10^6$		
Calor entregado en el rehedidor Q_R (kcal/h)			$3,58 \times 10^6$		

❖ Equipo E-301

El intercambiador de calor E-301 representa el condensador de la columna C-302 en la cabeza de esta. Aporta la energía necesaria para que la columna funcione de acuerdo a los requisitos establecidos para alcanzar la separación.

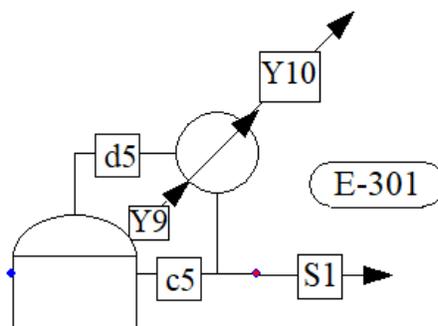


Figura 7. 21: Diagrama intercambiador E-301

Tabla 7. 39: Ecuaciones para balance de masa de E-301

Balance de masa	
Balance global	$d5 + Y9 = Y10 + S1 + c5$

Tabla 7. 40: Balance de masa y energía E-301

Balance de masa E-301				
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	
d5	Entrada	24620,61	Vapor	
Y9	Entrada	726171,00	Líquido	
Masa de entrada total (kg/h) = 750791,61				
S1	Salida	9871,68	Líquido	
Y10	Salida	726171,00	Líquido	
c5	Salida	14748,93	Líquido	
Masa de salida total (kg/h) = 750791,61				
Balance de energía E-301				
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)
d5	Entrada	75,31	1,000	0,5649
Y9	Entrada	20,00	0,000	1,0000
S1	Salida	75,31	0,000	0,5649
c5	Salida	75,35	0,000	0,5649
Y10	Salida	40,00	0,000	1,0000
Calor intercambiado (kcal/h)			$3,68 \times 10^6$	
Agua de enfriamiento				
Masa (kg/h)		Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)	
726171,00		20	40	

❖ Equipo E-302

El intercambiador de calor E-302 representa el rehervidor de la columna C-302 en el fondo de esta. Aporta la energía necesaria para que la columna funcione de acuerdo a los requisitos establecidos para alcanzar la separación.

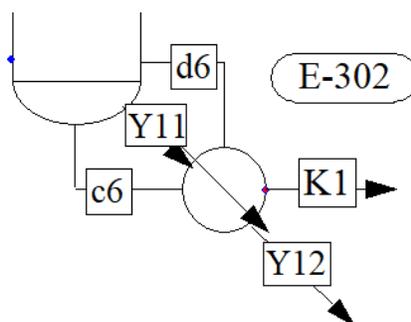


Figura 7. 22: Diagrama intercambiador E-302

Tabla 7. 41: Ecuaciones para balance de masa de E-302

Balance de masa	
Balance global	$d6 + Y11 = Y12 + c6 + K1$

Tabla 7. 42: Balance de masa y energía E-302

Balance de masa				
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	
d6	Entrada	14637,39	Líquido	
Y11	Entrada	7235,53	Vapor	
Masa de entrada total (kg/h) = 21872,92				
Y12	Salida	7235,53	Líquido	
K1	Salida	3359,07	Líquido	
c6	Salida	11278,32	Vapor	
Masa de salida total (kg/h) = 21872,92				
Balance de energía E-203				
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)
d6	Entrada	105,14	0,000	0,767
Y11	Entrada	165,00	1,000	0,453

K1	Salida	105,14	0,000	0,767
c6	Salida	105,14	1,000	0,767
Y12	Salida	165,00	0,000	1,391
Calor intercambiado (kcal/h)			3,58x10 ⁶	
λ (kcal/kg)			494,78	
Masa de vapor necesaria (kg/h)			7235,53	

❖ Equipo C-303

En la columna de destilación C-303, ingresa una corriente líquida, con ácido fórmico y agua y se obtiene por el fondo, ácido fórmico al 86%p/p, y por cabeza una corriente de principalmente agua que se envía a un tanque de almacenamiento.

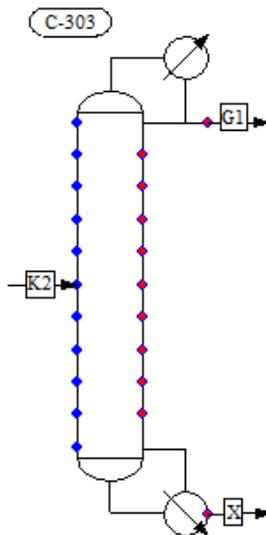


Figura 7. 23: Diagrama columna destilación C-303.

Tabla 7. 43: Ecuaciones para balance de masa de C-303

Balance de masa	
Balance global	$K2 = G1 + X$
Balance parcial para el ácido fórmico (A)	$K2 \cdot X_{K2-A} = X \cdot X_{X-A} + G1 \cdot X_{G1-A}$
Balance de energía	
Balance global	$K2 \cdot H_{K2} + Q_C = X \cdot H_X + Q_R + G1 \cdot H_{G1}$

Tabla 7. 44: Balance de masa y energía C-303

Balance de masa C-303					
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	Componentes	Fracción másica
K2	Entrada	3359,07	Líquido	Agua	0,464
				Ácido fórmico	0,536
Masa de entrada total (kg/h) 3359,07					
G1	Salida	1290,00	Líquido	Agua	0,989
				Ácido fórmico	0,011
X	Salida	2069,07	Líquido	Agua	0,140
				Ácido fórmico	0,860
Masa de salida total (kg/h) 3359,07					
Balance de energía C-303					
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Calor específico (kcal/kg°C)	
K2	Entrada	105,23	0,000	0,7607	
G1	Salida	144,15	0,000	0,6270	
X	Salida	152,65	0,000	1,0230	
Calor retirado en el condensador Q_C (kcal/h)			-3,48x10 ⁶		
Calor entregado en el rehedidor Q_R (kcal/h)			3,60x10 ⁶		

❖ Equipo E-303

El intercambiador de calor E-303 representa el condensador de la columna C-303 en la cabeza de esta. Aporta la energía necesaria para que la columna funcione de acuerdo a los requisitos establecidos para alcanzar la separación.

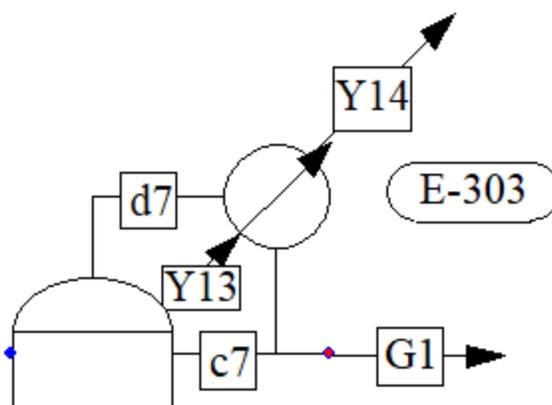


Figura 7. 24: Diagrama intercambiador E-303.

Tabla 7. 45: Ecuaciones para balance de masa de E-303

Balance de masa	
Balance global	$d7 + Y13 = Y14 + G1 + c7$

Tabla 7. 46: Balance de masa y energía E-303

Balance de masa E-303				
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado	
d7	Entrada	6927,30	Vapor	
Y13	Entrada	702066,00	Líquido	
Masa de entrada total (kg/h) = 708993,30				
G1	Salida	1290,00	Líquido	
Y14	Salida	702066,00	Líquido	
c7	Salida	5637,30	Líquido	
Masa de salida total (kg/h) = 708993,30				
Balance de energía E-303				
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)
d7	Entrada	144,15	0,000	1,023
Y13	Entrada	20,00	0,000	1,000
G1	Salida	144,15	0,000	1,023
c7	Salida	144,15	0,000	1,023
Y14	Salida	40,00	0,000	1,000
Calor intercambiado (kcal/h)			$-3,48 \times 10^6$	

Agua de enfriamiento		
Masa (kg/h)	Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)
702066,00	20	40

❖ Equipo E-304

El intercambiador de calor E-304 representa el rehervidor de la columna C-303 en el fondo de esta. Aporta la energía necesaria para que la columna funcione de acuerdo a los requisitos establecidos para alcanzar la separación.

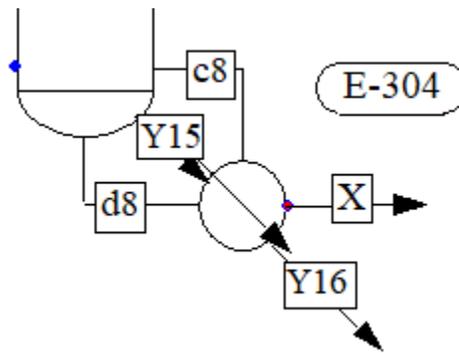


Figura 7. 25: Diagrama intercambiador E-304

Tabla 7. 47: Ecuaciones para balance de masa de E-304

Balance de masa	
Balance global	$d8 + Y15 = Y16 + c8 + X$

Tabla 7. 48: Balance de masa y energía E-304

Balance de masa			
Corriente	Tipo de corriente	Masa (kg/h)	Estado
d8	Entrada	27583,71	Líquido
Y15	Entrada	7275,64	Vapor
Masa de entrada total (kg/h) = 34714,88			
Y16	Salida	7275,96	Líquido
X	Salida	2069,07	Líquido
c8	Salida	25519,64	Vapor
Masa de salida total (kg/h) = 34714,88			

Balance de energía E-304				
Corriente	Tipo de corriente	Temperatura (°C)	Fracción vaporizada	Cp (kcal/kg°C)
d8	Entrada	152,65	0,000	0,6280
Y15	Entrada	165,00	1,000	0,4510
X	Salida	152,65	0,000	0,6280
c8	Salida	152,65	1,000	0,6280
Y16	Salida	165,00	0,000	1,0391
Calor intercambiado (kcal/h)			3,60x10 ⁶	
λ (kcal/kg)			494,78	
Masa de vapor necesaria (kg/h)			7275,96	

CAPÍTULO N°8: DISEÑO Y ADOPCIÓN DE EQUIPOS

8.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realizan los cálculos necesarios para el diseño de equipos correspondientes al diagrama de flujo y balance de masa y energía planteados en el capítulo 7. En algunos casos, se adoptan equipos disponibles en el mercado según los cálculos y evaluaciones realizadas.

A continuación, se detallan los equipos que se diseñan y los que se adoptan. Cabe destacar, que se consulta la base de datos de CHEMCAD 7 para obtener las propiedades de las sustancias que intervienen en el proceso, además de diversas bibliografías para seguir la metodología de cálculo de los equipos.

Tabla 8. 1: Diseño y adopción de equipos.

Equipo	Criterio
Intercambiadores de calor	Diseño
Tanques agitados	Diseño
Reactores	Diseño
Torres de destilación	Diseño
Torre de extracción líquido-líquido	Diseño
Flash	Diseño
Tanques de almacenamiento	Adopción/Diseño
Bombas	Adopción
Válvulas	Adopción

Fuente: Elaboración propia

8.2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

❖ Adopción

Para la adopción de los tanques de almacenamiento, se comienza calculando la capacidad requerida de los mismos, con la siguiente expresión:

$$V_L = \frac{F_{MA} \times t_{RM}}{\delta_A}$$

Ecuación 8. 1

Donde:

- V_L = capacidad requerida de almacenamiento (m³).
- F_{MA} = flujo másico de alimentación del proceso (kg/h).

- t_{RM} = tiempo de residencia (h).
- δ_A = densidad de la alimentación (kg/m³).

Se debe tener en cuenta que los recipientes por razones de seguridad se llenan como máximo al 80% de su capacidad, por lo que el volumen del tanque, es afectado por un porcentaje de 20%.

$$V_{RT} = \frac{V_L}{1 - F_S}$$

Ecuación 8. 2

Donde:

- V_{RT} = Volumen requerido de tanque (m³).
- F_S = Factor de seguridad.

El número de tanques requeridos se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$n_T = \frac{V_{RT}}{V_{TA}}$$

Ecuación 8. 3

Donde:

- n_T = Número de tanques requeridos.
- V_{TA} = Volumen de un tanque a adoptar (m³).

❖ Diseño

Para el caso en que se diseñe el tanque, se aplican las siguientes ecuaciones:

$$Vt = Vc + 2.Vf$$

Ecuación 8. 4

$$Vc = \frac{\pi \times D^2}{4} \cdot h$$

Ecuación 8. 5

$$V_f = \frac{\pi \cdot D^2}{6} \cdot H$$

Ecuación 8. 6

Donde:

- V_t = Volumen del tanque (m^3).
- V_c = Volumen del cilindro (m^3).
- V_f = Volumen del fondo (m^3).
- h = Altura del cilindro (m).
- H = Altura del fondo o de la cabeza (m), la cual puede suponerse igual a:

$$H = \frac{D}{4}$$

Ecuación 8. 7

Se sobredimensiona un 20% por seguridad:

$$V_t = \frac{m}{\delta} \cdot 1,2$$

Ecuación 8. 8

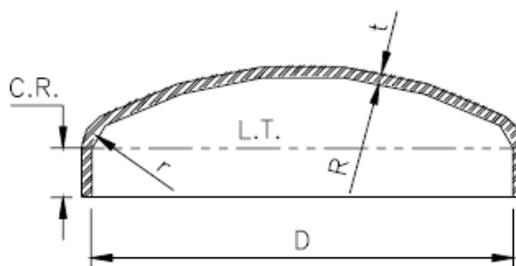
Donde:

- m = masa del componente en cuestión (kg).
- δ = Densidad del componente en cuestión (kg/ m^3).

Además, se adopta una relación de esbeltez (h/D) de 1,5.

En cuanto al espesor del recipiente, se escoge un valor de 5mm para el cuerpo y un valor mayor de espesor para el fondo (6mm) que es el mínimo que propone el código API-650 para el dimensionamiento de tanques atmosféricos y con fluidos líquidos.

Con respecto a los cabezales, para el almacenamiento de líquidos, se adoptan de tipo torisférico, como lo especifica ASME.



TORIESFERICA

Figura 8. 1: Tope y fondo de recipientes. Fuente: (Estrada, 2001)

Se procede a calcular los diferentes tanques del proceso.

8.2.1 Tanque de almacenamiento de metanol fresco

El metanol 99,85% p/p será adquirido semanalmente por medio de camiones, los cuales se controlan en la balanza de ingreso del parque industrial.

En la siguiente tabla se presentan los resultados, basados en las consideraciones del apartado 8.2.

Tabla 8. 2: Características y especificaciones tanque almacenamiento de metanol.

Fabricante	Bertotto y Boglione
Material	Acero al carbono
Volumen del tanque requerido (m³)	357,84
Densidad (kg/ m³)	794,35
Diámetro (m)	6,72
Espesor de la pared (mm)	5,00
Espesor del fondo (mm)	6,00
Altura del cilindro (m)	10,00
Altura del cabezal (m)	1,68
Diseño del cabezal	Torisférico
Diámetro de la boca de hombre (mm)	600

Fuente: Elaboración propia.



Figura 8. 2: Tanque almacenamiento metanol.

8.2.2 Tanque de almacenamiento de monóxido de carbono

El monóxido de carbono se compra a Air Liquide Argentina, quien lo importa y comercializa únicamente a alta pureza (mayor al 99%) en cilindros de aluminio conteniendo 10 m³ (50 l) a 200 bar. Los cilindros llegan a la planta en camiones.

La instalación para almacenamiento de grandes cantidades de gas se compone de un número de recipientes presurizados unidos entre sí. Se trata de un sistema modular de cilindros interconectados permanentemente por un colector.

En cuanto a los cilindros, cumplen con los requisitos del código ASME, y cada recipiente cuenta con una válvula de cierre en ángulo y disco de ruptura por seguridad. Estos recipientes, se almacenan bajo techo para protegerlos de cualquier daño físico y de la intemperie. El área destinada para tal fin no excede los 52°C y cuenta con buena ventilación, encontrándose lejos de materiales inflamables y corrosivos.

Existe una estación de reducción de presión, que controla de forma autónoma la misma, para alcanzar la presión de almacenamiento de 98,6 atm. Esta estación va instalada en un armario resistente a la intemperie, de forma tal de proteger los reguladores de reducción de presión dual y las válvulas. (Carburos Metálicos - Grupo Air Products)



Figura 8. 3: Ilustración almacenamiento monóxido de carbono. Fuente: (UNSA)

Como se observa en Figura 8.3, los cilindros se protegen y se encuentran asegurados con cadenas para evitar daños físicos, evitar que rueden o se caigan.

Tabla 8. 3: Características y especificaciones tanque almacenamiento CO.

Fabricante	Air Liquide
Material	Aluminio
Densidad (kg/ m³)	112,35
Caudal (kg/h)	1211
Volumen del cilindro (m³)	10
Diámetro del cilindro (mm)	232
Altura del cilindro (m)	1,42
Cantidad de cilindros	93

Fuente: Elaboración propia.

8.2.3 Tanque de almacenamiento del extractante

El tanque de almacenamiento del extractante se diseña considerando una alimentación de 8500kg/h para mantener stock durante 48h.

Tabla 8. 4: Especificaciones tanque almacenamiento extractante.

Fabricante	AEROTAN
Material	Acero 316L

Volumen del tanque requerido (m³)	526
Densidad (kg/ m³)	853
Caudal másico (kg/h)	8500
Diámetro (m)	7,1
Espesor de la pared (mm)	5
Espesor del fondo (mm)	6
Altura del cilindro (m)	10,7
Altura del cabezal (m)	1,4
Diseño del cabezal	Toriférico
Diámetro boca de hombre (mm)	600

Fuente: Elaboración propia.

8.2.4 Tanque de almacenamiento de agua

En este caso se adopta un tanque de almacenamiento de Eboplast considerando como tiempo de residencia, 24 horas. En la siguiente tabla se detallan los resultados:

Tabla 8. 5: Características y especificaciones tanque almacenamiento agua.

Fabricante	Eboplast S.A.
Material	Plástico reforzado con fibra de vidrio
Volumen del tanque requerido (m³)	126,13
Volumen del tanque adoptado (m³)	45,00
Cantidad de tanques requeridos	3
Tipo de tanque	Cilíndrico vertical atmosférico, simple pared
Diseño del cabezal	Toriférico
Densidad (kg/ m³)	997,84
Caudal másico (kg/h)	4370,00
Relación de esbeltez (r/h)	0,46
Diámetro externo (m)	4
Espesor de la pared (mm)	6,35 (1/4")
Altura (m)	4,38
Diámetro de la boca de hombre (mm)	600

Fuente: Elaboración propia.

8.2.5 Tanque de almacenamiento de producto

Se diseña tanque para el ácido fórmico, para el cual se consideran 48 horas como tiempo de residencia. En cuanto al material del recipiente, se prefiere acero 316L por las propiedades corrosivas del ácido fórmico.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 8. 6: Características y especificaciones tanque almacenamiento ácido fórmico.

Fabricante	AEROTAN
Material	Acero 316L
Volumen del tanque requerido (m³)	117,00
Densidad (kg/ m³)	1017,92
Caudal másico (kg/h)	2066,07
Diámetro (m)	4,63
Espesor de la pared (mm)	5
Espesor del fondo (mm)	6
Altura del cilindro (m)	6,95
Altura del cabezal (m)	1,16
Diseño del cabezal	Toriférico
Diámetro boca de hombre (mm)	600

Fuente: Elaboración propia.

8.2.6 Tolva para metóxido de sodio

Para el almacenamiento del catalizador sólido, metóxido de sodio, se opta por una tolva. Contenedor en forma de cilindro, con fondo en forma de cono invertido, terminado en una abertura más pequeña que el diámetro. La tolva, tiene la posibilidad de apertura en la parte inferior del cono para liberar lo almacenado cuando sea necesario.

Para el dimensionamiento de la tolva se emplean las siguientes ecuaciones.

$$V_{tol} = V_{cil} + V_{cono}$$

Ecuación 8. 9

$$V_{cil} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h$$

Ecuación 8. 10

$$V_{cono} = \frac{\pi \cdot D^2}{12} \cdot H_c$$

Ecuación 8. 11

Donde:

- V_{tol} = Volumen de la tolva (m^3).
- D = Diámetro interno del cilindro (m).
- V_{cil} = Volumen del cilindro (m^3).
- V_{cono} = Volumen del cono (m^3).
- h = Altura del cilindro (m).
- H_c = Altura del cono de la tolva (m).

La altura del cono puede calcularse como:

$$H_c = \frac{D/2}{\tan\theta}$$

Ecuación 8. 12

Donde:

- θ = Mitad del ángulo interno del cono.
- D = Diámetro interno del cono (m).

Para la tolva se adopta una relación de esbeltez (h/D) igual a 3, se considera que los sólidos ocupan hasta un 80% de su volumen por cuestiones de seguridad, y se diseña para mantener stock por una semana. Se tiene en cuenta el caudal de alimentación fresca, cuando la planta entra en regimen, ya que la cantidad restante se recircula.

A continuación se detallan los resultados.

Tabla 8. 7: Características y especificaciones tolva almacenamiento.

Fabricante	Servinox
Material	Acero 316L
Densidad (kg/m^3)	943,827
Masa (kg/h)	5

Relación de esbeltez	3
Volumen total (m3)	1,068
Altura total (m)	3,49
Volumen del cilindro (m3)	0,879
Diámetro del cilindro (m)	0,72
Altura del cilindro (m)	2,159
Diámetro boca de hombre (mm)	600
Volumen del cono (m3)	0,189
Altura del cono (m)	1,33
Ángulo que forma cono	30°
Espesor (mm)	5

Fuente: Elaboración propia.

8.3 MEZCLADORES

Los tanques mezcladores cuentan con un cuerpo cilíndrico, mientras que la tapa y el fondo son torisférico, con el objetivo de evitar que se presenten volúmenes muertos. Se establece una relación de esbeltez de 1,5 y un margen de seguridad del 15%.

Para el diseño del sistema de agitación, se calculan las dimensiones y la potencia necesaria del mismo según procedimiento establecido por McCabe y Smith, detallado a continuación.

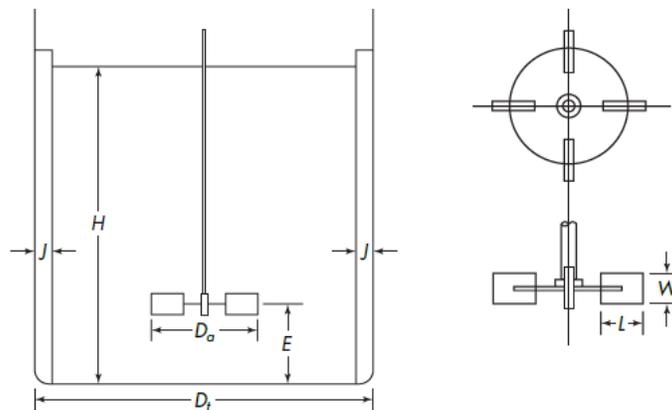


Figura 8. 4: Dimensiones características de un agitador de turbina.

Las relaciones típicas adoptadas para la geométrica del agitador son:

$$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3} \quad \frac{E}{Dt} = \frac{1}{3} \quad \frac{W}{Da} = \frac{1}{5} \quad \frac{L}{Da} = \frac{1}{4} \quad \frac{J}{Dt} = \frac{1}{12} \quad \frac{H}{Dt} = 1$$

Donde:

- Da = Diámetro del agitador.
- Dt = Diámetro del tanque.
- E = Altura del agitador sobre el fondo del tanque.
- W = Ancho de las palas del rodete.
- L = Longitud de las palas del rodete.
- J = Ancho de las placas deflectoras.
- H = Altura de líquido.

Para conocer la potencia necesaria se efectúa la correlación entre el número de Reynolds y el número de potencia, aplicando una resolución de las ecuaciones:

$$N_{Re} = \frac{n \cdot Da^2 \cdot \delta}{\mu}$$

Ecuación 8. 13

En tanques con placas deflectoras y donde el N_{Re} puede considerarse mayor a 10.000 la potencia puede calcularse como:

$$P = \frac{n^3 \cdot \Phi \cdot Da^5 \cdot \delta}{g_c \cdot 76,04}$$

Ecuación 8. 14

Donde:

- N_{Re} = Número de Reynolds (adimensional).
- Φ = Función de potencia (adimensional).
- n = Revolución por segundo (1/s).
- δ = Densidad del medio agitado (kg/m^3).
- μ = Viscosidad del medio agitado (kg/m.s).
- g_c = Constante gravitacional (kg.m/kgf.s^2).
- P = Potencia (HP).

Para la construcción de los tanques agitados se selecciona como material acero inoxidable AISI 304.

8.3.1 Mezclador de metanol y metóxido de sodio

Se define como mezcla a la distribución al azar de dos fases inicialmente separadas, utilizando como medio para tal fin la agitación.

La mezcla tiene por objeto lograr la disolución del catalizador en metanol, para luego obtener una corriente única que continúa el proceso.

8.3.1.1 Cálculo dimensiones de tanque mezclador

La corriente de mezcla resultante que se sale del equipo M1, es bombeada hacia el intercambiador de calor E-101.

La corriente M1 posee las siguientes características:

- Caudal másico: 4852,92 kg/h.
- Densidad 764,75 kg/m³.
- Viscosidad: 0,3839 cP.
- Tiempo de residencia: 15 minutos.

Se procese en primer lugar, al cálculo del tamaño necesario para el tanque de agitado.

En el diseño del tanque, se utiliza como base el código API 650, correspondiente a tanques de acero soldado a presiones atmosféricas o bajas presiones. Diseñados para la construcción con seguridad adecuada y costos razonables, para el almacenamiento de petróleo y sus derivados u otros líquidos. Para la construcción se selecciona como material acero inoxidable AISI 304 debido a que es apto para la industria química y petroquímica.

Dentro del código API, se emplea el apéndice A, que establece lineamientos para tanques pequeños (hasta aproximadamente 100000 barriles), montados en campo, en los cuales los componentes sometidos a esfuerzos tienen un espesor nominal máximo de 12,5 mm incluyendo la tolerancia de corrosión. (API 650, 2007)

8.3.1.2 Cálculo de sistema de agitación

En cuanto al sistema de agitación, se emplea para lograr la mezcla homogénea para alimentar al proceso, disolviendo las partículas sólidas de catalizador en el líquido. Las partículas se mantienen en movimiento debido a las corrientes de líquido.

Se calculan las dimensiones y la potencia necesaria para el sistema de agitación, según el procedimiento establecido por McCabe y Smith. Se utiliza un rodete de turbina de 6 palas planas y 4 placas deflectoras para evitar remolinos. Se estima que los agitadores industriales típicos giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm.

8.3.1.3 Cálculo de potencia del agitador

Para calcular la potencia se utilizan las ecuaciones mencionadas con anterioridad. A partir de la velocidad de giro del agitador adoptado, densidad, número de potencia y el diámetro del agitador se obtiene la potencia requerida para lograr la agitación. Valor 0,8 HP.

Cuando se dispone de cuatro placas deflectoras y N_{Re} mayor a 10000, la potencia puede calcular por medio de la velocidad del agitador, densidad, diámetro del agitador y la constante para turbinas K_T .

8.3.1.4 Resumen y especificaciones del mezclador M-101

Tabla 8. 8: Características mezclador M-101.

Mezclador M-101	
Fabricante	Servinox
Material	Acero inoxidable AISI 304
Caudal (kg/h)	4852,92
Densidad (kg/ m ³)	764,75
Especificaciones del tanque	
Volumen del tanque (m ³)	1,80
Capacidad requerida (m ³)	1,58
Diámetro (m)	1,15
Altura del tanque (m)	1,73
Agitador	
Diámetro de agitador (Da) (mm)	380
Distancia del agitador al fondo (E) (mm)	380

Ancho de pala (W) (mm)	76
Largo de pala (L) (mm)	95
Deflectores	4
Ancho deflectores (mm)	96
Revoluciones por minuto (n)	150
Potencia requerida (HP)	0,8
Motor eléctrico	
Fabricante	WEG
Tipo	Trifásico, asíncrono, de inducción
Serie	W22
Carcasa	Aluminio 90L
Frecuencia	50 Hz
Rotación sincrónica	1500 rpm
Masa aproximada	7 kg
Potencia	2 HP
Caja reductora	
Fabricante	WEG
Tipo	Motorreductor coaxial
Modelo	WG20-00
Relación de reducción	2,44 – 47,44
Potencia soportada	0,12 – 0,75 kW
Rango de velocidad de salida	29 – 573 rpm

Fuente: Elaboración propia.

La potencia real requerida para el motor se obtiene al realizar el cociente entre la potencia teórica calculada (0,80 HP) y el rendimiento teórico del reductor de acuerdo a las especificaciones del proveedor (valor 0,90).

$$P_{Real} = \frac{\text{Potencia teórica}}{\text{Rendimiento del motorreductor}} = 0,9 \text{ HP}$$

Ecuación 8. 15

Se adopta un motor de marca WEG de 2HP, cuyas características se encuentran detalladas en Tabla 8.8.

8.3.2 Mezclador de agua, formiato de metilo y recirculación

El objetivo de este equipo es mezclar el agua fresca de ingreso con la corriente de cabeza de la torre de destilación, consistente principalmente en formiato de metilo con la recirculación del formiato no convertido en el reactor.

8.3.2.1 Cálculo dimensiones de tanque mezclador

La corriente de mezcla resultante que se sale del equipo denominada N1, ingresa luego a la bomba P-201 e intercambiador E-201 para ser acondicionada para reaccionar.

La corriente N1 posee las siguientes características:

- Caudal másico: 7106,40 kg/h.
- Densidad: 985,88 kg/m³.
- Viscosidad: 0,82 cP
- Tiempo de residencia: 10 minutos.

Se procese en primer lugar, al cálculo del tamaño necesario para el tanque de agitado.

Para la construcción se selecciona como material acero inoxidable AISI 304 debido a que es apto para la industria química y petroquímica.

8.3.2.2 Cálculo de sistema de agitación

Se calculan las dimensiones para el sistema de agitación, según el procedimiento establecido por McCabe y Smith. Se utiliza un rodete de turbina de 6 palas planas y 4 placas deflectoras para evitar remolinos. Se estima que los agitadores industriales típicos giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 rpm.

8.3.2.3 Cálculo de potencia del agitador

Para calcular la potencia se utilizan las ecuaciones mencionadas con anterioridad. A partir de la velocidad de giro del agitador adoptado, densidad, número de potencia y el diámetro del agitador se obtiene la potencia requerida para lograr la agitación. Valor 0,66 HP.

Cuando se dispone de cuatro placas deflectoras, $\phi = N_{Re}$ a partir del N_{Re} se determina que ϕ (función de potencia) es igual a 6.

8.3.2.4 Resumen y especificaciones del mezclador M-201

Tabla 8. 9: Características mezclador M-201.

Mezclador M-201	
Fabricante	Servinox
Material	Acero inoxidable AISI 304
Caudal (kg/h)	7106,40
Densidad (kg/ m ³)	995,88
Especificaciones del tanque	
Volumen del tanque (m ³)	1,37
Capacidad requerida (m ³)	1,19
Diámetro (m)	1,05
Altura del tanque (m)	1,56
Agitador	
Diámetro de agitador (Da) (mm)	350
Distancia del agitador al fondo (E) (mm)	117
Ancho de pala (W) (mm)	70
Largo de pala (L) (mm)	87,5
Deflectores	4
Ancho deflectores (J) (mm)	87,5
Revoluciones por minuto (n)	150
Potencia requerida (HP)	0,66
Motor eléctrico	
Fabricante	WEG
Tipo	Trifásico, asíncrono, de inducción
Serie	W22
Carcasa	Aluminio 90L
Frecuencia	50 Hz
Rotación sincrónica	1500 rpm
Masa aproximada	7 kg

Potencia	2 HP
Caja reductora	
Fabricante	WEG
Tipo	Motorreductor coaxial
Modelo	WG20-00
Relación de reducción	2,44 – 47,44
Potencia soportada	0,12 – 0,75 kW
Rango de velocidad de salida	29 – 573 rpm

Fuente: Elaboración propia.

La potencia real requerida para el motor se obtiene al realizar el cociente entre la potencia teórica calculada (0,66 HP) y el rendimiento teórico del reductor de acuerdo a las especificaciones del proveedor (valor 0,90).

$$P_{Real} = \frac{Potencia\ teórica}{Rendimiento\ del\ motorreductor} = 0,73\ HP$$

Se adopta un motor de marca WEG de 2HP, cuyas características se encuentran detalladas en Tabla 8.9.

8.4 REACTORES

8.4.1 Reactor carbonilación de metanol

La reacción de carbonilación se produce en un reactor tanque agitado con flujo mezcla completa, que opera de manera continua e isotérmicamente a 44 atmósferas de presión y a 80°C.

La reacción entre el metanol y monóxido de carbono es exotérmica y para mantener la temperatura constante, se retira el calor excedente haciendo circular agua de enfriamiento por la camisa con la que cuenta el equipo. Además, el reactor cuenta con sistema de agitación para lograr un mejor contacto entre las fases líquida y gaseosa.

8.4.1.1 Cinética de reacción

La reacción entre el metanol y el monóxido de carbono, con metóxido de sodio como catalizador, es de primer orden respecto al metanol y de primer orden respecto al monóxido de carbono, por lo que, el orden global de reacción es igual a 2.

Siendo su ecuación cinética:

$$(-r) = \frac{-dp(CO)}{dt} = k \cdot [MeOH]^\alpha \cdot p(CO)^\beta$$

Ecuación 8. 16

Donde p(CO) es la presión parcial del monóxido en MPa, k es la constante de reacción expresada en l/mol.min, [MeOH] es la concentración del metanol líquido en mol/l y α y β son los órdenes de reacción respectivamente.

Siendo el valor de la constante de reacción, a 80°C igual a k=0.0553 l/mol.min (Liang Chen, 2004)

De acuerdo con la Ecuación de Arrhenius:

$$k = A \cdot e^{\frac{-\Delta E}{RT}}$$

Ecuación 8. 17

El valor de la energía de activación es $\Delta E=67,63$ kJ/mol, mientras que $A=9,66 \times 10^6$ (Kinetics of Methanol Carbonylation to Methyl Formate, 2004)

8.4.1.2 Diseño del reactor de carbonilación

El diseño mecánico del reactor tanque se realiza bajo normas y códigos de ASME, en especial en base al Código de Calderas y Recipientes a Presión de ASME (BPVC), que establece normas para el diseño, fabricación e inspección de calderas y recipientes a presión, para alcanzar una larga vida de servicio útil, asegurando la protección de la vida humana y la propiedad.

Para el diseño, se toman en cuenta el tiempo de residencia, las propiedades del fluido, las condiciones de seguridad y el objetivo de la operación.

En la sección VIII división 1 del código ASME se establecen los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación e inspección de los recipientes a presión, especificándose allí, las fórmulas y parámetros que se deben considerar.

Normalmente deben ser diseñados para la más severa condición de presión esperada en operación normal más un incremento del valor mayor del 10%.

El reactor continuo tanque agitado se utiliza para llevar a cabo la reacción en fase líquida y gaseosa, siendo su operación en estado estacionario. Por lo cual, la ecuación de diseño empleada es la siguiente.

$$\theta = \frac{V \cdot C_A^0}{F_{A0}} = \frac{X_A \cdot C_A^0}{-r_A} = \frac{C_A^0 - C_A}{-r_A}$$

Ecuación 8. 18

Donde:

- θ = Tiempo espacial (h).
- V = Volumen de reacción (m^3).
- C_A^0 = concentración inicial de A (mol/m^3).
- C_A = concentración de A (mol/m^3).
- F_{A0} = flujo molar de A que ingresa al reactor (mol/h).
- X_A = conversión molar de A.
- $-r_A$ = velocidad de reacción de A ($mol/m^3 \cdot h$).

Las variables X_A , $-r_A$ y C_A se evalúan de acuerdo a las condiciones de la corriente de salida del reactor, ya que son iguales a las existentes dentro del mismo. Se considera como reactivo A el monóxido de carbono.

En la siguiente tabla, se resumen los valores calculados para el reactor.

Tabla 8. 10: Diseño de reactor de carbonilación.

Tiempo espacial	0,12 h
Concentración inicial CO	1203,09 mol/m^3
Flujo molar de CO	45452,84 mol/h
Conversión	0,95
Volumen	4,65 m^3
Volumen final	5,58 m^3

Fuente: Elaboración propia.

El volumen final del reactor se calcula teniendo en cuenta un margen de seguridad del 20%.

$$V_{reactor} = 4,65m^3 \cdot 1,2 = 5,58m^3$$

Bajo la normativa ASME, sección VIII, ya que se trata de un recipiente a presión elevada. Se sigue el procedimiento descrito y las ecuaciones a continuación, se considera una relación de esbeltez del cuerpo del cilindro de 1,5.

Para dar comienzo a los cálculos, se debe determinar a partir de la presión de operación, la presión de diseño. Teniendo en cuenta que, si la presión de operación supera las 300 lb/pulg², la presión de diseño se calcula de la manera indicada a continuación.

$$P = 1,1.(P_0 + P_H)$$

Ecuación 8. 19

Donde:

- P_H = Presión hidrostática.
- P_0 = Presión de operación.
- P = Presión de diseño.

El reactor de carbonilación posee una presión de operación de 646,36 lb/pulg² y una presión de diseño igual a 713 lb/pulg², teniendo en cuenta el margen de seguridad y la carga producida en las paredes debido al peso del fluido dado que el recipiente es vertical.

En cuanto al cálculo del espesor se utiliza la ecuación:

$$t = \frac{P.R}{S.E - 0,6.P}$$

Ecuación 8. 20

Donde:

- R = Radio interior del recipiente.
- S = Valor máximo de esfuerzo permitido de placa de acuerdo al material. (lb/pulg²).
- E = Eficiencia de las juntas examinadas por zonas.
- t = Espesor de pared. (pulg).

Se adoptan los valores de $E = 1$ y $S = 12700$ lb/pulg² de acuerdo a la temperatura de diseño que se encuentra entre el rango de 20 a 60 °F.

Los recipientes sometidos a presión pueden construirse con distintos tipos de tapas o cabezas. Para este reactor, se seleccionan tapas torisférica ya que favorece la ausencia de volúmenes muertos, además de poseer mayor aceptación industrial por su bajo costo y gran soporte de presiones manométricas.

Para el cálculo del espesor del material de construcción de la tapa y el fondo se emplea la ecuación a continuación. (Megyesy)

$$t = \frac{P.L.M}{2S.E - 0,2.P}$$

Ecuación 8. 21

Donde:

- L = Radio esférico interior (cm).
- M = Factor que depende de la relación L/r (adimensional).
- r = Radio rebordeo interior (cm).
- t = Espesor mínimo requerido sin corrosión (cm).

De acuerdo a los cálculos realizados, el espesor requerido (e) para el fondo y tope del reactor es de 52,26mm.

$$h1 = 3,5.e$$

Ecuación 8. 22

$$h2 = 0,1935.D - 0,455.e$$

Ecuación 8. 23

$$H = h1 + h2 + e$$

Ecuación 8. 24

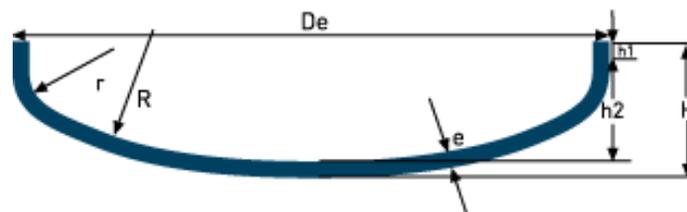


Figura 8. 5: Dimensiones fondo tipo torisférico. Fuente: (Klopper DIN)

En la Tabla 8.11 se muestran los valores obtenidos de las dimensiones finales del reactor.

Tabla 8. 11: Características reactor.

Reactor de carbonilación	
Fabricante	Servinox

Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Volumen adoptado (m ³)	5,58
Altura total (m)	3,20
Altura de cilindro (m)	2,52
Volumen requerido (m ³)	4,65
Diámetro interno (m)	1,68
Espesor de pared (mm)	49
Fondo	
h1 (mm)	182,91
h2 (mm)	301,30
H (mm)	536,47
e (mm)	52,26
Tope	
h1 (mm)	182,91
h2 (mm)	301,30
H (mm)	536,47
e (mm)	52,26

Fuente: Elaboración propia.

8.4.1.3 Sistema de agitación

Por medio de la agitación, se logra dispersar un gas en el seno de un líquido en forma de pequeñas burbujas.

El agitador de turbina, denominado agitador de disco con álabes se emplea para dispersar un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior del eje del rodete, las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas. (Mc Cabe, Smith, & Harriott, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 2007)

El objetivo del agitado es dispersar las corrientes de gas y líquido con catalizador disuelto y la corriente de recirculación, logrando, además, aumentar con la mezcla de las corrientes la temperatura de salida, alcanzando esta última el valor adecuado para el reactor.

Los agitadores de turbinas giran a velocidad, de 20 a 150 rpm, sobre el eje central del tanque. Son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades. Las corrientes principales

son radiales y tangenciales. Las corrientes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras. Generalmente es suficiente colocar cuatro deflectores regularmente espaciados. La anchura óptima de los deflectores depende del diseño del rodete y de la viscosidad del fluido, pero es del orden de 1/10 a 1/12 el diámetro del tanque. (Mc Cabe, Smith, & Harriott, Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 2007)

Se selecciona un agitador de turbina de 6 palas planas y disco. Se adopta una velocidad de giro de 100 rpm.

En la siguiente se detallan las características del diseño del sistema de agitación.

Tabla 8. 12: Características agitar del reactor.

Agitador	
Diámetro de agitador (Da) (m)	0,56
Distancia del agitador al fondo (E) (m)	0,56
Ancho de pala (W) (m)	0,11
Largo de pala (L) (m)	0,14
Deflectores	4
Ancho deflectores (m)	0,14
Revoluciones por minuto (n)	100
Potencia requerida (HP)	0,37
Motor eléctrico	
Fabricante	WEG
Tipo	Trifásico, asíncrono, de inducción
Modelo	W22 B3
Carcasa	Aluminio 90L
Potencia adoptada	1 HP
Frecuencia	50 Hz
Rotación sincrónica	1500 rpm
Masa aproximada	7 kg
Caja reductora	
Fabricante	WEG

Tipo	Motorreductor coaxial
Modelo	WG20-00
Relación de reducción	2,44 – 47,44
Potencia soportada	0,12 – 0,75 kW

Fuente: Elaboración propia.

La potencia real requerida para el motor se obtiene al realizar el cociente entre la potencia teórica calculada (0,37 HP) y el rendimiento teórico del reductor de acuerdo a las especificaciones del proveedor (valor 0,90).

$$P_{Real} = \frac{Potencia\ teórica}{Rendimiento\ del\ motorreductor} = 0,41\ HP$$

Se adopta un motor de marca WEG de 1HP, cuyas características se encuentran detalladas en Tabla

8.4.1.4 Sistema de refrigeración

El sistema de transferencia de calor debe ser capaz de controlar la temperatura del equipo para que la reacción se lleve a cabo a la temperatura óptima de 80°C. Se opta para tal fin, por una camisa de mediacaña, que consiste en un tubo cortado a la mitad soldado en la periferia del reactor, permitiendo que el fluido circulante tenga una mayor velocidad y otorgando buen área de transferencia.

Esta camisa, posee la ventaja que no contamina el producto, provee mayor resistencia a la pared.

Durante el transcurso de la reacción, se libera calor y como consecuencia la temperatura del sistema se eleva. Como se menciona anteriormente, se hace uso de camisa de enfriamiento de mediacaña ubicada en la periferia del reactor.

El fluido de refrigeración es agua, la cual ingresa a una temperatura de 20°C y sale aproximadamente a 25°C. La masa necesaria de este fluido se obtiene mediante balance de energía.

Para el diseño térmico de la camisa de mediacaña se utilizan las ecuaciones de los coeficientes de transferencia de calor proporcionadas por del autor John J. McKetta (1991) en Heat Transfer Design Methods.

El área de transferencia se calcula a partir de la ecuación:

$$Q = U_D \cdot A \cdot \Delta T_{MDL}$$

Ecuación 8. 25

Donde:

- Q = Calor transferido (BTU/h).
- A = Área de transferencia de calor (pie²).
- U_D = Coeficiente total de transferencia de calor (BTU/h.pie². °F).
- ΔT_{MDL} = Diferencia de temperatura media logarítmica (°F).

Para la diferencia de temperatura media logarítmica se utiliza la ecuación:

$$\frac{U \cdot A \cdot \theta}{M \cdot C_p} = \ln \frac{T - t_1}{T - t_2}$$

Ecuación 8. 26

Donde:

- t₁ = Temperatura inicial dentro del reactor (°F).
- t₂ = Temperatura final dentro del reactor (°F).
- T = Temperatura promedio del agua de enfriamiento (°F).
- M = Masa contenida en el reactor (lb).
- C_p = Calor específico (BTU/lb.°F).

Mientras que el coeficiente global de transferencia se obtiene de:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_j} + f f_i + f f_j + \frac{x}{k m}$$

Ecuación 8. 27

Donde:

- h_i = Coeficiente de película de transmisión de calor interno (BTU/pie².h.°F).
- h_j = Coeficiente de película de transmisión de calor externo (BTU/pie².h.°F).
- ffi = Coeficiente de ensuciamiento interno (pie².h.°F /BTU):
- ffj = Coeficiente de ensuciamiento externo (pie².h.°F /BTU).
- x = Espesor pared del reactor (pie).
- k_m = Conductividad térmica del material del reactor (BTU/h.pie.°F).

Para el acero inoxidable AISI 304 la conductividad es de 9,1 BTU/h.pie.°F (McKetta)

La estimación de los coeficientes de película interno y externo se realiza en base al agitador seleccionado y el tipo de camisa empleada. Dado que el agitador es del tipo turbina de 6 palas planas, se utiliza la correlación de Chilton, Drew y Jebens para recipientes con agitación mecánica.

$$h_i = \frac{0,36 \cdot k}{D_{ti}} \cdot \left(\frac{Da^2 \cdot N \cdot \delta}{\mu} \right)^{0,67} \cdot \left(\frac{Cp \cdot k}{\mu} \right)^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

Ecuación 8. 28

Donde:

- h_i = Coeficiente de película interno (BTU/h.pie².°F).
- k = Conductividad térmica (BTU/h.pie.°F).
- D_{ti} = Diámetro interno del reactor (pie).
- Da = Diámetro del agitador (pie).
- N = Revoluciones por hora (1/h).
- δ = Densidad del fluido dentro del reactor (lb/pie³).
- μ = Viscosidad del fluido (lb/pie.h).
- Cp = Calor específico del fluido dentro del reactor (BTU/lb.°F).

Tabla 8. 13: Camisa reactor R-101.

Camisa de mediacaña R-101	
Calor intercambiado	2,79x10 ⁵ kcal/h
h_i	2524,63 kcal/h.m ² .°C
h_j	6618,3 kcal/h.m ² .°C
U	1306,56 kcal/h.m ² .°C

Área de intercambio	47,58 m ²
Número de vueltas	19
Longitud de serpentín (m)	122
Distancia entre vueltas (mm)	8

La longitud del tubo puede calcularse a partir de la siguiente ecuación

$$L = \frac{A}{DE \cdot \pi}$$

Ecuación 8. 29

Donde:

- DE = Diámetro externo tubería camisa mediacaña, el cual posee un valor de 0,125m.

El cálculo de la cantidad de vueltas

$$n = \frac{L}{\pi \cdot D}$$

Ecuación 8. 30

Donde:

- n = Número de vueltas camisa mediacaña.
- L = Longitud del tubo.
- D = Diámetro externo del recipiente.

8.4.2 Reactor de hidrolisis de formiato de metilo

La reacción de hidrolisis de formiato de metilo se lleva a cabo en un reactor tanque agitado con flujo mezcla completa, que opera de manera continua e isotérmica a 10 atmósferas de presión y a 120°C.

La reacción entre el formiato de metilo y el agua es endotérmica por lo cual, para mantener la temperatura constante, se debe suministrar calor haciendo circular vapor por la camisa con la que cuenta el equipo. Además, el reactor cuenta con sistema de agitación.

8.4.2.1 Cinética de reacción

El formiato de metilo se hidroliza como sigue:



En el modelo de la ecuación cinética se ha considerado que la hidrólisis tiene lugar en fase líquida únicamente.

Como se mencionó anteriormente, esta reacción es auto catalítica, ya que el producto ácido fórmico actúa como catalizador. La velocidad de reacción en ausencia de catalizador se expresa de la siguiente forma:

$$(-r_A) = f \cdot (C_A \cdot C_B - \frac{1}{K_C} \cdot C_C \cdot C_D)$$

Ecuación 8. 31

$$f = k^o + k' \cdot C_C$$

Ecuación 8. 32

Donde:

- $(-r_A)$ = Velocidad de desaparición del formiato de metilo ($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).
- C_A = Concentración de formiato de metilo a la salida ($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$).
- C_B = Concentración de agua a la salida ($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$).
- C_C = Concentración de ácido fórmico a la salida ($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$).
- C_D = Concentración de metanol a la salida ($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$).
- K_C = Constante de equilibrio.
- f = Factor de eficacia.
- k^o = Constante de velocidad de la disociación de B ($\text{kg}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$).
- k' = Constante de velocidad de la reacción auto catalítica ($\text{kg}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$).

Cuando se emplea ácido fórmico como catalizador, se considera que la constante de velocidad de la reacción no catalizada es despreciable comparada con la constante de velocidad de la reacción catalizada. Es decir:

$$(-r_A) = k \cdot C_{H^+} \cdot (C_A \cdot C_B - \frac{1}{K_C} \cdot C_C \cdot C_D)$$

Ecuación 8. 33

Donde:

C_{H^+} = Concentración del protón

k = Constante de velocidad de la reacción catalizada por ácido fórmico ($\text{kg}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$).

Según la fuerza del ácido, la concentración del protón está relacionada con la concentración analítica del ácido, dado que, para ácidos fuertes, $C_{H^+} = C_C$, mientras que, para ácidos débiles, C_{H^+} es proporcional a $\sqrt{C_C}$. En el caso de la hidrólisis de formiato de metilo en

presencia de ácido fórmico, como se trata de un ácido relativamente débil, se asume que $C_{H^+} = (k_d \cdot C_C)^{0.5}$. Cabe destacar que C_{H^+} incluye el ácido añadido y el generado por autocatálisis. (Jogunola, Salmi, Warnaa, & Mikkolaa, 2011)

La velocidad de reacción queda:

$$(-r_A) = k \cdot (C_A \cdot C_B - \frac{C_C \cdot C_D}{K_C}) \cdot (k_d \cdot C_C)^{0.5}$$

Ecuación 8. 34

Donde:

- k_d = Constante de disociación del ácido fórmico ($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$).

A continuación, se mencionan los parámetros cinéticos que intervienen en la ecuación de la velocidad de reacción. (Jogunola, Salmi, Warnaa, & Mikkolaa, 2011)

- Constante de velocidad de reacción catalizada por ácido fórmico, $k=0,39 \text{ kg}^2 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$.
- Constante de equilibrio, $K_C=0,22$.
- Constante de disociación del ácido fórmico (k_d): $1,8 \cdot 10^{-4}$.

8.4.2.2 Cálculo del volumen del reactor y tiempo de residencia

Como la mezcla reaccionante no se encuentra lo suficientemente homogeneizada, se prefiere un reactor tanque agitado, dispuesto de agitación.

Un reactor mezcla completa, es un reactor ideal de flujo estacionario, donde su contenido está perfectamente agitado, y su composición en cada es la misma en cada instante en todos los puntos del reactor, por lo que, la corriente de salida de este reactor tiene la misma composición que la del fluido contenido en su interior. A este tipo de flujo se le denomina flujo en mezcla completa. (Levenspiel, 1986)

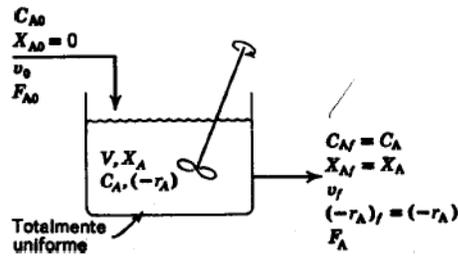


Figura 8. 6: Reactor mezcla completa. Fuente: (Levenspiel, 1986)

Para el diseño del reactor, se utiliza la ecuación 8.16, mencionada con anterioridad. La velocidad de desaparición del formiato de metilo es la que se usa para el cálculo del volumen del reactor:

$$V = \frac{X_A \cdot F_{A0}}{k \cdot \left(C_A \cdot C_B - \frac{C_C \cdot C_D}{K_C} \right) \cdot (k_d \cdot C_C)^{0,5}}$$

Ecuación 8. 35

La conversión empleada es de 0.9, y las concentraciones corresponden a las de salida del reactor, expresadas en mol de componente respecto de los kg totales. Las demás constantes son las mencionadas en el inciso anterior.

En la siguiente tabla se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 8. 14: Características reactor de hidrólisis.

Reactor de hidrólisis	
Fabricante	Servinox
Material de construcción	Acero inoxidable AISI 304
Volumen total (m ³)	13,54
Altura total (m)	3,19
Diámetro (m)	2,26
Tiempo de residencia (h)	1,68

Fuente: Elaboración propia.

Con el volumen interno calculado en el apartado anterior, se procede a calcular el volumen de los cabezales, longitud y diámetro.

Se adoptan una relación de longitud/diámetro igual a 1,5 y cabezales de tipo torisférico.

En cuanto al sistema de agitación, se seleccionan turbinas de disco con 6 palas. Este tipo de agitador genera fuertes corrientes en todo el recipiente, pero, sobre todo cerca del rodete. Las corrientes principales son radiales y tangenciales, los componentes tangenciales generan vórtices, los cuales deben ser destruidos por placas deflectoras para una agitación más eficaz. Estas placas se instalan de forma vertical y perpendicular a la pared del tanque.

Los agitadores industriales de palas giran a velocidades entre 20 y 150 rpm, por lo que se escoge un valor promedio de 90 rpm.

Generalmente se emplean 4 placas deflectoras y de 4 a 16 palas del agitador, pero preferentemente 6 u 8, por lo que se seleccionan 4 placas deflectoras y 6 palas del agitador. (Mc Cabe, Smith, & Harriott)

Otra dimensión a calcular es el espesor del reactor. Se utiliza la ecuación 8.20 (Walas, 1990)

Con respecto a la presión de diseño, hay dos criterios, según el código ASME:

$$P_0 > 300\text{psi}, P = 1,1 \cdot P_0$$

Ecuación 8. 36

$$P_0 < 300\text{psi}, P = P_0 + 30 \text{ psi}$$

Ecuación 8. 37

La presión de trabajo es menor a 300 psi por lo que se utiliza la ecuación 8.37, brinda mayor seguridad por cuestiones de seguridad.

En cuanto al material de diseño, se selecciona acero inoxidable 316L por las propiedades corrosivas de los componentes.

Calculando el espesor mínimo queda un valor de, 13,21mm. Para el espesor de los cabezales torisférico, Walas propone:

$$t = \frac{0,885 \cdot P \cdot M}{S \cdot E - 0,1 \cdot P}$$

Ecuación 8. 38

$$M = \frac{L}{2} + F$$

Ecuación 8. 39

Resultando un espesor de 25,4 mm.

8.4.2.3 Sistema de agitación

Se calcula en número de Reynolds para determinar el consumo de potencia del agitador. De acuerdo con Ecuación 8.13.

Se obtiene un valor de $1,835 \cdot 10^8$, por lo que, al ser mayor a 10000 y tener placas deflectoras, el consumo de potencia se calcula como sigue (Mc Cabe, Smith, & Harriott):

$$P = \frac{K_T \cdot n^3 \cdot Da^5 \cdot \delta}{g_c}$$

Ecuación 8. 40

Empleando $K_T=6,30$ para turbina de palas planas, se obtiene una potencia de 6,24 CV. Según la potencia calculada anteriormente, se escoge el motor eléctrico correspondiente. En la siguiente tabla se resumen las características del motor seleccionado, agitador y caja reductora.

Tabla 8. 15: Características agitador, motor y caja reductora adoptada.

Agitador	
Diámetro de agitador (Da) (m)	0,75
Distancia del agitador al fondo (E) (m)	0,75
Ancho de pala (W) (m)	0,15
Largo de pala (L) (m)	0,19
Deflectores	4
Ancho deflectores (m)	0,19
Motor eléctrico	
Fabricante	WEG S.A.
Tipo	Trifásico, asíncrono, de inducción
Modelo	W22-IE2-High Efficiency
Carcasa	Hierro fundido
Potencia adoptada	10 HP
Frecuencia	60 Hz
Rotación sincrónica	1200 rpm

Masa aproximada	125 kg
Número de polos	6
Tensión nominal	230 / 460 V
Eficiencia	89,5%
Caja reductora	
Fabricante	WEG S.A.
Tipo	Coaxial de Engranaje Helicoidal
Modelo	WG20-C05
Relación de reducción	50
Potencia nominal	7,5 HP
Velocidad de salida	50 rpm
Número de etapas	3
Torque nominal	400 Nm

Fuente: Elaboración propia.

8.4.2.4 Camisa calefactora

El reactor de hidrólisis es isotérmico y la reacción endotérmica, por lo que se emplea una camisa calefactora por donde circula vapor, para mantener la temperatura en el valor deseado.

La camisa por diseñar es de tipo de mediacaña, la cual cuenta con las siguientes características:

- Proporciona alta velocidad y permite lograr un coeficiente de película alto
- Rigidez estructural incorporada
- Posibilidad de emplearse en servicios de alta temperatura
- Suele fabricarse de acero al carbono, pero para altas temperaturas se requieren otros tipos de acero.

En la siguiente imagen se muestra una figura representativa de este tipo de encamisado.

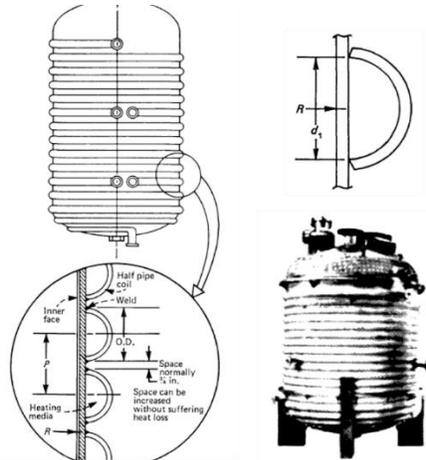


Figura 8. 7: camisa de mediacaña. Fuente: (McKetta)

A continuación, se presenta la secuencia de cálculo para la camisa calefactora, basada en las ecuaciones proporcionadas por (Kern, 1999) (Perry) (McKetta)

Diferencia media logarítmica de temperatura:

$$\Delta T_{ML} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Ecuación 8. 41

Donde:

- ΔT_1 = Diferencia entre temperatura de entrada del vapor y del reactor.
- ΔT_2 = Diferencia entre temperatura de salida del vapor y del reactor.

Para el cálculo del coeficiente individual de calor interno (h_i), se utiliza la ecuación siguiente.

$$\frac{h_i \cdot D_i}{k} = a \cdot \left(\frac{D_a^2 \cdot n \cdot \delta}{\mu} \right)^b \cdot \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_w} \right)^m$$

Ecuación 8. 42

Donde:

- h_i = Coeficiente de calor individual ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).
- D_i = Diámetro interno del recipiente (m).
- k = Conductividad térmica del fluido interno del reactor (J/s).
- n = Velocidad de agitación (m/s).

- D_a = Diámetro del agitador (m).
- C_p = Capacidad calorífica del fluido reaccionante (J/kg.°C).
- μ_p = Viscosidad en bulbo (cP).
- μ_w = Viscosidad en pared (cP).
- δ = Densidad de la mezcla (kg/m³).

Se consideran los valores $a=0,53$, $b=2/3$ y $m=0,24$ por emplear agitador de turbina con palas. Además, se supone que las viscosidades de pared y bulbo son iguales, por lo que el último término queda igual a 1.

Para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U), se utiliza la Ecuación 8.22.

Aclaración, el coeficiente individual de calor referido al fluido de la camisa para el vapor tiene un valor de entre 5000 a 18000 W/m².K (Coulson & Richardson). El coeficiente de conductividad térmica del acero AISI 316L (W/m².°C) 16 W/m².°C (Carbone Stainless) y el valor de R_d se considera entre 0.00009 y 0.00018 W/m².°C para el vapor y sustancias orgánicas. (Mc Cabe, Smith, & Harriott)

Cálculo del área de intercambio de calor se realiza con Ecuación 8.20. Y el cálculo de longitud del tubo y número de vueltas con Ecuaciones 8.24 y 8.25.

En este caso, se adoptan las siguientes características para el tubo de mediacaña:

Tabla 8. 16: Características tubo mediacaña.

Material	Acero
DE (pulg)	1,5
DI (pulg)	1,37
BWG	16

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se resumen los resultados.

Tabla 8. 17: Resumen de resultados.

ΔTML (K)	29,497
h_i (W/m².K)	2,14.10 ⁴
U (W/m².K)	734,57
Área de transferencia (m²)	12,46
Longitud total serpentín (m)	104
Vueltas	15

Fuente: Elaboración propia.

8.5 SEPARADOR FLASH

Este equipo tiene como objetivo separar la corriente gaseosa de la líquida. La corriente gaseosa que contiene principalmente CO se separa en el flash para recuperarlo y poder recircularlo al reactor de carbonilación. Por el fondo del equipo, se separa la corriente líquida, que principalmente contiene metanol, formiato de metilo y catalizador, los cuales ingresan a la torre de destilación C-101.

El diseño del separador flash se realizó en el software CHEMCAD considerando al equipo como una columna de destilación de un único plato y con un factor de seguridad del 10%. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8. 18: Características flash.

Fabricante	Servinox
Material	Acero inoxidable 304
Presión de operación (atm)	44
Presión de diseño (atm)	48
Tipo	Elipsoidal
Longitud (m)	3,508
Diámetro interno (m)	0,762
Relación L/D	4,604
Volumen total (m³)	1,716
Nivel máximo de líquido (m)	1,679
Nivel normal de líquido (m)	1,399
Espesor de la coraza (m)	0,022

Espesor del cabezal (m)	0,022
Velocidad máxima	0,029

Fuente: Elaboración propia.

8.6 TORRE DE DESTILACIÓN

8.6.1 Diseño columna C-101

❖ C-101

Una torre de destilación tiene como objetivo separar una mezcla en diferentes fracciones según sus volatilidades, en este caso, se obtiene por cabeza formiato de metilo, y por el fondo, una corriente de principalmente metanol que se recircula al mezclador de esta sección.

Para el diseño de la columna de destilación C-101 se empleó el software ChemCAD y se insertaron como datos:

- Cantidad de platos: 10
- Plato de alimentación: 3
- Presión de trabajo: 1 atm
- Caída de presión: 0,1 atm

A continuación, se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 8. 19: Características C-101.

Columna C-101	
Fabricante	Servinox
Material	Acero 304
Condiciones de operación	
Temperatura de cabeza (°C)	32,17
Temperatura de fondo (°C)	66,49
Calor de condensador (kcal/h)	-5,68x10 ⁶
Calor de rehervidor (kcal/h)	4,44x10 ⁶
Relación de reflujo	18,01
Masa refluja (kg/h)	47187,49
Altura de torre (m)	5,49
Diámetro de la torre (m)	1,798

Espacio entre platos (m)	0,610
Factor de inundación (% flood)	71,42
Composición de cabeza (kg/h)	
Formiato de metilo	2593,18
Metanol	28,24
Composición de fondo (kg/h)	
Metóxido de sodio	34,57
Formiato de metilo	88,55
Metanol	3319,79

Fuente: Elaboración propia.

8.6.2 Diseño columna C-201

Una torre de destilación tiene como objetivo separar una mezcla en diferentes fracciones según sus volatilidades, en este caso, se obtiene por cabeza formiato de metilo, por una corriente intermedia una mezcla de principalmente metanol, y por el fondo, una corriente de ácido fórmico, agua y traza de metanol que se envía a una siguiente etapa de separación.

Para el diseño de la columna de destilación C-201 se empleó el software Chemcad y se insertaron como datos:

- Cantidad de platos: 35
- Plato de alimentación: 25
- Presión de trabajo: 1 atm
- Caída de presión: 0,1 atm

A continuación, se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 8. 20: Características C-201.

Columna C-201	
Fabricante	Servinox
Material	Acero 316L
Condiciones de operación	
Temperatura de cabeza (°C)	31,75
Temperatura de corriente lateral (°C)	66,25
Temperatura de fondo (°C)	100,97

Calor de condensador (kcal/h)	-1,07x10 ⁶
Calor de rehedidor (kcal/h)	9,2x10 ⁵
Relación de reflujo	80,95
Masa refluja (kg/h)	9464,89
Altura de torre (m)	20,12
Diámetro de la torre (m)	0,82
Espacio entre platos (m)	0,61
Factor de inundación (% flood)	63,62
Composición de cabeza (kg/h)	
Formiato de metilo	116,91
Composición de corriente intermedia (kg/h)	
Ácido fórmico	18,08
Formiato de metilo	155,61
Agua	160,62
Metanol	1183,89
Composición de fondo (kg/h)	
Ácido fórmico	1849,84
Agua	3478,09
Metanol	143,36

8.6.3 Diseño columna C-302

Una torre de destilación tiene como objetivo separar una mezcla en diferentes fracciones según sus volatilidades, en este caso, se obtiene por cabeza la mayor parte del extractante con trazas de los demás componentes, y por el fondo, la mayor parte de ácido, junto con algo de agua.

Para el diseño de la columna de destilación C-302 se empleó el software Chemcad y se insertaron como datos:

- Cantidad de platos: 35
- Plato de alimentación: 25
- Presión de trabajo: 1 atm

- Caída de presión: 0,1 atm

A continuación, se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 8. 21: Características C-302.

Columna C-302	
Fabricante	Servinox
Material	Acero 316L
Condiciones de operación	
Temperatura de cabeza (°C)	75,31
Temperatura de fondo (°C)	105,14
Calor de condensador (kcal/h)	-3,68x10 ⁶
Calor de rehervidor (kcal/h)	3,58x10 ⁶
Relación de reflujo	1,49
Masa refluja (kg/h)	14748,93
Altura de torre (m)	20,12
Diámetro de la torre (m)	1,32
Espacio entre platos (m)	0,61
Factor de inundación (% flood)	75,24
Composición de cabeza (kg/h)	
Ácido fórmico	34,55
Metanol	144,13
Agua	1230,01
Extractante	8462,99
Composición de fondo (kg/h)	
Ácido fórmico	1800,13
Agua	1558,94

8.6.4 Diseño columna C-303

Como se mencionó anteriormente, con este equipo se pretende separar una mezcla en diferentes fracciones según sus volatilidades, en este caso, se obtiene por cabeza la mayor parte agua, y por el fondo, el ácido fórmico concentrado.

Para el diseño de la columna de destilación C-303 se empleó el software Chemcad y se insertaron como datos:

- Cantidad de platos: 35
- Plato de alimentación: 25
- Presión de trabajo: 4 atm
- Caída de presión: 0,1 atm

A continuación, se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 8. 22: Características C-303.

Columna C-303	
Fabricante	Servinox
Material	Acero 316L
Condiciones de operación	
Temperatura de cabeza (°C)	144,15
Temperatura de fondo (°C)	152,65
Calor de condensador (kcal/h)	-3,48x10 ⁶
Calor de rehervidor (kcal/h)	3,60x10 ⁶
Relación de reflujo	4,37
Masa refluja (kg/h)	5637,30
Altura de torre (m)	20,12
Diámetro de la torre (m)	0,94
Espacio entre platos (m)	0,61
Factor de inundación (% flood)	66,47
Composición de cabeza (kg/h)	
Ácido fórmico	14,96
Agua	1275,04
Composición de fondo (kg/h)	
Ácido fórmico	1779,4
Agua	289,67

8.7 TORRE DE EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO C-301

En una extracción líquida, se recupera una sustancia de una mezcla, poniéndola en contacto con un solvente que tiene diferente solubilidad respecto de la sustancia. En la siguiente imagen se esquematiza el modelo de contacto.

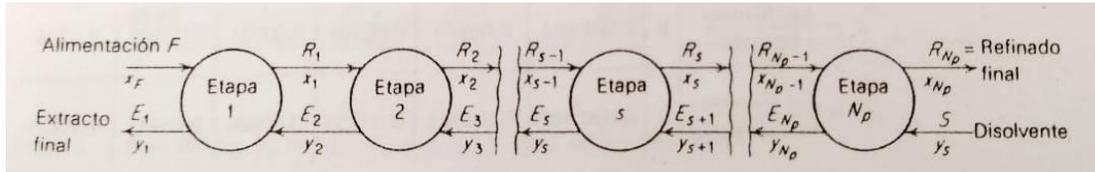


Figura 8. 8 Extracción en varias etapas a contracorriente continua. Fuente: (Treybal)

Los balances de masa para una extracción en varias etapas a contracorriente continua son (Treybal):

Balance global:
$$F + S = E_1 + R_{Np}$$

Ecuación 8. 43

Balance para una sustancia C:
$$F \cdot x_F + S \cdot y_S = E_1 \cdot y_1 + R_{Np} \cdot x_{Np}$$

Ecuación 8. 44

Donde:

- F = Flujo de alimentación (kg/h).
- S = Flujo de disolvente (kg/h).
- E₁ = Flujo de extracto en la primera etapa (kg/h).
- R_{Np} = Flujo de refinado en la última etapa (kg/h).
- x, y = fracción en peso de C en la corriente correspondiente.

En este caso, se obtiene como extracto la mayor parte del ácido fórmico y del extractante, con agua y metanol en menor proporción, mientras que, en la fase de refinado, se obtiene en su mayoría agua, junto con trazas de ácido, extractante y metanol.

A continuación, se desarrolla la secuencia de cálculo para las dimensiones básicas de la columna de extracción.

- a) Cálculo del tiempo de residencia (Rules of Thumb for Chemical Engineers)

Mediante la siguiente ecuación se puede determinar el tiempo de separación necesario para lograr la separación deseada.

$$T = 0,1 \cdot \left[\frac{\mu_{fc}}{\delta_p - \delta_l} \right]$$

Ecuación 8. 45

Donde:

- T = Tiempo de residencia del líquido (h).
- μ_{fc} = Viscosidad de la fase continua (cP).
- δ_p = Densidad de la fase que sale por fondo (kg/m^3).
- δ_l = Densidad de la fase que sale por tope (kg/m^3).

b) Cálculo del volumen

Se supone que los caudales de entrada son aditivos, por lo que:

$$Q_T = Q_F + Q_S$$

Ecuación 8. 46

Donde:

- Q_T = Caudal volumétrico total de entrada (m^3/h).
- Q_F = Caudal volumétrico de alimentación a separar (m^3/h).
- Q_S = Caudal volumétrico de extractante (m^3/h).

Entonces, el volumen se calcula como:

$$V = T \cdot Q_T \cdot 1,2$$

Ecuación 8. 47

Donde:

- V = Volumen de equipo requerido, sobredimensionado un 20% por seguridad (m^3).

c) Cálculo del diámetro

Para el diseño del extractor se asigna un valor de longitud/diámetro (L/D) igual a 5.

El diámetro se calcula con la ecuación del volumen de un cilindro:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot L$$

Ecuación 8. 48

Donde:

- r = Radio del extractor (m).
- L = Longitud del extractor sin incluir los cabezales (m).

Para calcular la longitud de los cabezales se utilizan las ecuaciones correspondientes a cabezales tipo Kloppler.

En cuanto al grosor de la pared del extractor se escoge un valor mínimo de 5mm en los costados y 6mm en los cabezales, como indica el código ASME.

Tabla 8. 23: Características extractor.

Extractor líquido-líquido	
Fabricante	Servinox
Material	Acero 316L
Condiciones de operación	
Temperatura de cabeza (°C)	90,77
Temperatura de fondo (°C)	78
Volumen (m3)	0,06
Tiempo de residencia (s)	10
Diámetro (m)	0,39
Longitud total extractor (m)	2,2
Espesor cuerpo cilíndrico (mm)	5
Espesor cabezales (mm)	6
Cabezales	Toriféricos
Composición de fase extracto (kg/h)	
Ácido fórmico	1835,10

Extractante	8463,71
Agua	2789,04
Metanol	142,9
Composición de fase refinado (kg/h)	
Agua	688,85
Ácido fórmico	15,03
Extractante	36,58
Metanol	0,08

Fuente: Elaboración propia.

8.8 INTERCAMBIADORES DE CALOR

El proceso de producción de ácido fórmico demanda operaciones de transferencia de energía. El objetivo de estos equipos es producir el calentamiento, cambio de fase, condensación y evaporación.

Se opta para el diseño, por intercambiadores de casco y tubo, ya que los requerimientos energéticos son considerables, brindando estos equipos grandes superficies para la transferencia de calor. Para su dimensionamiento se siguen las recomendaciones y procedimientos dados por el autor Donald Kern (1999) en Transferencia de la energía térmica.

El calor que es necesario intercambiar se calcula mediante las ecuaciones a continuación.

$$Q = U_D \cdot A \cdot \Delta T_{ML}$$

Ecuación 8. 49

$$U_c = \frac{h_c \cdot h_h}{h_c + h_h}$$

Ecuación 8. 50

$$U_D = \frac{U_c \cdot \frac{1}{R_d}}{U_c + \frac{1}{R_d}}$$

Ecuación 8. 51

Donde:

- Q= Calor transferido (kcal/h).

- U_c = Coeficiente limpio de transferencia de calor ($\text{kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$).
- A = Área de transferencia de calor (m^2).
- ΔT_{ML} = Diferencia de temperatura media logarítmica ($^\circ\text{C}$).
- h_c = Coeficiente de transferencia de calor fluido exterior.
- h_h = Coeficiente de transferencia de calor referido al diámetro exterior.
- U_D = coeficiente sucio de transferencia de calor ($\text{kcal/m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$).
- R_d = coeficiente de ensuciamiento ($\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}/\text{kcal}$) (Kern, 1999)

Se emplea el software CHEMCAD versión 7 como herramienta para el diseño de los intercambiadores del proceso y se exponen las características de estos en tablas.

8.8.1 Intercambiador E-101.

Tabla 8. 24: Parámetros intercambiador E-101.

Intercambiador E-101		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Corriente de proceso
	Tubos	Vapor
Datos generales		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	15,24 cm	
Pasos en los tubos	2	
Número de tubos	20	
Longitud en tubos	1,22 m	
Diámetro interno de tubos	1,57 cm	
Diámetro externo de tubos	1,90 cm	
Espesor de tubos	BWG 16	
Número de baffles	16	
Arreglo de los tubos	Triangular 60°	

Tipo de baffles	Segmentado simple
Segmentación baffles	15 %
Espaciado entre baffles	4,22 cm
Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	97,97° C
Área requerida	1,07 m ²
Área efectiva	1,35 m ²
U calculado / U de servicio	790,29 / 626,60 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	26,12 %
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,03 / 0,01 atm
Coefficiente de película tubos / coraza	1826,46 / 9247,85 kcal/h.m ² .°C

8.8.2 Intercambiador E-102

Tabla 8. 25: Parámetros intercambiador E-102.

Intercambiador E-102		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Corriente de proceso
	Tubos	Vapor
Datos generales		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	15,24 cm	
Pasos en los tubos	2	
Número de tubos	11	
Longitud en tubos	0,91 m	
Diámetro interno de tubos	1,57 cm	
Diámetro externo de tubos	1,90 cm	
Espesor de tubos	BWG 16	

Número de baffles	16
Arreglo de los tubos	Triangular 60°
Tipo de baffles	Segmentado simple
Segmentación baffles	15 %
Espaciado entre baffles	4,85 cm
Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	103,48 °C
Área requerida	0,45 m ²
Área efectiva	0,54 m ²
U calculado / U de servicio	252,47 / 221,33 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	19,47 %
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,00 / 0,04 atm
Coefficiente de película tubos / coraza	19018,95 / 294 kcal/h.m ² .°C

8.8.3 Condensador E-103 de columna C-101

Se procede al diseño del condensador utilizando ChemCAD 7, se adopta un condensador horizontal de casco y tubo; por la coraza circula el agua que proviene de las torres de enfriamiento, y por los tubos circulan los vapores a ser condensados. En la siguiente tabla se resumen las características generales del condensador de la columna C-101.

Tabla 8. 26: Características condensador.

Condensador E-103		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Condensación
	Tubos	Agua enfriamiento
Datos generales		
Material	Acero inoxidable 304	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	1,68 m	

Pasos en los tubos	4
Número de tubos	2289
Longitud en tubos	4,88 m
Diámetro interno de tubos	0,021 m
Diámetro externo de tubos	0,025 m
Espesor de tubos	BWG 16
Número de baffles	5
Arreglo de los tubos	Triangular 60°
Tipo de baffles	Segmentado simple
Segmentación baffles	33%
Espaciado entre baffles	0,80 m
Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	9,45 °C
Área requerida	736,71 m ²
Área efectiva	869,89 m ²
U calculado / U de servicio	813,97 / 689,36 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	18,08%
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,30 / 0,20 atm
Coefficiente de película tubos / coraza	4533,75 / 2019,70 kcal/h.m ² .°C

8.8.4 Rehervidor E-104 columna C-101

Con los datos obtenidos en el balance de masa se procede a realizar el diseño del rehervidor de la columna de destilación C-101 utilizando el software ChemCAD 7.

El fluido que circula por la coraza es la corriente del proceso, y por los tubos circula vapor de caldera.

Tabla 8. 27: Características rehervidor.

Rehervidor E-104		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente

	Orientación	Horizontal
	Coraza	Evaporación
	Tubos	Vapor
Datos generales		
Material	Acero inoxidable 304	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	0,38 m	
Pasos en los tubos	2	
Número de tubos	106	
Longitud en tubos	4,87 m	
Diámetro interno de tubos	0,021 m	
Diámetro externo de tubos	0,025 m	
Espesor de tubos	BWG 16	
Número de baffles	3	
Arreglo de los tubos	Triangular 60°	
Tipo de baffles	Segmentado simple	
Segmentación baffles	45 %	
Espaciado entre baffles	1,54 m	
Datos de transferencia de calor		
ΔT_{ML}	96,76 °C	
Área requerida	31,72 m ²	
Área efectiva	40,50 m ²	
U calculado / U de servicio	1446,87 / 1133,33 kcal/h.m ² .°C	
Exceso de área	27,00%	
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,11 / 0,25 atm	
Coefficiente de película tubos / coraza	19796,90 / 6631,87 kcal/h.m ² .°C	

8.8.5 Intercambiador de calor E-201

Tabla 8. 28: Intercambiador E-201.

Intercambiador E-201		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Vapor
	Tubos	Corriente de proceso
Datos generales		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	0,20 m	
Pasos en los tubos	2	
Número de tubos	42	
Longitud en tubos	3,04 m	
Diámetro interno de tubos	0,015 m	
Diámetro externo de tubos	0,019 m	
Espesor de tubos	BWG 16	
Número de baffles	43	
Arreglo de los tubos	Triangular 60°	
Tipo de baffles	Segmentado simple	
Segmentación baffles	15 %	
Espaciado entre baffles	0,051 m	
Datos de transferencia de calor		
ΔT_{ML}	84,06 °C	
Área requerida	5,93 m ²	
Área efectiva	7,22 m ²	
U calculado / U de servicio	1127,22 / 926,20 kcal/h.m ² .°C	
Exceso de área	21,70%	
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,05 / 0,22 atm	
Coefficiente de película tubos / coraza	18469,58 / 3068,74 kcal/h.m ² .°C	

8.8.6 Condensador E-202 de columna C-201

Se procede al diseño del condensador utilizando ChemCAD 7, se adopta un condensador horizontal de casco y tubo; por la coraza circula el agua que proviene de las torres de enfriamiento, y por los tubos circulan los vapores a ser condensados. En la siguiente tabla se resumen las características generales del condensador de la columna C-201.

Tabla 8. 29: Características condensador.

Condensador E-202		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Condensación
	Tubos	Agua enfriamiento
Datos generales		
Material	Acero inoxidable 304	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	0,94 m	
Pasos en los tubos	6	
Número de tubos	624	
Longitud en tubos	3,66 m	
Diámetro interno de tubos	0,021 m	
Diámetro externo de tubos	0,025 m	
Espesor de tubos	BWG 16	
Número de baffles	12	
Arreglo de los tubos	Triangular 60°	
Tipo de baffles	Segmentado simple	
Segmentación baffles	19%	
Espaciado entre baffles	0,26 m	
Datos de transferencia de calor		

ΔT_{ML}	9,02 °C
Área requerida	149,79 m ²
Área efectiva	175,80 m ²
U calculado / U de servicio	795,03 / 677,42 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	17,36%
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,41/ 0,25 atm
Coefficiente de película tubos / coraza	4772,29 / 1861,96 kcal/h.m ² .°C

8.8.7 Rehervidor E-203 columna C-201

Con los datos obtenidos en el balance de masa se procede a realizar el diseño del rehervidor de la columna de destilación C-201 utilizando el software ChemCAD 7. El fluido que circula por la coraza es la corriente del proceso, y por los tubos circula vapor de caldera.

Tabla 8. 30: Características rehervidor.

Rehervidor E-203		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Evaporación
	Tubos	Vapor
Datos generales		
Material	Acero inoxidable 304	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	0,30 m	
Pasos en los tubos	4	
Número de tubos	43	
Longitud en tubos	3,04 m	
Diámetro interno de tubos	0,021 m	
Diámetro externo de tubos	0,025 m	
Espesor de tubos	BWG 16	

Número de baffles	16
Arreglo de los tubos	Cuadrado
Tipo de baffles	Segmentado simple
Segmentación baffles	29 %
Espaciado entre baffles	0,41 m
Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	63,42 °C
Área requerida	9,22 m ²
Área efectiva	9,97 m ²
U calculado / U de servicio	1572,46 / 1454,54 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	8,00 %
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,15 / 0,25 atm
Coeficiente de película tubos / coraza	27029,34 / 9000,43 kcal/h.m ² .°C

8.8.8 Condensador E-301 de columna C-302

Se procede al diseño del condensador utilizando ChemCAD 7, se adopta un condensador horizontal de casco y tubo; por la coraza circula el agua que proviene de las torres de enfriamiento, y por los tubos circulan los vapores a ser condensados. En la siguiente tabla se resumen las características generales del condensador de la columna C-302.

Tabla 8. 31: Características condensador.

Condensador E-301		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Condensación
	Tubos	Agua enfriamiento
Datos generales		
Material	Acero inoxidable	
Pasos en coraza	1	

Diámetro interno de la coraza	0,54 m
Pasos en los tubos	1
Número de tubos	221
Longitud en tubos	6,10 m
Diámetro interno de tubos	0,021 m
Diámetro externo de tubos	0,025 m
Espesor de tubos	BWG 16
Número de baffles	5
Arreglo de los tubos	Triangular 60°
Tipo de baffles	Segmentado simple
Segmentación baffles	39%
Espaciado entre baffles	0,86 m
Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	52,49 °C
Área requerida	89,01m ²
Área efectiva	106,05m ²
U calculado / U de servicio	777,15 / 652,32 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	19,14%
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,34 / 0,25 atm
Coefficiente de película tubos / coraza	6737,39 / 1571,85 kcal/h.m ² .°C

8.8.9 Rehervidor E-302 columna C-302

Con los datos obtenidos en el balance de masa se procede a realizar el diseño del rehervidor de la columna de destilación C-302 utilizando el software ChemCAD 7. El fluido que circula por la coraza es la corriente del proceso, y por los tubos circula vapor de caldera.

Tabla 8. 32: Características rehervidor.

Rehervidor E-302		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente

	Orientación	Horizontal
	Coraza	Evaporación
	Tubos	Vapor
Datos generales		
Material	Acero inoxidable 304	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	0,44 m	
Pasos en los tubos	2	
Número de tubos	141	
Longitud en tubos	4,87 m	
Diámetro interno de tubos	0,021 m	
Diámetro externo de tubos	0,025 m	
Espesor de tubos	BWG 16	
Número de baffles	2	
Arreglo de los tubos	Triangular 60°	
Tipo de baffles	Segmentado simple	
Segmentación baffles	45 %	
Espaciado entre baffles	2,36 m	
Datos de transferencia de calor		
ΔT_{ML}	59,78 °C	
Área requerida	42,53 m ²	
Área efectiva	51,01 m ²	
U calculado / U de servicio	1407,51 / 1352,58 kcal/h.m ² .°C	
Exceso de área	26,90 %	
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,05 / 0,26 atm	
Coefficiente de película tubos / coraza	15132,37 / 6569,67 kcal/h.m ² .°C	

8.8.10 Condensador E-303 de columna C-303

Se procede al diseño del condensador utilizando ChemCAD 7, se adopta un condensador horizontal de casco y tubo; por la coraza circula el agua que proviene de las torres de

enfriamiento, y por los tubos circulan los vapores a ser condensados. En la siguiente tabla se resumen las características generales del condensador de la columna C-303.

Tabla 8. 33: Características condensador.

Condensador E-303		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Condensación
	Tubos	Agua enfriamiento
Datos generales		
Material	Acero inoxidable	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	0,44 m	
Pasos en los tubos	1	
Número de tubos	257	
Longitud en tubos	1,83 m	
Diámetro interno de tubos	0,015 m	
Diámetro externo de tubos	0,019 m	
Espesor de tubos	BWG 16	
Número de baffles	5	
Arreglo de los tubos	Triangular 60°	
Tipo de baffles	Segmentado simple	
Segmentación baffles	23%	
Espaciado entre baffles	0,29 m	
Datos de transferencia de calor		
ΔT_{ML}	121,62 °C	
Área requerida	20,16 m ²	
Área efectiva	27,18 m ²	
U calculado / U de servicio	1431,94 / 1062,29 kcal/h.m ² .°C	
Exceso de área	34,80%	

ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,40 / 0,23 atm
Coefficiente de película tubos / coraza	10876,08 / 10672,27 kcal/h.m ² .°C

8.8.11 Rehervidor E-304 columna C-303

Con los datos obtenidos en el balance de masa se procede a realizar el diseño del rehervidor de la columna de destilación C-303 utilizando el software ChemCAD 7. El fluido que circula por la coraza es la corriente del proceso, y por los tubos circula vapor de caldera.

Tabla 8. 34: Características rehervidor.

Rehervidor E-304		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Evaporación
	Tubos	Vapor
Datos generales		
Material	Acero 316	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	0,68 m	
Pasos en los tubos	2	
Número de tubos	660	
Longitud en tubos	6,06 m	
Diámetro interno de tubos	0,015 m	
Diámetro externo de tubos	0,019 m	
Espesor de tubos	BWG 16	
Número de baffles	16	
Arreglo de los tubos	Triangular 60°	
Tipo de baffles	Segmentado simple	
Segmentación baffles	43 %	
Espaciado entre baffles	0,75 m	

Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	12,19 °C
Área requerida	214,03 m ²
Área efectiva	237,27 m ²
U calculado / U de servicio	1379,25 / 1244,14 kcal/h.m ² .°C
Exceso de área	10,86 %
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,02 / 0,26 atm
Coefficiente de película tubos / coraza	17791,55 / 6200,44 kcal/h.m ² .°C

8.8.12 Intercambiador de calor E-305

Tabla 8. 35: Características intercambiador.

Intercambiador E-305		
Fabricante	Servinox	
Disposición	Equipo	Casco y tubos
	Arreglo	Contracorriente
	Orientación	Horizontal
	Coraza	Vapor
	Tubos	Corriente de proceso
Datos generales		
Material	Acero inoxidable AISI 304	
Pasos en coraza	1	
Diámetro interno de la coraza	0,20 m	
Pasos en los tubos	2	
Número de tubos	23	
Longitud en tubos	1,83 m	
Diámetro interno de tubos	0,021 m	
Diámetro externo de tubos	0,025 m	
Espesor de tubos	BWG 16	
Número de baffles	39	
Arreglo de los tubos	Triangular 60°	
Tipo de baffles	Segmentado simple	

Segmentación baffles	15 %
Espaciado entre baffles	0,52 m
Datos de transferencia de calor	
ΔT_{ML}	112,73 °C
Área requerida	2,90 m ²
Área efectiva	3,04 m ²
U calculado / U de servicio	702,45 / 670,04 kcal/h.m ² .C
Exceso de área	5,00%
ΔP en tubos / ΔP en coraza	0,00 / 0,26 atm
Coeficiente de película tubos / coraza	11780,43 / 1185,25 kcal/h.m ² .C

8.9 ADOPCIÓN DE BOMBAS DEL PROCESO

Los fluidos se mueven a través de tuberías, aparatos o la atmósfera, por medio de bombas, ventiladores, soplantes y compresores. Estos dispositivos aumentan la energía mecánica del fluido. El aumento de energía puede emplearse para incrementar la velocidad, la presión o la altura del fluido. El método más corriente de comunicar energía es por medio de un desplazamiento positivo o de una acción centrífuga suministrados por fuerzas exteriores. Estos métodos conducen a las dos clases principales de aparatos para el movimiento de fluidos: en primer lugar, los que aplican directamente presión al fluido y, en segundo lugar, los que producen rotación por medio de un par de fuerzas. En el primer grupo están incluidos los aparatos de presión y, en el segundo, las bombas centrífugas, soplantes y compresores. Por otra parte, en los aparatos que comunican presión por desplazamiento positivo, la fuerza puede ser aplicada al fluido, bien por medio de un émbolo que acciona dentro de un cilindro, o bien por dispositivos giratorios de presión. El primer grupo comprende las llamadas máquinas alternativas y el segundo corresponde a los aparatos de tipo rotatorio. (Mc Cabe, Smith, & Harriott)

Para adoptar las bombas que intervienen en el proceso de producción de ácido fórmico, se sigue el procedimiento que se presenta a continuación:

1. Se define la distribución y elevación para los equipos y tuberías teniendo en cuenta el diámetro, altura y nivel de líquido de los recipientes de proceso.

2. Se confecciona el diagrama tridimensional de tuberías, incluyendo válvulas, uniones y accesorios. Además, se selecciona el tipo de material de construcción.

3. Se determinan las velocidades de flujo en las líneas de succión y descarga del fluido y el diámetro óptimo de las tuberías. Las velocidades se adoptan en un principio, de la tabla que se muestra a continuación. Para los diámetros de las líneas se necesitan la velocidad y los caudales. Luego se escoge el diámetro nominal que mejor se adapte y se recalculan las velocidades.

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		pies/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,5-1	0,15-0,30
	Entrada de bomba	1-3	0,3-0,9
	Salida de bomba	4-10	1,2-3
	Línea de conducción	4-8	1,2-2,4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,2-0,5	0,06-0,15
	Salida de bomba	0,5-2	0,15-0,6
Vapor de agua		30-50	9-15
Aire o gas		30-100	9-30

Figura 8. 9: Velocidad de fluidos en tuberías. Fuente: (Mc Cabe, Smith, & Harriott)

4. Se calcula el número de Reynolds en las tuberías de entrada y salida de la bomba.

5. Si el valor del número de Reynolds es mayor a 2100 se considera régimen turbulento y se calcula el factor de fricción mediante los diagramas descriptos en el libro “Problemas en ingeniería química Tomo I” de Ocon y Tojo. Si en cambio, el valor es menor a 2100, el factor de fricción se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$f = \frac{64}{Re}$$

Ecuación 8. 52

Donde:

- f = Factor de fricción (adimensional).

6. Se calcula la pérdida de carga de la tubería, que hace referencia a la pérdida de carga equivalente por longitud en válvulas, codos y accesorios.

$$hf = f \cdot \frac{Leq}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Ecuación 8. 53

Donde:

- hf = Pérdida por fricción (m).
- Leq = Longitud total equivalente de la cañería (m).
- G = Aceleración de la gravedad (m/s²).

Para la pérdida de carga total se suman las pérdidas de la succión y de la descarga.

7. Para determinar la altura de impulsión teórica se utiliza la ecuación de Bernoulli corregida, que tiene en cuenta la fricción del fluido (hf).

$$Hb = \frac{\Delta P \cdot gc}{\rho \cdot g} + \Delta Z + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g} + hf$$

Ecuación 8. 54

Donde:

- Hb = Altura de impulsión teórica (m).
- ΔP = Diferencia de presión entre los puntos de succión y descarga (kgf/m²).
- ΔZ = Diferencia de altura entre los puntos de succión y descarga (m).
- Δv = Diferencia de velocidades entre los puntos de succión y descarga (m/s).
- gc/g = Factor de proporcionalidad (kg/kgf).

8. Como paso final, se estima la potencia requerida por la bomba en HP, considerando un rendimiento mecánico del equipo como η=0,75.

$$Pb = \frac{Hb \cdot Q \cdot \rho}{\eta \cdot 75}$$

Ecuación 8. 55

Donde:

- Pb = Potencia mínima de la bomba a instalar (HP).
- Q = Caudal volumétrico (m³/h).

8.9.1 Características de las bombas seleccionadas

En las tablas siguientes, se detallan las diferentes potencias necesarias para las bombas del proceso. Las bombas adoptadas son elegidas empleando los catálogos de fabricantes de acuerdo a las potencias calculadas.

❖ P1-101

El objetivo de esta bomba es el transporte de metanol

Tabla 8. 36: Características bomba P1-101.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P1-101	T-101	M-101	1410	20	0,57	794,35
Característica			Succión		Descarga	
Velocidad (m/s)			0,27		0,91	
Diámetro (plg)			1,5		0,75	
N° de Reynolds			2,00x10 ⁴		4,39x10 ⁴	
Factor de fricción (f)			0,026		0,022	
Longitud equivalente (m)			7		4	
Pérdida de carga hf (m)			0,017		0,250	
Presión (atm)			1		1	
Altura (m)			0,5		1,5	
Potencia teórica (HP)			0,10			
Bomba adoptada						
Proveedor				AGP Bombas		
Modelo				CMX-32/125B		
Potencia adoptada (HP)				1		
Eficiencia				0,75		
Material				Acero inoxidable 316 L		
Temperatura máxima (°C)				110		
Presión máxima				10 bar		

❖ P-101

Tabla 8. 37: Características bomba P-101.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P-101	M-101	E-101	4852,93	53,50	0,38	764,75
Característica		Succión		Descarga		
Velocidad (m/s)		0,28		0,96		
Diámetro (plg)		3		1,5		
N° de Reynolds		5,32x10 ⁴		1,16x10 ⁵		
Factor de fricción (f)		0,023		0,019		
Longitud equivalente (m)		11		9		
Pérdida de carga hf (m)		0,013		0,26		
Presión (atm)		1		2		
Altura (m)		1,5		0		
Potencia teórica (HP)		0,29				
NPSHd		5,00				
Bomba adoptada						
Proveedor			AGP Bombas			
Modelo			CMX-32/125B			
Potencia adoptada (HP)			1			
Eficiencia			0,75			
Material			Acero inoxidable 316 L			
Temperatura máxima (°C)			110			
Presión máxima			10 bar			

❖ P-102

Tabla 8. 38: Características bomba P-102.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P-102	E-101	R-101	4852,93	79	0,30	737,37
Característica		Succión		Descarga		

Velocidad (m/s)	0,30	0,99
Diámetro (plg)	3	1,5
N° de Reynolds	$6,51 \times 10^4$	$1,41 \times 10^5$
Factor de fricción (f)	0,018	0,017
Longitud equivalente (m)	14	8
Pérdida de carga hf (m)	0,013	0,207
Presión (atm)	2	44
Altura (m)	0	2
Potencia teórica (HP)	13,96	
NPSHd	3,70	
Bomba adoptada		
Proveedor	GRUNDFOS	
Modelo	CR 15-9 K-F-A-E-HQQE	
Potencia adoptada (HP)	14,75	
Caudal máximo (m ³ /h)	17	
Eficiencia (%)	91,2	

❖ **P-103**

Tabla 8. 39: Características bomba P-103.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P-103	V-102	C-101	3442,91	66,5	0,34	752,35
Característica		Succión		Descarga		
Velocidad (m/s)		0,30		0,91		
Diámetro (plg)		2,50		1,25		
N° de Reynolds		$4,89 \times 10^4$		$1,13 \times 10^5$		
Factor de fricción (f)		0,021		0,017		
Longitud equivalente (m)		11		6		
Pérdida de carga hf (m)		0,015		0,178		
Presión (atm)		1		1		
Altura (m)		0,5		1,5		

Potencia teórica (HP)	0,10
Bomba adoptada	
Proveedor	AGP Bombas
Modelo	CMX-32/125B
Potencia adoptada (HP)	1
Eficiencia	0,75
Material	Acero inoxidable 316 L
Temperatura máxima (°C)	110
Presión máxima	10 bar

 ❖ **P1-201**

Tabla 8. 40: Características bomba P1-201.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P1-201	T-201	M-201	4370,00	20	1	997,84
Característica		Succión		Descarga		
Velocidad (m/s)		0,29		0,87		
Diámetro (plg)		2,5		1,25		
N° de Reynolds		2,19x10 ⁴		5,01x10 ⁴		
Factor de fricción (f)		0,026		0,017		
Longitud equivalente (m)		11		7		
Pérdida de carga hf (m)		0,018		0,207		
Presión (atm)		1		1		
Altura (m)		0,5		1,5		
Potencia teórica (HP)		0,1				
Bomba adoptada						
Proveedor			AGP Bombas			
Modelo			CMX-32/125B			
Potencia adoptada (HP)			1			
Eficiencia			0,75			
Material			Acero inoxidable 316 L			

Temperatura máxima (°C)	110
Presión máxima	10 bar

❖ **P-201**

Tabla 8. 41: Características bomba P-201.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P-201	M-201	E-201	7106,40	23	0,82	985,87
Característica		Succión		Descarga		
Velocidad (m/s)		0,30		0,99		
Diámetro (plg)		3,5		1,5		
N° de Reynolds		3,66x10 ⁴		6,96x10 ⁴		
Factor de fricción (f)		0,023		0,018		
Longitud equivalente (m)		13		6		
Pérdida de carga hf (m)		0,014		0,164		
Presión (atm)		1		9,86		
Altura (m)		0,5		0		
Potencia teórica (HP)		3,20				
NPSHd		9				
Bomba adoptada						
Proveedor			AGP Bombas			
Modelo			CMX-32/200B			
Potencia adoptada (HP)			4			
Eficiencia			0,75			
Material			Acero inoxidable 316 L			
Temperatura máxima (°C)			110			
Presión máxima			10 bar			

❖ P-202

Tabla 8. 42: Características bomba P-202.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P-202	E-201	R-201	7106,40	120	0,22	883,89
Característica		Succión		Descarga		
Velocidad (m/s)		0,28		0,78		
Diámetro (plg)		3,5		2		
N° de Reynolds		1,22x10 ⁵		2,91x10 ⁵		
Factor de fricción (f)		0,018		0,016		
Longitud equivalente (m)		14		11		
Pérdida de carga hf (m)		0,011		0,214		
Presión (atm)		9,86		9,86		
Altura (m)		0		2		
Potencia teórica (HP)		0,11				
Bomba adoptada						
Proveedor			AGP Bombas			
Modelo			CMX-32/125B			
Potencia adoptada (HP)			1			
Eficiencia			0,75			
Material			Acero inoxidable 316 L			
Temperatura máxima (°C)			110			
Presión máxima			10 bar			

❖ P1-301

Tabla 8. 43: Características bomba P1-301.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P1-301	T-301	C-301	8500,00	78	0,31	792,00
Característica		Succión		Descarga		
Velocidad (m/s)		0,29		1,04		

Diámetro (plg)	4	2
N° de Reynolds	$8,76 \times 10^4$	$1,85 \times 10^5$
Factor de fricción (f)	0,020	0,016
Longitud equivalente (m)	16	9
Pérdida de carga hf (m)	0,013	0,175
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0,5	1,8
Potencia teórica (HP)	0,1	
Bomba adoptada		
Proveedor	AGP Bombas	
Modelo	CMX-32/125B	
Potencia adoptada (HP)	1	
Eficiencia	0,75	
Material	Acero inoxidable 316 L	
Temperatura máxima (°C)	110	
Presión máxima	10 bar	

❖ **P-301**

Tabla 8. 44: Características bomba P-301.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P-301	C-302	C-303	3359,00	105	0,32	1030,98
Característica		Succión		Descarga		
Velocidad (m/s)		0,22		1,03		
Diámetro (plg)		2,5		1		
N° de Reynolds		$7,06 \times 10^4$		$1,29 \times 10^4$		
Factor de fricción (f)		0,020		0,016		
Longitud equivalente (m)		10		20		
Pérdida de carga hf (m)		0,013		0,703		
Presión (atm)		1		4		
Altura (m)		0,5		15		

Potencia teórica (HP)	0,74
NPSHd	1
Bomba adoptada	
Proveedor	AGP Bombas
Modelo	CMX-32/125B
Potencia adoptada (HP)	1
Eficiencia	0,75
Material	Acero inoxidable 316 L
Temperatura máxima (°C)	110
Presión máxima	10 bar

❖ **P-302**

Tabla 8. 45: Características bomba P-302.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P-302	C-201	C-301	5491,38	101	0,31	995,31
Característica		Succión		Descarga		
Velocidad (m/s)		0,25		1,10		
Diámetro (plg)		3		1 1/4		
N° de Reynolds		8,56x10 ⁴		1,62x10 ⁵		
Factor de fricción (f)		0,019		0,016		
Longitud equivalente (m)		13		6		
Pérdida de carga hf (m)		0,013		0,167		
Presión (atm)		1		1		
Altura (m)		0,5		1,8		
Potencia teórica (HP)		0,1				
Bomba adoptada						
Proveedor		AGP Bombas				
Modelo		CMX-32/125B				
Potencia adoptada (HP)		1				
Eficiencia		0,75				

Material	Acero inoxidable 316 L
Temperatura máxima (°C)	110
Presión máxima	10 bar

❖ P-303

Tabla 8. 46: Características bomba P-303.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P-303	C-301	C-302	13225,00	91	0,33	847,94
Característica		Succión		Descarga		
Velocidad (m/s)		0,19		1,03		
Diámetro (plg)		6		2 1/2		
N° de Reynolds		1,3x10 ⁵		1,25x10 ⁵		
Factor de fricción (f)		0,017		0,015		
Longitud equivalente (m)		26		24		
Pérdida de carga hf (m)		0,012		0,362		
Presión (atm)		1		1		
Altura (m)		2		15		
Potencia teórica (HP)		0,88				
Bomba adoptada						
Proveedor			AGP Bombas			
Modelo			CMX-32/125B			
Potencia adoptada (HP)			1			
Eficiencia			0,75			
Material			Acero inoxidable 316 L			
Temperatura máxima (°C)			110			
Presión máxima			10 bar			

❖ P1-302

Tabla 8. 47: Características bomba P1-302.

Bomba	Origen	Destino	Caudal (kg/h)	T (°C)	Viscosidad (cP)	Densidad (kg/m ³)
P1-302	C-303	T-302	2069,00	153	0,29	1017,81
Característica		Succión		Descarga		
Velocidad (m/s)		0,19		1,01		
Diámetro (plg)		2		3/4		
N° de Reynolds		6,35x10 ⁴		1,12x10 ⁵		
Factor de fricción (f)		0,022		0,017		
Longitud equivalente (m)		8		10		
Pérdida de carga hf (m)		0,013		0,460		
Presión (atm)		1		1		
Altura (m)		0,5		6,5		
Potencia teórica (HP)		0,1				
Bomba adoptada						
Proveedor			AGP Bombas			
Modelo			CMX-32/125B			
Potencia adoptada (HP)			1			
Eficiencia			0,75			
Material			Acero inoxidable 316 L			
Temperatura máxima (°C)			110			
Presión máxima			10 bar			

CAPÍTULO 9: SERVICIOS AUXILIARES

9.1 INTRODUCCIÓN

Los servicios auxiliares en una planta industrial son una parte indispensable para que el proceso de producción se lleve a cabo correctamente. Con ellos, los equipos pueden funcionar de forma adecuada y el proceso puede ser controlado, lo que favorece a una operación óptima y continua de la planta.

En el presente capítulo se calcula el consumo de los servicios utilizados en la producción de ácido fórmico según los balances de masa y energía realizados en el capítulo 7 de este proyecto. Luego, en base a esos cálculos, se adoptan o diseñan los equipos y cañerías necesarios.

Los servicios involucrados son los siguientes:

1. Agua de enfriamiento.
2. Agua.
3. Vapor.
4. Gas.

9.2 AGUA DE ENFRIAMIENTO

Se utiliza agua para el enfriamiento de las distintas etapas, con el objetivo de disminuir la temperatura de las diferentes corrientes o equipos. Pero para lograr lo mencionado, la temperatura del agua se eleva, haciendo necesario un circuito cerrado, que permita utilizarla nuevamente, por lo que se adoptan las torres de enfriamiento.

En las torres, el agua caliente se pulveriza como lluvia sobre un entramado o relleno, que consiste en un conjunto de láminas de PVC, donde se refrigera por medio de una corriente de aire que fluye en sentido contrario, cayendo el agua fría un depósito donde se recoge para ser devuelta al proceso.

Las torres de enfriamiento se dimensionan en base a la cantidad de agua necesaria en el proceso, en Tabla 9.1 se muestran los caudales de los diferentes equipos que requieren enfriamiento.

Tabla 9. 1: Caudales de agua de enfriamiento requeridos en el proceso.

Equipo	Caudal (kg/h)
Reactor R-101	56330,93
Condensador E-103 de columna C-101	1133246,00
Condensador E-202 de columna C-201	214818,40
Condensador E-301 de columna C-302	726171,00
Condensador E-303 de columna C-303	702066,00
Total (kg/h)	2832632,33
Total (m³/h)	2841,98

Fuente: Elaboración propia.

9.2.1 Diagrama de abastecimiento de agua de enfriamiento

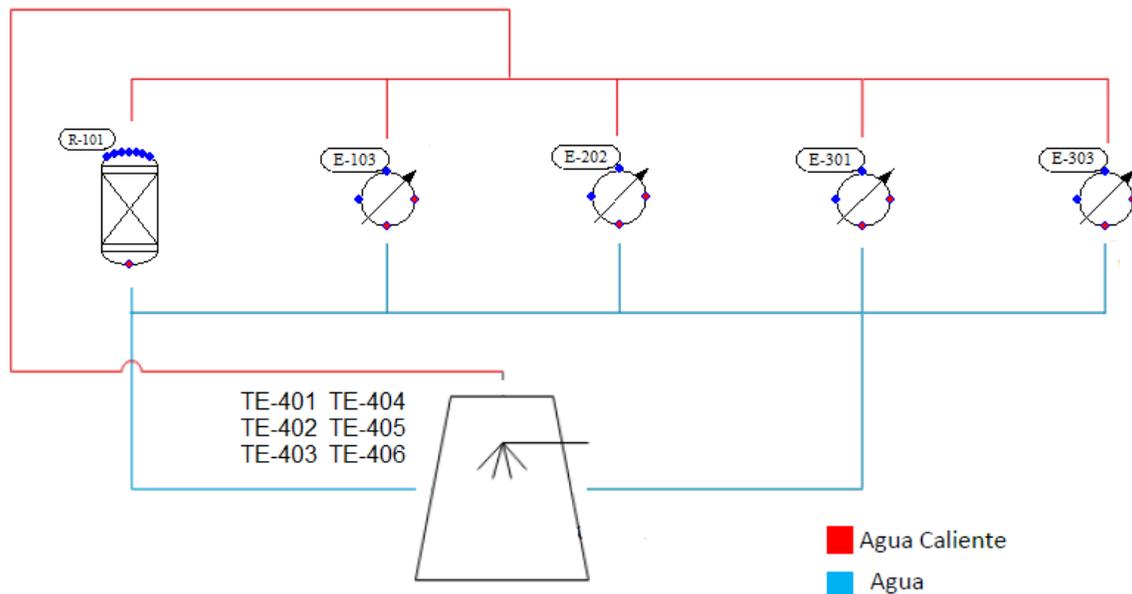


Figura 9. 1: Diagrama representativo agua enfriamiento. Fuente: Elaboración propia.

9.2.2 Adopción de torres de enfriamiento

Se adoptan las torres de enfriamiento FAVRA serie F200 que cuentan con una variedad de modelos, entre los cuales se destaca el modelo F200-4836-12 que trabaja con un rango de caudal de agua que va desde 126 m³/h hasta 553 m³/h por torre. Se resuelve adoptar seis torres (TE-401a, TE-401b, TE-401c, TE-401d, TE-401e, TE-401f) de caudal de 544,8 m³/h cada una para absorber las variaciones climáticas en las diferentes estaciones del año,

permitiendo un control de la temperatura y del caudal más preciso según la humedad presente en el aire.

Las torres FAVRA son equipos de diseño autoportante, versátil, eficiente y económico que son de fácil transporte y manipuleo, larga vida útil y bajo nivel de contaminación sonora. Fabricadas de PRFV laminado, con bulonería de acero inoxidable, soporte interno secundario y equipo mecánico de acero galvanizado. Ventilador de aspas de aluminio de ángulo variable y reductor de velocidad de engranajes cilíndricos. (FAVRA S.A.I.C.)

En Tabla 9.2 se observan las siguientes características generales.

Tabla 9. 2: Parámetros y características torre de enfriamiento adoptada.

Proveedor	FAVRA
Serie	F200
Modelo	4836-12
Material de construcción	PRFV
Caudal	544,80m ³ /h
Capacidad térmica	2996400kcal/h
Potencia	22kW
Peso vacío	1500kg
Peso operación	10530kg
Altura total	5,43m
Altura a la conexión de entrada	3,36 m
Ancho/largo	5,85m / 4,65m
Diámetro de conexión	24pulg
Diámetro de conexión de salida	12pulg

Fuente: (FAVRA S.A.I.C.)



Figura 9. 2: Torre F200. Fuente: (FAVRA S.A.I.C.)

9.2.3 Bombas para circulación de agua fría

La red de distribución de agua de enfriamiento, consiste en un sistema de cañerías y válvulas, accesorios y conexiones, que garantizan la repartición del agua fría y el retorno del agua caliente a las torres de enfriamiento.

Se adoptan las bombas requeridas de acuerdo a las especificaciones de las tablas 9.3 y 9.4.

Tabla 9. 3: Parámetros para adopción de bombas.

Destino	Código	T (°C)	P (atm)	μ (cP)	ρ (kg/m ³)	Q(m ³ /h)
R-101	P-104	20	1	1,03	997,84	56,44
E-103	P-105	20	1	1,03	997,84	1135,50
E-202	P-203	20	1	1,03	997,84	215,24
E-301	P-304	20	1	1,03	997,84	727,6
E-303	P-305	20	1	1,03	997,84	703,47
TE-401	P-401	40	1	0,68	991,96	475,93

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. 4: Accesorios y bombas.

Código	Metros lineales	Válvulas	Codos
P-104	4,00m	2	2

P-105	3,90m	2	2
P-203	13,80m	2	3
P-304	21,60m	2	4
P-305	23m	2	3
P-401	10m	2	4

Fuente: Elaboración propia.

9.2.4 Características de las bombas seleccionadas

En la siguiente tabla, se detallan las diferentes potencias necesarias para las bombas en el sistema de enfriamiento. Las bombas adoptadas son elegidas empleando los catálogos de fabricantes de acuerdo a las potencias calculadas.

Tabla 9. 5: Características de las bombas adoptadas.

P-104	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0,42	1
Diámetro (pulg)	8	5
N° de Reynolds	1,06x10 ⁵	1,64x10 ⁵
Factor de fricción (f)	0,018	0,017
Longitud equivalente (m)	53	60
Pérdida de carga hf (m)	0,056	0,53
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	2,30
Potencia (HP)	0,83	
Potencia adoptada (HP)	1,5	
P-105	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0,48	1,28
Diámetro (pulg)	36	22
N° de Reynolds	4,42x10 ⁵	6,50x10 ⁵
Factor de fricción (f)	0,013	0,012
Longitud equivalente (m)	200	130
Pérdida de carga hf (m)	0,036	0,205
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	1,5

Potencia (HP)	10,00	
Potencia adoptada (HP)	40,00	
P-203	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0,46	1
Diámetro (pulg)	16	10
N° de Reynolds	$1,97 \times 10^5$	$3,17 \times 10^5$
Factor de fricción (f)	0,016	0,014
Longitud equivalente (m)	110	70
Pérdida de carga hf (m)	0,055	0,263
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	12
Potencia (HP)	13,00	
Potencia adoptada (HP)	20,00	
P-304	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0,38	0,99
Diámetro (pulg)	32	20
N° de Reynolds	$3,94 \times 10^5$	$5,90 \times 10^5$
Factor de fricción (f)	0,014	0,013
Longitud equivalente (m)	220	166
Pérdida de carga hf (m)	0,048	0,312
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	12
Potencia (HP)	44,00	
Potencia adoptada (HP)	60,00	
P-305	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0,49	1,19
Diámetro (pulg)	28	18
N° de Reynolds	$3,44 \times 10^5$	$5,31 \times 10^5$
Factor de fricción (f)	0,014	0,013
Longitud equivalente (m)	208	140
Pérdida de carga hf (m)	0,052	0,292

Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	12
Potencia (HP)	42,42	
Potencia adoptada (HP)	60,00	
P-401	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0,45	1,00
Diámetro (pulg)	24	16
N° de Reynolds	4,44x10 ⁵	7,11x10 ⁵
Factor de fricción (f)	0,014	0,013
Longitud equivalente (m)	180	112
Pérdida de carga hf (m)	0,053	0,263
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0	12
Potencia (HP)	28,43	
Potencia adoptada (HP)	40,00	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. 6: Resumen características bombas adoptadas.

Código	P-104	P-105	P-203	P-304	P-305	P-401
Potencia adoptada (HP)	1,5	40	20	60	60	40
Modelo	CMX4-65/160C	NBG 350-300-305/350-246 ASF2AB QQE	NBG 300-250-400/289 AF2ABAQ E	NBG 350-300-305/350 ASF2ABQ QE	NBG 350-300-305/350 ASF2ABQ QE	NBG 300-250-500/409 AF2ABAQ E

Caudal máx. (m³/h)	60	1194	427	750	750	499,4
Cantidad de bombas	1	1	1	1	1	1
Proveedor	AGP BOMBAS	GRUNFOS	GRUNDFOS	GRUNDFOS	GRUNDFOS	GRUNDFOS

Fuente: Elaboración propia.

9.3 SUMINISTRO DE AGUA PARA USO GENERAL

El parque industrial San Lorenzo cuenta con servicio de agua corriente para usos generales, tales como suministro de agua para administración, oficinas, baños y laboratorio.

El consumo de este recurso se estima en función del capital humano que forma parte de la empresa.

Tabla 9. 7: Consumo de agua para uso general.

Uso	Caudal (m³/h)	Consumo diario (m³/día)
Agua de uso general	0,6	14,4
Agua para cubrir pérdidas torre enfriamiento	7	168

Fuente: Elaboración propia.

9.3.1 Adopción de cisterna para almacenamiento de agua

9.3.1.1 Tanque almacenamiento de agua de uso general T-401

El agua de uso general se obtiene a partir de la red de agua perteneciente al parque industrial San Lorenzo. El tamaño de la cisterna necesaria se calcula a partir del consumo de agua de red por hora, considerando una autonomía de 24 horas. En la siguiente tabla se resumen las especificaciones del tanque adoptado.

Tabla 9. 8: Especificaciones tanque agua de uso general.

Proveedor	Duraplast
Volumen (l)	15000
Material	Polietileno virgen con protección UV

Alto (cm)	261
Diámetro (cm)	290
Válvula (pulg)	2
Tapa de inspección (cm)	45,5

Fuente: Elaboración propia.

9.3.1.2 Tanque almacenamiento de agua pérdida enfriamiento T-402

El tamaño de la cisterna necesaria se calcula a partir del consumo de agua por hora, considerando una autonomía de 24 horas. En la siguiente tabla se resumen las especificaciones del tanque adoptado.

Se considera una pérdida respecto al total de agua necesaria para enfriamiento de 1%, con lo cual el volumen es de 168m³ para un día.

Esta es obtenida de la perforación subterránea realizada en el parque industrial a una temperatura de 18°C.

Tabla 9. 9: Especificaciones tanque agua de pérdida.

Proveedor	Eboplast S.A.
Tipo	Cilíndrico vertical atmosférico
Volumen (m³)	180
Material	Plástico reforzado con fibra de vidrio
Cabezal	Toriesférico
Alto (m)	11,32
Diámetro (m)	4,70
Espesor de pared (mm)	6,35
Tapa de inspección (cm)	60

Fuente: Elaboración propia.

9.4 VAPOR DE CALDERA

En el proceso de ácido fórmico en sus diferentes etapas se hace necesaria la entrega de calor para alcanzar las condiciones deseadas. Se emplea para ello, vapor de agua saturado a 6,91 atmosferas de presión, y temperatura de saturación de 165°C, siendo su calor de vaporización de 494,78 kcal/kg.

El vapor de agua requerido se suministra mediante caldera. Aparato que por medio de combustible, se hace hervir agua para producir vapor y donde el calor necesario para vaporizarla es suministrado por un hogar o gases. Durante su funcionamiento, la caldera propiamente dicha está sometida interiormente a la presión de equilibrio del agua y de su vapor a la temperatura alcanzada.

La caldera se calcula de acuerdo a la cantidad de vapor de agua necesario para el proceso. En la Tabla 9.10 se muestran los requerimientos de vapor de los diferentes equipos y la Figura 9.3 representa el diagrama de distribución de este servicio.

Tabla 9. 10: Consumo de vapor en el proceso.

Equipo	Caudal	Calor transferido
E-101	167,52 kg/h	83118,46 kcal/h
E-102	24,03 kg/h	11891,35 kcal/h
E-104	8978,69 kg/h	4,44x10 ⁶ kcal/h
E-201	1136,89 kg/h	5,61 x10 ⁵ kcal/h
R-201	584,33 kg/h	2,73 x10 ⁵ kcal/h
E-203	1859,41 kg/h	9,20 x10 ⁵ kcal/h
E-302	7235,53 kg/h	3,58 x10 ⁶ kcal/h
E-304	7275,96 kg/h	3,60 x10 ⁶ kcal/h
E-305	462,83 kg/h	2,29 x10 ⁵ kcal/h
Total	27725,19 kg/h	1,37 x10⁷ kcal/h

Fuente: Elaboración propia.

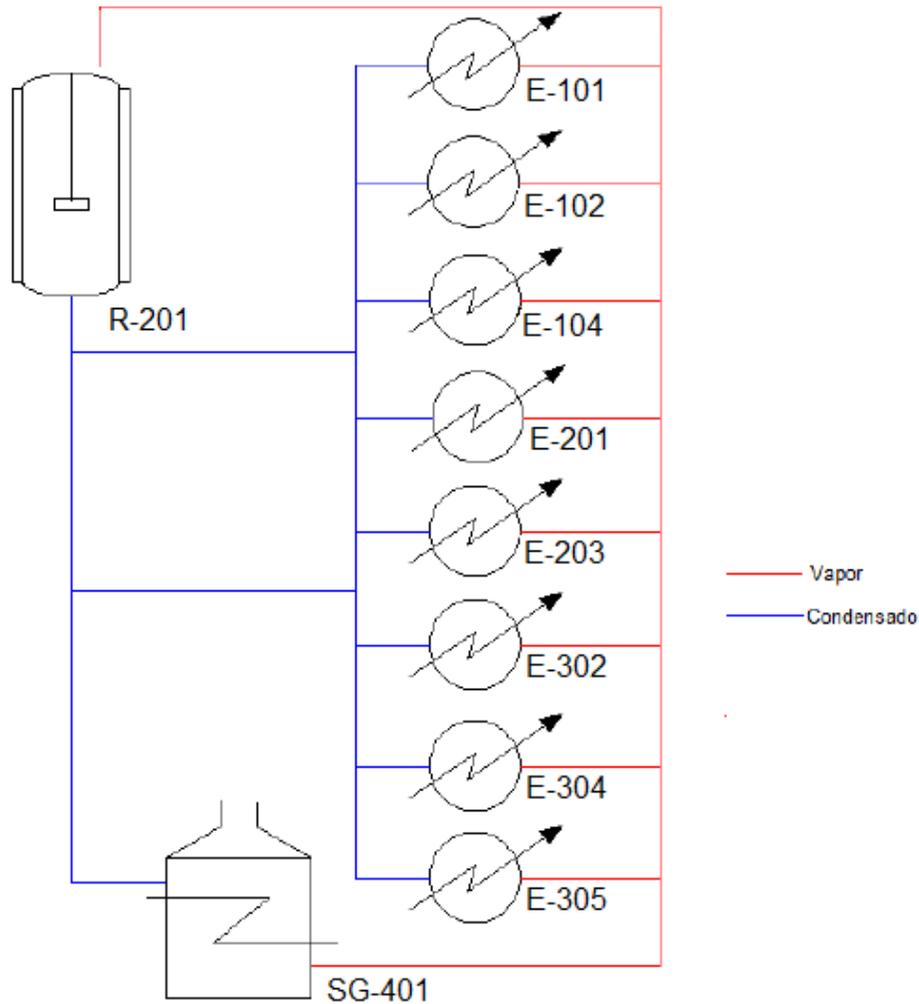


Figura 9. 3: Distribución de vapor.

9.4.1 Dimensiones tuberías de vapor

Para el dimensionamiento del diámetro de una tubería de vapor saturado y su correspondiente retorno de condensado se deben tener en cuenta la velocidad y presión por la que circulan en la línea de distribución.

En cuanto a las velocidades recomendadas para una correcta distribución de vapor dentro de las líneas es de 25 a 35 m/s. Para lo cálculos, se considera una velocidad de 30 m/s.

Para el retorno de condensado la velocidad de diseño depende de la existencia de vapor en la línea. Por lo cual, para el flujo de dos fases la velocidad de diseño aproximadamente es 15 m/s.

El cálculo del diámetro de la tubería de determina a partir de la siguiente ecuación.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times M_v \times V_e}{v \times \pi}}$$

Donde:

- D = Diámetro de la tubería (m).
- M_v = Masa de vapor (kg/h).
- V_e = Volumen específico del vapor (m³/kg).
- v = Velocidad del vapor (m/h).

Para el cálculo de las tuberías de vapor, se tiene en cuenta que la distribución está compuesta por una línea principal correspondiente a la salida de la caldera y líneas secundarias para alimentar de vapor a cada equipo. En Tabla 9.12 se expresan los diámetros calculados para cada cañería, y el diámetro correspondiente adoptado.

En Tabla 9.11 se muestran los valores utilizados para el cálculo.

Tabla 9. 11: Parámetros para líneas de vapor y condensado.

Parámetro	Línea de vapor	Línea de condensado
Masa (kg/h)	27725,19	27525,19
Volumen específico (m ³ /kg)	0,28	1,09x10 ⁻³
Velocidad (m/s)	30	15
Tipo de tubo	Acero del carbono – Schedule 80	
Aislante	Lana mineral	

Tabla 9. 12: Distribución y diámetros cañerías de vapor.

Distribución de vapor	Diámetro de tubería		Diámetro adoptado (pulg)
	m	pulg	
Línea principal	0,30	12,00	12,50
Línea secundaria E-101	0,03	1,18	1,50
Líneas secundaria E-102	0,01	0,39	1,00
Líneas secundaria E-104	0,21	8,27	8,5
Línea secundaria E-201	0,07	2,76	3,00
Línea secundaria R-201	0,05	1,99	2,50
Líneas secundaria E-203	0,09	3,54	4,00
Línea secundaria E-302	0,06	2,36	3,00
Líneas secundaria E-304	0,18	7,01	7,50
Líneas secundaria E-305	0,05	1,80	2,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. 13: Distribución y diámetros de tuberías de condensado.

Distribución de condensado	Diámetro calculado	Diámetro adoptado
	pulg	pulg
Línea colectora de condensado	0,90	1
Condensado E-101	0,08	1
Condensado E-102	0,03	1
Condensado E-104	0,51	1
Condensado E-201	0,21	1
Condensado R-201	0,15	1
Condensado E-203	0,27	1
Condensado E-302	0,18	1
Condensado I-304	0,53	1
Condensado E-305	0,13	1

Fuente: Elaboración propia.

Para evitar el golpe de ariete en la tubería, es importante la instalación de trampas de vapor. El fenómeno de golpe de ariete se produce cuando la tubería posee agua, generándose

olas de condensado a alta velocidad y presión, lo que puede causar daño a las instalaciones. Se ubican las trampas de vapor cada 40 metros de cañería recta.

9.4.2 Pérdida de calor en la red

El vapor es un recursopreciado tanto por su valor energético como económico y operacional. Para generarlo se deben consumir grandes cantidades de combustible, además de los costos asociados al ablandamiento de agua para calderas y mantenimiento en general de la misma. Debido a su elevado costo, es indispensable aplicar políticas de gestión energética para reducir consumos.

A lo largo de la superficie externa de la tubería que transporta vapor, existe una pérdida de calor hacia el ambiente por convección y radiación. Lo mencionado, provoca que parte del vapor se condense, esto reduce su presión y temperatura, ocasionando disminución en la calidad del vapor. Es por ello que se utiliza aislante térmico en las tuberías de distribución, minimizando de este modo, el desperdicio de energía.

En tuberías en las que pasa vapor a presiones iguales o menores a 10 atm se ha determinado empíricamente que:

- Para tuberías menores a 2 pulg de diámetro se tendrá 1 pulg de espesor de aislante.
- Para tuberías mayores a 2 pulg de diámetro se tendrá 2 pulg de espesor de aislante.

9.4.3 Retorno de condensados

El condensado contiene alrededor de una cuarta parte de la energía del vapor del que procede, por lo cual es un recurso valioso que es necesario recuperar. El retorno de condensado al tanque de alimentación de la caldera es la manera más efectiva de mejorar la eficiencia de la planta de vapor. Por otro lado, es importante drenar el condensado de las tuberías y equipos para evitar el riesgo de golpes de ariete.

Las tuberías de retorno reciben el condensado de los equipos de transferencia de energía y de varias tuberías de descarga de trampas de vapor, y lo llevan de regreso a un tanque de condensado para aprovechar su temperatura. Además de evitar tener que tratar más agua para la caldera. En plantas pequeñas se considera una sola línea de retorno de condensado.

La línea de retorno de condensado se considera por debajo del nivel del equipo de transferencia de calor de manera que la descarga del mismo a la trampa de vapor pueda fluir por gravedad, además la cañería debe tener una ligera pendiente para favorecer el flujo.

9.4.4 Trampas de vapor

Desde el primer instante en que el vapor abandona la caldera, empieza a ceder parte de su energía a cualquier superficie que se encuentre a una temperatura menor. Al hacerlo, parte del vapor se condensa convirtiéndose en agua, prácticamente a la misma temperatura. La combinación de agua y vapor hace que el flujo de calor sea menor ya que el coeficiente de transferencia de calor del agua es menor que el del vapor. Por ello es importante contar con trampas de vapor, se trata de un tipo de válvula automática que separa el condensado y gases no condensables como lo es el aire, sin dejar escapar al vapor.

En una línea de distribución parte del vapor entonces se condensa y se acumula en el fondo de la tubería. Cuando el área transversal de una sección de tubería está completamente llena, se generan olas de condensado a gran velocidad, produciendo el golpe de ariete, mencionado con anterioridad. Este, puede causar daños en los equipos, tubería, válvulas, además, de ser un riesgo para los trabajadores. Es por esto que se debe tener en cuenta la ubicación y diseño de las instalaciones de trapeo.

Corresponden trampas de vapor, entre 30-50 metros de cañería recta, antes de una válvula de control o reductora de presión, antes de válvulas manuales que permanecen cerradas por largos periodos de tiempo o bien, en la parte inferior de subidas o bajadas verticales.

9.4.5 Caldera adoptada

De acuerdo a los valores de cantidad de vapor que se presentan en la Tabla 9.10, se opta por adoptar una caldera marca BOSCH modelo UL-S con 3 pasos de humos. Esta caldera posee alta eficiencia y se encuentre diseñada para producir de 1250 a 28000 kg/h de vapor de hasta 30 bares. Con muy bajas emisiones y posibilidad de convertirla a biocombustible o hidrógeno. Se trata de una caldera pirotubular con hogar interior.

Una caldera pirotubular es aquella en la que los gases calientes de la combustión pasan a través de los tubos de la caldera, el agua rodea los mismos absorbiendo calor, produciéndose así vapor.

Las calderas pirotubulares presentan la ventaja, respecto a las acuotubulares de que pueden funcionar con salinidad en el agua (conductividad $\leq 6000 \mu\text{S/cm}$). No se producen efectos perjudiciales sobre la superficie de calefacción de la caldera por depósitos de sal. Pueden utilizarse sencillas plantas de descalcificación de agua para su tratamiento. A su vez, las calderas pirotubulares requieren menos espacio para similares capacidades y el mantenimiento puede llevarse a cabo de una forma más sencilla. (BOSCH)

En Tabla 9.14 se detallan los parámetros de la caldera adoptada, y en las Figuras 9.4 y 9.5 se ilustra la misma.

Tabla 9. 14: Especificaciones y características de caldera adoptada.

Proveedor	BOSCH
Modelo	UL-S
Tipo	Pirotubular – tres pasos
Caudal	1250 kg/h a 28000 kg/h
Presión de diseño	Hasta 30 bar (29,61 atm)
Vapor	Saturado
Rendimiento	90% a 95%
Tipo de combustible	Gas/aceite/biogás/hidrogeno
Temperatura máxima	235°C
Ancho total	3,87 m
Alto total	4,47 m
Largo total	9,46 m

Fuente: (BOSCH Argentina)



Figura 9. 4: Caldera BOSCH. Fuente: (BOSCH Argentina)



Figura 9. 5: Caldera BOSCH vista lateral. Fuente: (BOSCH Argentina)

9.4.6 Sistema de bombeo

El sistema de bombeo de una caldera es un circuito cerrado, compuesto de una bomba encargada de alimentar a la caldera. La reposición de agua al tanque de condensados, se realiza mediante otra bomba, previo al ingreso se realiza un tratamiento físico-químico para eliminar su dureza de la misma.

La bomba para el retorno del condensado tiene las siguientes características:

Tabla 9. 15: Parámetros y características bombas retorno.

P-402	Succión	Descarga
Velocidad (m/s)	0,28	1
Diámetro (pulg)	6	3
N° de Reynolds	4,63x10 ⁴	9,79x10 ⁴
Factor de fricción (f)	0,021	0,017
Longitud equivalente (m)	21	25
Pérdida de carga hf (m)	0,012	0,351
Presión (atm)	1	1
Altura (m)	0,5	0,5
Potencia (HP)	0,43	

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los valores obtenidos, se adopta por la siguiente bomba.

Tabla 9. 16: Bomba adoptada.

Bomba adoptada	
Proveedor	AGP Bombas
Modelo	CMX-32/125A
Potencia (HP)	1,5
Caudal (m ³ /h)	22,39

Fuente: Elaboración propia.

9.4.7 Ablandamiento de agua

El agua por ser extraída de perforación, posee alto contenido de sales que deben ser eliminadas antes de ingresar al equipo para evitar la generación incrustaciones, resistencia a la transferencia de calor además de alargar la vida útil de las instalaciones.

Se adopta un sistema de ablandamiento de agua con cabezal automático, programable de control, dos columnas de intercambio iónico provistas de resina polimérica y un tanque de regeneración en el cual se agrega cloruro de sodio para regenerar la resina. Las dos columnas permiten provisión de agua tratada de manera continua. El modelo de ablandador adoptado es el H50Q1, el cual se muestra en la Figura 9.6.

El agua de red o de pozo, con alto contenido de sales de calcio y magnesio pasa a través de una resina polimérica, que produce un intercambio iónico sobre la superficie. Cuando la

resina se encuentra saturada, todos sus iones sodio han sido intercambiados por los iones calcio y magnesio presentes en el agua de alimentación, por lo que debe ser regenerada con una mezcla formada por cloruro de sodio y agua. El equipo realiza de manera autónoma las operaciones de regeneración de la resina.

Tabla 9. 17: Características ablandador adoptado.

Fabricante	HIDROCHECK
Modelo	H50Q1
Caudal de trabajo (m³/h)	3,5
Presión máxima (bar)	4
Regeneración de resina	Automático
Volumen de resina (litros)	50
Tipo de resina	Catiónica

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9. 6: Ablandador de agua. Fuente: (HIDROCHECK)

9.5 GAS

El parque industrial de San Lorenzo cuenta con una red de media y alta presión de gas natural, la cual provee de gas a la caldera SG-401, a equipos de calefacción en oficinas y a otros sectores de la planta como laboratorio, cocina y baños.

Para calcular el gas natural requerido en la caldera se utiliza la siguiente ecuación:

$$Cg = \frac{E}{\eta * Pg}$$

Donde:

- Cg = Caudal de gas natural (m³/h).
- Pg = Poder calorífico del gas natural: 9300 kcal/m³.
- η = Rendimiento de la combustión: 87%.
- E: Energía necesaria en la caldera: 1,37x10⁷ kcal.

En la siguiente tabla se visualiza el consumo de gas de cada equipo/sector.

Tabla 9. 18: Consumo de gas natural.

Destino	Consumo (m³/h)
Caldera	1693,23
Laboratorio	0,20
Cocina	0,32
Baños	0,86
Calefacción	0,48
TOTAL	1695,10

Fuente: Elaboración propia.

La cañería principal de distribución de gas natural a toda la planta es de acero galvanizado, la cual tiene un diámetro de 4 pulg para alimentar la caldera. Para la distribución a los demás sectores tiene un diámetro de 0,5 pulg y es de polietileno unido por termo fusión.

CAPÍTULO 10: CONTROL DE CALIDAD

10.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detalla el sistema de gestión de calidad que se aplica en el presente proyecto, no solamente a materias primas y producto final, sino también al proceso y los parámetros que se consideren relevantes. El mismo, permite garantizar la calidad y cumplir con los requisitos que corresponden a las normativas vigentes.

El sistema de calidad consiste en la implementación de programas, mecanismos, herramientas y/o técnicas en una empresa para lograr una mejora continua de la calidad de sus productos, servicios y elevar su productividad.

En la actualidad, los clientes demandan productos de calidad. Por lo que, los fabricantes, buscan diferenciar sus productos de los de la competencia además de ajustarse a las necesidades y expectativas. Es importante destacar, que en mejor manejo de la calidad de los productos reduce su costo real, al aumentar la calidad del producto, su diseño y su proceso de fabricación, es más sencillo de producir y se desperdicia menos materia prima, reduciendo así, los costos de fabricación. Un factor no menor, es el personal de la empresa; el cual debe estar bien formado, ser flexible y adaptable a las necesidades.

10.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD

La adopción de un sistema de gestión de la calidad es una decisión estratégica para una organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible.

Los beneficios potenciales para una organización de implementar un sistema de gestión de la calidad basado en esta Norma Internacional son:

- La capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables
- Facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente
- Abordar los riesgos y oportunidades asociadas con su contexto y objetivos
- La capacidad de demostrar la conformidad con requisitos del sistema de gestión de la calidad especificados.

Esta norma internacional se basa en los principios de la gestión de la calidad descritos en la Norma ISO 9000. Las descripciones hacen referencia a una declaración de cada

principio, una base racional de por qué el principio es importante para la organización. (ISO 9001:2015)

Los principios de la gestión de la calidad son:

- Enfoque al cliente
- Liderazgo
- Compromiso de las personas
- Enfoque a procesos
- Mejora
- Toma de decisiones basada en la evidencia
- Gestión de las relaciones. (ISO 9001:2015)

Según Deming (estadístico, profesor, difusor del concepto de calidad total), la mejor forma de solucionar los problemas es a través de la mejora continua, lo cual no quiere decir que una mejora radical no sea favorable, sino que no debe ser la única solución.

En la siguiente figura, se puede ver el ciclo de la mejora continua o ciclo de Deming, el cual consta de 4 fases:

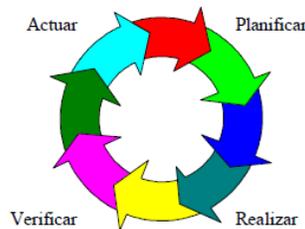


Figura 10. 1: Ciclo de Deming. Fuente: (Introducción a la calidad, 1999)

- Planificar. En esta fase se decide qué se va a hacer en función de los datos disponibles, su situación y sus intereses. También, se determinan los objetivos para un plazo determinado, y se trata de que éstos sean realizables y medibles.
- Realizar. En esta fase se realiza lo que se ha planificado en la fase anterior.
- Verificar. En esta fase se comprueba que los resultados obtenidos hayan sido los esperados. Por eso es importante que los objetivos sean medibles.

- Actuar. En esta fase se analizan las causas de las desviaciones detectadas en la fase anterior y se actúa en consecuencia. Cabe destacar que las desviaciones pueden ser tanto positivas como negativas. (Herrera)

10.3 CONTROL DE CALIDAD EN LA PLANTA

A continuación, se detalla el control de calidad necesario a implementar a las materias primas, al producto final y al proceso de producción.

10.3.1 Control de calidad de materias primas

En la siguiente tabla se detallan los requerimientos y controles necesarios para las materias primas utilizadas en el proceso de producción de ácido fórmico. Las materias primas son metanol y monóxido de carbono, y el catalizador es metóxido de sodio. Estos componentes, deben estar certificados por el proveedor, por lo que, el control se realiza sólo para corroborar los valores que presenten esos informes.

Tabla 10. 1: Control de calidad de materias primas

Variable	Materia prima	Valor ideal	Responsable	Registro	Técnica	AC/AP
Concentración	Metanol (grado AA)	Mín 99,85%p /p	Analista de laboratorio	R-001-MP-M	Cromatografía de gases	Rechazar lote
	2-Metil-tetrahidrofurano	Mayor al 99%p/p	Analista de laboratorio	R-004-MP-CA	Cromatografía de gases con espectrometría de masas	Rechazar lote
	Monóxido de Carbono	Mayor a 99% molar	Analista de laboratorio	R-002-MP-MC	Cromatografía de gases	Rechazar lote
Contenido de agua	Metanol	Máx 0,10% p/p	Analista de laboratorio	R-001-MP-M	ASTM D1364-02 (Karl Fishcher)	Rechazar lote
Densidad	Metanol	Máx 0.7964 g/ml a 15°C	Analista de laboratorio	R-001-MP-M	ASTM D-4052	Rechazar lote

	Monóxido de Carbono	1,161kg/ m ³ a 20°C	Analista de laboratorio	R-002-MP-MC	Detector de infrarrojo no dispersivo (NDIR)	Rechazar lote
Apariencia	Metanol	Claro y libre de materia en suspensión	Analista de laboratorio	R-001-MP-M	Visual	Rechazar lote
Catalizador	Metóxido de sodio (98%)	Polvo blanco	Analista de laboratorio	R-003-MP-MS	Visual	Rechazar lote

Fuente: Elaboración propia.

10.3.2 Control de calidad del proceso de producción

En la tabla 10.2, se detallan los puntos de control del proceso y las especificaciones a cumplir para lograr un producto de calidad. La mayoría de los controles se realizan por medio de control automático, lo cual elimina errores que podría tener el personal humano, y aumenta la productividad.

También se incluye una columna con la acción preventiva a realizar en caso de que ocurra algún desperfecto durante el proceso.

Tabla 10. 2: Control de calidad del proceso.

Equipo	Corriente/punto de control	Variable	Rango normal	Frecuencia de control	Responsable	Registro	Acción correctiva/preventiva
M-101	M1	Temperatura	53,5 ± 0,5°C	Cada 1 hora	Operador de cabina	R/M-101	Verificar condiciones operativas del equipo. Regular caudal. Ajustar válvulas. Revisar registros. Dar aviso a superior.
	Interior tanque	Tiempo	15 min	Cada 1 hora			
E-101	M3	Temperatura	79 ± 0,5°C	Cada 1 hora		R/E-101	
		Caudal	4852,01 kg/h	Cada 30 min			
E-102	C3	Temperatura	80 ± 0,5°C	Cada 1 hora		R/E-102	
		Caudal	1211 kg/h	Cada 30 min			
F-101	R1	Presión	44 atm	Cada 1 hora		R/F-101	
		Temperatura	80 ± 0,5°C	Cada 1 hora			
		Caudal	79,69 kg/h	Cada 30 min			

	F1	Presión	44 atm	Cada 1 hora		
		Temperatura	80 ± 0,5°C	Cada 1 hora		
		Caudal	6063,01 kg/h	Cada 30 min		
	Interior flash	Presión	44 atm	Cada 1 hora		
		Temperatura	80 ± 0,5°C	Cada 1 hora		
	C-101	D1	Presión	1 atm		
Temperatura			32,17 ± 0,5°C	Cada 1 hora		
Caudal			2619,49 kg/h	Cada 30 min		
R2		Presión	1,1 atm	Cada 1 hora		
		Temperatura	66,51 ± 0,5°C	Cada 1 hora		

		Caudal	3442 kg/h	Cada 30 min			
	Interior columna	Presión	1,1 atm	Cada 1 hora			
R-101	P	Presión	44 atm	Cada 1 hora	R/R-101		
		Temperatura	80 ± 0,5°C	Cada 1 hora			
		Caudal	6133,70 kg/h	Cada 30 min			
	Interior reactor	Presión	44 atm	Cada 1 hora			
		Temperatura	80 ± 0,5°C	Cada 1 hora			
		Tiempo de reacción	0,12h	Cada 1 hora			
M-201	N1	Temperatura	22,8 ± 0,5°C	Cada 1 hora	R/M-201		
	Interior tanque	Tiempo	10 min	Cada 1 hora			

E-201	N3	Temperatura	120 ± 0,5°C	Cada 1 hora	R/E-201
		Caudal	7106,40 kg/h	Cada 30 min	
R-201	U1	Presión	10,86 atm	Cada 1 hora	R/R-201
		Temperatura	120 ± 0,5°C	Cada 1 hora	
		Caudal	7106,40 kg/h	Cada 30 min	
	Interior reactor	Presión	10,86 atm	Cada 1 hora	
		Temperatura	120 ± 0,5°C	Cada 1 hora	
		Tiempo	1,68 h	Cada 1 hora	
C-201	R3	Presión	1 atm	Cada 1 hora	R/C-201
		Temperatura	31,75 ± 0,5°C	Cada 1 hora	

	J1	Caudal	116,91 kg/h	Cada 30 min		
		Presión	1,04 atm	Cada 1 hora		
		Temperatura	66,25 ± 0,5°C	Cada 1 hora		
		Caudal	1518,20 kg/h	Cada 30 min		
	L1	Presión	1,1 atm	Cada 1 hora		
		Temperatura	100,97 ± 0,5°C	Cada 1 hora		
		Caudal	5471,29 kg/h	Cada 30 min		
Interior	Presión	1,1 atm	Cada 1 hora			
C-301	T1	Presión	1 atm	Cada 1 hora	R/C-301	
		Temperatura	90,77 ± 0,5°C	Cada 1 hora		

	J2	Caudal	13230,75 kg/h	Cada 30 min		
		Presión	1 atm	Cada 1 hora		
		Temperatura	78 ± 0,5°C	Cada 1 hora		
		Caudal	740,54 kg/h	Cada 30 min		
C-302	S1	Presión	1 atm	Cada 1 hora	R/C-303	
		Temperatura	75,31 ± 0,5°C	Cada 1 hora		
		Caudal	9871,68 kg/h	Cada 30 min		
	K1	Presión	1,1 atm	Cada 1 hora		
		Temperatura	105,14 ± 0,5°C	Cada 1 hora		
		Caudal	3359,07 kg/h	Cada 30 min		

	Interior columna	Presión	1,1 atm	Cada 1 hora		
C-303	G1	Presión	4 atm	Cada 1 hora	R/C-303	
		Temperatura	144,15 ± 0,5°C	Cada 1 hora		
		Caudal	1290 kg/h	Cada 30 min		
	X	Presión	4,1 atm	Cada 1 hora		
		Temperatura	152,65 ± 0,5°C	Cada 1 hora		
		Caudal	2069,07 kg/h	Cada 30 min		
	Interior columna	Presión	4,1 atm	Cada 1 hora		
E-305	E1	Temperatura	78 ± 0,5°C	Cada 1 hora	R/E-305	
		Caudal	8500,00 kg/h	Cada 30 min		

Fuente: Elaboración propia.

10.3.3 Control de calidad del producto final

En la siguiente tabla se describen los requisitos que deben cumplir el producto para poder ser comercializado.

Tabla 10. 3: Control de calidad del producto final.

Producto	Variable	Valor ideal	Frecuencia	Registro	Técnica	AC/AP
Ácido fórmico	Apariencia	Líquido incoloro	Cada 1 hora	R-PF-AF	Visual	Rechazar lote
	Concentración	85-99%p/p	Cada 1 hora	R-PF-AF	Titrimetric ISO 731	Rechazar lote
	Densidad	1,22 g/cm ³ a 20 °C	Cada 1 hora	R-PF-AF	Directrices de ensayo 109 del OECD	Rechazar lote

Fuente: Elaboración propia.

10.4 REGISTROS

A continuación, se presentan los registros que se necesitan para las materias primas, el control de procesos y los productos finales.

- Registros para las materias primas

Tabla 10. 4: Registros.

Código: R-001-MP-M				
Fecha				
Materia prima	METANOL			
Proveedor	Arauco Química S.A.			
Variable	Valor ideal	Valor	Lote	Responsable
Concentración	99,85%p/p			
Densidad	794,35 kg/m ³			
Apariencia	Líquido incoloro			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. 5: Registros.

Código: R-002-MP-MC				
Fecha				
Materia prima	MONÓXIDO DE CARBONO			
Proveedor	Air Liquide			
Variable	Valor ideal	Valor	Lote	Responsable
Concentración	Mayor al 99%			
Densidad	112,35 kg/m ³			
Apariencia	Gas incoloro, insípido, inoloro, muy tóxico			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. 6: Registros.

Código: R-003-MP-MS				
Fecha				
Catalizador	METÓXIDO DE SODIO			
Proveedor	Evonik Argentina S.A.			
Variable	Valor ideal	Valor	Lote	Responsable
Concentración	98%p/p			
Densidad	943,83 kg/m ³			
Apariencia	Polvo blanco			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. 7: Registros.

Código: R-004-MP-CA				
Fecha				
Catalizador	2-METIL-TETRAHIDROFURANO			
Proveedor	Química Callegari S.R.L.			
Variable	Valor ideal	Valor	Lote	Responsable
Concentración	99,9%p/p			
Densidad	792,01 kg/m ³			
Apariencia	Líquido incoloro			

Fuente: Elaboración propia

10.4.1 Registro para productos finales

Tabla 10. 8: Registros.

Código: R-PF-AF				
Fecha				
Producto	ÁCIDO FÓRMICO			
Variable	Valor ideal	Valor	Lote	Responsable
Concentración	85%p/p			
Densidad	1017,81 kg/m ³			
Apariencia	Líquido incoloro de olor penetrante			

Fuente: Elaboración propia.

10.4.2 Registro para el control del proceso

Se realiza una tabla a modo de ejemplo, para un equipo, en este caso, “M-101”. Cada equipo tendrá su registro correspondiente.

Tabla 10. 9: Registros.

Código: R-001-M-101				
Fecha				
Equipo	M-101			
Corriente	A1			
Variable	Valor ideal	Valor	Lote	Responsable
Temperatura	53,49°C			
Presión	1 atm			
Caudal	4852,92 kg/h			

Fuente: Elaboración propia

10.5 TÉCNICAS

10.5.1 Cromatografía de gases (gas – líquido)

La cromatografía de gases es una técnica muy utilizada en análisis cualitativos y cuantitativos. En este método, los componentes de una muestra vaporizada se separan debido a su reparto entre una fase móvil gaseosa y otra fase estacionaria líquida o sólida mantenida en una columna. La muestra se vaporiza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se logra mediante el flujo de una fase móvil de gas inerte (la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito, sólo las transporta). (Skoog, West, Holler, & Crouch)

Algunos equipos posibles para seleccionar son:

- Cromatógrafo Gaseoso con Espectrometría de Masa, Clarus 680/600T, Perkin Elmer. Detectores: TCD, FID y MS. Accesorios: Metanizador, Válvula muestreadora de gases y Conector en serie TCD-FID.



Figura 10. 2: Cromatógrafo Clarus Perkin. Fuente: <https://cromatografo.blogspot.com/>

Este equipo tiene la posibilidad de utilizarse solamente como Cromatógrafo Gaseoso (GC) o puede combinarse en serie con un detector de Espectrometría de Masa (MS).

Cuando se emplea el equipo solamente como Cromatógrafo Gaseoso, se puede utilizar el Detector por Ionización Llama (FID) o el Detector de Conductividad Térmica (TCD) para identificar la presencia de los componentes eluidos al salir de la columna. Las sustancias detectadas se observan como picos en un gráfico donde se representa la señal del detector en función del tiempo de elución. La identificación del compuesto se logra haciendo corridas con las mismas condiciones experimentales de sus correspondientes patrones o empleando una base de datos con los tiempos de retención de los compuestos posibles. La cuantificación se consigue calculando el área o el alto de cada pico y realizando la curva de calibración con patrones externos. Esta identificación generalmente es imprecisa o no es posible hacerla con todos los compuestos.

Por su parte, un espectrómetro de masa (MS) no es utilizado para tratar mezclas.

- Cromatógrafo Gaseoso, SRI 8610C Shimadzu. Detectores: TCD y FID. Accesorios: Metanizador, válvula muestreador de gases y Conector en serie TCD-FID.

Este equipo cuenta con dos detectores conectados en serie a la salida de la columna de separación. Uno de ellos es el Detector de Conductividad Térmica (TCD), el cual es un detector universal no destructivo que responde en un rango entre 0,01 y 100%, dependiendo de la diferencia de conductividad térmica de los analitos con el gas Carrier (arrastrador). Por otro lado, el Detector de ionización por llama (FID) que combustiona los

compuestos orgánicos en una llama de hidrógeno. Los gases como CO y CO₂ requieren de una metanización previa a la combustión en el FID.

(www.argentina.gob.ar/cnea/cab/laboratorios-e-instalaciones, s.f.)

10.5.2 ASTM D1364-02 - Método de prueba estándar para agua en disolventes volátiles (método de valoración de reactivo de Karl Fischer)

Alcance:

Este método cubre la determinación de agua en solventes volátiles e intermedios químicos usados en pinturas, barnices, lacas y productos relacionados. No es aplicable en presencia de mercaptanos, peróxidos o cantidades apreciables de aldehídos o aminas.

Resumen del método de prueba:

Este método de prueba se basa en la reducción de yodo por dióxido de azufre en presencia de agua. Esta reacción puede usarse cuantitativamente solo cuando hay piridina y alcohol presentes para reaccionar con el trióxido de azufre y el ácido yodhídrico producidos de acuerdo con las siguientes reacciones:



Para determinar el agua, se agrega reactivo de Karl Fischer (una solución de yodo, piridina y dióxido de azufre, en la relación molar de 1:10:3) disuelto en 2-metoxietanol anhidro, a una solución de la muestra en piridina-etileno anhidro glicol (1:4) hasta que se haya consumido toda el agua presente. Esto se evidencia por la persistencia del color del punto final rojo anaranjado; o alternativamente mediante una indicación en un galvanómetro. El reactivo se estandariza mediante titulación de agua.

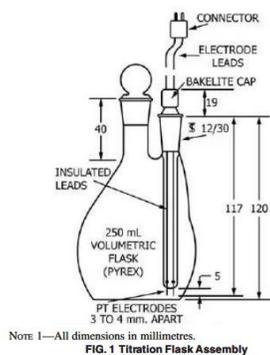


Figura 10. 3: ASTM D1364-02. Fuente: (ASTM International)

Aparatos:

- Recipiente de titulación
- Electrodo para instrumentos
- Indicador de despolarización del instrumento
- Conjunto de bureta para reactivo de Karl Fischer, que consta de una bureta de 25 o 50 mL conectada mediante vidrio (no goma) a una fuente de reactivo.
- Botella de pesaje, del tipo Lunge o Grethen.

Reactivos:

Se deben utilizar productos químicos de grado reactivo en todas las pruebas.

- Reactivos de Karl Fisher (equivalente a 6 mg de H₂O por ml): Por cada litro de solución disolver 133 ± 1 g de I₂ en 425 ± 2 mL de piridina anhidra (menos de 0.1% H₂O) en una botella seca con tapón de vidrio. Añadir 425 ± 2 ml de 2-metoxietanol anhidro (menos de 0,1% H₂O). Enfriar por debajo de 4 ° C en un baño de hielo y agregar SO₂ gaseoso, secar por burbujeo a través de H₂SO₄ concentrad (sp gr 1,84). Determinar la cantidad de SO₂ añadido midiendo la el cambio de peso del cilindro de SO₂ (102 6 1 g) o el aumento de volumen (70 6 1 mL) de la mezcla de reactivos. Alternativamente, agregar 70 mL de SO₂ líquido recién extraído en pequeños incrementos.
- Mezcla de solventes: mezclar 1 volumen de piridina anhidra (menos de 0.1% H₂O) con 4 volúmenes de etilenglicol anhidro (menos de 0.1% H₂O).

Procedimiento:

- Introduzca de 10 a 25 mL de la mezcla de solvente anhidro (piridina-glicol, 1:4) en el recipiente de titulación, asegurándose, si se utiliza un aparato de punto final del instrumento, que los electrodos estén cubiertos por esta cantidad de solvente. Si se va a determinar el punto final del color, prepare también un segundo matraz.
- Ajuste el agitador, si lo hay, para proporcionar una mezcla adecuada sin salpicaduras. Valorar la mezcla hasta el punto final instrumental, o el punto final del color, con reactivo de Karl Fischer. Si se va a observar el punto final del color, valore un matraz hasta el punto final rojo anaranjado y el segundo para que coincida con el primero. Ponga a un lado el primer matraz como patrón de comparación para valorar la muestra.
- A la mezcla de titulación así preparada, agregue una cantidad de muestra. Tenga cuidado cuando la muestra se transfiera para que el agua no se absorba del aire, particularmente en condiciones de alta humedad. Nuevamente, titular la mezcla con reactivo de Karl Fischer hasta el mismo punto final instrumental o de color empleado anteriormente. Registre la cantidad de reactivo utilizado para valorar el agua en la muestra.

Cálculo:

El contenido de agua de la muestra se calcula de la siguiente manera:

$$Agua \left(\% \frac{p}{p} \right) = \frac{V * W}{10.S}$$

Ecuación 10.3

Dónde:

V = volumen de reactivo de Karl Fischer necesario para la titulación por la muestra, mL

W = factor de equivalencia para reactivo de Karl Fischer, agua por mililitro de reactivo, mg

S = peso de la muestra utilizada, g

(ASTM International)

10.5.3 ASTM D-4052

Alcance:

- Cubre la determinación de la densidad o densidad relativa de destilados de petróleo y aceites viscosos que se pueden manipular de manera normal como líquidos a temperaturas de prueba entre 15 y 35 ° C. Su aplicación está restringida a líquidos con presiones de vapor por debajo de 600 mmHg y viscosidades por debajo de aproximadamente 15 000 cSt (mm^2/s) a la temperatura de prueba.
- No debe aplicarse a muestras de color tan oscuro que no se pueda establecer con certeza la ausencia de burbujas de aire en la celda de muestra.
- Las unidades de medida aceptadas para la densidad son gramos por mililitro o kilogramos por metro cúbico.
- La determinación de la densidad o densidad relativa del petróleo y sus productos es necesaria para la conversión de los volúmenes medidos en volúmenes a la temperatura estándar de 15 °C.

Aparatos:

- Analizador de densidad digital
- Baño de circulación a temperatura constante (opcional) capaz de mantener la temperatura de la circulación líquido constante a $\pm 0.05^\circ\text{C}$ en el rango deseado.
- Jeringas
- Adaptador de flujo o de presión, para usar como medio alternativo de introducir la muestra en el analizador de densidad mediante una bomba o mediante vacío.
- Termómetro, calibrado y graduado a 0.1°C , y un soporte

Reactivos y materiales:

Se deben utilizar productos químicos de grado reactivo en todas las pruebas.

A menos que se indique lo contrario, las referencias al agua deben entenderse como agua de reactivo.

- Agua, agua reactiva redestilada, recién hervida y enfriada para su uso como patrón de calibración principal.
- Nafta de petróleo, para lavar muestras de petróleo viscosas del tubo de muestra.

NOTA: Extremadamente inflamable.

- Acetona, para lavar y secar el tubo de muestra.

NOTA 2: Advertencia: extremadamente inflamable.

- Aire seco para soplar el tubo del oscilador.

Procedimiento:

- Introduzca una pequeña cantidad (aproximadamente 0,7 ml) de muestra en el tubo de muestra limpio y seco del instrumento con una jeringa adecuada.
- La muestra también se puede introducir mediante sifón.
- Conecte el tubo capilar externo de TFE-fluorocarbono en el puerto de entrada inferior del tubo de muestra. Sumerja el otro extremo del capilar en la muestra y aplique succión al puerto de entrada superior con una jeringa o línea de vacío hasta que el tubo de muestra esté correctamente lleno.
- Encienda la luz de iluminación y examine el tubo de muestra con cuidado. Asegúrese de que no queden burbujas atrapadas en el tubo y de que esté lleno hasta un poco más allá del punto de suspensión en el lado derecho. La muestra debe ser homogénea y estar libre de las burbujas más pequeñas.

NOTA G - Si la muestra es de color demasiado oscuro para determinar la ausencia de burbujas con certeza, la densidad no se puede medir dentro de los límites de precisión establecidos.

- Apague la luz inmediatamente después de la introducción de la muestra, porque el calor generado puede afectar la temperatura de medición.
- Una vez que el instrumento muestra una lectura constante de cuatro cifras significativas para la densidad y en vivo para los valores T, lo que indica que se ha alcanzado el equilibrio de temperatura, registre la densidad o el valor T.

Cálculo de analizadores de densidad:

El valor registrado es el resultado final, expresado como densidad o como densidad relativa. Realice todos los cálculos a seis cifras significativas y redondee los resultados finales a cuatro.

Para la densidad (g/ml):

$$t = d_w + K1. (T_s^2 - T_w^2) \quad \text{Ecuación. 10.4}$$

Donde:

- T_w = Período de oscilación observado para la celda que contiene agua.
- T_s = Período de oscilación observado para la celda que contiene muestra.
- d_w = Densidad del agua a la temperatura de prueba.
- $K1$ = Constante del instrumento para la densidad,
- $K2$ = Constante del instrumento para densidad relativa, y
- t = Temperatura de prueba, °C. (Gordon J. Hookey)

10.5.4 Titrimetric ISO 731

10.4.4.1 Alcance y campo de aplicación

Esta parte de la ISO 731 especifica un método titrimétrico después de la destilación para la determinación de contenidos bajos de ácidos volátiles distintos del ácido fórmico en el ácido fórmico para uso industrial.

El método es aplicable a productos que contienen menos del 0.5% (m/m) de otros ácidos volátiles, expresados como ácido acético.

10.5.5 Principio

El método se basa en la descomposición de la mayor parte del ácido fórmico en una muestra de ensayo por ácido sulfúrico y del resto por ácido crómico. También, en la destilación con vapor de ácido acético y/u otros ácidos volátiles y valoración del destilado con solución volumétrica estándar de hidróxido de sodio en presencia de fenolftaleína como indicador.

10.5.6 Reactivos

- Ácido sulfúrico, de densidad aproximadamente 1,84 g/ml, solución aproximadamente al 96% (m/m) o aproximadamente 36 N.
- Solución de ácido crómico, para lo cual se disuelve 100 g de óxido de cromo (VI) en 100 ml de agua.
- Hidróxido de potasio, solución de aproximadamente 1 N.
- Hidróxido de sodio, solución volumétrica estándar 0,05 N.
- Fenolftaleína, 1 g/l en etanol al 95% (V/V): se disuelve 0,1 g de fenolftaleína en 100 ml de etanol al 95% (V/V).

10.4.6 Procedimiento

- Porción de prueba

En el embudo de goteo (G), coloque unos 30 g de la muestra de laboratorio, pesados por diferencia al 0,1g.

- Determinación

Introducir 45 ml de la solución de ácido sulfúrico en el matraz (A). Llene el tubo burbujeador (F) con la solución de hidróxido de potasio hasta una profundidad de unos 30 mm y llene el regulador de presión (H) con agua. Montar el aparato y calentar al baño de agua hirviendo (C) mientras se agita con el agitador magnético (B/D). Añada la muestra de ensayo a razón de 1 gota cada 3 a 4 s en la solución de ácido sulfúrico calentada. Comienza la descomposición del ácido fórmico, formando monóxido de carbono que pasa por el tubo burbujeador.

ADVERTENCIA - Es esencial que se proporcione una salida efectiva desde el tubo burbujeador al aire libre fuera del laboratorio o hacia una campana de humos con una buena corriente de aire para asegurar la eliminación completa del monóxido de carbono tóxico

Cuando se haya agregado toda la porción de prueba, continúe calentando el contenido del matraz (A) durante 15 minutos en el baño de agua hirviendo (C).

Deje enfriar a unos 50 ° C, luego enjuague el contenido del tubo burbujeador (F) a través del condensador de reflujo (E) en el matraz (A), usando 45 ml de agua.

ADVERTENCIA - Tenga cuidado durante esta operación ya que se agrega una base y agua a un ácido concentrado.

Desconectar el regulador de presión (H) del embudo de goteo (G) e introducir 10 ml de la solución de ácido crómico en el embudo de goteo. Adopte esta solución, gota a gota, en el matraz (A) hasta que ya no se desprenda gas y el color de la solución indique un exceso marcado (alrededor de 5 ml) de ácido crómico. Calentar el contenido del matraz durante 15 min en el baño de agua hirviendo (C).

Desconecte el aparato, transfiera el contenido del matraz (A) cuantitativamente al aparato de destilación de vapor con 50 ml de agua en dos o tres porciones, y destilar fracciones de aproximadamente 150 ml en matraces cónicos de 300 ml hasta que queden aproximadamente 150 ml en el matraz de destilación al vapor.

Cerrar cada matraz cónico y proteger el contenido de la absorción de dióxido de carbono por medio de un tubo de cal sodada.

Dejar enfriar el contenido de cada matraz y luego valorar con la solución de hidróxido de sodio en presencia de unas gotas de la solución de fenolftaleína.

10.5.7 Expresión de resultados

El contenido de ácidos volátiles distintos del ácido fórmico, expresado como porcentaje en masa de ácido acético, viene dado por la fórmula:

$$\frac{V \cdot 0.0030 \cdot 100}{m} = \frac{0.30 \cdot V}{m}$$

Ecuación 10.5

Donde:

- V = Volumen total, en mililitros, de la solución volumétrica estándar de hidróxido utilizada para valorar el contenido de todos los matraces cónicos.
- M = Es la masa, en gramos, de la porción de ensayo. 0.0030 es la masa, en gramos, de ácido acético correspondiente a 1 ml de solución de hidróxido de sodio exactamente 0.05 N (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION)

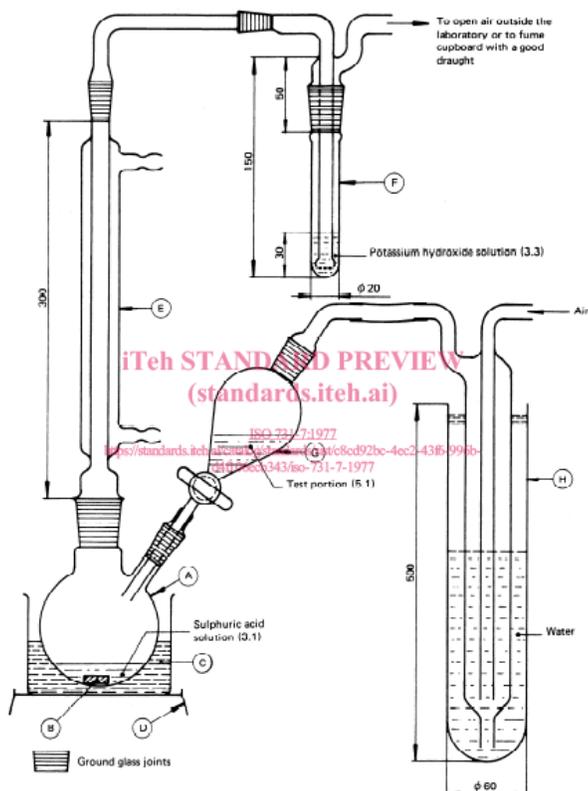


Figura 10. 4: Titrimetric ISO 731. Fuente: (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION)

10.5.8 Directrices de ensayo 109 del OECD

Varios métodos para determinar la densidad son solo para sustancias líquidas: hidrómetro, método de cuerpo sumergido (ambos son métodos de flotabilidad) y densitómetro oscilante. Estos métodos son aplicables a líquidos con una viscosidad dinámica inferior a 5 Pa*s para hidrómetro y densitómetro oscilante, y por debajo de 20 Pa*s para el método de cuerpo sumergido.

Cabe aclarar, que es necesario emplear sustancias de referencia, o líquidos de densidad conocida, al determinar la densidad de una sustancia química mediante densitometría oscilante.

Principio de los métodos 109 OECD/OCDE

A continuación, se describen brevemente los métodos para analizar la densidad de líquidos.

- Hidrómetro (un método de flotabilidad para líquidos)

Los hidrómetros son flotadores de vidrio con peso que se hunden en el líquido a una profundidad que depende de la densidad. La densidad se lee al nivel del líquido en un vástago calibrado que se extiende por encima del líquido.

La viscosidad dinámica del líquido a investigar no debe exceder los 5 Pa.s.

- Equilibrio hidrostático (un método de flotabilidad para líquidos y sólidos)

La densidad de un sólido se deriva de la diferencia de peso entre una muestra en el aire y en un líquido de densidad conocida (por ejemplo, agua). La densidad así medida es sólo representativa del particular muestra empleada (densidad aparente).

- Para la determinación de la densidad de los líquidos, un cuerpo sólido de volumen conocido se pesa primero en aire y luego cuando se sumerge en el líquido. La viscosidad dinámica de los líquidos a investigar no debe exceder los 5 Pa.s.

- Método de cuerpo sumergido (un método de flotabilidad para líquidos)

Se coloca en una balanza un recipiente que contiene una muestra de la sustancia problema líquida y se pesa. A continuación, se sumerge en el líquido un cuerpo de volumen conocido (generalmente una esfera de aproximadamente 10 cm³ de metal), que se sujeta a un soporte independiente de la balanza. La acción que ejerce el cuerpo sumergido sobre la balanza no puede distinguirse de la de un cuerpo que flota libremente con un volumen idéntico al del cuerpo sumergido y que tiene la densidad del líquido circundante. La densidad del líquido se obtiene dividiendo la ganancia de peso debida a la inmersión del cuerpo por el volumen conocido del cuerpo. El método es aplicable a líquidos con una viscosidad dinámica inferior a 20 Pa.s.

- Picnómetro (líquidos y sólidos)

La densidad se calcula a partir de la diferencia de peso entre el picnómetro lleno y vacío y su volumen. En el caso de líquidos, la viscosidad dinámica no debe superar los 500 Pa.s.

- Densitómetro oscilante (líquidos)

Un oscilador mecánico, construido en forma de tubo en U, vibra a su frecuencia de resonancia que depende de su masa. La introducción de una muestra cambia la frecuencia de resonancia. los

El aparato debe calibrarse con dos líquidos de densidad conocida. Los líquidos deben elegirse preferiblemente de manera que sus densidades abarquen el rango en el que cae el líquido bajo investigación. El método es aplicable a líquidos con una viscosidad dinámica inferior a 5 Pa.s.

Condiciones de la prueba:

La prueba se realiza a temperatura constante, preferiblemente a 20 ° C. Se requieren medidas duplicadas. (www.oecd-ilibrary.org, 2012)

10.5.6 Densidad del monóxido de carbono

Los detectores de infrarrojos no dispersivos (NDIR) son el método estándar de la industria para medir la concentración de óxidos de carbono (CO y CO₂).

El monóxido de carbono y otros gases compuestos por dos o más átomos diferentes absorben la radiación infrarroja (IR) de una manera única y característica. Se pueden detectar dichos gases mediante el uso de técnicas de IR. El vapor de agua, el metano, el dióxido de carbono y el monóxido de carbono son ejemplos de gases que pueden medirse con esta técnica. En la siguiente figura, se ilustran las franjas características de su absorción.

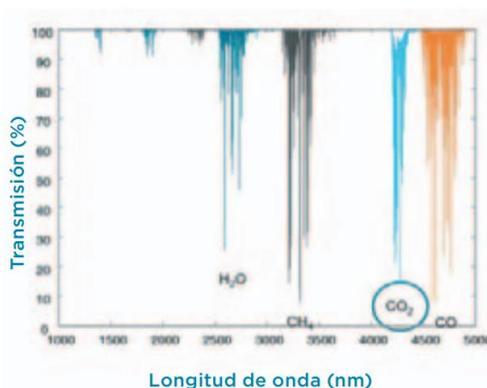


Figura 11. 1: Absorción de algunos gases. Fuente: (www.vaisala.com)

En los analizadores de CO se aplica una variación denominada filtro de correlación de gas cuyo funcionamiento se muestra en siguiente figura.

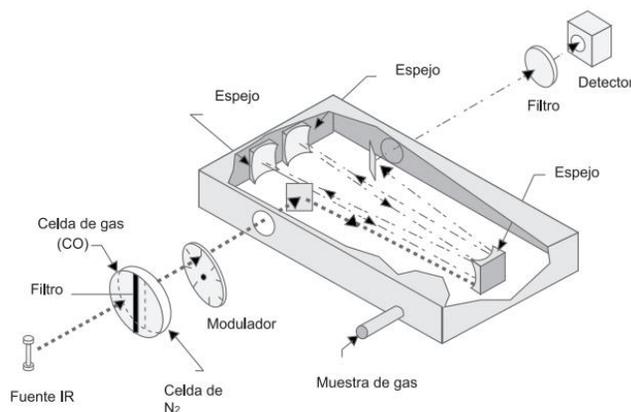


Figura 11. 2: Esquema del principio de operación para un analizador de CO. Fuente: (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático)

En este caso el haz de luz infrarroja pasa por un filtro rotatorio integrado por dos celdas, una de las cuales contiene CO en alta concentración y la otra N₂ como blanco para crear el haz de referencia de modo tal que el detector mida la diferencia de energía entre la radiación absorbida en la celda de muestra y la señal modulada por la alternancia entre los filtros de gas. La señal del detector es procesada y acondicionada por microprocesadores para desplegarla como una lectura de concentración de CO. (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático)

Los sensores de IR presentan muchos beneficios respecto de los sensores químicos. Son estables y altamente selectivos del gas medido. Tienen un ciclo de vida extenso y, debido a que el gas medido no interactúa en forma directa con el sensor, los sensores de IR soportan la humedad alta, el polvo, la suciedad y otras condiciones hostiles.

Los principales componentes de un detector de IR son la fuente de luz, la cámara de medición, el filtro de interferencia y el detector de IR. La radiación de IR se traslada desde la fuente de luz a través del gas medido hasta el detector. Un filtro ubicado en la parte de adelante del detector impide que otras longitudes de ondas que no sean las específicas del

gas medido pasen a través del detector. Así, se detecta la intensidad de la luz y se convierte en un valor de concentración de gases. (www.vaisala.com)

A continuación, se presenta una imagen con la estructura típica de un sensor de gases.

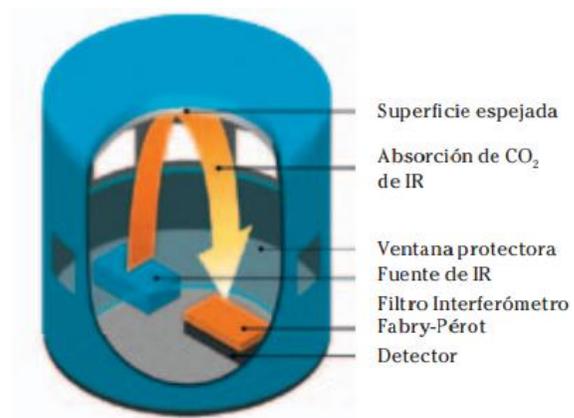


Figura 11. 3: Estructura de un sensor de gases. Fuente: (www.vaisala.com)

CAPÍTULO 11: CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

11.1 INTRODUCCIÓN

El control automático de procesos es una disciplina que se ha desarrollado rápidamente, dando lugar a la segunda revolución industrial. El uso de las técnicas del control automático de procesos tiene como origen la evolución y tecnificación de las tecnologías de medición y control aplicadas a la industria.

Su estudio y aplicación ha contribuido al reconocimiento universal de sus ventajas asociadas al ámbito industrial, que es donde tiene sus mayores aplicaciones debido a la necesidad de controlar numerosas variables. El control automático de procesos se usa principalmente porque reduce el costo asociado a la generación de bienes y servicios, incrementa la calidad y volúmenes de producción de una planta industrial, entre otros beneficios. (Abarca, Sistemas de Control Automático, 2011)

En el presente capítulo se describe cómo se lleva a cabo el control automático de la sección 200 del proceso de producción de ácido fórmico. Además, se detallan los lazos de control involucrados y las hojas de especificaciones correspondientes a los instrumentos de medición y control para dicho proyecto.

11.2 FUNDAMENTOS

“El control automático es el mantenimiento de un valor deseado para una cantidad o condición física, midiendo su valor actual, comparándolo con el valor referencia, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla mediante una acción correctiva. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana”. (Abarca, Sistemas de Control Automático, 2011)

Los cuatro componentes básicos de un sistema de control son:

- Sensor, conocido como elemento primario.
- Transmisor, conocido como elemento secundario.
- Controlador, que es el “cerebro” del sistema de control.
- Elemento de control, frecuentemente se trata de una válvula de control, aunque no siempre. Otros elementos finales de control utilizados son las bombas de velocidad variable, los transportadores y los motores eléctricos.

Esos componentes, realizan las tres operaciones básicas que deben estar presentes en todo sistema de control; estas operaciones son:

- Medición (M): la medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la combinación de sensor y transmisor.
- Decisión (D): según la medición, el controlador decide qué hacer para mantener la variable en el valor que se desea.
- Acción (A): como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final de control. (Smith & Corripio, 1991)

11.3 AUTOMATIZACIÓN DE LA SECCIÓN 200

En la secuencia de arranque, ingresan al tanque mezclador mediante las bombas B-C02, B-C01 y B-C06 una corriente de formiato de metilo y metanol de la sección anterior, una corriente de agua fresca del tanque T-201 y otra de formiato de metilo que se recircula de la columna C-201. Las bombas están conectadas a los correspondientes caudalímetros para medir el flujo de entrada, y estos últimos poseen un lazo de control con los variadores de frecuencia, lo que permite regular el caudal.

Luego, el fluido ingresa al mezclador M-201, el cual tiene un transmisor de nivel continuo enlazado con la válvula modulante VM-C01 para regular el caudal en caso de algún valor no deseado. Además, cuenta con dos sensores de nivel alto y bajo para dar alerta en caso de que el nivel exceda cierto límite o esté por debajo del mínimo y corra peligro de dejar sin fluido a la bomba.

Después, la corriente ingresa al intercambiador E-201, que tiene un transmisor de temperatura TT-C01 en la corriente de salida para corroborar que se alcance la temperatura necesaria. El transmisor está enlazado con la válvula VM-C02 para regular el caudal de vapor en caso de que no se alcance la temperatura deseada.

En el siguiente paso, el fluido entra al reactor R-201, el cual cuenta con un transmisor de nivel LT-C02 conectado con la válvula modulante VM-C05 para modificar el caudal en función del nivel del contenido dentro del reactor, de manera de asegurar el tiempo de

retención necesario. Por las cuestiones de seguridad antes mencionadas, tiene dos sensores de nivel alto y bajo para dar alarma en caso de valores indeseados. También cuenta con un transmisor de presión enlazado con la válvula modulante VM-C04 para regular el caudal en caso de que se exceda la presión del reactor y un transmisor de temperatura conectado a la válvula modulante VM-C03 para regular el caudal de agua de enfriamiento requerida en la camisa de refrigeración y mantener la temperatura en 120°C.

A la salida del reactor, hay una válvula on-off V-C01 por cuestiones de seguridad en caso de algún desperfecto ya que se trabaja con ácido. Luego el fluido es impulsado por la bomba B-C04, la cual cuenta con un variador de frecuencia enlazado a los sensores de nivel alto y bajo de la columna C-201 para modificar el caudal en caso de alguna alarma. A la salida de la bomba atraviesa la válvula modulante VM-C05, la cual tiene lazo de control con un transmisor de presión PT-C02 para regular el caudal y mantener la presión de la columna de destilación en 1 atm.

La columna de destilación C-201 posee con dos transmisores de temperatura en sus corrientes de destilado y residuo, conectados con las válvulas modulantes VM-C06 y VM-C07 para regular el flujo y mantener las temperaturas en los valores deseados. La corriente del fondo es impulsada por la bomba B-C05 y se envía a la siguiente sección.

A continuación, se muestra el diagrama P&ID de la sección 200 para visualizar el flujo del proceso en las tuberías, los equipos, accesorios e instrumentos instalados.

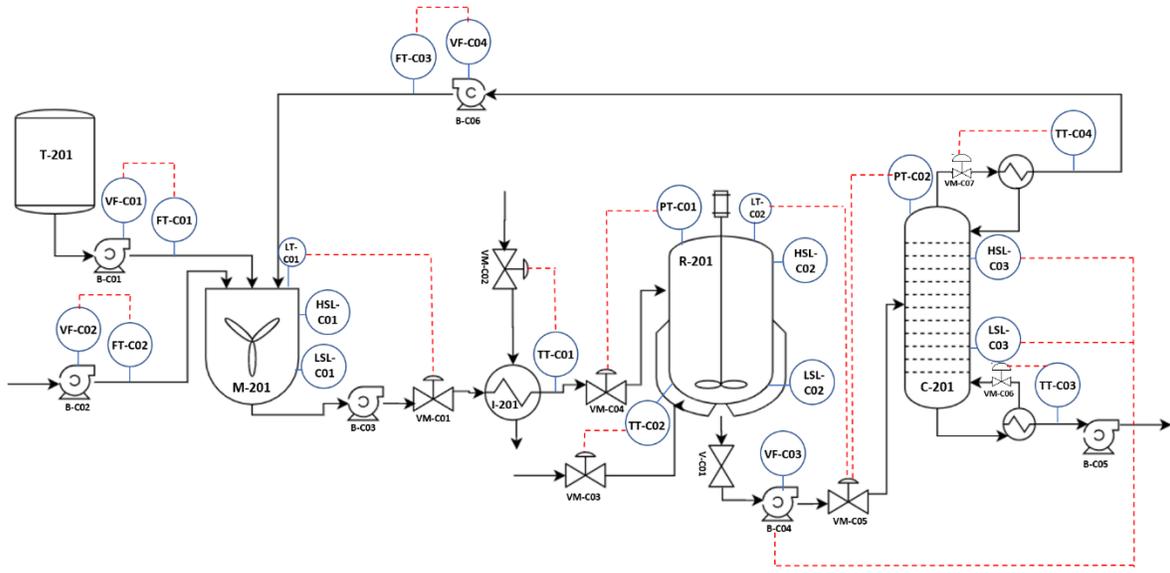


Figura 11. 4: Diagrama de equipos y accesorios. Fuente: Elaboración propia

11.3.1 Hojas de especificaciones de instrumentos

Las hojas de especificaciones de instrumentos son documentos que realiza el ingeniero de proceso-eléctrico-automatista con datos técnicos de los mismos para su posterior cotización y compra.

A continuación, se presentan las hojas de especificaciones correspondientes a los instrumentos de la sección 200 representados en la Figura 11.1.

Tabla 11. 1: Hoja de especificación

<i>Control Automático de Procesos</i>		VARIADOR DE FRECUENCIA	
Hoja de Especificación			
GENERAL	1	TAG	VF-201
	2	SERVICIO	Variación de la frecuencia
	3	SECTOR	Sección 200
	4	TIPO DE VARIADOR	Digital
	5	CORRIENTE DE SALIDA	0,9 a 31 A
	6	CONEXIÓN DE ENTRADA	220 V-400 V
	7	VOLTAGE DE FUNCIONAMIENTO	220 V
	8	TIPO DE SALIDA	Triple

Fuente: Elaboración propia

Cantidad requerida: 4 (VF-C01, VF-C02, VF-C03, VF-C04).



Figura 11. 5: Ejemplo de variador de frecuencia. Fuente: Siemens

Tabla 11. 2: Hoja de especificación

Control Automático de Procesos		VÁLVULA ON-OFF	
Hoja de Especificación			
GENERAL	1	TAG	V-C01
	2	SERVICIO	Control de caudal
	3	UBICACIÓN	Sección 200
	4	DIÁMETRO LÍNEA	1/4 pulg
	5	SECTOR	Reacción hidrólisis
	6	FUNCIÓN	Interrumpir
CUERPO	7	TIPO DE VÁLVULA	On-Off
	8	CONEXIÓN / EXTREMOS	Bridada
	9	MATERIAL	Acero inoxidable 316L
ACTUADOR	10	TIPO DE ACTUADOR	Neumático
	11	FLUIDO MOTOR	Aire comprimido
	12	PRESIÓN FLUIDO MOTOR	6 bar
	13	VOLTAGE	24 V
	14	SEÑAL DE SALIDA	Analógica
	CONDICIONES OPERATIVAS	15	FLUIDO MOTOR
16		CAUDAL OPERATIVO	7106,40 kg/h
17		PRESIÓN	9,86 atm
18		TEMP. MAX.	120°C
19		DENSIDAD	904.670 kg/m ³
20		VISCOSIDAD	0,252 cP
21		% SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	0%

Fuente: Elaboración propia.

Cantidad requerida: 1



Figura 11. 6: Ejemplo de válvula on-off. Fuente: Spirax Sarco

Tabla 11. 3: Hoja de especificación

Control Automático de Procesos Hoja de Especificación	TRANSMISOR DE TEMPERATURA																										
<p>1. Transmisor: <input checked="" type="checkbox"/> Termostato: <input type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">CABEZAL</p> <p>2. Roscado: <input checked="" type="checkbox"/> Otro: <input type="checkbox"/></p> <p>3. Antiexplosivo: <input type="checkbox"/> Seguridad Intrínseca: <input checked="" type="checkbox"/></p> <p style="text-align: center;">ELEMENTO DE MEDICION</p> <p>4. Platino: <input checked="" type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p>5. Rango Resistencia: _____ 0 - 100 Ohm</p> <p>6. Temperatura: Ver cuadro debajo</p> <p>7. Conexión a proceso: _____ Bridado</p> <p>8. Alimentación: 24 V: <input checked="" type="checkbox"/> 12 V: <input type="checkbox"/></p> <p>9. Conexión Eléctrica: 2-Hilos: <input type="checkbox"/> 3-Hilos: <input checked="" type="checkbox"/> 4-Hilos: <input type="checkbox"/></p>	<p style="text-align: center;">TERMOPOZO - VAINA</p> <p>10. No Incluida: <input type="checkbox"/> Incluida: <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>11. Material: 304 AISI: <input type="checkbox"/> 316 AISI: <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>12. Conexión a proceso: ½ in.: <input checked="" type="checkbox"/> ¾ in.: <input type="checkbox"/></p> <p>13. OTROS</p> <p>a) _____</p> <p>b) _____</p>																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tag Nº</th> <th rowspan="2">Tipo</th> <th rowspan="2">Ubicación en Proceso</th> <th colspan="2">Dimensiones</th> <th rowspan="2">Rango (°C)</th> <th rowspan="2">Sector</th> <th rowspan="2">Cantidad</th> </tr> <tr> <th>"U"</th> <th>"T" + "N"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TT - 201</td> <td>Pt-100</td> <td>Corriente vapor</td> <td>15cm</td> <td>A definir por el proveedor</td> <td>Hasta 180°C</td> <td>Sección 200</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>TT - 202</td> <td>Pt-100</td> <td>R-201</td> <td>15cm</td> <td>A definir por el proveedor</td> <td>Hasta 180°C</td> <td>Sección 200</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		Tag Nº	Tipo	Ubicación en Proceso	Dimensiones		Rango (°C)	Sector	Cantidad	"U"	"T" + "N"	TT - 201	Pt-100	Corriente vapor	15cm	A definir por el proveedor	Hasta 180°C	Sección 200	1	TT - 202	Pt-100	R-201	15cm	A definir por el proveedor	Hasta 180°C	Sección 200	1
Tag Nº	Tipo				Ubicación en Proceso	Dimensiones				Rango (°C)	Sector	Cantidad															
		"U"	"T" + "N"																								
TT - 201	Pt-100	Corriente vapor	15cm	A definir por el proveedor	Hasta 180°C	Sección 200	1																				
TT - 202	Pt-100	R-201	15cm	A definir por el proveedor	Hasta 180°C	Sección 200	1																				

Fuente: Elaboración propia

Cantidad requerida: 2 (TT-C01, TT-C02)



Figura 11. 7: Ejemplo de transmisor de temperatura. Fuente: Direct Industry – Valcom

Tabla 11. 4: Hoja de especificación

Control Automático de Procesos		SWITCH DE NIVEL		
Hoja de Especificación				
GENERAL	1	TAG	HSL-C01	LSL-C01
	2	SERVICIO	Medición discontinua	Medición discontinua
	3	UBICACIÓN	R-201	R-201
	4	SECTOR	Sección 200	Sección 200
	5	FUNCIÓN	Indicar nivel alto	Indicar nivel bajo
SENSOR TRANSMISOR	6	TIPO	Capacitivo	Capacitivo
	7	ORIENTACION	Horizontal	Horizontal
	8	MATERIAL	Acero inoxidable 304 (316l para el que esté en contacto con el ácido)	Acero inoxidable 304
	9	LONGITUD APROXIMADA	Estándar	Estándar
	10	CONEXIÓN A PROCESO	Bridada	Bridada
	11	VOLTAJE	24V	24V
	12	SEÑAL DE SALIDA	Digital	Digital
PROCESO	13	FLUIDO	Mezcla reaccionante	Mezcla reaccionante

14	Presión normal	9,86 atm	9,86 atm
15	Temperatura normal	22,8°C	22,8°C
16	Caudal	7106,4 kg/h	7106,4 kg/h
17	Cp	0,797 kcal/kg°C	0,797 kcal/kg°C
18	Cantidad	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Cantidad requerida: 6 (HSL-C01, HSL-C02, HSL-C03, LSL-C01, LSL-C02, LSL-C03)



Figura 11. 8: Ejemplo de switch de nivel. Fuente: Direct Industry – UWT LEVEL CONTROL

Tabla 11. 5: Hoja de especificación

Control Automático de Procesos		VÁLVULA MODULANTE	
Hoja de Especificación			
GENERAL	1	TAG	VM-C01

	2	Servicio	Regulación de caudal
	3	Ubicación	Entre B-C03 e I-201
	4	Diámetro Línea	0,5 pulg
	5	Sector	Sección 200
	6	Cantidad	1
CUERPO	7	Tipo de Válvula	Diafragma
	8	Conexión / Extremos	Bridada
	9	Material	Acero inoxidable 304
	10	Otro	-
ACTUADOR	11	Tipo de Actuador	Neumático
	12	Fluido Motor	Aire comprimido
	13	Presión Fluido Motor	6 barg
	14	Voltage	24V
	15	Señal de Salida	Analógica
CONDICIONES OPERATIVAS	16	Fluido	Mezcla reaccionante
	17	Caudal Operativo	7106,4kg/h
	18	Densidad	985,88kg/m ³
	19	% sólidos en suspensión	0%
	20	Presión	9,86 atm
	21	Viscosidad	0,82 cP
	22	Temp. Max.	25°C

Fuente: Elaboración propia

Cantidad requerida: 7 (VM-C01, VM-C02, VM-C03, VM-C04, VM-C05, VM-C06, VM-C07)



Figura 11. 9: Ejemplo de válvula modulante. Fuente: SC Fluids

Tabla 11. 6: Hoja de especificación

Control Automático de Procesos			
Hoja de Especificación		TRANSMISOR DE PRESIÓN	
GENERAL	1	TAG	PT-C01
	2	SERVICIO	Medición
	3	UBICACIÓN	Sección 200
	4	FUNCIÓN	Medir la presión
SENSOR	5	TIPO DE SENSOR	Analógico
	6	ORIENTACION	Horizontal
	7	MATERIAL	Acero inoxidable 316 L
	8	RANGO MEDICION	9-10atm
	9	CONEXIÓN A PROCESO	Bridada
	10	VOLTAJE DE ALIMENTACION	24V
	11	OTRO	-
TRANSMISOR	12	SEÑAL DE SALIDA	Analógica 4-20mA
	13	INDICACIÓN LOCAL	Si
SERVICIO	14	FLUIDO	Metanol, formiato de metilo, ácido fórmico, agua
	15	DENSIDAD	883,89 kg/m ³
	16	VISCOSIDAD	0,22cP
	17	PRESION	9,86 atm

18	TEMPERATURA	120°C
19	CAUDAL	7106,4 kg/h

Fuente: Elaboración propia

Cantidad requerida: 2 (PT-C01, PT-C02)



Figura 11. 10: Ejemplo de transmisor de presión. Fuente: <http://www.conar.com/>

Tabla 11. 7: Hoja de especificación

<i>Control Automático de Procesos</i>		TRANSMISOR DE CAUDAL	
Hoja de Especificación			
GENERAL	1	TAG	FT-C01
	2	Tipo de Caudalímetro	Digital
	3	Función	Medición
	4	Ubicación	Entre B-C01 y M-201
	5	Sector	Sección 200
	6	Servicio	Medición de caudal
CONEXIÓN A PROCESO	7	Diámetro Cañería	3 pulg
	8	Material Cañería	Acero inoxidable
	9	Conexión / extremo	Bridada
CONDICIONES DE PROCESO	10	FLUIDO	Fluido
	11		Agua
	12		Caudal
13	Temperatura	20°C	

	14		Presión	1 atm
	15		Densidad	997,84 kg/m ³
	16		Viscosidad	1 cP
TRANSMISOR	18		Voltaje para funcionamiento	24V
	19	TRANSM	Señal de Salida	4mA-20mA
	20		Material de electrodo	Titanio

Fuente: Elaboración propia

Cantidad requerida: 3 (FT-C01, FT-C02, FT-C03)



Figura 11. 11: Ejemplo de transmisor de caudal. Fuente: <https://www.spiraxsarco.com/>

Tabla 11. 8: Hoja de especificación

<i>Control Automático de Procesos</i>			TRANSMISOR DE NIVEL
Hoja de Especificación			
GENERAL	1	TAG	LT-C01
	2	SERVICIO	Medición continua
	3	UBICACIÓN	M-201
	4	SECTOR	Sección 200
	5	FUNCIÓN	Medir nivel en mixer
SENSOR	6	TIPO	Electromagnético
	7	ORIENTACION	Vertical
TRANSMISOR	8	MATERIAL	Acero inoxidable 316L
	9	LONGITUD APROXIMADA	1,2 m

	10	CONEXIÓN A PROCESO		Bridada
	11	VOLTAJE		24V
	12	SEÑAL DE SALIDA		Analógica/continua
PROCESO	13	FLUIDO		Agua, metanol, formiato de metilo
	14	Presión	Normal	1 atm
	15	Temperatura	Normal	22,8°C
	16	Caudal		7106,4 kg/h
	17	Cp		0,797 kcal/kg°C
	18	Cantidad		1

Fuente: Elaboración propia

Cantidad requerida: 2 (LT-C01, LT-C02)



Figura 11. 12: Ejemplo de transmisor de temperatura. Fuente: <http://www.conar.com/>

CAPÍTULO 12: OBRAS CIVILES

12.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza la distribución física de todas las áreas que pertenecen a las instalaciones de la planta de producción de ácido fórmico, la cual se ubica en el parque industrial San Lorenzo, localidad de San Lorenzo, provincia de Santa Fe (como se detalla en Capítulo 4).

Además, se describen todas las características para la construcción de cada sector, como dimensiones y materiales, y se diseña el layout correspondiente.

12.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA

El Parque Industrial San Lorenzo dispone mayormente de lotes de 2500m² y 5000m² de superficie, con dimensiones de 30m x 83,33m y 60m x 83,3m respectivamente.

Para la instalación de la planta opta por dos lotes de 30m x 83,3m.

En cuanto a la construcción del edificio, se realiza buena estructura, de forma tal de asegurar la seguridad, y a su vez, los materiales seleccionados no provocan ningún tipo de contaminación que pueda dañar a las personas, el producto final ni el medio ambiente.

En el interior de la edificación, se debe disponer de espacio suficiente para movilizar de manera correcta materia prima, materiales, productos y personal sin provocar interferencia en las operaciones que se están realizando y evitar posibles accidentes.

El predio cuenta con cerco perimetral y sistema de control de ingresos y egresos. El cerco antes mencionado tiene una altura de 2 metros, con alambrado olímpico y postes de hormigón colocados cada 5 metros. A su vez en su parte superior, posee alambre de púas.

El establecimiento posee los siguientes servicios esenciales:

- Red eléctrica de baja y media tensión
- Red de agua corriente
- Red de media y alta presión de gas natural
- Red de cloacas
- Sistema desagües pluviales
- Red de telefonía

- Servicio de internet / Wi-fi
- Iluminación interior y alumbrado público exterior
- Sistemas hidrantes contra incendios
- Balanza común

Para el correcto desplazamiento dentro del establecimiento, se traza una red de calles internas pavimentadas y señalizadas, para la circulación de vehículos de transporte, vehículos particulares como así también personal a pie.

En base a lo mencionado, se fijan los siguientes objetivos:

- Maximizar la funcionalidad de cada sector y de la planta en su totalidad.
- Minimizar el área cubierta y los desplazamientos de vehículos y personal.
- Tener en cuenta futuras ampliaciones e incorporaciones de equipos.
- Promover una eficiente comunicación entre las áreas y las personas que allí se encuentran.
- Facilitar el flujo de corrientes y de información.

El terreno seleccionado cuenta con 4998 m², divididos en los siguientes sectores:

Tabla 12. 1: Sectores de la planta.

Sector	Descripción	Característica	Dimensión
Sector 1	Estacionamiento de vehículos	Bajo techo	16,00m x 47,50m
Sector 2	Sala guardia	Bajo techo	4,60m x 3,60m
Sector 3	Comedor	Bajo techo	6,60m x 3,60m
Sector 4	Baños y vestuarios	Bajo techo	9,50m x 6,40m
Sector 5	Sala de reunión/oficinas	Bajo techo	9,00m x 15,00m
Sector 6	Laboratorio	Bajo techo	7,00m x 5,00m
Sector 7	Sala de mantenimiento	Bajo techo	7,85m x 9,15m
Sector 8	Sala de caldera	Bajo techo	12,60m x 9,00m

Sector 9	Sector torres de enfriamiento	Intemperie	8,65m x 17,00m
Sector 10	Sala de control	Bajo techo	7,30m x 5,00m
Sector 11	Tanques de agua	Intemperie	9,55m x 4,70m
Sección 100	Reacción de carbonilación	Intemperie/bajo de techo	13,00m x 17,20m
Sección 200	Reacción de hidrólisis	Intemperie	17,00m x 11,70m
Sección 300	Purificación de ácido	Intemperie	17,00m x 14,70m

Fuente: Elaboración propia.

12.3 DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA

En la Figura 12.1 se muestra el layout general de la planta.

Las calles se encuentran pavimentadas y cuentan con la iluminación necesaria.

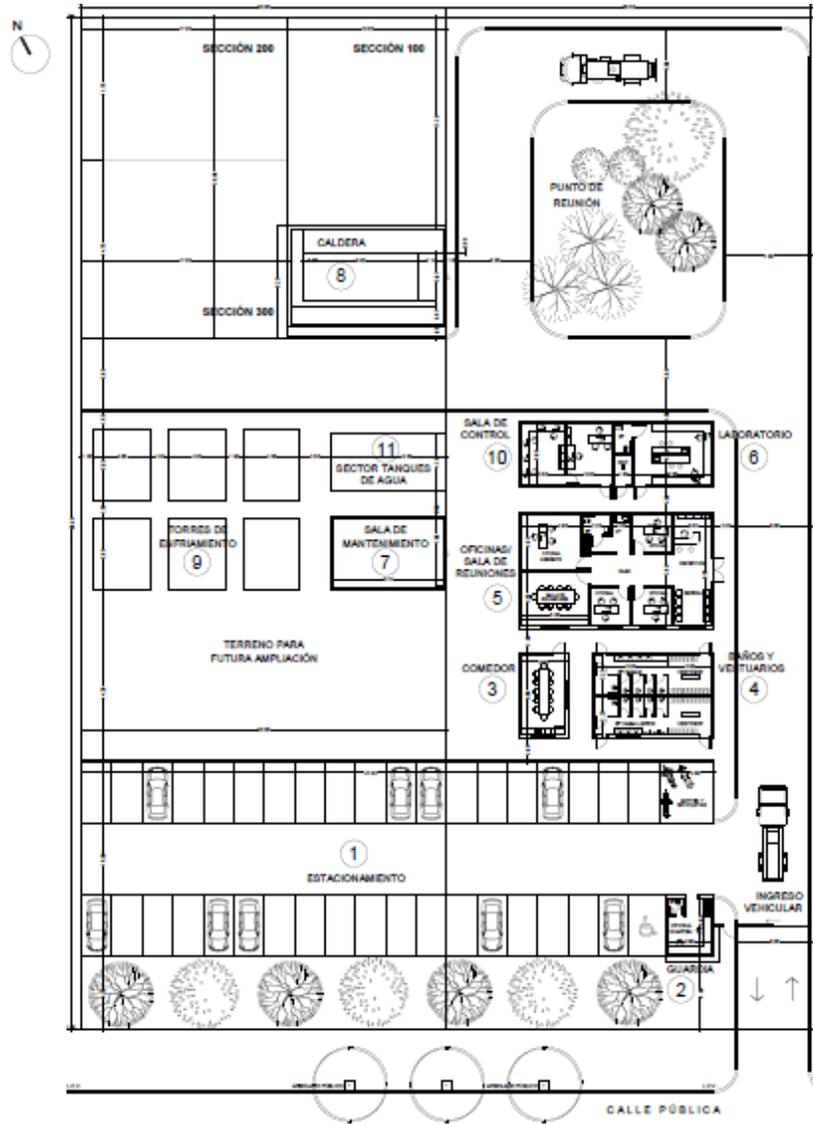


Figura 12. 1: Lay-out general de la planta. Fuente: Elaboración propia.

El ingreso se realiza por la derecha desde calle pública, hacia la izquierda se ubica el estacionamiento, que se encuentra adaptado para motos, bicicletas y automóviles, destinado al personal que trabaja en el lugar. Contando además con lugares para autos previstos para discapacitados.

Los vestuarios, permiten a los empleados colocarse los equipos de seguridad y uniforme de trabajo pertinentes antes de ingresar a la planta. Además, en este sector se encuentran los baños tanto de mujeres como de hombres.

A la izquierda de los baños y vestuarios se encuentra el sector de comedor, con servicio de desayuno, almuerzo, merienda y cena. Para determinar su capacidad, nuevamente se tiene en cuenta la cantidad de operarios que habrá utilizado de las instalaciones en los distintos turnos de trabajo.

En el área de oficinas se localizan las oficinas propiamente dichas además de una sala de reuniones. Para definir esta superficie se tiene en cuenta la cantidad de personas que se necesita para el desempeño de las tareas. Además, se designa una pequeña área para recepción.

En cuanto al laboratorio, el mismo cuenta con todo el equipamiento e instrumentos necesarios para el control de calidad de materias primas y productos. A un lado del laboratorio, se encuentra una pequeña enfermería equipada para poder actuar ante una emergencia leve.

Los espacios mencionados con anterioridad se encuentran intencionalmente fuera de la zona de producción, con el objetivo que los empleados se encuentren resguardados físicamente de posibles peligros.

El área productiva, en tanto, se divide en 3 secciones:

- Sección 100 destinada a la reacción principal de carbonilación.
- Sección 200 referida a reacción de hidratación.
- Sección 300 purificación del producto final.

Para estos sectores, además de tener en cuenta el personal, se deben considerar los requerimientos del proceso productivo, los equipos se ordenan de acuerdo con las etapas progresivas. Una correcta posición de los equipos permite una mejor utilización de los espacios, facilita la circulación dentro de la planta, agiliza el proceso de manufactura, minimizando los movimientos de materiales, provocando así un manejo más eficiente de la mano de obra.

Los espacios entre equipos se determinan de tal manera que se permita el fácil acceso de los operarios para las realizar las tareas cotidianas y de mantenimiento.

La asignación de los espacios a los distintos sectores se realiza en función a los distintos aspectos funcionales y requerimiento de cada área.

A continuación, en Tabla 12.2 se visualizan aspectos generales y detallados de los distintos sectores.

Tabla 12. 2: Características de los sectores.

Sector	Paredes	Techo	Piso	Aberturas
Sector 1	-	Toldo media sombra	Pavimento	-
Sector 2	Mampostería de bloques cementicios con terminación de revoque grueso y fino. Pintado con pintura látex color claro	Losa maciza de hormigón. Cielorraso aplicado de revoque grueso y fino	Porcelanato	De aluminio
Sector 3	Mampostería de bloques cementicios con terminación de revoque grueso y fino. Con pintura látex y Revestimiento cerámico hasta los 2m de altura	Losa maciza de hormigón. Cielorraso aplicado de revoque grueso y fino	Porcelanato	De aluminio
Sector 4	Mampostería de bloques cementicios con terminación de revoque grueso y fino. Con pintura látex y	Losa maciza de hormigón. Cielorraso aplicado de revoque grueso y fino	Porcelanato	De aluminio

	Revestimiento cerámico hasta los 2m de altura			
Sector 5	Mampostería de bloques cementicios con terminación de revoque grueso y fino. Con pintura látex	Losa maciza de hormigón. Cielorraso aplicado de revoque grueso y fino	Porcelanato	De aluminio
Sector 6	Mampostería de bloques cementicios con terminación de revoque grueso y fino. Con pintura látex y Revestimiento cerámico hasta los 2m de altura	Losa maciza de hormigón. Cielorraso aplicado de revoque grueso y fino	Porcelanato	De aluminio
Sector 7	Mampostería de bloques cementicios con terminación de revoque grueso y fino	Cubierta de chapa con estructura metálica	Cemento alisado	Portón corredizo de chapa
Sector 8	Mampostería de bloques cementicios	Cubierta de chapa con estructura metálica	Cemento alisado	Portones corredizos de chapa
Sector 9	-	-	Carpeta cementicia	-
Sector 10	Mampostería de bloques cementicios	Losa de hormigón armado con revoque grueso y fino	Cemento alisado	De aluminio
Sección 100	-	-	Carpeta cementicia	-

Sección 200	-	-	Carpeta cementicia	-
Sección 300	-	-	Carpeta cementicia	-

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 13: INSTALACIONES ELÉCTRICAS

13.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describirán las características de las instalaciones eléctricas del proyecto, y se evaluará el requerimiento de potencia total. Éste último, se determina teniendo en cuenta el consumo de cada equipo perteneciente al proceso de producción y el de demás artefactos empleados en iluminación.

Los circuitos de alumbrado emplean corriente alterna monofásica de 220 V, mientras que en los circuitos de fuerza motriz la corriente utilizada es alterna trifásica de 380 V.

Un aspecto que potencia el desarrollo industrial en el Parque industrial San Lorenzo, es que cuenta con una subestación transformadora de energía y con una línea de media tensión de 8 kilómetros, además de tener red eléctrica de baja tensión. Dicho servicio es provisto por la empresa EPESF (Empresa Provincial de la energía de Santa Fe).

13.2 CONCEPTOS GENERALES

Una instalación eléctrica se compone de ciertos elementos básicos, los cuales se detallan a continuación:

- Conductores y cables eléctricos: Son elementos destinados al transporte de energía eléctrica, sobre todo en las condiciones más desfavorables y con las menores pérdidas posibles. Los conductores pueden ser cobre o aluminio. Están constituidos básicamente por un conductor (parte metálica), aislación (envoltura de material aislante eléctrico que soporta la tensión aplicada al conductor) y protección (revestimiento exterior cuando sea necesario, para proteger la aislación).

- Canalizaciones: Cañería, conducto o bandeja, que deben ser normalizados (IRAM 62386) para contener elementos de fijación de conductores eléctricos. Protegen a los conductores de daños mecánicos, químicos, altas temperaturas y humedad. A su vez, distribuye de manera uniforme y acomodada el cableado eléctrico en la instalación. Las canalizaciones eléctricas están fabricadas para adaptarse a cualquier ambiente donde se requiera llevar un cableado eléctrico. Por lo cual, se pueden encontrar empotradas, en superficies, al aire libre, zonas vibratorias, zonas húmedas o lugares subterráneos y pueden ser realizadas por diferentes materiales: chapa de acero, acero inoxidable, PVC, aluminio o acero galvanizado.

- Luminaria

- Lámparas de incandescencia: Dispositivo que produce luz mediante el calentamiento por efecto Joule de un filamento metálico, hasta ponerlo al rojo blanco, mediante el paso de corriente eléctrica. Al pasar corriente a través un filamento, puede ser calentado como resistencia hasta volverse incandescente, manteniéndose en este estado por mucho tiempo. Para evitar que el filamento se queme en contacto con el aire, se rodea con una ampolla de vidrio a la que se le ha hecho el vacío o se ha rellenado con un gas.

- Lámparas incandescentes halógenas: Consiste en una lámpara que en su interior contiene gas halógeno en un filamento de tungsteno, introducida dentro de una ampolla común. Emiten una luz 30 % más blanca que las convencionales y brillante empleando menos potencia en watt. Son más eficientes.

- Lámparas de descarga: La emisión luminosa es producida por el paso de una corriente eléctrica a través de una atmósfera de vapor o gas.

- Lámparas fluorescentes: Se componen de un tubo de vidrio que contiene una pequeña cantidad de mercurio y gases inertes a baja presión, como gas argón o criptón, produciéndose una descarga eléctrica entre los electrodos situados en extremos opuestos.

- Led: Dispositivo semiconductor que emite luz cuando circula por la corriente eléctrica; es un proyector electroluminiscente emite luz mediante la recombinación de los pares de portadores de carga de un semiconductor.

- Elementos de protección:

- Fusibles: Son elementos de protección, constituidos por un alambre o una lámina metálica, dimensionado para fundirse a partir de determinada intensidad de corriente. Protegen los cables, conductores de la corriente de sobrecarga y a componentes de maniobras y motores.

- Interruptores: Dispositivos de maniobra destinados a cortar la corriente en general, separando la parte anterior de la instalación del punto de suministro de energía. Se utilizan para proteger contra sobrecarga y cortocircuito a los cables y conductores. Poseen dos protecciones conectadas en serie, un disparador térmico bimetálico, que actúa retardado

ante sobrecargas, y un disparador magnético (bobina) que reacciona sin retardo ante cortocircuitos.

- Interruptor termomagnético: Es un dispositivo mecánico de conexión, puede interrumpir corrientes en las condiciones normales, así como soportar durante un tiempo determinado e interrumpir automáticamente en condiciones anormales. (Quadri)

- Interruptor Diferencial: Dispositivos destinados a proteger la vida de las personas, están diseñados para funcionar automáticamente cuando la corriente de fuga excede de 30mA y en un tiempo menor de 0,200 segundos. Sirven para detectar las corrientes de defectos a tierra, que eventualmente pudieron producirse en algún punto de la instalación cortando automáticamente.

- Protectores de Sobretensión: Protegen a las instalaciones contra las sobretensiones transitorias originas por rayos o por maniobras o defecto en las líneas de distribución. Los dispositivos de protección contra sobretensiones se basan en un varistor (resistencia variable en función de la tensión aplicada) conectado entre cada fase, neutro y tierra.

- Puesta a tierra: Es una toma, electrodo o dispensor que es la parte conductora, en contacto íntimo con la tierra, cuyo potencial eléctrico se torna por convención igual a cero, la que se vincula equipotencialmente mediante un conductor de protección con las masas de la instalación.

- Contactor: Es el aparato de maniobra más utilizado en la industria. Es un aparato de maniobras que permite el arranque en directo de motores asincrónicos trifásicos soportando una corriente de arranque varias veces mayor a la asignada

- Transformadores: Dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.

- Motores eléctricos: Dispositivos que transforman energía eléctrica en energía mecánica. El medio de esta transformación de energía es el campo magnético.

- Acometidas: Punto de conexión del usuario con la empresa proveedora de electricidad; la misma puede ser aérea o subterránea. La vinculación con la red pública se realiza en una caja denominada "caja de acometida", de la misma se pasa a un medidor de energía de donde normalmente parten las puestas a tierra y los circuitos de distribución.

- **Tableros:** Constituidos por cajas o gabinetes con cubiertas y soportes, es el lugar donde se colocan los interruptores, protecciones y en caso de instalaciones importantes, la señalización y control, pudiendo ser diseñados para montaje sobre piso, pared o de embutir y construidos en metal o materiales plásticos. Si el tablero es principal, se trata del centro de distribución de toda la instalación eléctrica. Si el tablero es seccional acomete la línea seccional y del cual se derivan otras líneas seccionales o de circuito. (Manual del Instalador Electricista - Categoría III)

- **Tomacorriente:** Elemento que dispone de ranuras para la inserción de las clavijas externas, que se encuentran en el extremo del cable. Estas conexiones son la boca de la electricidad y permiten la utilización de la energía para los equipos industriales. Por lo general se encuentran empotrados en la pared.

- **Bandejas portacables:** Estructuras metálicas donde colocan los cables, con el objetivo de canalizarlos y evitar posibles accidentes. Por otro lado, permite acceder a ellos de forma sencilla y también cambiarlos o añadir otros. Son muy utilizadas por brindar orden y permitir a los cables estar tapados. Existen varios tipos en función de los materiales que las componen o los usos.

- **Iluminación de emergencia:** La iluminación de emergencia está contemplada en el Decreto 351/79 que regula la Ley 19.587 (Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo), el cual detalla la necesidad de su instalación en establecimientos que realicen tareas en horario nocturno o que no cuenten con iluminación natural en horarios diurnos. Por otro lado, la norma IRAM-AADL J 2027 define el alumbrado de emergencia como el previsto para ser utilizado cuando falla el alumbrado normal. (www.editores-srl.com.ar, s.f.)

- **Generador de emergencia:** Se instalan con la finalidad de asegurar suministro continuo de energía en caso de fallo de los sistemas de red eléctrica.

13.3 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LOS EQUIPOS DEL PROCESO

En la tabla 13.1 se especifica el consumo de potencia de cada equipo, teniendo en cuenta las horas de funcionamiento que corresponden a 345 días (tiempo de producción establecido en capítulo 7).

Tabla 13. 1: Consumo de potencia de equipos.

Equipo	Potencia (kW)	Consumo eléctrico (kW)	
		Diario	Anual
M-101	1,49	35,76	12337,20
M-201	1,49	35,76	12337,20
R-101	0,75	18,00	6210,00
R-201	7,46	179,04	61768,80
P1-101	0,75	18,00	6210,00
P-101	0,75	18,00	6210,00
P-102	11,00	264,00	91080,00
P-103	0,75	18,00	6210,00
P1-201	0,75	18,00	6210,00
P-201	2,98	71,52	24674,40
P-202	0,75	18,00	6210,00
P1-301	0,75	18,00	6210,00
P-301	0,75	18,00	6210,00
P-302	0,75	18,00	6210,00
P-303	0,75	18,00	6210,00
P1-302	0,75	18,00	6210,00
P-104	1,12	26,88	9273,60
P-105	29,83	715,92	246992,40

P-203	14,90	357,60	123372,00
P-304	44,72	1073,28	370281,60
P-305	44,72	1073,28	370281,60
P-401	29,83	715,92	246992,40
P-402	1,12	26,88	9273,60
TOTAL	198,91	4773,84	1646974,80

Fuente: Elaboración propia.

13.4 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

La iluminación correcta en la industria permite al personal realizar su trabajo de manera más productiva, brindando además, condiciones óptimas de confort visual. Está demostrado que una buena iluminación ayuda a realizar las tareas de forma más eficiente.

En lo que respecta a seguridad y ergonomía, es evidente que un puesto de trabajo en un área mal iluminada es un riesgo para los operarios y puede producir fatiga visual y mental, por lo que es necesario lograr niveles lumínicos correctos.

13.4.1 Determinación del nivel de iluminación necesario para cada ambiente

Para determinar el nivel de iluminación, se deben calcular las dimensiones de cada sector, y tener en cuenta el flujo luminoso necesario según el trabajo que se realice en él. El nivel de iluminación se mide en lux (lm/m^2) y es el cociente del flujo luminoso (lumen) sobre el área de la superficie iluminada.

Los niveles mínimos de iluminación están descritos en la ley 19.587 “Higiene y seguridad en el trabajo”, decreto 4160. En la tabla 13.2 se muestran los niveles de iluminación.

Tabla 13. 2: Niveles de iluminación.

Tarea	Nivel de iluminación (lux)
Visión ocasional, lugares con poco tránsito.	100
Tareas intermitente, ordinaria y fácil, como circulación general incluyendo tránsito por pasillos, carga y descarga de materia prima.	100 a 300
Actividades con poco esfuerzo visual, en baños y escaleras.	200
Tareas moderadamente crítica y prolongada, tal como laboratorio de ensayo y control, con lectura de resultados. Trabajos de oficina	300 a 750
Tareas severas y prolongadas, trabajos finos, mecánicos y manuales.	750 a 1500
Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste.	1500 a 3000
Tareas excepcionales, difíciles o importantes.	5000 a 10000

Fuente: Elaboración propia.

13.4.2 Adopción de los tipos de luminarias

Para adoptar las luminarias, se tendrá en cuenta:

- Consumo energético.
- Economía de instalación.
- Mantenimiento.
- Nivel de iluminación.
- Dimensiones del sector.

- Actividades que se realicen en el sector.

La planta cuenta con iluminación interior (espacio cubierto) y exterior (intemperie), por lo que, se establece que para calcular la cantidad de luminarias interiores requeridas se sigue un método de cálculo descrito en el siguiente apartado, mientras que para parte exterior se tomará como criterio asignar lámparas LED cada cierta distancia.

En la siguiente tabla se detallan las luminarias escogidas.

Tabla 13.3: Adopción de luminarias.

Sector	Tipo de lámpara
Sectores a la intemperie	Luminaria led – serie Oslo – Modelo: Oslo 21 L Luminosidad (lm): 21000 Potencia (W): 135
Sección 100, 200 y 300, sala de calderas, taller de mantenimiento, etc.	Luminaria led – serie Moss – Modelo: MOSS 105 Luminosidad (lm): 14204 Potencia (W): 105
Baños, oficinas, vestuarios, laboratorio, etc.	Luminaria led – serie Loen Luminosidad (lm): 2000 Potencia (W): 12

Fuente: (www.lutron.com.ar)

13.4.3 Determinación de la cantidad de luminarias requeridas

Uno de los métodos de cálculo de niveles de iluminación de una instalación de alumbrado de interiores es el de lúmenes, el cual consiste en la obtención del valor medio del alumbrado general.

Para el cálculo del alumbrado general localizado o el alumbrado localizado recurriremos a un método más complejo denominado método del punto por punto.

Los datos de entrada para el cálculo son:

- Dimensiones de la sección o sector.

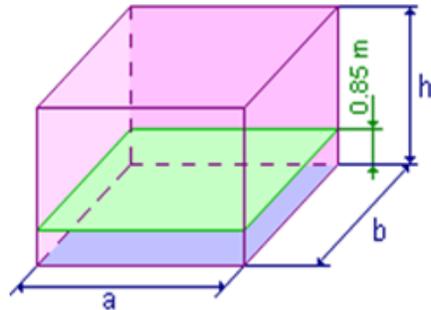


Figura 13.1: Cálculo de dimensiones del local. Fuente: (ingenierosindustriales.jimdo.com)

- Nivel de iluminancia media (E_m), valor dado en lux, y que depende del tipo de actividad a realizar.
- Tipo de lámpara a utilizar, se determina también según el tipo de actividad que se realice en la instalación.
- Sistema de alumbrado, de acuerdo con las actividades a desarrollar, alumbrado general, general localizado o localizado.
- Altura de suspensión de las luminarias según el sistema de iluminación escogido.

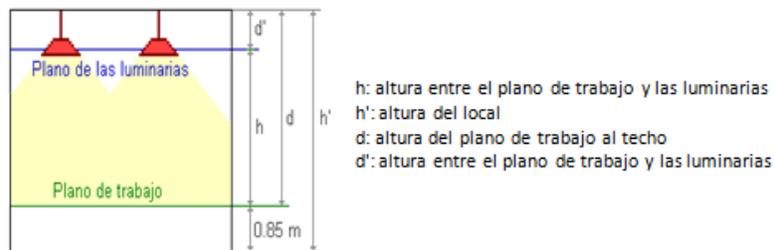


Figura 13.2: Altura de suspensión. Fuente: (ingenierosindustriales.jimdo.com)

Características del Área	Altura de las luminarias
Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Lo más altas posibles
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3} \cdot (h' - 0.85)$ Óptimo: $h = \frac{4}{5} \cdot (h' - 0.85)$
Locales con iluminación indirecta	$d' \approx \frac{1}{4} \cdot (h' - 0.85)$ $h \approx \frac{3}{4} \cdot (h' - 0.85)$

Figura 13.3: Altura de luminarias según sector. Fuente: (ingenierosindustriales.jimdo.com)

- Índice de la sección (k), se calcula a partir de la geometría del lugar, para lo cual existen dos métodos, uno es el europeo y otro es el tradicional (recomendado).
- Método Europeo

Sistema de iluminación	Índice del local
Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
Iluminación indirecta y semi-indirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0.85) \cdot (a + b)}$

Figura 13.4: Índice del local. Fuente: (ingenierosindustriales.jimdo.com, s.f.)

- Método Tradicional

$$K = \frac{(2b + 8a)}{10h'}$$

- Coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo, se toma como base la siguiente figura:

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Figura 13.6: Factor de reflexión. Fuente: (ingenierosindustriales.jimdo.com)

- Factor de utilización, este valor se calcula a partir del índice del local y los factores de reflexión:

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Figura 13.7: Factor de utilización. Fuente: (ingenierosindustriales.jimdo.com)

- Factor de mantenimiento (fm), se trata de un coeficiente que depende del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual se pueden tomar los siguientes valores:

Limpieza anual (tipo de ambiente)	Factor de mantenimiento (f _m) método tradicional	Factor de mantenimiento (f _m) método europeo
Limpio	1.2	0.8
Sucio	1.4	0.6

Figura 13.8: Factor de mantenimiento. Fuente: (ingenierosindustriales.jimdo.com)

- Flujo luminoso total, se aplica la siguiente fórmula:

$$\phi = \frac{E \cdot S \cdot f_m}{\varphi}$$

Donde:

- E = Valor máximo según tabla.
- S = Superficie de la sección.
- φ = Factor utilización.
- f_m = Factor de depreciación.
 - Número de luminarias

$$N = \frac{\phi_T}{n \cdot \phi_L}$$

Donde:

- N = Número de luminarias.
- ϕ_T = Flujo luminoso total.
- ϕ_L = Flujo luminoso de una lámpara.
- n = Número de lámparas por luminaria.
 - Distribución de los focos de alumbrado

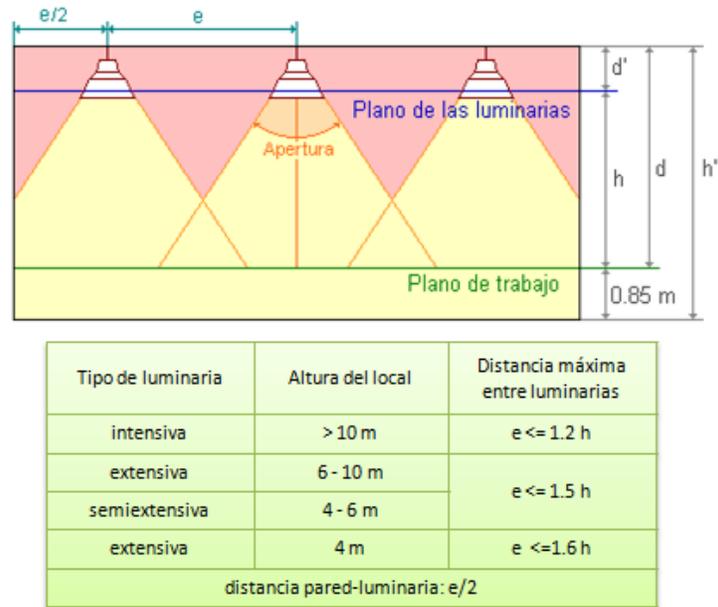


Figura 13.11: Distribución de focos. Fuente: (ingenierosindustriales.jimdo.com)

En la siguiente tabla se muestran las características de las lámparas calculadas y adoptadas según lo descrito anteriormente. Cabe destacar

Tabla 13. 4: Lámparas según sector.

Sector	Sup. (m ²)	Luminosidad (lux)	N°	Potencia (kW)	Frecuencia de uso (h/día)	Consumo diario (kWh/día)	Consumo anual (kWh/año)
Baños y vestuarios	60	200	5	0,012	24	1,44	496,80
Comedor	24	200	3	0,012	8	0,28	99,60
Sala de control PLC	56	500	2	0,105	24	5,04	1738,80

Sección 100	180	200	3	0,105	24	7,56	2608,20
Sección 200	70	200	2	0,105	24	5,04	1738,80
Sección 300	55	200	2	0,105	24	5,04	1738,80
Sector equipos de enfriamiento	200	200	4	0,135	12	3,24	1117,80
Oficinas y sala reunión	80	500	17	0,012	9	1,83	631,35
Laboratorio	39,56	600	10	0,012	24	2,88	993,60
Sala de caldera	45	200	1	0,105	24	2,52	869,40
Taller de mantenimiento	60	300	2	0,105	24	5,04	1738,80
Cabina de ingreso	4	200	1	0,012	24	0,28	99,60
Estacionamiento	505	100	7	0,135	12	11,34	3912,30

Calle interna	900	100	15	0,135	24	48,60	16767,00
Calle externa	1020	100	20	0.135	24	64,80	22356,00
Total							
Cantidad de lámparas		Consumo diario (kWh/día)			Consumo anual (kWh/año)		
94		164,93			56900,85		

Fuente: Elaboración propia

13.5 CONSUMO GLOBAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA PLANTA

En la siguiente tabla se muestra la descripción del consumo global de energía eléctrica de la planta, abarcando los dos puntos descritos en el presente capítulo como son el consumo de los equipos y del sistema de iluminación.

Tabla 13. 5: Consumo global de energía eléctrica.

Tipo de consumo	Consumo diario (kW)	Consumo anual (kW)
Equipos	4773,84	1646974,80
Iluminación	164,93	56900,85
Total	4.938,77	1.703.875,65

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 14: ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

14.1 INTRODUCCIÓN

Una empresa se puede definir como una entidad formada por personas, bienes materiales, aspiraciones, realizaciones y capacidades técnicas y financieras, que, le permiten dedicarse a la producción y transformación de productos y/o a la prestación de servicios, con el fin de satisfacer necesidades y deseos de la sociedad, para obtener un beneficio a cambio.

En este capítulo se define el tipo de sociedad comercial adoptada, se detallan las diferentes áreas que conforman la empresa, su personal requerido y se elabora un organigrama donde se plasma la estructura jerárquica dentro de la misma. También, se definen las actividades de los diferentes puestos de trabajo, y los horarios y turnos de trabajos correspondientes.

14.2 TIPO DE SOCIEDAD

La Ley Nacional de Sociedades Comerciales 19.550/1984 de la República Argentina contempla diferentes tipos societarios. Los más utilizados en nuestro país son la sociedad anónima (S.A.) y la sociedad de responsabilidad limitada (S.R.L.).

Para el caso de este proyecto, se decide optar por la sociedad anónima, donde según el artículo 163, el capital se representa por acciones y los socios limitan su responsabilidad a la integración de las acciones suscriptas.

El objetivo principal de este tipo de sociedad es reunir dinero procedente de numerosos inversores para llevar a cabo grandes proyectos. Para ello, se divide el capital en acciones, que se reparten entre los socios inversores a raíz de la cantidad de dinero aportada por cada uno. Así, cuantas más acciones tenga un socio, mayor será su peso en la compañía.

Algunas características de una sociedad anónima son:

- El capital social está compuesto por la cantidad que aporta cada socio.
- La responsabilidad que asuma cada socio será proporcional al capital aportado por éstos.
- Una Sociedad Anónima, generalmente se compone de una Junta General, que da voz a los socios y un Órgano de Administración.
- La responsabilidad frente a los acreedores es limitada, lo que pone a salvo su patrimonio personal en caso de quiebra.

- La transmisión de las acciones es libre, lo que facilita la incorporación de muchos inversores.
- La Empresa Anónima da una imagen de ser un negocio serio, lo cual facilita la entrada de nuevo capital.
- El capital social mínimo exigido es elevado, por lo cual es inaccesible para la mayoría de los emprendedores.
- La gestión administrativa presenta regímenes jurídicos complejos, para grandes empresas.

14.3 ESTRUCTURA DE LA EMPRESA

La organización de la empresa de producción de ácido fórmico trabaja con departamentos, diferenciados según su función a realizar. Cada departamento tiene un jefe que responde a la gerencia general y está a cargo del personal de su área. A continuación, se presenta un organigrama de la jerarquización de la empresa, donde se visualizan los eslabones del personal, siguiendo el nivel jerárquico como sigue:

- Gerencia general
- Jefe de departamento
- Supervisores, encargados
- Operarios, analistas, etc.

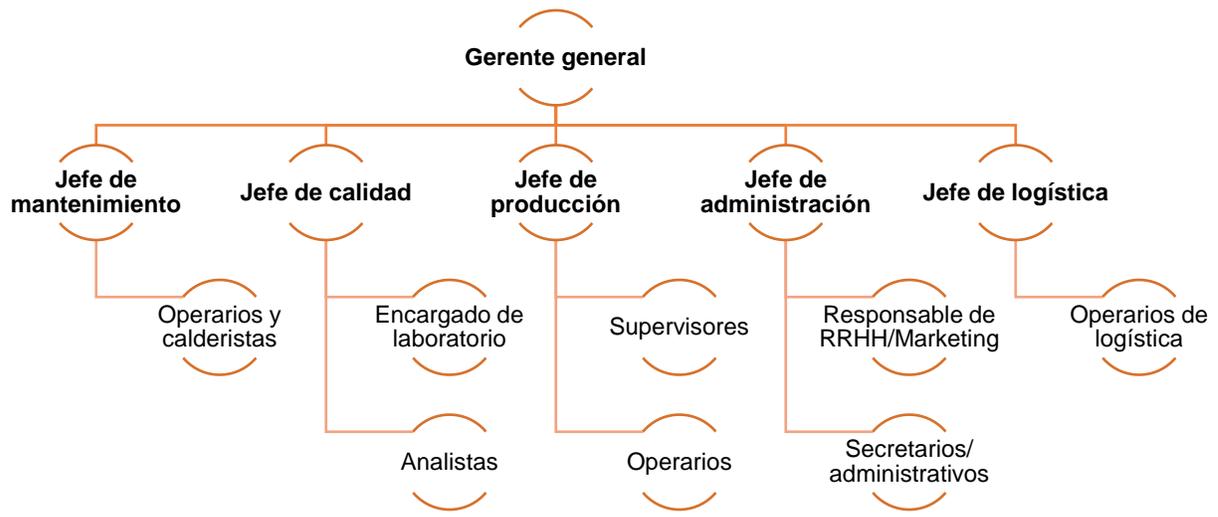


Figura 14.1: Organigrama de la empresa. Fuente: Elaboración propia

14.4 PUESTOS DE TRABAJO PARA CADA ÁREA

En este apartado se detallan las funciones del personal de la empresa, mencionados anteriormente en el organigrama.

14.4.1 Gerente

Gerente general

El gerente general es la máxima autoridad de la empresa, quien se encarga de materializar sus objetivos y de asegurarse que sean cumplidos de la mejor manera. También tiene otras funciones:

- Planificación, organización y supervisión general de las actividades de la empresa.
- Administración de los recursos y coordinación entre las partes que la componen.
- Conducción estratégica de la organización
- Tomar decisiones, sobre todo cuando se trata de asuntos importantes para la organización.
- Motivar al equipo de trabajo y mediar en caso que lo requiera

- Revisar informes de las diversas áreas

14.4.2 Área de mantenimiento

Se encarga de proporcionar, oportuna y eficientemente, los servicios que requiera la empresa en materia de mantenimiento preventivo y correctivo a las instalaciones.

Jefe de mantenimiento

El jefe de mantenimiento se encarga de gestionar el mantenimiento global de la empresa, coordinando un grupo de personas de diferentes tareas (mecánica, electricidad, electrónica, informática, etc.). Sus funciones son:

- Definir y planificar la política de mantenimiento, para realizar mantenimientos preventivos
- Asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de trabajo y de las instalaciones de la empresa.
- Crear y actualizar los manuales de mantenimiento preventivo y predictivo
- Asignar los trabajos de mantenimiento.
- Dirigir, gestionar y motivar a los operarios de mantenimiento.
- Coordinar procesos con los demás jefes de la empresa, con el objetivo de diseñar y poner en práctica el mantenimiento de cada departamento.
- Coordinar las acciones de mantenimiento generales junto con el responsable de prevención de riesgos laborales para evitar accidentes.

Operarios de mantenimiento

Deben llevar a cabo el mantenimiento preventivo y operativo, revisar periódicamente los equipos e instalaciones, informar a su superior los problemas detectados, etc.

Calderistas

El operario de la sala de calderas tendrá una función especial de controlar los parámetros de las calderas, conocer sobre su funcionamiento óptimo, y actuar en caso de alguna falla.

14.4.3 Área de calidad

El departamento de calidad se encarga de evaluar los parámetros físico-químicos que intervienen en el proceso de producción para que las características de los productos finales sea siempre la misma a lo largo del tiempo.

Jefe de control de calidad

El Jefe de control de calidad se encarga de:

- Planificar y establecer los procedimientos, estándares y especificaciones de calidad para la empresa
- Revisar los requisitos del cliente y asegurarse de que se cumplan.
- Trabajar con el departamento de compras para establecer los requisitos de calidad de los proveedores externos.
- Asegurarse de que los procesos de fabricación cumplan con las normas internacionales y nacionales.
- Buscar formas de aumentar la eficiencia.
- Definir procedimientos de calidad junto al personal operativo.
- Monitorear el desempeño mediante la producción de informes estadísticos.
- Hacer sugerencias para cambios y mejoras y cómo implementarlas.

Encargado de laboratorio

Se encarga principalmente de:

- Controlar los análisis que desarrollan los analistas y realiza stock de insumos generales del laboratorio.
- Presentar semanalmente un informe al jefe de calidad con los resultados de los análisis realizados.
- Mantener la seguridad, el orden y la limpieza del laboratorio.

Analistas

Se encargan de:

- Realizar los controles fisicoquímicos y microbiológicos de materias primas, productos terminados, corrientes de procesos y equipos.
- Mantener el orden y la limpieza del laboratorio.
- Tomar de muestras que se corresponden con el plan de calidad definido.

14.4.4 Área de producción

El departamento de producción tiene a cargo la elaboración del producto, el desarrollo y la implementación de los planes productivos y el estudio de la factibilidad de los procesos. Además, es su responsabilidad respetar los estándares y patrones de calidad para la obtención de un producto final de las características instituidas.

Jefe de producción

Es el máximo responsable del área de producción. Dentro de sus principales funciones están:

- Administrar el personal a su cargo, asignándoles tareas, estableciendo las técnicas y los métodos de trabajo supervisando las actividades que realizan, además de hacerles cumplir las reglas de trabajo y conducta.
- Hacer cumplir los estándares de calidad, higiene y seguridad.

Supervisores

El supervisor, responde directamente al jefe de producción, y le informa ante cualquier tipo de problema que se presente. Otras funciones son:

- Coordinar las actividades de producción manejando efectivamente los recursos disponibles, asegurando el cumplimiento de los planes establecidos por el jefe o gerente de producción.
- Inspeccionar la calidad, las cantidades y las características de los materiales de construcción, como cañerías, accesorios, válvulas, instrumentación, entre otros, para asegurarse que las secciones funcionen correctamente.
- Garantizar que se cumplan con las etapas de instalación, de puesta en marcha y el mantenimiento preventivo de los equipos.

- Supervisa a los operarios, impartirles órdenes claras, motivándolos para que realicen su tarea correctamente.

Operarios de planta

Los operarios están a cargo de la tarea de controlar los parámetros (temperatura, presión, caudal, etc.) del proceso en general, respondiendo de manera adecuada ante posibles desviaciones. También deben asegurar buenas condiciones en el lugar de trabajo, las cuales son definidas por el departamento de higiene y seguridad de la planta. Otras funciones son:

- Manejar los equipos según lo indicado por el supervisor de producción.
- Completar los registros.
- Informar desperfectos a su supervisor.
- Tomar muestras en líneas de proceso.

14.4.5 Área de administración

El departamento de administración se encarga de la organización de la empresa para cumplir con los objetivos de la empresa. Además, debe optimizar las relaciones entre cliente, proveedores, mercado económico y fuentes de financiamiento.

Jefe administrativo

Se encarga de supervisar y controlar el área administrativa y revisar y aprobar del balance contable mensual y anual.

Responsable de recursos humanos

Sus funciones son:

- Organizar el personal: diseñar los puestos de trabajo oportunos, definir funciones y responsabilidades.
- Encargarse del reclutamiento cuando sea necesario, a partir de un procedimiento adecuado para atraer candidatos competentes para un puesto de trabajo.
- Controlar aspectos como las horas extraordinarias, los movimientos de plantilla, la pirámide edad o las relaciones laborales.

- Evaluar el desempeño y control del personal.

Asistente de administración

Debe realizar diversas tareas administrativas como atención a proveedores, pedidos de cotización, compra de insumos, atención a clientes, facturación del producto vendido, registro contable de las operaciones comerciales, liquidación de sueldos, pagos y cobranzas, confección de balances contables mensuales y anuales, entre otras.

14.4.6 Área de logística

En este departamento los operarios se encargan de obtener y coordinar los materiales, herramientas y servicios, como así también el transporte de productos y materia prima para su entrega al departamento de comercialización. Se encargan de planificar, desarrollar y aplicar procedimientos de almacenaje y transporte.

Jefe de Logística

Deberá desarrollar las siguientes funciones:

- Planificar la estrategia para las actividades de suministro de la empresa (transporte, almacenaje, distribución).
- Desarrollar y aplicar procedimientos operativos para recibir, manejar, almacenar y enviar materiales y productos.

Operarios de logística

Cada operario deberá cumplir las siguientes funciones:

- Envasar materias primas en sus respectivos tanques de almacenamiento y trasvasar los productos de proceso a los tanques cisterna de transporte.
- Organizar el depósito y controlar el stock.
- Controlar el peso de materia prima y de producto terminado en los camiones en la balanza.

14.4.7 Responsable de higiene y seguridad

Es un profesional externo que se contrata para controlar el cumplimiento de normas de higiene y seguridad, como así también el estado de las instalaciones y el uso de elementos de protección personal. Se encarga de dirigir los programas de capacitación respecto a seguridad industrial e higiene ocupacional.

14.5 Diagrama de turnos

La planta funciona todo el año, excepto por 20 días que se destinan a paradas para mantenimiento general de las instalaciones y detenciones imprevistas. Como se trata de una producción continua, algunos puestos requieren empleados las 24 horas, por lo cual se necesitan horarios rotativos (HR). Los turnos rotativos se dividen como sigue:

- Turno 1: Mañana (6:00 a 14:00 hs.)
- Turno 2: Tarde (14:00 a 22:00 hs.)
- Turno 3: Noche (22:00 a 6:00 hs.)
- Turno 4: Franco.

En el horario rotativo, se incluyen 30 minutos de refrigerio, y será para operarios, supervisor de producción, operarios y supervisor de mantenimiento, calderistas, analistas de laboratorio y guardia de seguridad. El cronograma de trabajo incluirá:

- 7 días de turno mañana, 2 de franco.
- 7 días de turno tarde, 2 de franco.
- 7 días de turno noche, 3 de franco.

Con respecto a los jefes de cada departamento, al gerente, y a los departamentos de administración y logística, éstos trabajan en un horario de turno fijo (HF), de 8:00 a 17:00 hs, el cual incluye 30 minutos de refrigerio para el almuerzo.

En la siguiente tabla, se representa al personal completo de la planta.

Tabla 14.1: Puestos de trabajo.

Sector	Puesto	Cantidad	Horarios	Profesión
Gerencia	Gerente general	1	HF	Ing. Químico con Máster en administración o Licenciado en administración de empresas
Mantenimiento	Jefe	1	HF	Ing. Mecánico
	Operarios	9	HR	Bachiller, experiencia en talleres, con habilitación de calderista
Calidad	Jefe	1	HF	Ing. Químico
	Encargado	1	HR	Lic. en Química
	Analistas	6	HR	Técnico químico
Producción	Jefe	1	HF	Ing. Químico
	Supervisor	3	HR	Ing./Técnico químico
	Operarios	21	HR	Bachiller
Administración	Jefe	1	HF	Lic. en administración de empresas
	Responsable de RRHH	1	HF	Lic. en recursos humanos
	Administrativo	1	HF	Estudiantes avanzados en carreras contables/Técnicos administrativos
Logística	Jefe	1	HF	Técnico superior en logística

	Operarios	3	HF	Bachiller
Externo	Responsable de Higiene y Seguridad	1	8 hs/mes	Técnico en higiene y seguridad
Seguridad	Guardia de seguridad	3	HR	Secundario completo

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO 15: SEGURIDAD INDUSTRIAL

15.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se detallan las normativas de seguridad para la industria y personal de trabajo. Además, se seleccionan los elementos de seguridad para la protección de las personas.

Se tiene en cuenta los peligros potenciales para la salud y seguridad, así como también daños que se puedan ocasionar al medio ambiente.

Se describen además propiedades de las sustancias involucradas en el proceso y se realiza un sistema de prevención contra incendios, evacuación de la planta, y plan de capacitaciones.

15.2 MARCO LEGAL

En el desarrollo del diseño de la planta industrial de ácido fórmico, se tienen en cuenta las normativas vigentes en nuestro país, tales como Ley N° 19.587/72 “Higiene y Seguridad en el Trabajo” y su Decreto 351/79, Ley N° 24.577/96 “Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales” y su Dto. Reglamentario N° 170/96, como así también Resoluciones de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) N° 231/96, 51/97, 35/98, 319/91 y 552/01. Además de recomendaciones y exigencias establecidas por organizaciones internacionales que se ocupan de la seguridad industrial. (Ministerio de Aguas)

15.2.1 Política de higiene y seguridad

La política de higiene y seguridad permite preservar la integridad del personal durante el desarrollo del proceso de producción, mediante el control o eliminación de las causas que generan los accidentes. Todo el personal tiene la obligación de aplicar esta política en sus tareas. Respetar las normas de seguridad debe ser una condición de trabajo, que ayuda a mejorar la calidad de vida y contribuir a un desarrollo seguro y sostenible.

Es importante que la gerencia genere conciencia sobre estos aspectos.

15.2.2 Gestión de higiene y seguridad

Los encargados de cuestiones relacionadas con higiene y seguridad son los miembros del Departamento de Higiene y Seguridad y sobre ellos recae la responsabilidad de capacitar y educar en lo que respecta a proteger la vida, preservar y mantener la integridad, tanto

psicológica como física, de los trabajadores, como así también poner en funcionamiento prácticas relacionadas con la protección del medio ambiente.

El área de higiene y seguridad se encargará de anticipar, identificar, evaluar y controlar riesgos que se originen en el ámbito de trabajo; así como también de brindar soluciones y mejoras.

15.2.3 Responsabilidades del departamento de higiene y seguridad

Las responsabilidades de los miembros del departamento de higiene y seguridad, al igual que su estructura, se exponen en Capítulo 14: Organización industrial de la empresa; siempre dando cumplimiento a la Ley 19.587 y a las reglamentaciones que al respecto se dicten.

Además, corresponde a los integrantes de este departamento junto con el directorio de la empresa elaborar un Manual de Higiene y Seguridad para la empresa, en concordancia con la legislación vigente nacional e internacional.

Por otro lado, es el encargado del departamento de higiene y seguridad quien debe asegurarse que todos los empleados conozcan los puntos del manual y es responsabilidad de los trabajadores cumplir con estas reglamentaciones. Cualquier incumplimiento será sancionado con sanciones previamente definidas por la empresa.

15.2.4 Estructura del departamento de higiene y seguridad

La estructura y personal de esta área está conformada según lo establecido en Capítulo 14, donde se detalla organigrama.

15.2.4.1 Seguridad en el proceso

En el diseño del proceso, se remarcan áreas en donde existan o pudieran existir riesgos potenciales. Cada sección debe satisfacer las reglamentaciones específicas de seguridad establecidas por la empresa, así como recomendaciones planteadas.

A continuación en Tabla 15.1 de detallan riesgos potenciales.

Tabla 15. 1: Riesgos potenciales en el proceso

Proceso
Temperaturas máximas y mínimas
Presiones máximas y mínimas
Reacciones peligrosas
Materias tóxicas y peligrosas
Materias corrosivas

El proceso productivo del ácido fórmico se encuentra detallado en Capítulo 6 correspondiente a “selección y descripción del proceso de producción”. Se destacan de allí aquellas condiciones que pueden significar un mayor riesgo.

A continuación de este capítulo se encuentran las fichas de seguridad de todas las sustancias involucradas en el proceso de producción. Se destaca la importancia del CO debido a su gran toxicidad por inhalación.

15.2.4.2 Diseño de equipos

Las recomendaciones para el diseño detallado de los equipos son semejantes a las consideradas para el diseño del proceso.

Las consideraciones para el diseño incluyen temperaturas máximas de diseño, presiones máximas, protección frente a partes móviles del equipamiento, aislamiento acústico, aislamiento térmico, aislamiento para protección personal, además de soportes a prueba de fuego. (Decreto 351/79).

15.2.4.3 Obras civiles y estructurales

Los edificios deben satisfacer códigos de construcción local y nacional con requerimientos específicos de seguridad. Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones: seguridad en espacios interiores, materiales de construcción y su seguridad, sectorización de planta, emplazamiento de edificios, cargas máximas de viento, diseño para equipos y tuberías, cargas máximas combinadas, equipos para elevación de piezas, protección contra el fuego de las estructuras y recomendaciones para caminos interiores. (Decreto 351/79).

El establecimiento se proyecta para su instalación teniendo en cuenta que es necesario un adecuado funcionalismo en la distribución y características de sus puestos de trabajo,

previando condiciones de higiene y seguridad en su construcción, tanto en ingreso, tránsito como egreso de personal, para actividades de desarrollo normal de tareas como para las situaciones de emergencia. Con igual criterio, se distribuyen, construyen y montan de los equipos industriales y las instalaciones de servicio. Los equipos, depósitos y procesos riesgosos deben quedar aislados o adecuadamente protegidos.

15.2.4.4 Electricidad

Los códigos nacionales y locales para la instalación y diseño incluyen también aspectos eléctricos de seguridad, tales como dimensionamiento de cables, protección frente a fallos, puesta a tierra, protección de los cables contra el fuego, generación de energía de emergencia.

Las instalaciones y equipos eléctricos del establecimiento, cumplen con las prescripciones necesarias para evitar riesgos a personas o cosas. En cuanto a los materiales y equipos que se utilizan en la instalación eléctrica, cumplen con las exigencias de las normas correspondientes. Los trabajos de mantenimiento, periódicamente programados, serán efectuados exclusivamente por personal capacitado, debidamente autorizado por la empresa para su ejecución.

Se adoptan medidas tendientes a la eliminación de la electricidad estática en todas aquellas operaciones donde pueda producirse.

15.2.4.5 Protección contra incendios

La protección contra incendios comprende un conjunto de condiciones de construcción, instalación y equipamiento, que toda planta debe tener en la medida en que cada tarea lo requiera.

El objetivo que se alcanza con esta protección es dificultar la iniciación de incendios, evitar que el fuego y gases tóxicos se propaguen. Además de asegurar la evacuación de las personas, facilitar acceso y las tareas de extinción del personal de Bomberos y proveer instalaciones de detección y extinción. (Decreto 351/79).

Para tal fin, se deben tener en cuenta extintores contra incendios y alarmas de incendio.

La planta contará con procedimiento de extinción en caso de posible incendio. Al detectarse un incendio se procederá del siguiente modo y orden:

1. Se ubicará el foco del incendio.
2. Se deberá alejar materiales explosivos, inflamables o combustibles del lugar.
3. Se determinará que elemento se quema para proceder a apagar el fuego de manera apropiada.
4. Se deberá establecer la magnitud del incendio.
5. Se evaluará se es necesario solicitar colaboración.

Para proceder a apagar el fuego se debe en primer lugar cortar la corriente eléctrica en el sector, evitar si fuera posible la corriente de aire, y luego hacer uso del extintor, dirigiendo el chorro del mismo a la base del fuego, barriendo en zig-zag. Se deberá encerrar el fuego de forma tal de evitar su propagación.

El personal de la empresa deberá estar capacitado para saber cómo reaccionar ante casos de incendio. Las personas mejor capacitadas o más próximas serán las que deben actuar.

15.2.4.5 Plan de emergencia y evacuación

Existirá en la planta un plan de emergencia de conocimiento general para todo el personal. Dicho plan será llevado a cabo en caso de ocurrencia de una emergencia.

En caso de una eventualidad, se deberá llamar desde cualquier teléfono de planta habilitado. Además se brindará contacto con el departamento de higiene y seguridad, cuyos miembros deberán dar la asistencia necesaria. Existirán para personas designadas como encargadas de llamar a los bomberos en caso de ser necesario.

Las personas deberán resguardarse en lugares seguros y a la espera de instrucciones. En ningún caso deberán acercarse al lugar del siniestro. A su vez, de escucharse tres toques prolongados de sirena, el personal deberá dirigirse a la salida de emergencia más alejada del sector del siniestro.

Para llevar a cabo el plan de evacuación las personas serán capacitadas con reconocimiento del sonido de alarma, identificación en plano de salidas de principales y secundarias. Además se establecerá un punto de reunión fuera del edificio, la salida deberá ser ordenada y rápida. Se llevarán a cabo simulacros de evacuación (incluidos en la capacitación).

Se dispondrá de un plan alternativo, para el caso en que no se pudiera cumplir con el plan original.

15.2.4.6 Seguridad en la construcción de la planta

La etapa de construcción de la instalación consiste en la materialización del proyecto planteado en la etapa de diseño. Se ejecutará por una empresa contratada a tal fin.

Se debe tener en cuenta la seguridad de los trabajadores propios de la empresa contratada, teniendo en cuenta la distribución de mandos y responsabilidades. Corresponde notificar de todos los procedimientos de seguridad en la construcción a los contratistas.

15.2.4.7 Seguridad en la operación de la planta

Control y continuidad de la seguridad; la probabilidad de que un incidente ocurra no depende únicamente de las características técnicas del proceso y de los controles de seguridad, sino también de aspectos operativos y organizativos del control de riesgos tales como errores humanos, mantenimiento inadecuado, falta de conocimientos y comprensión por parte de operarios.

15.2.4.8 Seguridad en el mantenimiento de la planta

Las instalaciones de la planta debido al uso pueden sufrir una serie de desgastes, corrosiones y hasta envejecimiento, que se pueden producir averías originando condiciones inseguras de trabajo. Se hace necesario entonces, mantenimiento eficaz para contribuir a la seguridad de instalaciones y diversas operaciones.

En la planta, se implementará dos tipos de mantenimiento, complementarios entre sí:

- Mantenimiento correctivo: Intervención correctora de averías con rapidez, para lo cual se dispondrá cantidad determinada estadísticamente de repuestos en stock.

- Mantenimiento preventivo: Mediante inspecciones a los diferentes elementos de las instalaciones, con frecuencias determinadas por análisis estadísticos de averías, se analiza si es necesario reparación o sustitución de aquellos con avería. Cuando la avería pueda llegar a tener consecuencias serias para la seguridad, el mantenimiento preventivo será obligatorio.

El mantenimiento estará a cargo de personal especializado según lo establecido en Capítulo: Organización de la empresa.

15.2.4.9 Protección y seguridad del personal

Los equipos y elementos de protección personal a utilizar serán determinados por los responsables del servicio de higiene y seguridad, conforme a las condiciones y vida útil de los mismos. Una vez determinada la necesidad de uso, su utilización será obligatoria.

Los elementos de seguridad serán provistos por el empleador o responsable del departamento de seguridad. Dichos elementos deberán ser aquellos inscriptos en el registro del Ministerio de Trabajo y serán de uso individual y no intercambiable.

En cuanto a individuos ajenos a la empresa también deben llevar sus elementos de protección para evitar accidentes.

En las industrias químicas, tal como lo es la del ácido fórmico, es recomendable utilizar casco, ropa de algodón, protección auditiva, anteojos de seguridad, calzado adecuado y alguna mascarilla de respiración.

En las siguientes tablas se muestran los elementos de protección, teniendo en cuenta zona del cuerpo a proteger, características y condiciones en las que deben utilizarse. La norma IRAM que establece las características de cada elemento de protección personal dependerá no solo del elemento de protección específico, sino también de las características apropiadas que se requieran para cada trabajador en particular.

Tabla 15. 2: Protección ropa de trabajo.

Elemento protector: Ropa de trabajo.
Deberá ser de tela flexible, de fácil limpieza y adecuada para el puesto de trabajo. Ajustada al cuerpo, pero cómoda y que permita movilidad con facilidad. Manga cortas cuando las circunstancias por permitan o largas ajustadas adecuadamente. Se eliminan o reducirán en lo posible elementos adicionales, como bolsillos y botones.

Fuente: (Ley 19.587 Decreto 351/79)

Tabla 15. 3: Protección de cabeza.

Elemento protector: Casco.
 Amarillo: Personal operativo.
 Verde: Higiene y seguridad y servicios médicos.
 Blanco: Personal de supervisión y jefes.
La protección de cabeza debe utilizarse cuando existan riesgos de golpes, caídas, o de proyecciones violentas de objetos. Deben proteger al trabajador además de radiaciones térmicas y descargas eléctricas.

Fuente: (Ley 19.587 Decreto 351/79)

Tabla 15. 4: Protección ocular.

Elemento protector: Gafas.



Los medios de protección ocular se seleccionan en función de la proyección o exposición de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas; y radiaciones nocivas.

La protección de la vista se efectúa por empleo de anteojos, pantallas transparentes y otros elementos que cumplan la finalidad.

Fuente: (Ley 19.587 Decreto 351/79)

Tabla 15. 5: Protección auditiva.

Elemento protector: Protector auditivo tipo copa o insertores.



Cuando el nivel sonoro continuo equivalente, supere los valores límites, será obligatorio del uso de elementos individuales de protección auditiva. Usarlas correctamente rebaja el nivel de ruido que llega al oído y consiguientemente el nivel del riesgo de lesión.

Fuente: (Ley 19.587 Decreto 351/79)

Tabla 15. 6: Protección extremidades inferiores.

Elemento protector: Calzado de seguridad.



Se proveerá al trabajador de zapatos, botines, polainas o botas de seguridad. De uso obligatorio.

Cuando exista riesgo capaz de generar traumatismos directos en los pies, los zapatos o botines llevarán punteras con refuerzo de acero.

Fuentes: (Ley 19.587 Decreto 351/79)

Tabla 15. 7: Protección extremidades superiores.

Elemento protector: Guantes.



La protección de miembros superiores se realizará por medio de mitones, guantes y mangas, adaptadas para prevenir riesgos y que permitan adecuada movilidad.

Fuente: (Ley 19.587 Decreto 351/79)

Tabla 15. 8: Protección del sistema respiratorio.

Elemento protector: Máscara – Barbijos – Respiradores.



Los equipos de protección del aparato respiratorio cumplirán con lo siguiente: ser apropiados para el riesgo, ajustables para evitar filtraciones, las partes en contacto con la piel deberán ser de goma. Se vigilará su conservación y se limpiarán y desinfectarán después de su uso.

Se debe utilizar protección respiratoria cuando la concentración de polvo, de diferentes gases y/o vapores presentes en el aire supere los valores estipulados en la legislación vigente.

Fuente: (Ley 19.587 Decreto 351/79)

Tabla 15. 9: Protección en altura.

Elemento protector: Arnés de seguridad.



En todo trabajo en altura, con peligro de caídas, se debe utilizar cinturones de seguridad.

Los mismos, irán provistos de anillas por donde pasar la cuerda salvavidas.

Los cinturones se deben revisar siempre antes de su uso. Además se debe verificar el sistema de anclaje, su resistencia y longitud de cuerdas de acuerdo a la tarea a realizar.

Fuente: (Ley 19.587 Decreto 351/79)

Los trabajadores expuestos a sustancias tóxicas, irritantes o infectantes, estarán provistos de ropas de trabajo y elementos de protección adecuados al riesgo. Deben ser de uso

obligatorio con indicaciones concretas, al abandonar la planta, se debe quitar la ropa de trabajo.

A su vez, cuando exista riesgo de exposición a sustancias irritantes, tóxicas o infectantes, estará prohibido introducir, preparar o consumir alimentos, bebidas y tabaco. Los trabajadores expuestos serán instruidos sobre la necesidad de un cuidadoso lavado de manos, cara y ojos, antes de ingerir alimentos o bebidas.

15.2.4.10 Protección colectiva

Se compone de todas las medidas de protección pasiva, equipos y agentes extintores existentes en la planta. El tipo de equipo a utilizar dependerá del tipo de fuego que se pueda llegar a generar de acuerdo a las sustancias implicadas en el proceso.

Los fuegos se clasifican según norma IRAM 3517 – Parte 1 - mayo 1985 en:

- Clase A: Fuegos que se desarrollan sobre combustibles sólidos, como ser maderas, telas, goma, plásticos y en general en todos aquellos materiales que dejan cenizas.
- Clase B: Fuegos sobre líquidos inflamables, gases, grasas, pinturas, ceras y otros.
- Clase C: Fuegos sobre materiales, instalaciones o equipos sometidos a la acción de la corriente eléctrica.
- Clase D: Fuegos que pueden ser provocados por la combustión de ciertos metales, como ser magnesio, titanio, circonio, sodio, potasio y litio.

Los matafuegos son seleccionados por clase de fuego o riesgo, en concordia con la aptitud para apagar que tiene cada tipo de matafuego, sin aumentar el riesgo.

Los matafuegos para protección de riesgos de fuego clase A serán seleccionados de entre los siguientes: de agua, de espuma, agua y AFFF, polvo triclase (ABC) y bromoclorodifluorometano (BCF).

Los matafuegos para protección de riesgos de fuego clase B serán seleccionados de entre los siguientes: de bromoclorodifluorometano (BCF), de dióxido de carbono, de polvo, de espuma y de agua con AFFF.

Los matafuegos para protección de riesgos de fuego clase C, serán elegidos de entre los siguientes: de bromoclorodifluorometano (BCF), de dióxido de carbono y de polvo. Los fuegos clase C involucran equipos eléctrico-energizados. Por lo tanto, al riesgo de incendio se agrega el riesgo de electrocución si se aplican matafuegos cuya descarga sea conductora de la electricidad, como por ejemplo matafuego de agua o espuma. (IRAM 3517 Parte I, 1985)

A su vez, los extintores pueden ser del tipo manual, manual rodante o matafuego móvil según las necesidades.



Figura 15. 1: Extintores móvil, fijo y rodante. Fuente: (<https://tudemana.com>)

La instalación de matafuegos debe realizarse en lugares visibles y con fácil acceso, para actuar rápidamente en caso de incendio. Se deben evitar lugares oscuros.

Son instalados por lo general, sobre una pared o columna, en un soporte fijado a la misma sobre el cual se cuelga el equipo. Detrás del matafuego se coloca la chapa baliza, para indicar la ubicación del mismo y a su vez, la clase de fuego para la cual es apto.

El equipo debe estar instalado de tal forma que la placa de accionamiento de la válvula quede a 1,70 metros del piso; en el mismo deberá pintarse una bandada de color rojo de 5 cm de ancho, dejando 20 cm a cada lado del matafuego y extendiéndola hasta 50 cm de pared. Además, se colocarán carteles indicadores por sobre la chapa baliza a una altura tal

que sea avisado a la distancia y por sobre los objetos que pueden obstaculizar la visual del equipo.

15.2.4.11 Seguridad en prevención, defensa y actuación

Causas imprevisibles o de fuerza mayor, así como baja eficiencia en la prevención pueda manifestarse en forma de incidentes o siniestros. Es muy importante considerar la prevención, defensa y actuación frente a siniestros, en particular frente al fuego.

- Orden y limpieza: El mantenimiento técnico de las instalaciones se debe complementar con la limpieza general de la planta, la que estará a cargo del personal de limpieza.

Además de los trabajos generales, cada empleado tendrá la responsabilidad de mantener el orden y la limpieza en su puesto de trabajo, para tal fin, recibirá capacitación adecuada.

- Señalización: La señalización adecuada de los ambientes de trabajo es fundamental para mejorar las condiciones laborales, además de permitir en forma rápida, organizada y eficaz frente a una situación de riesgo.

La señalización es un complemento que tiende a evitar o reducir accidentes. Las mismas pueden ser ópticas, acústicas, olfativas o táctiles.

La señalización óptica es la combinación de forma geométrica, color y símbolo o pictograma, atribuyéndoseles un significado determinado. Cada color y forma posee un significado propio a fin de ser identificadas.

A continuación, se muestran las señales que se pueden llegar a visualizar en la planta industrial y lo que representa cada una de estas señales.

Forma geométrica	Significado	Color de Seguridad	Color de contraste	Color del símbolo
 Corona circular con una barra transversal superpuesta al símbolo	Prohibición	Rojo	Blanco	Negro
 Círculo de color azul sin contorno	Obligatoriedad	Azul	Azul	Blanco
 Triángulo de contorno negro	Precaución	Amarillo	Negro	Amarillo
 Cuadrado o rectángulo sin contorno	Condición segura Señal informativa	Verde	Blanco	Verde
	Advertencia Indicación de desniveles, pasos bajos, obstáculos, etc.	-	-	Banda de amarillo combinado con bandas de color negro

Figura 15. 2: Señalización y características. Fuente: (Ministerio de Producción y Trabajo S. , 2019)

El pintado de cañerías cumplirá con los requisitos instaurados en la Norma IRAM 2507.

Tabla 15.10: Señalización de cañerías destinadas a productos

Producto	Color fundamental
Elementos para la lucha contra el fuego (sistemas de rociado, bocas de incendio, agua de incendio, ignífugos, etc.)	 Rojo
Vapor de agua	 Naranja
Combustibles (líquidos y gases)	 Amarillo
Aire comprimido	 Azul
Electricidad	 Negro
Vacío	 Castaño
Agua fría	 Verde
Agua caliente	 Verde con franjas naranja

Fuente: (Ministerio de Producción y Trabajo S. , 2019)

15.3 SEGURIDAD EN INDUSTRIA QUÍMICA

En este tipo de industrias, los peligros son constantes ya que implican relación directa con químicos que se utilizan en el proceso de producción. Estos peligros pueden presentarse durante todo el desarrollo de un producto, es decir, tanto en la etapa de elaboración como en el almacenamiento y limpieza.

Una persona que trabaja en la industria debe estar capacitada y cumplir con los requerimientos de seguridad personal, de forma tal de evitar accidentes.

Las principales causas de los accidentes son salpicaduras químicas que pueden ocurrir, por ejemplo, en explosiones de tuberías o cubas bajo presión o durante el desmontaje de canalizaciones y válvulas.

Pero no solo es indispensable que se cuente con el completo uniforme de seguridad, si no también, que se mantengan en perfectas condiciones la limpieza y calidad en el proceso.

15.4 SUSTANCIAS INVOLUCRADAS EN EL PROCESO

En esta sesión se detallan las propiedades y características de las sustancias involucradas en el proceso productivo. Se describe cada sustancia del proceso, utilizando como base las fichas técnicas de datos de seguridad de distintos fabricantes certificados.

Las sustancias manipuladas en el proceso de producción de ácido fórmico son:

- Monóxido de carbono:

Los principales riesgos de esta sustancia son su inflamabilidad en el aire, toxicidad, peligro de inhalación (se liga de forma irreversible a la hemoglobina de la sangre) y daños en órganos por exposiciones prolongadas.

Según las normas NFPA (National Fire Protection Association), sistema consiste en asignar colores (azul, riesgo de salud; rojo, peligro de inflamabilidad, amarillo riesgo de reactividad; blanco para otros) y números de calificación a las sustancias, manejando una escala del 0 al 4 (donde cero implica sin peligro y 4 máximo peligro), dependiendo del grado de su peligrosidad, el monóxido de carbono es calificado como 4 en riesgo para la salud e inflamabilidad y 0 para reactividad.

Dado el alto riesgo que implica para la salud, y su peligro al ser respirado incluso en pequeñas cantidades, es necesario el uso de un detector de CO. Se selecciona el sensor Sensepoint de Honeywell, capaz de detectar de gases tóxicos y de oxígeno tanto en interiores como en exteriores, con sensores electroquímicos SurecellTM y cápsula catalítica resistente a las sustancias tóxicas. Vida útil habitual entre 2 y 5 años y certificación ATEX, cumpliendo con los estándares europeos más actuales.



Figura 15. 3: Detector de CO. Fuente: (<https://www.dastecsrl.com.ar/>)

Se trata de un gas no corrosivo.

- Metanol:

Entre los principales peligros de este líquido se encuentran su inflamabilidad y toxicidad. Posee una calificación según normas NFPA de 3 para inflamabilidad y de 1 para toxicidad.

- Metóxido de sodio:

Se trata de un sólido altamente inflamable, muy reactivo y tóxico. En contacto con agua puede generar explosión.

Además es corrosivo.

- Formiato de metilo.
- Ácido fórmico:

Su principal riesgo es su toxicidad. Aunque también es corrosivo.

La calificación según normas NFPA es de 3 para la salud, 2 para riesgo de inflamabilidad y 0 para reactividad.

- 2-Metiltetrahidrofurano (Extractante):

Es sumamente inflamable y de gran peligro de incendio.

Como se observa en las fichas de seguridad, la mayor parte de las sustancias que intervienen en el proceso productivo son inflamables, por lo que, es de suma importancia que el departamento de higiene y seguridad capacite al personal y brinde los elementos necesarios.

A continuación, se presentan las fichas de seguridad de las sustancias involucradas en el proceso.

Tabla 15.11: Ficha de seguridad.

Identificación del compuesto químico	
Nombre químico	Metanol
Sinónimo	Alcohol metílico, carbinol
N° CAS	67-56-1
Fórmula	CH ₃ OH
Usos recomendados	
Producto químico de laboratorio, uso analítico y de laboratorio, uso industrial, uso profesional, formulación de preparados y/o reenvasado	
Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Líquido claro, incoloro de olor picante característico.
Peso molecular (g/mol)	32,04
Gravedad específica	0,791 a 20°C
Punto de ebullición (°C)	64,5
Punto de fusión (°C)	-97,8
Densidad relativa del vapor	1,10
Presión de vapor (mmHg)	92,0 a 20°C
Viscosidad (cP)	0,56 a 20°C
pH	Neutro
Solubilidad	Soluble en agua, acetona, etanol, benceno, cloroformo y éter
Estabilidad y reactividad	
Estabilidad	Estable bajo condiciones normales
Incompatibilidades o materiales a evitar	Agua: no Aire: no Otras: reacción vigorosa con agentes oxidantes (nitratos, percloratos, peróxido de hidrógeno, ácido nítrico, ácido perclórico, trióxido de cromo), ácido sulfúrico. Reacción violenta con anhídrido crómico, perclorito de plomo, cloroformo e hidróxidos.
Identificación de peligros	
Pictogramas	
Palabra de advertencia	Peligro
Indicación de peligro	H225 Líquido y vapores muy inflamables H301 Tóxico en caso de ingestión.

	H311 Tóxico en contacto con la piel. H331 Tóxico en caso de inhalación. H370 Provoca daños en los órganos.
Consejo de prudencia	Líquidos inflamables (Categoría 2) Toxicidad aguda, Inhalación (Categoría 3) Toxicidad aguda, Cutáneo (Categoría 3) Toxicidad aguda, Oral (Categoría 3) Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 1)
Primeros auxilios	
Inhalación: Trasladar al afectado a una zona de aire fresco. Si la respiración es dificultosa practicar respiración artificial o aplicar oxígeno. Solicitar asistencia médica.	
Ingestión/aspiración: Si la persona afectada está consciente darle de beber agua. No inducir el vómito. No dar nada oralmente si el afectado está inconsciente o con convulsiones. Solicitar asistencia médica urgente.	
Contacto piel/ojos: Quitar las prendas y calzado contaminados. Lavar la parte afectada con abundante agua durante al menos 20 minutos. Solicitar asistencia médica.	
Medidas generales: Solicitar asistencia médica.	
Medidas ante vertido accidental	
Precauciones para el medio ambiente: Evitar los vertidos al alcantarillado y cauces públicos.	
Precauciones personales: Evitar el contacto con el líquido y la inhalación de vapores del producto.	
Protección personal: En presencia de vapores, usar máscara de protección respiratoria. Gafas de seguridad, guantes impermeables u otras prendas protectoras para evitar el contacto con el producto.	
Detoxificación y limpieza: Eliminar todas las fuentes de ignición; evitar chispas, llamas o fumar en la zona de derrame. El agua pulverizada puede reducir los vapores. Absorber el material vertido en arena seca u otro material inerte y depositarlo en contenedores cerrados para su posterior eliminación.	
Medidas de lucha contra incendios	
Medidas de extinción: Espuma antialcohol, polvo químico seco, CO ₂ y agua pulverizada.	
Contraindicaciones: no utilizar nunca chorro de agua directo.	
Productos de combustión: CO ₂ y CO (en combustión incompleta), formaldehído y metanol no quemado.	
Medidas especiales: Mantener alejados de la zona de fuego los recipientes con producto. Enfriar los recipientes expuestos a las llamas. Si no se puede extinguir el incendio dejar que se consuma controladamente. Consultar y aplicar planes de emergencia en caso de que existan	
Peligros especiales: Líquido fácilmente inflamable. Los vapores forman mezclas explosivas con el aire y se puede inflamar en presencia de calor, llamas, chispas y electricidad estática. Los vapores pueden desplazarse hasta fuentes remotas de ignición e inflamarse. Los contenedores pueden explotar con el calor del fuego. Peligro de explosión de vapores en interiores, exteriores y en conductos. Vertido a drenajes o alcantarillas puede inflamarse y explotar.	
Equipos de protección: Prendas para lucha contra incendios resistentes al calor. Cuando exista alta concentración de vapores o humos utilizar aparato de respiración autónoma.	
Almacenamiento y manipulación	
Temperatura y productos de descomposición	A altas temperaturas el producto se descompone produciendo humos tóxicos e irritantes
Condiciones de almacenamiento	Recipientes correctamente cerrados y etiquetados. Almacenar en lugares frescos y bien ventilados, alejado de oxidantes, materiales incompatibles y fuentes de ignición. No fumar en la zona de almacenamiento.
Materiales de almacenamiento/embalaje	Producto de la posible generación de electricidad estática no debe ser utilizado recipientes plásticos, plomo, aluminio, zinc, polietileno, PVC. Material apropiado, acero, acero inoxidable, hierro, vidrio.

Recomendaciones de manipulación: asegurarse que la instalación esté conectada a tierra para prevenir chispas electrostáticas, no comer, beber ni fumar durante su utilización, lavarse manos y antebrazos tras su manipulación, mantener buena ventilación en zona de manipulación, evitar el contacto de la persona con el líquido y el vapor.	
Equipo de protección personal/control	
Protección respiratoria	Si el modo de utilización del producto conlleva a un riesgo de exposición por inhalación, llevar un equipo de protección respiratoria. Use un aparato respiratorio autónomo de presión positiva o un respirador con suministro de aire
Protección de manos	Llevar guantes de caucho de butilo. Deben desecharse después de cada uso.
Protección de la vista	Gafas químicas o gafas de seguridad. Puede ser necesario protector de rostro
Protección de piel y cuerpo	Usar delantal de goma o PVC resistente
Información toxicológica	
Carcinogenicidad	NP
Efectos	Tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel. Puede causar dolor de cabeza, mareos, náuseas, debilidad, visión borrosa, ceguera, pérdida de conocimiento e, incluso, la muerte
Información eco toxicológica	
Liberado en la atmósfera, se degrada, con una vida media de 17 días; también puede eliminarse mediante la lluvia. Vertido en el agua o en el suelo, se biodegrada rápidamente; puede lixiviar a través del suelo, aunque, este proceso pierde importancia debido a la rapidez de la biodegradación. La evaporación en suelos secos puede ocurrir, no siendo significativa en suelos húmedos. No presenta problemas de acumulación en organismos vivos. El producto es soluble en el agua y, dado su coeficiente de partición octanol/agua, se espera que tenga una alta movilidad en suelos.	
Eliminación	
<ul style="list-style-type: none"> • Reciclar el material siempre que se pueda • Disolver o mezclar el material con un disolvente combustible y quemarlo en un incinerador químico equipado con un depurador de humos • Manipular en contenedores sellados y etiquetados • Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir las disposiciones existentes relativas a la gestión de residuos u otras disposiciones municipales, provinciales y/o nacionales en vigor. 	
Transporte (terrestre)	
Precaución	Transportar en tanques seguros correctamente cerrados y etiquetados.
Nombre para embarque	Metanol
Clase de peligro	3
N° de identificación de riesgo	336
Grupo de embalaje	II

Fuente: (YPF, 2019) (CORQUIVEN, 1997) (ROTH, 2021)

Tabla 15.12: Ficha de seguridad

Identificación del compuesto químico	
Nombre químico	Metóxido de sodio
Sinónimo	Metilato de sodio
N° CAS	124-41-4
Fórmula	CH ₃ NaO

Usos recomendados	
Utilizado en el procesamiento de alimentos, petroquímica, plásticos, industria química y farmacéutica siendo intermediario para gran variedad de productos.	
Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Polvo blanco
Peso molecular (g/mol)	54,02
Punto de fusión (°C)	300
Densidad aparente g/cm ³	0,45 a 20°C
Densidad compactada g/cm ³	0,6
Solubilidad en agua	Reacciona formando sosa cáustica y metanol
Temperatura de autoignición (°C)	Mayor a 50
Estabilidad y reactividad	
Estabilidad	Reacciona con la humedad y el oxígeno del aire
Condiciones que deben evitarse	Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular. El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. Reacciona violentamente con agua. Esto produce metanol inflamable e hidróxido de sodio corrosivo. La sustancia puede incendiarse espontáneamente en contacto con aire húmedo. La sustancia es un reductor fuerte. La sustancia es una base fuerte. Reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva. Ataca muchos metales
Identificación de peligros	
Pictogramas	
Palabra de advertencia	Peligro
Indicación de peligro	H318-Provoca lesiones oculares graves. H314-Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. H302-Nocivo en caso de ingestión. H251-Se calienta espontáneamente; puede inflamarse. H290-Puede ser corrosivo para los metales. H228-Sólido inflamable. EUH014-Reacciona violentamente con el agua.
Consejo de prudencia	P210-Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. P235+P410-Conservar en un lugar fresco. Proteger de la luz del sol. P280-Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección. P301+P330+P331-EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito. P305+P351+P338-EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. P310-Llamar inmediatamente a un médico
Primeros auxilios	

<ul style="list-style-type: none"> • Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Puede ser necesaria respiración artificial. Proporcionar asistencia médica inmediatamente. • Enjuagar piel/ojos con agua abundante • Solicitar asistencia médica • Enjuagar la boca. NO provocar el vómito 	
Medidas ante vertido accidental	
Eliminar toda fuente de ignición. Usar protección personal. Cubrir el material derramado con arena seca. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente seco de plástico tapado. Recoger cuidadosamente el residuo. A continuación, almacenar y eliminar el residuo conforme a la normativa local. NO verterlo en el alcantarillado.	
Almacenamiento y manipulación	
A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos, metales y alimentos y piensos. Seco. Fresco. Bien cerrado. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Equipo de protección personal/control	
Protección respiratoria	Equipo autónomo de respiración.
Protección de manos	Llevar guantes
Protección de la vista	Gafas de seguridad.
Protección de piel y cuerpo	Usar un equipo protector adecuado. Guantes y zapatos de seguridad para el manejo de botellas.
Protección personal	Asegurar ventilación adecuada
Información toxicológica	
Toxicidad aguda	Categoría 4
Información eco toxicológica	
No disponible	
Eliminación	
<ul style="list-style-type: none"> • Tratar de que pueda utilizarse en el proceso y no quede como residuo • Consultar normativa local para desecharlo • NO verterlo en el alcantarillado. 	
Transporte (terrestre)	
Clase de Peligro ONU	4,2
Peligro Secundario ONU	8
Grupo de Embalaje/Envase ONU	II

(Evonik, 2020) (www.fishersci.es, s.f.) (Abastecedora de metales y derivados, 2014)

Tabla 15.13: Ficha de seguridad

Identificación del compuesto químico	
Nombre químico	Monóxido de carbono
Sinónimo	Óxido carbónico, óxido de carbono
N° CAS	000630-08-0
Fórmula	CO
Usos recomendados	
Industrial y profesional.	
Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Gas incoloro e inoloro
Peso molecular (g/mol)	28,01
Gravedad específica	0,9676 a 21,1°C
Punto de ebullición (°C)	-191,5 a 1 atm
Punto de fusión (°C)	-207 a 1 atm
Densidad del gas kg/m ³	1,161 a 21,1°C
Volumen específico del gas	0,862 m ³ /Kg a 21,1°C
Solubilidad en agua (V/V)	0,035 a 0°C

pH	No aplica
Estabilidad y reactividad	
Estabilidad	El monóxido de carbono es un gas estable.
Incompatibilidades o materiales a evitar	Puede formar mezclas explosivas con el aire. Puede reaccionar violentamente con materias oxidantes
Condiciones que deben evitarse	Manténgase alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. No fumar.
Identificación de peligros	
Pictogramas	
Palabra de advertencia	Peligro
Indicación de peligro	H331 : Tóxico en caso de inhalación. H220 : Gas extremadamente inflamable. H360 : Puede perjudicar la fertilidad o dañar al feto. H372 : Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas. H280 : Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento
Consejo de prudencia	No respirar el polvo, el humo, el gas, la niebla, los vapores o el aerosol. Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. – No fumar. No manipular la sustancia antes de haber leído y comprendido todas las instrucciones de seguridad. En caso de inhalación o exposición: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. Consulte a un médico inmediatamente. Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. Eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro en hacerlo. Almacenamiento: guardar bajo llave y en lugar bien ventilado. Es extremadamente inflamable y tóxico 
Primeros auxilios	
Inhalación: Los síntomas pueden incluir vértigos, dolor de cabeza, náuseas y pérdida de coordinación. 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 la piel y con los ojos: En caso de contacto con los ojos o la piel, lávese inmediatamente y abundantemente con agua.	
Ingestión: No está considerada como vía de potencial exposición	
Medidas ante vertido accidental	
Evacuar el área, Eliminar las fuentes de ignición, Asegurar la adecuada ventilación de aire, Utilizar equipos de respiración autónoma cuando entren en el área a menos que esté probado que la atmósfera es segura.	
Medidas de lucha contra incendios	
Medios de extinción: Se pueden utilizar todos los extintores conocidos	
Riesgos específicos: La exposición al fuego puede causar la rotura o explosión de los recipientes.	

Productos de combustión: Ninguno.	
Medidas específicas: Si es posible detener la fuga de producto. Colocarse lejos del recipiente y enfriarlo con agua desde un recinto protegido. No extinguir una fuga de gas inflamada si no es absolutamente necesario. Se puede producir la reignición espontánea explosiva. Extinguir los otros fuegos	
Peligros especiales: Líquido fácilmente inflamable. Los vapores forman mezclas explosivas con el aire y se puede inflamar en presencia de calor, llamas, chispas y electricidad estática. Los vapores pueden desplazarse hasta fuentes remotas de ignición e inflamarse. Los contenedores pueden explotar con el calor del fuego. Peligro de explosión de vapores en interiores, exteriores y en conductos. Vertido a drenajes o alcantarillas puede inflamarse y explotar.	
Equipos de protección: Utilizar equipos de respiración autónoma de presión positiva.	
Almacenamiento y manipulación	
Condiciones de almacenamiento	Mantener el contenedor por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado. Separar de los gases oxidantes o de otros materiales oxidantes durante el almacenamiento.
Recomendaciones de manipulación: Tomar medidas de precaución contra descargas electrostáticas. Debe prevenirse la filtración de agua al interior del recipiente. Purgar el aire del sistema antes de introducir el gas. No permitir el retroceso hacia el interior del recipiente. Utilizar solo equipo específicamente apropiado para este producto y para su presión y temperatura de suministro, en caso de duda contacte con su suministrador. Mantener lejos de fuentes de ignición, incluyendo descarga estática. Solicitar del suministrador las instrucciones de manipulación de las botellas.	
Equipo de protección personal/control	
Protección respiratoria	Si durante la manipulación puede producirse exposición por inhalación, se recomienda el uso de un equipo de protección respiratoria. Los usuarios de los aparatos de respiración deben ser entrenados.
Protección de manos	Llevar guantes
Protección de la vista	Gafas de seguridad.
Protección de piel y cuerpo	Usar un equipo protector adecuado. Guantes y zapatos de seguridad para el manejo de botellas.
Protección personal	Asegurar ventilación adecuada
Información toxicológica	
LC50 por inhalación en rata [ppm/4h]	1880
Efectos	Daños a los glóbulos rojos de la sangre (envenenamiento hemolítico).
Información eco toxicológica	
<ul style="list-style-type: none"> • No se conocen daños ecológicos causados por este producto • Factor de calentamiento global = 1 	
Eliminación	
<ul style="list-style-type: none"> • Evitar la descarga en la atmósfera. • No descargar dentro de ningún lugar donde su acumulación pudiera ser peligrosa. • 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 antirretroceso de llama. • Contactar con el suministrador si se necesita orientación. 	
Transporte (terrestre)	
Precaución	Transportar en cilindros seguros correctamente cerrados y etiquetados.
Nombre para embarque	Monóxido de carbono
Clase de peligro	2
Etiquetado	2.1: Gas inflamable. 2.3: Gas tóxico.

	
--	--

Fuente: (AIR LIQUIDE, 2010) (LINDE GROUP, 2012)

Tabla 15.14: Ficha de seguridad

Identificación del compuesto químico	
Nombre químico	Ácido fórmico
Sinónimo	Ácido formílico, Acido metanoico, Acido hidroxicarboxílico
N° CAS	64-18-6
Fórmula	HCOOH
Usos recomendados	
Industrias químicas, Industria textil, Industria Farmacéutica.	
Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Líquido incoloro de olor penetrante
Peso molecular (g/mol)	28,01
Gravedad específica	0,9676 a 21,1°C
Punto de ebullición (°C)	102
Densidad g/cm ³	1,22 a 20°C
Punto de inflamación	50°C
Temperatura de autoignición	435°C
Solubilidad	Soluble en agua, acetona, alcohol, benceno, éter, glicerol y tolueno. a 20°C
pH	2,3
Viscosidad cinemática	1084 cP a 25°C
Estabilidad y reactividad	
Reactividad	El material no reaccionará de forma peligrosa.
Estabilidad química	No provoca reacciones peligrosas si se manipula y se almacena con arreglo a las normas.
Condiciones que deben evitarse	Evitar altas temperaturas, puede desprender vapores irritantes y tóxicos
Materiales incompatibles	Agentes oxidantes fuertes y bases.
Identificación de peligros	
Pictogramas	
Palabra de advertencia	Peligro
Identificación	Líquido inflamable (Categoría 3) Toxicidad aguda, oral (Categoría 4) Toxicidad aguda, inhalación (Categoría 4) Corrosión cutánea (Categoría 1A) – Lesiones oculares graves (Categoría 1) Peligro para el medio ambiente acuático – peligro agudo (Categoría 3)

Indicación de peligro	<p>H226 - Líquidos y vapores inflamables. H302 - Nocivo en caso de ingestión. H314 - Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. H332 - Nocivo en caso de inhalación. H402 - Nocivo para los organismos acuáticos.</p>
Consejo de prudencia	<p>P210 - Mantener alejado de fuentes de calor, superficies calientes, chispas, llamas al descubierto y otras fuentes de ignición. No fumar. P261 - Evitar respirar la niebla, los vapores o el aerosol. P271 - Utilizar sólo al aire libre o en un lugar bien ventilado. P273 - No dispersar en el medio ambiente. P280 - Usar guantes, ropa y equipo de protección para los ojos y la cara. P301 + P330 + P331 - EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito. P303 + P361 + P353 - EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Enjuagar la piel con agua o ducharse. P304 + P340 - EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. P305 + P351 + P338 - EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado. P370 + P378 - EN CASO DE INCENDIO: Utilizar niebla de agua, espuma, polvo químico seco o dióxido de carbono (CO₂) para la extinción.</p>
Primeros auxilios	
<p>Inhalación: Traslade a la víctima y procúrele aire limpio. Manténgala en calma. Si no respira, suminístrele respiración artificial. Si presenta dificultad respiratoria, suminístrele oxígeno. Llame al médico</p>	
<p>Contacto con la piel y con los ojos: Lávese inmediatamente después del contacto con abundante agua, durante al menos 20 minutos. Quitese la ropa contaminada y lávela antes de reusar. Llame a un médico</p>	
<p>Ingestión: NO INDUZCA EL VÓMITO. Enjuague la boca, y dé de beber agua</p>	
Medidas ante vertido accidental	
<p>Evitar fuentes de ignición. Evacuar al personal hacia un área ventilada. Usar equipo de respiración autónoma y de protección dérmica y ocular. Usar guantes protectores impermeables. Ventilar inmediatamente, especialmente en zonas bajas donde puedan acumularse los vapores. No permitir la reutilización del producto derramado.</p>	
Medidas de lucha contra incendios	

Medios de extinción: Usar polvo químico seco, espuma, arena o CO ₂ . Utilizar el producto acorde a los materiales de los alrededores. NO USAR chorros de agua directos.	
Riesgos específicos: El recipiente sometido al calor puede explotar inesperadamente y proyectar fragmentos peligrosos.	
Recomendaciones: Rocíe con agua los recipientes para mantenerlos fríos. Enfríe los contenedores con chorros de agua hasta mucho después de que el fuego se haya extinguido. Combata el incendio desde una distancia máxima o utilice soportes fijos para mangueras o reguladores.	
Almacenamiento y manipulación	
Condiciones de almacenamiento	Almacenar en un área limpia, seca y bien ventilada. Proteger del sol. Revisar periódicamente los envases para advertir pérdidas y roturas.
Material apropiado de almacenamiento	Material apropiado: papel con polietileno, polivinilo o polietileno/polipropileno
Recomendaciones de manipulación: Prohibido comer, beber o fumar durante su manipulación. Evitar contacto con ojos, piel y ropa. Lavarse los brazos, manos, y uñas después de manejar este producto. El uso de guantes es recomendado. Facilitar el acceso a duchas de seguridad y lavaojos de emergencias. Evitar la inhalación del producto. Mantenga el recipiente cerrado. Use con ventilación adecuada. Manejar los envases con cuidado.	
Equipo de protección personal/control	
Protección respiratoria	En los casos necesarios, utilizar protección respiratoria para vapores orgánicos (A) ácidos.
Protección de la vista	Gafas de seguridad.
Protección de piel y cuerpo	Usar guantes protectores impermeables de PVC, nitrilo o butilo, ropa de trabajo y zapatos de seguridad resistentes a productos químicos.
Protección personal	Asegurar ventilación adecuada
Información toxicológica	
Toxicidad aguda, oral	Categoría 4
Toxicidad aguda, inhalación	Categoría 4
Efectos	Quemaduras, dermatitis, alteraciones en la visión, edema pulmonar, dificultades respiratorias, ceguera, sordera, dolores, entre otros.
Información eco toxicológica	
<ul style="list-style-type: none"> • Biodegradabilidad 100% en 14 días - el producto es biodegradable • Bioacumulación en peces – 3,2 l/kg • Contenido de metales: No contiene halógenos orgánicos ni metales • Valores permitidos de descarga al medio ambiente según Dto 831/93 (nación) y dto. 3395/96 (Bs.As) 	
Eliminación	
<ul style="list-style-type: none"> • Tanto el sobrante de producto como los envases vacíos deberán eliminarse según la legislación vigente en materia de Protección del Medio ambiente y en particular de Residuos Peligrosos. • Deberá clasificar el residuo y disponer del mismo mediante una empresa autorizada. 	
Transporte (terrestre)	
Clase de peligro para el transporte	8 (materias corrosivas)
Grupo de embalaje	II (materia medianamente peligrosa)
Clase de peligro	2
Etiquetado	Inflamable y corrosivo

	
--	--

(Sintorgan, 2019)

Tabla 15.15: Ficha de seguridad

Identificación del compuesto químico	
Nombre químico	Formiato de metilo
Sinónimo	Éster metílico, Metanoato de metilo
N° CAS	107-31-3
Fórmula	HCOOCH ₃
Usos recomendados	
Producto químico para síntesis	
Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Líquido incoloro
Peso molecular (g/mol)	60,06
Presión de vapor	64 kPa a 20°C
Punto de ebullición (°C)	32
Punto de fusión (°C)	-100
Densidad relativa	0,97
Punto de inflamación	50°C
Temperatura de autoignición	435°C
Solubilidad en agua	Buena (30g/100ml)
Estabilidad y reactividad	
El vapor es mas denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo, posible ignición en punto distante. El vapor se mezcla bien con el aire, se forman fácilmente mezclas explosivas. Reacciona vigorosamente con oxidantes.	
Condiciones que deben evitarse	Fuentes de calor e ignición
Materiales incompatibles	Oxidantes
Identificación de peligros	
Pictogramas	
Palabra de advertencia	Peligro
Identificación	Líquidos inflamables (categoría 1), H224 Toxicidad aguda, oral (categoría 3), H301 Toxicidad aguda, inhalación (categoría 3), H331 Toxicidad aguda, cutánea (categoría 3), H311 Irritación ocular (Categoría 2), H319
Indicación de peligro	H224 Líquido y vapores extremadamente inflamables. H370 Provoca daños en los órganos. H301 + H311 + H331 Tóxico en caso de ingestión, contacto con la piel o inhalación.

<p>Consejo de prudencia</p>	<p>P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar. P233 Mantener el recipiente herméticamente cerrado. P280 Llevar guantes/ ropa de protección/ equipo de protección para los ojos/ la cara/ los oídos. P301 + P310 EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/ médico. P303 + P361 + P353 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua. P403 + P233 Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente.</p>
<p>Primeros auxilios</p>	
<p>Inhalación: aire fresco. Llamar inmediatamente al médico. Tras parada respiratoria: inmediatamente respiración instrumental. Aplicar oxígeno en caso necesario.</p>	
<p>Contacto con la piel y con los ojos: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Lavar con abundante agua. Llame inmediatamente al médico</p>	
<p>Ingestión: hacer beber agua (máximo 2 vasos). Consultar inmediatamente al médico</p>	
<p>Medidas ante vertido accidental</p>	
<p>Cubra las alcantarillas. Recoja, una y aspire los derrames. Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10). Recoger cuidadosamente con agentes absorbentes de líquidos. Evitar el contacto con la sustancia. Asegúrese una ventilación apropiada. Manténgase alejado del calor y de las fuentes de ignición. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia</p>	
<p>Medidas de lucha contra incendios</p>	
<p>Medios de extinción: Espuma Dióxido de carbono (CO2) Polvo seco</p>	
<p>Riesgos específicos: Inflamable. Prestar atención al retorno de la llama. Los vapores son más pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo. En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos.</p>	
<p>Recomendaciones: Permanencia en el área de riesgo sólo con sistemas de respiración artificiales e independientes del ambiente. Protección de la piel mediante observación de una distancia de seguridad y uso de ropa protectora adecuada.</p>	
<p>Almacenamiento y manipulación</p>	
<p>Condiciones de almacenamiento</p>	<p>Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Manténgase alejado del calor y de las fuentes de ignición. Mantenerlo encerrado en una zona únicamente accesible por las personas autorizadas o calificadas. Temperatura de almacenaje recomendada indicada en la etiqueta del producto.</p>
<p>Recomendaciones de manipulación: Trabajar bajo campana extractora. No inhalar la sustancia/la mezcla. Evítese la generación de vapores/aerosoles.</p>	

Equipo de protección personal/control	
Protección respiratoria	En los casos necesarios, utilizar protección respiratoria. Tipo de Filtro recomendado: Filtro tipo AX
Protección de la vista	Gafas de seguridad.
Protección de piel y cuerpo	Usar guantes protectores impermeables de PVC, nitrilo o butilo, ropa de trabajo y zapatos de seguridad resistentes a productos químicos.
Protección personal	Asegurar ventilación adecuada
Información toxicológica	
Toxicidad específica en determinados órganos	Inhalación - Puede irritar las vías respiratorias. -
Toxicidad aguda	Aguda
Efectos	Tos, Insuficiencia respiratoria, Dolor de cabeza, Náusea, Vómitos
Información eco toxicológica	
<ul style="list-style-type: none"> • Biodegradabilidad: Fácilmente biodegradable. • No contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores. 	
Eliminación	
Los restos de producto químico deberían disponerse de acuerdo a tecnología aprobada y a la legislación local. El envase contaminado, debe tratarse como el propio residuo químico. No verter en ningún sistema de cloacas, sobre el piso o extensión de agua.	
Transporte (terrestre)	
Clase de peligro para el transporte	3
Grupo de embalaje	I

(Sigma-Aldrich, 2021) (www.ilo.org)

Tabla 15.15: Ficha de seguridad

Identificación del compuesto químico	
Nombre químico	2-Metiltetrahydrofurano
Sinónimo	THF
N° CAS	109-99-9
Fórmula	C ₄ H ₈ O
Usos recomendados	
Industria química	
Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Líquido incoloro de olor como a éter
Peso molecular (g/mol)	72,11
Punto de fusión (°C)	-108,5
Punto de ebullición (°C)	65
Densidad g/cm ³	0,883 a 25°C
Temperatura de autoinflamación	215°C
Solubilidad	Hidrosoluble
pH	7-8
Estabilidad y reactividad	
Reactividad	Esta es una sustancia reactiva. Riesgo de ignición. Los vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire. Puede formar peróxidos explosivos.
Estabilidad química	El material es estable bajo condiciones ambientales normales y en condiciones previsibles de temperatura y presión durante su almacenamiento y manipulación.

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
Materiales incompatibles	Artículos de caucho, diferentes plásticos, estaño
Identificación de peligros	
Pictogramas	
Palabra de advertencia	Peligro
Identificación	Líquido inflamable: 3 Toxicidad aguda oral: 4 Lesión ocular: 2 Carcinogenicidad: 2 Toxicidad específica en órganos: 3
Indicación de peligro	H225 Líquido y vapores muy inflamables H302 Nocivo en caso de ingestión H319 Provoca irritación ocular grave H335 Puede irritar las vías respiratorias H351 Se sospecha que provoca cáncer
Consejo de prudencia	P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar P280 Llevar prendas/gafas/máscara de protección P305+P351+P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado P308+P313 EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Consultar a un médico P403+P233 Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente
Primeros auxilios	
Inhalación: Traslade a la víctima y procúrele aire limpio. Manténgala en calma. Si no respira, suminístrele respiración artificial. Si presenta dificultad respiratoria, suminístrele oxígeno. Llame al médico	
Contacto con la piel y con los ojos: Lávese inmediatamente después del contacto con abundante agua, durante al menos 20 minutos. Quítese la ropa contaminada y lávela antes de reusar. Llame a un médico	
Ingestión: no induzca el vómito. Enjuague la boca, y dé de beber agua	
Medidas ante vertido accidental	
<ul style="list-style-type: none"> Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas. Peligro de explosión. Utilizar el equipo de protección individual obligatorio. Evitar el contacto con la piel, los ojos y la ropa. No respirar los vapores/aerosoles. Prevención de las fuentes de ignición. 	

<ul style="list-style-type: none"> Absorber con una sustancia aglutinante de líquidos (arena, harina fósil, aglutinante de ácidos, aglutinante universal). 	
Medidas de lucha contra incendios	
Medios de extinción: agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo extinguidor seco, polvo BC, dióxido de carbono	
Riesgos específicos: Combustible. En caso de ventilación insuficiente y/o al usarlo, pueden formarse mezclas aire/vapor explosivas/inflamables. Los vapores de disolventes son más pesados que el aire y se pueden extender por el suelo.	
Recomendaciones: En caso de incendio y/o de explosión no respire los humos. Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo	
Almacenamiento y manipulación	
Condiciones de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente Temperatura recomendada de almacenamiento: 20 – 25 °C
Recomendaciones de manipulación: Prever una ventilación suficiente. Evítese la exposición. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas	
Equipo de protección personal/control	
Protección respiratoria	En los casos necesarios, utilizar protección respiratoria para vapores orgánicos (A) ácidos.
Protección de la vista	Gafas de seguridad.
Protección de piel y cuerpo	Usar guantes protectores impermeables de PVC, nitrilo o butilo, ropa de trabajo y zapatos de seguridad resistentes a productos químicos.
Protección personal	Asegurar ventilación adecuada
Información toxicológica	
Toxicidad	Aguda
Efectos	Irritación ocular grave, puede irritar vías respiratorias, ahogos, cefalea, mareos, entre otros,
Información eco toxicológica	
<ul style="list-style-type: none"> No se clasifica como peligroso para el medio ambiente Demanda Teórica de Oxígeno: 2,441 mg/mg Dióxido de Carbono Teórico: 2,441 mg/mg 	
Eliminación	
<ul style="list-style-type: none"> Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos. Eliminar el contenido/el recipiente de conformidad con la normativa local, regional, nacional o internacional. No tirar los residuos por el desagüe Es un residuo peligroso; solamente pueden usarse envases que han sido aprobado 	
Transporte (terrestre)	
Clase de peligro para el transporte	3
Grupo de embalaje	II
Etiquetado	Inflamable 

(ROTH, 2021)

CAPÍTULO 16: ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

16.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se detalla la información de carácter monetaria según lo analizado e investigado en los capítulos anteriores del proyecto. La evaluación económica-financiera es un método para el análisis, que permite conocer la viabilidad de un proyecto en un período determinado y su rentabilidad real a mediano y largo plazo. Un proyecto implica una inversión de capital significativo, que se espera recuperar en conjunto con las ganancias propias de la actividad.

Se calcula la inversión total, que incluye activos fijos y nominales junto al capital de trabajo, y también se calculan los costos totales, haciendo referencia a los costos de materia prima e insumos, de mano de obra, de mantenimiento, de seguros, entre otros. Posteriormente se determina la depreciación y la amortización debido al desgaste que sufre un activo.

Se emplean dos parámetros para calcular la viabilidad del proyecto: el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Además, se calcula el período de recuperación de la inversión (PRI), el cual indicará, en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente.

Se realiza un análisis de sensibilidad de forma tal de deducir las condiciones en las que la empresa es rentable, dada la variación de las principales variables del proceso productivo. Además de establecer si el proyecto es viable analizando lo mencionado con anterioridad, y redactar conclusiones, brindar sugerencias para los aspectos más débiles del proyecto.

Cabe aclarar, que el análisis se lleva a cabo considerando el volumen de producción a lo largo de 10 años y una relación de cambio respecto al dólar de 104 ARS/U\$D.

16.2 INVERSIÓN

La inversión, implica el capital necesario para poder llevar a cabo un proyecto. Está compuesta por activos fijos, activos nominales y capital de trabajo. A continuación, se calcula el monto total de la inversión a realizar.

16.2.1 Activos fijos

Los activos fijos, son bienes tangibles y duraderos de una empresa que no pueden convertirse en liquidez en el corto plazo, ya que son indispensables para el funcionamiento de ella. Los mismos, se encuentran sujetos a la depreciación a excepción de los terrenos.

Algunos activos fijos son: terrenos, edificios, vehículos, maquinaria y equipo, muebles, entre otros.

En la determinación de los costos de estos activos se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cotización del dólar al día 01/10/2021 del Banco de la Nación Argentina fue de \$104,00.
- De acuerdo a la ley de IVA (Ley Nacional 23.349), los artículos producidos en el país perciben el 21% de impuesto al valor agregado, pero los bienes de capital están gravados con un 10,5%.
- En la estimación del costo de flete, se supone un valor del 1%.

➤ Terreno y obras civiles

En la tabla 16.1, se presentan los costos referidos a cada área de la planta. Los mismos, se calculan según la información obtenida en la página web de Estadísticas de la provincia de Santa Fe. Con respecto al precio del terreno, se estima con los datos aportados por la página de la Inmobiliaria Gea.

Tabla 16. 1: Terrenos y obras civiles.

Rubro	Superficie (m ²)	Monto (\$/m ²)	Total (\$)
Terreno	4998	6762,71	33800000,00
Estacionamiento	768	5008,46	3846497,28
Sala guardia	20	5008,46	100169,20
Comedor	24	55649,62	1335590,88

Baños y vestuarios	60	55649,62	3338977,20
Sala de reunión/oficinas	80	55649,62	4451969,60
Laboratorio	40	55649,62	2225984,80
Sala de mantenimiento	60	16416,64	984998,40
Sala de caldera	160	16416,64	2626662,40
Sector torres de enfriamiento	190	3617,22	687271,80
Sala de control	56	55649,62	3116378,72
Sección 100	270	3617,22	976649,40
Sección 200	104	3617,22	376190,88
Sección 300	91	3617,22	329167,02
Total sin IVA			58196508,00
Total con IVA			70417774,00

Fuente: Elaboración propia.

➤ Equipos industriales, auxiliares y accesorios

En la tabla 16.2 se expresan los resultados sobre el monto de los equipos, bombas, tuberías y elementos del control automático involucrados en el proceso de producción. Para ello, se considera:

- Costo del flete del 1% referido al costo total del equipo.
- IVA 10,5% para los equipos respecto al costo total de los mismos (bienes de capital).

- IVA 21% para transporte de equipos.

Tabla 16. 2: Equipos y accesorios.

Equipo	Cantidad	Precio (\$/u)	Flete (\$)	Precio final (\$)
Tanque T-101	1	8756800	87558,00	8844358,00
Cilindros de CO	93	16640	15475,00	1562995,20
Tanque T-301	1	12764800	127648,00	12892448,00
Tanque T-201	3	858960	8589,60	2602648,80
Tanque T-302	1	3568149	35681,49	3603830,49
Tolva B-101	1	30497	304,97	30801,97
Mezclador M-101	1	686400	6864,00	693264,00
Mezclador M-201	1	655200	6552,00	661752,00
Reactor R-101	1	61162400	611624,00	61774024,00
Reactor R-201	1	45000080	450000,80	45450080,80
Columna C-101, E-103, E-104	1	48252200	482522,00	48734722,00
Columna C-201, E-203, E-202	1	22953944	229539,44	23183483,44
Columna C-302, E-302, E-301	1	25297792	252977,92	25550769,92
Columna C-303, E-304, E-303	1	22558952	225589,52	22784541,52

Columna C-301	1	4531488	45314,88	4576802,88
Flash F-101	1	6693440	66934,40	6760374,40
Intercambiador E-101	1	208000	2080,00	210080,00
Intercambiador E-102	1	83200	832,00	84032,00
Intercambiador E-201	1	1092000	10920,00	1102920,00
Intercambiador E-305	1	468000	4680,00	472680,00
Bombas de proceso	12	189228	1892,28	2293443,36
Tuberías y accesorios	2% de equipos	5778536,64	57785,35	5836321,99
Válvulas	3	13300	133,00	40299,00
Caldera	1	20800000	208000,00	21008000,00
Torres de enfriamiento	6	624000	6240,00	661440,00
Bombas de servicios auxiliares	7	340912	3409,12	2410247,84

Ablandador de agua	1	129300	1293,00	130593,00
Tanque de agua T-401	1	237950	2379,50	240329,50
Tanque de agua T-402	1	488000	4880,00	492880,00
Equipo de laboratorio	Varios	270600	2706,00	273306,00
Variador de frecuencia	4	18000	180,00	72720,00
Válvulas control automático	8	10000	100,00	80800,00
Transmisor de temperatura	2	18500	185,00	37370,00
Switch de nivel	6	6100	61,00	36966,00
Transmisor de presión	2	16000	160,00	32320,00
Transmisor de caudal	3	104000	1040,00	315120,00
Transmisor de nivel	2	22000	220,00	44440,00

Total equipos	305646749,00
Total IVA	32734767
Total fletes	3056467

Fuente: Elaboración propia.

➤ Muebles y útiles

En este caso, se presentan en la tabla 16.3 los montos referidos a los elementos que no forman parte directamente de la producción, pero son necesarios en otras tareas de la planta. El flete se considera como el 1% del costo total del producto.

Tabla 16. 3. Mobiliario.

Mobiliario	Cantidad	Precio unitario (\$/u)	Precio final (\$)
Escritorio	8	8500	68000
Silla	30	4700	141000
Computadora	8	63000	504000
Calefactor	6	15000	90000
Aire acondicionado	3	39500	118500
Mesa de comedor	3	14900	44700
Mesa de sala de conferencia	1	34800	34800
Microondas	1	16000	16000
Heladera	1	42000	42000
Pava eléctrica	2	1700	3400

Armario	4	37000	148000
Archivero	4	13000	52000
Impresora	3	4800	14400
Total muebles y útiles			1276800
Total IVA			270809
Total flete			12768

Fuente: Elaboración propia

➤ Resumen de activos fijos

A continuación, se resumen en la tabla 16.4 los montos de cada categoría de los activos fijos analizada previamente, y se plasma en la figura 16.1 el porcentaje que ese activo representa en el total de la inversión de bienes.

Tabla 16. 4: Resumen de activos fijos.

Categoría	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Terreno y obras civiles	58196508,00	15,81
Equipos y accesorios	305646749,00	83,01
Muebles y útiles	1276800,00	0,35
Flete	3069235,00	0,83
Total	368189292,00	100

Fuente: Elaboración propia



Figura 16. 1: Resumen porcentajes activos fijos.

Según la imagen anterior, más del 80% de los activos fijos corresponden a los equipos y accesorios, el 16% representa a los terrenos y obras civiles, mientras que los muebles, útiles y flete, no influyen considerablemente en la inversión de los activos fijos.

16.2.2 Activos nominales

Los activos nominales son bienes necesarios para el funcionamiento de una empresa, y que se caracterizan por ser intangibles. Generalmente son derechos adquiridos y servicios requeridos para el estudio e implementación de un proyecto y no están sujetos a desgaste físico. Ejemplos de ello son: trabajos de investigación, gastos de organización, gastos de puesta en marcha, gastos de administración, gastos en capacitación de personal, imprevistos, gastos en patentes y licencias, etc.

En el cálculo de estos activos, se consideró lo siguiente:

- Planificación y supervisión de proyecto: corresponde al 5% del monto total de los activos fijos sin considerar el IVA.
- Capacitación: corresponde al 3% del monto total de los activos fijos sin considerar el IVA.

- Automatización: se estima que su costo es del 10% en base al monto total de maquinarias, sin tener en cuenta el flete y el IVA.
- Puesta en marcha: El costo de la puesta en marcha se estima como el 5% de la inversión en equipos y maquinarias.
- Montaje de equipos: se estima como el 50% de la suma de maquinarias y equipos.
- Otros imprevistos: se estima que su costo es del 1% en base al monto total de maquinarias, sin tener en cuenta el flete y el IVA.

En la tabla 16.5 se detallan los montos sin IVA, y en la figura 16.2 se representan el porcentaje de este activo en la inversión total de bienes.

Tabla 16. 5: Activos nominales.

Categoría	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Planificación y supervisión de proyecto	18409465	7,82
Capacitaciones	11045679	4,70
Automatización	30564675	12,98
Puesta en marcha	15282337	6,49
Montaje de equipos	152823374	64,90
Seguros	3681893	1,56
Otros imprevistos	3681893	1,55
Total	235489316	100

Fuente: Elaboración propia.



Figura 16. 2: Resumen porcentajes activos nominales.

16.2.3 Capital de trabajo

El capital de trabajo se refiere a los recursos que requiere el proyecto en las operaciones de producción y comercialización de bienes o servicios; es el capital adicional con el que se debe contar para iniciar el proyecto. El capital de trabajo debe financiar todos los requerimientos que se tengan para producir un bien o servicio final. Entre éstos, se tiene: materia prima, materiales directos e indirectos, mano de obra directa e indirecta, gastos de administración y comercialización que requieran salidas de dinero en efectivo. En este caso, para estimar el capital de trabajo necesario se toma como un ciclo productivo: 15 días.

En la tabla 16.6 se detallan los montos, y en la figura 16.3 se plasma el porcentaje de participación.

Tabla 16. 6: Capital de trabajo.

Capital de trabajo	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Materia prima e insumos	37112642,58	82,53
Mano de obra directa	5032515,00	11,19

Mano de obra indirecta	1069136,33	2,38
Servicios	1754656,33	3,90
Total	44968950,00	100

Fuente: Elaboración propia.

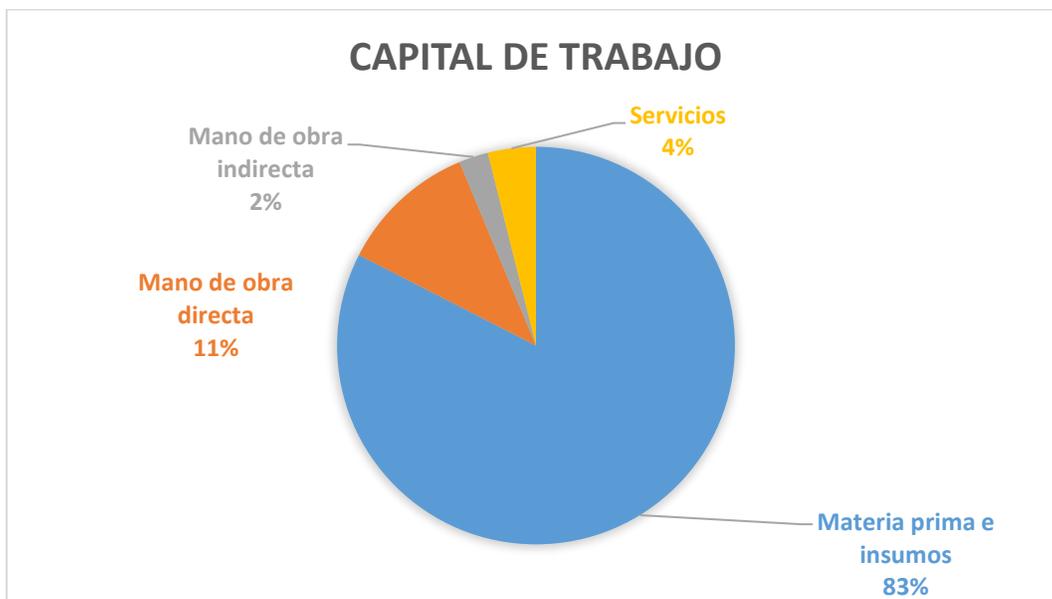


Figura 16. 3: Resumen porcentajes capital de trabajo.

16.2.4 Inversión total del proyecto

Conocidos ya, los montos de los activos fijos, nominales y capital de trabajo, se calcula el costo total de la inversión. En la tabla 16.7 se representan estos resultados y en la figura 16.4 la participación de cada rubro.

Tabla 16. 7: Inversión total.

Categoría	Monto (\$)	Porcentaje (%)
Activos fijos	368189292	52,76
Activos nominales	235489316	33,74

Capital de trabajo	44968950	13,5
Total	697856889	100

Fuente: Elaboración propia.

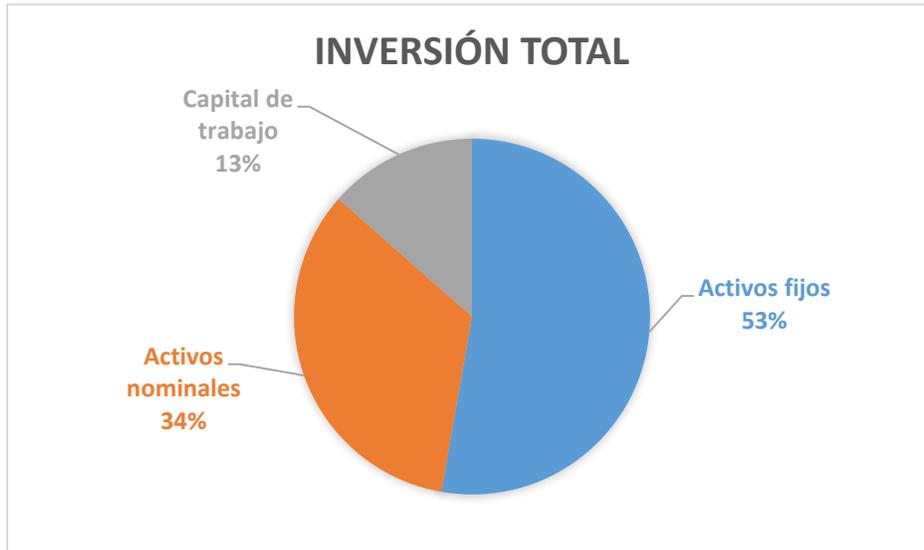


Figura 16. 4: Resumen porcentajes inversión total.

Como se puede observar en la figura anterior, los activos fijos resultan los más significativos de la inversión, representando más del 50%, en menor medida por los activos nominales representando un 34% y el capital de trabajo un 13%.

16.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN

Los costos de producción o de operación, son los gastos que se requieren para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento. Es el resultado de la suma de los costos variables, los cuales se modifican con el volumen de producción, y los costos fijos, que no varían con el nivel productivo.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación detallada de los costos fijos y variables del proyecto.

Tabla 16. 8: Costos de producción.

Costos totales de producción	Costos variables o directos	Materia prima
		Insumos
		Mano de obra directa
		Servicios auxiliares
	Costos fijos o indirectos	Mano de obra indirecta
		Mantenimiento de equipos
		Servicio de limpieza
		Materiales indirectos
		Seguros e impuestos
		Amortización y depreciación
		Gastos en administración
		Gastos en comercialización
		Gastos en financiación

Fuente: Elaboración propia.

16.3.1 Costos variables o directos

Los costos directos son aquellos que están relacionados directamente con la producción de un producto determinado, por lo que, afecta claramente sobre el precio del mismo.

➤ **Materias primas e insumos**

Las materias primas de este proyecto son el metanol y el monóxido de carbono. El metanol se adquiere de la planta de producción de Arauco Química S.A. ubicada en el puerto Gral. San Martín de la provincia de Santa Fe. Con respecto al monóxido, éste se compra a Air Liquide, quien lo importa.

Como insumos se considera el metóxido de sodio que se emplea como catalizador y el tetrahidrofurano que es el extractante requerido. El primero, se adquiere de la planta Evonik S.A. ubicada en Boulogne (Buenos Aires), mientras que el segundo se compra a Química Callegari S.R.L ubicada en Luis Guillón (Buenos Aires).

Se considera un flete del 1% del valor de la materia prima. En la tabla 16.9 se representan estos costos para el primer año del proyecto.

Tabla 16. 9: Costos de materia prima e insumos.

Materia prima/insumo	Cantidad (t/año)	Precio (\$/t o \$/m ³)	Flete (\$)	Costo (\$)
Metanol	11674,800	33280,00	3885373	392422717
Monóxido de carbono	10027,080	14241,21	1427978	144225729
Metóxido de sodio	0,083	1456000,00	1208	122056
Tetrahidrofurano	322,920	200000,00	6458400	71042400
Agua	36183,600	5,38	0	194668
Total con flete				608007570

Fuente: Elaboración propia.

➤ Servicios auxiliares

El proyecto cuenta con servicio de gas natural, de electricidad y de agua de red. El gas natural es suministrado por la empresa Litoral Gas S.A., y el consumo se calcula según la tarifa para la categoría de la planta. En este caso, se adopta un consumo constante anual. En cuanto al servicio de electricidad, es brindado por la empresa EPE Energía de Santa Fe y para el cálculo del consumo y costo se tiene en cuenta la infraestructura del parque industrial San Lorenzo. Por último, el servicio de agua de red, es suministrado a través de una red de distribución de la empresa Aguas Santafesinas S.A. y se aplican tarifas según el tipo de planta y su consumo.

En la tabla 16.10 se muestra el consumo anual y los costos.

Tabla 16. 10: Costos de servicios.

Servicio	Consumo anual	Unidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Energía eléctrica	1703875,65	kWh	7,30	12438292,25
Gas natural	14035428	m ³	1,16	16281096,48
Agua de red	4968	m ³	5,38	26727,84
Total				28746117.00

Fuente: Elaboración propia.

➤ Mano de obra directa

La mano de obra directa se refiere a la generada por obreros y operarios quienes tienen relación directa con la producción. En la siguiente tabla, se presentan los costos según el cargo del personal. El valor del costo total anual de mano de obra directa incluye las cargas sociales, consideradas como un 45% del gasto nominal. Los días de trabajo anual considerados para el cálculo son 345.

El importe que se paga por hora se determina en base a la grilla salarial correspondiente a la Federación de Sindicatos de Trabajadores de Industrias Químicas y Petroquímicas de la República Argentina, Santa Fe 2021.

Tabla 16. 11: Costos de mano de obra directa.

Sector	Cargo	N°	Jornal por hora (\$)	Gasto anual nominal (\$)	Carga social (\$)	Gasto total anual (\$)
Producción	Jefe	1	450	1242000	558900	1800900
	Supervisor	3	330	2732400	1229580	3961980
	Operario	21	280	16228800	7302960	23531760
Mantenimiento	Jefe	1	450	1242000	558900	1800900
	Operario	9	280	6695200	3129840	9825040
Calidad	Jefe	1	450	1242000	558900	1800900
	Encargado	3	330	2732400	1229580	3961980
	Analista	6	280	4636800	2086560	6723360
Sala de caldera	Operario	6	280	4636800	2086560	6723360
Total						60130180

Fuente: Elaboración propia.

➤ Resumen de costos variables o directos

En la tabla 16.11 se especifican los costos directos de producción a lo largo de un año de máxima capacidad operativa de la planta, y en la figura 16.5 se plasma la composición porcentual correspondiente.

Tabla 16. 12: Resumen de costos variables.

Categoría	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)
Materia prima e insumos	608007570	87,25
Servicios auxiliares	28746117	4,12
Mano de obra directa	60130180	8,63
Total	696883867	100

Fuente: Elaboración propia.

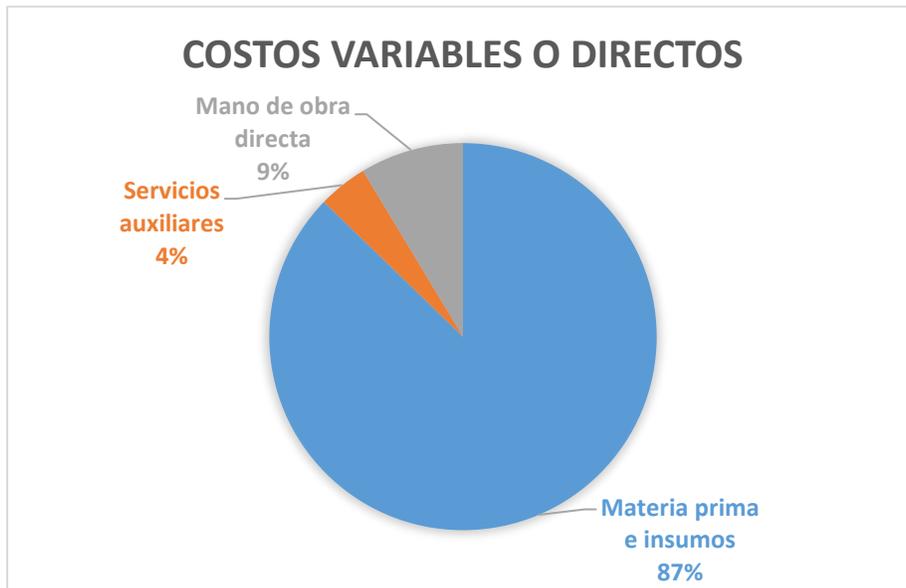


Figura 16. 5: Resumen porcentajes costos variables o directos.

Según la figura 16.5 más del 80% de los costos variables corresponden a las materias primas e insumos, mientras que, los servicios auxiliares representan un 4% y la mano de obra directa un 9%.

16.3.2 Costos fijos o indirectos

Los costos indirectos son aquellos que resultan de actividades que no están involucradas directamente en el proceso de producción.

➤ Mano de obra indirecta

La mano de obra indirecta hace referencia a aquellos empleados que no trabajan directamente en la sección de producción, como lo podrían ser un soldador, un contador, un guardia de seguridad, entre otros. Para el gasto total anual se utilizan 13 meses para considerar el aguinaldo. Los costos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 16. 13: Costos de mano de obra indirecta.

Cargo	N°	Sueldo (\$/mes)	Gasto anual nominal (\$)	Carga social (%)	Carga social (\$)	Gasto total anual (\$)
Gerente general	1	92000,00	1196000,00	28	334880,00	1530880,00
Jefe de administración	1	77539,61	1008014,93	28	282244,18	1290259,11
Responsable de RRHH	1	67826,68	881746,84	28	246889,12	1128635,96
Administrativo	1	58170,39	756215,00	28	211.740	967.955
Jefe de logística	1	77539,61	1008014,93	28	282244,18	1290259,11

Operarios de logística	3	67200,00	2620800,00	28	733824,00	3354624,00
Responsable de higiene y seguridad	1	1656,00	21528,00	28	6027,84	27555,84
Guardia de seguridad	3	57285,00	2234115,00	45	1005351,75	3239466,75
Total					4391866,85	12829636,00

Fuente: Elaboración propia.

➤ Seguros e impuestos

Como se estableció en el capítulo 4, la Ley N° 11.525 de Parques y Áreas Industriales y la Ley N° 8.478 de Promoción Industrial de la Provincia de Santa Fe, otorgan las empresas que se instalen en sus parques, beneficios y exenciones impositivas de hasta un 100% de los impuestos provinciales, por un período de hasta 10 años.

En cuanto a los seguros, se estima un 1% de la inversión en activos fijos, obteniendo así, un valor de \$3681893 al año.

➤ Servicio de limpieza

El costo del servicio de limpieza se estima como el 1% de las obras civiles, para lo cual se obtiene un valor de \$243965 al año.

➤ Mantenimiento

En esta sección se consideran los gastos en mantenimientos preventivos y correctivos. Para determinar este gasto, se estima que el mantenimiento representa el 1% sobre el costo de equipos industriales y accesorios, lo cual da un valor de \$3056467 para el primer año.

➤ Gastos de administración y comercialización

Los gastos de comercialización y administración se estiman como el 0,5% y 0,1% del costo total anual de producción, representando un valor de \$2826315 y \$565263 respectivamente para el primer año. A continuación, se resumen estos costos sin tener en cuenta los gastos de puesta en marcha y posteriormente se representa gráficamente la composición porcentual del mismo.

Tabla 16. 14: Costos de comercialización y administración.

Gastos administrativos	\$2826315
Gastos de comercialización	\$565263
Total	\$3391578

Fuente: Elaboración propia.

➤ Financiación de proyecto

La inversión inicial a realizar para el presente proyecto es obtenida a través de financiamiento externo o crédito. Como se sabe, los créditos tienen un costo financiero, materializado como intereses.

Para este proyecto, el capital disponible para la inversión es aportado por un crédito del Banco Nación con una TNA de 34% y sistema de amortización alemán.

Un sistema de amortización es un método por el cual un capital cedido en préstamo es devuelto por una sucesión de pagos o cuotas. Existen diferentes sistemas de amortización, dos de los más conocidos son el sistema alemán, que utiliza cuotas variables, decrecientes en forma aritmética, y el sistema francés, en el cual la deuda se amortiza con cuotas constantes. (Famaf)

Una característica del sistema alemán es que las cuotas son decrecientes, esto presenta la desventaja de que las primeras cuotas son de mayor valor monetario, y por lo tanto más difíciles de afrontar para el deudor. Sin embargo, las cuotas suelen reducirse a medida que se va saldando la deuda, lo que convierte al sistema alemán en buena alternativa para realizar pagos anticipados. Además, la amortización del capital es constante, con lo cual al cumplir la mitad del plazo, se logra saldar el 50% de la deuda.

En cuanto al cálculo de las cuotas en el sistema de amortización alemán, para conocer el importe, se debe tener en cuenta que el interés es calculado sobre el capital vigente al principio del año.

Para el cálculo de la cuota se tiene que:

$$a = \frac{C_0 \times i}{1 - (1 - i)^n}$$

Ecuación 16. 1

Donde:

a = Cuota periódica constante.

C_0 = Capital de préstamo.

i = Tipo de interés del préstamo.

n = número de periodos.

En la Tabla 16.14 se detallan las características del préstamo solicitado.

Tabla 16. 15: Características del crédito.

Monto del crédito	\$697856889,00
TNA	34%
Número de cuotas	120
Sistema de amortización	Alemán

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. 16: Cuotas anuales.

Cuota	Pagos anuales (\$)	Intereses (\$)
1	351958433,85	223295085,04
2	322385744,42	199892980,06
3	292813054,99	176490875,08
4	263240365,56	153088770,10
5	233667676,13	129686665,11
6	204094986,70	106284560,10
7	174522297,30	82882455,15
8	144949607,80	59480350,16
9	115376918,40	36078245,18
10	85804228,99	12676140,20

Fuente: Elaboración propia.

➤ Depreciaciones y amortizaciones

La depreciación es la disminución del valor que experimentan los bienes del activo fijo tangible, por el uso y el transcurso del tiempo. Sus causas pueden ser físicas (uso, transcurso del tiempo) o funcionales (obsolescencia, insuficiencia). Por su parte, la amortización, que tiene un concepto similar, es la absorción del costo de activos nominales o intangibles durante un período de tiempo determinado. (<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/12238/Capitulo4.pdf>)

Para estimar los costos de amortización, se consulta la ley tributaria, y se define la vida útil de los bienes:

- Obras civiles: 50 años.

- Equipos y accesorios: 5 años.

- Muebles y útiles: 5 años.

Una vez determinada la vida útil de cada rubro, puede extraerse de este valor la tasa lineal de depreciación de un bien. De esto se desprende que al finalizar el proyecto (diez años), algunos de los bienes tendrán un valor nulo o residual, exceptuando el terreno ya que no está sujeto a depreciación. En la siguiente tabla se detallan los costos en base a la depreciación y amortización.

Tabla 16. 17: Costos de depreciaciones y amortizaciones.

Categoría	Inversión (\$)	Tasa (%)	Depreciación anual (\$)
Terreno	33800000	2	676000
Obras civiles	24396508	10	2439651
Equipos y accesorios	305646749	5	15282337
Muebles y útiles	1276800	20	255360
Total			18653348

Fuente: Elaboración propia.

➤ Resumen de costos fijos o indirectos

En la tabla 16.17 se detallan los montos de los costos indirectos involucrados para el primer año, y en la figura 16.6 los porcentajes correspondientes.

Tabla 16. 18: Resumen de costos.

Categoría	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)
Mano de obra indirecta	12829636,00	32,00
Servicio de limpieza	243965,00	0,61
Seguros e impuestos	3681893,00	9,20
Gastos de mantenimiento	3056467,00	7,63
Gastos de comercialización	565263,00	1,41
Gastos administrativos	2826315,00	7,05
Depreciación y amortización	16860353,43	42,10
Total	40063892,43	100

Fuente: Elaboración propia.

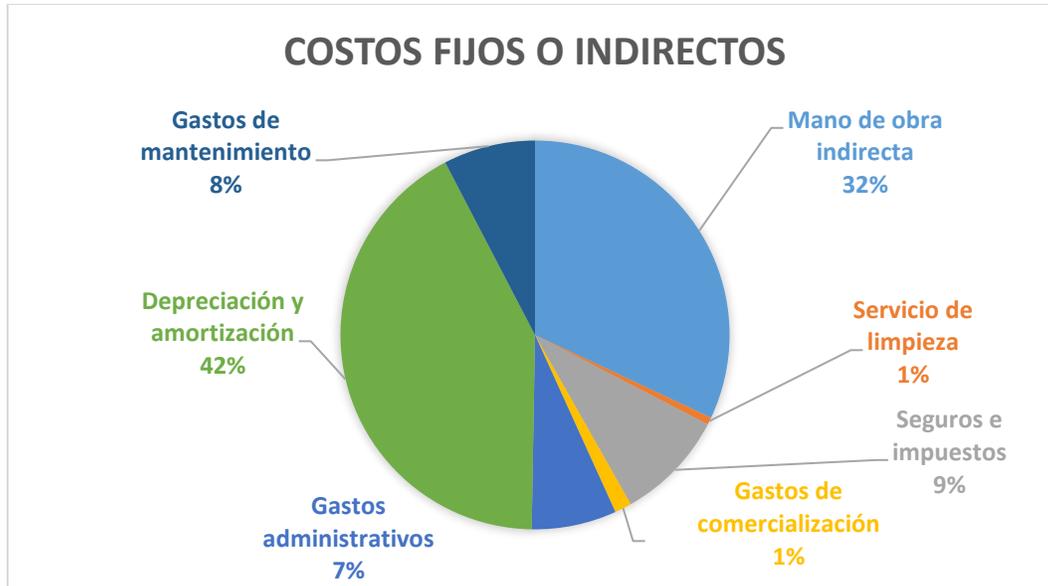


Figura 16. 6: Resumen porcentajes costos fijos o indirectos.

16.3.3 Costo de producción unitario para el ácido fórmico

El costo unitario es una medida contable que informa sobre el gasto total que presenta una empresa por producir una unidad de un producto. Brinda una visión de las relaciones entre ingresos, costos y ganancias, por lo que, ayuda a verificar si una empresa está produciendo de manera eficiente y rentable, y a determinar cuándo comenzarán a obtener ganancias para poder establecer un precio de venta a los productos. (Lifeder)

Se calcula según la ecuación que se presenta a continuación.

$$CU = \frac{CT}{U}$$

Ecuación 16. 2

Donde:

- CU = Costo unitario total (\$/t).
- CT = Costo total de producción (incluye costo fijo anual (\$) y costo variable anual (\$)).
- U = Cantidad anual producida (t).

En la tabla 16.18 se presenta el costo total de producción y los costos unitarios del ácido fórmico para cada año considerado.

Tabla 16. 19: Costos.

Año	Costo total de producción (\$)	Volumen de producción (kg)	Costo unitario (\$/kg)
1	565263077	11719640	48,23
2	581679079	12132130	47,94
3	598672870	12559140	47,66
4	616264786	13001180	47,40
5	634475879	13458780	47,14
6	656384410	13932480	47,11
7	675900004	14422860	46,86
8	696102481	14930500	46,62
9	717016020	15456000	46,39
10	738665645	16000000	46,16

Fuente: Elaboración propia.

16.4 INGRESO POR VENTAS

El ingreso por ventas hace referencia al monto de dinero que se percibe por la venta de producto. En base al estudio de mercado y a investigaciones, se obtiene que el precio del ácido fórmico al 85%p/p es de \$130/kg. Este valor se considera constante a lo largo del período considerado en este proyecto (10 años). En la tabla 16.19 se resumen los ingresos por ventas.

Tabla 16. 20: Ingreso por ventas.

Cantidad (kg)	Precio unitario (\$)	Ingreso anual (\$)
Ácido fórmico		
16000000	130	2080000000

Fuente: Elaboración propia.

16.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

En un proyecto es muy relevante analizar su viabilidad y rentabilidad, ya que, al formar una empresa se debe invertir cierto capital, el cual se espera recuperar a lo largo de un tiempo determinado. Esta rentabilidad tiene que ser por lo menos mayor que una inversión de poco riesgo, como un plazo fijo.

Para analizar la rentabilidad de un proyecto, existen varios parámetros. Dos índices muy utilizados son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). El VAN, es la diferencia del valor presente neto de los flujos netos de efectivo y el valor actual de la inversión, cuyo resultado se expresa en dinero; mientras que la TIR, es la tasa de descuento a la que el valor presente neto de una inversión arroja un resultado de cero.

Para proceder a la estimación de estos índices, primero se calcula el estado de resultados.

16.5.1 Estado de resultados

El estado de resultados es un estado financiero dinámico, que brinda de manera detallada los ingresos y gastos que ha tenido una empresa durante un determinado período. A partir de esa información, permite calcular la utilidad o pérdida neta del periodo, la cual permitirá tomar decisiones sobre la compañía. Esto es:

$$\text{Utilidad neta o beneficio} = \text{Ingresos} - \text{Gastos}$$

Ecuación 16. 3

Dentro de los objetivos que persigue el Estado de resultados, se pueden mencionar:

- Evaluar la rentabilidad de la empresa.
- Estimar su potencial de crédito.

- Estimar la cantidad, el tiempo y la certidumbre de un flujo de efectivo.
- Evaluar el desempeño de la empresa.
- Medir riesgos.
- Repartir dividendos.

Con estos datos se posibilita el análisis y la toma de decisiones. Entre los componentes del estado de resultados se encuentran:

- Ventas netas: Definidas como los ingresos por ventas en el período considerado para la producción de la empresa.
- Costos de producción: Referido a lo vendido, se consideran los costos de materias primas, mano de obra directa e indirecta y servicios directos.
- Resultado operativo: Diferencia entre los ingresos por ventas y los costos totales de producción.
- Gastos administrativos, comerciales y de financiación.
- Depreciación y amortización: Estimados en la sección correspondiente.
- Resultado antes de impuestos: lo que resulta de sustraerle a la utilidad operativa las depreciaciones y los gastos administrativos, comerciales y de financiación.
- Impuestos: se considera principalmente el impuesto a las ganancias, el cual es el 35% de la utilidad antes de impuestos más la depreciación y amortización (dado que no suponen desembolso de dinero, se reincorporan para determinar el flujo neto efectivo).
- Resultado neto o flujo neto efectivo: Ganancia o pérdida final que la empresa obtiene después de la actividad, y que resulta de adicionarle los impuestos.

En la siguiente tabla se detalla el estado de resultados para el período de actividad del proyecto. En figura 16.7 se representan los flujos netos efectivos y su evolución.

Tabla 16. 21: Resultados.

Ejercicios	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas netas	1128014958	1167717348	1208817130	1251363489	1295407338
Costo de producción respecto de lo vendido	565263077	581679079	598672870	616264786	634475879
RESULTADO OPERATIVO	562751881	586038269	610144260	635098703	660931459
Gastos de administración	2826315	177044	177044	177044	177044
Gastos de comercialización	565263	546270	563264	580856	599067
Gastos de financiación	351958434	322385744	292813055	263240366	233667676
Depreciación-amortización	18653348	18653348	18653348	18653348	18653348
RESULTADOS ANTES DE IMPUESTOS	188748520	262929210	316590897	371100437	426487672
Depreciación-amortización	18653348	18653348	18653348	18653348	18653348
Impuesto a las ganancias	72590654	98553895	117335486	136413825	155799357
FLUJO NETO DE EFECTIVO	134811215	164375315	199255411	234686612	270688315

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. 22: Continuación de resultados.

Ejercicios	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ventas netas	1341001385	1388200192	1437060240	1487640000	1540000000
Costo de producción respecto de lo vendido	656384410	675900004	696102481	717016020	738665645
RESULTADO OPERATIVO	684616975	712300188	740957759	770623980	801334355
Gastos de administración	177044	177044	177044	177044	177044
Gastos de comercialización	620976	640491	660694	681607	703257
Gastos de financiación	204094987	174522297	144949608	115376918	85804229
Depreciación-amortización	18653348	18653348	18653348	18653348	18653348
RESULTADOS ANTES DE IMPUESTOS	479723969	536960356	595170413	654388411	714649825
Depreciación-amortización	18653348	18653348	18653348	18653348	18653348

Impuesto a las ganancias	174432061	194464796	214838316	235564616	256656111
FLUJO NETO DE EFECTIVO	305291908	342495559	380332096	418823795	457993714

Fuente: Elaboración propia.

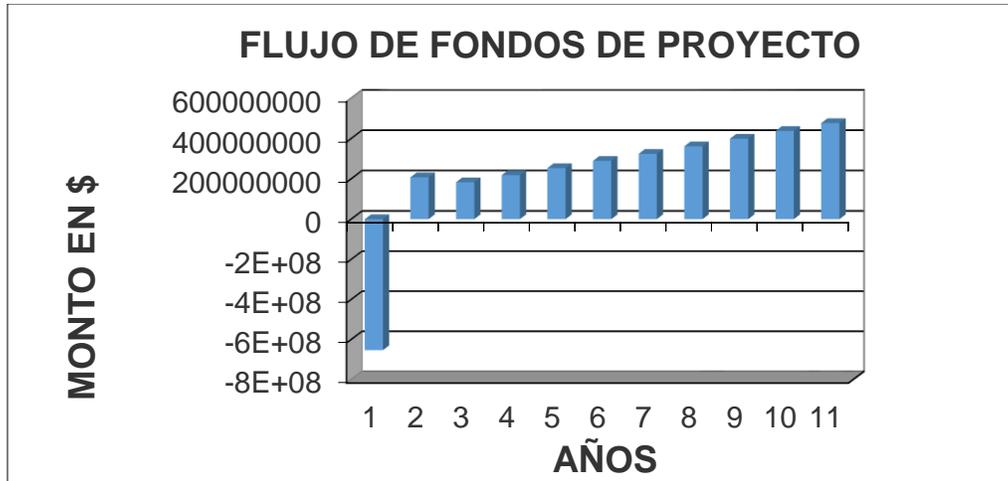


Figura 16. 7: Flujo neto de fondos a lo largo de los años.

16.5.2 Valor Actual Neto (VAN)

El término VAN, corresponde a la suma de valores actuales o presentes de los flujos netos de efectivo, menos la suma de los valores presentes de las inversiones netas. La tasa que se emplea para descontar los flujos de fondos es la rentabilidad mínima aceptable por parte de la empresa, por debajo de la cual los proyectos de inversión no deben llevarse a cabo; por ende:

- Si el VAN > 0, la inversión produce ganancias y el proyecto debe aceptarse.
- Si el VAN = 0, el proyecto no produce ni ganancias ni pérdidas y no puede decidirse en función de las ganancias.
- Si el VAN < 0, la inversión produce pérdidas y el proyecto debe rechazarse.

El valor del VAN es de \$37764358, lo cual indica que se producen ganancias y el presente proyecto es viable.

16.5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR, es la tasa de descuento que hace que los flujos netos de efectivo igualen el monto de la inversión. Esta tasa tiene que ser mayor que la tasa mínima de rendimiento exigida al proyecto de inversión. También se puede decir que es la tasa que está ganando un interés sobre el saldo no recuperado de la inversión en cualquier momento de la duración del proyecto.

Un proyecto puede considerarse como viable si su TIR es mayor que la TMAR, y en este caso se acepta el mismo. Si la TIR es alta, se trata de un proyecto rentable. Si la TIR es baja, es factible que existan otras opciones mejores en el mercado para invertir.

El valor de la TIR para el presente proyecto es del 36%. Dado que el valor obtenido de la TIR es mayor que la TMAR (34%) propuesta por el banco prestador, se concluye que el proyecto es rentable.

16.5.4 Período de recupero de la inversión (PRI)

El PRI, es un instrumento de fácil cálculo y aplicación, que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de la inversión recuperen su costo o inversión inicial. Es un factor importante para saber si se emprende el proyecto, ya que generalmente se prefieren los períodos de recuperación más cortos posibles.

Tabla 16. 23: Recupero de la inversión realizada.

Período		FNE	Saldo
Inversión inicial		0	697856889,00
Año 1		134811215	-56304567400
Año 2		299186529	-263859145,00
Año 3		498441940	-234582795,00
Año 4	Mes 1	61094046,08	-173488748,90
	Mes 2	61094046,08	-112394702,80
	Mes 3	61094046,08	-51300656,76
	Mes 4	61094046,08	9793389,32

El periodo de recuperación de un proyecto es el número de años a partir de los cuales el acumulado de los flujos netos efectivos (FNE) previstos iguala la inversión inicial.

El valor del PRI para el presente proyecto es de 3 años y 4 meses. Analizando este resultado, se destaca que la inversión se recuperaría en un período relativamente corto, comparado con los diez años previstos de actividad.

16.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Un análisis de sensibilidad se realiza dentro de una empresa con el objetivo de facilitar la toma de decisiones, ya que indica las variables que más afectan el resultado económico del proyecto y cuáles son las variables que tienen poca incidencia en el resultado final.

El análisis de sensibilidad permite determinar los márgenes de rentabilidad de un proyecto, con el aumento o reducción de un indicador económico como la TIR, frente a la fluctuación de las principales variables consideradas en el estudio económico. De acuerdo con ello, se analiza la variación de la TIR con la desviación del precio de venta, la tasa de interés del banco prestador, el volumen de ventas y de los costos de mano de obra, ya que son las principales variables que influyen en las utilidades.

El análisis surge de forma gráfica, representando la variación de la TIR con la fluctuación de las variables mencionadas con anterioridad y comparándola con la función constante TMAR, dado que si la primera se encuentra sobre esta última el proyecto es rentable, caso contrario deja de serlo.

16.6.1 Variación de la TIR con el precio de venta

En esta sección se analiza la relación entre la tasa interna de retorno y el precio de venta del producto. Se observa en la Figura 16.8 que el valor de la TIR aumenta con el aumento del precio de venta, lo que resulta lógico, siendo el proyecto rentable cuando se supera el valor de la TMAR. En caso de disminuir el precio de venta en un 5% el proyecto deja de ser rentable.

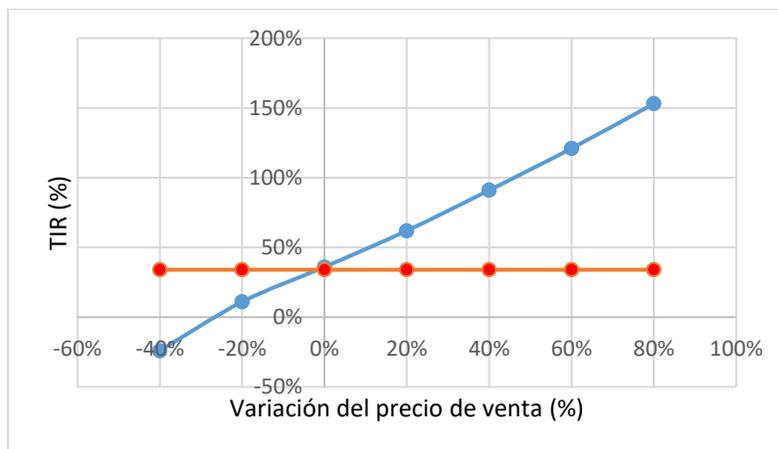


Figura 16. 8: Variación de la TIR con el precio de venta.

16.6.2 Variación de la TIR con el precio de mano de obra

Se analiza la sensibilidad de la tasa interna de retorno a los costos de mano de obra. Para este caso, como se observa en la Figura 16.9 el proyecto admite aumentos en los costos del personal con mínima disminución en la rentabilidad. La TIR iguala el valor de la TMAR cuando el aumento en los costos de mano de obra es del 20%, luego de ello se considera que el proyecto ya no es viable, dado el amplio margen se considera que esta variable no tiene gran influencia.

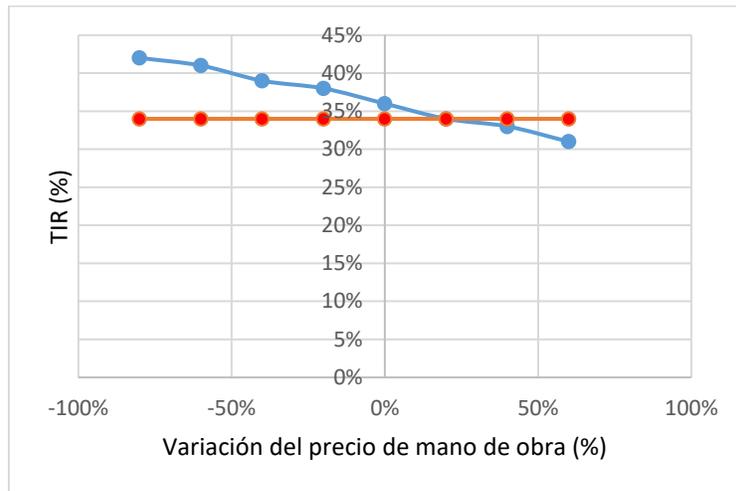


Figura 16. 9: Variación de la TIR con la mano de obra.

16.6.3 Variación de la TIR con el volumen de ventas

En este caso se analiza cómo varía la TIR con la fluctuación en el volumen de ventas de producción. Como se observa en Figura 16.10 el valor de la TIR supera el de la TMAR cuando la variación del volumen de ventas es menor al 2%.

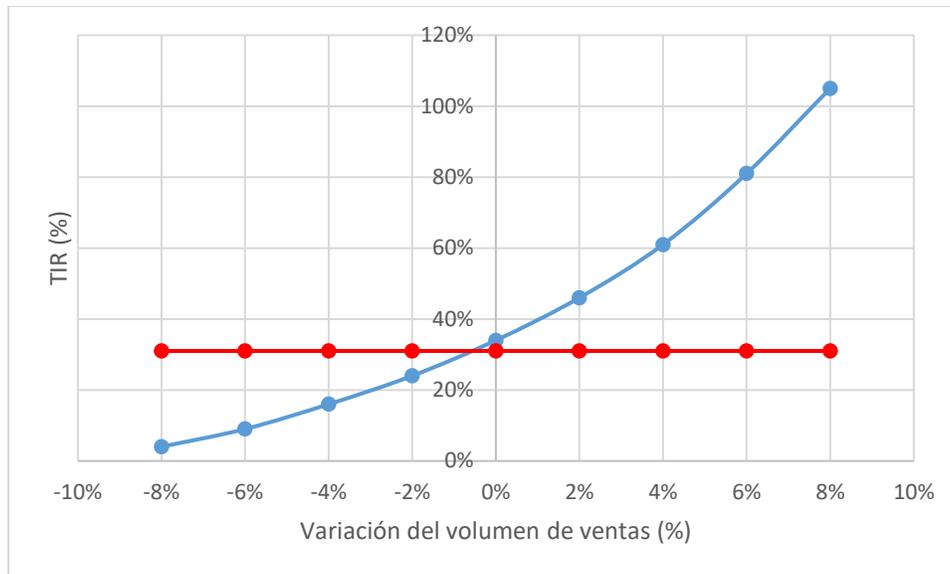


Figura 16. 10: Variación de la TIR con el volumen de ventas.

16.6.4 Variación de la TIR con el precio de venta

En esta sección se analiza la relación entre la tasa interna de retorno y el precio de la materia prima. Se observa en la Figura 16.11 que el valor de la TIR disminuye conforme aumenta el precio de la materia prima. El proyecto admite una variación del 5% del precio de la materia prima, luego de ello, deja de ser rentable.

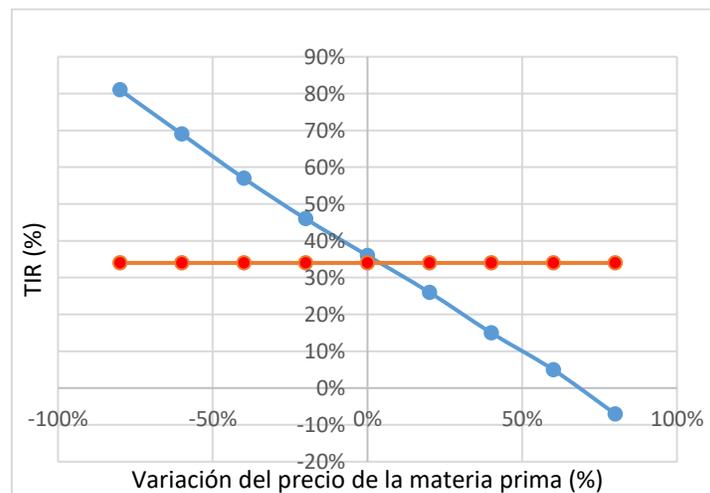


Figura 16. 11: Variación de la TIR con el precio de la materia prima.

16.7 CONCLUSIONES

El análisis económico financiero realizado permite concluir que la puesta en marcha de la planta de producción de ácido fórmico requiere de una inversión inicial de \$697856889,00, monto financiado por crédito del Banco Nación, con una tasa nominal anual fija del 34% y un plazo de pago de 10 años.

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir del análisis de los indicadores económicos, como el VAN, TIR y PRI, se observa la viabilidad económica del proyecto y su rentabilidad.

Con respecto a los indicadores, se obtuvo una TIR de 36%, un VAN positivo de \$37764358 y un PRI de 3 años y 4 meses los que demuestran numéricamente que la rentabilidad del proyecto es posible.

En base al análisis de sensibilidad las variables más influyentes en la rentabilidad del proyecto son el costo de la materia prima, el cual no debe superar un aumento del 5% y el precio de venta cuyo margen de disminución no debe ser inferior al 3%. En cuanto al volumen de ventas, se observa que el proyecto deja de ser rentable ante una disminución del 2%, aunque se considera que la demanda insatisfecha de ácido fórmico para los años posteriores va en alza por lo que las ventas permanecerán constantes o en aumento.

CONCLUSIONES FINALES

Se considera que los objetivos propuestos inicialmente se lograron. Se utilizaron los conocimientos adquiridos durante la carrera, adquiriendo a su vez nuevos conocimientos.

Se logró profundizar y describir las propiedades y características relacionadas con el ácido fórmico.

Del estudio de mercado se determinó que la demanda de ácido fórmico registra un aumento a través de los años lo que permite inferir que continuará aumentando. Teniendo en cuenta lo anterior, la posibilidad de producción nacional es clave para la sustitución de las importaciones.

Se seleccionó el proceso más conveniente entre las diferentes opciones existentes y priorizó entre otras cosas, el bajo impacto ambiental.

Se determinó el volumen de producción para sustituir un porcentaje de las importaciones nacionales, considerando además un porcentaje de la demanda insatisfecha de Brasil.

En la localización se analizó la proximidad de los proveedores y clientes concluyendo al Parque Industrial San Lorenzo, Santa Fe como la ubicación óptima para el proyecto. Además de la cercanía de una de las materias primas principales, el metanol, reduciendo los costos de fletes asociados.

En el diseño de los equipos se tuvieron en cuenta los balances de masa y energía realizados y se seleccionaron los materiales óptimos para las necesidades del proceso.

Se aplicó el conocimiento básico del control automático para realizar la automatización de un sector del proceso para garantizar la seguridad del mismo y calidad del producto.

Analizando económica y financieramente el proyecto de tesis, se puede concluir que la producción de ácido fórmico a partir de metanol es viable y rentable. Por otro lado, los indicadores VAN – TIR resultaron favorables, haciendo factible la inversión.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- (IPA), I. P. (2019). Anuario IPA 2019.
- Abarca, P. (2011). *Sistemas de Control Automático*.
- Abarca, P. *Sistemas de Control Automático*.
- Abastecedora de metales y derivados. (2014). *FICHA TECNICA METILATO DE SODIO*.
- AIR LIQUIDE. (2010). *FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD*.
- ARAUCO. <https://www.arauco.cl/argentina/marcas/arauco-quimica/>.
- Argentina, S. d.
- BASF. (1982). *Alemania Patente nº US 4,326,073*.
- BASF. (2019).
https://www.basf.com/ar/es/media/newsreleases/2019/05/BASF_expandira_su_capacidad_de_produccion_de_Metilato_de_sodio_en_Brasil.html.
- BASF. (2020). <https://www.basf.com/us/en/media/market-news-/2021/basf-to-increase-prices-for-formic-acid-in-north-america.html>.
- BASF. <https://www.basf.com/us/en/products/General-Business-Topics/formic-acid/oil-and-gas.html>.
- BASF. <https://www.basf.com/us/en/products/General-Business-Topics/formic-acid/oil-and-gas.html>.
- Biopack. (2017). *Ficha de datos de seguridad*.
- Bolsa de Comercio Rosario. <https://bcr.com.ar/es>.
- BOSCH Argentina. (s.f.). <https://www.bosch-thermotechnology.com>. Obtenido de <https://www.bosch-thermotechnology.com/es/es/ocs/comercial-e-industrial/caldera-de-vapor-universal-ul-s-ul-sx-669474-p/>
- BOSCH. <https://www.bosch-industrial.com/>. Obtenido de https://www.bosch-industrial.com/files/fb013_sp.pdf
- BRANAN, C. (2002). *Rules of Thumb for Chemical Engineers*.
- Camisón, Cruz, & González. (2006). *Gestión de la calidad: Conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. España.
- Carbone Stainless. *Ficha técnica del acero inoxidable*.
- Carburos Metálicos - Grupo Air Products..
<http://www.carburos.com/Products/Gases/supply-options/bulk-deliveries-and-storage-systems/typical-bulk-gas-storage-systems.aspx>.
- CHEMICALS, D. F. (2016). *FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD - 114820-Sodium methoxide 25% in methanol*.
- CORQUIVEN. (1997). *HOJA DE SEGURIDAD ALCOHOL METÁLICO*.

Coulson & Richardson. *Chemical Engineering*.

Decreto 351/79, L. 1. http://www.ms.gba.gov.ar/sitios/pepst/files/2017/02/Decreto_351-79.pdf.

Elements, A. (s.f.). <https://www.americanelements.com/sodium-methoxide-124-41-4>.

Estrada, I. J. (2001). Obtenido de <https://www.udocz.com/read/3219/disenyo-y-calculo-de-recipientes-a-presion-juan-manuel-leon-estrada>

Evonik. (2020). *SODIUM METHYLATE POWDER*.

Evonik. (s.f.). <https://central-south-america.evonik.com/es/evonik-amplia-su-capacidad-de-produccion-de-metilato-de-sodio-en-rosario-argentina-120736.html>.

Famaf. (s.f.). <https://www.famaf.unc.edu.ar/>. Obtenido de https://www.famaf.unc.edu.ar/~kisbye/MF/2010/Sistemas_Amortizacion.pdf

FAVRA S.A.I.C. *Favra.com.ar*. Obtenido de <https://favra.com.ar/template/admin/files/uploads/179-attach-0.PDF>

Gifex. (2010). <https://www.gifex.com/>. Obtenido de https://www.gifex.com/detail/2019-02-04-15944/Mapa_demografico_de_la_Provincia_de_Santa_Fe_Argentina.html

Gifex. (s.f.). <https://www.gifex.com/>.

Google Maps. (2021).

Google Patent.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/c8/a2/07/6582f63afb9255/US4216339.pdf>.

Group, M.

Group, T. L. (2012). *HOJA DE SEGURIDAD DEL MATERIAL*.
gruposinelec.com.

GTM. (2016). *FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD*.

Herrera. (s.f.). *Introducción a la calidad*. Obtenido de Curso de Calidad por Internet - CCI.

HIDROCHECK. <http://hidrocheck.com/>.

Hohenschutz, S. K. (1980). *BASF Alemania Patente nº US4218568*.

Hsiao-Ping Huang, M.-J. L.-Y.-H. (2012). *Taipei City Patente nº US 0123157A1*.

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/12238/Capitulo4.pdf>. (s.f.). Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/12238/Capitulo4.pdf>

<http://www.crana.org/es/>

<https://tudemana.com>. (s.f.). Obtenido de <https://tudemana.com/venta-revision-mantenimiento-extintores-denial/>

<https://www.dastecsrl.com.ar/> Obtenido de <https://www.dastecsrl.com.ar/divisiones/detectores-gases-y-proteccion->

personal/detectores-fijos/gases-toxicos/sensepoint-honeywell-detector-de-gases-toxicos-y-explosivos

<https://www.mapacarreteras.org/p13-argentina/>

INDEC, I. N. <https://comex.indec.gov.ar/#/>.

INDURA, G. A. (2016). *HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD MONÓXIDO DE CARBONO*.

Industriales, I. N. (2020). https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_no_1_-_santa_fe_0.pdf.

Industry ARC. Obtenido de <https://www.industryarc.com/Report/16444/formic-acid-market.html>.

ingenierosindustriales.jimdo.com.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/623/equipos.pdf>.

Inversiones y financiamiento del proyecto. <http://www.spw.cl/proyectos/apuntes/cap4.htm>.

IRAM 3517 Parte I. (Mayo de 1985). <https://www.ecofield.net/>. Obtenido de <https://www.ecofield.net/Legales/Extintores/iram3517-1.htm>

Jogunola, Salmi, Warnaa, & Mikkolaa. (2011). *Society of Chemical Industry*.

Kern. (1999). *PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR*.

Kieczka, W., & Reutemann, H. (1989). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. New York.

Kieczka, W., & Reutemann, H. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.

Kirk-Othmer. (2012). *Encyclopedia of Chemical Technology*.

Klopper DIN. (s.f.). <https://fondeyur.com>. Obtenido de <https://fondeyur.com/fondos/fondoklopper-din-28011/>

Laitinen, Parsana, Jauhiainen, Huotari, van den Broeke, de Jong, . . . Ramdin. *Extracción líquido-líquido de ácido fórmico con 2-metiltetrahidrofurano: experimentos, modelado de procesos y economía*.

Levenspiel. (1986). *INGENIERÍA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS*.

Ley 19.587 Decreto 351/79.

http://www.ms.gba.gov.ar/sitios/pepst/files/2017/02/Decreto_351-79.pdf.

Liang Chen, J. Z. (2004). Kinetics of Methanol Carbonylation to Methyl Formate. *Journal of Natural Gas Chemistry*, 225-230.

Lifeder. (s.f.). <https://www.lifeder.com>. Obtenido de <https://www.lifeder.com/costo-unitario/>

LINDE GROUP. (2012).

marítimas, C. d. (s.f.). <https://camaracapym.com.ar/>.

Mc Cabe, Smith, & Harriott. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México: Mc Graw Hill Interamericana .

Mc Cabe, Smith, & Harriott. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*.

McKetta. *Heat Transfer Design Methods*.

Megyesy, E. F. *Manual de recipientes a presión, diseño y cálculo*. México: GRUPO NORIEGA EDITORES.

Ministerio de Aguas, S. P.

<https://www.santafe.gob.ar/index.php/web/content/download/99923/494504/file/Descargar%20PETG%20-%20Seguridad%20e%20Higiene.pdf>.

Ministerio de Desarrollo Productivo, S. F. (Junio de 2020). <https://www.argentina.gob.ar/>.
Obtenido de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_no_1_-_santa_fe_0.pdf

Ministerio de Producción y Trabajo. (2019). *Presidencia de la Nación*.

Ministerio de Producción y Trabajo, S. (2019).

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/05_guia_senalizacion_ok.pdf.

OPEC. (2020). *Análisis mercado diciembre*.

Organization, I. L. (2009).

https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0771&p_version=2.

Parque Industrial San Lorenzo. (s.f.).

Parque Industrial San Lorenzo. (s.f.). <https://www.pisanlorenzo.com>. Obtenido de <https://www.pisanlorenzo.com/page/ubicacion>

Perry. (s.f.). *MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO*.

Provincia de Santa Fe.

<https://www.santafe.gob.ar/index.php/web/content/download/243243/1281331/file/Santa%20Fe%20-%20Capacidades%20y%20estrategias%20para%20una%20inserci%C3%B3n%20global%20competitiva.pdf>. Obtenido de Capacidades y estrategias para una inserción global competitiva.

Provincia de Santa Fe. *PRODUCCIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA: Industria*. Obtenido de <https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/93793>.

Quadri, N. (2007). *Instalaciones eléctricas en edificios*. Buenos Aires: Cesarini Hnos. .

QualityPro. Obtenido de <https://qualitypro.cl/n/acido-formico-85/>.

RED PARQUES, D. I. <http://www.redparques.com.ar/parques-industriales/>.

Restrepo, I. J. (2007). *API 650*. Bogotá: Training Elite.

Rosario, B. d. <https://bcr.com.ar/es>.

ROTH. (2021). *Ficha de datos de seguridad*.

- S.A., S. (2019). *ÁCIDO FÓRMICO FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD*. Buenos Aires.
- Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. (1989). *Preparación y Evaluación de Proyectos*.
- SCAVAGE. (2021). www.scavage.com.
- Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza. *ISO 9001:2015*.
- Secretaria de Industria de Santa Fe. (s.f.).
- Sigma-Aldrich. (2021). *FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD*.
- Sintorgan. (2019). *FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD*.
- Sistema de Estadística Ambiental Argentina. (s.f.).
http://estadisticas.ambiente.gob.ar/archivos/web/Indicadores/file/multisitio/pdf/13_%20Tasa%20media%20anual%20de%20crecimiento%20poblacional.pdf.
- Skoog, West, Holler, & Crouch. (s.f.). *Fundamentos de Química Analítica - Octava Edición*.
- Smith, C., & Corripio, A. (1991). *Control Automático de Procesos*.
- Subsecretaría de Lucha Contra el Narcotráfico, S. d. *PRECURSORES QUÍMICOS*.
- Transporte, C. N. (s.f.).
- Treybal. (s.f.). *OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA*.
- UC B, Societe Anonyme, Brussels, Belgium. (1980). *Bélgica Patente nº US 4,216,339*.
- UNC, ERSeP, & Fundación Revelando Peligros. (s.f.). *Manual del Instalador Electricista - Categoría III*.
- UNSA. (s.f.). <https://www.unsa.edu.pe/>.
- UTN Facultad Regional Rosario. (s.f.). *Manual de Proyecto de Plantas*.
- Venezolana, C. Q. (1997). *HOJA DE SEGURIDAD METANOL*.
- Walas, S. (1990). *Chemical Process Equipment*.
- Weather Spark.
- Wikipedia*.
- www.argentina.gob.ar/cnea/cab/laboratorios-e-instalaciones.
- www.editores-srl.com.ar.
- www.fishersci.es.
- www.ilo.org.
- www.manualdaquimica.com.
- www.vaisala.com.
- www.variplast.com.ar.

YPF. (2017). *FICHA TÉCNICA*.

YPF. (2019). *FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DE METANOL*.

YPF. <https://www.ypf.com/inversoresaccionistas/Paginas/informacion-financiera.aspx>.

ANEXO PLANOS